İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: YENİDEN TASARIM MODELİ

DOKTORA TEZİ

Bahar BAŞARIR

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Doktora Programı

TEMMUZ 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: YENİDEN TASARIM MODELİ

DOKTORA TEZİ

Bahar BAŞARIR
(502132411)

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Doktora Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi M. Cem ALTUN

TEMMUZ 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502132411 numaralı Doktora Öğrencisi Bahar BAŞARIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: YENİDEN TASARIM MODELİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Dr. Öğr. Üyesi M. Cem ALTUN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Hülya KUŞ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Emrah ACAR İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi Volkan GÜR Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi Ömer Ş. DENİZ Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 24 Haziran 2019
Savunma Tarihi : 26 Temmuz 2019

Hayat boyu öğrenmeye ve üretmeye,

ÖNSÖZ

Başta tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi M. Cem Altun olmak üzere, bu çalışmanın hazırlanmasına değerli görüşleri ile katkıda bulunan, Işık Kaya Berk, C. Zeynep Oğuz ve diğer tüm inşaat ve imalat sektörü meslek erbaplarına teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2019

Bahar Başarır
(Y. Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ…. vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xiii
SEMBOLLER xv
ÇİZELGE LİSTESİ xvii
ŞEKİL LİSTESİ xxi
ÖZET……. xxv
SUMMARY xxix
1. GİRİŞ 1
1.1 Problemin Tanımlanması 5
1.2 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı 10
1.3 Çalışmanın Yöntemi 12
1.4 Çalışmanın Kurgusu 15
2. ÜRÜN TASARIMI 17
2.1 Ürün Tasarımının Kapsamı Ve Tipleri 17
2.2 Ürün Tasarımı Süreci 21
2.2.1 Planlama 26
2.2.2 Konsept tasarımı 28
2.2.3 Uygulama Tasarımı 31
2.2.4 Detay Tasarımı 35
2.3 Ürün Tasarımında Kullanılan Sistematik Yöntemler 37
2.3.1 Yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemler 41
2.3.2 Sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri 46
2.3.3 Tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemler 50
2.4 Ürün Tasarımında Standart Ürünlerle Özelleştirme Yaklaşımları 52
2.4.1 Modüler ürün mimarisi 55
2.4.2 Açık ürün mimarisi 57
2.4.3 Kitlesel özelleştirme 59
2.4.4 Kitlesel bireyselleştirme 61
3. CEPHE TASARIMI 63
3.1 Cephe Tasarımı Süreci 64
3.1.1 Sistem tasarımı 66
3.1.2 Fikir projesi aşamasındaki tasarım 67
3.1.3 Ön proje aşamasındaki tasarım 69
3.1.4 Kesin proje aşamasındaki tasarım 71
3.1.5 Uygulama projesi aşamasındaki tasarım 75
3.2 Cephe ve Ürün Tasarımı Arasındaki Farklar 79
3.3 Cephe Sistemlerinde Kullanılan Farklı Ürün Düzeyleri 82
3.4 Cephe Tasarımında Standart Ürünlerle Özelleştirme Yaklaşımları 85

4. TEPKİ VEREN CEPHE SİSTEMLERİ 93
4.1 Tepki Veren Cephe Sistemlerinin Tanımlanması 94
4.1.1 Tepki veren cephelerin karakteristik özellikleri 100
4.2 Tepki Veren Cephe Örneklerinin İncelenmesi 104
4.3 Tepki Veren Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması 110
4.3.1 Tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler 120
4.4 Tepki Veren Cephe Tasarım Sürecinin Genel Cephe Tasarım Sürecinden Farkları 122
5. TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: MODEL GELİŞTİRME YÖNTEMİ 129
5.1 Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Tasarımı Probleminin Çözüm Yolunun Tanımlanması 131
5.1.1 Konsept geliştirme 132
5.1.1.1 Konsept 1: Açık sistem tepki veren cephe tasarımı 139
5.1.1.2 Konsept 2: Modüler sistem tepki veren cephe tasarımı 141
5.1.1.3 Konsept 3: Mevcut bir tepki veren cephe sisteminin standart ürünlerle yeniden tasarımı 142
5.1.2 Konsept seçimi 143
5.1.2.1 Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlık değerlerinin atanması 147
5.1.2.2 Konseptlerin değerlendirilmesi ve konsept seçimi 151
5.2 Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarım Modelinin Geliştirilmesi 155
5.2.1 Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı üzerine bir ön çalışma 157
5.2.1.1 Örnek projenin standart ürünlerle yeniden tasarım süreci 157
5.2.1.2 Yeniden tasarım ön çalışmasının değerlendirilmesi 167
5.2.2 Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarım modeli uygulama aşamalarının geliştirilmesi 169
5.2.2.1 Planlama aşamasının geliştirilmesi 173
5.2.2.2 Referans cephe sisteminin tanımlanması aşamasının geliştirilmesi 179
5.2.2.3 Referans cephe sisteminin analizi aşamasının geliştirilmesi 185
5.2.2.4 Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı aşamasının geliştirilmesi 198
5.2.2.5 Yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi aşamasının geliştirilmesi 213
6. TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: YENİDEN TASARIM MODELİ 219
6.1 Aşama I: Planlama 219
6.2 Aşama II: Referans Cephe Sisteminin Tanımlanması 222
6.3 Aşama III: Referans Cephe Sisteminin Analizi 227
6.4 Aşama IV: Referans Cephe Sisteminin Yeniden Tasarımı 235
6.5 Aşama V: Yeniden Tasarlanan Cephe Sisteminin Değerlendirilmesi 245
7. MODELİN UYGULAMASI 249
7.1 Aşama I: Planlama 249
7.2 Aşama II: Referans Cephe Sisteminin Tanımlanması 251
7.3 Aşama III: Referans Cephe Sisteminin Analizi 256
7.4 Aşama IV: Referans Cephe Sisteminin Yeniden Tasarımı 260
7.5 Aşama V: Yeniden Tasarlanan Cephe Sisteminin Değerlendirilmesi 265
7.6 Model Uygulamasının Değerlendirilmesi 267

8. SONUÇLAR..... 271
8.1 Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı Modelinin Özellikleri..... 272
8.1.1 Modelin güçlü özellikleri..... 275
8.1.2 Modelin kısıtlamaları..... 277
8.2 İleride Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler..... 278
KAYNAKLAR..... 281
EKLER..... 307
ÖZGEÇMİŞ..... 365

KISALTMALAR

AAMA : American Architectural Manufacturers Association
AHP : Analytic Hierarchy Process/Analitik Hiyerarşi Süreci
ARIZ : Algorithm for Inventive Problem Solving/ Yaratıcı Problem Çözme Algoritması
ASCE : American Society of Civil Engineers
ASIT : Advanced Systhematic Inovation Thinking / Alternatif Sistematik İnovasyon Teknikleri
ASTM : American Society for Testing and Materials
BIM : Building Information Modeling/ Yapı Bilgi Modelleme
bk. : Bakınız
BMAS : Buildable Multi-Attribute System/ Çoklu Nitelikli Yapılabilirlik Değerlendirme Sistemi
cf : Confer/ Kıyasla
CII : Construction Industry Institute
CIIA : Construction Industry Institute Australia
CIRA : Construction Industry Research and Information Association
CNC : Computer Numerical Control
COST : European Cooperation in Science and Technology
CPSP : Osborn-Parnes model of Creative Problem Solving Process/ Osborn-Parnes'in Yaratıcı Problem Çözme Süreci
CWCT : Centre for Window and Cladding Technology
DEFMAT : Design for Manufacturing Architecture and Tool Suite/ Üretim İçin Tasarım Mimarisi ve Araç Takımı
DFA : Design for Assembly/ Montaj için Tasarım
DFM : Design for Manufacture/ Üretim için Tasarım
DFM/A : Design for Manufacture, Design for Assembly, Design for Manufacture and Assembly/ Üretim için Tasarım, Montaj için Tasarım, Üretim ve Montaj için Tasarım
DFMA : Design for Manufacture and Assembly/ Üretim ve Montaj için Tasarım
DFX : Design for Excellence/ Mükemmellik için Tasarım
ETO : Engineer-to-order
FMEA : Failure Mode and Effects Analysis/ Hata Türü ve Etkileri Analizi
HVAC : Heating Ventilating and Air Conditioning / Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
IEA-ECBCS : International Energy Agency-Energy Conservation in Buildings and Community Systems
MIT : Massachusetts Institute of Technology
nZEB : nearly Zero Energy Building
QFD : Quality Function Deployment / Kalite Fonksiyon Yayılımı
SCAMPER : Substitute, Combine, Adapt, Modify/Magnify/Minify, Put to other uses, Eliminate, Reverse/Rearrange / Değiştir, Birleştir, Uyarla,

	Modifiye et / Büyüt / Küçült, Diğer kullanımlara koy, Ortadan kaldır, Geri / Yeniden düzenle
TRIZ	**:**Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch/ Theory of Inventive Problem-Solving/ Yaratıcı Problem Çözme Teorisi
vb.	**:**Ve benzeri
VDI	**:**Verein Deutscher Ingenieure/ Association of German Engineers/ Alman Mühendisler Birliği
VHB	**:** Very High Bonding
ZEB	**:** Zero Energy Building

SEMBOLLER

A **:** Kriter ağırlığı
D **:** Değer
I **:** Yapılabilirlik indeksi
P **:** Kriter puanı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Literatürde yer alan ürün ve mühendislik tasarımı tipleri. **19**
Çizelge 2.2: Planlama ve görevin tanımlanması aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri..... **28**
Çizelge 2.3: Konsept tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri. **29**
Çizelge 2.4: Uygulama tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri. **34**
Çizelge 2.5: Detay tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri. **36**
Çizelge 2.6: Tomiyama (1997) tasarım teori ve metodolojisi sınıflandırmasına göre literatürden derlenen yöntemlerin sınıflandırılması..... **39**
Çizelge 2.7: Yöntem seçiminde kullanılabilecek kriterler. **40**
Çizelge 2.8: Yaratıcılığı destekleyen yöntemler..... **43**
Çizelge 2.9: TRIZ prensiplerinin gruplandırılmasıyla elde edilen fikir geliştirici araçlar..... **45**
Çizelge 2.10: Sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri..... **48**
Çizelge 2.11: Tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemler..... **51**
Çizelge 2.12: Kitlesel özelleştirmenin temel özellikleri. **60**
Çizelge 3.1: Fikir projesi tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması. **68**
Çizelge 3.2: Ön proje tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması. **70**
Çizelge 3.3: Kesin proje tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması. **72**
Çizelge 3.4: Cephe üretimindeki temel arayüzlerin tanımlanması ve sınıflandırılması. **74**
Çizelge 3.5: Uygulama projesi tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması. **76**
Çizelge 3.6: Mimarlık ve mühendislik modellerinin özelliklerinin karşılaştırılması. **80**
Çizelge 4.1: Çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayan cepheleri tanımlamak için kullanılan terimler. **95**
Çizelge 4.2: Literatürde tepki veren cepheleri tanımlamak için kullanılan karakteristik özellikler. **101**
Çizelge 4.3: Tepki veren cephelerin sınıflandırılması için geliştirilen kriterler ve bunları tanımlayan değişkenler. **113**
Çizelge 4.4: Karmaşıklık derecesine göre teknik sistemlerin sınıflandırılması. **117**

Çizelge 4.5: Tepki veren cepheler için geliştirilen yeni sınıflandırma sisteminin örnek projeler üzerinde uygulanması. **117**
Çizelge 4.6: Kayar Ev ve RMIT Tasarım Merkezi projelerinin tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler bağlamında değerlendirilmesi. **122**
Çizelge 4.7: Tepki veren cephe temel performans göstergeleri. **126**
Çizelge 5.1: Tepki veren cephelerin alt tasarım tipleri olarak kabul edilen ürün tasarım tipleri. **135**
Çizelge 5.2: Konsept değişkeni olarak kullanılan cephe tasarımının detay aşamasında etkili yapılabilirlik kriterleri. **137**
Çizelge 5.3: Beş puanlı ölçek sisteminde puan tanımları. **146**
Çizelge 5.4: Konsept değerlendirme kriterlerinin tasarım problemi çözüm hedefleri bağlamında belirlenmesi ve tanımlanması. **150**
Çizelge 5.5: Konsept değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması. **151**
Çizelge 5.6: Konsept 1: Açık Sistem Tepki Veren Cephe Tasarımı'nın konsept değerlendirme kriterleri bağlamında analizi. **152**
Çizelge 5.7: Konsept 2: Modüler Sistem Tepki Veren Cephe Tasarımı'nın konsept değerlendirme kriterleri bağlamında analizi. **153**
Çizelge 5.8: Konsept 3: Mevcut Bir Tepki Veren Cephe Sisteminin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı'nın değerlendirme kriterleri bağlamında analizi. **153**
Çizelge 5.9: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözümü için geliştirilen konsept alternatiflerinin ağırlıklı karar matrisi yöntemiyle değerlendirilmesi. **154**
Çizelge 5.10: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin 1 modül katlanır panelini oluşturan parçalar. **160**
Çizelge 5.11: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesine benzer hareket tipine sahip cephe sistemlerinin literatürde taranmasında kullanılan anahtar kelimeler. **163**
Çizelge 5.12: Tasarım hedefleri belirlenirken dikkate alınması gereken ana kriterler. **176**
Çizelge 5.13: Ürün tasarım hedeflerinin belirlenmesinde kullanılabilecek kriterler listesi. **177**
Çizelge 5.14: Tersine mühendislik aşamaları ve gerçekleştirilen görevler. **181**
Çizelge 5.15: Referans cephe sisteminin tanımlanması aşamasını oluşturan faaliyetlerin, yeniden tasarım ön çalışması faaliyetleri ve tersine mühendislik faaliyetleri üzerinden tanımlanması. **184**
Çizelge 5.16: Literatürde nicel yapılabilirlik değerlendirmesinde kullanılmış olan sistematik yöntemler. **188**
Çizelge 5.17: Yapılabilirlik ekibinin oluşturulmasında kullanılan aşamalar, eylemler ve araçlar. **190**
Çizelge 5.18: Yapılabilirlik ekibinde bulunması öngörülen uzmanlar. **190**
Çizelge 5.19: Parça sayısının azaltılması için kullanılan DFA tasarım kılavuzu kriterleri ve değerlendirme yöntemleri. **195**
Çizelge 5.20: Yeniden tasarım aşaması temel faaliyetlerinin, ürün tasarımı, cephe tasarımı ve yeniden tasarım ön çalışması faaliyetleri üzerinden belirlenmesi. **200**
Çizelge 5.21: Yapı ürünü seçiminde kullanılan kriterler ve seçimi etkileyen hususlar. **203**
Çizelge 5.22: Yapı ürünü seçimini etkileyen hususlar. **203**
Çizelge 5.23: Ürünlerde geleneksel ve açık arayüzlerin karşılaştırılması. **205**

Çizelge 6.1: Tepki veren cephelerin tasarım hedeflerinin belirlenmesinde kullanılacak kontrol listesi. **220**
Çizelge 6.2: Cepheyi oluşturan parçaların erişilebilirlik değerlendirme kriterleri ve tanımları. **234**
Çizelge 6.3: Cephe üretim ve yapım süreçlerinde kullanılan ekipmanların erişilebilirlik değerlendirme kriterleri ve tanımları. **234**
Çizelge 6.4: Parça seçim kriterleri. **239**
Çizelge 6.5: Parça seçim değerlendirmesi şablonu. **240**
Çizelge 6.6: DFM birleşim analizi kriterleri. **243**
Çizelge 6.7: Parça birleşim değerlendirmesi şablonu. **243**
Çizelge 7.1: Referans cephenin tasarım özelliklerini tanımlayan tasarım hedefleri. **251**
Çizelge 7.2: Değişim olayını tanımlayan referans cephe özelliklerinin tepki veren cephe sınıflandırma kriterlerine göre gösterimi. **252**
Çizelge 7.3: Bir adet güneş kırıcı panelin DFA fonksiyon analizine göre belirlenen zaruri ve zaruri olmayan parçaları. **258**
Çizelge 7.4: Bir adet güneş kırıcı paneli oluşturan parçaların erişilebilirlik değerlendirmesi (Parça numaraları metraj cetveli ile eşleştirilmiştir). **259**
Çizelge 7.5: Köşe profillerin birleşim alternatiflerinin değerlendirmesi. **263**
Çizelge A.1: Farklı endüstrileşme ölçeklerindeki ürünlerin geliştirme süreçleri arasındaki farkların belirlenmesi ön çalışması. **309**
Çizelge B.1: Tepki veren cephe projeleri, ürünleri ve prototiplerini içeren veri tabanı. **310**
Çizelge C.1: Mevcut tepki veren cephe sınıflandırmalarının sınıflandırma kriterlerine göre derlemesi. **315**
Çizelge D.1: Yapılabilirlik faktörleri ve bağıl önemleri. **331**
Çizelge Ğ.1: Literatürde yer alan cephe tasarım kriterleri. **349**
Çizelge H.1: Yapılabilirlik aşamalarında kullanılabilecek araçlar kılavuzu. **352**
Çizelge İ.1: Cephe tasarımının değerlendirilmesinde kullanılan simülasyon araçları. **355**
Çizelge J.1: Metraj cetveli şablonu. **357**
Çizelge K.1: Yapılabilirlik değerlendirmesi şablonu. **359**
Çizelge K.2: BMW Meslek Okulu tepki veren cephesi (referans cephe) ve yeniden tasarlanan tepki veren cephe (yeniden tasarım) yapılabilirlik değerlendirmesi. **361**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışmanın yönteminin ana hatlarıyla şematik gösterimi. **13**
Şekil 1.2: Çalışmanın kurgusu. **16**
Şekil 2.1: Ürün tasarımının sanat ve uygulamalı bilimler bağlamındaki yeri. **18**
Şekil 2.2: Cross'un (2005) dört aşamalı basit tasarım süreci modeli. **23**
Şekil 2.3: Pahl ve diğ. (1996) ürün tasarım süreci adımları. **24**
Şekil 2.4: VDI 2222 tasarım sürecinde ayrışma ve yakınsama. **25**
Şekil 2.5: Lampel ve Mintzberg'in (1996) tanımladığı ürün özelleştirme stratejileri. **54**
Şekil 2.6: Modüler ürün mimarisi, kitlesel özelleştirme ve bileşen tasarımı stratejileri arasındaki ilişki. **55**
Şekil 3.1: Cephe tasarımı ekibi üyeleri ve aralarındaki ilişki. **65**
Şekil 3.2: Mimari proje bağlamında genel cephe tasarım süreci aşamaları. **66**
Şekil 3.3: Yapı ürünü çeşitlerinin geçirdikleri işlemlere bağlı karmaşıklık düzeylerine göre hiyerarşik gösterimi. **83**
Şekil 3.4: İnşaat endüstrisinde benzerlikten yararlanma, bir merdiven modeli. **90**
Şekil 4.1: Durum dönüşümü olarak değişimin tanımı. **112**
Şekil 5.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı model geliştirme çalışmasının strüktürü. **130**
Şekil 5.2: Konsept çözüm uzayının oluşturulması ve konsept seçimi süreci. **132**
Şekil 5.3: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarını tanımlayan konseptlerin geliştirilmesinde kullanılan yöntemin şematik açıklaması. **133**
Şekil 5.4: Konsept seçiminde kullanılan sistematik yöntem. **144**
Şekil 5.5: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe görünüşü. **158**
Şekil 5.6: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin işleyişini gösteren video görüntülerinden elde edilmiş yakın plan ekran görüntüleri. **159**
Şekil 5.7: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin son kat kısmi kesiti. **159**
Şekil 5.8: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin katlanır alt panel detayı. **160**
Şekil 5.9: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesinin, tepki veren cepheler için geliştirilen sınıflandırma kriterlerine göre analizi ve tasarım parametrelerinin belirlenmesi. **161**
Şekil 5.10: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesine benzer hareket tipine sahip cephe sistemleri, a) Pro aurum GMBH, b) Technische Universität München, c) Zentrum für Molekure Medizin der Universitat Köln, d) University of Potsdam. **164**
Şekil 5.11: Yeniden tasarlanan sistemin bir katlanır panel birimini gösteren kısmi kesiti. **167**

Şekil 5.12: Yeniden tasarım modelinin aşamalarının belirlenmesinde kullanılan yöntem. **170**
Şekil 5.13: Genel yeniden tasarım ve tersine mühendislik metodolojisi. **171**
Şekil 5.14: Aşama I: Planlama süreç adımlarının geliştirilmesi. **174**
Şekil 5.15: Aşama II: Referans cephe sisteminin tanımlanması, süreç adımlarının geliştirilmesi. **179**
Şekil 5.16: DIN 8593 Üretim Süreçleri, birleşim tipi sınıflandırması. **185**
Şekil 5.17: Aşama III: Referans cephe sisteminin analizi, süreç adımlarının geliştirilmesi. **186**
Şekil 5.18: Aşama IV: Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı, süreç adımlarının geliştirilmesi. **198**
Şekil 5.19: Sabitten esneğe yedi birleşim prensibi. **210**
Şekil 5.20: Aşama V: Yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi, süreç adımlarının geliştirilmesi. **214**
Şekil 6.1: Aşama I: Planlama, süreç akış şeması. **222**
Şekil 6.2: Aşama II: Referans cephe sisteminin tanımlanması, süreç akış şeması. . **226**
Şekil 6.3: DFA Fonksiyon analizinde kullanılan Fonksiyonel Kriterler Çizelgesi. **232**
Şekil 6.4: Aşama III: Referans cephe sisteminin analizi, süreç akış şeması. **235**
Şekil 6.5: Aşama IV: Referans cephenin yeniden tasarlanması, süreç akış şeması. **244**
Şekil 6.6: Aşama V: Yeniden tasarlanan cephenin değerlendirilmesi, süreç akış şeması **248**
Şekil 7.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarım modeli uygulama döngüsü. **249**
Şekil 7.2: BMW Meslek Okulu tepki veren cephesi a) ön görünüş ve b) koridor görünüşü. **250**
Şekil 7.3: a) Kısmı kesit ve görünüş çizimi ve b) güneş kırıcı panelin tabanından kısmi görünüm. **253**
Şekil 7.4: Referans cephenin güneş kırıcı panelinin plan kesit detayı. **253**
Şekil 7.5: Referans cephenin bir adet güneş kırıcı panelini tanımlayan metraj cetveli. **255**
Şekil 7.6: Malzeme bozulmalarını önleme fonksiyonunu üstlenen standart profil. **262**
Şekil 7.7: Yeniden tasarlanmış güneş kırıcı panelin plan kesit detayı, alternatif 1. **264**
Şekil Ç.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yolunun tanımlanmasında kullanılan yöntem. **317**
Şekil E.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm kümesini tanımlayan konsept değişkenlerinin şematik gösterimi. **333**
Şekil E.2: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarının tanımlanması için geliştirilen Konsept 1'in konsept değişkenlerine bağlı olarak haritalanması. **335**
Şekil E.3: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarının tanımlanması için geliştirilen Konsept 2'nin konsept değişkenlerine bağlı olarak haritalanması. **337**
Şekil E.4: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarının tanımlanması için geliştirilen Konsept 3'ün konsept değişkenlerine bağlı olarak haritalanması. **339**
Şekil F.1: Mevcut tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı modelinin geliştirilmesinde kullanılan yöntem. **341**
Şekil G.1: Cephe fonksiyon ağacı.. ..... **345**
Şekil G.2: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesinin, cephe fonksiyon ağacına göre değerlendirilmesi. **347**

Şekil H.1: Yapılabilirlik değerlendirmesi aşamaları sistemi. **351**
Şekil L.1: BMW Meslek Okulu tepki veren cephesinin bir adet güneş kırıcı panelinin montaj şeması. **363**

TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: YENİDEN TASARIM MODELİ

ÖZET

Değişen performans gereksinimlerine ve sınır koşullara adapte olarak yapıların bütüncül performansını ve kullanıcı konforunu arttıran tepki veren cepheler, cephe teknolojisinin gelişiminde önemli bir adım olarak kabul edilmekte, inşaat sektöründeki araştırmacı ve profesyonellerden ilgi görmektedir. İklime tepki veren yapı kabukları veri tabanına göre, günümüzde beş yüzün üzerinde tepki veren yapı kabuğu örneği bulunmaktadır. Ancak, bu örnekler temel olarak "deneysel, küçük ölçekli" veya "kamuoyunda iyi tanınan, yüksek bütçeli" projelerdir. Yüksek çevresel performans potansiyeli ve geniş teknoloji seçeneklerine rağmen, tepki veren cephelerin pratik kullanımı çok sınırlıdır. Bu duruma neden olan sorunları belirlemek için kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve aşağıda sıralanan bulgulara ulaşılmıştır:

- Tepki veren cepheler açıkça tanımlanmış ve çözümlenmiş değildir.
- Tasarımcıların tepki veren cephe tasarımı konusunda deneyim ve bilgi edinmeleri gerekmektedir. Ancak, uygulanmış sistemlerin, tasarım ve yapım süreçleri, performans ve kullanım değerlendirmeleri hakkında ayrıntılı bilgi literatürde bulunmamaktadır.
- Tepki veren cephelerin tasarımı ve performans değerlendirmesi karmaşık bir görevdir. Mevcut performans değerlendirme araçları bu süreçte yetersiz kalmaktadır.
- Tepki veren cephe tasarımını desteklemek için standart prosedürler, tasarım araçları ve yöntemleri gerekmektedir.
- Mevcut örneklerin çoğunluğu, yenilikçi teknolojiler içeren, proje odaklı geliştirilmiş, karmaşık ve özel çözümlerdir. Bu nedenle yüksek risk içeren zorlu projelerdir.

Yukarıda listelenen problemler göz önüne alındığında, tepki veren cephelerin pratik uygulanabilirliğini arttırmak için basit, esnek ve kolay erişilebilir çözümlere ve bu çözümleri elde etmek için iyi tanımlanmış prosedürlere ihtiyaç vardır. Böylece, tepki veren cephelerin, piyasadaki cephe sistemlerinin çoğu gibi, özelleştirilmiş endüstriyel ürünler haline gelmesi için bir temel sağlanabilir. Bu ihtiyaç bağlamında üretilebilecek çözümlerden biri, standart ürünler kullanarak, en az sayıda parça ve katmanla, tepki veren cephelerin tasarımı ve üretimini sadeleştirmektir. Bu yaklaşım kapsamında "ürün" terimi, yapı ürünü hiyerarşisi içerisinde, malzeme ile bileşen arasında değişen farklı bütünlük seviyelerindeki tüm cephe ürün seviyelerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Aynı şekilde, "standart ürün" terimi, standart malzemeden bileşene kadar değişen, değiştirilemez özelliklere ve üretim işlemlerine sahip tüm ürün seviyelerini kapsar.

Bu çalışmanın amacı, tepki veren cephelerin piyasada mevcut olan standart ürünlerle tasarımını desteklemek, sadeleştirme yoluyla uygulanabilirliğini arttırmak için bir tasarım modeli geliştirmektir. Bunun için gerekli altyapının oluşturulması amacıyla öncelikle kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Piyasadaki cephe sistemlerinin çoğunluğu proje ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen endüstriyel ürünlerdir. Bu cephelerin sistem tasarımı, belirlenen pazar ihtiyaçları bağlamında sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından ürün tasarımı süreçleriyle geliştirilmektedir. Bu bağlamda ürün tasarımı konusu çalışmaya dâhil edilmiştir. Ürün ve cephe tasarımı süreçleri incelenerek, gerçekleştirilen faaliyetler, alınan kararlar ve kullanılan sistematik yöntemler belirlenmiştir. Cephe tasarımı proje temelli olarak gerçekleştirildiğinden ve her proje farklı tasarım parametreleri içerdiğinden geliştirilen sistemin de bu duruma uyum sağlayabilecek esneklikte olması gerekmektedir. Bu nedenle standart ürünlerle esnek tasarımlara ulaşmayı sağlayacak tasarım özelleştirme yaklaşımları hem ürün hem de cephe tasarımı literatüründen araştırılmıştır. Cephe tasarımı ve ürün tasarımı arasındaki farklar tanımlanarak ürün tasarımı yaklaşımlarının cephe tasarımına uyarlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir. Tepki veren cephelerin tanımları, örnek projeleri ve sınıflandırma yaklaşımları incelenerek, tanımlayıcı özellikleri, tasarım kriterleri ve süreçleri belirlenmiştir.

Literatür araştırmasıyla derlenen veriler ışığında, tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı modelinin geliştirilmesine başlanmıştır. Çalışmada ele alınan tasarım problemi olası pek çok çözüm içeren açık uçlu bir problemdir. Bu bağlamda öncelikle tepki veren cephelerde standart ürünlerle tasarım probleminin çözümü için olası çözüm yolları, konsept çözümler, literatür araştırmasından elde edilen konsept değişkenlerinin seçim spektrumunda aldıkları değerlere bağlı olarak tanımlanmıştır. Geliştirilen bu konsept çözümler, çalışmanın hedefleri ve kısıtlamaları bağlamında belirlenen seçim kriterlerine göre değerlendirilmiş ve "yeniden tasarım" konsepti tasarım modeli olarak geliştirilmek üzere seçilmiştir.

Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesi iki aşamalı olarak ilerlemiştir. İlk aşamada tasarım yoluyla araştırma yöntemi benimsenerek, herhangi bir sistematik yöntem kullanılmadan mevcut bir tepki veren cephenin standart ürünler kullanılarak yeniden tasarımı üzerine bir ön çalışma yapılmıştır. Yeniden tasarım süreci tasarım günlüğü yöntemiyle kaydedilerek gerçekleştirilen faaliyetler belirlenmiştir. Bu faaliyetler kullanım amacı, elde edilen veriler ve uygulama kolaylığı bağlamında analiz edilmiş, geliştirilmesi gereken alanlar belirlenmiştir.

İkinci aşamada, ön çalışmayla tespit edilen tasarım süreci ve faaliyetleri sistematize edilerek geliştirilmiştir. Ön çalışmada tespit edilen tasarım faaliyetleri temel hedefleri bağlamında gruplandırılmıştır. Belirlenen eksiklikler ve geliştirilmesi gereken faaliyetler göz önüne alınarak ürün ve cephe tasarım süreçleri incelenmiş, ihtiyaç duyulan tasarım aşamaları modele entegre edilmiştir. Böylece beş aşamadan oluşan yeniden tasarım modeli taslağı oluşturulmuştur. Model taslağını oluşturan her bir süreç aşaması, tasarım alt problemleri ve aşamanın ön görülen çıktılarına bağlı olarak ayrı ayrı geliştirilmiştir. Ayrıntılı bir inceleme için her bir süreç aşaması bir ön çalışma üzerinde değerlendirilmiştir. Bu ön çalışmaların bulgularına dayanarak yeniden tasarım modelinin uygulanmasını kolaylaştıracak iyileştirmeler yapılmış; tasarım faaliyetlerine kontrol listeleri ve şablonlar eklenmiştir. Sonuç olarak, yeniden tasarım modeli DFA ve DFM'nin belirlenen araçlarının kombinasyonu, tersine mühendislik ve yeniden tasarım süreçlerinin sentezi ile geliştirilmiştir. Yeniden

tasarım modelinin aşamaları ve bu aşamalarda üretilen bilgiler sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır:

- Aşama I, Planlama: Yeniden tasarlanan cephenin sağlaması gereken özellikler, yani tasarım hedefleri ortaya koyulmakta ve bu hedefleri karşılamaya en yakın mevcut bir tepki veren cephe yeniden tasarımda kullanılmak üzere referans cephe olarak seçilmektedir.
- Aşama II, Referans cephe sisteminin tanımlanması: Tersine mühendislik süreçleri kullanılarak referans cephenin, tasarım mantığı ve fiziksel sisteminin özellikleri ortaya koyulmaktadır.
- Aşama III, Referans cephe sisteminin analizi: Cephe sisteminin yapılabilirlik, cepheyi oluşturan parçaların DFA entegrasyonuyla fonksiyonellik, cepheyi oluşturan parçaların ve cephenin üretim, montaj ve yapımında ihtiyaç duyulan ekipmanların erişilebilirlik analizi yapılarak yeniden tasarım stratejisi geliştirilmektedir.
- Aşama IV, Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı: Yeniden tasarım bu aşamanın dört modülü bağlamında gerçekleştirilir. İlk modülde sistem sadeleştirmesi form değişimi ve parça azaltma yoluyla sağlanır. İkinci modül yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemler entegrasyonuyla tasarım problemine yaratıcı çözümlerin arandığı problem çözme/fikir üretme modülüdür. Üçüncü modülde mevcut pazar ve proje koşulları bağlamında temin edilemeyen parçaların fonksiyonunu üstlenecek standart ürünler kriterlere bağlı değerlendirme yöntemiyle seçilir. Dördüncü modülde DFM entegrasyonuyla tüm parçaların birleşimi sağlanır.
- Aşama V, Yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi: Yeniden tasarlanan cephe iki aşamalı olarak değerlendirilmektedir. Öncelikle yapılabilirlik değerlendirmesi yapılarak hedeflenen iyileştirmenin sağlanması koşulu değerlendirilir. Yapılabilirlik iyileştirmesi sağlanmışsa ve yapılan değişimler bağlamında gerekli görülüyorsa performans değerlendirmesi yapılır.

Yeniden tasarım modelinin uygulanabilirliği bir örnek çalışmayla sınanmıştır. Modelin her bir aşaması uygulama kolaylığı ve fonksiyonelliği bağlamında değerlendirilmiştir. Yeniden tasarım modeli hem ürün hem de süreç odaklı, yapılandırılmış bir yaklaşımdır. Sistem sadeleştirmesi yoluyla yapılabilirliğin iyileştirilmesini destekler. Malzeme, üretim teknikleri ve yerel pazar koşulları gibi gerekli konularda kapsamlı bilgiye sahip uzmanlarla iş birliğiyle, tepki veren cephe tasarımından sorumlu tasarımcı tarafından kullanılması önerilmektedir. Modelin aşamaları, sistematik olarak gerçekleşen ve belirli sonuçlar doğurduğu kabul edilen tekrarlanabilir eylem kalıplarından ve takip edilmesi gereken adımlardan oluşmaktadır. Bu özellikleriyle modelin aşamaları sonuç üretme potansiyeline sahip, öğretilebilir, öğrenilebilir ve uygulanabilirdir. Gerçekleştirilen faaliyetleri desteklemek için geliştirilen kontrol listeleri, şablonlar ve değerlendirme kriterleri modelin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Model teoride sıralıdır; her aşama bir sonraki için girdi üretir. Ancak en iyi çözümü elde etmek için aşamalar içinde ve arasında çoklu yinelemelere ihtiyaç duyulabilir. Diğer yandan, yeniden tasarlanan cephenin kalitesi, referans cepheden ve modeli kullanan tasarımcıların uzmanlık seviyesinden izole edilemez.

DESIGNING ADAPTIVE FACADES WITH STANDARD PRODUCTS: REDESIGN MODEL

SUMMARY

Adaptive facades are considered to be an important step in the development of facade technology and receive increasing attention from researchers and professionals in the building sector, as they provide interior comfort conditions with low energy consumption. Currently, there are more than five hundred building examples with adaptive shells according to the climate adaptive building shells database. However, these examples are mainly "experimental, small-scale" or "high-profile, high-budget," projects. Despite their accepted potential of high environmental performance and wide range of technology options from high-tech to low-tech, the practical application of adaptive facades is very limited. A comprehensive literature review is conducted to determine the problems causing this situation, and the findings are listed below:

- Adaptive facades are not clearly defined and resolved in the field of architectural research. Change events are not adequately addressed or explored.
- Designers need to acquire experience and knowledge about designing adaptive facades. However, detailed information about design and construction processes, performance and post occupancy evaluations of existing cases are lacking in literature. Decisions on how adaptive facades are designed, operated, maintained and assessed remain a challenge. Questions such as, what sort of adaptation is needed, what type of behavior results the best performance and what is the maximum acceptable rate of change are still being researched.
- Design and performance evaluation of adaptive facades is a complex task, and existing performance assessment tools are insufficient to evaluate the adaptive facade systems.
- Standardized procedures, design support tools and methods are needed for adaptive facade design.
- Majority of the current examples are project-oriented custom solutions that develop complex one-of-a-kind products and involve innovative technologies, resulting in challenging projects with relatively high risks.

Considering the problems listed above, simple, flexible and easily accessible solutions are needed with well-described procedures to achieve these solutions to increase the practical application of adaptive facades. Thus, a basis would be provided for adaptive facades to become customized industrial products like the majority of regular facade systems on the market. In the context of this need, several approaches could be developed to achieve such solutions. One of those solutions is to

simplify the design of adaptive facades using products that are based on engineered standard products with the least number of parts and layers. Within the scope of this approach, the term “product” is used to describe all product levels of facades, between different levels of completeness from material to component, within the building product hierarchy. Likewise, the term “standard product” covers all levels of products with unalterable characteristics and manufacturing processes, ranging from standard material to component.

In addition to enhancing feasibility and constructability of adaptive facades, there are several other reasons for proposing the design of adaptive facades with standard products. Standard products are less expensive to design and provide time savings, considering design, documentation, prototyping and testing processes. The overhead cost of purchasing all the constituent parts and the cost of non-core-competency manufacturing can be reduced by using standard products. Suppliers are more efficient at their specialty, more experienced on their products, continuously improve quality, have proven track records on reliability, dedicate production facilities, produce parts at lower cost, offer standardized parts, and sometimes pick up warrantee/service costs. All these features of standard products support the maintenance, repair and operation processes as well as the manufacturing process.

The aim of this research is to develop a design model to support designing adaptive facades with standard products which are available on market, to improve constructability through simplification. In order to establish the framework of the research, a comprehensive literature review is conducted. The majority of the facade systems on the market are industrial products that can be customized according to project needs. The system design of these facades is developed by system providers/ manufacturers through product design processes in the context of identified market needs. Therefore, the subject of product design is included to the research. Product and facade design processes are analysed and the relevant activities, decisions and systematic methods are determined. Since the facade design is realised based on the project and each project contains different design parameters, the facade system must be flexible enough to adapt this situation. For this reason, design customization approaches to reach flexible designs with standard products is investigated from both product and facade design literature. The differences between the facade design and the product design are defined and the issues to be considered in adapting the product design approaches to the facade design are determined. The definitions, case studies and classification approaches of the adaptive facades are analysed and their descriptive characteristics, design criteria and design processes are determined.

In the light of the data compiled by the literature research, the model of designing adaptive facades with standard products has begun to be developed. The design problem discussed in this research is an open-ended problem with many possible solutions. In this context, firstly, possible solutions, namely design concepts, are defined depending on the concept variables obtained from the literature review. These concept solutions are evaluated according to the selection criteria determined in the context of the objectives and limitations of the research and the “redesign” concept is chosen to be developed as the design model.

The development of the redesign model is realized in two stages. In the first stage, research through design methodology is adopted. A preliminary study is carried out on the redesign of an existing adaptive facade with standard products without using any systematic method. The redesign process is recorded with the design diary

method and the design activities are determined. These activities are analysed in the context of the purpose of use, generated data and ease of implementation; and the areas to be developed are identified.

In the second stage, the design process and activities determined by the preliminary study are developed by systematization. The design activities identified in the preliminary study are grouped in the context of their main objectives. Product and facade design processes are reviewed by taking into account the identified deficiencies and the activities that need to be improved; the required design phases are integrated into the model. Thus, a framework of the redesign model consisting of five phases is generated. Each design phase is developed separately depending on the design sub-problems and the predicted outputs of the phase. An iterative loop of development, application test and review process is carried out. Based on the findings of these reviews, improvements are made to facilitate the implementation of the redesign model; checklists and templates are added to the design activities. As a result, the redesign model is developed by the combination of the identified tools of DFA and DFM, with the synthesis of reverse engineering and redesign processes. The phases of the redesign model and the information generated in these phases are explained in the following order:

- Phase I, Planning: The characteristics that the redesigned facade needs to provide, the design objectives of the redesign, are introduced. An existing adaptive facade closest to meet these objectives is chosen as the reference facade for redesign.
- Phase II, Definition of The Reference Facade System: Using the reverse engineering process, the design logic and the physical system of the reference facade are defined.
- Phase III, Analysis of The Reference Facade System: Redesign strategy is developed by constructability, function and availability analysis of the reference facade system.
- Phase IV, Redesign of The Reference Facade System: The redesign is carried out in the context of the four modules of this phase. In the first module, system simplification is achieved through form change and part reduction. The second module is a problem solving/idea generation module that seeks creative solutions to the design problem with integrating of systematic methods that support creativity. In the third module, the standard products are selected to support the function of the parts which cannot be provided from the local market. In the fourth module, all parts are joined with DFM integration.
- Phase V, Evaluation of The Redesigned Facade System: The redesigned facade is evaluated in two stages. First, a constructability evaluation is carried out to determine whether the targeted improvement is achieved. If the target constructability improvement is provided and in the context of the changes made at the reference facade system, deemed necessary, performance evaluation is implemented.

Subsequent to the model development, its application is tested through a case study. Each phase is evaluated separately in terms of functionality and ease of application. The redesign model is a both product and process focused, structured approach towards manufacturing adaptive facades with standard products. It supports

improving constructability through system simplification. Proposed to be used by the designer responsible from the adaptive facade design with experts who have a comprehensive knowledge on required subjects, such as materials, production techniques and local market conditions. The phases of the model consist of repeatable patterns of actions and steps that need to be followed, which are systematically realized and are considered to produce certain results. With these features, the phases of the model are teachable, learnable and applicable. Checklists, templates and evaluation criteria developed to support the redesign activities facilitate the implementation of the model. Model is sequential in theory; each phase produces input for the next. Although multiple iterations within and between the phases could be needed to achieve the best solution. Even it is assumed that the systematical methods could restrict creativity and innovation, it is a case-based attitude, and use of the model could also be thought-provoking by imposing actions that the designers do not conceive. Furthermore, the model is available for extension. It can accommodate additional tools for design analysis to support unforeseen design objectives. It can also be utilized at original adaptive facade design after determining the product architecture, to analyze and improve the design for manufacturing.

Besides all the promising features, there are some limitations of the model. The quality of the redesigned adaptive facade cannot be isolated from the reference facade and level of expertise of the designers using the model. Therefore, the right choice of experts and reference facade has great impact on redesign quality. Although redesign is a widely used method in product design, its practical application in adaptive facade design is currently limited due to the lack of detailed information about existing adaptive facades. Moreover, absence of product databases makes it difficult to select products in a controlled way, which also affects the connection design and may cause extra design iterations.

1. GİRİŞ

Cephelerin bina enerji etkinliği ve iç mekân konfor koşullarını sağlamadaki kilit rolü uzun zamandır bilinmektedir. Düşey yapı kabukları olarak da anılan cephe sistemleri, mekânı şekillendiren, sınırlandıran, iç mekân ile dış mekânı birbirinden ayıran ve bağlayan, iç mekânı dış ortam koşullarından koruyarak, kullanıcıların ihtiyaç duyduğu konfor şartlarının oluşturulması ve sürdürülmesini sağlayan yapı alt sistemleridir. Yüzyıllar boyunca mimar ve mühendislerin cephe tasarımındaki nihai hedefi cephenin "ayırma etkisini" optimize etmek olmuştur. Bu durum genel olarak cephe bileşenlerinin ısı yalıtımı, hava sızdırmazlık gibi özelliklerinin iyileştirilmesiyle sağlanmıştır. Enerji korunumu olarak adlandırılan bu yaklaşım yakın zamana kadar cephe ve yapı tasarımına yön vermiştir. Bu cepheler literatürde, sabit özellikler taşıyan, nitelik açısından "değişmez" pasif sistemler olarak kabul edilmektedir. Bu cephe sistemleri günlük ve yıllık çevre (ortam) değişimlerine ve değişen kullanıcı ihtiyaçlarına cevap veremezler.

Zaman içinde enerji korunumu yaklaşımının bilinçsiz kullanımının yol açabileceği kısıtlar ve dezavantajlar ortaya çıkmaya başlamış; özellikle aşağıda belirtilen üç ana konu önem kazanmıştır (Perino ve Serra, 2015).

- *Enerji korunumu prensiplerinin gereğinden fazla ve tenkit edilmeden uygulanmasından kaynaklanan aşırı ısınma sorunu.*
- *Isıtma, soğutma, aydınlatma ve elektrik enerjisi talebinin göreli ağırlığında değişim.* Günümüzde, soğutma, yapay aydınlatma ve elektrik kullanımı yükleriyle ilgili enerji tüketimi, ısıtma enerjisi talebi ile kıyaslanabilecek düzeydedir.
- *Azalan verim kuralına bağlı sonuçlar.* Mühendislik ve ekonomi alanlarında yaygın olarak kullanılan bu kurala göre, tüm süreçlerde değişkenlerden sadece biri iyileştirilip diğerleri sabit tutulduğunda bir noktadan sonra birim başına daha düşük verim elde edilir. Cephe örneği üzerinden bakıldığında enerji korunumu yaklaşımı şimdiye kadar yüksek performanslı sonuçlar elde

etmemizi sağlamıştır. Fakat bu stratejiyi daha da ileriye taşımak, giderek artan maliyetlerle sadece marjinal iyileştirmeler sağlayacaktır.

1970 yıllarının başında yaşanan enerji krizi, artan enerji maliyeti, çevresel sorunlara karşı artan bilinç ve yapı kullanıcılarının memnuniyetsizliği cephe sistemlerinin evrimindeki bir sonraki adımın gerçekleşmesini tetiklemiştir. Bununla beraber yasal düzenlemelerle de binaların enerji tüketimi kısıtlanmakta, enerji etkinliğinin sağlanmasına yönelik önlemler alınmaktadır. Yeni Avrupa yasal çerçevesi (Avrupa Komisyonu, 2010) 2020 yılına yönelik, tüm yeni binaların uymak zorunda kalacağı "neredeyse Sıfır Enerji Bina" (nearly Zero Energy Building, nZEB) olarak adlandırılan iddialı bir hedef belirlemiştir. Tasarımcılar binaların genel enerji talebini değerlendirmeye ve tasarımlarında "Sıfır Enerji Bina" (Zero Energy Building, ZEB) veya "neredeyse Sıfır Enerji Bina" idealini hedef almaya başlamışlardır. Günümüzde cephelerin yapının mimari fonksiyonunu temsil etmek gibi estetik görevleri dışında, konfor ihtiyaçlarını da istenilen düzeyde ve sürekli olarak sağlaması beklenmektedir. Konfor ihtiyaçlarını sağlamak üzere cephelerden beklenen nitelikler, enerji korunumu/kazanımı, doğal aydınlatma, doğal havalandırma, güneş kontrolü, ışık kontrolü, gürültü kontrolü gibi giderek artıp karmaşıklaşmakta, sürdürülebilirlik ve enerji etkinlik endişeleriyle de çeşitlenmektedir.

Geleneksel enerji korunumu yaklaşımının artık ihtiyaçlara cevap verememesi ve önem kazanan yeni ihtiyaçlar çerçevesinde, cephe tasarımında nitelikli değişiklikler içeren yeni kavramlar ve teknolojilere ihtiyaç duyulmuştur. Bu durum cephe tasarımında "paradigma değişimi" olarak da nitelendirilerek, geleneksel eylem tarzında köklü bir değişikliğe neden olmuştur. Perino ve Serra (2015) bu paradigma değişiminin aşağıda belirtilen üç ana hat üzerinde meydana geldiğini ortaya koymuştur:

- *"Kalkan, bariyer ve bölme" anlayışından "arayüz, barınma yeri ve yönetim" anlayışına değişim:* Günümüzde yerel iklimin ve doğal kaynakların sunduğu fırsatlardan yararlanmak zorunludur. Bu nedenle cepheler dış ortam koşullarına karşı bir kalkan, bariyer ya da bölme görevi görmek yerine, dış ve iç ortam arasında bir arayüz olarak tasarlanmalı, enerji transferinin gerçekleştiği bir mekânsal alan olduğu farkındalığıyla, burada gerçekleşen olayların yönetilmesi sağlanmalıdır.

- *"Değişmez, statik ve genel" anlayışından "dinamik, adapte olan, tepki veren ve özelleştirilmiş" anlayışına değişim:* Bir binanın yapısal elemanlarının strüktür, görünüş, özellik ve davranışları değişmez bileşenler olduğu görüşü, günümüz ihtiyaçları açısından fazlasıyla sınırlandırıcı ve yetersiz olmaya başlamıştır. Cephelerin değişmez ve statik konseptinden; mevsimler, çalışma koşulları, kullanıcı ihtiyaçları gibi değişkenlere tepki verecek ve ortama adapte olacak şekilde, dinamik davranışlar göstermesi konseptine geçiş yapması daha kapsamlı yenilikler sağlama potansiyeli sunmaktadır. Bununla beraber, sıklıkla kullanılmakta olan "her duruma uygun çözüm" yaklaşımının hiç de fonksiyonel olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumun tipik örneklerinden biri cam giydirme cephelerin farklı çevre koşullarında kullanılmasıyla karşılaşılan sorunlardır. Bu nedenle genel çözüm yaklaşımlarından projeye göre özelleştirilmiş çözüm yaklaşımlarının kullanılmasına doğru bir değişim görülmektedir.
- *"Tek fonksiyon ve tek davranış" anlayışından "çok fonksiyonluluk ve entegrasyon" anlayışına değişim:* Mevcut cephe teknolojilerinin çoğu "pasif" veya "dirençli" unsurlardan oluşmaktadır. Ancak enerji verimliliğinde belirgin bir iyileştirme ancak "aktif" bileşenlerin tasarlanmasıyla sağlanabilir. Bu aktif bileşenler genellikle çok fonksiyonludurlar; enerji üretim/koruma sistemlerine ev sahipliği yapar, havalandırmada rol oynar ve aydınlatma stratejileri ile birleştirilirler.

Cephe tasarımındaki bu paradigma değişimi cephenin opak ve saydam bileşenlerini ortama duyarlı birer "yaşayan" eleman haline getirmiştir. Böylece cephe sistemlerinin geliştirilmesinde adaptasyon, tepki verme, dinamik davranış, entegrasyon, çok fonksiyonluluk, iç ve dış ortam koşullarının bağdaştırılması yaklaşımları ön plana çıkmaya başlamıştır.

Tüm bu gelişim sürecinin yanı sıra, esnek ve zaman içinde bir çeşit değişim gösteren mimari konseptinin yeni bir kavram olduğu söylenemez. Le Corbusier, 1929 gibi eski bir tarihte, "Precisions: On the Present State of Architecture and City Planning" adlı eserinde iç mekân iklimi üzerinde olumlu etkisi olan bir yapı kabuğu konsepti geliştirmiştir (Knaack ve diğ, 2014). 1954 yılında ise Gropius, öngörülemezlik ve belirsizlik kavramlarına değinerek "dinamik özellikleri absorbe etme esnekliği" sağlayan ve "yaşam akışını" somutlaştıran bir mimarlık fikrinin çerçevesini çizmiştir

(Bolbroe, 2014). Bugün kullandığımız haliyle tepki veren mimarinin ilk konseptleri ise 1960'ların sonu ile 1970'lerin başında, sibernetik, yapay zekâ ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda ortaya çıkmıştır (Kolarevic, 2015). Mimarlıkta sibernetiğin ilk savunucusu olan Gordon Pask, 1960'lı yıllarda "İletişim Kuramı (*Conversation Theory*)" kavramıyla etkileşimli ortamların temellerini belirleyen kişi olarak tanınmaktadır. Pask'ın fikirlerinin iş birliği yaptığı Cedric Price ve Nicholas Negroponte'nin üzerinde büyük bir etkisi olmuştur. 1972 yılında Charles Eastman, mekânlardan ve kullanıcılardan gelen geribildirimlere dayanarak kendini ayarlayan "uyarlamalı koşullu mimarlık" kavramını geliştirmiştir. Bu kavramla otomatik sistemlerin binaların tepkilerini kontrol edebileceğini öne sürmüştür. 1981 yılında Mike Davies, cephenin tüm işlevlerinin birkaç katmana sahip bir eleman tarafından yerine getirileceği bir "çok değişkenli duvar" fikrini formüle etmiştir (Knaack ve diğ, 2014). Bu çok değişkenli duvar, ihtiyaç duyulan enerjiyi de kendi üretmektedir.

Paris'te 1989 yılında tamamlanan, Jean Nouvel tasarımı, Arap Dünya Enstitüsü (*Institut du Monde Arabe*) binası, ortam koşullarına dinamik tepki veren bir cepheye sahip ilk büyük ölçekli bina olarak kabul edilmektedir (Kolarevic, 2015). Çağının ve mevcut teknolojinin ilerisinde bir anlayışla tasarlanan bu yenilikçi cephe, teknik sorunlar nedeniyle uzun süre fonksiyonelliğini koruyamamıştır.

Bu ilk örneklerden sonraki pek çok yıl boyunca, teknolojik kısıtlamalar tepki veren cephelerin uygulanabilir bir alternatif olarak kabul edilmesini engellemiştir. Daha sonra, başta malzeme biliminde yaşanan hızlı gelişmeler ile cepheye çeşitli faktörlere tepki verme özelliği kazandıran nanoteknoloji ürünü akıllı malzemelerin üretimi ve buna paralel olarak donanım, sensör ve aktüatörlerin fiyatındaki düşüşler tepki veren cepheleri ekonomik açıdan daha cazip hale getirmiştir (Loonen ve diğ, 2013). Bu süreçte teknoloji ve sektörler arası iş birliği, tepki veren cephe sistemleri oluşturmanın yolunu açan iki önemli unsur olmuştur. Üretim ve yazılım endüstrilerinden gelen teknoloji, tepki veren cepheleri oluşturan bu yeni tasarım/yapım sürecini yönlendirmiştir (Hathaway, 2015).

1990 yıllarının sonunda, binaların enerji taleplerine daha fazla dikkat edilmesi ve enerji kullanımını izlemek ve yönetmek için kullanılabilecek sistemlerin gelişmesiyle, cephe sistemleri teknolojik yeniliklerin odağı haline gelmiştir. Kontrollü havalandırmalı hava boşluğu ve hareketli, entegre güneş kırıcı veya

panjuru olan çift kabuk cephe sistemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Ardından, ortam koşullarına tepki veren, uyarlanabilen, değişken, etkileşimli, kinetik veya dinamik cepheler, aktif ve yüksek performanslı cephe kavramları mimarlığın kelime hazinesine ve uygulama alanına girmiştir.

Pek çok niteliği birleştirerek karmaşıklaşmaya ve çeşitlenmeye başlayan cephe sistemleri içinde tepki veren cepheler, cephe teknolojisinde önemli bir yenilik olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber, tepki veren cephe konusunun iyi tanımlanmış ve sınırları belirlenmiş bir araştırma alanı olduğu söylenemez. Tepki veren cepheleri tanımlayan karakteristik özellikler belirsizdir. Literatürde çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayabilen cepheler için kullanılan pek çok terim bulunmaktadır. Bu terimlerden bazıları şunlardır: adaptif (*adaptive*), değişken, tepki veren (*responsive*), etkileşimli (*interactive*), tepkisel, tepkimeli, performatif, akıllı (*smart, intelligent*), dinamik (*dynamic*), kinetik (*kinetic*), gelişmiş (*advanced*) ve değiştirilebilirdir (*switchable*). Bu terimlerin anlamları farklılıklar içermesine rağmen genellikle birbirlerinin yerine kullanılmaktadırlar. Tüm bu terimler içinde "tepki veren" ifadesi, ele alınan cephe sistemlerinde gerçekleşen değişim olayının işleyiş mekanizmasını daha iyi tanımladığından, bu çalışmada kullanılan terim olarak benimsenmiştir.

Tepki veren cephelerle ilgili en güncel ve kapsamlı tanımlardan biri Loonen ve diğ. (2013) tarafından yapılan iklime adapte cephe tanımıdır. Buna göre bir iklime adapte cephe; fonksiyonlarını, özelliklerini ve davranışlarını değişen performans ihtiyaçlarına ve değişken sınır koşullara bağlı olarak mükerreren ve geri dönüşümlü olarak değiştirme yeteneğine sahiptir ve bunu tüm binanın performansını iyileştirmek amacıyla yapar. Çok fonksiyonlu sistemlerden oluşan tepki veren cepheler, değişen kullanıcı ihtiyaçlarına ve çevresel durumlara, kısa (saniyeler) ya da uzun (yıllar) zaman döngülerinde adapte olurlar. Yapılı çevrede enerjinin korunumu ve/veya etkili kullanımı ile kullanıcı konforunu sağlamaları, dolayısıyla sürdürülebilirliğin arttırılması açısından gelecek vaad eden bir sistem oluşturmaları nedeniyle de günümüzde araştırmacı, tasarımcı ve üreticilerin ilgisini çekmektedirler.

1.1 Problemin Tanımlanması

Cephe sistemlerinin gelişiminde yeni bir kilometre taşı kabul edilen tepki veren cephelerin güncel durumun belirlenmesi amacıyla kapsamlı bir literatür araştırması

yapılmış, özellikle uygulanmış projeler tasarım, üretim, montaj, işletme, kullanım ve bakım-onarım süreçleri açısından incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda inşaat endüstrisinde tepki veren cephelerin kavramsal niteliklerine değer verildiği; fakat pratikteki uygulamaların sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Sürekli olarak güncellenen "Climate Adaptive Building Shell" veri bankasına göre günümüzde, iklime adapte yapı kabuğuna sahip beş yüzden fazla proje örneği bulunmaktadır (Loonen, 2013). Bu projeler temel olarak küçük ölçekli deneysel veya kamuoyunda tanınan, yüksek bütçeli projelerle sınırlıdır (Loonen ve diğ, 2013). Tepki veren cephelerin deneysel bir konsept olarak algılanmasından uzaklaşılarak, uygulanabilir bir tasarım alternatifi haline gelmesini sağlamak için çalışmalar yapılması gerekmektedir (Solla, 2014).

Literatür araştırması sonucu elde edilen veriler ışığında tepki veren cephelerin inşaat endüstrisinde yaygın olarak benimsenmesi ve geliştirilmesine engel olarak aşağıda sıralanan problemler belirlenmiştir.

• *Tepki veren cephe konseptinin kapsamındaki belirsizlik:* Kapsamın tanımlanmasında etkili olan, literatürde genel olarak kabul edilmiş, ortak bir terminoloji, tanım ya da sınıflandırma bulunmamaktadır. Bu nedenle tepki veren cepheler, mimari araştırma alanında açıkça tanımlanmış ve çözümlenmiş olarak kabul edilememektedir (Schnädelbach, 2010; Gosztonyi, 2015; Attia ve diğ, 2015). Buna paralel olarak Kolarevic (2015) de cephelerde değişim olgusunun yeterince ele alınmadığını ya da araştırılmadığını belirtmektedir.

• *Tasarımcıların deneyim ve bilgi eksikliği:* Tepki veren cephe sistemlerinin binaların bütünleyici bir öğesi olarak daha sık kullanılabilmesi için, mimarların cephede sağlanan değişimin oranları, ölçekleri, türleri gibi verilerle ilgili bilgiye ve bunların tasarımda kullanımı ile ilgili deneyime sahip olmaları gerekmektedir (Meagher, 2015; Loonen ve diğ, 2017). Bu noktada ortak bilinci arttıracak şekilde deneyimlerin paylaşılması önem kazanmaktadır. Dünya çapında pek çok yapı tepki veren cephe sistemleri ile inşa edilmiştir. Fakat bu sistemlerin nasıl tasarlandıkları, değerlendirildikleri, üretildikleri, işletildikleri, onarıldıkları ve gerçek performansları ile ilgili bilgiler genellikle açıklanmamaktadır (Attia ve Bashandy, 2016; Attia, 2017). Bu nedenle tepki veren cephe tasarımında ve üretiminde alınan kararlar ve bunların nasıl alındığı hala tam olarak ortaya koyulamamıştır. Cephelerde ne tür bir tepki mekanizmasına ihtiyaç duyulduğu, hangi tür davranışların en iyi performansa

yol açtığı ve maksimum kabul edilebilir değişim oranının ne olduğu gibi sorular hala araştırılmaktadır.

- *Geleneksel tasarım yöntemlerinin tepki veren cepheler için yetersiz kalması:* Tepki veren cepheler, çeşitli fiziksel etkileşim alanlarında etkin, birbiriyle ilişkili birkaç bileşenden oluşan, doğal olarak da karmaşık sistemlerdir. Cephe bileşenlerinin çatışan performans hedeflerini gerçek zamanlı olarak sağlamaları için bir dengeyi yakalamaları gerekmektedir. Tepki veren cephelerin bu kendiliğinden dinamik yapısı, tasarımlarını bir "yapı" yerine bir "süreç" tasarımına dönüştürmektedir (Moloney, 2007). Ayrıca, optimize edilmiş tepki veren cephe tasarımının sağlanması, erken tasarım evresinden itibaren mimar, mühendis, üretici, girişimci ve yüklenici gibi çeşitli disiplinlerden uzmanların sürece entegre olarak iş birliği yapmalarını gerektirmektedir (Hathaway, 2015). Bu nedenlerle, geleneksel tasarım yöntemleri bu sistemler için yetersiz kabul edilmektedir. Geçmiş deneyimlere veya temel kurallara dayanarak tasarım yapmak artık yeterli olmamaktadır (Loonen, 2010). Tepki veren cepheler için standart hale getirilmiş tasarım yöntemleri, tasarım destek araçları ve yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Bolbroe, 2014; Loonen ve diğ, 2015).

- *Mevcut örneklerin genellikle karmaşık ve özel çözümler olarak tasarlanması:*

Günümüze kadar üretilen tepki veren cephelerin çoğunluğu sistem tasarımı ve üretimi açısından yüksek karmaşıklık düzeyinde sahip özel çözümlerdir. Bu durum temel olarak cephenin form ve yüksek performans ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli malzemeler ve süreçlerden kaynaklanmaktadır. Bu cepheler belirli bir projeye özel olarak, siparişe göre mühendislik (engineer-to-order, ETO) tasarım sürecini kullanarak üretilmektedirler. Karmaşık bir form, düzensiz açıları ve düzlemleri veya karmaşık eğrilikler içeren tek veya çift yönlü kavisli yüzeyleri barındırmaktadır (Piroozfar ve Farr, 2015). Sistem karmaşıklığı ise, sistemi açıklamak için gereken bilginin miktarıyla ilgilidir (Kolmogorov, 1983). Aynı zamanda sistemdeki (benzeri olmayan) elemanların ve bunların ara bağlantılarının sayısı ile niteliğinin bir fonksiyonu şeklinde tanımlanır. MIT Mühendislik Sistemleri Bölümü (2002) (Engineering Systems Division) karmaşık sistemleri "tanımlamak, anlamak, tahmin etmek, yönetmek, tasarlamak ve/veya değiştirmek zor olan çok sayıda bileşen ve ara bağlantılar, etkileşimler ya da bağımlılıklar içeren bir sistem" şekilde tanımlar (Magee ve De Weck, 2004). Form ve sistem karmaşıklığı doğrusal olarak üretimin

de karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Projeye özel, eleman/bileşen üretimi ve üretim süreçlerinin tanımlanması gerekmektedir.

Tepki veren cephe sistemlerinin karmaşıklaşmasının nedenlerinden biri de tasarım konseptinde belirlenen kararların üretim ve performans ihtiyaçlarıyla çelişmesidir (Attia ve Bashandy, 2016; Attia, 2017). Proje odaklı geliştirilmiş özel çözümler genellikle integral ürün mimarisine sahip olduğundan, bu karmaşık sistemlerin sürekli geliştirme sürecine dâhil olup, başka projelere uyarlanarak tekrar kullanılmaları zordur.

Sistemin karmaşıklık düzeyi arttıkça, yapım, bakım, onarım ve işletme gibi süreçlerde de daha çok zorluk yaşanmaktadır. Institut du Monde Arabe (1988), tepki veren cephelerin mimari ile entegrasyonunda ortaya çıkabilecek bakım ve onarım güçlükleriyle ilgili verilebilecek önemli bir referanstır. 480 ışık sensörü tarafından kontrol edilip, bireysel olarak çalıştırılan aynı sayıdaki diyafram grupları, tasarlandıkları şekilde fonksiyonlarını yerine getirememişlerdir. Binanın 1988'deki açılışından üç yıl sonra diyaframlar, 480 duvara ankastre sensör pas geçilerek, merkezi kontrole bağlanmış; altı yıl içinde ise diyaframların fonksiyonu tamamen durmuştur. Problemin ne kadarının tasarımdan ne kadarının ise karmaşık sistemin yetersiz bakım düzeninden kaynaklandığı bilinememektedir. Yine de tepki veren cephelerin uzun dönem dayanıklılığına, bakım ve onarım ihtiyaçlarına tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereğiyle ilgili önemli bir örnektir.

- *Performans değerlendirme araçlarının tepki veren cephe sistemlerini değerlendirmede yetersiz kalması:* Performans, binanın yapısı ve yönü, cephe özellikleri, kullanıcı davranışları, hava koşulları ve kontrol eylemleri gibi birbiriyle ilişkili birçok faktörün etkileşimi sonucunda belirlenir. Bu dinamik, doğrusal olmayan ve çoklu fiziksel etkileşimlerle baş etmek zor olduğundan, performansın tahmin edilmesi çok karmaşık, zaman alıcı ve belirsiz bir eylemdir. Tepki veren cephe sistemlerinde bu daha da karmaşıktır; çünkü bir ya da daha fazla değişkenin (örneğin, kullanıcının konfor seviyesi) değişikliğine dayanan, cephenin fiziksel olanaklarındaki değişiklikleri dikkate alan bir model yaratmak gerekmektedir (Struck ve diğ, 2015). Tepki veren cephelerin performansının proje bazında çok spesifik ve aynı zamanda içeriğe bağlı olması, evrensel kurallar veya derecelendirme programlarında ele alınmasını uygulanamaz hale getirmektedir (Loonen ve diğ, 2013). Problem formülasyonunun karmaşık yapısı ve mevcut yazılımların

sınırlamaları gerçek cephe performansının tespitini zorlaştırmaktadır (Boer ve diğ, 2011). Tepki veren cephelerin tasarım ve performans değerlendirmesi normalden daha karmaşık bir eylem olduğundan mevcut performans değerlendirme araçları yetersiz kalmaktadır (Loonen ve diğ, 2017; Boer ve diğ, 2011; Struck ve diğ, 2015). Bu durum tepki veren cephelerin performansıyla ilgili temel bir kavrayış ve farkındalık eksikliği yaratmaktadır. Tasarım aşamasında cephenin operasyonel performansını gerçekten tahmin edebilen araçlara ihtiyaç duyulmaktadır (de Wilde, 2002).

- *Optimum cephe değişim/tepki oranının belirlenmesinde yaşanan güçlükler:* Konfor açısından en iyi performansın ne olabileceğini sorgulamanın haricinde, kabul edilebilir maksimum değişim oranının belirlenmesinin önemi de tartışılmaktadır (Kim ve Kim, 2007). Etki faktörüne duyulan hassasiyet ve buna bağlı olarak tepki verme süresinin kısalması, kontrol mekanizmasının hassasiyeti ve çevresel verilerin işlenmesi süreçlerini karmaşıklaştırmaktadır. Optimum cephe değişim/tepki oranının belirlenebilmesi için hangi değişikliklerin gerekli, yararlı, arzu edilir ve mümkün olduğu incelenmelidir (Kolarevic, 2015). Loonen (2011), aylar yerine mevsimler ölçeğinde değişen bir cephenin, daha iyi performans gösteren bir alternatif sunabileceğini ve aynı zamanda düşük maliyetli low-tech tasarım çözümlerine olanak sağlayabileceğini belirtmiştir.

- *Cephe-kullanıcı etkileşimi ile ilgili yaşanan sosyal ve psikolojik sorunlar:* Büyük ölçüde makineleştirilmiş, dış ortam koşullarına duyarlı ve tepki veren herhangi bir sistemin tasarımındaki kritik bir konu da kullanıcının sistem kontrolü üzerindeki etkisinin tanımlanmasıdır. Tamamen otomasyona bağlı, kullanıcı kontrolüne izin vermeyen, kontrol sisteminin kararını geçersiz kılmanın mümkün olmadığı sistemler, kullanıcı ihtiyaçlarını sağlamakta yetersiz kalabilmektedir. Örneğin Al Bahr binasında kullanıcılar otomatik kontrol sisteminden rahatsız olduklarını belirtmişlerdir (Attia, 2017). Cepheye kurulmuş otomatik bir sistem, ortamdan rahatsız olan kullanıcılar tarafından sık sık manuel olarak devre dışı bırakıldığında kullanım ömrü de tasarlanan kadar uzun olmayacaktır (Kolarevic ve Parlac, 2015). Harici kontrol sistemleri kullanıcıya kontrol imkânı tanıdığından ve gelişmiş otomasyon stratejilerinin kullanılmasına izin verdiğinden iç kontrol sistemine göre daha etkili bulunmaktadır (Loonen ve diğ, 2011). Bununla birlikte kullanıcıların tepki veren cephelerle olan etkileşimleriyle ilgili yaşadıkları sosyal ve

psikolojik sorunlar ya da tereddütler bu cephe sistemlerine olan talebin artmasını da engellemektedir.

Bu çalışmada, tepki veren cephelerin inşaat endüstrisinde yaygın olarak benimsenmesi ve geliştirilmesi konusunda engel teşkil eden, yukarıda sıralanan problemler içerisinden karmaşık ve özel çözümler olarak tasarlanmaları konusuna odaklanılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Cephe tasarımı yaklaşımlarındaki paradigma değişiminin bir sonucu olarak ön plana çıkan tepki veren cepheler henüz olgunlaşmış bir cephe sistemi türü olarak düşünülemez. Sektörün değişen performans gereksinimleri bağlamında tepki veren cepheler çok etkili bir konsept olarak kabul edilse de yaygın olarak uygulanabilir bir cephe sistemi/ürünü haline dönüştürülmeleri konusunda kapsamlı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Mevcut sistemlerin proje bazlı, özel ve karmaşık sistemler olarak siparişe göre mühendislik süreçleriyle üretilmeleri problemine karşın, sistemin uygulanabilirliğini arttıracak, teknik çözümlerin projeler arasında yeniden kullanılmasını destekleyecek, basit, esnek, kolay ulaşılabilir ve güvenilir çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece, tepki veren cephelerin piyasadaki cephe sistemlerinin çoğunluğu gibi özelleştirilmiş endüstriyel ürünler haline gelmesi için bir temel sağlanacaktır. Bu ihtiyaç bağlamında çeşitli çözüm yaklaşımları geliştirilebilir. Bu çalışmada ele alınan çözümün temel amacı tepki veren cephelerin tasarımı ve üretimini sadeleştirmek ve standartlaştırmak böylece uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla standart ürünlerle tasarlanmasını sağlamaktır.

Bu amaç kapsamında cephe sistemleri için kullanılan “ürün” terimi Eekhout (2008) tarafından geliştirilen yapı ürünü hiyerarşisinde malzeme ile bileşen arasında yer alan farklı bütünlük seviyelerindeki tüm cephe ürün düzeylerini tanımlamak için kullanılır. Benzer şekilde, “standart ürün” terimi, standart malzemeden bileşene kadar, değişmeyen özelliklere ve üretim işlemlerine sahip tüm ürün düzeylerini kapsamaktadır (Eekhout, 2008).

Çalışmaya konu olan tepki veren cepheler, iklim verilerine hareketli cephe elemanlarıyla dinamik olarak tepki veren cephelerdir. İklim verileri haricindeki

değişkenlere tepki veren cepheler ile değişkenlere verilen tepkilerin malzemenin iç özellikleri kapsamında sınırlı kaldığı statik tepki veren cepheler kapsam dışındadır.

Çalışmanın amacı bu ölçekte çok geniş bir araştırma alanına sahiptir. Literatürde henüz ele alınmamış olan bu konuda çalışmaya başlangıç noktası oluşturabilecek bir bilgi birikimi bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmanın kapsamını tanımlamak için öncelikle tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımında kullanılabilecek çözüm yolları, konseptler, tanımlanmıştır. Konsept çözümlerin hedefi tek bir yapı için üretilen özel tasarım sistemler yerine, pazarlanabilir ürünlerin tasarlanmasına öncülük eden standartlaşma, tekrarlama ve uyum üzerine yoğunlaşmış, proje ihtiyaçlarına bağlı olarak belirli miktarda özelleştirilebilen tepki veren cephe konseptleri geliştirmektir. Buna endüstriyel tasarım modellerinin cephe tasarımına entegre edilmesi ve tasarımın gerçekleştirilmesinde gerekli olan mühendislik ihtiyacının düşürülmesiyle ulaşılabilmektedir. Tanımlanan konseptler içinden bu çalışmada geliştirilecek konseptin belirlenmesi şu hedefler bağlamında gerçekleştirilmiştir: düşük geliştirme riski, yüksek gelişme kapasitesi, yüksek cephe performansı, teknik erişilebilirlik ve yüksek standardizasyon düzeyi. Bu bağlamda standart ürünlerle yeniden tasarım konsepti geliştirilmek üzere seçilmiştir. Çalışmanın kapsamı mevcut tepki veren cephelerin, sadeleştirilmesi ve standartlaştırılmasını sağlamak amacıyla, standart ürünlerle yeniden tasarımında kullanılacak bir tasarım destek modelinin geliştirilmesi olarak belirlenmiştir. Yeniden tasarlanacak tepki veren cephenin her biri çeşitli fonksiyonları ve uyarlanabilir performansı sağlayan birleşenlerinin, en az sayıda malzeme ve katman kullanılarak, işlenmiş standart ürünlerden meydana gelmesi hedeflenmektedir. Yapılması gereken, tasarım, tedarik ve yapımda davranış değişikliğine giderek, şimdiye kadar izole edilmiş bu eylemleri hızı çözüm oluşturabilecek bir sisteme entegre etmektir.

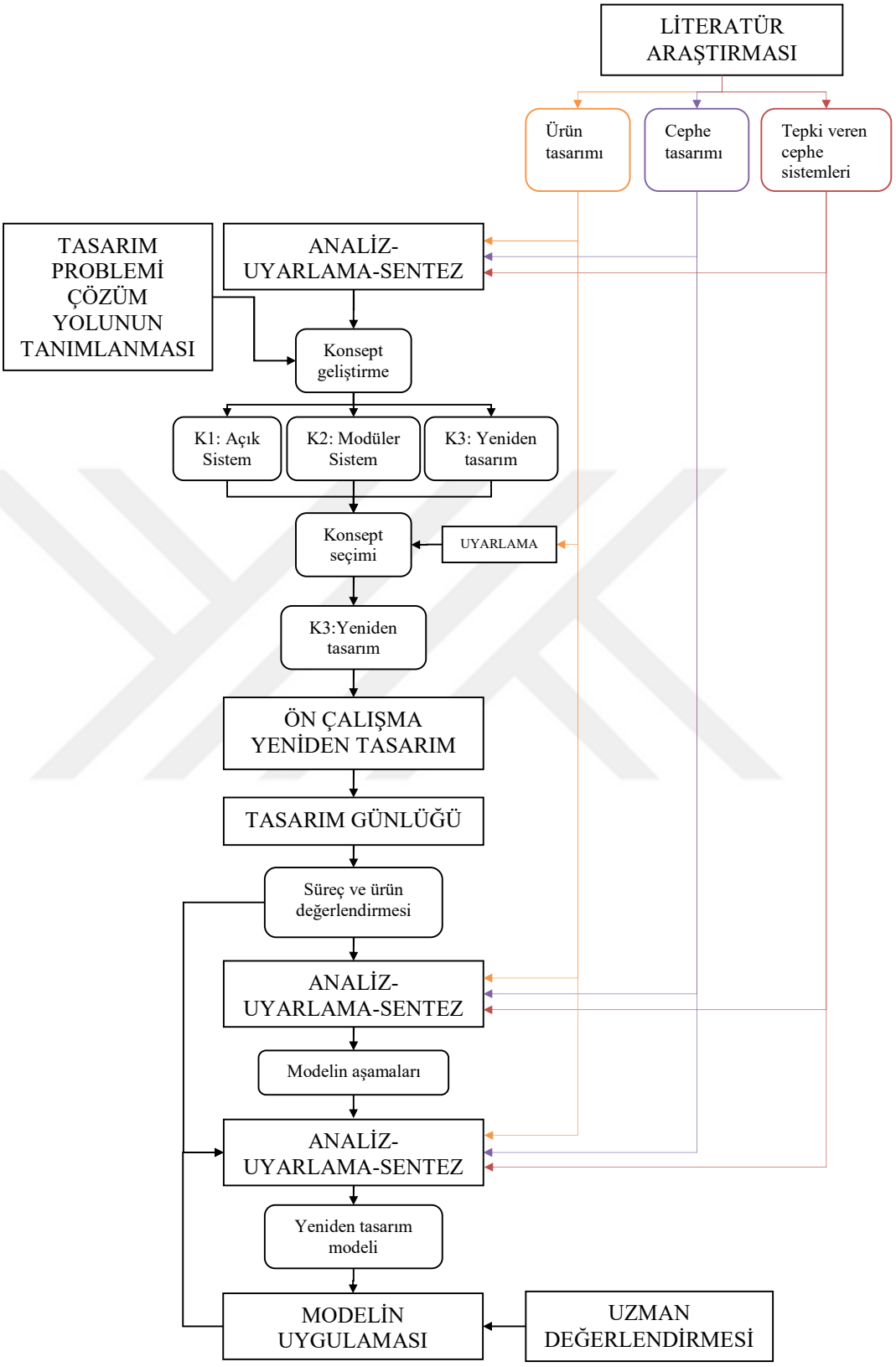
Tüm bunlarla birlikte standart ürünlerle yeniden tasarlanan tepki veren cephe sisteminin performansında değişim olabileceği kabul edilmektedir. Fakat yeni proje ihtiyaçları bağlamında bu değişimin öngörülen sınırlar içinde kalması amaçlanmaktadır.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmanın amacı, tepki veren cephelerin uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla standart ürünlerle tasarımını sağlamaktır. Dolayısıyla temel araştırma problemi "Bir tepki veren cephe sistemi standart ürünlerle nasıl tasarlanabilir?" olmuştur. Bu probleme bir çözüm bulmak için bu çalışmada kullanılan yöntem ana hatlarıyla şematik olarak Şekil 1.1'de verilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan konu bir tasarım problemidir ve potansiyel olarak kabul edilebilir, alternatif çözümleri bulunmaktadır. Bu çözümlerin tanımlanabilmesi için tepki veren cepheler, tasarım ve standart ürünlerle tasarım konularında bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda gerekli altyapının oluşturulması amacıyla öncelikle kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir.

Piyasadaki cephe sistemlerinin çoğunluğu proje ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen endüstriyel ürünler olarak tasarlanmaktadır. Bu cephelerin sistem tasarımı, belirlenen pazar ihtiyaçları bağlamında sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından ürün tasarımı süreçleriyle geliştirilmektedir. Bu bağlamda ürün tasarımı konusu çalışmaya dâhil edilmiştir. Çalışmanın temelini oluşturan literatür araştırması ürün tasarımı, cephe tasarımı ve tepki veren cephe sistemleri konularını içermektedir. Ürün ve cephe tasarımı süreçleri incelenerek, gerçekleştirilen faaliyetler, alınan kararlar ve kullanılan sistematik yöntemler belirlenmiştir. Cephe tasarımı proje temelli olarak gerçekleştirildiğinden ve her proje farklı tasarım parametreleri içerdiğinden geliştirilen sistemin de bu duruma uyum sağlayabilecek esneklikte olması gerekmektedir. Bu nedenle standart ürünlerle esnek tasarımlara ulaşmayı sağlayacak tasarım özelleştirme yaklaşımları hem ürün hem de cephe tasarımı literatüründen araştırılmıştır. Cephe tasarımı ve ürün tasarımı arasındaki farklar ve benzerlikler tanımlanarak ürün tasarımı süreç ve yöntemlerinin cephe tasarımına uyarlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir. Tepki veren cephelerin tanımları, örnek projeleri ve sınıflandırma yaklaşımları incelenerek, tanımlayıcı özellikleri, tasarım kriterleri ve tasarım sürecini genel cephe tasarımından farklılaştıran tasarım faaliyetleri belirlenmiştir.



Şekil 1.1: Çalışmanın yönteminin ana hatlarıyla şematik gösterimi.

Tasarım problemi ile ilgili temel bilgiler literatür araştırmasıyla derlendikten sonra, problemin bu çalışmada geliştirilecek çözüm yolunun tanımlanması çalışmaları yapılmıştır. Bu bağlamda literatür araştırmasından elde edilen bilgiler analiz edilmiş; tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı konusuna uyarlanarak sentezlenmiştir. Böylece tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımını destekleyen üç konsept çözüm yolu tanımlanmıştır: (i) açık sistem tepki veren cephe tasarımı, (ii) modüler sistem tepki veren cephe tasarımı ve (iii) mevcut bir tepki veren cephe sisteminin standart ürünlerle yeniden tasarımı. Geliştirilen bu konsept çözümler bir sistematik karar verme yöntemi ile çalışmanın hedefleri ve kısıtlamaları bağlamında, ürün tasarımı literatüründen uyarlanarak belirlenen seçim kriterlerine göre değerlendirilmiş ve "yeniden tasarım" konsepti tasarım modeli olarak geliştirilmek üzere seçilmiştir.

Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesi iki aşamalı olarak ilerlemiştir. İlk aşamada tasarım yoluyla araştırma yöntemi benimsenerek, herhangi bir sistematik yöntem kullanılmadan mevcut bir tepki veren cephenin standart ürünlerle yeniden tasarımı üzerine bir ön çalışma yapılmıştır. Yeniden tasarım süreci tasarım günlüğü yöntemiyle kaydedilerek gerçekleştirilen faaliyetler belirlenmiştir. Bu faaliyetler kullanım amacı, elde edilen veriler ve uygulama kolaylığı bağlamında analiz edilmiş, geliştirilmesi gereken alanlar belirlenmiştir.

İkinci aşamada, ön çalışmayla tespit edilen tasarım süreci ve faaliyetleri sistematize edilerek geliştirilmiştir. Ön çalışmada tespit edilen tasarım faaliyetleri temel hedefleri bağlamında gruplandırılmıştır. Belirlenen eksiklikler ve geliştirilmesi gereken faaliyetler göz önüne alınarak, ürün ve cephe tasarım süreçleri analiz edilmiştir. İhtiyaç duyulan alanları desteklemek için tekrar literatür araştırması yapılmıştır. Ürün tasarımında kullanılan yeniden tasarım ve tersine mühendislik süreçleri, cephe ve tepki veren cephe tasarımı süreçlerine uyarlanıp, ön çalışmadan elde edilen verilerle birleştirilerek yeniden tasarımı modelinin uygulama aşamaları belirlenmiştir. Böylece yeniden tasarım modelinin beş aşamadan oluşan taslağı oluşturulmuştur.

Model taslağını oluşturan her bir süreç aşaması, tasarım alt problemleri ve aşamanın ön görülen çıktılarına bağlı olarak ayrı ayrı geliştirilmiştir. Her bir aşama için hedeflenen çıktılar bağlamında ürün ve cephe tasarım süreçleri analiz edilmiştir. Gerekli görülen alanlarda tekrar literatür araştırması yapılmıştır. Belirlenen tasarım

faaliyetleri ve bunların uygulanmasını kolaylaştıran ve sistematik hale getiren yöntemler tepki veren cephe tasarımına uyarlanarak sentezlenmiştir.

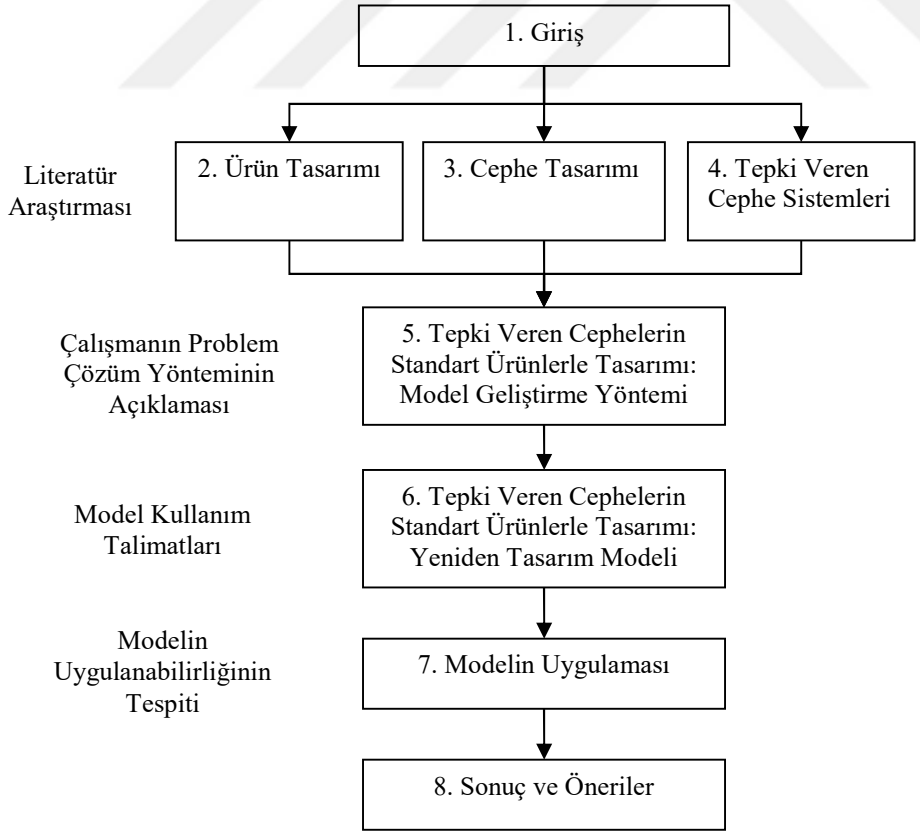
Son olarak, geliştirilen model amaçsal örnekleme ile belirlenmiş bir örnek projeye uygulanmıştır. Uzman görüşlerinden destek alınarak gerçekleştirilen bu uygulamanın iki pratik yararı bulunmaktadır: modelin geliştirilmesi ve uygulanabilirliğinin ortaya koyulması. Modelin uygulanması, geliştirilmesi için yinelemeli bir değerlendirme işlemi sağlamaktadır. Bu geliştirme, tasarım faaliyetlerinde ve/veya uygulanma yöntemlerindeki değişiklikleri ve akış diyagramı strüktüründeki iyileştirmeleri kapsar. Bu çalışmada da model, uygulama, değerlendirme ve iyileştirme döngüsü içinde seçilen örnek proje üzerinde birden çok kez uygulanarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada modelin geliştirilmesi tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen son uygulama yer almaktadır. Amaç modelinin uygulanabilirliğinin ve belirlenen tasarım problemlerine çözüm üretebilme yetisinin gösterilmesidir.

1.4 Çalışmanın Kurgusu

Gerçekleştirilen çalışmaların sistematik bir şekilde orta koyulması amacıyla tezin içeriği, ele alınan konunun kapsamına göre, genelden özele doğru gelişen bir yaklaşımla kurgulanmıştır. Önce temel araştırma probleminin çözümünü destekleyecek alt araştırma problemleri belirlenmiş, sonra bunlar genel konu başlıklarına göre gruplandırılmış ve kapsamlarına göre hiyerarşik olarak sıralanmıştır. Böylece çözüme ulaşmak için altı aşamalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu aşamalardan her biri çalışmanın bir bölümünü oluşturmaktadır. Konuyla ilgili ön bilgi verilerek çalışmanın tanıtıldığı giriş bölümü ve çalışmanın değerlendirilerek sonuçlandırıldığı sonuç bölümü ile birlikte çalışma sekiz bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın kurgusu şematik olarak Şekil 1.2'de verilmektedir.

İnşaat endüstrisinde görülen endüstrileşme eğilimi, mimari ürünlerin tasarımını ürün tasarım süreçlerine yaklaştırmıştır. Cephe tasarım süreçleri incelendiğinde, mimari projeden bağımsız olarak gerçekleştirilen bir sistem tasarımı süreci olduğu belirlenmiştir. Bu aşamada cephe sistemleri, pazar ihtiyaçlarına göre sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından ürün tasarımı süreçleriyle geliştirilmektedir. Bu bağlamda cephe tasarımına bütüncül bir bakış sağlamak için, araştırma probleminin çözümlenmesi ürün tasarımı süreç ve yöntemlerinin incelenmesiyle başlamaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ürün tasarımının kapsamı ve tipleri, tasarım sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler ve kullanılan sistematik yöntemler ve standart ürünlerle özelleştirme yaklaşımları tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde cephe tasarımı konusu ele alınmaktadır. Cephe tasarımı süreci, cephe ve ürün tasarımı arasındaki farklar, cephe sistemlerinde kullanılan ürünler ve standart ürünlerle özelleştirme yaklaşımları açıklanmıştır. Dördüncü bölümde tepki veren cephe sistemleri incelenmiştir. Tepki veren cephelerin tanımları, örnek projeleri ve sınıflandırma yaklaşımları incelenerek, tanımlayıcı özellikleri, tasarım kriterleri ve tasarım sürecini genel cephe tasarımından farklılaştıran tasarım faaliyetleri belirlenmiştir. Bu üç bölüm tasarım probleminin çözümü için gerekli teorik altyapıyı sağlamaktadır. Beşinci bölümde tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yolları tanımlanmış, yeniden tasarım konsepti geliştirilmek üzere seçilmiştir. Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesinde kullanılan yöntem ve yapılan çalışmalar açıklanmıştır. Altıncı bölümde yeniden tasarım modelinin kullanım talimatları verilmiştir. Yedinci bölümde modelin uygulaması yapılarak uygulanabilirliği ortaya koyulmuştur. Sekizince bölümde çalışma, değerlendirmesi yapılarak, sonuçlandırılmıştır.



Şekil 1.2: Çalışmanın kurgusu.

2. ÜRÜN TASARIMI

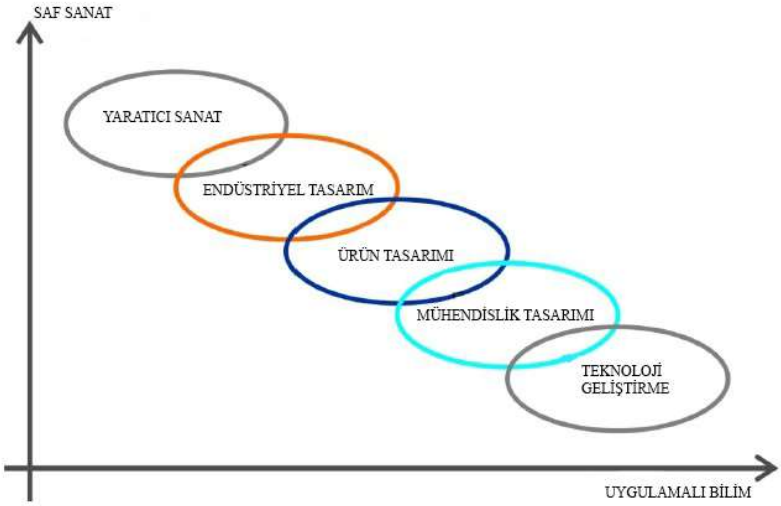
İnşaat endüstrisinde görülen endüstrileşme eğilimi, mimari ürünlerin tasarımını mühendislik tasarımı ve endüstriyel tasarımın kesişiminde bulunan genel ürün tasarım süreçlerine yaklaştırmıştır. Cephe tasarım süreçleri incelendiğinde de cephe tasarımında mimari projeden bağımsız olarak gerçekleştirilen bir sistem tasarımı süreci olduğu belirlenmiştir. Bu aşamada cephe sistemleri, pazarlanmaya hazır bir yapı ürünü olarak tasarlanmaktadır. Sistem tasarımı, belirlenen pazar ihtiyaçları bağlamında sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından sistematik ürün tasarımı süreç ve yöntemleriyle ve ürün tasarımcılarıyla iş birliği içinde geliştirilmektedir (Klein, 2013; Url-6). Geliştirilen bu standart cephe sistemi daha sonra, mimari proje bağlamında gerekli görülen ve sistemin elverdiği ölçüde özelleştirilerek kullanılmaktadır.

Cephe sistemlerinin ve tasarımının yukarıda bahsedilen özellikleri bağlamında cephe tasarımına bütüncül bir bakış sağlamak için, tasarım metodolojilerini de içeren sistematik ürün tasarımı yöntemlerinin incelenmesi gerekli görülmüştür. Ürün teriminin kapsamı çok geniş olduğundan öncelikle ürün tasarımı konusunun çerçevesi, kapsamı ve tipleri üzerinden belirlenmiştir. Tasarlanan ürün, tasarım tipi ve seçilen tasarım metodolojisi tasarım süreçlerini etkilemekle birlikte, ürün tasarım süreçlerinde ortak olarak bulunan ve genel ürün tasarım sürecini tanımlayan tasarım aşamaları açıklanmıştır. Tasarım sürecinde yürütülen faaliyetleri destekleyen sistematik tasarım yöntemleri, kullanım amaçlarına bağlı olarak gruplandırılarak derlenmiştir. Son olarak ürün tasarımında standart ürünlerde özelleştirme yaklaşımları incelenmiş ve bunların cephe sistemlerinin geliştirilmesi üzerindeki yansıması tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

2.1 Ürün Tasarımının Kapsamı Ve Tipleri

Genel olarak ürün tasarımı, ürün geliştirme sürecinin bir parçasıdır ve hedeflenen ürüne göre şekillenmektedir. Ürünün tanımı ise kullanıldığı disipline göre farklılık

gösterir. Örneğin mühendislik tasarımında mekanik bileşenler ve endüstriyel tesisler; endüstriyel tasarımda ise işlenmiş el yapımı eşyalar ürün kategorisine dâhildir. Bu açıdan, ürün tasarımı tek bir disiplin kapsamında ele alınmak yerine, disiplinler arası bir konu olarak incelenmektedir (Kim ve Lee, 2010). Ürün tasarımı, aslında ortak bir hedefi gerçekleştirmek için farklı disiplinleri entegre ederek yeni bir ürün geliştirmeyi içerir. Horväth, (2004) ürün tasarımının endüstriyel tasarım ile mühendislik tasarımı arasında yer aldığını ve bu iki tasarım yaklaşımının ürün tasarımı ile çakıştığını göstermektedir (Şekil 2.1). Bu bağlamda, kendi tanımlayıcı özellikleri ve alanları olmasına rağmen, mühendislik tasarımı ve endüstriyel tasarım ürün tasarımının ana bileşenlerini oluşturmakta ve belirli bir oranda ürün tasarımı sürecinde yer almaktadır. Bu nedenle, ürün tasarımını anlamak ve ürün tasarım sürecinde ne çeşit farklı tasarım yaklaşımları olduğunu görmek için, bu iki disiplinin özellikleri gözden geçirilmelidir.



Şekil 2.1: Ürün tasarımının sanat ve uygulamalı bilimler bağlamındaki yeri (Horváth, 2004).

Ürün tasarımı olarak mühendislik tasarımı mekanik tasarımı ifade eder (Puh, 1996). Otto ve Wood (2001) mühendislik tasarımını, tasarım görevini tamamlamak için modellemeye ihtiyaç duyan bir süreç olarak tanımlar. Bu süreçte, istenilen ihtiyaçları karşılamak için bir sistem, bileşen veya süreç tasarlanmıştır. Mühendislik tasarımı süreci nispeten kesin, sistematik, mekanik ve hatta matematikseldir (Ullman, 2004).

Ürün tasarımı bakımından endüstriyel tasarım ve mühendislik tasarımı karşılaştırıldığında, endüstriyel tasarımın, ürünün insan-kullanım fonksiyonelliğinden sorumlu olduğu; mühendislik tasarımının ise ürün-işleyiş fonksiyonelliğini

gerçekleştirmede önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Kim ve Lee, 2010). Mühendislik tasarımı, ürünün iç aksam tasarımında, fonksiyonları gerçekleştirme, performans ve ürün mimarisi oluşturma ile ilgilenir. Endüstriyel tasarım ise kullanıcı deneyimi gibi ürünün harici tasarımı veya kullanıcıya dönük tasarım bileşenleri ile ilgili; estetik, ergonomi ve kullanıcı arayüzü ile ilgilenmektedir.

Tasarım araştırması, tüm karmaşıklığı içinde, tasarım fenomeni anlayışımızı arttırmak ile tasarımdaki mevcut durumu iyileştirmek için bilgi, yöntem ve araçların geliştirilmesi ve doğrulanmasını amaçlamaktadır (Blessing 2002). Tasarım bilgisi doğal olarak çok yönlüdür, kaynak olarak hem resmi bilimsel bilgiyi hem de örtük insan bilgisini içerir (Horváth, 2004). Bu bağlamda, tanımlanmış sorunlara çözüm üretmek olarak da tanımlanan tasarımın kapsamı ve yöntemleri çok çeşitlidir.

Tasarım görevi, tasarımın ihtiyaçları, kapsamı, yöntemi, süreçleri, tasarlanan ürün ve tasarlanan ürünün yeniliğine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Ürün tasarımında da tasarım için gereken çabanın kapsamına ve ürünün tasarlanmasında yapılan değişiklikler ile sağlanan yeniliğe göre tasarım tipleri belirlenmektedir. Farklı kaynaklardan derlenen ürün tasarım tipleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Bu tasarım tipleri kapsam açısından incelenip değerlendirilerek aşağıda açıklamaları ile birlikte verilen 8 adet ürün tasarımı tipi belirlenmiştir.

Çizelge 2.1: Literatürde yer alan ürün ve mühendislik tasarımı tipleri.

Kaynak	Pahl ve diğ. (1996)	Otto ve Wood (2001)	Dieter ve Schmidt (2012)	Berkeley Lab, DesignWorks (URL-1)
Ürün Tasarım Tipleri	Özgün tasarım	Özgün tasarım	Özgün tasarım	Özgün tasarım
	Uyarlama tasarım	Uyarlama tasarım	Uyarlama tasarım	Konfigürasyon tasarım
	Varyant tasarım	Varyant tasarım	Seçme tasarım	Seçme tasarım
		Yeniden tasarım	Yeniden tasarım	Yeniden tasarım
		Özgün yeniden tasarım	Endüstriyel tasarım	Parametrik tasarım
		Parametrik yeniden tasarım		Rutin (Şablon) tasarım
		Uyarlama yeniden tasarım		

Özgün tasarım (*orginal design*): Yenilikçi tasarım olarak da adlandırılan bu tasarım tipi, ihtiyaçları karşılamak için özgün ve yenilikçi bir konsept geliştirir. İhtiyacın kendinin özgün olduğu durumlar da olabilir. Özgün tasarımın sonucu bir keşiftir ve

piyasayı değiştirip ona hâkim olma fırsatı vardır (Otto ve Wood, 2001; Dieter ve Schmidt, 2012)

Uyarlama tasarım (*adaptive design*): Tasarımın bu tipi, tasarım ekibinin farklı bir ihtiyacı gidermek için bilinen bir çözümü uyarlayıp yeni bir uygulama üretmesi ile gerçekleşir. Bir başka şekli de mevcut bir ürünün önemli bir alt sisteminin geliştirilmesidir (Otto ve Wood, 2001). Uyarlama tasarımlar sentez içermektedirler.

Değişimli tasarım (*variant/modification design*): Bileşenlerin boyutları, düzenlenmeleri ve montajları, önceden tasarlanmış ürün strüktürünün sınırları dahilinde değiştirilir. Tekil parçaların boyutlarının belirli bir siparişe uyacak şekilde değiştirildiği tasarımları içerir (Pahl ve diğ, 1996).

Seçme tasarım (*selection design*): Tasarım görevi, potansiyel satıcıların kataloglarından, gerekli performans, kalite ve maliyet özelliklerine sahip bileşenleri seçmektir (Dieter ve Schmidt, 2012). Başarılı bir seçme tasarım yapılabilmesi için tasarım ihtiyaçları ve mevcut çözümlerin kısıtları iyi araştırılmalıdır.

Konfigürasyon tasarım (*configuration design*): Eski konfigürasyonların sağlayamadığı özgün ihtiyaçların karşılanması için standart elemanların seçilip birleştirilmesiyle yeni ürün konfigürasyonlarının oluşturulmasıdır (URL-1).

Endüstriyel tasarım (*endustrial design*): Bu tasarım biçimi, bir ürünün insan duyuları için çekiciliğini arttırmayı, özellikle de görsel çekiciliği ele alır. Aynı zamanda, kullanıcısının ürünle en iyi şekilde nasıl arayüz oluşturabileceğini araştırır (Dieter ve Schmidt, 2012).

Rutin tasarım (*routine design*): Tasarımın gerçekleştirilmesi için izlenecek adımların ve gerçekleştirilecek hesapların iskeletini veren standartlar ve kanunlara bağlı olarak gerçekleştirilen tasarımdır (URL-1).

Yeniden tasarım (*redesign*): Bazı kriterler açısından eksik kaldığı düşünülen mevcut bir ürünün, bu eksiklikleri giderecek yeni bir çözüme ulaştırılmasıdır (Otto ve Wood, 2001). Yeniden tasarım onarım ya da güncelleme amacıyla yapılır. Örneğin, görevini yerine getiremeyen bir bileşenin yeniden tasarımı ya da bileşenin üretim maliyetinin düşürülmesi amacıyla yeniden tasarımı yapılabilir. Yeniden tasarım genellikle özgün tasarımın konsepti ya da çalışma prensipleri değiştirilmeden

gerçekleştirilir (Dieter ve Schmidt, 2012). Tasarım parametrelerinin bazılarını değiştirerek yeniden tasarıma erişilmesi, çoğunlukla değişimli tasarım olarak adlandırılır. Yeniden tasarım, tasarımın gerçekleşme yöntemine bağlı olarak, aşağıda açıklandığı şekilde üç grupta incelenmektedir.

Özgün yeniden tasarım (*original redesign*): Tüm konsept farklı bir fonksiyonel model ya da farklı bir ana teknoloji ile değiştirilir (Otto ve Wood, 2001).

Parametrik yeniden tasarım (*parametric redesign*): Mevcut ürün topolojisi korunarak, bileşenlerin kalınlıkları veya geometrileri, ya da malzemelerin değişimi gibi bir parametrik tasarım yaklaşımı kullanılır (Otto ve Wood, 2001).

Uyarlama yeniden tasarım (*adaptive redesign*): Ürünü oluşturan bileşenler değiştirilebilir veya fonksiyonel modelin farklı topolojilerine yerleştirilebilir (Otto ve Wood, 2001).

Ürün tasarımı tipi, tasarım süreci faaliyetlerini belirleyen önemli bir veridir. Bu bağlamda tasarım sürecinin başında alınması gereken bir karardır.

2.2 Ürün Tasarımı Süreci

Roozenburg ve Eekels (1995) tasarım metodolojisinde iki temel sorunun varlığına değinmiştir. Bunlardan ilki tasarımın ana strüktürünün ne olduğudur. İkinci soru ise etkin ve verimli kılmak için tasarım sürecine nasıl yaklaşılması gerektiğidir. Tasarım süreçleri ile ilgili yapılan çalışmalar bu soruların cevabını vermektedir.

Tasarım sürecinin haritasını veya modelini hazırlamak için pek çok girişimde bulunulmuştur. 1950'lerden beri yapılan kapsamlı araştırmalara rağmen, tasarım sürecinin tatmin edici bir tanımını ortaya koyduğu kabul edilen tek bir model bulunmamaktadır (Wynn ve Clarkson, 2005). Bazıları mühendislik tasarım alanından, bazıları da diğer tasarım alanlarından gelen birçok tasarım süreci modeli mevcuttur. Bu modellerden bazıları, basitçe tasarımda ortaya çıkan eylem dizilerini tanımlar; bazıları da tasarım için daha iyi ya da daha uygun bir eylem kalıbı tanımlamaya çalışır. Farklı modeller farklı nedenlerden dolayı üretilmişler ve amaçlarına bağlı olarak farklı formatlarda ifade edilmişlerdir (Gonnet ve diğ, 2007).

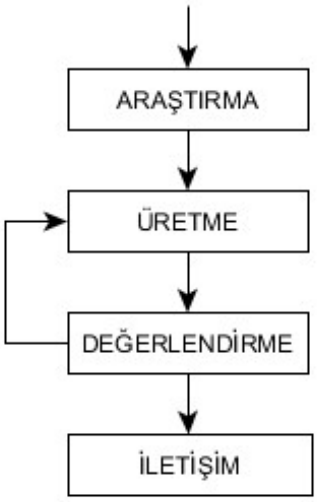
Wynn ve Clarkson (2005) tasarım modellerini üç sınıflandırma şeması altında değerlendirmiştir: aşama veya eylem temelli modeller, çözüme veya probleme yönelik modeller, soyut, yöntemsel veya analitik yaklaşımlar. Yöntemsel (*procedural*) yaklaşımlar da tanımlayıcı (*descriptive*) ve kuralcı (*prescriptive*) olarak iki başlıkta incelenmektedir.

Tasarım projesinin belirli yönlerden etkinliğini veya verimliliğini arttırmayı amaçlayan tasarım sürecinin kuralcı modelleri, konunun en iyi uygulamalarının ana fikir çıkarımları şeklinde biçimlenir. Bu tür modeller genellikle belirli bir kitleye (öğrenci, tasarım mühendisi, yönetici vb.) ve etki alanına (endüstriyel, mekanik tasarım vb.) yönelik olarak geliştirilmektedir. Kuralcı yaklaşımlar, doğru uygulandığı takdirde ürünün veya projenin belirli konularda performansını arttırdığı kabul edilen kılavuzları, aşamaları veya teknikleri önerir veya bildirir. (Wynn ve Clarkson, 2005)

Tasarım sürecinin tanımlayıcı modelleri genellikle, sürecin başlarında bir çözüm konsepti üretmenin önemi üzerinde durmakta; böylece tasarım düşüncesinin çözüm odaklı niteliğini yansıtmaktadır (Cross, 2005). Bu ilk çözüm fikri daha sonra analiz, değerlendirme, iyileştirme ve geliştirme işlemlerine tabi tutulur. Bazen, analiz ve değerlendirme ilk çözüm konseptindeki temel kusurları gösterir ve bu konseptin terk edilmesi gerekir. Bu durumda yeni bir konsept oluşturulur ve döngü tekrar başlar. Geleneksel mühendislik tasarımı birkaç adıma bölünmüş doğrusal bir yaklaşımdır; tasarım süreci ardışık bir şekilde her adım boyunca hareket eder. Ancak, herhangi bir adımda sorun ile karşılaşılırsa, işlem bir veya birkaç önceki adıma dönebilir. Bu tekrarlı eylem yineleme veya döngü olarak adlandırılır.

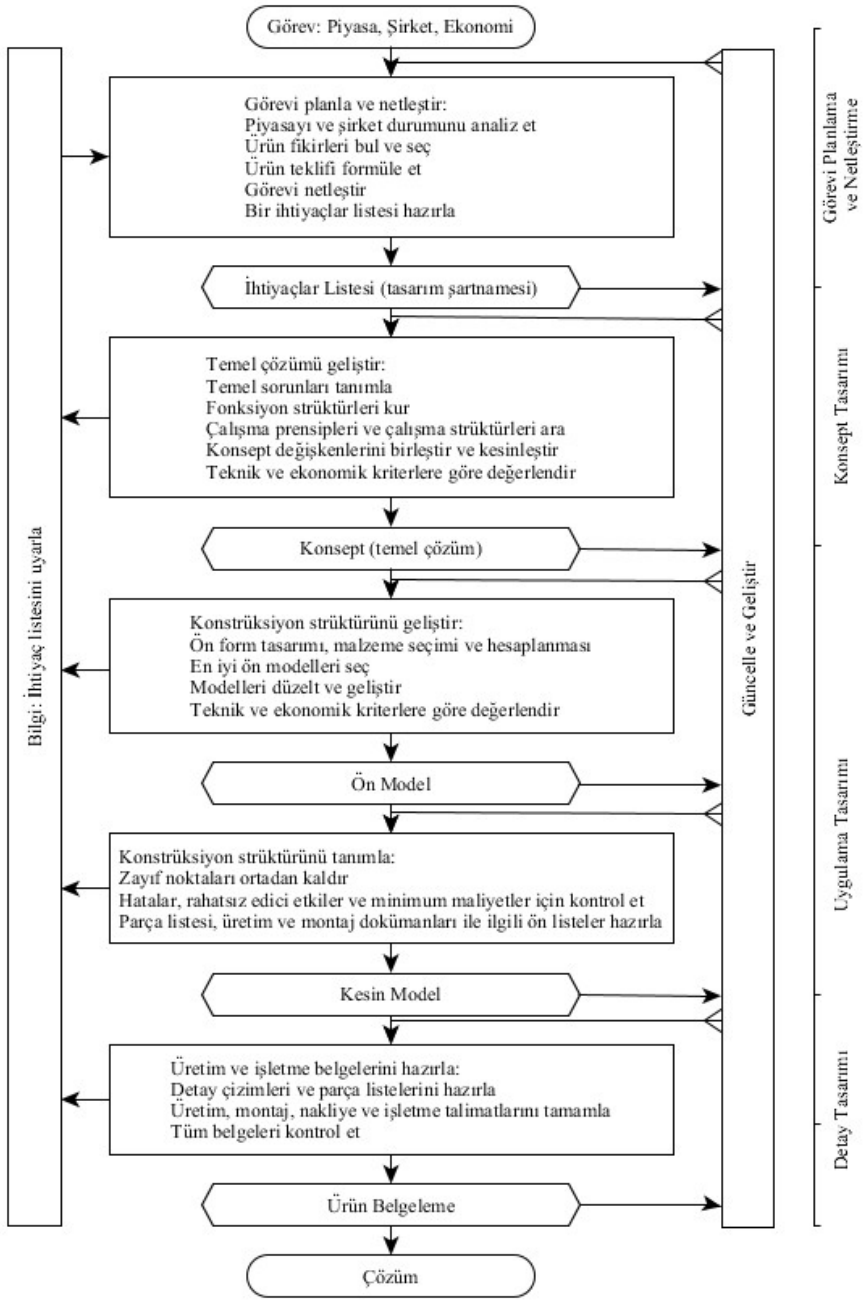
Literatürde, genel mühendislik tasarım problemleri için çok sayıda tanımlayıcı ve kuralcı tasarım metodolojisi geliştirilmiştir (Asimow, 1962; Finger ve Dixon, 1989; Pahl ve diğ, 1996; Pugh, 1996; Ullman, 2004; Ulrich ve Eppinger, 2012). Bunların içinden şelale (*waterfall*) modelleri (Asimow, 1962) ihtiyaç analizinden kavramsal tasarıma ve nihai üretime kadar tasarımın tamamını aşamalar dizisi olarak tanımlamaktadır. Bu evrensel görüşü benimsemek yerine, bazı araştırmacılar tasarım süreci ve yöntemlerinin farklı kombinasyonları ve türlerini oluşturmuşlardır (Otto ve Wood, 1996). Tasarım süreçleriyle ilgili literatürde yaygın olarak atıfta bulunulan üç farklı yaklaşım, Cross (2005), Pahl ve diğ. (1996) ve Alman Mühendisler Birliği (VDI) tarafından geliştirilen ürün tasarım süreçleri, aşağıda açıklanmaktadır.

Cross (2005), araştırma, üretme, değerlendirme ve iletişim olmak üzere dört aşamadan oluşan bir ürün tasarım süreci önermiştir (Şekil 2.2). Tasarımcı öncelikle tam tanımlanamamış olan problem uzayını araştırır. Daha sonra elde edilen verilere bağlı olarak konsept çözümler üretilir. Bu çözümler tasarımın amaçları, kısıtlamaları ve belirlenen diğer kriterlere göre değerlendirilir. Son adımda, üretim ya da daha karmaşık bir ürüne entegrasyon için hazırlanan tasarım şartnamesi ilgili birimlere iletilir. Üretme aşamasında her zaman tatminkâr bir çözüme ulaşılamadığı için, değerlendirme ve üretme aşamaları arasında bir geribildirim döngüsü bulunmaktadır.



Şekil 2.2: Cross'un (2005) dört aşamalı basit tasarım süreci modeli.

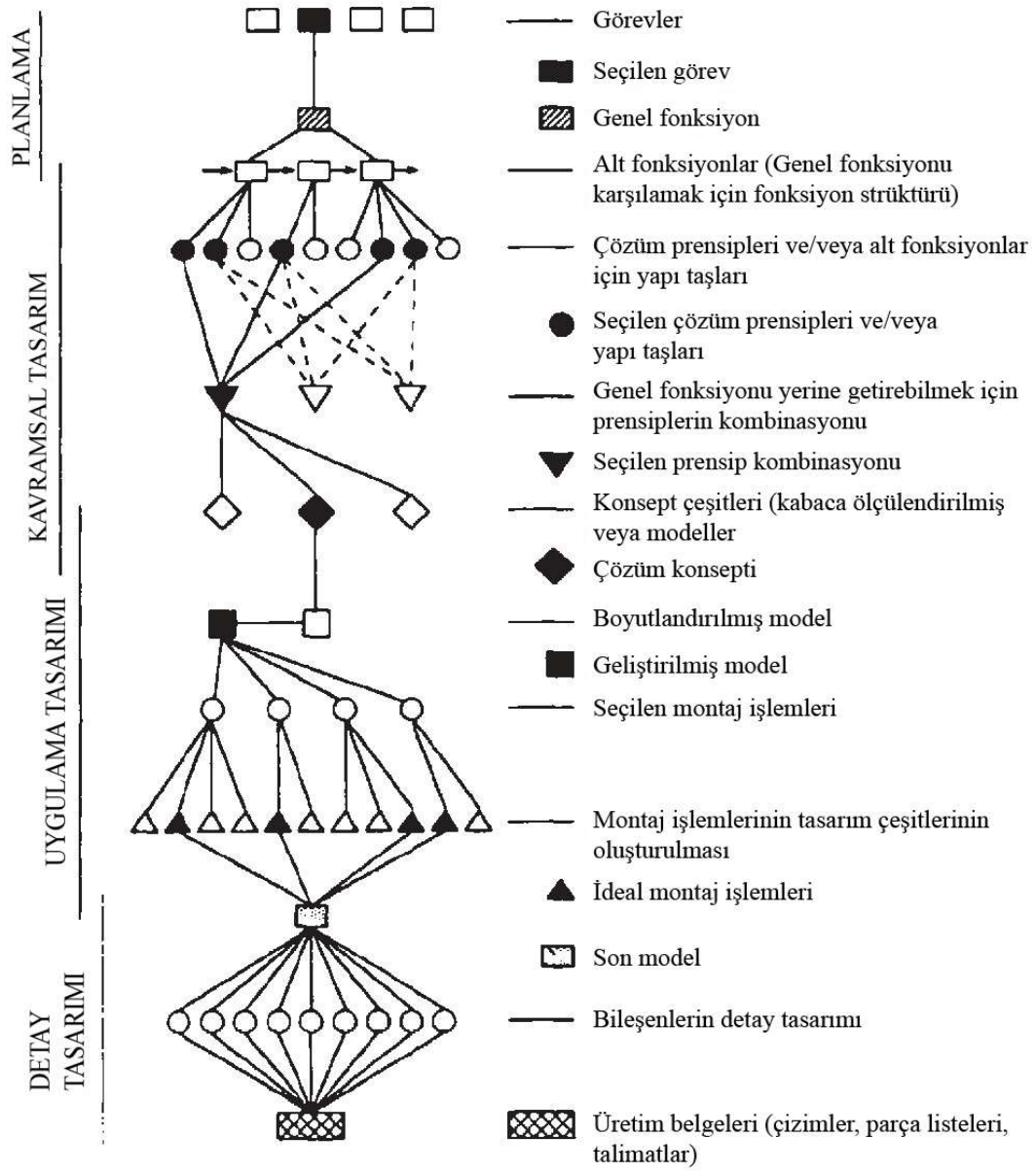
Pahl ve diğ, (1996) "orta" karmaşıklık düzeyine sahip sistemler için iyi çalışan ayrıntılı bir tasarım süreci tanımlamaktadır (Otto ve Wood, 1996). Bu tasarım süreci 4 aşamadan oluşmaktadır: görevin açıklığa kavuşturulması, konsept tasarımı, uygulama tasarımı ve detay tasarımı (Şekil 2.3). Görevin açıklığa kavuşturulması aşamasında çözümde somutlaştırılacak gereklilikler ve kısıtlamalar hakkında bilgi toplanır. Konsept tasarımında fonksiyon strüktürleri kurulur; uygun çözüm ilkeleri araştırılır ve konsept değişkenleri birleştirilir. Uygulama tasarımında konseptten başlayarak tasarımcı, teknik ve ekonomik hususlara uygun olarak yerleşim planı ve formları belirler; bir teknik ürün veya sistem geliştirir. Detay tasarımında tüm tekil parçaların düzenlenmesi, şekil, ölçü, yüzey özellikleri ve malzemeleri belirlenir, teknik ve ekonomik fizibilite tekrar kontrol edilir, tüm çizimler ve diğer üretim dokümanları hazırlanır.



Şekil 2.3: Pahl ve diğ. (1996) ürün tasarım süreci adımları.

Alman Mühendisler Birliği (VDI) de ürün geliştirme süreçleriyle ilgili kılavuzlar yayınlamıştır. VDI 2221 (VDI, 1993) genel mühendislik tasarımı yaklaşımı ve VDI 2222 (VDI, 1997) ürün geliştirme süreciyle ilgilidir (Şekil 2.4). VDI 2221 teknik sistemlerin temelleri ve şirket stratejisi ile uyumlu yedi temel çalışma adımını içermektedir: görevi tanımla ve netleştir, fonksiyonları ve fonksiyon strüktürlerini belirle, çözüm prensiplerini ve bunların birleşimlerini araştır, gerçekleştirilebilir modüllere ayır, anahtar modüllerin modelini geliştir, tüm modeli tamamla, üretim ve

işletme talimatlarını hazırla. Bu kılavuzlar Alman araştırmacıların, yayınların yapıldığı tarihteki, ortak görüşünü temsil etmesi açısından önemlidir.



Şekil 2.4: VDI 2222 tasarım sürecinde ayrışma ve yakınsama (Tooley ve Knovel, 2010).

Tasarım sürecinin genel olarak kabul gören modeli, farklı yaşam döngüsü aşamalarından gelen girdilerle, tanımlanmış ihtiyaçlara göre bir çözüm üretir (Molloy ve diğ, 1998). Bu bağlamda açıktır ki her endüstrinin hatta her şirketin ihtiyaçları, tasarım süreçlerinin aşamalandırmasını farklılaştıracaktır. Aynı şekilde tasarım tiplerine bağlı olarak da tasarım süreçlerinde gerçekleştirilen aşamalarda farklılıklar olmaktadır. Örneğin Crawford (1993) Doğrudan Mühendislik (*Direct Engineering*) adıyla yeni bir değişimli (*variant*) tasarım metodolojisi geliştirmiştir

(Otto ve Wood, 1996). Yeniden tasarım süreçleri, özgün tasarımda olduğu gibi, müşteri ihtiyaçlarını toplama, şartname planlama ve geliştirme, kıyaslama (*benchmarking*), konsept oluşturma, ürün uygulama (*embodiment*), prototip yapımı ve test etme ve üretim için tasarım süreç adımlarını içermekte; ancak bunlara ek olarak tersine mühendislik aşamasına odaklanmaktadır (Otto ve Wood, 1996).

Diğer yandan her tasarım süreci ortak unsurlara sahiptir (Kim ve Lee, 2010). Howard ve diğ. (2007) 23 mühendislik tasarımı süreç modelini karşılaştırmış ve süreç aşamalarını altı başlık altında incelemiştir: ihtiyaç, görev aşamasının analizi, konsept tasarımı aşaması, uygulama tasarımı aşaması, detay tasarımı aşaması üretim, kullanım ve emeklilik. Bu çalışma ürün tasarımı yöntemleriyle ilgili yapılan literatür araştırmasıyla geliştirilmiş ve çoğu ürün tasarım yönteminde aşağıdaki tasarım aşamalarının ortak olarak bulunduğu belirlenmiştir (Pahl ve diğ, 1996; VDI, 1997; Molloy ve diğ, 1998; Tooley ve Knovel, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012):

- Planlama (analiz, görevin tanımlanması, tasarım ihtiyaçlarını netleştirme)
- Konsept tasarımı
- Uygulama tasarımı
- Detay tasarımı

Ürün tasarım süreçlerinde ortak olarak bulunan ve genel ürün tasarım sürecini tanımlayan bu aşamalarda gerçekleştirilen görevler aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

2.2.1 Planlama

Ürün geliştirme sürecinin başlaması için mevcut pazar durumu, şirket ihtiyaçları ve ekonomik hedefler göz önüne alınarak belirlenen bir ürün fikrine ihtiyaç duyulmaktadır. Ürün fikri ve ürün geliştirme talebi, müşteriden gelebileceği gibi şirketlerin özel planlama bölümlerinde, ürün geliştirme ekipleri içindeki fikir üretme oturumları ile de ortaya çıkabilir (Pahl ve diğ, 1996). Literatürde yer alan sistematik ürün geliştirme yöntemlerinin bazılarında (Pahl ve diğ, 1996; VDI, 1997) geliştirilecek ürün fikrinin belirlenmesi ürün tasarım sürecinin içinde incelenmektedir. Bu bağlamda ürün tasarım sürecinin planlama aşamasında 2 temel görev yerine getirilmektedir: geliştirilecek ürün fikrinin belirlenmesi ve tasarım görevinin tanımlanması.

Geliştirilecek ürün fikrinin belirlenmesi için öncelikle ürün pazarından öneriler, bilimsel araştırmalar, kullanıcılar, mevcut ürün geliştirme ekipleri ve rakip ürünlerin karşılaştırılmasından elde edilen ürün geliştirme fikirleri (fırsatlar) derlenir (Ulrich ve Eppinger, 2012). Bu fikirlerin teknik ve üretim fizibilitesi ile ticari durum incelemesi yapılarak içlerinden biri geliştirilmek üzere seçilir (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu aşama ürün geliştirme projesinin onaylanmasından önce başladığından "0" aşaması veya fizibilite çalışması olarak da adlandırılmaktadır (Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Ürün fikrinin seçilmesi ve ürün talebinin belirlenmesiyle başlayan tasarım sürecinin başında tasarımcıya tasarım hedeflerinin eksiksiz ve açık bir şekilde verilmesi nadir görülen bir durum olarak kabul edilmektedir (Cross, 2005). Bu nedenle tasarımın başlangıç noktası genellikle tam tanımlanmanış (*ill-defined*) bir problem veya oldukça belirsiz bir ihtiyaçtır (Cross, 2005). Tasarımın doğru şekilde yönlendirilmesi için tasarım görevinin, ulaşılmak istenen hedefler bağlamında, eksiksiz olarak tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle tasarım sürecinin ilk adımı genel hedefi belirtmek ve bunu yavaş yavaş netleştirmektir (Tooley ve Knovel, 2010**)**. Bu aşamada tasarımda somutlaştırılacak ihtiyaçlar ve ayrıca kısıtlamalar hakkında bilgi toplanmaktadır (Pahl ve diğ, 1996). Bazı kaynaklarda (Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012) bu faaliyetler konsept tasarımı aşamasında da yürütülmektedir.

Ürün tasarım sürecinin planlama aşamasında yapılan faaliyetler, bunların amacı ve içeriği Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Tasarım ihtiyaçları ve hedeflerinin belirlenmesi ve ürün şartnamesinin hazırlanması tasarım probleminin analiz edildiği, tasarım sürecine yön veren, genel sürecin küçük ama önemli bir parçasıdır. Bu nedenle birbiriyle bağlantılı bu faaliyetlerin sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesi önem kazanmaktadır. Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesinde kullanılan Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD), hedeflerin hiyerarşik olarak gruplandırılmasında kullanılan hedef ağacı ve tasarım hedefleri programının oluşturulmasında kullanılan kontrol listesi yöntemleri bu bağlamda kullanılabilecek sistematik yaklaşımlar sunmaktadır (Pahl ve diğ, 1996; Boeijen ve Daalhuizen, 2010).

Çizelge 2.2: Planlama ve görevin tanımlanması aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri (Jones, 1992; Pahl ve diğ, 1996; Otto ve Wood, 1998; Cross, 2005; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Tooley ve Knovel, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik
Durum analizi	Piyasadan ve diğer kaynaklardan gelen bilgiler kullanılarak şirketin ve ürünlerinin durumu analiz edilir.
Araştırma stratejilerinin ve alanlarının belirlenmesi	Şirketin hedeflerini, güçlü ve zayıf yanlarını, ayrıca pazar alanlarını ve ihtiyaçlarını dikkate alarak araştırma stratejileri oluşturulur ve gelecek vaat eden araştırma alanları belirlenir.
Ürün fikirlerinin geliştirilmesi	Mevcut veya genişletilmiş enerji, malzeme ve sinyal akışlarını temel alan yeni fonksiyonlar, çalışma prensipleri veya geometriler için her alanda araştırma yapılarak ürün fikirleri geliştirilir.
Geliştirilecek ürün fikrinin seçilmesi	Şirketin hedeflerini, güçlü yönlerini ve pazarını dikkate alan bir seçim prosedürü kullanılarak geliştirilecek ürün fikri seçilir.
Ürünün tanımlanması	Ürün fikri, ilk ihtiyaçlar listesinin oluşturulması ve temel fonksiyonların belirlenmesiyle ayrıntılandırılarak tanımlanır. Sonuç, bir ürün teklifidir.
Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesi	Kullanıcılardan ham veri toplanır. Bunlar ihtiyaçlar bağlamında yorumlanır ve hiyerarşik olarak gruplandırılarak organize edilir. Tanımlanan ihtiyaçların göreceli önemleri belirlenir.
Tasarım hedeflerinin belirlenmesi	Tasarımcı, ihtiyaçların giderilmesi için ne yapılması gerektiğini tanımlar. Tanım, istenen nihai ürünün genel bir ifadesidir.
Ürün şartnamesinin hazırlanması	Ürünün ne yapması gerektiği ölçü ve değerlerle kesin olarak tanımlanır.

Tasarımın tüm aşamalarında, hedefler hakkında net bir fikre sahip olmak çok yararlıdır. Tasarım ihtiyaçları ve hedefleri belirlenirken dikkat edilmesi gereken konulardan biri de eksiksiz bir programa sahip olmak için herhangi bir tasarım ihtiyacı ve hedefinin unutulmamasını sağlamaktır (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Bununla birlikte tasarım problemi daha iyi anlaşıldığında ve çözüm fikirleri geliştirildiğinde başlangıçta belirlenen hedefler genişletilerek veya daraltılarak değişebilir (Dieter ve Schmidt, 2012).

2.2.2 Konsept tasarımı

Konsept tasarım, genellikle basit bir çizim biçiminde, boyutlar, oranlar, şekil ve malzeme olmadan ifade edilen ilk ürün fikrinin yaratıcı düşünme yöntemleriyle geliştirilerek, tasarım problemine gerçekçi çözümler sunan, formu, malzemeleri, boyutları, detayları ve teknik çözüm ilkeleri belirlenmiş ürün konseptinin oluşturulduğu aşamadır (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Bu aşamada tasarım

probleminin açıklaması, tasarım ihtiyaçları, hedefleri ve ürün şartnamesi kullanılarak genel çözüm konseptleri üretilir (Cross, 2005). Konsept çözümler, fonksiyonel modelleme, çözüm ilkeleri ve ürün konseptleri oluşturma etkinlikleri aracılığıyla geliştirilir. Ana fonksiyonel modelleme yaklaşımları: fonksiyonel dağıtım (*functional deployment*); aksiyom esaslı sentez (*axiom-based synthesis*) ve fonksiyon ağacıdır (*function-means tree*). Ürünün fonksiyon yapısı tanımlandığında, fonksiyonların genellikle morfolojik bir matriste listelendiği, çözüm ilkelerinin üretilmesi süreci başlar. Her fonksiyon için çözüm ilkeleri önerilir ve daha sonra bu çözüm ilkeleri varyasyonlar halinde birleştirilerek ürün konseptleri oluşturulur (Junior Montanha ve diğ, 2007). Daha sonra bu konseptler değerlendirilerek tek bir konsepte indirgenir. Konsept tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri ile birlikte Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3: Konsept tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri (Pahl ve diğ, 1996; Molloy ve diğ, 1998; Cross, 2005; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik
Temel problemleri belirlemek için soyutlama	Problemin temelini belirlemek için gereken fonksiyon ve temel kısıtlamalar açısından ihtiyaçlar listesi analiz edilir.
Problem tanımının sistematik olarak genişletilmesi	Mevcut problem tanımı göründüğü gibi kabul edilmez. Orijinal görevin genişletilmesinin veya yapılacak bir değişikliğin yaratıcı çözümlere yol açıp açmayacağını keşfetmek için aşamalı bir araştırma gerçekleştirilir. Bu faaliyet, daha önce alınan kararlarla çelişebilir; ancak problemin çözümü için yeni bakış açıları sağlar.
Genel fonksiyonun belirlenmesi	Enerjinin akışı, malzeme ve sinyallere dayanarak, bir blok şema yardımıyla, çözümden bağımsız olarak girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin ifade edildiği genel ürün fonksiyonu belirlenir.
Alt fonksiyonların belirlenmesi	Karmaşıklık düzeyi yüksek olan genel fonksiyon düşük karmaşıklıktaki alt fonksiyonlara bölünür. Alt fonksiyonların kombinasyonu, genel fonksiyonu temsil eden bir fonksiyon strüktürü oluşturur.
Çalışma prensipleri araştırması	Bir çalışma prensibi, bir fonksiyonun yerine getirilmesi için gereken fiziksel etkiyi, geometri ve malzeme özelliklerini yansıtır. Her bir alt fonksiyon için çalışma prensipleri iç kaynaklar (birey veya grup) ve dış kaynaklardan (uzmanlar, patentler, literatür, kullanıcılar, mevcut ürünlerle kıyaslama) araştırılır.
Çalışma prensiplerinin birleştirilmesi	Genel fonksiyonu yerine getirmek için, genel çözüm ilkeleri birleştirilerek detaylandırılır. Bir sistem sentezi oluşturulur.
Çalışma strüktürünün seçimi	Bu faaliyet seçme ve tercihleri belirleme aktiviteleri ile tanımlanır. Çalışma prensibi birleşimleri içinden geliştirilmeye uygun olanlar seçilir.

Çizelge 2.3 (devam): Konsept tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri (Pahl ve diğ, 1996; Molloy ve diğ, 1998; Cross, 2005; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik
Konsept geliştirme	Çalışma strüktürü geliştirilerek problem tanımınında belirtilen konuları potansiyel olarak giderecek geniş bir konsept kümesi oluşturulur. Konseptlerle ilgili çalışma prensipleri, uygulama ve göreve özgü kısıtlamaların önemli yönleri bilinmelidir. Etkin bilgi toplama ile birleştirilen ekip esaslı yaratıcılık yöntemlerinin kullanımı önemli faaliyetlerdir. Ürün strüktürü tasarımı (ana bileşenlerin ve alt montaj birimlerinin belirlenmesi), boyutlandırma tasarımı (bileşen ilişkilerinin ve ana parametrelerin belirlenmesi) ve uygun üretim teknolojilerinin belirlenmesi çalışmalarını içerir.
Konsept seçimi	Tasarım konseptlerinin değerlendirilmesi, değiştirilmesi ve tercih edilen tek bir konsept haline getirilmesi işlemleridir. Seçim kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması; konseptlerin seçim kriterleri parametrelerinin derlenmesi, genel değerlerinin belirlenmesi ve birbiriyle karşılaştırılması, değerlendirme belirsizliklerinin tahmini, zayıf noktaların araştırılması çalışmalarını içerir. Genellikle birkaç yineleme gerektirir.
Ürün tasarım şartnamesinin iyileştirilmesi	Konsept seçildikten sonra ürün tasarım şartnamesi tekrar gözden geçirilir. Tasarım ekibi, genellikle kritik kalite parametreleri olarak adlandırılan tasarım parametrelerinin belirli kritik değerlerine ulaşmayı, maliyet ve performans arasında dengeyi sağlamayı taahhüt etmelidir.
Tasarım değerlendirmesi	Tasarımın fiziksel olarak gerçekleştirilebilirliği ve ekonomik olarak değeri değerlendirilir. Detaylı ürün geliştirme programı incelenir. Bu, ürün döngü süresini en aza indirmek için bir strateji geliştirmek ve projeyi tamamlamak için gereken insan, ekipman ve para kaynaklarını belirlemek için gereklidir.

Konsept tasarım, işletme organizasyonundaki birçok fonksiyon arasında koordinasyon gerektirmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu süreçte mühendislik biliminin, pratik bilginin, üretim yöntemlerinin ve ticari konuların bir araya getirilmesi gerekir (Cross, 2005).

Konsept tasarımı en çok yaratıcılık gerektiren, en çok belirsizlik içeren ve en önemli tasarım kararlarının alındığı aşamadır (Cross, 2005; Dieter ve Schmidt, 2012). Konsept geliştirme süreci inovasyon için temel kabul edilmektedir; çünkü tasarım problemini bir soyutlama işlemi ile bilinen çözümlerden ayırır (Cross, 2005; Junior Montanha ve diğ, 2007). Bu durum inovasyon için daha çok olasılığın geliştirilmesine öncülük etmektedir. Öneminin bilinmesine rağmen, bu sürecin tasarımcılar tarafından etkin bir şekilde gerçekleştirilemediği öne sürülmektedir. Bu durum, fonksiyonel modelleme faaliyetlerinin soyut doğası ve ürünü temsil eden,

genel olarak geçerli, fonksiyonları (temel işlemler) değiştirme zorluğundan kaynaklanmaktadır (Junior Montanha ve diğ, 2007).

Konsept tasarım süreci, soyutlama kapasitesi ve fonksiyonların doğru tanımını gerektirmektedir. Bu bilgilerin elde edilmesini desteklemek için önerilen yöntemlerden biri de tersine mühendisliktir. (Junior Montanha ve diğ, 2007)

2.2.3 Uygulama Tasarımı

Ön tasarım ya da sistem tasarımı olarak da adlandırılan bu aşamada tasarım konseptinin yapısal gelişimi gerçekleşmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012**)**. Ürün tarafından gerçekleştirilmesi gereken tüm ana fonksiyonların bir düzenlemesi yapılır. Ürünün montaj birimleri, bileşenleri ve parçaları ile bunların malzeme seçimi, boyutları, geometrik şekilleri, mekânsal uyumlulukları ve sağlamlıkları konularında kararlar alınır (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Uygulama aşamasında, tasarımcılar genel konfigürasyon tasarımını (genel yerleşim düzeni ve mekansal uyumluluk), ön form tasarımlarını (bileşen şekilleri ve malzemeler) ve üretim süreçlerini belirlemeli, yardımcı fonksiyonlar için çözümler sağlamalıdır (Pahl ve diğ, 1996**)**. Uygulama tasarımı, analiz ve sentezin sürekli olarak birbirini izlediği ve tamamladığı çok sayıda faaliyet içerir. Bu nedenle bu aşama için ayrıntılı bir eylem planı hazırlamak zordur (Boeijen ve Daalhuizen, 2010); çoğunlukla genel bir yaklaşım önerilmektedir (Pahl ve diğ, 1996). Özel tasarım problemleri, nadiren kesin olarak tahmin edilebilen, sapmalar ve yardımcı faaliyetler gerektirebilir (Pahl ve diğ, 1996). Bu bağlamda Dieter ve Schmidt (2012) uygulama tasarımı faaliyetlerini, ürün mimarisi tasarımı, parçaların ve bileşenlerin konfigürasyon tasarımı ve parçaların parametrik tasarımı olmak üzere üç temel görev altında incelemiştir. Uygulama tasarımında yer alan bu temel görevler aşağıda açıklanmaktadır.

- **Ürün mimarisi tasarımı:** Ürün mimarisi, bir ürünün fiziksel öğelerinin gerekli fonksiyonları yerine getirmesi için düzenlenmesidir (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu düzenleme, fonksiyonel elemanların fiziksel olarak nasıl bir araya geleceklerinin tanımlanması ile ürün veya ürün ailesi için ana bileşen gruplarının oluşturulması şeklinde gerçekleşir.

Ürün mimarisi, fonksiyon diyagramları, konseptlerin kaba eskizleri ve konsept modelin ispatı gibi çalışmalar üzerinden konsept tasarımı aşamasında ortaya çıkmaya başlar. Ancak, ürün mimarisi ve düzeni, ürünün temel yapı taşlarını ve arayüzlerini tanımlayarak, uygulama tasarımı aşamasında geliştirilir. Bir ürünün mimarisi, bir tasarım konsepti seçildikten sonra fonksiyonların başarılı bir şekilde yerine getirilebilmesi için en iyi sistemi oluşturmak üzere seçilir. Ürünün mimarisi fonksiyon strüktürü ile ilişkilidir; fakat onunla eşleşmesi gerekmez. Ürünün düzenlendiği fiziksel yapı taşlarına modül, alt sistem, kısmi montaj, küme ya da yığın (*chunk*) adı verilir (Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012). Her modül, işlevleri yerine getiren bir bileşenler topluluğundan oluşur.

Literatürde ürün mimarisinin belirlenmesinde izlenebilecek çeşitli yöntemler tanımlanmıştır. Bunlardan biri de Ulrich ve Eppinger'in (2012) dört aşamalı yöntemidir. Yöntemi oluşturan aşamalar şunlardır:

- Ürünün bir şemasının yaratılması
- Şemayı oluşturan elemanların kümelenmesi
- Kabaca geometrik düzenin oluşturulması
- Temel ve tesadüfî etkileşimlerin belirlenmesi

Ürünün mimarisi, ürünü oluşturan bileşenler arasındaki ilişkiler ve ürünün gerçekleştirdiği fonksiyonlar tarafından belirlenir. Ürün mimarisinin birbirine tamamen ters iki türü bulunur: modüler ve bütünleşik (Ulrich, 1992). Modüler ürün mimarisinde, her bir modül yalnızca bir veya birkaç fonksiyon yerine getirir ve modüller arasındaki etkileşimler iyi tanımlanmıştır. Bütünleşik ürün mimarisinde, ürün fonksiyonları yalnızca bir veya birkaç modül tarafından sağlanır; bileşenler birden çok fonksiyon gerçekleştirir. Bu durum bileşen sayısını azaltır; fakat parçaların karmaşıklık düzeyini arttırabilir. Bütünleşik ürün mimarisi karmaşık parçalarla elde edilmezse, genellikle maliyeti de azaltır. (Dieter ve Schmidt, 2012)

Ürün mimarisi, genel tasarım sisteminin alt sistemlere veya modüllere ayrılmasıyla ilgilidir. Modül strüktürü, temel bir çözümün gerçekleştirilebilir parçalara, bileşenlere veya düzeneklere bölünmesini belirler ve karmaşık sistemlerin tasarımında önemli bir yeri bulunur (Boeijen ve Daalhuizen,

2010) Bu aşamada, tasarımın fonksiyonel görevlerini yerine getirmek için ürünün fiziksel bileşenlerinin nasıl düzenlenip birleştirileceğine karar verilir.

Ürün mimarisi kararlarının geniş kapsamlı etkileri vardır. Ürün farklılaşması, ürün çeşitliliği, bileşen standardizasyonu, ürün performası, üretilebilirlik ve ürün geliştirme yönetimi bunlardan bazılarıdır (Ulrich ve Eppinger, 2012).

- **Parçaların ve bileşenlerin konfigürasyon tasarımı:** Bir ürünü oluşturan parçalar delik, nervür, yiv ve eğri gibi fiziksel özelliklere sahiptir. Bir parçanın konfigürasyonu, hangi fiziksel özelliklere sahip olacağını ve bu özelliklerin birbirine göre uzayda nasıl düzenleneceğini belirlemektedir. Bu aşamada fonksiyon ve mekânsal kısıtlamaları kontrol etmek için modelleme ve simülasyon teknikleri kullanılabilir. Parçaların ürün tasarım şartnamesini karşıladığından emin olmak için yalnızca yaklaşık boyutları belirlenir. Parçaların, malzemeler ve üretim konusunda, özellikleri daha tanımlı hale getirilir. Hızlı prototipleme süreçleriyle parçanın fiziksel bir modelinin oluşturulmasına da gerek duyulabilir. (Dieter ve Schmidt, 2012)
- **Parçaların parametrik tasarımı:** Parametrik tasarım, parçanın konfigürasyonu hakkında bilgilerin üretilmesiyle başlar; parçanın tam boyutlarını ve toleranslarını belirlemeyi amaçlar. Daha önce yapılmadıysa, malzeme ve üretim süreçlerine ilişkin nihai kararlar belirlenir. Konfigürasyon tasarımında tanımlanan bileşenlerin nitelikleri, parametrik tasarım için tasarım değişkenleri haline gelir. Bir tasarım değişkeni, değeri tasarımcının kontrolünde olan, bir parçanın niteliğidir. Parametrik tasarımın amacı hem performansı hem de maliyeti dikkate alarak mümkün olan en iyi tasarımı üretecek tasarım değişkenleri için değerler belirlemektir. Tasarımın sağlamlığını, kalitesini ve üretilebilirliğini değerlendirmek, karşılaşılabilecek olası hataları belirlemek için ürünün parçaları, montaj birimleri ve sistemini inceler. Bunu süreçte tasarımın geliştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemlerden (bk. Bölüm 2.3.3) yararlanır.

Bu aşamada gerçekleştirilen faaliyetler genel geçer niteliklerini kaybetmeden gösterilebilecek en ayrıntılı şekilde, temel olarak Pahl ve diğ. (1996) çalışması uyarlanarak, Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4: Uygulama tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri (Pahl ve diğ, 1996; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik
Uygulama tasarımında belirleyici ihtiyaçların tanımlanması	Tasarım ihtiyaçları listesi kullanılarak, uygulama tasarımında önemli etkiye sahip olan boyut, düzenleme ve malzeme belirleme ihtiyaçları tanımlanır.
Mekânsal kısıtlamaların ölçekli çizimlerinin üretilmesi	Uygulama tasarımını belirleyen veya kısıtlayan, boşluklar, aks konumları, montaj ihtiyaçları gibi, uzamsal kısıtlamaların ölçekli çizimleri üretilmektedir.
Uygulamada belirleyici ana fonksiyon taşıyıcılarının tanımlanması	Konseptten türetilmiş kaba bir yerleşim düzeni, uygulama belirleyici ana fonksiyon taşıyıcıları, ana fonksiyonları yerine getiren montajlar ve bileşenler vurgulanarak üretilir.
Uygulamayı belirleyen ana fonksiyon taşıyıcıları için ön yerleşim düzeni (*preliminary layout)* ve form tasarımı geliştirilmesi	Genel düzenleme, bileşen şekilleri ve malzemeler geçici olarak belirlenir. Bilinen çözümler veya mevcut bileşenler (tekrarlanan parçalar, standart parçalar vb.) basitleştirilmiş biçimde gösterilmelidir. Yalnızca seçili alanlarda çalışmaya başlamak ve bunları daha sonra ön yerleşim düzeninde birleştirmek faydalı olabilir.
Ön yerleşim düzenlerinin seçimi	Ön yerleşim düzenleri genel ürün tasarım hedefleri ve kısıtlamaları bağlamında değerlendirilir ve geliştirmeye elverişli olanlar seçilir.
Diğer ana fonksiyon taşıyıcıları için ön yerleşim düzeni ve form tasarımı geliştirilmesi	Bilinen çözümler mevcut olduğundan veya uygulamada belirleyici olmadıklarından henüz dikkate alınmamış olan ana fonksiyon taşıyıcıları için ön yerleşim düzeni ve form tasarımı geliştirilir.
Yardımcı fonksiyonlar için çözüm araştırması	Hangi temel yardımcı fonksiyonlara (destek, sızdırmazlık, soğutma vb.) ihtiyaç olduğu belirlenir. Mümkünse bilinen çözümlerden (tekrarlanan parçalar, standart parçalar, katalog çözümleri gibi) yararlanılarak ya da özel çözümler oluşturularak bu fonksiyonlar elde edilir.
Yardımcı fonksiyon taşıyıcılarla uyumluluğu sağlayarak ana fonksiyon taşıyıcıları için ayrıntılı yerleşim düzeni ve form oluşturulması	Ana fonksiyon taşıyıcıları için ayrıntılı yerleşim düzeni ve form tasarımı uygulama tasarım kurallarına ve şartnamelerine uygun olarak geliştirilir. Standartlara, yönetmeliklere, ayrıntılı hesaplamalara, deneysel bulgulara ve ayrıca çözülmüş olan yardımcı fonksiyonlarla uyum sorununa dikkat edilmelidir. Gerekirse, ayrı ayrı geliştirilebilecek montaj birimlerine veya alanlara bölünebilir.
Genel yerleşim düzeninin tamamlanması	Gerekli parçalar eklenerek yardımcı fonksiyon taşıyıcıları için ayrıntılı yerleşim düzenleri ve tasarımlar geliştirilmeye devam edilir. Gerekirse, ana fonksiyon taşıyıcılarının tasarımı da değiştirilerek tüm fonksiyon taşıyıcıları genel yerleşim düzeninde birleştirilir.
Teknik ve ekonomik kriterlere göre değerlendirme	Genel ürün yerleşim düzeni çalışmaları teknik ve ekonomik kriterlere göre değerlendirilir. Değerlendirilecek tüm tasarımlar aynı düzenleme seviyesinde olmalıdır, aksi takdirde güvenilir bir değerlendirme yapılamaz.
Ön yerleşim düzeninin seçimi	Geliştirilecek genel ön yerleşim düzeni yapılan teknik ve ekonomik değerlendirme bağlamında seçilir.

Çizelge 2.4 (devam): Uygulama tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri (Pahl ve diğ, 1996; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik
Form tasarımının optimize edilmesi ve tamamlanması	Değerlendirme sırasında tespit edilen zayıf noktalar ortadan kaldırılarak seçilen yerleşim düzeni için form tasarımı optimize edilir ve tamamlanır. Gerekirse önceki faaliyetler tekrarlanır ve değerlendirmeyi geçememiş olan çözümlerden uygun görülen alt çözümler benimsenir.
Tasarımın kontrolü ve iyileştirilmesi	Yerleşim düzeni tasarımı fonksiyon ve mekânsal uyumluluk hataları (tasarım hataları), ve karmaşıklık oluşturan faktörlerin etkileri açısından kontrol edilir. Gerekli iyileştirmeler yapılır.
Parça listesinin ve üretim dokümanlarının ön hazırlığı	Ürünün parça listesi, üretim ve montaj belgeleri detay tasarımı aşamasında tamamlanmak üzere hazırlanır.

Uygulama tasarımı, analiz, sentez, simülasyon ve değerlendirme çalışmalarının sürekli olarak uygulanmasıyla, birbirini değiştirip tamamlayan düzenleme döngüleri içerir (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Malzemeler, üretim süreçleri, tekrarlanan parçalar ve standartlar hakkında bilgi toplanması çaba gerektirir (Pahl ve diğ, 1996). Tasarım, ölçekli çizimler yardımıyla geliştirilir, eleştirel bir şekilde incelenir, teknik ve ekonomik bir değerlendirmeye tabi tutulur (Pahl ve diğ, 1996). Uygulama tasarımında hazırlanan ürün modeli, fonksiyon, dayanıklılık, üretim, montaj, işletme ve maliyetlerin net bir kontrolünün yapılabileceği noktaya kadar geliştirilmelidir (Pahl ve diğ, 1996). Bu aşamadan sonra, ürünle ilgili kapsamlı değişiklikler yapmak çok pahalı hale gelmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012).

2.2.4 Detay Tasarımı

Bu aşamada tasarım, mühendislik özellikleri tanımlanmış, test edilmiş ve üretilebilir bir ürünün eksiksiz bir tanımı haline getirilerek, ürün dokümanları geliştirilmektedir. (Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012). Ürünün ve onu oluşturan her bir parçanın düzenlenmesi, şekli, boyutları, toleransları, yüzey özellikleri, malzemeleri ve üretim işlemleri hakkındaki eksik bilgiler giderilir. Ürünü oluşturan her bir özel parça ve tedarikçilerden satın alınacak tüm standart parçalar tanımlanır ve şartnameleri oluşturulur (Cross, 2005). Ürünün montaj çizimleri, detay çizimleri ve metraj cetveli ortaya koyulur. Üretim, montaj, test, nakliye, işletme, kullanım, bakım ve benzeri için gerekli talimatlar geliştirilir (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Üretim sisteminde üretilecek her parçanın ekipmanları tasarlanır ve süreç planı

oluşturulur (Cross, 2005). Detay tasarım aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri ile birlikte Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5: Detay tasarımı aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler, amaç ve içerikleri (Pahl ve diğ, 1996; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik
Parçaları üretme ya da satın alma kararının verilmesi	Ürünün parçalarının dâhili olarak imal edilmesi ya da harici olarak tedarikçilerden temin edilmesi karara bağlanır. Üretilecek ve satın alınacak parçalar belirlenir.
Parçaların seçimi ve boyutlandırılmasının tamamlanması	Uygulama tasarımında alınmayan parça özellikleri kararları sonuçlandırılır.
Mühendislik çizimlerinin tamamlanması	Üretime uygun şekilde ürünün detaylı mühendislik çizimleri hazırlanır. Bu çizimler genellikle bilgisayar tabanlı olarak üç boyutlu modelleri içerecek şekilde hazırlanır. Montaj çizimleri ve montaj talimatları tamamlanır.
Metraj cetvelinin tamamlanması	Ürünün tüm montaj birimlerini içeren metraj cetveli hazırlanır.
Ürün tasarım şartnamesinin revizyonu	Konsept tasarımından sonra yapılmış olan tüm değişiklikleri içerecek şekilde ürün tasarım şartnamesi güncellenir. Üretim, montaj, taşıma ve işletme talimatları tamamlanır.
Prototip testi incelemelerinin tamamlanması	Genellikle, ürünün birkaç ön üretim versiyonu oluşturulur ve test edilir. Yapılan incelemelerle tüm kritik kalite kriterlerinin kontrol altında olduğu onaylanır.
Nihai maliyet tahmini	Ürünün ayrıntılı bir maliyet tahmini gerçekleştirilir.
Tasarım projesi raporunun hazırlanması	Gerçekleştirilen tasarım faaliyetlerini tanımlamak ve tasarımı ayrıntılı olarak tartışmak için proje raporu hazırlanır. Bu, tasarım bilgisinin başka bir tasarım ekibine aktarılmasını sağlar.
Son tasarım değerlendirmesi	Son tasarım değerlendirmesinde yönetim tarafından ürün tasarımının üretime hazır olup olmadığına ve bunun gerektirdiği temel finansal taahhüdün alınmasına karar verilir. En kapsamlı tasarım değerlendirmesi bu aşamada yapılır.
Tasarımın üretime devri	Ürün geliştirme süresini en aza indirmek için eşzamanlı mühendislik yaklaşımının kullanımı, detay tasarımı ile imalat arasındaki sınırı bulanıklaştırmaktadır.

Tasarım süreci, ayrıntılı mühendislik çizimleri ve şartnamelerin imalat organizasyonuna iletilmesiyle tamamlanmaz. Tasarım sürecinin bir parçası olan diğer birçok teknik ve ticari karar alınmalıdır. Tasarımın nasıl üretileceği, nasıl pazarlanacağı, kullanım sırasında nasıl korunacağı ve nihayetinde hizmetten çıkarılarak nasıl geliştirilmiş bir tasarımla yer değiştireceği düşünülmeli ve planlanmalıdır. Genel olarak, tasarımın bu aşamaları organizasyonun başka bir

yerinde mühendislik veya ürün geliştirme bölümünde gerçekleştirilir. (Dieter ve Schmidt, 2012)

Ürün geliştirme sürecinde karşılaşılan zorluklar sık sık detaylandırma problemlerinden ortaya çıkmaktadır (Pahl ve diğ, 1996). Bu nedenle detay tasarımının önem veya ilgi gerektirmeyen alt problemler yarattığını düşünmek yanlıştır. Bu aşamaya gereken ilgi ve sürenin ayrılması gerekmektedir.

2.3 Ürün Tasarımında Kullanılan Sistematik Yöntemler

1970'lerden önce tasarım, tasarım teori ve metodolojisi hakkında yetersiz bilgiye sahip olunması nedeniyle, mühendislikten çok sanata yakın kabul edilmekteydi. Günümüzde ise bu durum değişmiştir; tasarım metodolojileri endüstri ürünü ve mühendislik tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada bahsedilen tasarım teorisi tasarımın nasıl modelleneceği ve anlaşılacağı ile; tasarım metodolojileri ise nasıl tasarım yapılacağı veya tasarımının nasıl olması gerektiği ile ilgilidir (Tomiyama ve diğ, 2009). Tasarım modelleri tasarım sürecinin morfolojik formunun bir açıklaması veya yönergesini ifade eder (Wynn ve Clarkson, 2005). Tasarım yöntemi ise bir modeldeki aşamaları desteklemek için sistematik prosedürler önerir (Wynn ve Clarkson, 2005).

Herhangi bir bilimsel bilgi, bulguların toplamından hipoteze; hipotezden kanuna evrimleşir. Kanunlar da konulara genel hükümler veren kanunlar ve yalnızca kısıtlı bir alan için geçerli kanunlar arasında geniş bir öçekte çeşitlilik göstermektedir. Aynı şekilde tasarım teori ve metodolojisindeki araştırmalar ilerledikçe, üretilen yöntemler de soyut ve genelden somut ve özel formlara doğru çeşitlenmiştir. Tüm bu yöntemlerin benzerlikleri ve farklılıkları açısından daha iyi anlaşılabilmesi için Finger ve Dixon (1989), Tomiyama (1997), Horváth, (2004), Wynn ve Clarkson (2005) ve Wen ve diğ. (2012) çeşitli sınıflandırma sistemleri önermişlerdir. Bu çalışmada, kapsamı ve kolay anlaşılırlığı açısından Tomiyama'nın (1997) sınıflandırma sistemi kullanılmıştır. Tomiyama (1997) tasarım yöntemlerini "somut ve soyut" ile "özel ve genel" olmak üzere iki eksen ve dört kategoride incelemiştir. Bu kategoriler aşağıda açıklanmaktadır.

- **Soyut ve Genel:** Tasarım süreçleri, aktiviteleri ve bilgisi ile ilgili tasarım teorileridir.
- **Soyut ve Özel:** Yalnızca belirli bir ürün tasarım sınıfına uygulanabilir. Soyutlama genellikle matematik biçimini alır, yani tasarım çözümleri hesaplama ve algoritma yoluyla elde edilebilir. Matematik tabanlı yöntemler bu kategoriye girer.
- **Somut ve Genel:** Çeşitli ürünlere uygulanabilen somut tasarım teorileri ve yöntemleridir. Tasarım yöntemlerinin genelleştirilmesiyle elde edilir. Bu genelleme, farklı ürün türlerinde ortak olan belirli özelliklere odaklanılmasıyla mümkündür. Tasarım yöntembilimi (normatif modeller) ve somut amaçlar elde etmeyi amaçlayan yöntemler bu kategoride değerlendirilir.
- **Somut ve Özel:** Belirli bir ürün sınıfına ait tasarım yöntemleridir. Ürün sınıfına ait bireysel tasarım örneklerinin kayıtlarını gruplandırıp aralarındaki ortak noktaları belirleyerek bu ürün sınıfı için "tasarım yöntemleri" elde edilir. Bir jet motorunun nasıl tasarlanacağı ile ilgili prosedürel bilgi bu grupta incelenir.

Literatürden derlenen tasarım yöntemleri (Shetty, 2016; Cross, 2005; Ichida ve Voigt, 1996; Jones, 1992; Graner ve Mißler-Behr, 2013; Tomiyama ve diğ. 2009; Roozenburg ve Eekels, 1995) Tomiyama'nın (1997) tasarım teori ve metodolojisi sınıflandırmasına göre sınıflandırılarak Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenecek yöntemler cephe ürününün tasarım yapısı gereği Tomiyama ve diğ. (2009) sınıflandırmasında somut ve genel kategorisine giren yöntemlerdir. Tasarım metodolojileri, somut hedeflere ulaşma yöntemleri ve süreç metodolojileri bu kategoriye dâhildir. Tasarım metodolojileri ürün tasarım süreçleri bağlamında Bölüm 2.2'de incelenmiş, gerçekleştirilen genel faaliyetler tanımlanan 4 süreç aşamasında açıklanmıştır. Süreç metodolojileri tüm geliştirme sürecini ele alarak, süreçler arasında entegrasyona bağlı iyileştirme sağlayan yöntemlerdir. Somut hedeflere ulaşma yöntemleri ise tasarım sürecinde gerçekleştirilen aşamalara tasarım ürününü veya sürecini belirli bir perspektiften geliştirmek için destek sağlamaktadır. Süreç metodolojileri ile somut hedeflere ulaşma yöntemleri kullanım

amaçları bağlamında çoğu zaman iç içe geçmiştir ve süreç metodolojileri somut hedeflere ulaşma yöntemlerinin içinde de değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.6: Tomiyama (1997) tasarım teori ve metodolojisi sınıflandırmasına göre literatürden derlenen yöntemlerin sınıflandırılması (Uyarlama; Tomiyama ve diğ, 2009).

	GENEL	**ÖZEL**
SOYUT	**Tasarım teorileri:** Genel Tasarım Teorisi (GDT), Evrensel Tasarım Teorisi (UDT), Soyut Tasarım Teorisi (ADT)	**Matematik tabanlı yöntemler:** Aksiyomatik Tasarım, Taguchi yöntemi, optimizasyon, bilgisayar programları
SOMUT	**Tasarım yöntembilim (methodology):** Uyarlama Tasarım (adaptive design), Ullman, Hansen, Ulrich ve Eppinger, Pahl ve Beitz, Hubka ve Eder, Muller, Koller, Roth, TRIZ, Weber'in özellik modellemesi, Albers'in Temas ve Kanal Modeli, Andreasen'in entegre ürün geliştirme modeli vb. **Somut hedeflere ulaşma yöntemleri:** Aksiyomatik Tasarım, TRİZ, X için Tasarım (DFX) (Üretim için Tasarım (DFM), Üretim ve Montaj için Tasarım (DFMA), Six Sigma için Tasarım (DFSS) vb.) tasarım karar verme yöntemleri, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD), Tasarım Yapı Matrisi (DSM), Pugh'un Toplam Tasarımı vb. **Süreç yöntembilim (methodology):** Eşzamanlı mühendislik (concurrent engineering), DSM vb.	**Tasarım yöntemleri**

Somut hedeflere ulaşma yöntemleri ürün tasarımının başarısı açısından en az kullanılan tasarım metodolojisi kadar öneme sahiptir ve ayrıca incelenmeleri gerekmektedir. Bu kategoride değerlendirilen, tasarım probleminin netleştirilmesinden detay tasarıma kadar tasarım sürecinin tüm konularında destek sağlamak için geliştirilmiş (Cross, 2005), çok çeşitli sistematik tasarım yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler pek çok kaynakta kullanıldıkları ürün tasarım süreçlerine ve kullanım amaçlarına göre gruplandırılmıştır (Jones, 1992; Shetty 2016; Bandera ve diğ, 2011; Graner ve Mißler-Behr, 2013; Dieter ve Schmidt, 2012). Bununla birlikte aynı amaca ulaşmak için geliştirilmiş farklı yöntemler de bulunabilmektedir. Bu yöntemler arasından geliştirilen projeye en uygun olanın seçilmesi de ayrı bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarım ekibinin geliştirdikleri ürün geliştirme süreci hedefleri ve karşılaştıkları zorluklar bağlamında uygun yöntemleri aramak için önemli miktarda çaba harcaması gerekmektedir (Buchert ve diğ, 2017).

Yöntem seçim yaklaşımları hem stratejik hem de operasyonel düzeyde geliştirilmiştir (Buchert ve diğ, 2017). Stratejik düzeyde yöntem seçimi, şirketin türüne ve mevcut durumuna göre doğru aracı belirlemeye odaklanır. Seçim, kriterler açısından yöntemlerin değerlendirilmesiyle desteklenir. Operasyonel düzeyde yöntem seçimde her projenin ihtiyaçlarına odaklanılmaktadır. Ernzer ve Birkhofer (2002) operasyonel düzeyde yöntem seçiminde kullanılacak 3 aşamalı bir yaklaşım önermiştir (Buchert ve diğ, 2017). Bu yaklaşımda ilk aşamada bir yöntem havuzu oluşturularak standart yöntemler tanımlanır. İkinci aşamada bu yöntem havuzundan, şirket ile ilgili özellikleri yansıtan kriterler kullanılarak, ilgili yöntemlerin bir alt kümesi seçilir. Üçüncü aşamada ise geliştirilen proje bağlamında yöntemin seçimi yapılmaktadır.

Buchert ve diğ. (2017), ürün geliştirme ekiplerine, ürün tasarım yöntemlerinin seçiminde, programlanmasında ve uygulanmasında destek olması için Tasarım Karar Destek Asistanı ve bilgi teknolojileri tabanlı yardım sistemi geliştirilmiştir. Sürdürülebilir ürün tasarımı yöntemlerinin seçimi üzerine odaklanmış olan bu çalışmada geliştirilen yöntem sınıflandırma ve seçim kriterleri, soyutlanıp genel kullanıma uyarlanarak Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7:Yöntem seçiminde kullanılabilecek kriterler (Uyarlama, Buchert ve diğ, 2017).

Kriter	Kriter Seçenekleri
Yöntemin amacı	İyileştirme kriterinin belirlenmesi
	Karşılaştırma
	Değerlendirme
	Çözüm uzayının daraltılması
Ölçme	Nitel
	Nicel
	Yarı nicel
Kapsadığı konular	Yaratıcılık
	Üretilebilirlik
	Kalite/ Rekabet edebilirlik
	Güvenlik
	Malzeme seçimi
	Maliyet
Uygulama zorluğu	1
	2
	3
Yöntem kullanıcısı	Tasarım müdürü
	Tasarım mühendisi
	Uzman
Uygulama için gerekli veriler	İhtiyaçlar/Fonksiyonlar
	Çözüm konseptleri
	Ürün mimarisi
	CAD dosyaları/ mevcut ürün, mevcut metraj cetveli
	Yardımcı bilgiler (lojistik, işçi güvenliği, paketleme, müşteri değeri vb.)
Yeniden tasarım odağı	Evet
	Hayır

Proje bağlamında ihtiyaç duyulan yöntemlerin seçimini kolaylaştırmak için mevcut ve yaygın olarak kullanılan yöntemler kullanım amaçlarına göre gruplandırılarak yöntem havuzları oluşturulmuştur. Ürün tasarımında en çok ihtiyaç duyulan yaratıcılığın desteklenmesi, sistematik karar verme ve değerlendirme ile tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan yöntemler aşağıdaki bölümlerde tanıtılmaktadır.

2.3.1 Yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemler

Her ne kadar çoğunda mevcut ürünlerin düzenlenmesi bulunsa da mühendislik tasarımının temelinde hâlâ yaratıcılık bulunmaktadır (Molloy ve diğ, 2012). Geliştirme sürecinde projeler çoğu zaman bir sonraki aşamanın net olarak bilinmediği bir noktaya ulaşmaktadır. Bu noktada, bir çözüm belirlemek için proje ekibinin yaratıcı olması gerekmektedir. Yaratıcılık, mevcut öğelerin yeniden sıralanması veya yeniden kombinasyonu ile yeniliklerin geliştirilmesi olarak görülebilmektedir (Cross, 2005). 19. yüzyılda öğretilemeyen, kopyalanamayan, taklit edilemeyen ve açıklanamayan bir kişisel yetenek olarak görülen yaratıcılık algısı, 20. yüzyılda bilimsel yaklaşımlara olan ilginin artmasıyla değişmiştir. Yaratıcılık ölçülebilir, bu nedenle de kontrol edilebilir kabul edilmiştir (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu bakış açısı, yaratıcılığın bireyler ve gruplar için öğretilebilir bir beceri olduğu konusunda bir kanı oluşturmuştur.

Yaratıcılık, bir tasarım süreci sonucu elde edildiği söylenebilecek, bir tür yenilikçi fiziksel ya da sanal üretim üzerinden tanımlanma eğiliminde olduğundan, tasarımla aralarında çok az fark olduğu da iddia edilmiştir (Plowright, 2014). Bununla birlikte sanatsal yaratıcılığı üreten aynı tür psikolojik ve fizyolojik temelli bilişsel süreçlerin, tasarım problemlerinin muhakemesinde ve çözümlerin geliştirilmesinde kullanılabileceği ortaya koyulmuştur. Howard ve diğ, (2007) yaptıkları kapsamlı yaratıcılık ve tasarım süreçleri incelemesi sonucunda bazı yaratıcılık süreçlerinin tasarım süreçleri olarak, tasarım süreçlerinin de yaratıcılık süreçleri olarak adlandırılabileceğini belirlemiştir.

Mühendislik tasarım sürecinin yaratıcılık süreciyle nasıl ilişkilendiğini anlamak, yaratıcı performansı arttırmak için önemli kaynaklara nerede ve ne zaman odaklanılması gerektiği hakkında fikir verecektir (Howard ve diğ, 2008). Genel olarak problemlere çözüm bulma teknikleri, "yaratıcılık teknikleri" veya "yaratıcılık

yöntemleri" olarak adlandırılmaktadır (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Bu yöntemlerin çoğu genel ilkeler içermektedir ve çeşitli problemlere uygulanabilir. Problemlere yaratıcı çözümler üretme ile ilgili genel görüş öncelikle olabildiğince fazla fikrin üretilmesidir. Tasarım çalışmalarının ilk aşamalarında üretilen fikirlerin miktarı, kalitesinden bağımsız olarak değerlendirilmekte ve alışılmadık fikirler teşvik edilmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012). Alternatif çözümler için fikir havuzu oluşturulduğunda, bu alternatifler daha eleştirel bir şekilde incelenir. Çok sayıda fikri denemek yerine, bir sistematik temelinde, odaklı düşünme ile bu fikirler değerlendirilir ve en uygun kabul edilen fikre odaklanılır. Yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemler de bu "fikir üretme" ve "fikre odaklanma" süreçlerinde destek sağlamaktadır. Bu bağlamda yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemler ürün tasarımının analiz, geliştirme, değerlendirme ve iletişim/uygulama aşamalarında kullanılmaktadır (Jahan ve diğ, 2016).

Literatürde yapılarına göre sınıflandırılmış birçok farklı yaratıcılık yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları doğrudan yaratıcılığın önündeki engellerin üstesinden gelme amaçlı olduğu gibi, bazıları da alternatif tasarım çözümleri üretmede yararlı bulunan, geçmişte kullanılan stratejileri doğrudan uygulamak için geliştirilmiştir. Bazı yöntemler, tasarım uzayında yapılan araştırmayı daha verimli hale getirir. Bazıları çalışmayı en iyi çözümün bulunduğu tasarım uzayı alanına daraltmaya odaklanır. Bazıları da tasarımcının tasarım uzayında bir tasarımdan en yakın diğer tasarıma geçmesine olanak veren işlemleri sağlar. Roozenburg ve Eekels (1995) yaratıcılık yöntemlerini ilişkilendirme yöntemleri ve yaratıcı çatışma yöntemleri olarak ikiye ayırmıştır. Beyin fırtınası gibi ilişkilendirme yöntemleri, daha önce ifade edilen fikirlere otomatik tepki vermeyi teşvik eder. Sinektik gibi yaratıcı çatışma yöntemleri de başlangıçta bağlantısız fikirlerin birleştirilmesiyle karakterize edilmektedir. Farklı bir yaklaşım olarak Tassoul (2006) yaratıcılık yöntemlerini 6 sınıfa ayırarak incelemiştir: envanter teknikleri, ilişkilendirme teknikleri, çatışma teknikleri, provokatif teknikler, sezgisel teknikler ve analitik-sistematik teknikler.

Çizelge 2.8'de literatürde yer alan yaratıcılık yöntemlerinin kullanım amaçları ile birlikte kapsamlı bir listesi verilmiştir. Bu yöntemleri, tasarım probleminin çeşitli tanımlarını oluşturmak ve zihinsel engellerin üstesinden gelmek için kullanılan

yöntemlerle genişletmek de mümkündür. Bir tasarım modeli kullanılarak açıklanmaları durumunda, yöntemlerin birçoğunun anlaşılması kolaydır. Tasarım probleminin niteliği ve tasarım ekibi üyelerinin bilgisi ile algısı bağlamında bu yöntemlerden uygun görülenler seçilerek kullanılmaktadır.

Çizelge 2.8: Yaratıcılığı destekleyen yöntemler.

Yöntem	Kullanım Amacı	Kaynak
Yanal Düşünme	Geleneksel adım adım ilerleme mantığı kullanarak elde edilemeyen fikirleri içeren, ilk bakışta açık olmayan bir muhakeme kullanılarak dolaylı yoldan problem çözmek	Shetty, 2016
Zihin Haritası	Merkezi bir tema etrafındaki fikirleri, konuları ve bunların birbiriyle nasıl ilişkili olduğunu grafiksel olarak göstermek	Boeijen ve Daalhuizen, 2010
Beyin Fırtınası	Bir grup insanı hızlıca birçok fikir üretmeye teşvik etmek	Roozenburg ve Eekels, 1995; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Jahan ve diğ, 2016; Shetty, 2016
Dunker Diagramı	Mevcut durumdan istenen duruma kadar olası çözüm yollarını incelemek. Her bir olası çözüm için fonksiyonel (ne yapılmalı) ve spesifik (nasıl yapılmalı) çözümler geliştirilir	Shetty, 2016
Sinektik	Analojilerin kullanımıyla fikir üretimine yoğunlaşmak. Karmaşık problemlere uygulanır. Problem analizi, fikir üretme ve seçim aşaması için teknikler içeren kapsamlı bir prosedürdür.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Blessing ve Chakrabarti, 2014; Jahan ve diğ, 2016
Osborn'un Yaratıcı Problem Çözme Süreci (CPSP), SCAMPER	Konsept geliştirmede yaratıcılık ve farklılığın sağlanması. Bireysel veya gruplar halinde kullanılabilecek fikir ve problemlerle ilgili kapsamlı bir soru listesidir. Soru listesi şu konuları içerir: değiştir, birleştir, uyarla, modifiye et / büyüt / küçült, diğer kullanımlara koy, ortadan kaldır, geri / yeniden düzenle.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Plowright, 2014; Shetty, 2016
Fonksiyonel Ayrışma ve Sentez	Bir sistemin veya cihazın ilk ve son durumları arasındaki dönüşümün tanımlaması. Fonksiyonu fiziksel davranış ya da eylemlerle açıklamaktadır.	Dieter ve Schmidt, 2012
Fonksiyon Analizi	Ürünün soyut bir modeli olan fonksiyon strüktürünü analiz etmek ve geliştirmek	Boeijen ve Daalhuizen, 2010
Fonksiyon Ağacı	Fonksiyonların ve gerçekleştirilme yöntemlerinin birlikte geliştirilmesi	Blessing ve Chakrabarti, 2014
Morfolojik Analiz	Gerekli bileşen parçalarının strüktürünün anlaşılması üzerinden alternatifler üretmek. Fonksiyonlar ve bileşenlerin matrisini verir. Tasarımcıyı yeni bileşen kombinasyonlarını tanımlamaya teşvik eder. Yöntem genellikle, fonksiyonel ayrışma ve sentez gibi diğer fikir üretici yöntemlerle birlikte kullanılır.	Cross, 2005; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Shetty, 2016; Jahan ve diğ, 2016

Çizelge 2.8 (devam): Yaratıcılığı destekleyen yöntemler.

Yöntem	Kullanım Amacı	Kaynak
Aksiyomatik tasarım	Bir tasarım görevini fonksiyonel gereksinimlere çevirmek (müşterinin istediğinin mühendislik eşdeğeri) ve tasarım parametrelerini tasarımın fiziksel bileşenleri olarak kullanmak için bir araç sağlama. Çözüm alternatifleri fonksiyon gereksinimleri ve tasarım parametreleriyle bir matris denklemi olarak temsil edilmektedir.	Tomiyama ve diğ, 2009; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Shetty 2016
Tasarım Optimizasyonu	Tasarımın bir mühendislik bilimi sorunu olarak görülmesi ve olası tasarımların analizi. Tek amaç ve tek değişkenli modellerden farklı dekompozisyonlar ve diziler kullanılarak çözülmüş çok amaçlı, çok değişkenli modellere kadar çeşitlilik gösterir.	Dieter ve Schmidt, 2012
Karar Tabanlı Tasarım	Tasarımla ilgili düşünmenin gelişmiş bir yoludur. Diğer yöntemlerden iki konuda farklılaşır. Müşteri gereksinimlerini sürecin itici gücü olarak birleştirir ve tasarım çıktılarını tasarım kalitesini değerlendirmede kullanır.	Dieter ve Schmidt, 2012
Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) ve Araçları	Sistematik inovasyon sağlamak. Tasarım sürecinde oluşan teknik çelişkilerin giderilmesi ve yeni teknik çözümler aramak için kullanılmaktadır.	Lucchetta ve diğ, 2005; Tomiyama ve diğ, 2009; Ulrich ve Eppinger, 2012; Plowright, 2014; Shetty 2016

Çizelge 2.8'de verilen yaratıcılık yöntemlerinden Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) pek çok uzmanlık alanında sistematik inovasyona öncülük etmesi bakımından ayrıca ele alınmalıdır. TRIZ, 1946 yılında Sovyet Genrich Saulovich Altshuller tarafından, 1,5 milyondan fazla Rus patentin incelenmesi sonucunda, teknik sorunların genel özelliklerinin ve tekrar eden yaratıcı ilkelerin tespiti ile geliştirilmiştir. TRIZ mantık ve bilgiye dayanan, yaratıcılığın sistematik bir şekilde ortaya çıkarılması için kullanılan analitik problem çözme tekniğidir. Problem çözerken yaratıcılık yoluyla yenilik yapmaya yönlendirmektedir. Yöntem, dört adımda problem çözümü sunmaktadır (Altshuller, 1984):

- Problemin tanımlanması
- Problemin genel TRIZ problemleriyle karşılaştırılması ve eşleştirilmesi: Patent incelemeleri sonucunda 39 teknik çelişki (problem) belirlenmiş ve "39 Mühendislik Parametresi" olarak adlandırılmıştır. Çelişkiler, teknik bir sistemin bir özelliğinin iyileştirilmesi istenirken aynı süreçte sistemdeki diğer bir özelliğin kötüleşmesiyle ortaya çıkan sorunlardır ve yaratıcılığın temelini oluştururlar.
- Çelişki çiftine karşılık gelen genel TRIZ çözümünün bulunması: İncelenen patentler sonucunda, teknik çelişkilerin çözümünde kullanılan 40 farklı

çözüm olduğu belirlenmiş ve bunlar "Yaratıcı Prensipler" olarak adlandırılmıştır.

- Probleme ilişkin ideal çözümün geliştirilmesi

TRIZ başlangıçta özellikle bilimsel problemler ve mühendislik problemleri için geliştirilmiş olsa da daha sonra herhangi bir problemi çözmek ve pratik yeniliği fen ve teknolojiye getirmek için bir araç kiti olarak geliştirilmiştir. Çeşitli hedefler üzerinde yoğunlaşmış Yaratıcı Problem Çözme Algoritması (ARIZ), Alternatif Sistematik İnovasyon Teknikleri (ASIT), Madde-Alan Analizi, Teknik Sistemlerin Evrim Kalıpları, Standart Çözümler, Yönlendirilmiş Ürün Evrimi, Hata Tespiti, İdeallik Yasaları, Psikolojik Atalet gibi çeşitli TRIZ araçları türetilmiştir (Shetty, 2016). Bunların içinden ASIT, TRIZ'in 40 yaratıcı prensibini, probleme özgü çözümlerin ve çok sık kullanılmayan prensiplerin elenmesi ve benzer prensiplerin gruplandırılmasıyla sadeleştirerek fikir geliştirici 5 araca indirgemiştir (Çizelge 2.9) (Horowitz, 2001). Böylece kullanım alanı genişletilmiş ve uygulanma süreci basitleştirilmiştir.

Çizelge 2.9: TRIZ prensiplerinin gruplandırılmasıyla elde edilen fikir geliştirici araçlar (Horowitz, 2001).

Araç	**Tanım**
Birleştirme (*Unification*)	Bir problemi mevcut bir bileşene yeni bir kullanım atayarak çözme.
Çoğaltma (*Multiplication*)	Bir problemi mevcut bir nesnenin biraz değiştirilmiş bir kopyasını mevcut sisteme ekleyerek çözme.
Bölme (*Division*)	Bir problemi bir nesneyi bölerek ve parçaları yeniden düzenleyerek çözme.
Simetriyi Kırma (*Breaking Symmetry*)	Bir problemi simetrik bir durumu asimetrik olana çevirerek çözme.
Nesne Kaldırma (*Object Removal*)	Bir problemi bir nesneyi sistemden kaldırarak ve eylemini varolan başka bir nesneye atayarak çözme.

Yukarıda bahsedildiği gibi sistematik problem çözme yöntemleri gerekli yaratıcılık seviyelerinin yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Ancak tasarım ekibinin tutumu ve proje bağlamında bu yöntemlerin kullanımının dezavantajları da olabilmektedir. Davranış ve karar kuralları bu yöntemlerle belirlendiğinden radikal veya sıra dışı fikirler üretme olasılığı ve ürün tasarımından sorumlu ekiplerinin maksimum yaratıcılık için gösterdiği çaba azalabilmektedir. Tasarım ekibinin yaratıcı performansını azaltabilecek diğer bir faktör de bu sürecin, yaratıcılığı destekleyen yöntemlerin ilkelerinin düzgün bir şekilde dengelenmesi ve uygulanması ihtiyacının

farkında olmayan bir kişi tarafından yönetilmesidir (Leenders ve diğ, 2007). Bu nedenle gerekli yaratıcılık düzeyine ulaşmak için bu yöntemlerin nasıl kullanıldığı önem kazanmaktadır.

2.3.2 Sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri

Tasarım çok sayıdaki fikirden tek bir ayrıntılı tasarıma ulaşan bir çalışma sürecidir ve her bir aşamasında belirli kararlar alınarak çeşitli fikirler ya da alternatifler üzerine odaklanma gerçekleşmektedir. Bu karar süreçlerinde sezgisel ya da sistematik/rasyonel karar verme yöntemleri kullanılmaktadır (Blessing ve Chakrabarti, 2014). Sezgisel karar verme yöntemleri niteliksel (kalitatif); sistematik karar verme yöntemleri niceliksel (kantitatif) yapıdadır. Yeni, karmaşık veya bilinmeyen karar problemlerinde sezgisel karar verme her zaman başarılı sonuçlar vermediğinden (Boeijen ve Daalhuizen, 2010), sistematik karar verme yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir.

Karar teorisi, değer oluşturan fayda teorisine ve bilgi düzeyini değerlendiren olasılık teorisine dayanmaktadır (Dieter ve Schmidt, 2012). Matematik, makro ve mikro ekonomi, bilişsel ve davranışsal psikoloji gibi birçok farklı uzmanlık alanından beslenir. Karar verme süreci, birçok araştırmacı tarafından kendi çalışma alanlarına bağlı olarak incelenmiş ve aşamalandırılmıştır. Genel olarak başarılı bir karar verme sürecinde şu adımlar izlenmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012):

- Karar hedeflerinin belirlenmesi
- Hedeflerin önem derecesine göre sınıflandırılması (Zorunlulukların ve isteklerin sıralanması)
- Alternatif eylemlerin geliştirilmesi
- Alternatiflerin hedeflere göre değerlendirilmesi
- Tüm hedeflere ulaşmak için en çok umut vadeden alternatifin seçilmesi (geçici kararı temsil eder)
- Geçici kararın gelecekteki olası olumsuz sonuçlar bağlamında incelenmesi
- Nihai kararın etkilerinin, olası olumsuz sonuçları önlemek için önlemler alınarak ve bunların yerine getirilmesi sağlanarak, kontrol altına alınması

Karar verme sürecinin aşamalarından değerlendirme Dieter ve Schmidt (2012) tarafından alternatiflerin karşılaştırıldığı bir karar verme şekli olarak tanımlanmıştır. Karar hedefleri bağlamında belirlenen kriterler üzerinden alternatiflerin değerinin, kullanışlılığının veya gücünün belirlenerek karşılaştırılmasını ve ardından karar vermeyi içermektedir (Pahl ve diğ, 1996). Bu karşılaştırma mutlak veya göreceli değerler bağlamında yapılabilmektedir. Mutlak bir karşılaştırmada alternatif, bir standart veya tasarım kodu gibi bazı kurallarla belirlenen gereksinimlerle doğrudan karşılaştırılmaktadır. Çok fazla alternatifin bulunduğu durumlarda değerlendirme sürecine mutlak karşılaştırmayla başlayarak alternatifleri bir dizi mutlak kritere göre filtrelemek kabul gören bir uygulamadır (Pahl ve diğ, 1996; Ulrich ve Eppinger, 2012; Dieter ve Schmidt, 2012). Özellikle ürün tasarımının konsept seçimi aşamasında alternatif konseptler fizibilite, teknolojij hazırlık, müşteri gereksinimlerini karşılama ve maliyet bağlamında mutlak değerlendirmeye tabi tutulmaktadır (Pahl ve diğ, 1996; Dieter ve Schmidt, 2012). Göreceli bir karşılaştırmada ise, alternatifler birbirleriyle veya hayali bir ideal çözümle karşılaştırılmaktadır.

Değerlendirme sürecinde öncelikle alternatiflerin karşılaştırılacağı kriterler belirlenmektedir. Göreceli karşılaştırmada karar hedefleri bağlamında değerlendirmenin yapılacağı tüm kriterlerin önemi aynı olmayabilmektedir. Bu durumda değerlendirme kriterlerine önemlerine göre ağırlık faktörü atanması gerekmektedir. Bu işlemin belirli bir kesinliği olmamakla birlikte, tutarlı bir ağırlıklandırma yapmak için kullanılabilecek sistematik yöntemler geliştirilmiştir. Dieter ve Schmidt (2012) bu amaçla kullanılabilecek 3 farklı sistematik yöntem belirlemiştir: doğrudan atama, hedef ağacı ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP).

Değerlendirme kriterleri ve ağırlıkları belirlendikten sonra alternatiflerin bu kriterleri sağlama değerlerinin ölçümü yapılmaktadır. Bir tasarım parametresini birkaç alternatif tasarım arasında derecelendirmek bir ölçümdür. Bu ölçüm aşağıda sıralanan 4 farklı ölçek kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012).

- **Nominal ölçek:** Adlandırılmış bir kategori veya tanımlayıcıdır. Yapılabilecek tek karşılaştırma, kategorilerin aynı olup olmadığıdır. Nominal bir ölçekte ölçülen değişkenlere kategorik değişkenler denir.

- **Ordinal (sıra) ölçek:** Öğelerin derece sırasına göre yerleştirildiği bir ölçektir. İki alternatifin bir kriter bağlamında birbirinden daha büyük, küçük veya eşit olup olmadığına dair karşılaştırmalar yapılabilir, ancak bu ölçek kullanılarak toplama veya çıkarma yapılamaz. Çoğunluk kuralı, Copeland kuralı, sıra toplamı kuralı, sözlük sıralaması kuralı ve Pugh Grafikleri gibi yöntemler ordinal ölçek kullanan değerlendirme yöntemleridir (Blessing ve Chakrabarti, 2014).
- **Aralık (interval) ölçek:** Bir alternatifin diğer bir alternatife oranla ne kadar iyi ya da kötü olduğunu belirleyen ölçektir. Aralıklı ölçekte, keyfi değer çiftleri arasındaki farklar anlamlı bir şekilde karşılaştırılabilir; ancak ölçek üzerindeki sıfır noktası keyfidir. Toplama ve çıkarma mümkündür; ancak bölme ve çarpma işlemlerine izin verilmez. Merkezi eğilim, ortalama, medyan veya mod ile belirlenebilir. Değerlendirme yöntemlerinin çoğunluğu bu ölçeği kullanmaktadır (Blessing ve Chakrabarti, 2014).
- **Oran ölçek:** Ölçeği sabitlemek için sıfır değerinin kullanıldığı bir aralık ölçeğidir. Her veri noktası kardinal sayılarla ifade edilmekte ve mutlak bir noktaya göre sıralanmaktadır. Mühendislik tasarımındaki ağırlık, kuvvet ve hız gibi teknik parametrelerin çoğu oran ölçeğiyle ölçülür.

Ürün geliştirme sürecinin çeşitli aşamalarında alternatiflerin değerlendirilmesi ve seçilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin bir listesi Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10: Sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri.

Yöntem	Kullanım Amacı	Kaynak
Karar Matrisi	Tasarım kriterlerini ağırlıklandırma faktörlerine göre sıralayarak ve her bir alternatifin kriteri karşıladığı dereceyi puanlayarak rekabet eden alternatifleri değerlendirmektedir.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Haik ve Shahin, 2011; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012
Ağırlıklı Hedefler Yöntemi	Tasarım alternatiflerini, tasarım alternatifi başına genel bir değere bağlı olarak karşılaştırmaktadır.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010
Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	Seçim kriterlerinin çoklu hedefleri temsil ettiği, doğal bir hiyerarşik yapıya sahip olduğu veya nitel ve nicel ölçümlerden oluştuğu durumlarda bir dizi alternatif arasından seçim yapmayı sağlamaktadır. Ağırlıklandırma faktörlerinin hesaplanması sistematik bir hale getirilmiştir.	Dieter ve Schmidt, 2012

Çizelge 2.10 (devam): Sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri.

Yöntem	Kullanım Amacı	Kaynak
Pugh Konsept Seçim Yöntemi (Datum yöntemi)	Göreceli bir karşılaştırma tekniğidir. Alternatiflerden biri baz, kıyas noktası, olarak belirlenerek, diğer alternatifler bir dizi kriter üzerinden bununla karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmada üç tip karar verilebilir: 'daha kötü', 'aynı' veya 'daha iyi' değerlendirmelerini ifade eden '-', '0' ve '+'. Bu değerlerin toplamı alternatiflerin karşılaştırılmasını sağlamaktadır.	Tomiyama ve diğ, 2009; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Haik ve Shahin, 2011; Dieter ve Schmidt, 2012; Shetty, 2016
Kullanım Değer Analizi (*Use-Value Analysis*)	Kriter ağırlıkları dikkate alınan bir kullanım-değer matrisi oluşturularak, ayrıntılı kullanım değer belirlemesi ve karşılaştırması yapılmaktadır.	Pahl ve diğ, 1996
VDI 2225 kılavuzu	İdeal çözüme göre ağırlıklandırma kullanılarak veya kullanılmayarak, teknik derecelendirme yapılmaktadır. Teknik ve ekonomik derece üzerinden karşılaştırma yapılmaktadır.	Pahl ve diğ, 1996
C kutusu, (C-Box)	2x2 matrisidir. Fikirlerin değerlendirildiği ölçütleri temsil eden iki eksen belirlenir. Gelişiminin başındaki çok fazla fikirden genel bir bakış oluşturmak için kullanılmaktadır.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010
Ayrıntılı Tepki (*Itemised Response*)	Oldukça geniş bir fikir yelpazesini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Fikirlerin tüm artılar ve eksileri listelenerek, tasarım projesinde hangi fikirlerin kullanılacağına dair bir karar verilebilmektedir. Sistematik bir yaratıcı düşünme yaklaşımı olan Synectics yönteminden türetilmiştir.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010
vALUe	Fikirlerin avantajları, sınırlamaları ve benzersiz unsurları açıkça yazılarak, ileride fikirlerin seçimi kolaylaştıracak ortak bir kelime hazinesi oluşturmaktadır.	Boeijen ve Daalhuizen, 2010
Kontrol Listesi	Genellikle benzer durumlarda ilgili bulunan tasarım ihtiyaçları bilgisini kullanma desteği sağlamaktadır.	Pahl ve diğ, 1996
Karar Ağacı	Tüm olası çözümler kümesi dalları oluşturan çeşitli sınıflara ayırarak karşılaştırma ve sınıflar arasından eleme yapılmaktadır.	Ulrich ve Eppinger, 2012; Dieter ve Schmidt, 2012
Yeni Ürün Profili (Harris Profili)	Tasarım konseptlerinin güçlü ve zayıf yönlerinin grafiksel bir gösterimidir. Tüm kriterler için dört ölçülü (-2, -1, +1, +2) bir puanlama kullanılmaktadır.	Harris, 1961; Boeijen ve Daalhuizen, 2010
SWOT Analizi	Bir ürün veya olası bir çözümle ilgili güçlü ve zayıf özellikler, fırsatlar ve risklerin yapılandırılmış analizidir.	Graner ve Mißler-Behr, 2013

Çizelge 2.10'da verilen Datum Yöntemi veya Harris Profili'ni kullanmanın en büyük dezavantajı, kriter başına puanların tasarım alternatifinin genel puanını oluşturacak şekilde birleştirilememesidir (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Bu, tasarım alternatiflerinin doğrudan karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Diğer yandan Karar Matrisi, Ağırlıklı Hedefler ve AHP yöntemleri kullanılarak tüm kriterlerin puanları toplanarak tasarım alternatifinin genel puanı belirlenebilmektedir.

Karar verme sürecinde kullanılacak yöntemin seçimi geliştirilen alternatiflerin detay seviyesine, alternatiflerle ilgili bilgi düzeyine ve değerlendirmede kullanılacak kriterlerin nicel ya da nitel özellikte olmasına bağlı olarak yapılmaktadır. Bununla birlikte Boeijen ve Daalhuizen (2010) sistememetik karar verme yöntemlerinin güvenilir bir karara varmayı garanti etmediğini belirtmiştir. Sadece güvenilir ve iyi düşünülmüş bir karar verme sürecine destek olmaktadırlar. Geçerli bir karşılaştırma yapmak için alternatiflerin aynı soyutlama seviyesinde olması gerekmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012). Ayrıca değerlendirme için doğru kriterlerin belirlenmesi ve uygun ağırlıklandırmanın yapılması gerekmektedir. Diğer yandan araştırmalar, fikir yaratma sürecinde bireyin tek başına daha iyi sonuç aldığını, ancak fikir seçiminde küçük bir grubun daha başarılı olduğunu göstermektedir (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu nedenle karar verme ve değerlendirme işlemlerinin tasarım ekibi tarafından, ardışık inceleme ve müzakere turlarıyla yapılması tavsiye edilmektedir.

2.3.3 Tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemler

Ürün mimarisinin gelişiminde ve bileşenlerin performansında etkili olan çeşitli konular nedeniyle ürün tasarımının iyileştirilmesinde kullanılacak önceden belirlenmiş bir dizi yöntem tanımlamak güçtür. Ürün tasarımının karar verme süreçlerinde kullanılan kriterler zaman içinde evrimleşerek daha da karmaşıklaşmıştır (Buchert ve diğ, 2017). Geleneksel olarak ürünlerin başarısının değerlendirilmesinde kullanılan ürün geliştirme zamanı, maliyeti ve ürün kalitesi kriterleri zamanla çeşitlenerek ürün maliyeti, geliştirilebilirlik, sosyal ve ekolojik sürdürülebilirlik kriterlerini de kapsamıştır (Ueda ve diğ, 2009). En güçlü ve tanınan tasarım yöntemlerinin çoğu, aslında optimizasyon stratejileri kullanarak bir tasarım alanını araştırmaktadır (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu nedenle tasarımın iyileştirmesinde kullanılabilecek yöntemler büyük çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmada tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemlerden genel olarak kabul görmüş, literatürde en sık rastlanan yöntemler derlenerek kullanım amaçlarıyla birlikte Çizelge 2.11'de tanıtılmıştır.

Çizelge 2.11'de verilen yöntemler yaygın olarak kullanılan yöntemler olmakla birlikte, bunların yapısında ihtiyaçlara bağlı değişiklikler yapılarak çeşitli varyasyonlarının geliştirilmesi literatürde yaygın olarak karşılaşılan bir yaklaşımdır. Örneğin Martin ve Ishii (1996) Üretim için Tasarım yöntemini pazarlama hizmetini

ve maliyet ile kârı etkileyebilecek diğer ürün yaşam döngüsü sorunlarını içerecek şekilde geliştirerek Çeşitlilik için Tasarım (*Design for Variety*) yöntemini oluşturmuştur. Bununla birlikte Lindahl (2005), mevcut veya yaygın olarak kullanılan yöntemlerin yapısının genişletilmesi yerine mevcut yöntemlerin seçimine odaklanmayı önermiştir. Mevcut yöntemlerin kombinasyonlarıyla ihtiyaç duyulan tasarım iyileştirmelerinin sağlanması da sık kullanılan bir yaklaşımdır.

Çizelge 2.11: Tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemler.

Yöntem	Kullanım Amacı	Kaynak
Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD)	Tasarım hedeflerinin, alt hedeflerin ve bunların arasındaki ilişkilerin netleştirilmesi	Roozenburg ve Eekels, 1995; Cross, 2005; Tomiyama ve diğ, 2009; Tooley ve Knovel, 2010; Bandera ve diğ, 2011; Shetty, 2016
Six Sigma	Müşteri ihtiyaçlarının ürün özelliklerine aktarılması	Tooley ve Knovel, 2010; Graner ve Mißler-Behr, 2013
Taguchi Yöntemi	Ürün maliyetinin azaltılması ve kalitenin arttırılması için sistem, parametre ve tolerans tasarımı desteği sağlama. Tüm ürün yaşam döngüsü boyunca ürün ve süreç kalitesini iyileştirmeyi amaçlar ve kalite mühendisliğinde benzersiz ve başarılı bir yaklaşım olarak kabul edilir.	Tomiyama ve diğ, 2009; Tooley ve Knovel, 2010; Dieter ve Schmidt, 2012; Shetty, 2016
Hata Önleme Teknikleri (*poka-yoke*)	İnsan faktörlerinden kaynaklanan durumlara karşı, hataların ortaya çıkmasını önlemek veya azaltmak için üründe veya süreçte kontrol sistemleri, uyarı sistemleri, özellikler veya stratejiler bulma.	Tooley ve Knovel, 2010
Arıza Ağacı Analizi (*fault tree analysis)*	Ürün tasarımından sonra ilk arıza teşhisinin yapılması. Kritik bir başarısızlıktan başlayarak olası başarısızlık olaylarının ilkel başarısızlık nedenlerine kadar izlendiği yukarıdan aşağıya bir analitik yaklaşımdır.	Pahl ve diğ, 1996; Tomiyama ve diğ, 2009; Tooley ve Knovel, 2010
Arıza Modu ve Etki Analizi (FMEA)	Ürün tasarım süreci sırasında potansiyel arızaların tespit edilmesi ve ortadan kaldırılması. Yeni bir ürünün olası her arıza modunun etkilerini detaylandırır ve tespit edilen arızaları göreceli önemine önceliklendirir.	Pahl ve diğ, 1996; Tomiyama ve diğ, 2009; Tooley ve Knovel, 2010
Neden-Etki Analizi (*cause-effect analysis*)	İstenmeyen bir olayın olası sonuçlarını tanımlamak için uygulanan planlı bir yöntemdir.	Tooley ve Knovel, 2010; Shetty, 2016
Kıyaslama (*benchmarking*)	Hem kurum içi ürünler hem de rakipler tarafından geliştirilen ürünler veya çözümler ile yapılandırılmış karşılaştırma	Tooley ve Knovel, 2010; Graner ve Mißler-Behr, 2013
Değer Mühendisliği/ Analizi	Tüketici için ürün değerini arttırırken ya da değiştirmezken, üretici için maliyetlerin azaltılması	Pahl ve diğ, 1996; Cross, 2005

Çizelge 2.11 (devam): Tasarımın iyileştirilmesinde kullanılan sistematik yöntemler.

Yöntem	Kullanım Amacı	Kaynak
X için Tasarım	Tasarım ürününü veya sürecini X ile temsil edilen belirli bir perspektiften geliştirmek için uygulanan bir metodoloji ailesinin üyeleri için kullanılan genel bir isimdir. X ürünün belirli bir özelliğini ya da yaşam döngüsü evresini ifade etmektedir.	Tomiyama ve diğ, 2009
Üretim için Tasarım (DFM)	Ürünün imkân ve kısıtlamalarına dayanarak, üretimde kullanılacak en uygun malzeme ve üretim sürecini seçmek için kullanılır.	Kuo ve diğ, 2001; Dieter ve Schmidt, 2012; Graner ve Mißler-Behr, 2013
Montaj için Tasarım (DFA)	Ürünün sadeleştirilmesi, montaj süresinin, montaj ve üretim maliyetlerinin ve genel giderlerin azaltılması, kalitenin iyileştirilmesi ve ürünün piyasaya girme süresinin kısalmasını sağlayacak tasarım değişikliklerini bulmak için bir rehber olarak kullanılmaktadır.	Kuo ve diğ, 2001; Dieter ve Schmidt, 2012; Graner ve Mißler-Behr, 2013
Yaşam Döngüsü Analizi (*life-cycle assessment*)	Ürün ve süreçlerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirir.	Dieter ve Schmidt, 2012; Graner ve Mißler-Behr, 2013
Aksiyomatik Tasarım	Bir çözümün konseptleştirilmesi, mevcut bir ürünün veya sürecin optimize edilmesi, zamanla değişen büyük sistemlerin geliştirilmesi, belirsizlik açısından karmaşıklık ve karmaşıklığı azaltma stratejileri geliştirilmesi	Bandera ve diğ, 2011; Nordlund ve diğ, 2016; Modrak ve diğ, 2016; Shetty, 2016
Kök Neden Analizi (*Root Cause Analysis*)	Bir kusur veya arızayı tanımlamak için bir olaylar zincirinde ilk kontrol edilebilir olayın izlenmesi	Shetty, 2016
Tasarım Yapı Matrisi (*Design structure matrix*)	Mekân, enerji, bilgi ve malzeme gibi farklı alanların içindeki bilgi akışı ve karşılıklı bağımlılıklara odaklanarak karmaşıklığı yönetme yaklaşımı	Tomiyama ve diğ, 2009;
Durum Tabanlı Çıkarsama (*Case based reasoning*)	Geçmişte karşılaşılan benzer problemlerin çözümlerinden yararlanılarak problem çözme	Bandera ve diğ, 2011
Birleşik Analiz (*conjoint analysis*)	Tekil ürün fonksiyonlarının önemini tanımlamak için kullanılan pazar araştırması yöntemi. Ürünün çeşitli farklı kombinasyonları çiftlerin karşılaştırılması yöntemiyle değerlendirilir.	Graner ve Mißler-Behr, 2013
Ürün değeri/ karlılık analizi	Başa baş analizi, net bugünkü değer veya yatırım getirisine dayalı yapılandırılmış proje fizibilite analizi	Graner ve Mißler-Behr, 2013

2.4 Ürün Tasarımında Standart Ürünlerle Özelleştirme Yaklaşımları

Ürün tasarımında ürünlerin müşteri ihtiyaçlarına uyum sağlayacak şekilde özelleştirilmesinin verimli ve etkin bir şekilde sağlanması önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Tepki veren cephe tasarımında da ulaşılmak istenen tasarım

yaklaşımı farklı projelerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen sistemleri standart ürünler kullanılarak oluşturmaktır. Bu nedenle öncelikle ürün tasarımında standart ürünlerle özelleştirmenin nasıl yapılabildiği, hangi tasarım parametreleri üzerine odaklanıldığı ve hangi stratejilerin geliştirildiği araştırılmıştır.

Pal ve Rangaswamy (2006) özelleştirilmiş ürünlerin üretilmesi için iki ana yol olduğunu ortaya koymuştur. Bunlar:

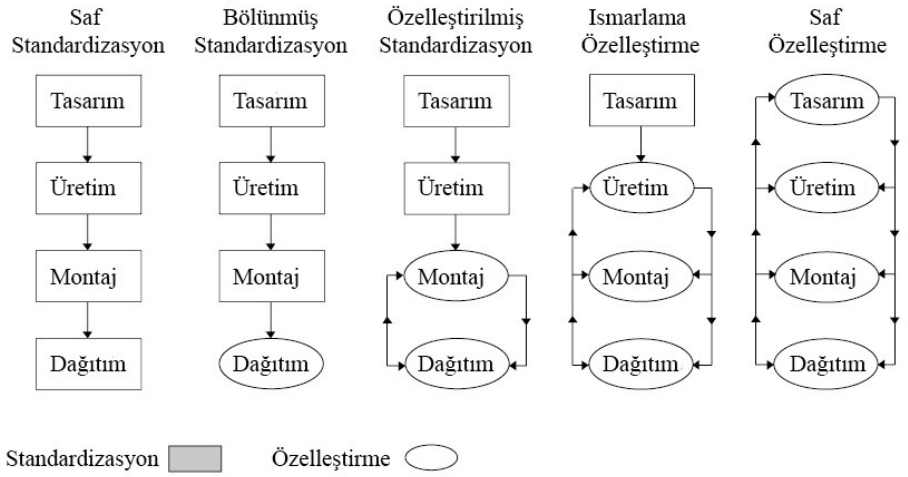
- *Standart ürünler kullanarak özelleştirilmiş montaj*: Üreticiler standart parçaların gruplandırılması ve bir araya getirilmesiyle dikkate değer seviyede özelleştirilmiş ürünlere ulaşabilmektedir.
- *Ürünlerin özel imalatı*: Ürünleri özelleştirmenin en zor ve pahalı yolu, sipariş üzerine üretim yapmak için esnek bir üretim sistemi oluşturmaktır. Bu yaklaşımda ürünün en azından kritik bileşenleri özel olarak imal edilmektedir.

Thomke ve Von Hippel (2002) seri üretim yapan bir üreticinin ürünlerinin her müşteri için ekonomik olarak özelleştirilmesinin iki problemin çözümüne bağlı olarak gerçekleştiğini ortaya koymuştur. İlki, özelleşmiş ürünlerin nasıl verimli bir şekilde tasarlanabileceğini öğrenmek (araştırma geliştirme sorunu); ikincisi ise bu ürünlerin ucuza ve hızlı bir şekilde nasıl üretileceğini öğrenmektir (üretim problemi).

Ulrich (1992) ürün çeşitliliğini bir üretim sisteminin pazara sunduğu ürün çeşitliliği olarak tanımlar. Ürün çeşitliliği, üretimin rekabet yeteneğinin önemli bir elemanı olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek çeşitlilik herhangi bir sistem tarafından bir miktar maliyet artışıyla sağlanabilir. Ürün çeşitliliğinin ekonomik olarak gerçekleşmesi ise iki farklı strateji ile sağlanabilir: üretim esnekliği ve ürün mimarisi. Üretim esnekliği çoğu zaman tesisin süreç ekipmanlarının esnekliği veya esnek montaj sistemleri ile eş tutulmaktadır. Modüler mimari gibi ürün mimarisi yaklaşımlarıyla da üretim süreci değiştirilmeden çeşitlilik sunulabilir. Burada ihtiyaç duyulan son montaj sürecindeki esnekliktir.

Lampel ve Mintzberg (1996) ürünlerin göreceli özelleştirilme derecesinin, tüketicilerin üretim döngüsüne ne kadar katıldığıyla belirlendiğini ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada bir imalat şirketinin değer zincirinde dört süreç aşaması tanımlanmıştır: tasarım, üretim, montaj ve dağıtım süreçleri. Bu zincir boyunca süreç aşamalarında özelleştirme adına yapılan her bir geri dönüş farklı bir özelleştirme

stratejisi oluşturmaktadır (Şekil 2.5). Yüksek dercede özelleştirilmiş bir ürün, müşterinin erken tasarım aşamalarında sürece katılımıyla tanımlanır. Buna karşı, müşteri tercihlerinin sadece nihai montaj aşamasında etkili olması, özelleştirme seviyesini düşürür.



Şekil 2.5: Lampel ve Mintzberg'in (1996) tanımladığı ürün özelleştirme stratejileri.

Mikkola (2007), Lampel ve Mintzberg'in (1996) çalışmasını geliştirerek, bir imalat şirketinin değer zincirinin tipik olarak, yeni ürün geliştirme, üretim, montaj, dağıtım ve müşteri olmak üzere beş ana aşamadan oluştuğunu ortaya koymuştur. Ona göre ürün özelleştirmenin kapsamı iki faktöre bağlıdır: ürün mimarilerine yerleştirilen modülerlik derecesi ve bileşenlerin standardizasyon derecesi.

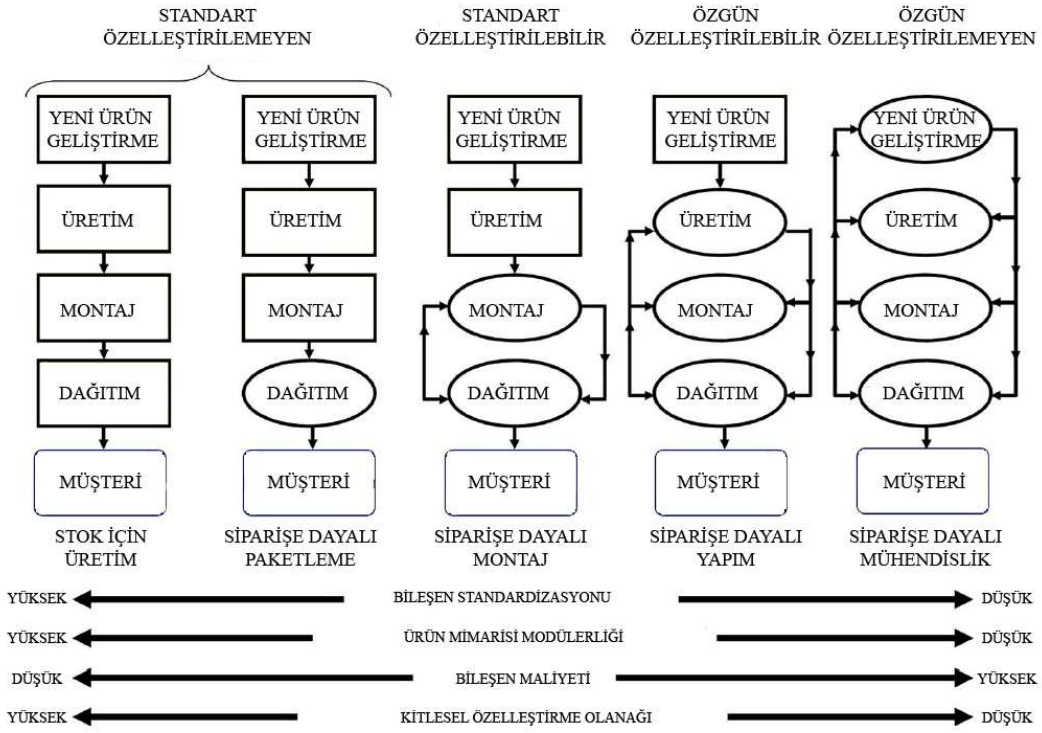
Koren ve diğ. (2015) üretim yaklaşımında seri üretimden kitlesel özelleştirmeye (*mass customization*) ondan da yeni bir yaklaşım olan kitlesel bireyselleştirmeye (*mass individualization)* geçişlerin gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Tüm bu yaklaşımlarda üç temel etkinlik bulunmaktadır: ürünün tasarlanması, ürünün üretilmesi ve ürünün satışı. Bu üretim yaklaşımları arasındaki farkı, üç etkinlik arasındaki sıralama, müşterinin ürün satın almadaki rolü ve katılımı oluşturmaktadır.

Literatürden elde edilen veriler ışığında ürün tasarımında standart ürünlerle özelleştirme yaklaşımları, ürün mimarisi bağlamında modüler sistemler ve açık sistemler; üretim yaklaşımları bağlamında kitlesel özelleştirme ve kitlesel bireyselleştirme olarak belirlenmiştir. Bu ürün mimarisi ve üretim yaklaşımları aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

2.4.1 Modüler ürün mimarisi

Ürün çeşitliliği, genellikle, bir bileşendeki değişikliğin diğer bileşenlerde değişikliklere neden olmadığı modüler ürün mimarisi yoluyla elde edilmektedir. Modüler ürün mimarisi, sökülüp yeni konfigürasyonlarla birleştirilebilen standart bileşenlere sahiptir. Fiziksel değişimler, üretim sistemine büyük bir karmaşıklık katmadan, çok daha kolay çeşitlendirilebilir. Müşterilerinin özelleştirme talebi arttıkça, ürüne özgü bileşenler daha gerekli hale gelmektedir. Bu durum, ürün mimarisine yerleştirilen modülerlik derecesinin, standardizasyon miktarı ile bileşenlerin özgünlüğü arasındaki dengelerle ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Mikkola (2007) modüler ürün mimarisi açısından bakıldığında, özelleştirme derecesinin dört bileşen stratejisine göre sınıflandırılabileceğini öne sürmüştür: standart (özelleştirilemeyen ve özelleştirilebilir) ve özgün (özelleştirilemeyen ve özelleştirilebilir). Buradaki bileşen özelleştirmesi, bileşenlerin bir firmanın üretim süreçlerine uyacak şekilde değiştirilip değiştirilemeyeceğini simgeler. Şekil 2.6 modüler ürün mimarisi, kitlesel özelleştirme ve bileşen tasarımı stratejileri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 2.6: Modüler ürün mimarisi, kitlesel özelleştirme ve bileşen tasarımı stratejileri arasındaki ilişki (Mikkola, 2007).

Pine (1993), bir modülün bütünün bir parçasını oluşturması stratejisine odaklanarak bir modülerlik sınıflandırması geliştirmiştir. Bu sınıflandırmada tanımlanan altı modüler tasarım stratejisi aşağıda verilmiştir (Vibaek, 2014).

- Parça paylaşımı modülerliği (*Component sharing modularity*): Aynı modülün farklı bağlamlarda kullanılmasıdır.
- Parça değişimi modülerliği (*Component swapping modularity*): Farklı modüllerin aynı bağlamda birleştirilmesidir. Aynı bağlantı noktalarını kullanabilecek şekilde tasarlanan parçalarla, ürün özelliklerinde değişiklik yapılmaktadır.
- Ölçüye göre kesim modülerliği (*Cut-to-fit modularity*): Standartlaştırılmış bir modülün belirli bir bağlama göre boyutlandırılmasıdır. Ürünün farklı ihtiyaçlara göre ayarlanarak kullanılmasına imkân vermektedir.
- Karma modülerlik (*Mix modularity*): Farklı modüller birbirine karıştırılır ve pratik olarak birbirinden ayırt edilemez. Birleştirilen parçaların kendi özelliklerini yitirmesi neticesinde yeni bir ürün ortaya çıkmaktadır.
- Bir omurgaya bağlı olarak modülerlik (*Bus modularity*): Ürün, standart bir arayüz (veri yolu, *bus*) veya modüle özel bir arayüz (yuva, *slot*) aracılığıyla bir dizi farklı modülün "takılı olduğu" bir temel yapı, bir platform, mimarisine sahiptir. Bu yöntemi kullanmaktaki anahtar nokta, omurgaya sahip bir ürünün varlığı ve ürün yapısının modifikasyona açık oluşudur. Böylece her müşterinin talep edeceği ana ürün ortaya çıkarılacak ve geriye kalan bütün bileşenler modüler hale getirilerek standart ürün yapısı, platforma monte edilebilir hale getirilecektir.
- Bölümsel modülerlik (*Sectional modularity*): Temel bir yapı veya platform ve eklenen modüller hiyerarşisi yoktur; aynı standardize edilmiş arayüze sahip olan koordineli modüllere sahiptir. Standart biçimde tasarlanan modüller, farklı şekillerde birleştirilebilir olmalıdır. Modüller standart arayüzlerle birbirlerine bağlanabildiği sürece sınırsız konfigürasyon sunmaktadır.

Modülerliği belirli bir tasarım stratejisi olarak fonksiyonel hale getirmek için teorik olarak modüler bir sisteme “tasarımcıların yapabileceği şeyler" olarak altı modüler operatör tanımlanmıştır (Vibaek, 2014). Operatörler, tasarım sürecinin aktif bir parçası olarak modüller ile çalışırken gerçekleşebilecek bazı dinamik olasılıkları

ifade eder. Fiziksel parçalar, görevler veya insanlar olarak karşımıza çıkabilecek modüller aşağıda sıralanan operatörlerle tasarlanabilir (Vibaek, 2014):

- Bir tasarımın ve görevlerinin modüllere ayrılması (*Splitting*)
- Bir modül tasarımının başka birinin yerine kullanılması (*Substituting*)
- Sisteme yeni bir modül ekleyerek çoğaltılması (*Augmenting*)
- Sistemden modül çıkartılması (*Excluding*)
- Yeni tasarım kuralları oluşturmak için ters çevrilme (*Inverting*)
- Bir modülün başka bir sisteme taşınması (*Porting*)

Ulrich (1992) tarafından yapılan standardizasyonun tanımı, aynı bileşenin birden fazla üründe kullanılması şeklinde gerçekleşen bileşen standardizasyonudur. Modüler mimari standartlaştırma imkânını arttırır. Bir ürün, bire bir haritalama ile oluşturulmuşsa, potansiyel olarak diğer ürünlerde veya ürün uygulamalarında, tek bir firmada veya birden çok firma arasında kullanılabilir. Farklı ürünler için bir arayüz standardı benimsenebilir ve aynı bileşen çeşitli ortamlarda kullanılabilir. Böylelikle standart ürünlerle özelleştirme sağlanabilir. Diğer yandan ürünlerin özelleştirilme talebi arttıkça, ürüne özgü üretilen parçaların kullanılması daha gerekli hale gelmektedir. Bu, ürün mimarisinin modülerlik derecesinin, standardizasyon miktarı ve kullanılan özel parçalar arasındaki değişimlerle ilgili olduğunu göstermektedir.

Modülarite, doğal ve yapay sistemlerde etkili bir karmaşıklık yönetim mekanizması olarak uzun zamandan beri önerilmesine rağmen, modüler tasarım ve modülerlik bilimine olan ilgi, çoğu mühendislik sisteminin artan karmaşıklık seviyesinin bir sonucu olarak son dönemde artmıştır. Bununla birlikte modüler açık sistem yaklaşımı ve esnek sistemler gibi yeni ürün mimarisi düzenleri de daha fazla dikkat çekmektedir (Heydari ve diğ, 2016).

2.4.2 Açık ürün mimarisi

Açık mimariye sahip olan bir ürün, iyi tanımlanmış modül arayüzlerine sahip modüler bir yapıya ve fonksiyonlarını kullanıcının ihtiyaçlarına tam olarak uyarlamak için farklı tedarikçilerin modüllerinin entegrasyonunu ve çalıştırılmasını kolaylaştıran bir platforma sahiptir (Koren ve diğ. 2013). Bu ürünler, ürün özelliklerini değiştirmek için bileşenlerin yani modüllerin orijinal strüktüre eklenebileceği veya değiştirilebileceği şekilde tasarlanırlar. Ürün mimarisinin açık

olması ürünün özelleştirilmesi ve bireyselleştirilmesi için geniş imkânlar sunmaktadır (Chen ve diğ, 2017).

Orjinal ekipman üreticisi olarak adlandırılan büyük şirketler, ortak platformu geliştirir, platform arayüzlerini tanımlar, standartları ve açıklamaları yayınlar. Genellikle küçük şirketler olan potansiyel tedarikçiler, orjinal ekipman üreticisinin platformla ilgili açıkladığı verilere göre ana platforma entegre olacak ve yeni özellikler oluşturacak modüller tasarlar. Orjinal ekipman üreticisi modül tasarımı ya da üretimi yapmaz; ancak ana platforma entegre olmadan önce modüllerin kullanımını onaylar (Koren ve diğ. 2013). Açık ürün mimarisine sahip bir ürünün performansı da ürünü oluşturan modüllerin performansına bağlı olarak tahmin edilir (Chen ve diğ. 2017).

Açık ürün mimarisi aşağıda sıralanan üç özelliği sergilemektedir (Firesmith, 2015):

- Tutarlı, diğer bileşenler ve harici sistemlerle gevşek şekilde bir araya getirilmiş ve uygulamalarını görünür arayüzlerin arkasına gizleyen mimari bileşenlere ayrılmış, modüler bir yapıdadır.
- Mimari bileşenler arasındaki temel arayüzler, açık arayüz standartlarına uygundur. Yani uzlaşmaya dayalı, yaygın olarak kullanılan ve potansiyel kullanıcılar için kolayca bulunan arayüzlerdir.
- Ürünün temel arayüzleri, açık arayüz standartlarıyla uyumlu olduğunu doğrulamıştır.

Tanımlamada, tüm arayüzlerin açık arayüz standartlarına uyması gerektiği belirtilmemiştir; bunun yerine, sadece temel arayüzlerin açık olması gerektiği belirtilmiştir. Gerçek sistem mimarileri incelendiğinde de açıklık kavramının siyah beyaz olmadığı, daha çok bir kademelenmenin söz konusu olduğu gözlemlenir. Bazı arayüzler oldukça açıktır (örneğin, yaygın olarak kullanılan uluslararası standartlara uygundur); bazı arayüzler nispeten açıktır (diğer bir deyişle, daha az kullanılan, daha fazla uygulama alanına özgü standartlara veya yaygın olarak kullanılan fiili standartlara uygundur); bazı arayüzler biraz açıktır (örneğin, ürün hattına özgü sözleşmelere uygundur) ve bazı arayüzler esas itibariyle kapalıdır (yani, sisteme özel veya yükleniciye ait tescilli standartlara uygundur). (Firesmith, 2015)

Teoride ve tüm tasarım parametrelerinin eşit olduğu durumlarda, tüm mimari bileşenlerin modüler ve açık sistem standartlarında olması ürün tasarımı için iyi bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, pratikte, tüm tasarım parametreleri eşit değildir ve bazı kalite unsurları (güvenilirlik, performans, sağlamlık, güvenlik vb.) bazı mimari bileşenler için sadece açık sistem özellikleri göstermekten daha önemli olabilir. Bir sistemin ürün mimarisi tasarlanırken tasarımcılar rekabet eden ihtiyaçları, özellikle de fonksiyon dışı davranışları, önem ağırlıklarına göre birbiriyle karşılaştırmalıdır. Ürünün açıklık derecesinin artması, ürünün ömrü boyunca daha fazla risk oluşturabilecek, geniş bir inovasyon olasılığı barındırır. Bununla birlikte sınırlı riskleri olan başarılı bir ürün elde etmek için ürünün açıklığı makul bir aralıkta olmalıdır (Chen ve diğ, 2017).

Açık ürün mimarisi paradigmasını gerçekleştirmek için üç alanda yenilikler yapmak gerekmektedir: ürün tasarımı, modüllerin imalatı ve montajı, müşteriler ile platform ve modül üreticileri arasındaki etkileşimi kolaylaştırmak için geliştirilen siber-fiziksel sistemler (Koren ve diğ, 2013). Ürün tasarımında karşılaşılan zorluk, basit bir grafik destekli yazılım paketinin işlevlerini, tüketicilerin ürünlerinin son tasarımı için kullanacakları şekilde tanımlamaktır. İmalatta karşılaşılan zorluklar, farklı firmalardan sipariş edilen tüm modüllerin zamanında üretilmesi ve sevkiyatın koordine edilerek montaj tesisine tam olarak aynı anda ulaşmasını sağlamak ve ürün seçenekleri sayısının büyük olması hatta gelecekte potansiyel olarak sonsuz olmasına rağmen verimli bir son montaj gerçekleştirmektir. Son olarak, kalite ve ürün güvenliği kısıtlamalarını yerine getirirken, tüketicilerin ve üreticilerin ürün tasarımında kullanıcı katılımıyla sağlanan ifade özgürlüğü seviyesi ile başa çıkmasına yardımcı olacak tasarım arayüzleri, araçlar ve yöntemler sağlamak için yeni siber destekli araçlar gereklidir.

2.4.3 Kitlesel özelleştirme

Kitlesel özelleştirme (*mass customization*) paradigması, ürün çeşitliliğine yönelik talebin artmasıyla 1980'lerin sonlarında ortaya çıkmıştır (Hu, 2013). Kitlesel özelleştirme, ürün mimarisi, yeniden yapılandırılabilir imalat sistemleri ve farklılaşmayı geciktirme dâhil olmak üzere birçok önemli konsept ve teknoloji ile sağlanır (Hu, 2013).

Kitlesel özelleştirmede ürün mimarisi modülerdir. Tüm modüller ürünün üreticisi tarafından tasarlanmıştır ve isteğe bağlı ürün seçenekleri olarak müşterilere sunulmaktadır. Müşteri, bazen çok geniş bir yelpazede sunulan, modüllerden dilediğini seçer ve ürün için ödeme yapar. Ancak o zaman ürün üretilir ve teslim edilir. İşlem dizisi tasarım, satış ve üretim şeklinde gerçekleşir. Ürün kataloğunun oluşturulması, müşteri siparişlerinin yapılandırılması, imalata sipariş aktarma ve özel siparişlerin imalatı olmak üzere kitlesel özelleştirme siparişlerinin üretilmesi ve işlenmesine yönelik faaliyetleri tanımlayan dört adım belirlenmiştir (Fogliatto ve diğ. 2012). Kitlesel özelleştirmede müşteriler ürünlerini tasarlar gibi görünüyor olsa da gerçekte ürünlerin tasarımında yer almaz, sadece seçim yaparlar (Koren ve diğ. 2015). Kitlesel özelleştirmeyi benzersiz kılan temel özellikler Çizelge 2.12'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.12: Kitlesel özelleştirmenin temel özellikleri (Tseng ve diğ, 2017).

Kriterler	Kitlesel Özelleştirme Özellikleri
Amaç	Neredeyse herkesin istediğini tam olarak bulabilmesi için yeterli çeşitlilik ve kişiselleştirme ile uygun fiyatlı ürün ve hizmetler sunmak
Ekonomi	Kapsam ekonomileri ve müşteri entegrasyonu
Odak	Esneklik ve hızlı çözüm oluşturma yoluyla çeşitlilik ve kişiselleştirme
Ürün	Müşteri ihtiyaçlarına göre monte edilmiş ürün ailesi ve standart modüller
Ana özellikler	Öngörülemeyen talep modeli Heterojen nişler Düşük maliyetli, yüksek kaliteli, özel ürün ve hizmetler Kısa ürün geliştirme döngüleri Kısa ürün ömrü
Organizasyon	Esnek ve uyarlanabilir
Müşteri katılımı	Müşteri gereksinimlerini verimlilikle karşılamak için aktif müşteri katılımı şarttır. Kullanıcı inovasyonu, ortak tasarım, müşteri konfigürasyonu kitlesel özelleştirmede önemli araçlar haline gelmiştir.

Kitlesel özelleştirme tasarım ve üretim süreçlerinde esneklik ve dinamiklik gerektirmektedir. Tüketiciye ihtiyaç duyduğu ürünü sunabilmek için insanlar, süreçler, teknoloji ve fiziksel birimler (parçalar) yeniden konfigüre edilmelidir. Bunu sağlamak için literatürde geliştirilmiş pek çok kitlesel özelleştirme stratejisi bulunmaktadır (Pine, 1993; Lampel ve Mintzberg, 1996; Piller ve Tseng, 2010). Üreticiler tarafından izlenen kitlesel özelleştirme stratejileri, üreticinin organizasyon büyüklüğüne, üretimin hitap ettiği pazara, ürünün karmaşıklığına, o ürün için sunulabilecek özelleştirme seviyesine göre farklılık göstermektedir.

Kitlesel özelleştirmenin önündeki en büyük engel, çoğu işletmenin tedarik zincirinin süreci verimli bir şekilde idare edememesidir. Mevcut iş dünyasındaki tedarik zincirleri itme modelini temel alırken, kitlesel özelleştirme ile ilişkili tedarik

zincirleri, yönetilmekte zorluk yaşanan, çekme modeline dayanmaktadır. Bu tür tedarik zinciri problemleri ancak, işletmeler standart ürünler oluşturmak ve onları gelecekte özelleştirilebilecek şekilde yapılandırmak için toplu özelleştirme ve seri üretim arasında uzlaşırsa çözülebilir. İşletmelerin çoğunda tedarik zincirinin başlangıcında özelleştirme sürecini başlatmak ekonomik açıdan uygulanabilir değildir. (URL-3, 2017)

2.4.4 Kitlesel bireyselleştirme

Gelişmiş bilgisayar teknolojilerinin ürün tasarımında yaygın olarak kullanılması ve 3D baskı gibi gelişmekte olan hassas üretim sistemlerinin erişilebilirliğinin artması, tüketicilerin bireysel ihtiyaçlarına ve tercihlerine uygun olarak ürünlerin kişiselleştirildiği yeni bir ürün geliştirme yaklaşımının oluşmasını sağlamıştır (Hu, 2013). Kitlesel bireyselleştirme (*mass individualization*) olarak adlandırılan bu yaklaşımda ürünler açık ürün mimarisine sahiptir.

Kitlesel bireyselleştirmede, tasarım, üretim ve satış operasyonlarının dizilimi kitlesel özelleştirmeye göre daha karmaşıktır. Sistem üreticisi büyük şirketler, ürün platformunu, yeni modüller için olası çok sayıda arayüz ile tasarlar ve arayüzleri tanımlar. Küçük kapsamlı üreticiler ise açık ürün platformu ile etkileşime girebilecek modülleri geliştirir ve üretirler. Müşteriler ihtiyaçları doğrultusunda bir ürün platformu seçer ve seçilen platforma uyan, ihtiyaç duydukları özellikleri sağlayacak sertifikalı modülleri belirlemek için internet veritabanlarında ve/veya kataloglarda arama yapar. Daha sonra müşteri, seçilen tüm modüllerle kişisel ürününün son halini tasarlar. Bu tasarımda kullanılan modüller farklı tedarikçiler tarafından üretilmiş olabilir. Müşteri, seçilen modülleri ve platformu parasını ödeyerek sipariş verir. Modüller sistem üreticisine gönderilir ve nihai ürün imal edilir. (Koren ve diğ. 2015)

Bu yaklaşımın en bilinen örneklerinden biri akıllı telefonlardır (Hu, 2013). Akıllı telefonlar açık platformu, bu telefonda kullanılmak üzere geliştirilen uygulamalar ve çeşitli aksesuarlar ise modülleri oluşturur. Kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı modül tasarımı ve üretimi yapan küçün kapsamlı üreticilere birçok yeni iş yaratarak ve tüketim ürünlerinin satışlarını artırarak ekonomiyi kalkındırma potansiyeline sahiptir (Hu, 2013).

3. CEPHE TASARIMI

Literatürde yer alan geleneksel yaklaşım cephe sistemlerini genellikle taşıyıcılık, çevresel kontrol, estetik, servis dağılımı fonksiyonlarını yerine getiren, iç mekân ile dış mekân arasında ayrımı sağlayan bir kaplama olarak tanımlamaktadır. Ancak cephe, yapının benzersiz mimari estetiğini ve imajını tanımlamaya yardımcı olan bir sistem olmakla birlikte, dış ortam ile iç ortam arasında bir ayırıcı olmaktan çok, bir arayüz ve çevresel moderatör olarak işlemekte, yapının enerji performansı ve fonksiyonu üzerinde kritik rol oynamaktadır. Mali açıdan incelendiğinde de cephe sistemi maliyetinin toplam inşaat maliyetinin yüzde 15-25'ini oluşturduğu ve genel olarak yapının strüktür maliyetine eşit olduğu belirlenmiştir (Kragh, 2011). Bu özellikleriyle cephe sistemi geliştirilen projenin teknik ve ticari riski ve başarısının önemli bir bölümünü temsil etmektedir (Kragh, 2011; Kifokeris ve Xenidis, 2017).

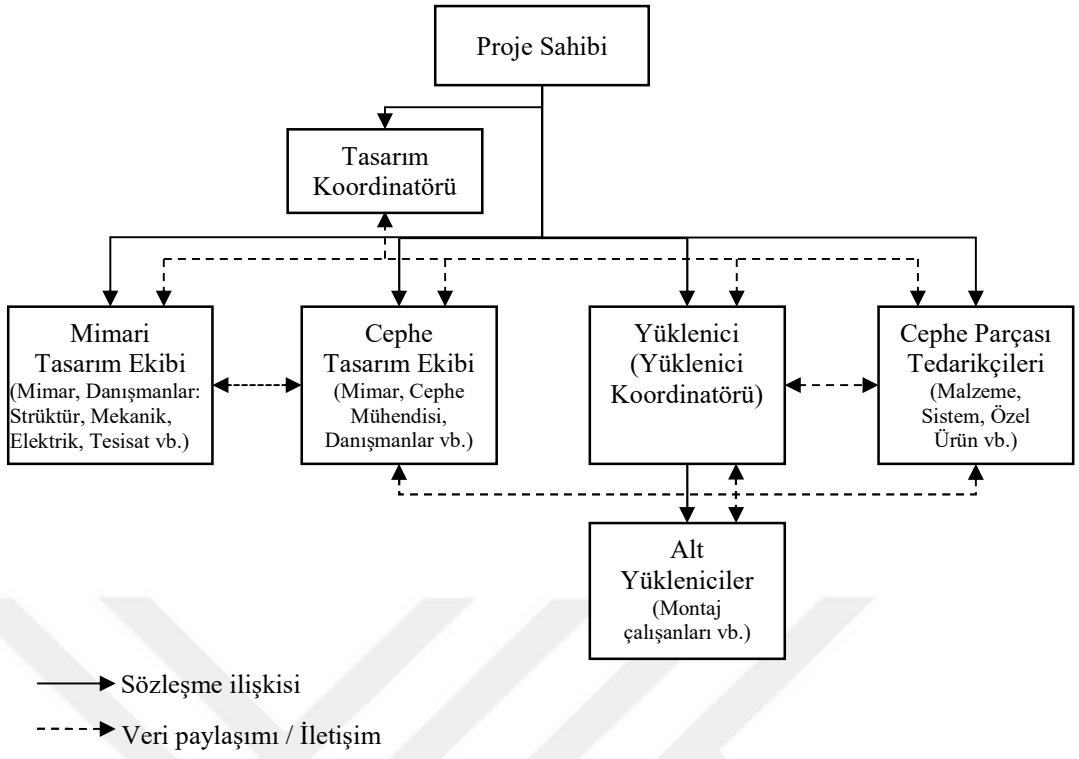
Projenin başarısı üzerindeki etkisi düşünüldüğünde cephe tasarımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Cephe sistemi fikirden ürüne dönüşüm sürecinde pek çok aşamadan geçer. Bu sürece tasarım, mühendislik, üretim, yazılım gibi farklı uzmanlık alanlarından pek çok temsilci katılır. Bu bölümde cephe sistemi tasarımında alınan kararların, yapılan faaliyetlerin ve bunlardan sorumlu ekip üyelerinin sistematik bir şekilde ortaya koyulması amacıyla, geliştirilen proje bağlamında cephe tasarımı süreçleri incelenmiştir. Ürün ve cephe tasarımı karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklar tanımlanmış; ürün tasarımı yaklaşımlarının cephe tasarımına uyarlanmasında dikkat edilmesi gereken kriterler belirlenmiştir. Cephe sistemlerinde kullanılan farklı ürün düzeyleri tanımlanmıştır. Cephe tasarımı proje temelli olarak gerçekleştirildiğinden ve her proje farklı tasarım parametreleri içerdiğinden bu duruma uyum sağlayabilecek standart ürünlerle tasarım özelleştirme yaklaşımları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

3.1 Cephe Tasarımı Süreci

Yapı tasarım süreci her biri birbiriyle etkileşimli çeşitli yapı sistemlerinin tasarım süreçlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Her bir sistemin tasarım süreci, proje geliştirme sürecinin başında tanımlanan ihtiyaçlara dayanır ve tüm süreçlerin koordinasyonu ve entegrasyonundan sorumlu bir tasarım koordinatörü liderliğindeki çok disiplinli bir ekip tarafından yürütülmesi önerilir. Cephe tasarımı da diğer tüm yapı sistemlerinin tasarımı gibi, tüm yapı tasarım sürecinin bir bileşenidir ve bundan ayrı olarak düşünülemez. Diğer yandan cephe sistemi yapının enerji performansı, iç mekân konforu, yapım ve bakım maliyetleri, dolayısıyla da proje riski ve ticari başarısında kilit role sahiptir. Bu açıdan yapı tasarım süreci içinde kapsamlı bir değerlendirme ve özel bir geliştirme yöntemi gerektirmektedir.

Cephe tasarımı sürecinin ayrıntılı olarak haritalandırılması için öncelikle kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Ulaşılan kaynakların analizinde yapılan ilk tespit cephe tasarım sürecinin tamamını kapsayan çalışmaların literatürde sınırlı olarak yer almasıdır. Kaynaklar ya belirli cephe tipolojilerine odaklanmakta ya tasarım faaliyetlerini tasarım sürecinden ayrıştırarak açıklamakta ya da süreç girdileri ile ilgili düşük bir ayrıntı düzeyi sağlamaktadır. Ayrıca süreçlerin aşamalandırılması ve tanımlanmasında farklı terimler kullanılmaktadır. Diğer yandan endüstrileşmiş sistemlerin gelişmesiyle birlikte cephe tasarımında yapı tasarımı sürecinden bağımsız bir de genel sistem geliştirme sürecinin oluştuğu belirlenmiştir.

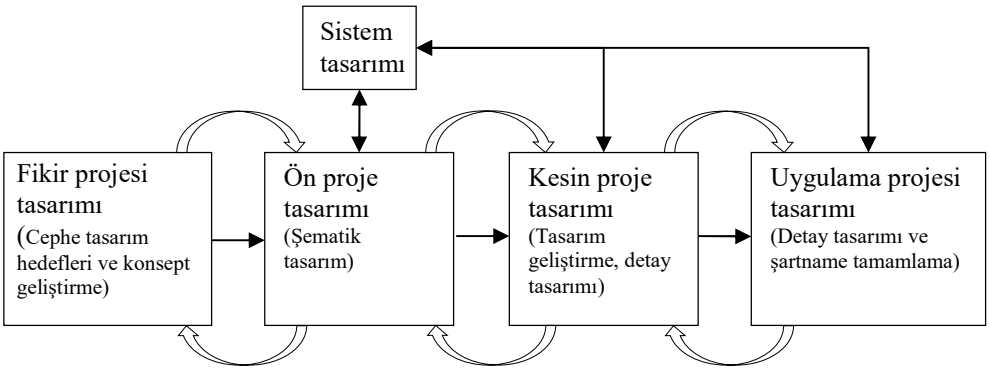
Literatürde cephe tasarımının geliştirilmesi için farklı uzmanlık alanlarına sahip bir ekibin oluşturulması önerilmektedir. Bu multidisipliner ekip, proje sahibi, tasarım koordinatörü, cephe tasarımdan sorumlu mimar, mühendis, yazılımcı ve çeşitli uzmanlık alanlarına sahip danışmanlar, malzeme üreticileri, sistem üreticileri, cephe parçası tedarikçileri, ekipman tedarikçileri, yüklenici ve alt yüklenicilerden oluşmalıdır (Oliveira ve Melhado, 2011; Boswell 2013; Kifokeris ve Xenidis, 2017). Bu ekip üyeleri arasındaki ilişki Şekil 3.1'de verilmiştir. Ayrıca her bir ekip üyesinin sorumluluk alanın tanımlanması ekip üyeleri arasındaki bilgi akışının belirlenmesi ve kolaylaştırılması açısından önemlidir.



Şekil 3.1: Cephe tasarımı ekibi üyeleri ve aralarındaki ilişki (Uyarlama, Oliveira ve Melhado, 2011).

Literatür araştırması sonucunda elde edilen veriler yapılan analiz bağlamında derlenerek, cephe tasarım süreci aşamaları ve faaliyetleri mimari proje hizmetleri iş aşamalarıyla eşleştirilmiş ve proje bağlamında cephe tasarımının geliştirilmesinde 5 aşama belirlenmiştir (Şekil 3.2). Organizasyona ve projeye göre değişiklik göstermekle birlikte genellikle her tasarım aşamasının sonunda proje sahibi, proje temsilcisi veya proje müdürünün yönettiği, temel olarak fonksiyon, tasarım, diğer sistemlerle koordinasyon ve yapılabilirlik değerlendirmelerini içeren, çeşitli değerlendirmeler yapılmaktadır (Tama, 2009). Bu değerlendirmeler ve tasarımın gelişimi içinde verilen kararlar bağlamında tasarım süreçleri arasında geri dönüşler yaşanabilmektedir. Bu bağlamda tasarım teorisyenleri cephe tasarım sürecinin aşamalı, yinelemeli, evrimsel bir dönüşüm olarak görülebileceğini savunmaktadır (Klein, 2013).

Aşağıdaki bölümlerde cephe tasarım süreci aşamaları, bu aşamalarda gerçekleştirilen faaliyetlerin amaçları, içerikleri ve sorumluları bağlamında açıklanmaktadır.



Şekil 3.2: Mimari proje bağlamında genel cephe tasarım süreci aşamaları.

3.1.1 Sistem tasarımı

Günümüzde yüksek yapı performansı talepleri cepheleri özellikle karmaşık yapı sistemleri haline getirmekte; bu da cephe sistemlerinin sistematize edilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Günümüz yapı endüstrisi eğilimleri incelendiğinde yapıların çoğunda, bir sisteme göre düzenlenerek üretimi ve tasarımı sistematikleştirilmiş, seri üretilen ürünler olarak geliştirilmiş, cephe sistemlerinin kullanıldığı belirlenmiştir (Meyer, 2010; Klein, 2013; Knaack ve diğ, 2014). Bu cephelerde sistem tasarımı, belirlenen pazar ihtiyaçları bağlamında sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından ürün tasarımı süreçleriyle, belirli bir projeden bağımsız olarak geliştirilmektedir (Klein, 2013). Cephelerin belirli parçaları ya da tamamı seri olarak üretilir ve cephe tedarikçileri tarafından temin edilir.

Cephe sistemi sağlayıcıları/üreticileri cepheyi oluşturan parçaları, malzemeleri, birleşim detayları ve toleranslarıyla tanımlar, detayları düzenler. Parçaların olası kombinasyonları ve konumlandırılmalarıyla sistemin fonksiyonlarını ve fonksiyon kombinasyonlarını, buna bağlı olarak da performansını tanımlar. Üreticiler, rüzgâr etkisindeki yağmura, ısı yalıtımına, hava geçirgenliğine, ses yalıtımına, yangına dayanıklılığına ve bina güvenliğine ilişkin olarak sistemlerini test eder. Cam armatürlerin tasarımı, cephe taşıyıcıları arasındaki yük aktarma bağlantıları gibi parçaları fabrika onaylıdır (Knaack ve diğ, 2014). Sistemin planlaması, imalat ve montajı yer bağlamı içermez; ulusal sınırların ötesine uzanarak uluslararası faaliyetler haline gelebilir.

Mimari açıdan bakıldığında neredeyse her yapının, proje ihtiyaçları bağlamında belirlenmiş özgün bir görünüşü vardır. Bu durum geliştirilen cephe sistemi

çözümlerinin hem proje bazında değişen tasarım parametrelerine uyum sağlayacak hem de yasal gereklilikleri karşılayabilecek esneklikte olmasını gerektirmektedir. Bir cephe sisteminin projeye etkin bir şekilde uyarlanabilmesi için genellikle, tasarım şemasında, cephe sisteminde ya da her ikisinde birden bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir (Klein, 2013). Bu nedenle pazarlanan cephe sistemlerinin çoğunluğu özelleştirilebilen endüstriyel ürünler olarak geliştirilmiştir. Yani tasarım, fonksiyon ve performanslarında belirli bir düzeyde esneklik bulunmaktadır. Bununla birlikte bir cephe sistemi ne kadar esnek olursa olsun bazı kısıtlamalar içerir. Bu durum geliştirilen cephe sisteminin esneklik sınırlarının ve kısıtlamalarının şartnamelerle iyi bir şekilde tanımlanmasını gerektirir.

Sistem çözümleri tasarım kolaylığına ek olarak, tasarım ve ihaleden yerinde yapıma, sözleşme taraflarının öngörülenilir çalışma ve sorumluluk kapsamının belirlenmesinde yardımcı olarak daha iyi bir süreç kontrolü sağlar.

3.1.2 Fikir projesi aşamasındaki tasarım

Literatürde ön tasarım (*predesign*), planlama (*planning*) ve konsept aşaması olarak da tanımlanan fikir projesi aşamasında yapı projesi fonksiyonu, amacı, kapsamı, büyüklüğü ve ekonomisi açısından genel ihtiyaç programı olarak tanımlanmaktadır. Projenin başarısı bu aşamanın ne kadar iyi tanımlandığı, detaylandırıldığı ve yönetildiğine bağlı olabilir. Projenin tanımı ne kadar net olursa, takip eden aşamalara geçmek o kadar kolay olur. (Mehta ve diğ, 2013)

Bu aşama pazar araştırması ve fizibilite çalışması ile başlar. İnşaat alanı, yapının büyüklüğü, kullanım şekli ve yasal gereklilikler cephenin fonksiyonel tanımının ilk girdilerini oluşturur (Klein, 2013). Bu aşamada cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyeleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Proje bağlamında cephe tasarımı bu aşamada kararlaştırılan tanımlara göre yapılmaktadır. Takip eden aşamalara veri sağlamak için, inovasyon, etkinlik ve verimliliği engelleme eğiliminde olan sınırlı kuralcı yaklaşımların kullanılmasından ziyade, genel tasarım hedefleri programının oluşturulması önem kazanmaktadır. Bu bağlamda cephe tasarım hedeflerinin belirlenmesi bu aşamada gerçekleştirilen önemli faaliyetlerden biridir.

Çizelge 3.1: Fikir projesi tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması (Uyarlama, Brock, 2005; Oliveira ve Melhado, 2011; Mehta ve diğ, 2013; Boswell, 2013; Bekdik ve diğ, 2018; Moghtadernejad ve diğ, 2018).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik	Sorumlular
Yapı programının tanımlanması	Yapının kullanım amacı ve ihtiyaç duyulan mahallerin belirlenmesi	Proje sahibi Mimari tasarımcılar
Yasal zorunlulukların belirlenmesi	Cephe sisteminin tanımlanmasında kısıtlamaları ve olanakları belirleyen yapı kanunları, imar kısıtlamaları, uyulması gereken standartlar gibi yasal ve teknik verilerin toplanması	Tasarım koordinatörü
Ön talimatlar (*Briefing*)/ Tasarım hedeflerinin tanımlanması	Yapının inşaat alanına yerleşimi, geometrik özellikleri, kat sayısı, cephe duvar-boşluk oranı ve dayanıklılığı, emniyeti, estetik ve akustik özellikleri, sürdürülebilirlik yaklaşımı ve enerji verimliliği gibi özelliklerini belirleyen performans ihtiyaçlarının tanımlanması	
Konsept geliştirme	Tasarım hedeflerinin nasıl temin edileceğinin belirlenmesi	
Teknik uygulanabilirlik ön değerlendirmesi	Yasal ve teknik kısıtlamalar ile sistem arayüzleri göz önünde bulundurularak ön talimatlarda belirlenen öncelikli ihtiyaçlar/hedefler programını yerine getirmenin teknik uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi	
Ekonomik uygulanabilirlik değerlendirmesi	Mimari tasarım bedeli, tasarım alternatiflerinin sayısal ve/veya fiziki olarak değerlendirilmesi, prototip oluşturma, beklenmedik durum maliyetleri gibi maliyetler bağlamında projenin toplam bütçesi ve finansmanının değerlendirilmesi	
Yapım ve ihale stratejilerinin belirlenmesi	İnşaat projesi için uygun proje teslim sisteminin (tasarım-ihale-yapım, tasarım-yapım, emanet usülü, anahtar teslim) belirlenmesi	Proje sahibi Tasarım koordinatörü
Tasarım ekibinin belirlenmesi	Her tasarım ekibi üyesinin, iş programı, garantiler, teknik destek gibi sorumluluklarının tanımlanması ve bunları belirleyen idari ve teknik tanımları olan belgelerin, sözleşmelerin geliştirilmesi	

Bu aşamada gerçekleştirilen diğer bir önemli faaliyet de konsept geliştirmedir. Konsept tasarımı, fonksiyon ve ihtiyaçların geometriye dönüştürüldüğü, cephe tasarımının ilk aşamasıdır. Cephe konsept tasarımı genellikle fikir projesi tasarımı aşamasında geliştirilmekle birlikte ön proje tasarımı aşamasında da gerçekleşebilir (Boswell, 2013). Cephe konseptleri tasarım problemine geniş bir bakış açısı getirir. Konsept çalışmaları cephe tasarım hedeflerine nasıl ulaşılabileceğinin tanımlanması için çeşitli yollar sunar. Proje için belirlenen ruhu ve hedefleri yakalamak için

mümkün olan en iyi ve en eşsiz seçeneğin araştırılmasında birden fazla seçeneğin incelenmesine olanak tanır. Bu nedenle farklı fikirler sınırlandırılmadan tasarım hedeflerine ulaşmada olası çözüm yollarının keşfi için kullanılmalıdır.

Konsept tasarım fikirlerinin genellikle mantık kuralları çerçevesinde uygulanabilir olması beklenir. Ancak teknik ve malzeme gibi tasarımda dikkat edilmesi beklenen hususlar genellikle bu aşamada bir kenara bırakılmaktadır. Bunun yerine konsept tasarımı soyut düşünceyi destekler. Konsept tasarımında tasarım problemine direkt olarak uygulanamayan çözümler üretilebilir. Yine de inovasyon için bir hızlandırıcı görevi gören bu konseptlere önem verilmelidir. (Boswell, 2013)

Bu aşamada farklı olanakları keşfetmek için birden fazla konsept üretilmektedir. Bu konseptlerden sonraki tasarım aşamalarında hangisi ya da hangilerinin geliştirileceğine karar vermek için bir değerlendirme ve seçim işlemi yapılır (Tama, 2009). Bu değerlendirme fikir projesi aşamasında geliştirilen cephe tasarım hedefleri içinden belirlenen kriterler bağlamında, çoğunlukla da teknik ve ekonomik uygulanabilirlik üzerinden yapılmaktadır (Brock, 2005; Oliveira ve Melhado, 2011). Değerlendirilen konsept alternatifleri sıralanır ve bu aşamanın sonucunda, en iyi konsept veya birden fazla konsept alternatifi tanımlanır. Bu konsept tasarım/lar, geliştirilecek şematik tasarımın özünü oluşturur; sonraki aşamaların yönünü tanımlamak ve ilham vermek için güçlü bir iletişim aracı haline gelir ve daha eksiksiz bir proje çözümüne olanak sağlar.

3.1.3 Ön proje aşamasındaki tasarım

Literatürde şematik (*schematic*) tasarım olarak da tanımlanan ön proje tasarımında proje programı grafik olarak şekillendirilmektedir. Tasarım konsepti çözümünün temel fikirlerini gösteren genel bir tasarım tanımlanır. Tasarım hedefleri, ön analizler, değerlendirmeler ve konsept tasarım çözümlerinin ilk sentezi yapılır. Cephenin şematik tasarımı, yapının şekli, kütlesi ve yönelimi ile birlikte, temel performans prensiplerine, doğal kuvvetler ve unsurlara, fonksiyonel ihtiyaçlara, mevzuat ihtiyaçlarına ve cephe tasarım hedeflerinde ve analiz adımlarında belirtilen diğer hususlara karşılık verecek şekilde geliştirilir. Bununla birlikte tasarım konseptlerinin üretilmesi ve seçimi bu süreçte devam edebilmektedir (Boswell, 2013). Bu aşamada cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyeleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Ön proje tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması (Uyarlama, Oliveira ve Melhado, 2011; Mehta ve diğ, 2013; Klein, 2013; Boswell, 2013; Bekdik ve diğ, 2018).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik	Sorumlular
Ön tasarım (İlk taslak)	Cephenin ön talimatlar, tasarım hedefleri, fikir projesi geribildirim dosyasının analizi ve diğer deneyimlere göre formüle edilmesi Cephe elemanlarının ve bileşenlerinin teknik fonksiyonlarının belirlenmesi Mimari seçeneklerinin değerlendirilmesi ve en uygununun seçilmesi	Proje sahibi Mimari tasarımcılar Tasarım koordinatörü
Cephe teknolojisinin seçilmesi	Proje sahibi tarafından belirlenen ihtiyaçlara, teknik, maliyet ve risk-fayda kriterlerine göre mimari tasarım ve cephe teknolojisinin seçilmesi	
Cephe kompozisyonunun oluşturulması	Opak ve saydam, dolu ve boş bölgelerin ve bunların yapı ile fiziksel ilişkilerinin tanımlanması	
Strüktürün tanımlanması	Cephe sistemi üzerinden yüklerin ana yapı taşıyıcısına ya da bir ara taşıyıcıya aktarılmasını sağlayan cephe sisteminin yapısal konseptinin test edilmesi ve doğrulanması	Mimari tasarımcılar İnşaat mühendisi
Malzemelerin tanımlanması	Malzemelerin ve boyutlarının ön seçimi	Mimari tasarımcılar Tedarikçiler
Cephe montaj bölgesinin tanımlanması	Cephenin yapısal bileşenleri, kaplaması ve ankraj alanlarını içeren montaj bölgesinin tanımlanması	
Maliyet değerlendirmesi	Bazı mimari seçenekler göz önünde bulundurularak ön maliyet değerlendirmesinin yapılması	Mimari tasarımcılar Genel yüklenici Alt yüklenici
Şartname taslağının hazırlanması	Bütçe onayına izin vermek için genel yüklenici ve alt yüklenici bütçe girişini içeren cephe şartname taslağının hazırlanması	

Bu aşamadaki en etkili tasarım ekibi üyesi, tasarım şemasını veya çeşitli tasarım seçeneklerini danışmanlardan sınırlı bir yardım alarak geliştiren mimardır. Mimar cephe tasarım ekibine liderlik yapar. Tasarım ekibi üyelerinin, yapısal, mekanik, elektrik, enerji, akustik ve diğer şematik tasarım çalışmaları tartışılır, düzenlenir ve cephe sistemi ve onunla ilişkili bileşen ve bağlantılara entegre edilir (Boswell, 2013). Bununla birlikte cephe ve mekanik sistem/ekipman tasarımı karşılıklı olarak birbirini etkiler ve aynı anda yapılmalıdır (Boswell, 2013).

Bu aşama genellikle daha sonra geliştirilecek olan bir tasarım eskiziyle başlamaktadır. Mimar tasarım önerilerini proje sahibine ve danışmanlarına, genellikle 1/100 ölçek detayına sahip, planlar, kesitler, görünüşler ve bunlara ek olarak serbest el çizimleri, konsept çizimleri, üç boyutlu sayısal modeller ve maketler gibi fiziki modeller aracılığıyla iletir. Amaç, cepheye ve cephenin diğer yapı sistemi şemalarıyla ilişkisine kapsamlı bir genel bakış sağlamaktır. Mimar tarafından hazırlanan bu ön proje, proje sahibi tarafından nadiren onaylandığından, genellikle birkaç revizyondan geçer. Şu konuya dikkat çekmek gerekir ki, ön proje tasarımı ve grafik gösterimleri ne kadar iyi hazırlanmış olsa da yapım süreçlerinde kullanılmak için yeterli değildir. (Mehta ve diğ, 2013)

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken hususlar, cephenin estetik kimliği, doğru cephe sisteminin seçilmesi ve öngörülen maliyetin belirlenen bütçe sınırları içinde kalmasıdır. Cephe tanınabilir bir yapı kimliği oluşturmalıdır. Doğru cephe sisteminin seçilebilmesi için mevcut sistemler tasarım hedefleri bağlamında iyi incelenmeli, her sistemin proje bağlamında güçlü ve zayıf yönleri belirlenmelidir (Knaack ve diğ, 2014). Tasarımcılar cephe tasarımının proje hedeflerini nasıl desteklediğini göstermelidir. Çoğu projenin katı bütçe kısıtlamaları olduğundan, bu aşamanın sonunda projenin olası maliyetinin kaba bir tahmini de üretilmelidir (Klein, 2013).

3.1.4 Kesin proje aşamasındaki tasarım

Literatürde tasarım geliştirme (*design development*) aşaması olarak da tanımlanan kesin proje aşamasında, onaylanmış ön proje tasarımı, tasarım hedefleri/ihtiyaçları programına yapılan eklemeler ve proje bütçesi bağlamında, bilgi ve detay katmanları eklenerek ve tanımlanarak daha da geliştirilmektedir. Bu gelişme süreci, tasarım ekibinin tüm üyeleri ile stratejik müzakereler içermektedir. Tasarımın odak noktası tüm yapı sistemleri için pratik ve pragmatik çözümler üretmektir. Bu nedenle, bu aşamanın en kritik özelliği, ana tasarım konularından detaylara kadar çeşitlilik gösteren konularda karar vermektir. (Mehta ve diğ, 2013)

Bu aşamada projede kullanılacak malzemeler, ürünler ve ekipman hakkındaki kararların büyük çoğunluğu alınmaktadır. Yapılan çalışmalar genel olarak, sistem seçimi bağlamında tipik detayların, cephenin dış çevre koşulları bağlamında sınırlama özelliklerinin ve cephe strüktürünün geliştirilmesini, malzeme araştırmaları ile seçimini, şartnamelerin hazırlık çalışmalarını, ön performans değerlendirmelerini

ve projenin olası maliyetinin hesaplanmasını içermektedir. Bu aşamada cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyeleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3: Kesin proje tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması (Uyarlama, Oliveira ve Melhado, 2011; Mehta ve diğ, 2013; Boswell, 2013; Bekdik ve diğ, 2018).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik	Sorumlular
Cephe performans ihtiyaçlarının tanımlanması/yeniden düzenlenmesi	Öncelikli tasarım hedefleri programında belirlenen ihtiyaçlar için kriterlerin belirlenmesi ve tanımlanması	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü
Temel eleman özelliklerinin tanımlanması	Cephe elemanlarının özelliklerini belirleyen sayısal parametrelerin oluşturulması	
Tanımlayıcı bildiri (*descriptive memorial)*	Yapım teknolojilerinin tanımı dâhil olmak üzere cephenin genel bileşiminin ifade edilmesi	
Arayüzlerin ön listesinin hazırlanması	Çizelge 3.4'te verilen dört arayüz grubunu göz önünde bulundurarak arayüzlerin ön listesinin hazırlanması ve bu arayüzlerin hangi aşamada çözüleceğinin belirlenmesi	
Tasarımın grafik sunumunun oluşturulması	Uygulanan çözümün eskizler, planlar, kesitler görünüşler vb. şekilde grafik olarak sunulması	
Performans ve genel maliyet ön değerlendirmesi	Cephenin genel maliyetinin ve performans özelliklerinin belirlenen performans ihtiyaçları bağlamında değerlendirilmesi	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü Cephe tedarikçileri Genel yüklenici
Şartname taslağının hazırlanması	Ana malzemeleri, sistemleri ve genel olarak kalite seviyelerini belirleyen şartname ana hatlarının hazırlanması	
İş programı	Yapım süreçlerinin ön iş programının oluşturulması	

Mimari açıdan bakıldığında neredeyse her yapının özgün bir görünüşü vardır. Sadece cephe değil diğer sistemler de neredeyse her zaman projeye özgündür. Bu durum her yapıyı, tümü bir prototipte birleştirilmiş, önceden tasarlanmış ve önceden test edilmiş sistemlerin bileşimi haline getirmektedir (Scheepmaker, 2010). Mimarlıkta her ne kadar endüstrileşmiş sistemler kullanılsa da her proje kendi özelinde farklılaştığı için belirli bir oranda özel detaylandırma ve yapım içermektedir. Detay tanımı genel cephe organizasyonundan yapım detayı çizimlerine kadar çeşitlilik göstermektedir.

Detay geliştirme çalışmaları kesin proje aşamasında başlamakla birlikte uygulama projesi aşamasında tamamlanmaktadır. Bu aşamada tipik sistem detayları daha büyük bir ölçekte çalışılmaktadır. Cephe sistemi araştırması bir dizi detayın süreç içinde evrimleşmesiyle gelişmektedir. Genellikle, görsel profilleri, sistem derinliğini, malzemeleri, bitişik sistemler ile olan ilişkileri/arayüzleri test etmek için çeşitli detay çalışmaları yapılmaktadır. Tipik ve köşe dönüşleri gibi özel koşullar için başlık, bitiş ve pervaz detayları, uygun ve doğru malzeme bulguları, strüktürel çözümler ve gerekli toleranslarla geliştirilir. Bu detaylandırma araştırması, cephe sisteminin yapısal performansı konusunda ve hava şartlarına karşı koruma, enerji verimliliği, akustik, yangın ve can güvenliği gibi performansını belirleyen diğer konularda daha iyi tanımlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca yapı ürünü verilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi, kalite standartları ve üretim süreçleri ile ilgili daha detaylı bilgi sağlayarak cephe detaylandırma sürecine katkıda bulunacaktır. (Boswell, 2013)

Detay tasarımının asıl görevi, sistem arayüzleri, yani diğer bileşenlerle bağlantı için uygun çözümler bulmaktır (Knaack ve diğ, 2014). Bu bağlamda arayüzlerin tanımlanması önem kazanmaktadır. Pavitt ve Gibb (2003) arayüzleri aşağıda açıklanan 3 ana kategoride incelemektedir.

- **Fiziksel arayüzler:** İki veya daha fazla yapı elemanı veya bileşeni arasındaki fiziksel bağlantılardır. Bunların sayısı ve karmaşıklığı, binanın detaylı tasarımına bağlıdır.
- **Sözleşme arayüzleri:** Tasarım verilerinin erişilebilirliğine veya genel yüklenicinin programına bağlı olarak, iş öğelerinin farklı iş paketlerinde gruplandırıldığı yerlerde meydana gelmektedir. Bu nedenle bu iş paketleri normalde uzman yüklenicilerle ilişkilendirilen iş paketleri arasında arayüzler oluşturur. İş öğelerinin paketlenmesi, ayrı alt yüklenicilerin sürece dâhil olması sonucu ek fiziksel arayüzlere yol açabilir. İş paketleri arasındaki sözleşme arayüzleri tasarımın erken bir aşamasında kararlaştırılmalı ve proje boyunca yönetilmelidir.
- **Organizasyonel arayüzler:** Projede yer alan çeşitli taraflar arasındaki etkileşimlerdir. Bu arayüzler, ilk konseptten son devir teslimine kadar proje sürecine katılan bireyler ve taraflar arasındaki ilişkiyi içerir. Bu nedenle

özellikle tasarım-yapım proje teslim tipinde birçok farklı şirketi ve şirketlerin alt bölümlerini kapsayabilir.

Oliveira ve Melhado (2011), Pavitt ve Gibb (2003) tarafından önerilen yukarıdaki arayüz sınıflandırmasına göre cephe arayüzlerini 4 gruba ayırarak sınıflandırmış ve tanımlamıştır. Bu sınıflandırma Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4: Cephe üretimindeki temel arayüzlerin tanımlanması ve sınıflandırılması (Oliveira ve Melhado, 2011).

Arayüz Grupları	Arayüzler
Cephe teknolojisi seçimi ile arayüz	Teknik ve yasal kısıtlamalarla arayüzler göz önüne alınarak belirlenen, cephe teknolojisi seçimi, tasarım hedefleri ve fizibilite çalışmaları arasındaki arayüz
Cephe ve diğer sistemler arasındaki arayüz	Cephe - ana strüktür arayüzü Cephe - iç duvarlar arayüzü Cephe - kapı ve pencere arayüzü Cephe - çatı ve kaplama arayüzü Cephe - döşeme ve kaplama arayüzü Cephe - tesisat arayüzü Cephe - teras arayüzü
Tasarım şartnameleri ile arayüz (kalite ve performans)	Cephe performans ihtiyaçlarıyla arayüz Bileşenlerin birbiriyle uyumluluk şartnameleriyle arayüz Geometrik toleranslar arasındaki arayüz (ürün ve montaj toleransları) Hizmetlerin ve faaliyetlerin kabul parametreleri ile arayüz Yapılabilirlik ve bakım tasarımı ile arayüz
Yapım ile arayüz	Yapım - işçi güvenliği - sağlık gereksinimleri arasındaki arayüz Taşıma ekipmanı ile arayüz Teslimat ve montaj erişimi ile arayüz Depolama ile arayüz Montaj düzeni ile arayüz Gelecekteki onarım operasyonları ile arayüz

Kesin proje tasarımında dikkat edilmesi gereken bir konu da farklı ve potansiyel olarak çelişen tasarım ihtiyaçları arasında karşıtlıklar oluşmaması için, yapıyı oluşturan farklı sistemlerin karşılıklı olarak geliştirilmesi ve entegre edilmesidir (Marradi ve Overend, 2014). Bu bağlamda proje özelliklerine bağlı olarak, tasarıma belirli disiplinler katılmaktadır. Bu bölünme hem çizimlere hem de teknik şartnamelere yansır. Bölgesel prosedürlere veya ihale türüne bağlı olarak tasarıma mimarların yanı sıra inşaat ve/veya cephe mühendisleri, iklimlendirme tasarımcıları, cephe sistemi tasarımcı ve üreticileri ile malzeme tedarikçileri katılabilir. Genel yüklenicinin, projenin maliyeti ve yapılabilirliği hakkında bilgi sağlamak için bu aşamada yer alması da sık gözlenen bir durumdur (Mehta ve diğ, 2013). Malzeme tedarikçileri ve üreticilerinden gelen bilgi, malzemelerin uygulanmasında ve detaylarda yer alan malzemelerin uyumluluğunda ince ayar yapma imkânı sunarken,

cephe yüklenicileri veya cephe sistem tasarımcıları ise yapılabilirlik, maliyet, yapım lojistiği hakkında bilgi sağlamaktadır (Boswell, 2013).

Bir noktada, tasarımcıların çalışma çizimlerinin inşaat ruhsatı almaya uygun şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Kesin proje dokümanları, onaylanan ön proje tasarımının geliştirilmesini gösterecek ve açıklayacak; mimari, strüktürel, mekanik, elektrik sistemleri gibi elemanlar bağlamında projenin büyüklüğünü ve karakterini tanımlayacak, genellikle 1/100 ölçeğindeki, planlar, kesitler, görünüşler; genellikle 1/20 ölçeğindeki tipik sistem detayları ve yapı sistemlerinin şematik düzenini gösterecek çizimler ve diğer dokümanlardan oluşmaktadır (Boswell, 2013). Dokümanlar ayrıca ana malzemeleri, sistemleri ve genel olarak kalite seviyelerini belirleyen şartname ana hatlarını da içermektedir. Uygulama projesinin verimli bir şekilde düzenlenmesi doğrudan bu aşamanın iyi yönetilmesine bağlıdır (Mehta ve diğ, 2013).

3.1.5 Uygulama projesi aşamasındaki tasarım

Literatürde yapım dokümanları (*construction documents*) aşaması olarak da tanımlanan uygulama projesi aşamasının amacı, yapının yüklenici tarafından inşa edilmesi için gerekli olan tüm belgeleri hazırlamaktır (Mehta ve diğ, 2013). Cephe uygulama projesi dokümanları, proje sahibinin belirlenen ihtiyaçlarını ve hedeflerini, inşaat endüstrisinde anlaşılabilecek, birbiriyle koordineli bir dizi çizim ve şartnameye dönüştürür (Boswell, 2013). Cephe tasarım çalışmaları arayüzlerin ve özel detayların tasarımının sonuçlandırılmasına odaklanmıştır (Boswell, 2013).

Takım dinamikleri ve diğer katılımcılarla ilişkiler, iş birliğinden koordinasyona geçiş yapar (Boswell, 2013; Mehta ve diğ, 2013; Oliveira ve Melhado, 2011). Tüm danışmanlar tasarımı geliştiren mimara tavsiyede bulunur. Aynı zamanda bir danışmanla yapılan çalışmaların diğerlerinden de onay olmasını sağlamak için genellikle tasarım koordinatörü mimar aracılığıyla danışmanlar ve tasarım ekibi üyeleri birbirleriyle de iş birliği yaparlar. Tasarım ekibinin çizimlerine ve projeyi detaylandırma düzeyine bağlı olarak yüklenicinin de bir iç tasarım süreci yürütmesi gerekebilir (Klein 2013). Tasarım çoğu zaman mevcut sistemlere dayanmasına rağmen mimar, sistemin tüm ayrıntılarını genellikle bilemez; üretim ve montaj işleminin bir kısmı kontrolünün dışındadır (Knaack ve diğ, 2014). Prosedürlere veya ihale türlerine bağlı olarak, cephe üreticisi bu süreçte yer alabilir (Marradi ve

Overend, 2014). Kullanılacak cephe sistemine dair son karar da sıklıkla bu aşamada verilir (Klein, 2013; Marradi ve Overend, 2014). Bu durumda cephe üreticisi tasarım ekibinin çalışma çizimlerine uygun olarak, karmaşık sistem ürünlerini gerekli tüm bileşenlerle birlikte doğru şekilde sipariş etmek için gerekli her profili, her contayı ve delmesi gereken her oluğu çizer (Klein 2013; Marradi ve Overend, 2014). Sadece bir mimari detayı gerçekleştirmek için cephe üreticisinin pek çok uygulama detayı geliştirmesi gerekebilir. Bu, çok fazla bilgi ve tecrübe gerektiren karmaşık ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu süreçte genellikle sistem tedarikçisinden destek alınmaktadır (Klein 2013). Tedarikçiler ayrıca, sipariş ve teslimat süreleriyle ilgili bilgi sağlar. Şantiyede yapım planlaması ise genel yükleniciler tarafından gerçekleştirilir (Marradi ve Overend, 2014). Genel yüklenici, çizim ve şartname gerekliliklerini anlayarak alt yükleniciler arasındaki montaj ve iş sırasını koordine eder (Boswell, 2013).

Çizelge 3.5: Uygulama projesi tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması (Uyarlama, Oliveira ve Melhado, 2011; Mehta ve diğ, 2013; Boswell, 2013; Bekdik ve diğ, 2018; Moghtadernejad ve diğ, 2018).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik	Sorumlular
Tasarımlar ve ilgili standartlar arasında karşılaştırma	Özellikle sağlık ve güvenlikle ilgili olanlar dâhil olmak üzere, ilgili standartlara uygunluk göz önünde bulundurularak yapının eleman ve bileşen seçiminin pekiştirilmesi	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü
Cephe kullanımı ve bakımı ön tasarımı	Cephenin kullanımı ve bakımına ilişkin arayüzlerin (temizlik ekipmanları, kontrol erişilebilirliği vb.) değerlendirilmesi	Mimari tasarımcı Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü
Modülasyon analizi	Cephe elemanlarının modülasyonunun analizi ve tanımlanması	
Arayüzlerin listelenmesi	Sistemler, elemanlar ve bileşenler arasındaki teknik ve operasyonel arayüzlerin tanımlanması	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü
Geometrik toleransların incelenmesi	Geometrik toleransların tanımlanması (montaj ve üretim toleransları)	
Teknik şartnamelerin tamamlanması	Cephe sistemi ve montaj parametrelerinin tanımlanmasıyla cephe teknik yönergelerinin sentezlenmesi	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü
Cephe sisteminin yapısal formülizasyonu	Cephe strüktür hesaplamalarını ve güvenlik kriterlerine (yapısal, yangın, bakım vb.) ulaşıldığını gösteren bir belgenin oluşturulması	

Çizelge 3.5 (devam): Uygulama projesi tasarımı aşamasında cephe tasarımını etkileyen faaliyetler, bunların amacı, içeriği ve bu faaliyetlerden sorumlu tasarım ekibi üyelerinin tanımlanması (Uyarlama, Oliveira ve Melhado, 2011; Mehta ve diğ, 2013; Boswell, 2013; Bekdik ve diğ, 2018; Moghtadernejad ve diğ, 2018).

Faaliyetler	Amaç ve İçerik	Sorumlular
Cephe tedarikçilerinin işe alınması için direktifler	Cephe teknik şartnameleri göz önüne alınarak proje sahibinin cephe tedarikçilerinin seçiminde desteklenmesi	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü
Sözleşmenin hazırlanması	Tedarikçinin, hizmetlerin yapımı ve kabulü ile ilgili olarak, kabul etmesi gereken kuralların belirlenmesi	Proje sahibi Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü Cephe tedarikçileri/ montajcıları
Detaylandırma	İlk tanımlar bağlamında tasarımın tamamlanması ve detaylandırılması Bu detaylandırma seçilen tedarikçinin ürünlerinin özelliklerine bağlı olacaktır.	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü Cephe tedarikçileri/ montajcıları Yüklenici
Şantiye tasarımı da dâhil olmak üzere yapım tasarımı	Yapım ön çalışmalarının tamamlanması ve şantiye tasarımının (depolama yeri, erişim yerleri, ekipman vb.) oluşturulması	
Yapım-cephe arayüz listesi	Cephe yapımı ile şantiye faaliyetleri arasındaki arayüzlerin tanımlanması ve çözülmesi	
Son arayüz çalışması ve montaj prosedürlerinin tanımı	Arayüzler listesi ve çözümlerinin incelenmesi ve ayrıca montaj prosedürlerinin hazırlanması	
Yapım planlama, fiziksel ve finansal zamanlama	Arayüzleri göz önüne alarak yapımın planlanması (Çizelge 3.4– grup 4).	Cephe tasarımcısı Tasarım koordinatörü Cephe tedarikçileri/ montajcıları Yüklenici

Uygulama projesi aşamasında üretilmesi ya da tamamlanması gereken cephe detaylarının sayısı, ölçeği ve detay düzeyi aşağıda sıralanan öğelere bağlı olarak değişmektedir (Boswell, 2013):

- **Proje teslim yöntemi:** Genellikle tasarım geliştirme aşamasından itibaren detaylandırma düzeyini belirlemektedir. Her teslimat yöntemi, projenin başlında ya da sonradan proje ekibine dâhil olacak katılımcılar için projenin detay düzeyi beklentileriyle ilişkilendirilir. (Boswell, 2013)
- **Cephe sistemi tipi ve tasarımın karmaşıklık düzeyi:** Tasarım geliştirme araştırması ve sistem geliştirme detayları cephe tasarım hedeflerinin nasıl bir

sistem tarafından gerçekleştirilebilecek olduğunu tanımlamaktadır. Bu cephe sistemi bir üreticinin standart sistemi, standart bir sistemin özelleştirilmesi veya tamamen özel tasarlanan bir sistem olabilir. Bazı durumlarda mevcut bir sistemi izin verilen sınırlar dâhilinde uyarlayarak projeye özel bir tasarım gerçekleştirmek mümkündür. Eğer mevcut sistemlerin sınırlamaları proje için çok kısıtlayıcı ise, gerekli tüm test ve sertifikalarla yeni bir ürün geliştirilmelidir. Her iki süreç de sistemler hakkında yüksek derecede bilgi, endüstri ve üreticilerle yakın işbirliği gerektirir. Bu süreç için özel cephe planlamacılarına danışılır. Bir sistemin mimar tarafından değiştirilmesi ancak, üreticinin, yatırımın geri dönüşünü sağlayan, ürün pazarında bir değer artışı öngörmesi durumunda gerçekleştirilebilir (Knaack ve diğ, 2014). Bazı durumlarda mimar cephenin düzen, desen, bitiş malzemeleri ve performans gereksinimlerini tanımlar; yüklenicinin detaylandırmayı yapması tercih edilir. Bazı durumlarda ise mimarın profiller, bitişler, hava sızdırmazlığı gibi tanımları da yapması beklenebilir.

- **Ekibin beklentileri:** Uygulama projesi dokümanlarına dâhil edilecek detay seviyesi, projenin ilk aşamalarında tüm katılımcılar tarafından tartışılması ve üzerinde anlaşılması gereken bir konudur (Boswell, 2013).
- **Sistem arayüzleri:** Bir detayda iki veya daha fazla malzeme veya sistem bir araya gelmektedir. Detayın bu arayüz oluşturma tanımı, standart, özelleştirilmiş standart ve özel sistemlerin hepsi için geçerlidir. Bu, mimarın önderlik etmesi gereken bir alandır. Cephe sistemini doğru şekilde birleştirmek, görsel profiller, bitişler, malzemeler, doğramalar, hava sızdırmazlık sürekliliği, sistem yapısal bütünlüğü, ısıl süreklilik ve diğer konular için teknik tasarım gerektirmektedir.

Genel olarak, cephe sistemleri standart ürünlerdir; çünkü performanslarının (hava sızdırmazlığı, dayanıklılık, akustik, ısıl vb. performans özelliklerinin) onaylı testlerle değerlendirilmesi gerekir (Marradi ve Overend, 2014). Ancak bazen, cephe sistemi belirli bir proje için özel geliştirilebilir ve test edilebilir. Cephe sisteminin performansının belirlenmesi için gerekli görülen değerlendirmeler yapım öncesinde, uygulama projesi aşamasında yapılmaktadır. Bu değerlendirmede dikkate alınması gereken ana hususları belirlemek için, cephe tasarımcısı tarafından tasarım koordinatörünün desteğiyle bir tablo hazırlanır. Bu tabloda performans

gereksinimleri ve doğrulama yöntemi açıkça belirtilmelidir (Oliveira ve Melhado, 2011).

Cephe uygulama projesi dokümanları çizimler ve teknik şartnamelerden oluşmaktadır. Teknik şartnameler tasarım amacının teknik açıklamalarını, çizimler ise grafiksel açıklamalarını sağlamaktadır (Mehta ve diğ, 2013). Çizimler, genellikle 1/50 ölçeğindeki cephe planları, kesitleri ve görünüşleri ile genellikle 1/20 ölçeğindeki sistem detaylarını ve daha büyük ölçekli imalat detaylarını gösteren grafiklerdir. Diğer yandan çizimlere eklenemeyen birçok bilgi bulunduğundan yapılar yalnız çizimler üzerinden inşa edilemez. Örneğin, çizimler kolonların yerlerini, boyutlarını ve kullanılan malzemeyi tanımlamakta fakat malzemelerin kalitesi, özellikleri ve uygunluğunu doğrulamak için gereken test yöntemlerini tanımlayamamaktadır. Kalite standartlarını, malzemeleri, imalat ve montaj özelliklerini tanımlayan yazılı talimatlar olan şartnameler de çizimleri bu yönden tamamlamaktadır. Bu bağlamda çizimler ve teknik şartnameler karşılıklı olarak tamamlayıcıdır ve eş zamanlı olarak geliştirilmeleri gerekmektedir (Boswell, 2013).

3.2 Cephe ve Ürün Tasarımı Arasındaki Farklar

Her eylem veya süreç, "ürün" adı verilen bir sonuç üretmektedir (Eekhout, 2008). Bu ürünün tanımı kullanıldığı disipline göre farklılık göstermekte ve tasarım süreçleri de hedeflenen ürünlere göre şekillenmektedir. İnşaat endüstrisinde görülen endüstrileşme eğilimi, mimari ürünlerin tasarımını mühendislik tasarımı ve endüstriyel tasarımın kesişiminde bulunan genel ürün tasarım süreçlerine yaklaştırmıştır. Jones (1992), Asimow (1962)'un tanımladığı ürün tasarımı ve Royal Institute of British Architects'in (1965) tanımladığı mimari tasarım süreçlerini karşılaştırmış ve aralarındaki benzerlikleri ortaya koymuştur. Her bir uzmanlık alanı farklı terimler kullanmasına rağmen tasarım yöntemi olarak belirgin benzerlikler içermektedir (Jones, 1992). Bununla birlikte, mimari ürünler ve endüstri ürünlerinin kendilerine has özellikleri ve geliştirme süreçleri nedeniyle, ürün tasarımında kullanılan yöntemlerin mimarlık alanında direkt olarak uygulanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Mimari tasarımda sistematik ürün tasarımı yöntemlerinden yararlanabilmek için öncelikle gerekli uyarlamanın yapılmasını sağlayacak ürün ve tasarım farklılıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde mimari tasarım ve ürün tasarımını karşılaştıran çalışmalar olmakla birlikte bu incelemeler cephe

tasarımı düzeyine inmemektedir. Bu bağlamda öncelikle mevcut çalışmalar derlenmiş, sonra da belirlenen farklılıklar cephe düzeyinde incelenmiştir.

Endüstriyel bir ürün, özellikleri ve hizmet edebileceği fonksiyonlar nedeniyle insanlar tarafından icat edilmiş, yapılmış, değiştirilmiş ve kullanılmış bir üründür. Endüstriyel ürünleri mimari ürünlerle karşılaştırabilmek için genel özellikleriyle ilgili bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Roozenburg ve Eekels (1995) endüstriyel ürünlerin ortak özelliklerini belirlemiştir. Bu özellikler şu şekilde sıralanmaktadır:

- **Maddi eserlerdir:** Görünürler ve dokunulabilirler.
- **İmal edilirler:** Malzemelerden ve yarı imal edilmiş bileşenlerden üretilirler.
- **Soyutlanmış birimlerdir:** Ürünler bağımsız olarak çalışırlar ve çalıştıklarında tüm ürün sürece dâhil olur.
- **Son ürünlerdir:** Ek işlem, imalat yapılması öngörülmez.

Gericke ve Blessing (2011) mimarlık ve ürün tasarımı içinde değerlendirilen mühendislik modellerinin özelliklerini karşılaştırmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6: Mimarlık ve mühendislik modellerinin özelliklerinin karşılaştırılması (Gericke ve Blessing, 2011).

Mühendislik Modellerinin Özellikleri	Mimarlık Modellerinin Özellikleri
Problemlerin iyi tanımlandığını ya da tanımlanabileceğini kabul eder	Problemlerin iyi tanımlanmadığını kabul eder
Sistematik, ustaca yapılmış (*expert*) süreç	Fırsatçı (*opportunistic*), tartışılır (*argumentative*) süreç
Problem analizi ile başlar; önyargıdan kaçınır	Çözüm varsayımı ile başlar; ön planlamayı (*prestructure*) kabul eder
Doğrusal	Döngüsel
Ağaca benzer problem strüktürü	Izgara problem strüktürü
Kurallı/yönlendirilmiş tasarım davranışı	Tanımlayıcı tasarım davranışı
Hall'in sistemlerin mühendislik süreci morfolojisinde düşey boyutu (doğrusal, prosedürel) vurgular	Hall'in sistemlerin mühendislik süreci morfolojisinde yatay boyutu (yinelemeli, problem çözme) vurgular

Jager (2002) endüstri ürünü tasarım yöntemleri ve mimari tasarım yöntemlerinin benzerlikler ve farklılıklar içerdiğini belirtmiştir. İki tasarım süreci arasındaki metodolojik farklılıkları ise bir endüstriyel ürün ile mimari ürün arasındaki farklılıklar temelinde açıklamıştır. Bu farklılıklar şu şekilde sıralanmaktadır:

- Çok fonksiyonluluk
- Yaşam döngüsü süresi

- Sağlamlık
- Konuma bağlılık
- Ölçek
- Mekânsal deneyim
- Kişisel bağlar

İnşaat endüstrisi diğer endüstrilerden pek çok sebepten dolayı farklı bir yapıya sahiptir. Fox ve diğ. (2001) bunlardan en etkili olanlarının tasarım bilgisi ve tasarım faaliyetleri arasındaki farklılıklar olduğunu belirtmiştir. İnşaat üretimi proje esaslı bir üretim sistemidir; bazı konut projeleri hariç seri üretim kapsamına girmez. Ürün çeşidi çok fazladır ve bunların her biri sadece bir kere üretilir (Ichida ve Voigt, 1996). Üretim %100 istek üzerine yapılır (Eekhout, 2008). İşverenin öncelikleri ve ihtiyaçları her bir yeni üretim döngüsünde farklı olmaktadır (RIBA Plan of Work, 2016). Üretim her yeni proje için değişik bir arsada gerçekleşmektedir; yani imalat endüstrilerinde olduğu gibi sabit bir üretim yeri bulunmamaktadır. Tüm bu koşullar bina ve cephe üretiminde belirli bir oranda özelleştirme yapılmasını zorunlu kılmaktadır. İnşaat endüstrisinde tamamen standart ürünler ve süreçlerle üretimin gerçekleşmesi bu nedenle oldukça zordur.

Literatürde yer alan, yukarıda açıklanan çalışmalar mimari ürünü son ürün olan yapı üzerinden değerlendirmektedir. Oysaki mimari ürünler de bütünlük düzeylerine göre hiyerarşik bir düzene sahiptir (bk. Bölüm 3.3). Eekhout (2008) mimari ürünler hiyerarşisi içinde alt eleman ile yapı bölümü arasında yer alan ürün düzeylerinin ürün geliştirme araştırma alanına girdiğini belirtmiştir. Bu bağlamda mimari ürünler ve endüstri ürünleri arasındaki farklılıkların belirlenmesi için öncelikle farklı endüstrileşme ölçeklerindeki ürünlerin geliştirilme süreçleri incelenmiştir. Belirlenen beş aşamalı ürün ölçeği en az endüstrileşmiş üründen (yapı) en çok endüstrileşmiş ürüne (endüstriyel ürün) doğru şu şekilde sıralanmaktadır: yapı, cephe, alüminyum doğrama, endüstri ürünü (gırgır) ve endüstriyel ürün (somun). Bu ürünler arasındaki farklılıkların belirlemesiyle ilgili yapılan ön çalışma Çizelge A.1'de verilmiştir. Bu ürün ölçeklerinin ürün geliştirme süreçlerinde belirlenen farklılıklar ana başlıklar halinde şunlardır:

- Endüstrileşme düzeyi
- Geliştirme metodolojisinin düzeyi

- Tasarım metodolojisi
- Üretim ihtiyacının doğuşu
- İhtiyacın belirlenmesinde kullanılan yöntemler
- Eş ürünlerin üretim sayısı
- Ürün özelliklerinin esnekliği/değişkenliği
- Ürün esnekliği/uyarlanabilirlik (kullanım esnasında) /tasarıma üretimden sonra müdahale
- Gerçek performans tespiti
- Kalite kontrolü yaklaşımı
- Kullanım ömrü
- Ürünlerin tüketici alışkanlıklarına göre sınıflandırılmasındaki yeri (pazarlama yaklaşımı)
- Üretim sistemleri
- Üretim stratejileri

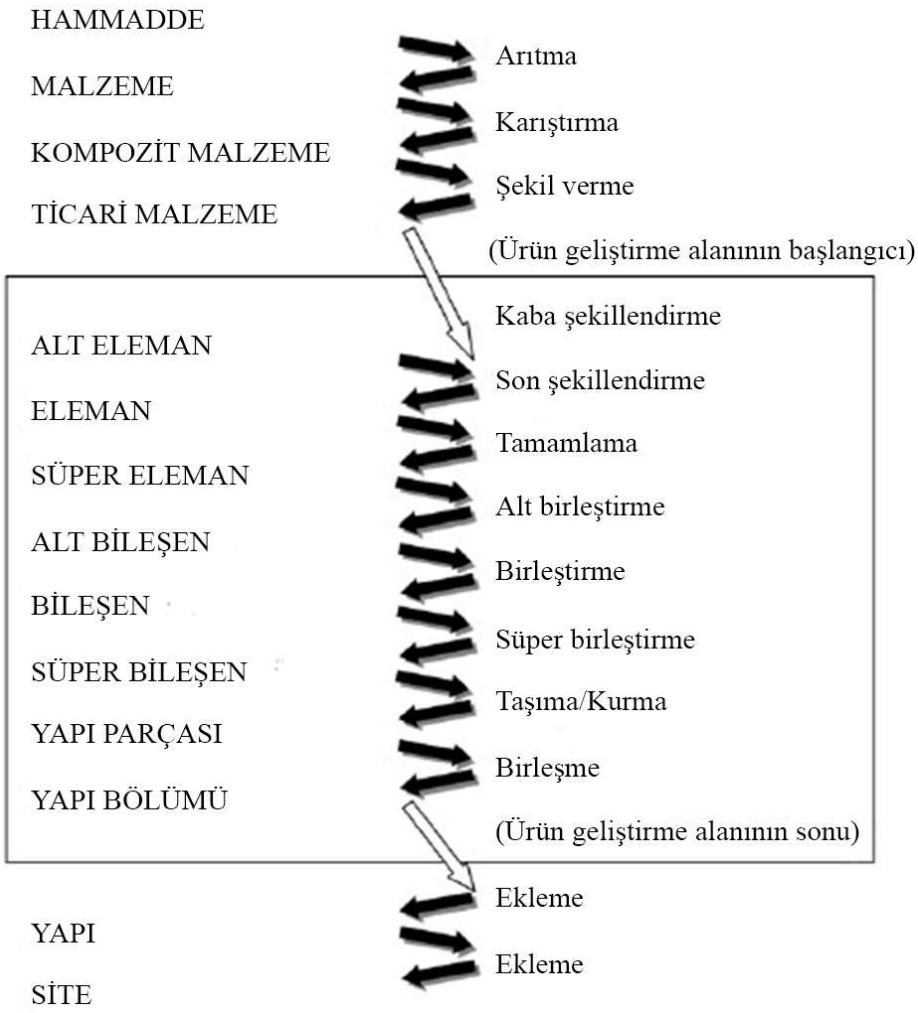
Farklı ürün ölçeklerinden birinin tasarımı için geliştirilmiş bir sistematik yöntem cephe tasarımına uyarlanmak istendiğinde, öncelikle yukarıda belirlenmiş kriterler bağlamında incelenmelidir. Tespit edilen farklılıklar ışığında mevcut yöntemlerin hangi modüllerinin çalışma alanına uygun olduğu, hangilerinin uyarlanması gerektiği ve hangilerinin kapsam dışı kaldığı belirlenecektir.

3.3 Cephe Sistemlerinde Kullanılan Farklı Ürün Düzeyleri

İnşaat endüstrisi jargonunda, "ürün" teriminin olduğu gibi, "yapı ürünü" teriminin de farklı birkaç yorumu bulunmaktadır. Yapı ürünü genel olarak, fonksiyonu, teknolojik ve konstrüktif özellikleri ile biçimlendirilmiş bir nesne olarak tanımlanabilir. Yapı ürünü yapı üretimine bir parça, eleman, bileşen, modül, ünite veya katkı malzemesi olarak katılabilmektedir. Modern yapılarda kullanılan yapı ürünlerinin çoğu yapı malzemesi üreticilerinden tedarik edilen sanayi ürünleri olarak inşaat alanına ulaşmaktadır. Bu bağlamda düşünüldüğünde yapım, genel anlamda, bir montaj süreci olarak kabul edilebilir (Emmitt ve diğ, 2004).

Genel olarak bir modern yapım sürecinde, farklı bütünlük ve bitmişlik seviyesindeki pek çok farklı yapı ürünü kullanılmaktadır. Eekhout (2008) bu yapı ürünü çeşitlerinin geçirdikleri işlemlere bağlı karmaşıklık düzeylerine göre hiyerarşik bir tanımlamasını

yapmıştır (Şekil 3.3). Bu tanımlamadaki ürün çeşitleri "hammadde" ile "site" arasında farklı ürün düzeylerine ayrılmıştır. Farklı ürün düzeylerinin açıklaması ve ürüne uygulanan geliştirme işlemi, ürün düzeyleri aralarında değişim yapılırken belirtilir. Ürün geliştirmenin araştırma alanı, alt eleman ile yapı bölümü ürün düzeyleri arasındaki ürün çeşitlerini kapsar. Bu çalışma kapsamında "ürün" terimi Eekhout (2008) tarafından geliştirilen yapı ürünü hiyerarşisinde malzeme ile bileşen arasında yer alan farklı bütünlük seviyelerindeki, bir cephe sistemini oluşturmak için kullanılabilecek, tüm ürün düzeylerini tanımlamak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3: Yapı ürünü çeşitlerinin geçirdikleri işlemlere bağlı karmaşıklık düzeylerine göre hiyerarşik gösterimi (Eekhout, 2008).

Eekhout'un (2008) ürün çeşitleri tanımı genel olarak tüm yapı ürünleri için geliştirilmiştir. Klein (2013), bu çalışmayı geliştirip basitleştirerek, cephe sisteminde kullanılan ürün çeşitleri için uyarlamış ve cephe ürünleri arasındaki farklı ürün düzeylerini şu şekilde sınıflandırmıştır:

- **Malzeme:** Herhangi bir şekillendirme veya işlem geçirmemiş olan, cam veya çelik gibi, temel içerik maddeleri olarak tanımlanır. Kompozit malzemeler bu ürün düzeyine dâhildir.
- **Standart malzeme:** Standart biçimde temin edilebilen, tuğla, I kiriş gibi ara ürünlerdir.
- **Ticari malzeme:** Pencere çerçeveleri için çekilmiş alüminyum profiller veya belirli bir amaç için tasarlanmış kauçuk contalar gibi, özel bir ürün veya proje amacıyla şekillendirilmiş malzemelerdir.
- **Eleman:** Farklı ticari malzemelerin birbirine montajı ile elde edilir. Örneğin cam panellerden, alüminyum ara parçalardan ve silikondan üretilmiş bir yalıtılmış cam ünitesi.
- **Alt bileşen:** Pencere çerçevesi gibi tek bir fonksiyonel amacı olan kapalı bir elemanlar topluluğudur.
- **Bileşen:** Birçok elemanın birleşiminden oluşan ve bağımsız çalışan bir yapı birimidir. İnşaat alanı dışında monte edilir ve inşaat alanına taşınır.
- **Yapı parçası:** Aynı teknik ana fonksiyona sahip elemanların ve bileşenlerin birleşimidir. Bu ürün düzeyine örnek olarak giydirme cepheler gösterilebilir.
- **Yapı:** Teknolojik açıdan, teknik bir eser olarak yapı, son montaj durumundaki tüm yapı parçalarının toplamıdır.

Eekhout'un (2008) yapı ürünleri için geliştirdiği diğer bir sınıflandırma da tüketici istekleri ve gereksinimlerine göre ürünlerin erişebilirliklerini değerlendirir. Buna göre yapı ürünleri üç ana gruba ayrılmakta ve aşağıda açıklanan şekilde tanımlanmaktadır.

- **Standart ürün:** Değiştirilemez özelliklere sahip yapı ürünleridir. Ürünün imalatı, uygulama ortamından veya son konumundan etkilenmez. Uygulama sırasında kesme veya biçme standart ürünün karakterini etkilemez; sadece farklı şekilde konumlandırılabilir. Bu çalışmada kullanılan "standart ürün" terimi, standart malzemeden bileşene kadar, değişmeyen özelliklere ve üretim işlemlerine sahip tüm ürün düzeylerini kapsamaktadır.

- **Sistem ürünü:** Çeşitli fonksiyonel eleman ve bileşenlerden oluşan bütünleyici bir sistem olarak geliştirilir. Sistem, uygulama durumunda tutarlı bir bütün olarak hareket etmek üzere, tüm fonksiyonel parçalarının birleşiminden oluşacak şekilde geliştirilmiştir. Sistem ürünü teknik özü değişmeden, çeşitli durumlarda, çeşitli kompozisyonlarda ve/veya uygulamalarda kullanılmaya uygundur.
- **Özel ürün:** Belirli bir yapı projesi için özel olarak tasarlanmış ve üretilmiş bir yapı ürünüdür. Çoğu zaman, mevcut olan ticari sistemler tarafından yerine getirilemeyen özelliklere sahip yeni sistemler geliştirilir. Özel ürünler, bazen güçlü değişiklikler veya eklemelerle, bazen de sadece işlevsel şemaların kullanılmasıyla standart ürün veya sistem alt ürünlerinden üretilmektedir.

Cephe tasarımında standart ürünlerin kullanımı yapım sürecini sadeleştirerek yapılabilirliği arttırmaktadır. Bununla birlikte standart ürün kullanımının cephe tasarım ve yapım sürecine başka yararları da bulunmaktadır. Standart ürünlerle tasarım yapmanın maliyeti daha azdır. Tasarım, dökumantasyon, prototip oluşturma ve test etme aşamalarında zaman kazanımı sağlar. Üretim tesisleri tahsis edilmiştir; böylece daha düşük maliyetle üretim gerçekleştirilebilir. Tüm sistem parçalarının satın alınmasının genel maliyeti ve üreticinin ana yetkinlik alanı dışındaki üretim maliyetleri standart ürün kullanılarak azaltılabilir. Tedarikçiler kendi uzmanlık alanlarında daha verimli ve ürünleri konusunda daha tecrübelidir. Ürün kalitesi sürekli iyileştirilir; güvenlik konusunda ürün sicili kanıtlanmıştır. Standart ürünlerde tedarikçi ya da üreticilerin garanti/hizmet masraflarını karşıladığı da bilinmektedir (Anderson, 2014). Standart ürünlerin tüm bu özellikleri üretim sürecinin yanı sıra kullanım, bakım ve onarım süreçlerini de desteklemektedir.

3.4 Cephe Tasarımında Standart Ürünlerle Özelleştirme Yaklaşımları

Günümüzde yapılar, yerinde yapımla sınırlandırılmış, fabrika üretimi parçaların birleşimiyle üretilmektedir (Brookes ve Grech, 1997). Modern yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin çoğu yapı malzemesi üreticileri tarafından sağlanan sanayi ürünleri olarak inşaat alanına ulaşmaktadır (Emmitt ve diğ, 2004). Üretim alanı büyük oranda şantiyeden fabrikaya taşınmıştır. Çağdaş yapı endüstrisi, ürün endüstrisindeki eğilimden de esinlenilerek yavaşça endüstriyel üretime, seri

üretimden daha esnek bir üretim konsepti olan, müşteri eksenli üretime geçmektedir (Beim, 2013).

Endüstrileşme, genel nitelikteki, standart özelliklere sahip, çok sayıda ürünün üretimiyle ilgilidir. Çeşitli kullanım amaçlarına uygun nispeten küçük ve nötr parçalar üretilir. Bu parçalar projeden bağımsızdır. Üreticilerin amacından tamamen farklı bir şekilde, kendi amaçları doğrultusunda, birçok farklı aktör tarafından kullanılabilir. Endüstriyel olarak üretilen, projeden bağımsız parçalar, ulusal ve uluslararası test kuruluşları tarafından test edilip sertifikalandırılabilir. Böylece performansları tanımlanır. Bu durum yerel testlerin yapılmasını ve kamu onayını gereksiz kılmaktadır (Kendall, 2013).

Yapı tasarımında, su sızdırmazlığı, hava geçirgenliği, rüzgâr (taşıyıcılık) dayanımı, ısıl direnç gibi fonksiyonla ilişkili konularda, yapının kullanım sürecinde göstereceği performans garanti edilmelidir ve bu sadece test edilmiş sistemler tarafından gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda günümüzde kullanılan cephe sistemleri, kısmen yapı performansındaki sorumlulukları (Klein, 2013), kısmen mali kaygılar ve tasarım kolaylığı nedeniyle büyük oranda endüstriyelleşmiş ürünlerdir. Bu endüstriyelleşme cephelerin standart sistem ürünleri olarak geliştirilmesiyle sağlanır. Proje kapsamının talepleri ve beklenen teslimat süresi geleneksel yöntemlerle karşılanamadığından birçok mimar standart sistem kullanımına itimat etmektedir (Vibaek, 2014).

Sistem ürünü, çok işlevli, çok disiplinli ve belirli bir ihtiyaca göre belirli oranda değiştirilebilen bir üründür (Hvam ve diğ, 2013). Sistem ürünü tasarımı, belirlenen pazar ihtiyaçları bağlamında sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından ürün tasarımı süreçleriyle, belirli bir projeden bağımsız olarak geliştirilmektedir (Klein, 2013). Standart bir cephe sistemi, bir üretici tarafından belirli performans kriterlerine göre tasarlanmış ve test edilmiş malzemelerden, parçalardan ve detaylardan oluşmaktadır (Boswell, 2013). Tasarım bilgisi ve parçaların tekrar kullanımını, üretimi veya belirli bir konuda performans etkinliğini optimize etmek için geliştirilir (Boswell, 2013). Sistem ürünü olarak geliştirilen cephelerin belirli parçaları ya da tamamı seri olarak üretilir ve cephe tedarikçileri tarafından temin edilir. Sistemlerin katma değeri, parçaların birbirleriyle olan ilişkilerinden kaynaklanır. Bir sistemin teslimatı ise, sistem ürününü yapılandırmak, uyarlamak, üretmek, teslim etmek ve inşaat alanında kurmak için gerçekleştirilmesi gereken süreçleri kapsamaktadır (Hvam ve diğ, 2013).

Bir sistem ürününün ve bir sistem teslimatının ne olduğu hakkında daha kapsamlı bir fikir vermek için Hvam ve diğ. (2013) inşaat endüstrisindeki sistem ürünü ve sistem teslimatı kavramlarına farklı bakış açıları sunan bir açıklamalar listesi geliştirmiştir. Bu açıklamalar aşağıda sıralanmaktadır.

- Bir sistem ürünü, modül tabanlı ürün çeşitliliğine dayanan ve bir konfigürasyon sisteminin kullanılmasıyla mevcut ihtiyaçlara göre değiştirilebilen ve uyarlanabilen bir üründür.
- Bir sistem ürünü, bir karmaşıklığa ve bir tamamlanma derecesine sahip bir yapı ürünüdür. Bu, birçok fonksiyon üstlenebileceği anlamına gelmektedir.
- Sistem ürünleri, günümüzde bilinen yapı bileşenlerinin toplamından daha iyi özelliklere sahip, yapı sistemlerinin geliştirilmesine kaynak yatırılmasını mümkün kılar.
- Sistem teslimatı, standart sistemin müşteriye özel çözümlerinin planlanması, iyi tanımlanmış ve modül tabanlı ürün çeşitliliğine dayanan sistem ürünlerinin konfigürasyonu, yapı malzemesi üreticilerinden bileşen tedarik edilmesi ve tamamlanmış sistemin teslim edilmesine doğru gelişen bir süreci ifade eder. Sistem teslimatı, tüm değer zincirinin geliştirilmesi anlamına gelir. Böylece sistem ürününü verimli ve hatasız bir şekilde teslim etmek ve şantiyede kurmak mümkün olmaktadır.
- Sistem teslimatı, somut bir yapım görevine oranla daha kolay uyarlanabilecek çözüm konseptlerinin geliştirilmesini sağlar.
- Sistem teslimatı konsepti, bir yapı projesi için bitmiş alt sistemlerin (sistem ürünü) endüstriyel üretiminin bir gösterimidir. Böylece şantiyede en az insan gücü ve malzeme ile montaj imkânı sağlanmaktadır.
- Sistem teslimatı, yapım sürecinin bir kısmının fabrikaya taşınması anlamına gelmektedir.
- Sistem teslimatı kaynakların, somut bir yapım görevinde kullanılabilecek, sistem ürünlerinin geliştirilmesine yatırılması anlamına gelir. Böylece konfigürasyon, üretim, teslimat ve kurulum daha verimli, daha yüksek ve homojen bir kalitede, öngörülebilir bir süre ve maliyetle gerçekleştirilebilir. Başka bir deyişle sistem teslimatı, işlerin hazırlanması için form veya malzeme üretimi yoluyla, çizim/tasarımdan inşaat sahasında kuruluma kadar tüm yapım sürecinin sanayileşmesi şeklinde düşünülebilir.

Yapı sistemi olarak cephe tasarımı, proje temelli olarak yapılmakta yani her projede farklı tasarım parametreleri ve değerlerine bağlı olarak şekillenmektedir. Bu bağlamda bir cephe sisteminin projeye etkin bir şekilde uyarlanabilmesi için genellikle, tasarım şemasında, cephe sisteminin yapısında ya da her ikisinde birden bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir. Standart bir sistemi oluşturan parçaların birleşimi üreticinin belirlediği kısıtlayıcı ve niteleyici parametreler dâhilinde mimari tasarıma uyacak şekilde değiştirilebilir (Boswell, 2013). Fakat bir cephe sistemi ne kadar esnek olursa olsun, bazı kısıtlamalar içerir. Standart sistemin amaçlanan fonksiyonlara uygunluğunu, proje için tanımlanan unsurları ve etkileri barındırdığını ve görsel tasarım amacını karşıladığını belirlemek için üreticilerle sistemlerinin özelliklerine ilişkin görüşmeler gerçekleştirmek önemlidir (Boswell, 2013).

Üreticilerin sunduğu standart cephe sistemlerinin, proje ihtiyaçlarının hepsini karşılayamadığı, özel tasarım bir cephe sisteminin de proje performans ihtiyaçlarını veya proje bütçesini aştığı ya da basit olarak uygulanamadığı durumlar da mevcuttur. Bu "arada kalmış" durum senaryolarında, standart bir sistemin özelleştirilmesi en uygulanabilir ve avantajlı çözümü sunmaktadır (Boswell, 2013). Bazı üreticiler bu durumlarda, özelleştirme düzeyine bağlı maliyetlerle birlikte, özelleştirilmiş stok seçenekleri sunar. Bu değişiklikler, süslemeler ve renkler gibi görsel bileşenlerde yapılan, performans üzerinde çok az etkisi olan veya hiç etkisi olmayan değişiklikler veya sistemin tasarlandığı ve performansının daha önce test edildiği yapısal değişiklikler veya performans değişiklikleri olabilir (Boswell, 2013). Bir sistemi özelleştirirken, özelleştirmenin kapsamı üretici ile tartışılmalı ve gözden geçirilmelidir.

Sistem ürünleri karmaşıktır; fakat yukarıda açıklandığı şekilde projeye bağlı tasarım ihtiyaçlarını karşılayabilmek için aynı zamanda değişken ve esnek olabilmeleri gerekmektedir. İhtiyaçlar bağlamında bu karmaşıklığın üstesinden gelmek için modüler ürün mimarisi ve ürün konfigürasyon sistemleri kullanılmaktadır (Hvam ve diğ, 2013). Modüler sistem, sistemdeki düzenleri ve fonksiyonları uyumlu olması gereken teknik elemanların boyutsal koordinasyonunu sağlamak için, modül kullanımını ve uygulama kurallarını temel alan bir boyutsal koordinasyon formudur (Herzog ve diğ, 2004). Bir modül, iyi tanımlanmış bir fonksiyonu ve iyi tanımlanmış bir arayüzü olan, bir ürünün ayrılmış bir parçasıdır. Teknik elemanların konumu,

boyutu ve birleşimi modüller kullanılarak, ızgaralar ve koordinasyon sistemleri yardımıyla düzenlenir (Herzog ve diğ, 2004).

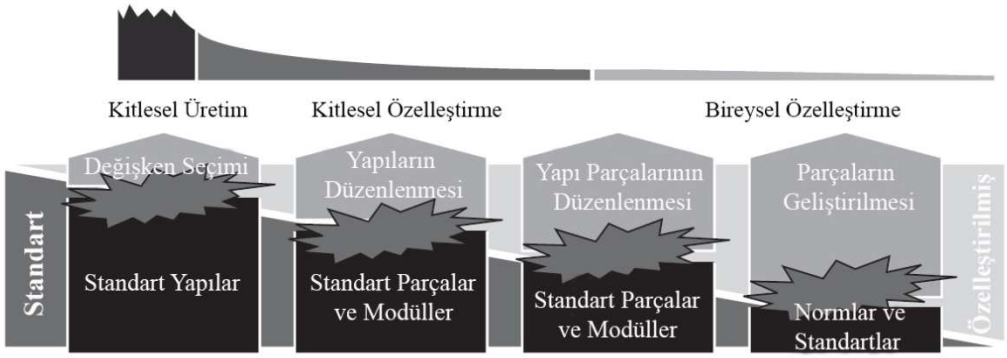
Modüllerin birleşiminden kusursuz bir bütünün inşasını mümkün kılmak için tasarımda ağır basan, önemli geometrik kurallara ihtiyaç bulunmaktadır. Böyle bir temel prensip genel yapı teknolojisini kapsar ve genellikle boyutsal koordinasyon olarak bilinir (Herzog ve diğ, 2004). Boyutsal koordinasyon, planlama, üretim ve montaj tasarımının temelini oluşturan, bileşenlerin boyutları için kurallar oluşturmaya hizmet etmektedir. Sistemi oluşturan her parça, konumu ve birleşimleri için önemli olan boyutlar ve boyutsal olarak koordine edilmiş ilişkiler sistemindeki diğer bitişik veya ilişkili parçalarla ilgili olarak tanımlanabilir. Modüler sistemde boyutsal koordinasyonun amaçları şunlardır (Herzog ve diğ, 2004):

- Yapının genel geometrik ve boyutsal koordinasyonu
- Ürünlerin değiştirilebilirliği
- Ürün çeşitliliğini kısıtlama
- Şantiyede kontrollü ve düzenlenmiş montaj ile birlikte sağlanan prefabrikasyon

Pine'a (1993) göre modülerlik, kitlesel özelleştirmeye ulaşmanın da anahtarıdır. Tekrarlayan bileşenlerin standardizasyonu için bir araç sağlar. Sistem ürünleri ve sistem teslimatı ürün modülerliği ve koordinasyonunun temel sonuçlarıdır ve kitlesel özelleştirmenin iki ana konseptini oluşturmaktadır (Piroozfar, 2013). Sonuç olarak, ürünün parçaları, standart modüller olarak seri üretilebilir ve modüllerin bir kombinasyonu veya modifikasyonu olarak niş ürünler geliştirilebilir.

Genel bir düzeyde, inşaat endüstrisinde kitlesel özelleştirme hareketi, benzerlikten yararlanmaya odaklanan bir gelişme olarak algılanmaktadır (Thuesen ve diğ, 2013). Thuesen ve diğ. (2013) inşaat endüstrisinde benzerlikten yararlanma yeteneğinin nasıl bütünleştirileceğini ve gerekli esnekliğin nasıl korunacağını Şekil 3.4'te verilen bir merdiven modeli üzerinden tanımlamıştır. Benzerlikten yararlanma için ön koşul, bütünleşik bir değer zinciri oluşturmaktır. Kitlesel özelleştirme üretim yaklaşımıyla faaliyet göstermek stratejik ortaklıklar, mimarlık, mühendislik ve yapım uygulamalarını bütünleştiren yeni şirket türlerinin geliştirilmesine bağlıdır (Thuesen ve diğ, 2013).

Piroozfar (2005) inşaat endüstrisini kitlesel özelleştirmede öncü diğer endüstrilerle karşılaştırarak kitlesel özelleştirmenin mimaride ve yapılı çevrede uygulanması etkileyebilecek 11 farklılık belirlemiştir. Bu farklılıklar şunları içermektedir: ürünlerin boyutları, müşterilerin ürünle orantılı ve boyutsal etkileşimi, mobilite, çeşitlilik kavramı, ürün yaşam döngüsü, maliyetler, ölçek ekonomileri, müşterilerin ihtiyaç ve beklentileri, mülkiyet (ilk müşteriler ve gelecekteki sahipler), tedarik zinciri (sipariş-tasarım-imalat-montaj-teslimat-kullanım-demontaj'dan oluşan tedarik sıralaması) ve yapı endüstrisinde modülerleştirme kavramı.



Şekil 3.4: İnşaat endüstrisinde benzerlikten yararlanma, bir merdiven modeli (Thuesen ve diğ, 2013).

İnşaat endüstrisi ile diğer endüstriler arasındaki bütün farklılıkları dikkate alarak Piroozfar (2013), kitlesel özelleştirmenin ya da herhangi bir sürece yönelik, saha dışı ya da modern yapım yönteminin yapılı çevrede, mimaride ve yapımda başarıyla uygulanabilmesi için, aşağıda sıralanan faaliyetler bağlamında gerekli adımların atılması ve değişikliklerin yapılması gerektiğini belirtmiştir.

- Yakın meslekler arası, meslek içi, türdeş mesleki katılım
- Üretim, imalat ve montaj işlemlerinin dikey entegrasyonu
- Yapım için yeni bir çok katmanlı yaklaşım
- Yeni bir modüler konsept ve yeni bir modülerlik tanımı
- Yapının tipi, fonksiyonellik, kullanım, kullanım ömrü, kullanıcı sınıflandırması ve gereken esneklik seviyesinin yanı sıra hem süreç hem de ürün açısından projenin karmaşıklık seviyesine ilişkin açıkça tanımlanmış bir özelleştirme tipi ve seviyesi
- Strüktürlerin ve yapı servislerinin bölümlere ayrılması için yeni bir yaklaşım
- Yeni bir bileşen ve ürün gruplandırma yöntemi / sistemi

- Yeni bir arayüz, arayüz tasarımı tanımı
- Platform ve platform tasarımı konseptinin uygulanması
- Performans Kalite Göstergeleri (*Performance Quality Indicators*) ve Kullanıcı Katma Değerli Bakış Açıları'na (*User Value-Added Viewpoints*) dayalı yeni bir değerlendirme sistemi oluşturmak
- Yukarıdan aşağıya değil aşağıdan yukarıya bir yaklaşım
- Bir binanın tasarım, imalat, montaj ve kullanım sonrası aşamalarında nelerin özelleştirilebileceğinin açıklığa kavuşturulması
- Çevrimiçi gerçek zamanlı ağ platformları, Yapı Bilgi Modelleme (BIM) uygulamaları, parametrik tasarım, dijital üretim, bulut tabanlı uygulamalar gibi Bilgi ve Bilişim Teknolojisi'nin (*Information and Computing Technology*); hızlı prototipleme, dijital işçilik, dijital üretim, üretken bileşen tasarımı ve Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (*Computer Numerical Control*) teknolojileri gibi yeni üretim teknolojilerinin daha geniş, akıllıca ve duyarlı kullanımı

Literatürde sistem tasarımında modüler ürün mimarisi kullanımına sıklıkla yer verilmesine rağmen, modüler ürün mimarisinden daha fazla esneklik sağlayan açık ürün mimarisinin kullanımına rastlanmamıştır. Ürün tasarımında görülen açık sistem tasarımı mimari tasarımda yapı ölçeğinde yer almakla birlikte (Sarja, 1998; Emmitt ve Gorse, 2014), cephe sistemindeki uygulamalarına dair bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bununla birlikte Sarja (1998), açık yapı alt sistemi tanımına yer vermiş; fakat sistemin her olası bileşeninin tanımlanmasının zorluğu açısından açık sistem kavramını teorik olarak nitelendirmiştir.

Yukarıda açıklanan literatür araştırması sonucunda cephe tasarımında standart ürünlerle özelleştirmenin modüler sistem tasarımı bağlamında gerçekleştiği belirlenmiştir. Burada esas olan belirli fonksiyonları gerçekleştirecek parça ya da parçalar kümesinden oluşan modüllerin ve bu modüllerin birbiriyle birleşimini düzene sokacak kuralların, arayüz tanımları, birleşim tipleri, boyut ve malzeme uyumu üzerinden tanımlanmasıdır.

4. TEPKİ VEREN CEPHE SİSTEMLERİ

1969'da Banham'ın konservatif (*conservative*), seçimsel (*selective*) ve yenileyici (*regenerative*) olarak belirlediği geleneksel yapı kabuğu tipolojilerine, dördüncü bir tipoloji eklenmiştir: akıllı veya tepki veren (*adaptive*) yapı kabukları. "Çevresel koşullara yanıt veren mimarlık" (*responsive architecture*) kavramı ilk kez 1970 yılında Negroponte tarafından ortaya atılmıştır (Altın ve Orhon, 2014). Böylece ilk kez alışılagelmiş yapı kavramının ötesine geçilerek "çevresel koşullara değişerek uyum gösteren mimarlık" (*adaptive architecture*) fikri de ortaya çıkmıştır. Mike Davies 1981 yılında geliştirdiği "Polivalen Duvar" konseptiyle tepki veren cephelerin potansiyelini ortaya koymuştur. Jean Nouvel tarafından tasarlanan ve 1981-1987 yılları arasında Paris'te inşa edilen Arap Dünyası Enstitüsü (*Institute du Monde Arabe*) binası cephesi ise kendini çevresel koşullara uyarlayan ilk tepki veren cephe örneklerinden biri olarak gösterilmektedir. Ancak bu ilk örneklerden sonraki pek çok yıl boyunca teknolojik kısıtlamalar tepki veren cephelerin uygulanabilir bir alternatif olarak kabul edilmesini engellemiştir. Günümüzde ise başta malzeme biliminde yaşanan hızlı gelişmeler ile cepheye adaptasyon özelliği veren nanoteknoloji ürünü akıllı malzemelerin üretimi ve buna paralel olarak donanım, sensör ve aktüatörlerin fiyatındaki düşüşler tepki veren cepheleri ekonomik açıdan daha cazip hale getirmiştir (Loonen ve diğ, 2013). Çeşitli faktörlere tepki veren, çok fonksiyonlu, dinamik cepheler, cephe teknolojisinde bir sonraki büyük dönüm noktası olarak kabul edilmektedir.

Bununla birlikte tepki veren cepheler mimari araştırma konuları içinde iyi tanımlanmış bir alan değildir. Bu bölümde konuyla ilgili daha derinlemesine bilgi edinmek amacıyla kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırmada tepki veren cephelerle ilgili tanımlar, sınıflandırmalar ve örnek projeler derlenerek analiz edilmiştir. Kaynak olarak kitap, makale, bildiri, lisansüstü tezi, araştırma projesi raporu gibi basılı kaynaklar kullanılmıştır. Bu kaynakların taraması İstanbul Teknik Üniversitesi ve Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi kütüphaneleri koleksiyonları ve üye oldukları elektronik veritabanları, Google Scholar ve Google

Books arama motorları üzerinden yapılmıştır. Literatür taramasında anahtar kelime olarak özellikleri değişen cepheleri tanımlayan tüm terimler kullanılmıştır. Bunlar Türkçe: değişken, tepki veren, adapte, esnek, akıllı, dinamik, kinetik, etkileşimli, aktif, tepkisel, tepkimeli; İngilizce: changable, responsive, adaptive, flexible, smart, intelligent, dynamic, kinetic, interactive, active, switchable ve advanced terimleridir. Bu anahtar kelimelerle yapılan literatür araştırması mimarlık alanı ile sınırlı tutulmamış, mühendislik alanında yapılan çalışmalar da incelenmiştir. Bu literatür araştırması sonucunda tepki veren cephelerin tanımlanması, sınıflandırılması, ayırt edici karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve tasarım süreçleri ile genel cephe tasarım süreçleri arasındaki farklılıkların tespiti gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

4.1 Tepki Veren Cephe Sistemlerinin Tanımlanması

Mimarlar ve yapı bilimcileri uzun yıllardır yapıların değişen çevre koşullarına belirli tepkiler veren cephelere sahip olmasını öngörmüşler ve bunu sağlayacak çeşitli konseptler geliştirmişlerdir. Bu konseptler, yapay zekâdan pasif tasarıma, çevresine duyarlı sanat enstalasyonlarından medya cephelere kadar uzanan geniş bir alanı kapsar. Bugün kullandığımız haliyle tepki veren mimarinin ilk konseptleri 1960'ların sonu ile 1970'lerin başında doğmuş olsa da konuyla ilgili belirli bir terminoloji bulunmamaktadır (Kolarevic, 2015). Yapılan literatür araştırmasında çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayabilen cepheler için kullanılan pek çok terime ulaşılmıştır (Çizelge 4.1). Bu terimlerin anlamları farklılıklar içermesine rağmen genellikle birbirlerinin yerine kullanılmaktadırlar. Bu durum kullanılan terimlerin özel anlamlarına ve kavramsal ilişkilerine dair karışıklık yaratmaktadır (Romano ve diğ, 2018). Belirlenen bu problem bağlamında, değişen çevre koşulları ve kullanıcı ihtiyaçları bağlamında geri bildirime dayalı yüksek performanslı cepheler alanında kullanılan tanımlayıcı, davranışsal ve metodolojik terimler derlenerek geçici bir terimler sözlüğü oluşturulmuştur. Daha sonra bu çalışma bağlamında kullanılacak tanım belirlenmiştir.

Çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayan cepheleri tanımlamak için kullanılabilecek terimler, konuyla ilgilerine ve kullanılma sıklıklarına göre seçilip düzenlenerek, alfabetik sıraya göre aşağıda tanımlanmıştır:

Çizelge 4.1: Çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayan cepheleri tanımlamak için kullanılan terimler.

İngilizce Terimler	Türkçe Terimler
Adaptive	Adapte
Responsive	Tepki veren
Changable	Değişken
Flexible	Esnek
Dynamic	Dinamik
Kinetic	Kinetik
Interactive	Etkileşimli
Active	Aktif
Smart	Akıllı
Intelligent	Tepkisel
Switchable	Tepkimeli
Advanced	Gelişmiş
Biomimetic/ Bio-inspired	Biyomimetik
Adjustable	Performatif
Transformable	Dönüştürülebilir
Movable	
Controllable	
Solar	

- **Adapte/Uyarlanabilir (*Adaptive*):** Uyarlanabilir mimari ilk kez Frei Otto tarafından şekil, konum, kullanım veya genişlik değiştirebilen bir sistem olarak tanımlanmıştır. Uyarlanabilir mimari, otomatik veya insan müdahalesi yoluyla çevrelerine, kullanıcılarına ve içindeki nesnelere uyum sağlamak için özel olarak tasarlanmış yapılar ile ilgilidir (Schnädelbach, 2010). Bu, birden fazla seviyede meydana gelebilir ve sıklıkla sensörler, aktüatörler, kontrolörler, iletişim teknolojileri gibi dijital teknolojileri içerir. Uyarlanabilir mimarinin yapımında kullanılan temel ilke, malzemenin ve yapı kütlesinin en uygun şekilde kullanılmasına dayanan hafiflik ilkesidir (Romano ve diğ, 2018).

  Adapte terimi, çoğu zaman dış etkilere tepki vererek, davranışlarını ve fonksiyonlarını uyarlayarak, çevre ve kullanıcı ile etkileşime giren teknolojik sistemleri tanımlamak için kullanılan, daha geniş bir kavramsal bölgeyi ifade etmektedir. Adapte olma, zaman içinde sistemin fiziksel değerlerini değiştiren tasarım değişkenleri aracılığıyla, değişken koşullar altında çoklu kriterleri göz önünde bulundurarak, istenen fonksiyonelliği sağlama yeteneği olarak anlaşılabilir (Ferguson ve diğ, 2007). Loonen (2013) iklime adapte cepheleri tüm binanın performansını arttırmak amacıyla fonksiyonlarını, özelliklerini ve davranışlarını değişen performans gereksinimlerine ve değişken sınır koşullara bağlı olarak mükerreren ve geri dönüşümlü olarak değiştirme yeteneğine sahip cepheler olarak tanımlamıştır. Bu tanım COST

Action TU1403 Adaptive Facades Network araştırma projesi tarafından da kabul edilerek kullanılmaktadır.

- **Akıllı (*Smart/Intelligent*):** Akıllı anlamına gelen İngilizce "*smart"* ve "*intelligent"* terimleri birbirlerinden farklı konseptleri tanımlamak için kullanılmaktadır. "Smart" terimi daha çok malzeme ve yüzeylere atıfta bulunmaktadır. Addington ve Schodek (2007), akıllı malzemeleri (*smart materials*) belirli çevresel tepkileri içeren, iç fiziksel özellik değişiklikleri veya harici enerji değişimleri yoluyla çalışan, "yerleşik teknolojik fonksiyonlara" sahip sistemler olarak tanımlamaktadır. Performansları genellikle belirli iklim koşulları ve öngörülebilir reaksiyonlar aralığında bulunmaktadır (Velikov ve Thün, 2012).

  Akıllı anlamına gelen "*intelligent"* terimi ise "*smart"* teriminden daha yüksek bir organizasyon düzeni ve performans tanımlamaktadır. Brian Atkin, akıllı yapıları, çevresel koşulların hem dış hem de iç mekânda ne olduğunu "bilen", kullanıcılar için uygun ve konforlu bir ortamın nasıl sağlanacağına "karar veren" ve kullanıcı taleplerine derhal "cevap veren" yapılar olarak tanımlar (Velikov ve Thün, 2012). Addington ve Schodek (2007) akıllı (*intelligent*) terimini üç tür niteleme kullanarak tanımlamaktadır: çevresel niteleme (dış ortam, kullanım ortamları), bilişsel niteleme (bilgi sistemleri, uzman sistemleri, yapay zekâ) ve uygulama nitelemesi (işletme ve kontrol yöntemleri). Masri (2015) akıllı cepheleri çevresel koşulları algılama yeteneğine sahip, tahmin edilen bir çevresel yapıya bağlı olarak koşullara uygun bir tepkiyi harekete geçiren veya geri bildirim hedefine dayanan değiştirilmiş bir tepkiyi sağlayan bir veya daha fazla aktif sistemden oluşan dinamik bir filtre olarak tanımlamıştır.

  Akıllı bina konsepti aslında, istenen performansı sağlamak için yapısını değiştirebilen ana unsur olarak cephenin insan cildine benzerliğini vurguladığından, tepki veren (*adaptive*) cephe ile yakından bağlantılıdır. Knaack ve diğ. (2014) değişen iklim koşullarına adapte olabilen binalara akıllı binalar denildiğini; fakat akıllı teriminin bina ya da cephe bağlamında kullanılmasının yanıltıcı olabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle çalışmalarında güncel hava koşullarına adapte olan cepheler için İngilizce "*adaptive*" cepheler terimini kullanmışlardır.

- **Aktif (*Active*):** Aktif cepheler, yapının iç ve dış çevre koşulları tarafından tetiklenen değişikliklere göre kendini ayarlayan, enerji tüketimini en aza indirirken konfor koşullarını sağlayan entegre elemanlara sahip teknolojik sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu aktif özellikler hem otomatik hem de manuel olmalıdır. Fakat karmaşık elektronik aksamlar içermesi gerekliliği yoktur. (Romano, 2018)
- **Biyomimetik (*Biomimetic/ Bio-inspired*):** Günümüzde canlı organizmaların form, fonksiyon, davranış ya da tüm ekosistemleri tasarımlarda yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kaynağı olarak kullanılmaktadır. En son biyolojik ve dijital teknolojiler mimarinin çevresel koşullar bağlamında hem sürdürülebilirlik hem de adaptasyon kazanması için olanaklar sunmaktadır. Biyomimetik de doğayı inceleyerek çevresel zorluklarla başa çıkmak için nasıl geliştiğini anlamaya çalışmaktadır. (Park ve Dave, 2013)
- **Değişken (*changeable*):** Bir sistemin yaşam döngüsü boyunca değer dağıtımını muhafaza edebilmesi ve yeni karar vericinin beklentilerini karşılayabilmesi için ya sistemin değişmesi ya da en azından sistemin algısının değişmesi gerekmektedir (Ross ve diğ, 2008). Değişim, bir sistemin zaman içinde değişmiş bir duruma geçmesi olarak tanımlanabilir. Gür ve Aygün (2008) kullanıcıların farklı gereksinmelerine ve çevresel etmenlerin dinamik yapısına uyum sağlayan cepheleri değişken cephe sistemleri olarak tanımlamışlardır.
- **Dönüştürülebilir (*Transformable*):** Dönüştürülebilir yapılar, sürdürülebilir tasarım kavramını benimseyen bir toplum tarafından yaratılan ve hızla gelişen ihtiyaçları karşılamak için, şekillerini veya fonksiyonlarını değişen koşullara göre uyarlayabilmektedir. Bu, yapıların bir son durumda değil, bir geçiş durumunda olarak tasarlanması anlayışıyla desteklenmektedir. Dönüşüm kinematik bir mekanizmayla ya da temel bileşenleri kuru, ters çevrilebilir bağlantılara sahip, tüm bileşenlerin ise yeniden yapılandırılabilir, değiştirilebilir veya yeniden kullanılabilir olduğu parçalar seti sistemi ile sağlanmaktadır. (De Temmerman ve diğ, 2012)
- **Esnek (*Flexible*):** Değişime ya da belirsizliğe tepki göstermek için iki farklı temel yol tanımlanmıştır: aktif ve pasif esneklik. Aktif esneklik, değişerek, reaksiyon vererek ya da adapte olarak değişime tepki verme yeteneğidir.

Binalarda aktif esneklik uyarlanabilirlik (*adaptability*) olarak tanımlanmaktadır. Sistemde yeterli düzeyde tolerans ya da kapasite olduğunda ise değişime tepki göstermeye gerek olmamaktadır. Bu durum pasif esneklik olarak tanımlanır. Yapı ölçeğinde esneklik ve uyarlanabilirlik bina katmanlarının birbiriyle ilişkisine bakılarak tanımlanabilir. Aktif esneklikte yapı katmanı değişiklikleri kendi katmanında barındırır ve bu durum diğer katmanları etkilemez ya da çok az etkiler. Pasif esneklikte yapı katmanı kendi bünyesinde değişikliğe gerek duymadan diğer yapı katmanlarında değişiklik barındırır. Yapı ya da yapı elemanı düzeyinde uyarlanabilirlik diğer yapı katmanlarında esneklik olmadan sağlanamaz. (Blok ve Van Herwijnen, 2006)

Kronenburg bir yapının esnek olması için, çeşitli işlevlere, kullanımlara ve gereksinimlere daha iyi yanıt vermenin bir yolu olarak uyarlama (*adaptation*); şekil, hacim, biçim veya görünümde değişiklik olarak tanımlanan dönüşüm (*transformation*); hareket edebilirlik (*movability*) ve yapının hem içine hem de dışına uygulanan etkileşim (*interaction*) kabiliyetlerine sahip olması gerektiğini savunmaktadır (Kolarevic, 2015).

- **Etkileşimli (*Interactive*):** Etkileşimli, çoğunlukla yapı elemanları ve cephe sistemlerinden ziyade bilgisayar destekli sanat eserleri, kurulumlar ve aktif kamu katılımını teşvik eden diğer ortamlara atfedilen bir terimdir. Etkileşimli cephe, genel kullanıcıları, gözlemcileri veya tanımlı kullanıcıları, genellikle sensörler, dijital ekran ve otomatik parçalar aracılığıyla çekmek için bilgisayar teknolojisini kullanan cephe sistemlerini tanımlamaktadır (Velikov ve Thün, 2012). Etkileşimli cephelerde yapının toplam performansını veya kullanıcı memnuniyetini iyileştirme amacı güdülmez.
- **Kinetik (*Kinetic*):** Kinetik durum değişimi olarak algılanır. Durumları tanımlamak için kullanılan terimler dalga, kat ve alandır. Bu üç basit durumun varyantları, ara veya bileşik durum geçişleri olarak çok çeşitli modeller tanımlanabilir (Moloney, 2011). Zuk ve Clark (1970) kinetik mimarlığı, yapı veya yapı bileşenlerinin biçim değiştirme ve hareket modu ile değişime uyum sağlayabildiği bir mimarlık alanı olarak tanımlamıştır. Dolayısıyla bu tip mimarlıkta, cephe bileşenleri katlanma, kayma, şişme-sönme, dönme, uzayıp kısalma vb. fiili hareketler gösteren fiziksel davranışlarıyla değişen iklim koşullarına adapte olmaktadır. Fox ve Yeh

(1999) değişken yeri, mobilitesi ve/veya değişken geometrisi ve hareketi olan yapıları kinetik olarak tanımlamış; aralarında açılır-kapanır sistemlerin de bulunduğu çeşitli kinetik sistem sınıflandırmaları yapmıştır. Oosterhuis (2003) ise kinetik mimarlığı hareketin biçiminden elde edilen bilgiye sensör ve erişim düzenekleriyle elde edilen kontrolle karşılık verebilen mimarlık olarak kabul etmiştir.

- **Tepki Veren (*Responsive*):** Tepki veren terimi doğal ve yapay sistemlerin nasıl etkileşime girip birbirine adapte olabileceğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Negroponte (1975) tepki veren mimarinin tanımını, manipülatif ortamla karşılaştırarak vermiştir (Velikov ve Thün, 2012). Buna göre manipülatif ortam pasif bir ortamdır, hareket edenin aksine hareket ettirilir. Tepki veren ise, çevrenin aktif bir rol üstlendiği, karmaşık veya basit hesaplamaların bir sonucu ve fonksiyonu olarak daha büyük veya daha az derecede değişiklik başlatan anlamına gelir. Tepki veren mimari, genellikle değişen koşullara tepki olarak şeklini değiştirme yeteneğine sahip bir mimari türü olarak tanımlanır (d'Estre´e Sterk, 2005). Bu açıklama konunun özünü yakalamakta başarılı olsa da tepki veren cephe geliştirmek için gereken daha ayrıntılı bir açıklamayı sağlamamaktadır. Gerçekten tepki veren bir mimari yapı oluşturmak için gereken bilgi azımsanmayacak kadar fazladır. Özellikle mimarlık, robotik, yapay zekâ ve yapısal mühendislik bilgisine sahip olmak faydalıdır (d'Estre´e Sterk, 2005).

  IEA-ECBCS Annex 44: *Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings* (2004-2011) araştırma projesinde çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayan yapı elemanlarını tanımlamak için tepki veren (*responsive*) terimi kullanılmıştır (Heiselberg, 2012). Buna göre tepki veren yapı elemanlarının temel özellikleri dinamik hareket, adaptasyon, farklı fonksiyonlar yerine getirme kabiliyeti ve akıllı kontrole dayanan tepki eylemi yerine getirebilme becerisidir. Dinamik hareket ve adaptasyon prensipleri bu elemanların fonksiyonellik, termo-fiziksel özellikler ve niteliklerinin zamanla değişime ihtiyaç duyabileceğini ifade etmektedir. Bu değişim sınır değerler (meteorolojik durum gibi), yapı ve kullanıcı ihtiyaçları bağlamında gerçekleşmektedir. Enerji etkinlik ve iç ortam konforu akıllı kontrolle garanti altına alınmaktadır. Gelişmiş entegre cepheler tepki veren yapı elemanları dâhilinde incelenmiştir.

> Tepki veren cepheler hem tepki giriş arayüzlerini hem de sürekli algılamaya ve bilgi geri bildirimlerine dayalı uyarlamalı hesaplamayı kullanan mekanizmalar yoluyla öğrenmeyi içerir. Velikov ve Thün (2012) gerçekten tepki veren bir cephenin yalnızca yerleşik algılama ve geri bildirim için mekanizmalar içermekle kalmayacağını, aynı zamanda hem yapıyı hem de kullanıcıları eğiterek yapı ve kullanıcılar arasında sürekli ve gelişen bir iletişim sağlayacağını ileri sürmüştür.
>
> Tepki veren cepheler gerçek zamanlı algılama, kinetik iklime adapte elemanlar, akıllı malzemeler, otomasyon ve kullanıcı geçersiz kılma becerisi dâhil olmak üzere "akıllı" cephelere benzer fonksiyonellikler ve performans özellikleri içermektedir. Aynı zamanda, yapı sisteminin zaman içinde kendini ayarlamasını ve öğrenmesini sağlayan bilgisayarlı algoritmalar ve yapı kullanıcılarının çevre koşullarını kontrol etmek için cephe elemanlarını fiziksel olarak manipüle etme kabiliyetleri gibi "etkileşimli" özellikleri de içermektedir. (Velikov ve Thün, 2012)

Yukarıda açıklanan terimler ve anlamsal çerçeveye göre bu çalışma bağlamında çevre koşullarına ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayan cepheleri tanımlamak için daha geniş bir kapsama sahip olan "tepki veren cephe" teriminin kullanılması kararlaştırılmıştır. Tepki veren cephe terimi tanım olarak "*adaptive*" ve "*responsive*" cephe tanımlarına yaklaşmaktadır. Loonen'in (2013) iklime adapte cephe tanımı uyarlanarak tepki veren cepheler, tüm yapının performansını yükseltmek amacıyla fonksiyonlarını, özelliklerini ve davranışlarını değişen performans gereksinimlerine ve değişken sınır koşullara bağlı olarak mükerreren ve geri dönüşümlü olarak değiştirme yeteneğine sahip cepheler olarak tanımlanmıştır. Tepki veren cepheler, ısı, hava ve su buharı akışı, yağmur penetrasyonu, güneş ışınımı, ses, yangın, dayanıklılık, stabilite ve estetik anlamında fonksiyonel gereksinimleri sağlamak veya iyileştirmek için iç ve dış ortamlardaki değişikliklere yeterli bir tepki vermelidir.

4.1.1 Tepki veren cephelerin karakteristik özellikleri

Aslında cepheler her zaman belirli bir ölçüde koşullara adapte olma yeteneğine sahiptir. Çevreye ve kullanıcılarının ihtiyaçlarına cevap verebilen, geçirgenlik, görünüm ve etkinlik sağlama özelliklerini ani ve öngörülemeyen bir şekilde değiştirebilen değişken bir yapıdır (Meagher, 2015). Örneğin pencereler el ile idare edilerek pek çok şekilde değişikliğe uğrayabilirler. Bu durum hareketli elemanlara

sahip olmanın tek başına bir cepheye tepki veren cephe özellikleri katmadığını göstermektedir. Bununla beraber terminoloji konusunda tespit edilen karmaşıklıktan anlaşılacağı üzere tepki veren cepheler mimari araştırma konularının iyi tanımlanmış bir alanı değildir. Tepki veren cephe sistemlerinin mevcut sınırlarının belirlenebilmesi için doğru bir şekilde tanımlanarak ayırt edici karakteristik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalar literatürden derlenerek (Çizelge 4.2) bulguları aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 4.2: Literatürde tepki veren cepheleri tanımlamak için kullanılan karakteristik özellikler.

Kaynaklar / Kriterler	Schnädelbach (2010)	Loonen (2010)	Kirkegaard ve Foged (2011)	Bolbroe (2014)	Kolarevic ve Parlac (2015)	Struck ve diğ. (2015)	Gosztonyi (2015)	Romano ve diğ. (2018)
Zaman ölçeği/ Zamansallık	x	x		x			x	
Etkileşim/ İletişim		x				x	x	
Mekanizma/ Davranış/ Aktivasyon		x	x		x		x	
Malzeme			x					x
Bilgi			x					x
İşleme/ İşletilebilme			x				x	x
Bellek				x				
Öğrenme				x				
Oluşma				x				
Enerji depolama ve/veya tahliye etme						x		x
Ölçeklenebilme							x	
Evrimleşebilme							x	
Uyarlanabilirlik							x	
Esneklik							x	
İç mekân konfor kontrolü								x

Brand (1994) "Binalar Nasıl Öğrenir (*How Buildings Learn*)" adlı kitabında yapılardan beklenebilecek farklı adaptasyon seviyelerine ve bunların farklı zaman ölçeklerinde nasıl uygulandığına dair bir fikir vermektedir (Schnädelbach, 2010). Bu çalışmayla tepki veren cephelerin zaman ölçeğine bağlı adaptasyon düzeyleriyle ilgili bir temel sağlanmış; zaman ölçeği tepki veren cephelerin karakteristik bir özelliği olarak ortaya koyulmuştur.

Loonen (2010) çalışmasında iklime adapte yapı kabuklarında tepki veren davranışı oluşturan dört kritik unsur belirlemiştir: iklim, insanlar, zaman ölçekleri ve mekanizmalar. Bunlardan iklim ve insanlar cephenin etkileşimi ile ilgilidir.

Kirkegaard ve Foged (2011) mimaride performansa dayalı tepki veren sistemlere yönelik araştırma alanlarının çerçevesini tanımlamıştır. Buna göre tepki veren sistemlerin araştırma alanları malzeme sistemleri, bilgi sistemleri, işleme sistemleri ve davranış sistemleridir.

Bolbroe, (2014) cephelere özel adaptasyon kavramını oluşturan dört temel özellik belirlemiştir:

- **Zamansallık:** Tepki veren bir mekânsal ekolojide, çevredeki bir değişiklik mekânsal yapının içeriğini değiştirmektedir.

- **Bellek:** Yapı ve çevre arasındaki mekânsal bir ilişkide, bilgileri arşivleme ve geri kullanma kapasitesine ihtiyaç duyulmaktadır. Zaman içindeki mekânsal değişim hakkında bilginin her zaman erişilebilir olması gerekmektedir.

- **Öğrenme:** Öğrenme yoluyla bilgileri sentezleme, dinamik özelliklerin bazılarını özümsemek ve geri bildirim esnekliği elde etmek için potansiyel bir strateji oluşturmaktadır.

- **Oluşma (*Emergence*):** Kullanıcıların tepki veren strüktürle ne zaman ve nasıl etkileşime gireceğinin her zaman tahmin edilebilir olmaması yeni fırsat alanları ortaya çıkarmaktadır. Sürekli olarak güçlendirilen veya değiştirilen mekânsal özellikler belirsiz sonuçlarla karşılaşma olasılığını arttırmaktadır. Geleneksel bir doğrusal tasarım süreci, öngörülemeyen olası modeller ve zaman içinde ortaya çıkan özelliklerle etkileşimde bulunmak için fazla kullanışlı değildir. Tepki veren mekânların bu niteliğini aktif bir şekilde ele almak için tasarım açısından ne anlama geldiğine dikkat etmek önemlidir.

Cephelere dinamik ve değişken davranışlar aşılamak için elemanlarının taşınma, döndürülme, genişletilme, küçültülme ve bükülme gibi eylemlerle harekete geçirilmesi gerekmektedir. Kolarevic ve Parlac (2015) tepki veren cepheleri farklı kılan özelliğin neyin harekete geçirildiğiden ziyade, bu hareketin nasıl üretildiği olduğunu belirtmiştir. Bu bakımdan tepki veren cephelerin aktivasyon, etkinleştirilme, özelliği üzerinde durmuştur.

Struck ve diğ. (2015) tepki veren cephelerin tanımına bağlı olarak 6 adet fonksiyonunu belirlemiştir. Burada cephelerin genel fonksiyonları haricinde tepki veren cephelere özel olarak termal enerji ve/veya elektrik enerjisini depolama ve tahliye etme özelliği ile iletişim özelliği tanımlanmıştır.

Gosztonyi (2015), cephelerde adaptasyon yeteneğinin değerlendirilmesi için 6 mimari kriter belirlemiştir. Cepheler bu kriterlerin değer spektrumunda bulundukları konuma göre tepki veren cephe olarak tanımlanmaktadırlar. Kriterlerin açıklaması aşağıda verilmektedir.

- **Ölçeklenebilme (*Scalability*):** Cephenin fiziksel görünümü ve geometrik morfolojisi ile bağlantılıdır. Mekânsal değişkenlik ve fiziksel etki bağlamında küçükten büyüğe bir ölçekte değerlendirilir.
- **Evrimleşebilme (*Evolvability*):** Ölçüt dinamiği ile bağlantılıdır. Tepkinin zamansal düzeyi, aktüatörler/sensör davranışları ve kendi kendine öğrenme yeteneklerini de göz önünde bulundurarak zamana bağlı özelliklere daha derinlemesine bakan birleştirilmiş akıl bağlamında yavaştan hızlıya bir ölçekte değerlendirilir.
- **Uyarlanabilirlik (*Adaptability*):** Fonksiyonel konsept esnekliği ile bağlantılıdır. Açık sistemler ve akıllı dayanıklılık (*smart robustness*) bağlamında, tutucudan dinamik karaktere değişen bir ölçekte değerlendirilir. Kapalı sistemlerin tersine açık sistemler kriteri, eşzamanlı gerçekleşmeyen performansı, yeni şartlara ve kalıcı özelliklerine uyulması amacıyla zaman içinde gerçekleşecek fonksiyonel geçişi ve ayrıca dinamik ve geri dönüşümlü modifikasyon seçeneklerini hedeflemektedir. Akıllı dayanıklılık ise maliyet etkin kullanıcı etkileşimi ve bakımı açısından gereksiz fazlalık (*redundancy*) ve ölçeklenebilirliğe odaklanmaktadır.
- **Esneklik (*Flexibility*):** Uygulanabilirlik konsepti ile bağlantılıdır. Çok fonksiyonluluk ve yeniden yapılandırılma (*reconfiguration*) bağlamında eşzamanlı gerçekleşmeyenden eşzamanlıya bir ölçekte değerlendirilir. Sistemin kullanımı, eşzamanlı olarak veya art arda birden fazla hedefi ele almalıdır.
- **İşletilebilme (*Operability*):** Performans konularıyla bağlantılıdır. Beklenti (*anticipation*) ve performans optimizasyonu bağlamında tepkisizden tepkiliye

bir ölçekte değerlendirilir. Burada bahsedilen "beklenti" kullanıcı etkileşimi ile ilgilidir.

Bu konuda gerçekleştirilen en güncel çalışma Romano ve diğ. (2018) tarafından tepki veren cepheleri tanımlayan teknolojik özelliklerin tanımlanması üzerine yapılmıştır. Buna göre aşağıda sıralanan teknolojik özelliklerin en az birine sahip olan cepheler tepki veren cephe olarak tanımlanmaktadır.

- Güneş enerjisini absorbe etmek ve depolamak için yüksek performanslı yenilikçi malzemeler ve sistemler
- Doğal havalandırmayı mekanik havalandırma sistemleriyle birlikte yönetme cihazları
- Güneş ışınımını kontrol etmek için kullanılan hareketli panolar
- Yapının içindeki konforu artırmak ve/veya kontrol etmek için tasarlanmış teknolojik çözümler
- Cephe elemanlarının ve bitkilerin yönetimi için kullanılan yapı otomasyon sistemleri

Literatürde tepki veren cepheleri tanımlamak için kullanılmış olan özellikler kullanım sıklığı açısından değerlendirildiğinde 1. düzeyde zaman ölçeği ve tepki mekanizması/davranışı/aktivasyonu özelliklerine; 2. düzeyde iletişim/etkileşim ve işleme/ işletilebilme özelliklerine; 3. düzeyde malzeme, bilgi ve enerji depolama ve/veya tahliye etme özelliklerine; ve 4. düzeyde de oluşma, öğrenme, bellek, ölçeklenebilme, evrimleşebilme, uyarlanabilirlik, esneklik ve iç mekân konfor kontrolü özelliklerine değinildiği belirlenmiştir.

4.2 Tepki Veren Cephe Örneklerinin İncelenmesi

Günümüzde pek çok tepki veren cephe konsepti geliştirilmiştir. Devam eden yenilikçi çözüm arayışlarıyla da bu sayı gün geçtikçe artmaktadır. Tepki veren cephelerin genel özelliklerinin, teknoloji eğilimlerinin, tasarım ve üretim süreçlerinin daha iyi anlaşılması için geliştirilen bu konseptlerin incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle literatürde yer alan örnek incelemeleri derlenerek bulguları incelenmiş; sonra da literatürde bulunan uygulanmış proje, ürün ve prototipler derlenerek ulaşılabilen bilgiler bağlamında analiz edilmiştir.

Loonen (2010), bina performans simülasyonunun iklime adapte yapı kabuklarının tasarımında oynayabileceği rolü belirlemek amacıyla hazırladığı tezinde, derlediği 100 adet örnek proje ile tümevarımsal bir araştırma yaklaşımı kullanarak iklime adapte yapı kabuklarının bir analizini sunmuştur. Belirlenen kriterler bağlamında her bir projenin analizi gösterilmiştir. Çalışmanın genel bulguları üç kriter altında aşağıda açıklanmaktadır:

- **İklime adapte yapı kabuklarının uygulama alanları:** Analize katılan projelerden uygulanmış olanların araştırma geliştirme aşamasındakilerle eşit olduğu görülmüştür. Prototip aşamasındaki projeler yapının tek bir yüzeyine (duvar, pencere veya çatı) odaklanma eğilimindedir. Diğer yandan uygulanan projeler veya konseptler yapının cephesini veya bir bütün olarak toplam görünümünü etkileme yönünde bir eğilim göstermektedir. Ortaya koyulan bir başka ilginç sonuç, önemli sayıda projede yapının çatısının adaptasyonun gerçekleştiği yüzey olarak kullanılmasıdır. Bu durum çatıyı beşinci cephe olarak tanımlayan yaklaşımı meşrulaştırmaktadır.
- **Uyarlanabilir davranış ve kontrol:** Yapı kabuğunda uyarlanabilir davranış, malzeme özelliklerinde değişikliklerin gerçekleştiği mikro düzeyde veya yapı kabuğunun hareketli parçalar vasıtasıyla biçmini değiştirdiği makro düzeyde gerçekleşebilmektedir. İkinci bir sınıflandırma tepki eylemlerinin kontrol edilme şekline bağlı olarak yapılmaktadır. Bazı sistemlerde yakalanan veriler doğrudan belirli bir eyleme dönüştürülür; bu açık devre kontrolü olarak adlandırılır. Bazılarında ise yakalanan veriler işlenir ve alınan geri bildirime göre eyleme dönüşür; bu da kapalı devre kontrolü olarak adlandırılır. Hem uyarlanabilir davranış hem de tepkinin kontrol edilme şekli, iki olası alternatiften birine doğru güçlü bir eğilim göstermektedir. Projelerin kabaca %25'i açık devre kontrolü veya mikro düzeyde uyarlanabilir davranış göstermektedir. Uygulanmış proje ve konseptlerde makro düzeyde uyarlamanın, kapalı devre kontrolü ile birlikte geçerli bir uyarlama yöntemi olduğu görülmüştür. Bu durum örneklerin çoğunluğunda aktüatör olarak servomotorları yönlendiren sensör ağlarının kullanımı ile meydana gelmektedir. Araştırma geliştirme aşamasında olan projelerde ise açık devre kontrollü mikro düzeyde adaptasyona sahip diğer uyarlanabilir mekanizmalara karşı bir eğilim görülmektedir.

- **Etkili fizik alanı:** Yapı kabuğu, çeşitli fiziksel etkileşimlerin gerçekleştiği bir arayüzdür. İklime adapte yapı kabuklarının etkilediği dört fizik alanı tanımlanmıştır: termal, optik, hava akışı, elektrik. Yapı kabuğunun uyarlamalı davranışından bu alanların ayrı ayrı etkilenmeleri mümkün olduğu gibi bir veya birden çoğunun da etkilenmesi mümkündür. Analizlerde örneklerin en çok termal ve optik alanların birleşiminde etkili olduğu belirlenmiştir. Derlenen tüm projelerde termal; %79'unda ise optik alan etkilidir. İlke olarak bu, kontrollü gün ışığının iklime adaptasyon stratejisinin bir parçası olduğu durumlardır. Bunun ardından termo-optik, hava akımı ve elektrik alanları gelmektedir. Projelerin geliştirilme düzeyi etkili fizik alanı ile ilgili bir değişiklik göstermez.

Tepki veren cephe örneklerini inceleyen bir başka kapsamlı çalışma da Aelenei ve diğ. (2016) tarafından 130 proje üzerinde gerçekleştirilen analizdir. Çalışmada adaptasyon ihtiyacı doğuran dış etkenlerin projelere göre dağılımı incelenmiştir. Öncelikle yapının türü ve bulunduğu iklimden bağımsız olarak cephe adaptasyonunu tetikleyen dış etkenlerin genel dağılımı irdelenmiştir. Buna göre tepki veren cephelerin veya cephe elemanlarının benimsenmesinin nedeni çoğunlukla güneş ışınımı (%82) ve dış hava sıcaklığı (%76) ile ilişkilidir. Daha sonra rüzgâr (%28) ve yağış (%26) yaklaşık olarak eşit oranlarda bulunur; bunu %13 ile nem izler. Dağılımdaki son sırada %6 görülme sıklığıyla gürültü bulunmaktadır. İkinci aşamada adaptasyonu tetikleyen dış etkenler konut ve konut dışı yapılar olmak üzere yapının türüne göre değerlendirilmiş, %91 görülme sıklığıyla konutlarda en etkili etkenin güneş ışınımı olduğu belirlenmiştir. Son olarak dış etkenler pencere ve duvar olarak yüzey tipine göre değerlendirilmiştir. Pencerelerde hava akışı ve gürültü kontrolü yapan sistemlerin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Loonen ve diğ. (2017) geniş teknoloji seçenekleri arasından, ayarlanabilir cam (*switchable glazing*), hareketli güneş kırıcı, duvara entegre faz değiştiren malzeme (*phase change material*), dinamik yalıtım ve çok fonksiyonlu cephe teknolojilerinin tepki veren cephe sistemlerinde daha yaygın olarak kullanılacağını öngörmüştür. Bununla birlikte çalışmalar farklı teknolojiler için de alan olduğunu göstermiştir.

Mourtzouchou (2018) tepki veren cepheler konusunda uygulanmış projeler ile araştırma projeleri arasındaki farkları görmek amacıyla örnek proje incelemesi

gerçekleştirmiştir. Çalışmada 28 yapı, 19 ürün ve 14 araştırma projesi olmak üzere 61 tepki veren cephe örneği incelenmiş ve bunlar 7 kriter bağlamında değerlendirilmiştir: tepki faktörüne verilen karşılık, enerji, tepki kontrolü, mimari tasarım özgürlüğü, dış tepki faktörü, iç tepki faktörü, amaç ve en yüksek maliyet. Çalışmanın bulgularına göre tüm kategorilerde en yaygın olan dış tepki faktörü güneş ışınımı olmuştur. En yaygın görülen iç tepki faktörü ise sıcaklık veya hava değişim oranıdır. Ayrıca örneklerin çoğunda iç tepki faktörü görülmemiş, sadece dış tepki faktörü belirlenmiştir. Yapılarda adaptasyonun en yaygın amacı, görsel konfordur; ikinci olarak da ısıl konfor gelmektedir. Araştırma projeleri ise ısıl konfor üzerine yoğunlaşmıştır. Yapıların çoğunda tepki kontrolü sensörlerle sağlanmaktadır; bu da kapalı devre kontrolünün kullanıldığı anlamına gelir. Araştırma projeleri ise kapalı ve açık devre kontrolü arasında bir denge gösterir. Bu durum akıllı malzemeler üzerine yapılan araştırmaların arttığını göstermektedir. Bakım maliyeti geri kalan parametrelere kıyasla en yüksek maliyeti gösterir ve referans projelerin çoğunda bir sorun teşkil etmektedir. Enerji kriterine göre yapılan değerlendirmede uygulanmış projelerin çoğu çalışmak için harici bir güce ihtiyaç duyarken, araştırma projelerinin önemli bir kısmında enerji üretimi sistemin bir parçası tarafından sağlanmaktadır. Projerin çoğu sınırlamalar içerdiğinden mimari tasarım özgürlüğü çoğu durumda orta düzey olarak belirlenmiştir.

COST Action TU1403 Adaptive Facades Network (2014-2018) araştırma projesi kapsamında da tepki veren cephelerde kullanılan mevcut ve gelişmekte olan teknolojileri araştırmak için tepki veren cephe vaka çalışmaları ve projelerinin derlendiği bir veri tabanı oluşturma çalışması yürütülmüştür. Bir çevrimiçi anket yardımıyla 165 proje örneğinin verileri toplanmıştır. Projeler kendilerine uyarlanabilir özellik kazandıran teknolojilerine göre malzeme, bileşen ve sistem kriterlerinden oluşan basit bir sınıflandırmaya göre ayrılmıştır. Uyarlanabilir özelliklere sahip sistem, bileşen ve malzemelerin amacını destekleyen detayları ve her bir teknolojinin çalışma prensibi, tasarım uygulamaları, teknolojik bulunabilirlik ve ekonomik yönleriyle ilgili verilerle birlikte toplanmıştır. Proje verileri detaylı açıklama, metrikler, nitelendirme, ekonomik yönler ve referanslar ana bölümleri altında düzenlenmiştir. Derlenen proje verileri bağlamında aşağıda sıralanan analizler yapılmıştır (Aelenei ve diğ, 2018).

- **Temel parametreler:** Uyarlanabilir özellikler en çok sistem düzeyinde (%41) görülmüş; malzeme ve bileşen düzeyinde ise yaklaşık eşit derecede temsil edilmiştir. Cephe türüne göre çift cidarlı cephe %30, prefabrik cephe modülü %32 ve giydirme cephe %32 oranında kullanılmıştır.
- **Fonksiyon/Amaç:** Tepki veren cephelerin kullanım amacı veya fonksiyonu açısından en sık görülen özellikleri termal (%30), görsel konfor (%24) ve estetik olarak nitelendirilebilecek "görünüm" (%16) olmuştur. Bu, ısı kazanımları ve kamaşmanın cephe tasarımının en büyük sorunlarından olduğunu göstermektedir.
- **Tepki süresi:** Derlenen projelerde en sık görülen tepki süresi dilimleri saniye (%49) ve dakikalardır (%38). Günlük tepki süresi, örneklerin %2'sinden azında mevcuttur. Bu, tepki veren cephelerin değişen koşullara nispeten hızlı bir reaksiyon vermesinin istendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, en yaygın kullanılan değişim boyutunun santimetre cinsinden olduğu belirlenmiştir.
- **Teknoloji ölçeği:** Veri tabanında bulunan çözümlerin büyük çoğunluğu santimetre ölçeğinde (%46) çalışmaktadır. Bunu nanometre ölçeğinde (%22) çalışan kaplama ve akıllı cam gibi teknolojik çözümlere takip etmektedir. Teknoloji ölçeğinin sistemin uygulama yılıyla karşılaştırılması, başka bir güçlü bağlantıyı ortaya çıkarmaktadır. Tepki veren cephe teknolojilerinin gelişiminin başladığı 1990'lı yıllardan 2015 yılına kadar "santimetre teknolojisinin" dinamik bir şekilde gelişmekte olduğu; fakat son yıllarda kaplama teknolojilerinin de gelişmesiyle "nanometre teknojisi" kullanımının arttığı belirlenmiştir.
- **Sistem görünürlüğü:** Teknoloji tepki süresiyle ilişkilidir. Projelerin %42'si, panjur, kapak, dinamik cephe gibi teknolojilerle görülebilir boyut ve şekil değişikliği oluşturan, dakika veya saniye ölçeğinde tepki veren sistemlerdir. Projelerin %12'sinde tepki süresi saniye cinsindendir, ancak görünür yüzey değişikliği olmamıştır.
- **Adaptasyon derecesi:** Projelerin %83'ünde kademeli değişim, %15'inde açma/kapama şeklinde tek kademeli değişim görülmektedir. Ancak, dakika ve saniye zaman ölçeğindeki kademeli değişim, tüm vakaların %72'sine uygulanmıştır.

- **Kontrol tipi:** Dış (%53) ve iç (otoreaktif) (%47) kontrol tipleri neredeyse eşit olarak kullanılmıştır.
- **Tepki veren cephe sistemleri, bileşenleri ve malzemelerinin tahmini maliyeti:** Projelerin kesin maliyet bilgisine ulaşılamamış; bunun yerine veri tabanını oluşturan katılımcılardan proje maliyetlerini yüksek, orta veya düşük olarak değerlendirmeleri istenmiştir. Katılımcılar projelerin %73'ünde uygulanan çözümlerin yüksek maliyetli, geri kalanların sırasıyla %19 ve %8 oranında orta ve düşük maliyetli olduğunu öngörmüşlerdir.

Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendikten sonra ikinci aşamada, tepki veren cephe konseptleri, uygulanmış projeleri, prototipleri ve pazarlanan ürünleri kapsayacak şekilde bu çalışmada yararlanılacak bir veri tabanı oluşturmak için yapılandırılmış bir bilimsel literatür taraması yapılmıştır. Bu amaçla, tepki veren cephe konseptini tanımlamak için kullanılan Çizelge 4.1'te verilen tüm terimler anahtar kelime olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak Çizelge B.1'de verilen 159 adet tepki veren cephe örneğine ulaşılmıştır. Tepki veren cephelerin uygulanma alanı elektrokromik camlar gibi yıllardır kullanılan gelişmiş sistemlerden, ütopya konseptlere kadar çeşitlilik göstermektedir. Son yıllarda cephe üreticileri tarafından iklim koşullarına tepki veren cephe modüllerinin tasarlanmaya başlaması dikkat çekicidir.

Derlenen örneklerle ilgili ilk aşamada elde edilmek istenen bilgiler tasarım ve yapım süreci bilgileridir. Tasarım süreçlerinde etkili olan aktörler, kullanılan araçlar ve süreçler ile cephe sistemlerini oluşturan ürünler (özel ve standart) ve bunların birleşim şekilleri araştırılmıştır. İlk tur araştırmadan sonra, tepki veren cephelerle ilgili bu bilgilerin büyük oranda ulaşılabilir olmadığı ve elde edilen verilerle genel yargılara ulaşılamayacağı sonucuna varılmıştır. Kitap, dergi ve konferans bildirilerinde yayınlanan mevcut ürünler, uygulanmış örnekler, tasarım önerileri ve patentlerin sayısı sınırlıdır. Uygulanmış projeler ile ilgili kapsamlı inceleme ve değerlendirme yazıları ise henüz yok denecek kadar azdır.

Literatürde pek çok örnek proje, malzeme ya da konsepte ulaşılsa da bunlarla ilgili elde edilen bilgiler belirli bir düzeyde kalmıştır. Elde edilebilen bilgiler projeden projeye değişse de genel olarak, ulaşılabilen bilgiler, kısıtlı olarak ulaşılabilen bilgiler ve ulaşılamayan bilgiler olmak üzere 3 bilgi düzeyinden söz edilebilir.

Ulaşılabilen bilgiler; uygulanma düzeyi, tepki veren bileşenler, tepki verme sürecini başlatan mantıksal veri kaynağı, tepkinin amacı, değişime verilen tepki ve kinetik hareket biçimleridir. Kısıtlı olarak ulaşılabilen bilgiler; yapım/uygulama detayları, cephedeki fonksiyonel değişkenlik alanları, aktivasyon metotları, hareket sınırı, kontrol mekanizmaları, kontrol sınırı, zaman ölçeği ve tepkinin derecesidir. Ulaşılamayan bilgiler; kullanıcı memnuniyeti, kullanımda sağlanan gerçek performans artışı ve montaj bilgileridir.

4.3 Tepki Veren Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması

Tepki veren cephelerin geliştirilmesiyle ilgili araştırmaların başlangıcından bu yana aynı zamanda bu sistemleri daha iyi anlamak ve geliştirmek için sınıflandırma çabaları da başlamıştır. Henüz konuyla ilgili kullanılan genel bir terminoloji olmadığından, literatürde pek çok farklı sınıflandırma yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları belirli tasarım kriterlerine bazıları da bütüncül bir yaklaşımla belirli konseptlere odaklanmaktadır. Yapılarda tepki veren cephelerin kullanımı genellikle güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklığı ile ilgili olduğundan (Aelenei ve diğ, 2016), yayınlar da bu değişkenleri düzenleyen statik ve dinamik konseptler çevresinde yoğunlaşmaktadır. Tepki veren cephelerin çeşitli konsepleriyle ilgili geliştirilen sınıflandırma denemeleri derlenerek analiz edilmiştir (Çizelge C.1). Bunların içinden geniş kapsamlı ve/veya birbirini tamamlayan çalışmalar aşağıda açıklanmaktadır.

Fox ve Yeh (1999) kinetik hareket için kontrol sistemlerini altı genel tip altında sınıflandırmaktadır: iç kontrol, direkt kontrol, dolaylı kontrol, tepki veren dolaylı kontrol, yaygın tepki veren dolaylı kontrol ve sezgisel tepki veren dolaylı kontrol. Bu kontrol sistemleri iki grupta incelenir. İlk grup elle, motorla veya sensör anahtarıyla direkt olarak aktive edilmektedir; iç kontrol, direkt kontrol ve dolaylı kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. İkinci grubu oluşturan diğer kontrol sistemlerinde kinetik hareket bir bilgisayar kullanılarak sağlanır.

Fox ve Kemp (2009) etkileşimli mimari ile ilgili kapsamlı bir genel bakış sunmuşlardır. Kitabın konuları içinde etkileşimli mimarlığın ne olduğu, hayatlarımızı nasıl etkilediği, tasarımında nelerin gerekli olduğu ve nereye doğru geliştiği ile birlikte fiziksel değişim ve kinetik mimarlık konuları da yer almaktadır. Kinetik

mimaride çözümlerin, işletme yollarını ve araçlarını dikkate alması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Ramzy ve Fayed (2011) kinetik mimari için iki sınıflandırma sistemi ortaya koymuştur. İlk olarak, mimarideki kinetik sistemleri sistem konfigürasyonuna, kontrol tekniklerine ve araçlara göre sınıflandırmışlardır. Daha sonra kinetik sistemlerin çevre kontrol sistemleri olarak sınıflandırılması, kinetik, kontrol teknikleri, sistem konfigürasyonu, kontrol limiti ve maliyete bağlı olarak sunulmuştur.

Schnädelbach (2010) uyarlanabilir (*adaptive*) mimarlık ile ilgili kavramsal bir çerçeve yayınlamıştır. Bu çalışmada uyarlanabilir mimarlık, motivasyon ve faktörler, uyarlanabilir mimarlıkta tasarım stratejileri, uyarlanabilir binalar ve bileşenleri başlıkları altında incelenmiştir. Uyarlanabilir binalar ve bileşenleri başlığı da adaptasyonu işleten mantıksal veri kaynakları, adaptasyon elemanları, yöntem ve etki alt başlıklarında açıklanmıştır.

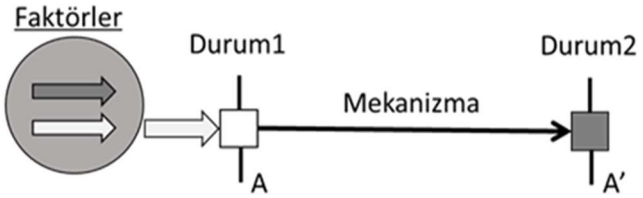
Loonen ve diğ. (2013) ilk sınıflandırmasında iklime adapte cephelerle ilgili ana bulguları beş tema altında sınıflandırmıştır. Bunlar, sistem oluşumuna fikir veren ilham kaynakları, fiziksel etkileşim, zaman ölçeği, adaptasyon ölçeği ve kontrol tipidir. Loonen ve diğ. (2015) ikinci sınıflandırma çalışmasında, amaç, tepki veren fonksiyon, işletme, teknolojiler (malzemeler ve sistemler), tepki verme zamanı, mekansal ölçek, görünürlük ve adaptasyon ölçeği olmak üzere sekiz kriter üzerinde çalışarak, sınıflandırmanın kapsamını genişletmiştir.

Kolarevic ve Parlac (2015) adapte olan yapı kabuklarını farklılaştıran durumun, neyin harekete geçtiği değil, hareketin nasıl üretildiği konusu olduğunu belirtirler. Yapı kabuklarında dört aktivasyon yöntemi tanımlamışlardır: motor esaslı, hidrolik, pnömatik ve malzeme esaslı.

Mevcut sınıflandırma sistemleri değerlendirildiğinde bazı temel sorunlar göze çarpmaktadır. Yayınlar genellikle konseptlerin veri tabanını ya da genel değerlendirmesini içermektedir. Bu durum iki büyük soruna sebebiyet vermektedir. İlk olarak, bu sınıflandırmalar tüm tepki verme sürecini tanımlamada yetersiz kalır. İkinci olarak, kriterler ya çok genel ya da konsepte göre çok özelleşmiş olmaktadır. Mevcut sınıflandırmalardaki diğer bir problem de kriterlerin tanımlanmasıyla ilgilidir. Bazı kriterler muğlak değerlerle tanımlanmaktadır. Bu durum geçerli bir

sınıflandırma yapmayı güçleştirmektedir. Aynı zamanda, farklı türde bileşenler aynı kriter altında değerlendirilmektedir ki bu da hiyerarşik olarak düzensizlik ve karmaşa yaratmaktadır. Diğer yandan, belirli konseptlere odaklanan sınıflandırma sistemleri, ele aldıkları konu bağlamında geniş bilgi birikimi sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında mevcut sınıflandırma sistemlerinde tespit edilen sorunların giderilmesi ve daha bütüncül bir sınıflandırmaya ulaşmak için yeni bir sınıflandırma yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yeni sınıflandırma yaklaşımı tepki veren cephe sistemlerini değişim olgusuna göre sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Bir değişim olgusu üç unsurla karakterize edilebilir: değişim faktörü, değişim mekanizması ve değişim etkisi (Ross ve diğ, 2008). Değişim faktörü, değişimin gerçekleşmesini tetikleyen unsurdur. Değişim mekanizması, sistemin ilk durumundan son durumuna dönüşebilmesi için izlemesi gereken yoldur. Bu yol değişim için gerekli bileşenleri, koşulları, kaynakları ve kısıtlamaları da içerir. Değişim etkisi ise değişimin başlamasından önceki ve sonraki durumlar arasındaki farktır. Şekil 4.1'de tepki veren cepheler için bu üç unsur gösterilmektedir. Bu unsurlarla ilgili değişkenlerin sınıflandırılması, tepki sürecine ilişkin kapsamlı bilgiye sahip olmak bakımından önemlidir. Bu şekilde, yeni sınıflandırma yaklaşımında tepki süreci ve sürece dâhil olan değişkenlere dair eksik alanların bulunması olasılığı azaltılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.1: Durum dönüşümü olarak değişimin tanımı (Uyarlama, Ross ve diğ, 2008).

Yeni geliştirilen sınıflandırma yaklaşımı, tepki veren cephelerde değişimi tanımlayan on altı kriter üzerine kurulmuştur. Bu kriterlerin birçoğu mevcut sınıflandırma kriterleri derlenerek elde edilmiştir (Çizelge C.1). Bazı kriterlerde anlamı açıklığa kavuşturmak için başlıklar, bazılarında ise kapsamlı bir tanımlama veya değerlendirme kolaylığı sağlamak için kriteri tanımlayan değişkenler yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca, bazı kriterlerin geliştirilmesi, farklı disiplinlerin değişim tanımından gelen transferler yoluyla yapılmıştır. Geliştirilen sınıflandırma yaklaşımını oluşturan kriterler ve bu kriterleri tanımlayan değişkenler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: Tepki veren cephelerin sınıflandırılması için geliştirilen kriterler ve bunları tanımlayan değişkenler.

Sınıflandırma Kriterleri	**Kriterleri Tanımlayan Değişkenler**		
Tepki Veren Bileşenler	Cephe Bileşen Eleman Malzeme		
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre		
	Cepheye entegre değil		Cephe düzleminin dış tarafında Cephe düzleminin iç tarafında
Tepki Faktörü	Kullanıcılar		Bireysel Kullanıcılar Kullanıcı Grupları Kuruluşlar
	Çevre Koşulları	Dış Ortam	Güneş ışınımı Dış ortam sıcaklığı Nem oranı Rüzgâr Yağış Ses
		İç Ortam	İç ortam sıcaklığı Nem oranı Işık miktarı ve kalitesi Hava değişim hızı Hava hızı Ses düzeyi
	Nesneler		İçinden Geçen Nesneler Önünden Geçen Nesneler
Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik Dinamik		
Haraket Tipi	Katlanma Kayma Genişleme Büzülme Hem boyut hem de şekil olarak değişme Ölçeklenme Yuvarlanma Burkulma Rotasyon Dışarı itilme		
Tepkinin Mekânsal Boyutu	nm mm cm m		
Hareket Limiti	Limitli (Küçük birimler) Kısmi Kapsamlı Değişken		
Dinamik Tepki İçin Strüktürel Değişim	Mafsallı çubuklardan oluşan mekânsal çubuk strüktürler Menteşeli plakalar içeren katlanabilir plaka strüktürler Strut-kablo (gerginlik) strüktürleri Membran strüktürler		

Çizelge 4.3 (devam): Tepki veren cephelerin sınıflandırılması için geliştirilen kriterler ve bunları tanımlayan değişkenler.

Sınıflandırma Kriterleri	**Kriterleri Tanımlayan Değişkenler**
Aktüatör Tipi	Motor esaslı Hidrolik Pnömatik Malzeme esaslı Kimyasal Manyetik
Kontrol/Operasyon Tipi	Dâhili kontrol Direkt kontrol Endirekt(dolaylı) kontrol Tepki veren dolaylı kontrol Yaygın tepki veren dolaylı kontrol Sezgisel tepki veren dolaylı kontrol
Sistem Tepki Süresi	Saniyeler Dakikalar Saatler Günler Mevsimler Yıllar
Sistemin Adaptasyon Derecesi	Açık-Kapalı Aşamalı Hibrit
Mimari Görünürlük Düzeyi (Rush Sınıflandırması)	Görünür değil, değişim yok Görünür, değişim yok Görünür, yüzey değişimi Görünür, boyut veya şekil değişimi Görünür, konum veya yön değişikliği
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma) İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma) Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme Rüzgâr enerjisini toplama ve dönüştürme Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme Renk değiştirme Doku değişimi Şekil değiştirme
Performans Değişiklik Derecesi	Az Orta Belirgin Değişken
Sistem Karmaşıklığı	Seviye 1 (En basit) Seviye 2 Seviye 3 Seviye 4

Yeni geliştirilen tepki veren cephe sınıflandırma yaklaşımını oluşturan, Çizelge 4.3'te verilen, sınıflandırma kriterleri aşağıda tanımlanmıştır:

- **Tepki veren bileşenler:** Her tepki veren cephede değişikliklere adapte olabilen bazı elemanlar bulunur. Tasarımda bu elemanların seçimi tepki faktörüne, başka bir deyişle cephenin neye tepki verdiğine bağlı olarak belirlenir. Bu sınıflandırmada tepki veren bileşenler dört başlık altında incelenmiş, alt kategorilere ayrılmamıştır. Bunun nedeni ölçek seçiminin, gölgeleme sistemlerinde olduğu gibi, sistem içinde bir değişime neden olabilmesidir.
- **Mekânsal morfoloji:** Tepki veren bileşenlerin mekânsal olarak cepheyle ilişkisini tanımlamaktadır.
- **Tepki faktörü:** Tepki veren cepheler belirli tetikleyici faktörlere adaptasyon gösterecek şekilde tasarlanırlar. Tepki faktörü değişimin gerçekleşmesi için gerekli olan tetikleyicidir. Tepki veren cepheler kullanıcılara, çevre koşullarına ve nesnelere tepki verecek şekilde tasarlanabilmektedir (Schnädelbach, 2010).
- **Tepki faktörüne verilen karşılık:** Tepki veren cepheler tepki faktörüne statik ya da dinamik şekilde karşılık verirler. Bir cephe malzemelerinin özelliklerini kullanarak ya da akıllı malzemeler aracılığıyla fiziksel özelliklerini değiştirebilir, iç ve dış koşullara önceden belirlenmiş bir şekilde tepki verebilir. Bu durum statik tepki olarak adlandırılır. Tepki faktörüne hareketli cephe elemanlarıyla verilen karşılık ise dinamik tepki olarak adlandırılmaktadır. (Ogwezi ve diğ, 2011)
- **Hareket tipi:** Bu kriter hareket kalıbını konumsal yer değiştirmeye göre tanımlar. Bu kriteri tanımlayan değişkenler daha fazla alt bölüme ayrılabilecek olsa da temelde, kısmen pozisyon değişikliği, pozisyonun tamamen değiştirilmesi veya bunların kombinasyonu olarak üç şekilde gerçekleşmektedir (Herzog ve diğ, 2004).
- **Tepkinin mekânsal boyutu:** Bu kriter, tepki sırasında oluşan mekânsal değişimin boyutlarını tanımlar.
- **Hareket limiti:** Tepki veren sistem tarafından sağlanan hareketin maksimum boyutunu tanımlar. Hareket, kapsamlı, kısmi veya küçük hareketli ünitelere bağlı olarak limitli olabilir (Ramzy ve Fayed, 2011).
- **Dinamik tepki için strüktürel sistem:** Tepki faktörüne dinamik olarak karşılık veren cepheler strüktürel sistemlerine göre de sınıflandırılabilir. Bu

sınıflandırmada Kierkegaard ve Forged (2011) tarafından belirlenen dört ana grup kullanılmıştır.

- **Aktüatör tipi:** Cephede tepki veren davranışın nasıl aktive edildiğini tanımlar; aktivasyonu sağlayan itici güçtür (Kolarevic ve Parlac, 2015).
- **Kontrol/Operasyon tipi:** Tepki veren cephelerin kontrol edilmesini sağlayan yöntemleri özetlemektedir. Bu kriterin değişkenleri Fox ve Yeh'in (1999) kinetik sistemlerin kontrolü ile ilgili yaptıkları sınıflandırmaya dayanmaktadır.
- **Sistem tepki süresi:** Tepki veren cepheler kendilerini dönüştürmek için zamanı kullanırlar (Fernandez, 2014). Tepki süresi, tepki veren cephenin eylemlerinin etkin biçimde gerçekleştiği zamansal ölçeği ifade eder. Bu zaman ölçeği çok kısa (saniye) ile çok uzun (yıl) dönemler arasında değişebilmektedir.
- **Sistemin adaptasyon derecesi:** Cephenin belirli iki durumu arasındaki tepkisel değişim direkt olarak (açık/kapalı), kademeli olarak ya da bu ikisinin karışımı hibrit olarak gerçekleşebilir. Sistemin durum değişimleri arasındaki bu davranışı sistemin adaptasyon derecesi olarak tanımlanır.
- **Mimari görünürlük düzeyi:** Tepki veren cephelerin mimari/görsel ifadesi Rush'ın (1986) bina servis sistemleri sınıflandırmasına göre tanımlanmıştır.
- **Tepkinin etkisi:** Tepkisel değişimin başlamasından önceki ve sonraki durumlar arasında cephenin özelliklerinde ne tür değişiklikler oluştuğunu tanımlar (Loonen ve diğ, 2015).
- **Performans değişimi derecesi:** Bu kriter kullanıcı ihtiyaçları ve bina etkileşimi bağlamında tepkinin ne kadar fark yarattığını göstermektedir. Tepki tarafından sağlanan cephe performansındaki değişimin derecesidir. Bu bilgiyi elde etmek ve değerlendirmek kolay olmasa da sistem sınıflandırması açısından önemli bir veridir.
- **Sistem karmaşıklığı:** Karmaşıklık, sistemi tanımlarken kullanılan bilgi miktarıyla ilgilidir. Bu nedenle, sistem karmaşıklığı, sistemdeki benzersiz öğelerin sayısına ve bunların ara bağlantılarının sayısı ile niteliğine göre belirlenir. Çizelge 4.4 bu kriter için benimsenen sınıflandırma referansını göstermektedir.

Çizelge 4.4: Karmaşıklık derecesine göre teknik sistemlerin sınıflandırılması (Hubka ve Eder, 1988).

Karmaşıklık Düzeyi	Teknik Sistem	Özellikler	Örnekler
I (En Basit)	Parça, Bileşen	Montaj işlemleri olmaksızın üretilen basit sistem	Cıvata, rulman yatağı, yay, yıkayıcı
II	Grup, Mekanizma, Kısmi Montaj	Bazı ileri fonksiyonları yerine getirebilecek basit sistem	Redüktör, hidrolik tahrik, mil başlığı, fren ünitesi, mil bağlantısı
III	Makine, Aparat, Cihaz	Kısmi montajlardan ve kapalı bir fonksiyonu yerine getiren parçalardan oluşan sistem	Torna tezgâhları, motorlu taşıtlar, elektrikli motorlar
IV	Tesis, Ekipman, Kompleks Makine Ünitesi	Bir dizi fonksiyonu yerine getiren, fonksiyonel ve mekânsal bütünlüğü oluşturan makineler, gruplar ve parçalar içeren karmaşık sistem	Sertleştirme tesisi, makine nakil hattı, fabrika ekipmanı

Geliştirilen sınıflandırma sistemi öncelikle eksik tasarım kriterleri belirlenerek sistemin iyileştirilmesi, sonra da tepkisel değişimin tüm aşamalarının tanımlandığının kanıtlanması amacıyla tepki veren cephe örnekleri üzerinde denenmiştir. Sınıflandırma sisteminin deneneceği örnekler farklı teknoloji ve karmaşıklık seviyesine sahip uygulanmış projeler arasından, tasarım ve yapım süreçleriyle ilgili yeterli bilgiye ulaşılmış olması bağlamında seçilmiştir. Buna göre yeni geliştirilen sınıflandırma sistemi Arap Dünya Enstitüsü (*Institut du Monde Arabe*), Kayar Ev (*Sliding House*) ve Al-Bahr Kuleleri (*Al-Bahr Towers*) projeleri üzerinde uygulanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5: Tepki veren cepheler için geliştirilen yeni sınıflandırma sisteminin örnek projeler üzerinde uygulanması.

Sınıflandırma Kriterleri	**Kriterleri Tanımlayan Değişkenler**		**Arap Dünya Enstitüsü (1989)**	**Kayar Ev (2009)**	**Al-Bahr Kuleleri (2012)**
Tepki Veren Bileşenler	Cephe Bileşen Eleman Malzeme		x	x	x
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre		x	x	
	Cepheye entegre değil	Cephe düzleminin dış tarafında			x
		Cephe düzleminin iç tarafında			

n/a: bir kaynağa bağlı olmadan yapılan tespitler için kullanılmıştır

Çizelge 4.5 (devam): Tepki veren cepheler için geliştirilen yeni sınıflandırma sisteminin örnek projeler üzerinde uygulanması.

Sınıflandırma Kriterleri	Kriterleri Tanımlayan Değişkenler			Arap Dünya Enstitüsü (1989)	Kayar Ev (2009)	Al-Bahr Kuleleri (2012)
Tepki Faktörü	Kullanıcılar	Bireysel Kullanıcılar			x	
		Kullanıcı Grupları				
		Kuruluşlar				
	Çevre Koşulları	Dış Ortam	Güneş ışınımı	x		x
			Dış ortam sıcaklığı			
			Nem oranı			
			Rüzgâr			
			Yağış			
			Ses			
		İç Ortam	İç ortam sıcaklığı			
			Nem oranı			
			Işık miktarı ve kalitesi			
			Hava değişim hızı			
			Hava hızı			
			Ses düzeyi			
	Nesneler	İçinden Geçen Nesneler				
		Önünden Geçen Nesneler				
Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik					
	Dinamik			x	x	x
Haraket Tipi	Katlanma					x
	Kayma				x	
	Genişleme					
	Büzülme					
	Hem boyut hem de şekil olarak değişme					
	Ölçeklenme			x		
	Yuvarlanma					
	Burkulma					
	Rotasyon					
	Dışarı itilme					
Tepkinin Mekânsal Boyutu	nm					
	mm					
	cm			n/a		x
	m				x	x
Hareket Limiti	Limitli (Küçük birimler)			x		
	Kısmi					x
	Kapsamlı				x	
	Değişken					
Dinamik Tepki İçin Strüktürel Değişim	Mafsallı çubuklardan oluşan mekânsal çubuk strüktürler				n/a	n/a
	Menteşeli plakalar içeren katlanabilir plaka strüktürler			n/a		
	Strut-kablo (gerginlik) strüktürleri					
	Membran strüktürler					
Aktüatör Tipi	Motor esaslı			x	x	x
	Hidrolik					
	Pnömatik					
	Malzeme esaslı					
	Kimyasal					
	Manyetik					
Kontrol/Operasyon Tipi	Dâhili kontrol					
	Direkt kontrol				x	
	Endirekt(dolaylı) kontrol			x		
	Tepki veren dolaylı kontrol					x
	Yaygın tepki veren dolaylı kontrol					
	Sezgisel tepki veren dolaylı kontrol					

n/a: bir kaynağa bağlı olmadan yapılan tespitler için kullanılmıştır

Çizelge 4.5 (devam): Tepki veren cepheler için geliştirilen yeni sınıflandırma sisteminin örnek projeler üzerinde uygulanması.

Sınıflandırma Kriterleri	Kriterleri Tanımlayan Değişkenler	Arap Dünya Enstitüsü (1989)	Kayar Ev (2009)	Al-Bahr Kuleleri (2012)
Kontrol/Operasyon Tipi	Dâhili kontrol			
	Direkt kontrol		x	
	Endirekt(dolaylı) kontrol	x		
	Tepki veren dolaylı kontrol			x
	Yaygın tepki veren dolaylı kontrol			
	Sezgisel tepki veren dolaylı kontrol			
Sistem Tepki Süresi	Saniyeler			
	Dakikalar		x	
	Saatler			x
	Günler			
	Mevsimler			
	Yıllar			
Sistemin Adaptasyon Derecesi	Açık-Kapalı			x
	Aşamalı	x	x	
	Hibrit			
Mimari Görünürlük Düzeyi (Rush Sınıflandırması)	Görünür değil, değişim yok			
	Görünür, değişim yok			
	Görünür, yüzey değişimi	x		
	Görünür, boyut veya şekil değişimi			x
	Görünür, konum veya yön değişikliği		x	
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)	x	x	x
	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		x	x
	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik			
	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi		x	x
	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme		x	
	Rüzgâr enerjisini toplama ve dönüştürme			
	Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme		x	x
	Renk değiştirme			
	Doku değişimi			
	Şekil değiştirme		x	x
Performans Değişiklik Derecesi	Az			
	Orta			
	Belirgin	x		x
	Değişken		x	
Sistem Karmaşıklığı	Seviye 1 (En basit)			
	Seviye 2		x	
	Seviye 3			
	Seviye 4	x		x

n/a: bir kaynağa bağlı olmadan yapılan tespitler için kullanılmıştır

Sınıflandırma sistemi, örnek projelerin tasarım değişkenlerinin çoğunu tanımlamaktadır. Sınıflandırma denemesindeki en büyük sorun, örnek projelerle ilgili teknik bilgilerin sınıflandırma açısından kısmen yetersiz olmasıdır. Bu nedenle, bazı kriterler mevcut bilgilerden çıkarımlar yapılarak değerlendirilmiştir. Belirli bir kaynağa dayanmayan çıkarımlar, çizelgede uygulanamaz (*not applicable),* n/a ifadesi

ile gösterilmektedir. Bununla birlikte, bazı örneklerde bazı kriterler hakkındaki bilgilere ulaşılamamıştır.

Hareket limiti, performans değişiklik derecesi ve sistem karmaşıklığı kriterlerinin değerlendirilmesi, değişkenlerinin bir miktar öznellik içermesi nedeniyle, bazı örneklerde bir dereceye kadar tahminde bulunulmasına yol açabilir. Bu kriterlerin değerlendirilmesi için sınır değerlerin tanımlanması gerekmektedir.

Vurgulanması gereken bir diğer husus, geliştirilen sınıflandırma sisteminde dinamik sistemlerin daha iyi tanımlanmış olmasıdır. Tepki faktörüne statik olarak karşılık veren projelerin gelecek çalışmalarda araştırılması gerekmektedir.

4.3.1 Tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler

Bu çalışmada tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler iki yaklaşıma bağlı olarak belirlenmiştir. Bunlardan ilki çevre koşullarına ve kullanıcı ihtiyaçlarına dinamik tepki veren cephelerin tanımlarının, literatürde tanımlanan karakteristik özelliklerinin ve sınıflandırma kriterlerinin analizidir. İkinci yaklaşım ise literatürde tepki veren cephe olarak tanımlanmış örnek projelerin incelenmesidir. Burada amaç tanımlar, sınıflandırmalar ve örnek projeler üzerinden tepki veren cephelerde kullanılan kalıpları ve dolayısıyla tanımlayıcı özellikleri belirlemektir. Diğer yandan tepki veren cephelerin kapsamı çok geniş olduğundan bu çalışma, tepki faktörüne verilen karşılığın dinamik olduğu durumlara odaklanarak, dinamik tepki veren cephe olmanın koşullarını araştırmıştır.

Literatürden derlenen çalışmaların bir başlangıç noktası kabul edildiği bu kapsamlı araştırmanın ilk bulgularına göre dinamik tepki veren cepheleri tanımlamada kullanılabilecek yedi kriter belirlenmiştir. Bu kriter takımı tepki veren cephelerin sınıflandırılması için geliştirilen yeni sistemin kriterleri içinden seçilerek oluşturulmuştur. Tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler ve bu kriterlerin seçilme nedenleri aşağıda açıklanmaktadır:

- **Tepki veren bileşenler:** Bu kriter tepkinin cephe araştırma alanında gerçekleştiğini belirlemek için gereklidir. Tepki veren bileşen binanın hangi bölümünün/elemanının tepki faktörüne karşılık verdiğini işaret etmektedir.
- **Tepki faktörü:** Cephelerde verilen tepkinin tetikleyicisini tanımlayan tepki faktörü, iç ortam konfor koşullarını iyileştirmesi beklenen tepki etkisiyle direkt ilişkili olduğundan tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler arasında yer

almaktadır. Yani tepki faktörü iç ortam konfor koşullarını iyileştiren bir etkiyi tetiklemelidir.

- **Hareket tipi:** Bu çalışmanın araştırma alanı tepki faktörüne karşı dinamik davranış gösteren tepki veren cephelerle sınırlı olduğundan, cephede bir hareketin meydana gelmesi tanımlayıcı özelliklerden biri haline gelmiştir. Bu hareketi daha tanımlanabilir kılmak için hareket tipi sorgulanmaktadır.
- **Kontrol/Operasyon tipi:** Literatürde tepki veren cephelerle ilgili en çok vurgulanan özelliklerden biri de kontroldür (Çizelge 4.2). Cephenin hareketi rastgele bir şekilde meydana gelmemeli, kontrol altında olmalıdır. En basit kontrol tipi, kullanıcının bilgiyi işlediği ve yapay zekânın herhangi bir biçimi olmaksızın belirli eylemleri gerçekleştirdiği kontrol tipidir. En gelişmiş kontrol tipi ise, bileşenlerin birbirleriyle iletişim kurabildiği Bina Yönetim Sistemi'dir (Van der Aa ve diğ, 2011). Cepheler çoğu zaman manuel olarak ortam koşullarına adapte edilebildiğinden, bazı yaklaşımlar tepki veren cepheleri yapay zekâ tarafından kontrol edilen sistemler olarak da tanımlar.
- **Tepkinin etkisi:** Adaptasyon, cephenin birden fazla özelliğini etkileyebilir; ancak bunlardan en az birinin iç ortam konfor koşullarını iyileştirmede etkisi olması gerekmektedir.
- **Performans artışı:** Tepki veren cephe olma koşullarından biri de diğer kriterlerin pek çoğunda da bahsedildiği üzere iç ortam konfor koşullarının oluşturulmasında performans artışıdır. Burada sorgulanması gereken durum minimum performans artışının ne kadar olması gerektiğidir. Tepkinin gerçek etkinlik alanı dışında, tesadüfi olarak gerçekleşen küçük performans dalgalanmaları dikkate alınmamalıdır.
- **Sistem tepki süresi:** Cephedeki dinamik değişim çok geniş bir zaman aralığında gerçekleşebilir. Yıllar ya da daha uzun bir zaman ölçeğinde gerçekleşecek ve etkisi uzun zaman zarfında fark edilmeyecek değişimlerin tepki veren cephelerin araştırma alanına girip girmediği sorgulanmalıdır.

Tepki veren cepheler pek çok kaynakta yüksek teknolojili konseptlerle ilişkilendirilerek tanıtıldığından özellikle gelişmiş teknolojik özelliklere sahip olmayan (low-tech) cephelerin tepki veren cephe olarak tanımlanmasında zorluk çekilmektedir. Bu bağlamda literatürde tepki veren cephe olarak tanımlanmış Kayar Ev (*Sliding House*) (Kolarevic ve Parlac, 2015) ve RMIT Tasarım Merkezi (*RMIT*

Design Hub) (Buxton, 2013) cepheleri, yukarıda açıklanan tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler üzerinden analiz edilerek kriterlerin geçerlilikleri değerlendirilmiştir (Çizelge 4.6). Projelerin analiz edilen kriterler bağlamındaki özellikleri literatürden elde edilen bilgiler ışığında belirlenmiş ve tepki veren cephe özelliklerine uygunluklarına göre değerlendirilmiştir. Çizelgenin değerlendirme sütununda, +, - ve 0 sembolleri, incelenen kriter açısından projelerin sırasıyla pozitif, negatif ve etkisiz/belirsiz değerlerini tanımlamak için kullanılmıştır.

Çizelge 4.6: Kayar Ev ve RMIT Tasarım Merkezi projelerinin tepki veren cepheleri tanımlayan kriterler bağlamında değerlendirilmesi.

Kriter	Kayar Ev	Değer	RMIT Tasarım Merkezi	Değer
Tepki Veren Bileşenler	İkinci kabuk	+	Çift cephenin dış kabuğu	+
Tepki Faktörü	Güneş ışınımı ve kullanıcı isteği	+	Güneş ışınımı ve kuvvetli rüzgâr	+
Hareket Tipi	Kayma	+	Rotasyon	+
Kontrol/Operasyon tipi	Kullanıcı kontrolü /Direkt kontrol	+	Bina İşletim Sistemi	+
Tepkinin Etkisi	Yaz aylarında güneş ısısı kazanımını önleme; kış gecelerinde ısı kaybını önleme ve gün boyunca pasif güneş ısısı kazanımı sağlama	+	Güneş ısısı kazanımını önleme	+
Performans Artışı		0	Dış kabuğun olmadığı durumla karşılaştırıldığında soğutma talebini %35 azaltır; %85 güneş gölgeleme ve sera gazlarında %30 azalma sağlar	+
Sistem Tepki Süresi	max 6 dakika	+	Bileşenler gün içinde ve yol boyunca dalgalar halinde döner	+

Değerlendirme: + (positif), - (negatif), 0 (etkisiz/belirsiz)

Analiz sonuçlarına göre, her ne kadar Kayar Ev'in performans artışı hakkında bilgi elde edilemese de tepkinin etkisi göz önüne alınarak yapının ısıl performansında artış görüleceğine kanaat getirilmiş ve her iki projenin de tepki veren cephe kriterlerini sağladığı belirlenmiştir. Bu bağlamda dinamik tepki veren cepheleri tanımlamak için seçilen kriterlerin geçerli sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

4.4 Tepki Veren Cephe Tasarım Sürecinin Genel Cephe Tasarım Sürecinden Farkları

Tepki veren cepheler de tasarım sürecinde genel cephe tasarım süreciyle aynı aşamalardan geçmekte; fakat bu sürece dâhil olan tasarım ekibi üyeleri, alınan

kararlar ve yapılan eylemler bakımından farklılıklar göstermektedir. Tepki veren cephe tasarımında etkili bu girdilerin tanımlanması için örnek proje ve bilimsel yayınları içeren kapsamlı bir literatür araştırması yürütülmüş; ancak sınırlı bilgiye ulaşılabilmiştir. Tepki veren cephe uygulamalarının belgelendirilmiş olmaması veya belgelerin paylaşılmak istenmemesi bu durumun en önemli nedenlerindendir. Uygulanmış projeler içinden Al Bahr Kuleleri (Oborn, 2014; Karanouh ve Kerber, 2015; Attia, 2017) ve AGC Binası'nın (Samyn ve De Coninck, 2014; Attia ve Bashandy, 2015) proje geliştirme süreçlerine ulaşılabilmiştir. Bilir ve Attia (2017) Dubai'de bulunan elektrokromik cepheli bir okul yapısının tasarım süreçlerini analiz etmiştir. Tepki veren cephelerin tasarımı ve değerlendirilmesi COST Action 1403 araştırma projesi tarafından da ele alınmış; fakat daha çok performans değerlendirmesi simülasyonları üzerinde durulmuştur (Favoino ve diğ, 2018). Ramy (2018) örnek proje incelemeleri sonucunda tepki veren cephelerin tasarım süreçleri için iş akışı önerisinde bulunmuş; aynı zamanda tepki veren cephe geliştirmek için kullanılabilecek belirli tek bir yolun bulunmadığını belirtmiştir. Tepki veren cephelerin tasarım süreçlerinin tanımlanması ile ilgili yapılmış en kapsamlı çalışma ise Attia ve diğ. (2018) tarafından gerçekleştirilen, tasarım süreç haritası, değer zinciri, tasarım sürecine dâhil olan paydaşlar ve tepki veren cepheleri değerlendirmede kullanılacak temel performans göstergelerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmadır. Tüm bu çalışmalardan ve örnek projelerden elde edilen veriler düzenlenerek tepki veren cephe tasarım sürecinin karakteristik özellikleri belirlenmiştir.

Tepki veren cephe tasarım süreciyle ilgili literatürde iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşımda tasarım süreci geliştirilen projeden bağımsız olarak incelenmektedir (Attia ve Bashandy, 2016; Bilir ve Attia, 2017; Attia, 2017). Attia (2017) Al Bahr Kuleleri'nin cephe geliştirme süreçlerini incelediği çalışmasında cephe tasarım sürecini 5 aşamada incelemiştir: ön tasarım, şematik tasarım, tasarım geliştirme, test ve cephe tasarım yardımı. COST Action 1403 çalışma grubu 3 ise, cephe tasarım ve değerlendirme aşamalarını proje teslim aşamalarıyla ilişkilendirmiş; bu süreçleri gruplayarak 4 tasarım aşaması altında incelemiştir: ön tasarım ve tasarım, şematik ve konsept tasarım, tasarım geliştirme ve yapım, tasarım yardımı (ön yapım testi) (Bilir ve Attia, 2017). İkinci tasarım yaklaşımında ise tepki veren cephe tasarımı proje tasarım sürecinin bir parçası olarak incelenmektedir (Karanouh ve Kerber, 2015;

Ramy, 2018). Tepki veren cepheler hâlâ proje bağlamında geliştirilen sistemler olup, standart sistemler olarak üretilmediklerinden tasarımın proje bağlamında değerlendirilmesi uygun görülmektedir.

Yaygın olarak kullanılan standart cephe sistemleriyle karşılaştırıldığında, tepki veren cephelerin tasarım süreçleri çok daha karmaşıktır. Bu durumu oluşturan nedenler ve tasarım sürecinde ele alınış şekilleri aşağıda açıklanmaktadır.

- **Teknoloji çeşitliliği:** Tepki veren cephe tasarımında kullanılabilecek teknolojiler Çizelge 4.3'te verilen her bir sınıflandırma kriteri bağlamında çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca bu konuda yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmeler devam ettiğinden bu çeşitliliğin daha da artması beklenmektedir. Ne var ki, cephenin hangi tür tepkisel davranışının geliştirilen proje için en uygun performansı sağlayacağı bilinmemektedir (Loonen, 2010). Bu teknolojilerin her birinin tasarım süreci iş akışında uygulanacak kendine özgü bir teması bulunmaktadır (Ramy, 2018). Proje bağlamında kullanılacak tepki veren cephe teknolojisi fikir projesi aşamasında belirlenecek cephe tasarım hedefleri ile birlikte ele alınarak, proje geliştirme sürecinin erken evrelerinde tanımlanmalıdır.
- **Özel üretim:** Tepki veren cepheler sayısız tasarım stratejisiyle, çeşitli dış koşullara tepki vermek zorundadır. Bu bağlamda her durum için yeni bir tasarım çözümü üretilmektedir. Bu durum standart sistem kullanımının sağladığı kolay tasarım, üretici ve malzeme erişimi, tanımlanmış performans özellikleri imkânlarından yararlanılmasını engellemektedir. Bunun sonucu olarak geliştirilmesi gereken tasarımın karmaşıklığı artmakta; sistemi oluşturan her parçanın, arayüzün ve birleşimin detaylandırılması, performansının değerlendirilmesi, tedarik olanaklarının belirlenmesi ve üretiminin sağlanması gerekmektedir. Bu, gerekli tüm test ve sertifikalarla yeni bir ürün geliştirmek demektir ve yapılabilirlik imkânları ile ilgili yüksek derecede bilgi, endüstri ve üreticilerle yakın iş birliği gerektirir.
- **Ekip entegrasyonu ve iletişim:** Tepki veren cephe geliştirme sürecinde uygun cephe çözümünü sağlamak, mühendislik konularının ayrıntılı olarak ele alınmasını, nitelikli bir tasarım yönetimini ve kontrolü gerektirmektedir (Ramy, 2018). Bu durum birçok uzmanlık alanından temsilcinin aynı tasarım

ekibinde iletişim ve iş birliği içinde çalışmasını zorunlu kılar. Tepki veren cephe tasarımıyla ilgili geliştirilmiş sistematik yaklaşımlar bulunmadığından tasarım ekibi arasında ortak bir dil yakalamak zorlaşmakta ve bu, proje geliştirme süreciyle ilgili bir dizi zorluğa yol açmaktadır (Attia ve diğ, 2018). Bu bağlamda tasarım entegrasyonu ve yeterli iletişimin sağlanması için tüm taraflarca takip edilen bir proje kodu geliştirmek önemlidir (Ramy, 2018). Bununla birlikte kullanılan proje teslim yöntemi de ekip üyeleri arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilemektedir (Attia ve diğ, 2018).

- **Performans değişimi:** Tepki veren cephelerin tasarımının karmaşıklaşmasına neden olan en önemli etken cephenin değişen kullanıcı ihtiyaçları ve çevre koşullarına uyum sağlayacak performans değişimini sağlama zorunluluğudur (Loonen, 2010). Cephenin etkileşim halinde olduğu koşullar ve buna bağlı performans ihtiyaçları çoğu zaman rekabet, hatta çelişki içermektedir. Tepki veren cephe performansı projeye ve içeriğe bağlı olduğundan, bunu evrensel kurallar veya derecelendirme şemalarıyla sağlamak uygulanabilir bir çözüm olarak kabul edilmemektedir (Loonen ve diğ, 2013). Bununla birlikte tepki veren cephelerin uygulanabilir bir alternatif olarak kabul görmesi için verimliliğinin ve kârlılığının performansı üzerinden kanıtlanması gerekmektedir. Tepki veren cephe performansının değişim aralığı, bu değişimin nasıl sağlanacağı ve kontrol edileceği açık bir şekilde tanımlanmalıdır. Bu bağlamda performans belirleme ve değerlendirme işlemi tepki veren cephe tasarımının her aşamasında önemli bir görev adımı olarak tanımlanmaktadır (Ramy, 2018).

Tepki veren cephe sistemlerinin ihtiyaçlarının, performans kriterlerinin ve niteliksel teknik özelliklerinin değerlendirilmesini düzenlemek için temel performans göstergelerinin (*key performance indicators*) kullanılması önerilmiştir (Attia ve diğ, 2018). Tasarım hedeflerinde tanımlanan temel performans göstergeleri, bir elemanın, aktivitenin ya da sürecin performansını değerlendirmek için kullanılan ölçülebilir kriterlerdir (Favoino ve diğ, 2018). Her bir temel performans göstergesinin nicel değerlendirme ve karşılaştırma sağlayan kendine ait bir ölçü birimi ve ölçeği bulunmaktadır. Temel performans göstergesi incelenmekte olan sistemin tek bir özel karakteristiğini temsil etmelidir. Bu özellik, teknolojinin ana özelliklerini ve sistemin bu açıdan ne kadar iyi performans gösterdiğini kolayca belirlemeye yardımcı

olduğundan, belirli teknolojiler hakkında karar alınırken yarar ve kolaylık sağlamaktadır (Favoino ve diğ, 2018). Tepki veren cephelerin performans değerlendirmesinde kullanılan temel performans göstergeleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7: Tepki veren cephe temel performans göstergeleri (Attia ve diğ, 2018).

Onarım, dayanıklılık ve yaşam döngüsü	Ürün iadesi ve evrensel garanti
	Cephe malzemesi dayanıklılığı/ görünümü
	Cephe temizliği
	Cephe elemanı yenileme
	Cephe işletim onarımı
Kullanıcı kontrolü ve deneyimi	Görev ve komut kontrolü
	Eylem geribildirimi
	Konfor isteği ve algısı
	Hata ve memnuniyetsizlik geri bildirimi
Yapı kontrolü ve servisler	Görsel konfor / Akustik konfor
	Termal konfor / Havalandırma konforu
	Bina yönetim sistemi etkileşimi
	HVAC etkileşimi
Koruyucu performans	Strüktürel performans
	Görsel ve akustik performans
	Su ve hava geçirmezlik
	Termal direnç ve yangın direnci
	Işınım özellikleri
Enerji ve çevresel performans	Soğutma ve ısıtma yükleri
	Depolama
	Gömülü enerji ve karbon
	Enerji tüketimi

Al Bahr Kuleleri'nin cephe tasarım sürecinde yer alan ve süreci inceleyen Karanouh ve Kerber (2015), tepki veren cephe tasarım sürecinde aşağıda sıralanan konuları dikkate almanın önemini vurgulamıştır.

- Kinetik özellik geometrisinin algoritmalarını tanımlamak ve bunları cephe davranışına bağlamak için oluşturulan kod tasarımı.
- Performansın doğrulanmasını sağlamak için zamana bağlı simülasyon çalışmaları.
- Üretim test modelinin üretilmesi ve cephenin şantiye montajından önce şantiyede değerlendirilmesi (Yapı cephesinin bir bölümüne monte edilen tam entegre bir cephe birimi, kod ilkelerinin uygulandığını göstermektedir).

Yapılan literatür araştırması ve yukarıda açıklanan tasarım farklılıkları bağlamında, tepki veren cephe ve genel cephe tasarım süreçleri arasındaki en önemli farklılığın cephenin operasyonel performansının doğrulanması için farklı uzmanlık alanlarından ekip üyelerinin katılımı ile gerçekleştirilen tasarım ve değerlendirme görevleri

olduğu belirlenmiştir. Tepki veren cephe performansının tanımlanması ve değerlendirilmesi ile ilgili tasarım aşamalarında gerçekleştirilen görevler aşağıda sıralanmaktadır.

- **Fikir projesi (ön talimatlar):** Tasarımın mukayese standardı kabul edilen performans modeli oluşturulur. Tasarım ekibi üyeleri bundan sonraki görevlerin sonuçlarını cephe performans modeline göre incelemeli ve değerlendirmelidir.
- **Ön proje tasarımı (konsept ve şematik tasarım):** Gelişmiş yapı modelleme teknolojileri (BIM vb.), logaritmalar, parametrik tasarım, kodlama, JAVA (programlama dili) gibi teknolojiler kullanılarak cephe modeli oluşturma çalışmaları başlar; cephe performansı bu modeller üzerinden simülasyon yöntemleriyle değerlendirilir.
- **Kesin proje ve uygulama projesi (tasarımın geliştirilmesi ve yapım dokümanlarının hazırlanması):** Cephe biriminin ya da sisteminin test modeli oluşturularak performansı değerlendirilir. Bu deneysel değerlendirme prosedürü üç ana araç vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir: tam boyutlu dış mekân araçları, laboratuvar iç mekân araçları, dış mekân test hücreleri (Favoino ve diğ, 2018). Bununla birlikte COST Action 1403 Çalışma Grubu 2, tepki veren cephe bileşenlerinin temel performanslarını değerlendirmek için bir test araçları haritalandırması önermiştir. Çalışma Grubu 2 içinde yapılan anket çalışması sonucunda bu haritalandırma için 3 temel konu belirlenmiştir (Favoino ve diğ, 2018):
    - Strüktür (Strüktür, yangın ve güvenlik performansı)
    - Yapı fiziği (termal, akustik, görsel ve enerji performansı)
    - Yerinde denetleme

Genel olarak incelendiğinde tepki veren cephe tasarımı dinamik ve yinelemeli bir süreçtir. Özel üretim yaklaşımının getirdiği performans belirleme ve değerlendirme sorunları, standart sistemlerin piyasaya sunulmasıyla giderildiğinde tasarım sürecinde de yalınlaşma olacağı öngörülmektedir.

5. TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: MODEL GELİŞTİRME YÖNTEMİ

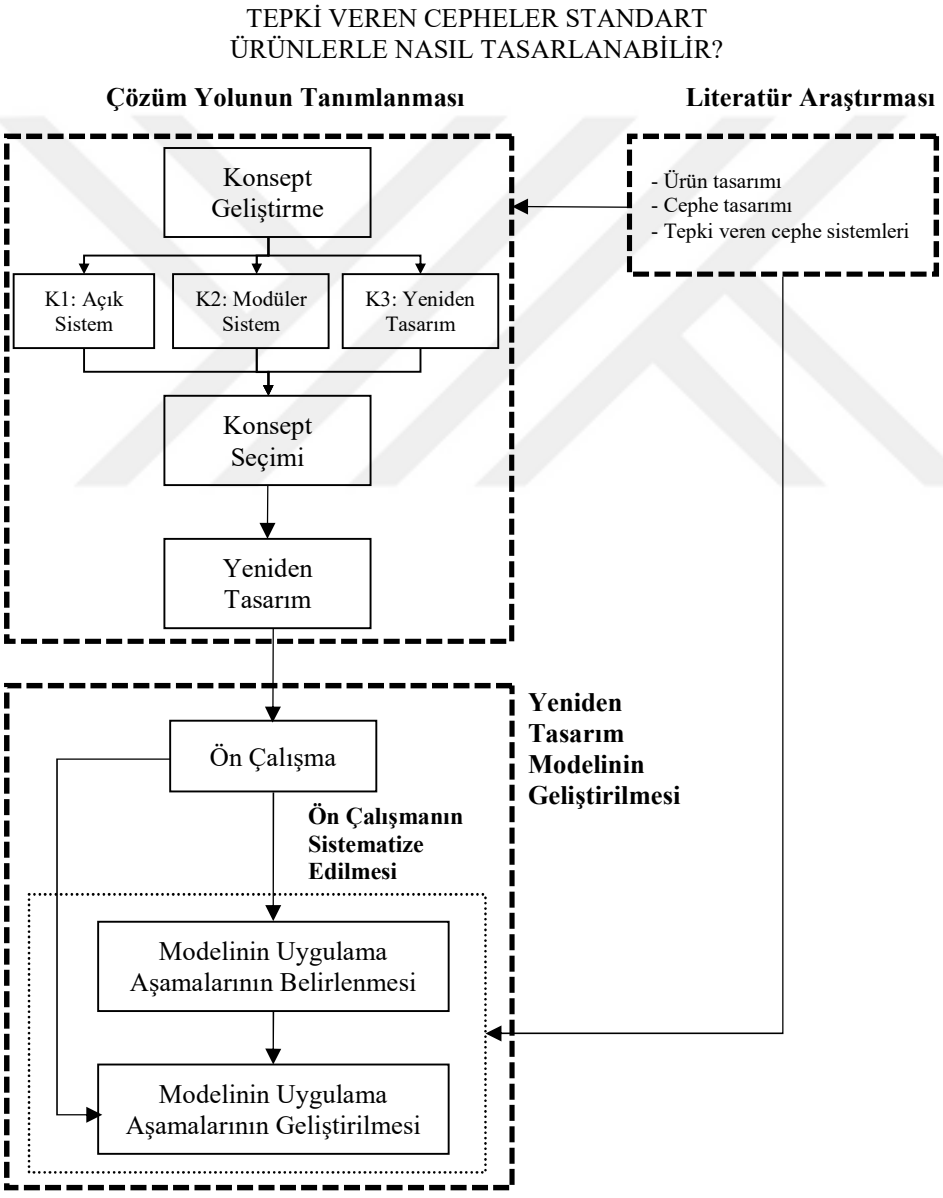
Bu çalışmanın temel amacı tepki veren cephelerin tasarımı ve üretimini sadeleştirmek ve standartlaştırmak amacıyla standart ürünlerle tasarlanmasını sağlamaktır. Dolayısıyla ele alınan konu bir tasarım problemi olmuştur. Tasarım problemlerinin bir özelliği, potansiyel olarak kabul edilebilir, alternatif çözümlerinin olmasıdır. Bir tasarım problemi açıkça formüle edilmiş ve tanımlanmış olsa bile, çoğu zaman tek bir "doğru" çözümü olmamakta, bu özelliğiyle de açık uçlu (*open ended*) bir problem olarak tanımlanmaktadır (Wenngren ve diğ, 2016). Bu bağlamda tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı problemi de açık uçlu bir tasarım problemi kabul edilmiştir. Burada sorun, çalışmanın olanakları ve kısıtlamalarına bağlı olarak "en iyi" çözümü tanımlayarak onu geliştirmektir. Bu durum cevaplanması gereken bir dizi önemli soruyu gündeme getirmektedir (Dandy ve diğ, 2018):

- Doğru tek bir çözüm olmayacaksa açık uçlu bir problem nasıl çözebilir?
- Açık uçlu bir problem için alternatif çözümler nasıl tanımlanır?
- Açık uçlu bir probleme "iyi" bir çözüm bulunduğu nasıl anlaşılır?

Bu bölümde öncelikle açık uçlu tasarım problemlerinin çözümü için büyük önem taşıyan yukarıdaki sorulara cevap aranmıştır. Bu bağlamda tepki veren cephelerde standart ürünlerle tasarım probleminin çözümü için olası çözüm yolları, konsept çözümler, belirlenen alt tasarım problemleri bağlamında literatür araştırmasından elde edilen tasarım değişkenleri üzerinden tanımlanmıştır. Geliştirilen bu konsept çözümler, çalışmanın hedefleri ve kısıtlamaları bağlamında belirlenen seçim kriterlerine göre değerlendirilmiş ve yeniden tasarım konsepti geliştirilmek üzere seçilmiştir.

Yeniden tasarım konseptinin yeniden tasarım modeli olarak geliştirilmesi aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle herhangi bir sistematik tasarım yöntemi

kullanılmadan bir ön yeniden tasarım çalışması yapılmış; tasarım süreci tasarım günlüğü yöntemiyle kayıt altına alınmıştır. Bu ön çalışma, yeniden tasarım sürecinde karşılaşılan zorluklar ve geliştirilmesi gereken faaliyetler ile elde edilen yeni sistemin performansı ve üretim kolaylığı bağlamında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, ürün, cephe ve tepki veren cephe tasarımı literatür araştırmalarından elde edilen verilerle sentezlenerek yeniden tasarım modelinin aşamaları ve bu aşamalarda gerçekleştirilecek faaliyetler belirlenmiştir. Bu bölümün şematik açıklaması Şekil 5.1'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.



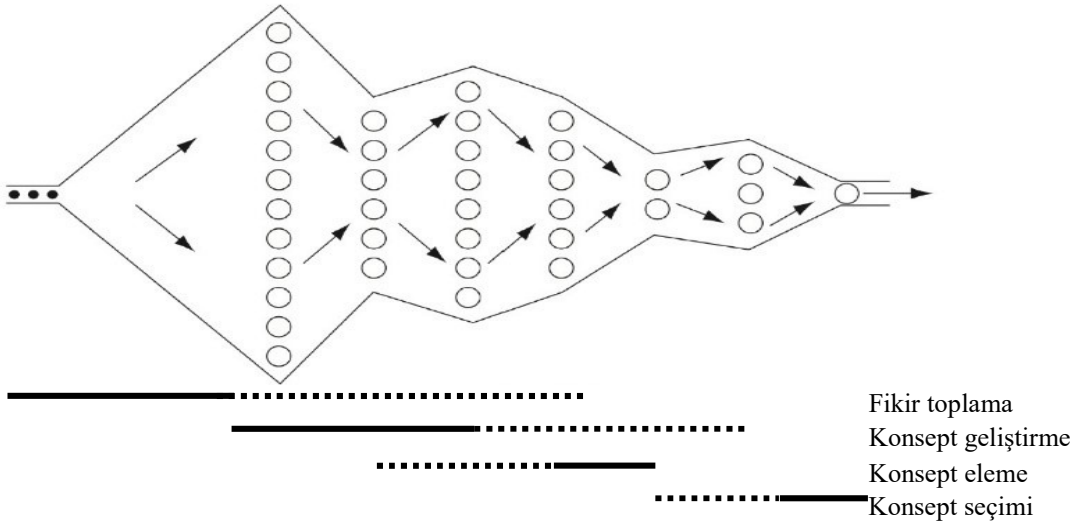
Şekil 5.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı model geliştirme çalışmasının strüktürü.

5.1 Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Tasarımı Probleminin Çözüm Yolunun Tanımlanması

Bu çalışmada ele alınan, tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı problemi pek çok olası çözüme sahip olduğundan açık uçlu bir tasarım problemi olarak kabul edilmiştir. Açık uçlu bir problemle karşılaşıldığında, ilk başta belirli bir çözüm üzerine yoğunlaşmak yerine, mümkün olduğu kadar çok, farklı çözüm incelemek, en iyi çözüm fırsatını belirlemek adına doğru bir yaklaşım olarak kabul görmektedir. Bu bağlamda ilk önce konsept çözüm önerileri geliştirilmektedir. Konsept geliştirmenin amacı, yeni fikir ve öngörüleri araştırarak, sorunun çözümünde hangi stratejilerin kullanılabileceğini belirlemek; bunlar üzerinde teorik analizler yaparak çalışma prensipleri ile ilgili bilgi edinmektir (Perino ve Serra, 2015). Bu aşamada problemi çözmek için neler yapılabileceği sorusuna, nasıl yapılacağı konusu irdelenmeden, bir cevap verilmektedir.

Bu aşama problem çözümünde en çok belirsizlik içeren aşamadır. Çünkü henüz tüm ihtiyaçlar bilinmemektedir, tüm tasarım kriterleri belirlenemez, kısmi bir çözümün genel çözüm veya diğer kısmi çözümlere etkisi tam olarak anlaşılmamıştır (Pahl ve diğ, 1996). Bu nedenle konsept geliştirme yaratıcılık gerektiren bir aşamadır. Fikirler ve çözümler farklı teknikler kullanılarak üretilebilir (bk. Bölüm 2.3.1). Alternatif çözümler veya tasarım kavramları üretmek, yaratıcılığın, stimülasyon yöntemlerinin, niteliksel akıl yürütmenin, fiziksel prensiplerin, bilgiyi bulma ve kullanma becerisinin kullanılmasını içerir. İyi tanımlanmış alternatif çözümler üretme yeteneği, başarılı bir çözümün geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Deneyim bu aşamada büyük ölçüde yardımcı olmaktadır (Pahl ve diğ, 1996).

Konsept geliştirme aşamasında çeşitli olası çözümler tanımlanarak bir çözüm uzayı oluşturulur; sonra çözüm geliştirilmek üzere tek bir konsepte indirgenir (Şekil 5.2). Bunun için öncelikle ulaşılmak istenen çözüm hedefleri bağlamında konsept seçim kriterleri belirlenir. Konseptler bir sistematik değerlendirme yöntemi kullanılarak bu kriterlere göre değerlendirilir ve en iyi değerlendirmeye sahip konsept, problem çözüm yolu olarak tanımlanır. Bu işlem bazen fizibilite çalışması olarak da anılmaktadır. Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yolunun tanımlanmasında kullanılan yöntem Şekil Ç.1'de, yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

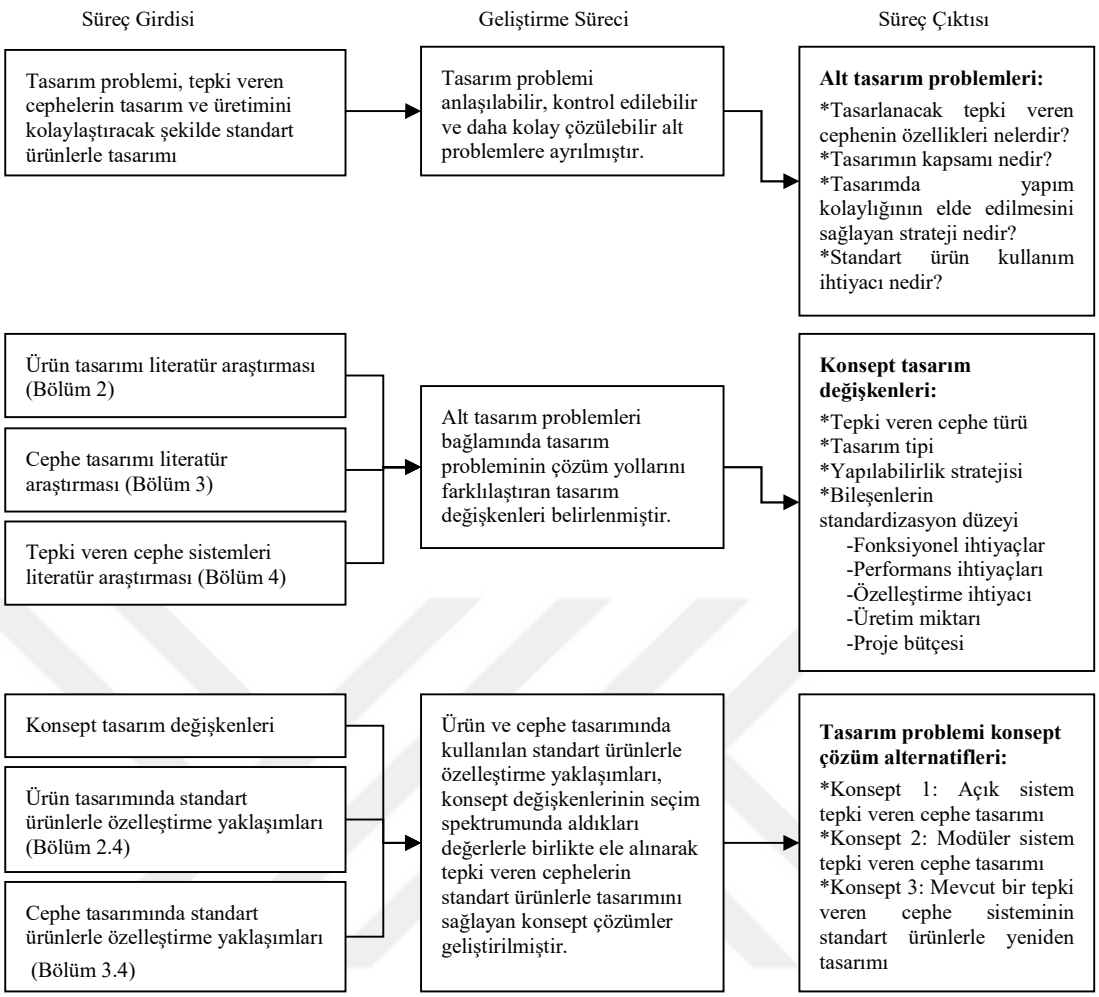


Şekil 5.2: Konsept çözüm uzayının oluşturulması ve konsept seçimi süreci (Uyarlama, Ulrich ve Eppinger, 2012).

5.1.1 Konsept geliştirme

Konsept geliştirme ya da fikir üretimi, problemin tanımlanması ile başlayan ve tasarım ekibinin seçimine sunulan çeşitli konseptlerin geliştirilmesiyle tamamlanan bir süreçtir. Bu çalışma kapsamında tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarını tanımlayacak konseptlerin geliştirilmesinde kullanılan yöntem Şekil 5.3'te gösterilmektedir.

Konsept geliştirme aşamasında ilk yapılması gereken tasarım probleminin yani hedeflenen durumun olabildiğince açık ve net olarak tekrar tanımlanmasıdır. Problemi, anlaşılabilir, kontrol edilebilir ve daha kolay çözülebilir pek çok alt probleme ayırmak gerekebilir (Kamrani ve Salhieh, 2002). Bazı durumlarda istenen hedef durumu tanımlamak çok zor olabilmektedir. Tasarım ihtiyaçları kuvvetli bir şekilde ifade edilse bile bu ifadenin her zaman kesin ve açık olduğu söylenemez (Cross, 2005). Diğer yandan alışılmadık ama umut vaad eden çözümlerin kapsam dışında kalmasını önlemek için problemin aşırı keskin ifadeler yerine genel ifadeler ile tanımlanması da önerilmektedir (Dandy ve diğ, 2018). Bu bağlamda, Meinel ve Leifer (2012) radikal inovasyona olanak sağlamak için fikir ve konsept üretiminin ilk aşamalarında problemi "açık" tutmayı ya da çözümü mümkün olduğunca geniş bir alana yaymayı önermektedir. Bu çalışmada tasarım problemi en geniş kapsamlı haliyle, tepki veren cephelerin tasarımı ve üretimini kolaylaştıracak şekilde standart ürünlerle tasarlanması, şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 5.3: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarını tanımlayan konseptlerin geliştirilmesinde kullanılan yöntemin şematik açıklaması.

Konsept geliştirme aşaması, problemin daha açık bir şekilde ifade edilmesini sağlamak ve farklı çözüm yollarını belirlemek amacıyla konsept değişkenlerinin tanımlanmasıyla devam eder. Tasarım problemi bağlamında çözüm yolunu etkileyebilecek tüm parametreler, konsept değişkeni olarak tanımlanabilmektedir. Konsept değişkenlerini alt tasarım problemleri olarak düşünmek de mümkündür. Konsept değişkenlerinin sistematik sunumu iki açıdan yararlıdır. Bir yandan, alt tasarım problemleriyle belirlenen çeşitli konularda daha fazla çözüm arayışını uyarırken, diğer yandan temel çözüm özelliklerinin tanımlanmasını ve kombinasyonunu kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada konsept değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı problemi aşağıda sıralanan alt tasarım problemlerine ayrıştırılmıştır:

- Tasarlanacak tepki veren cephenin özellikleri nelerdir?
- Tasarımın kapsamı nedir?
- Tasarımda yapım kolaylığının elde edilmesini sağlayan strateji nedir?
- Standart ürün kullanım ihtiyacı nedir?

Yukarıda sıralanan alt tasarım problemlerinin çözüm kümelerinin belirlenmesi için cephe ve ürün tasarımında, tasarım çözümlerinin hangi kriterler bağlamında çeşitlendiği literatür araştırmasıyla incelenmiştir. Emmitt ve diğ. (2004) bütçe, fonksiyonellik, estetik, yapılabilirlik ve zaman kriterlerini mimari tasarımda kalite döngüsü olarak tanımlamış; müşteri ve tasarımcıların ilgi alanındaki konsept gelişimine öncülük eden kriterler olduklarını belirtmiştir. Ayrıca, ürün tasarımında kullanılan, Bölüm 2.4'te açıklanan, standart ürünlerle özelleştirme stratejilerinin geliştirilmesinde ve birbirinden farklılaşmasında etkili olan kriterler de tasarımda standart ürün kullanım ihtiyacı bağlamında incelenmiş ve konsept değişkenleri olarak ele alınmıştır. Bu araştırmalar sonucunda alt tasarım problemlerinin çözüm kümelerini tanımlayan, aşağıda sıralanan konsept değişkenleri belirlenmiştir.

- **Tepki veren cephenin türü:** Tepki veren cephe sistemlerinin kapsamı çok geniş olduğundan geliştirilecek konseptin hangi özelliklere sahip tepki veren cephe sistemi türünü temsil edeceğini belirlemek kapsamı tanımlamak adına önemlidir. Tepki veren cepheler Bölüm 4.3'te yer alan sınıflandırma sisteminde tanımlanan kriterlere bağlı olarak alt türlere ayrılmaktadır. En genel tepki veren cephe sistemi ayrımı tepki faktörüne verilen karşılığa bağlı olarak yapılmakta ve bu çalışma kapsamında sadece dinamik tepki veren cepheler incelenmektedir. Bunun haricinde, tepki veren bileşenler, mekânsal morfoloji, tepki faktörü, aktüatör tipi ve tepkinin etkisi kriterleri de tepki veren cephenin türünü belirleyen, konsept gelişiminde etkili kriterlerdir.
- **Tasarım tipi:** Ürün tasarımında, tasarım için gereken çabanın kapsamına ve ürünün tasarlanmasında yapılan değişiklikler ile sağlanan yeniliğe göre tasarım tipleri belirlenmiştir. Bu farklı tasarım tipleri Bölüm 2.1'de tanıtılmaktadır. Ürün tasarımı gibi tepki veren cephe tasarımı da tasarımın

kapsamı, yöntemi ve süreçleri gibi değişkenlere bağlı olarak farklılaşmaktadır. Farklı tasarım tiplerini kapsayacak şekilde hazırlanan bir tasarım yöntemi soyut bir yöntem olarak kalacak ve tasarıma hedeflenen gerçek katkıyı sağlayamayacaktır. Bu nedenle ürün tasarımı tipleri tepki veren cephelerin tasarım uzayında yer alan alt tasarım tipleri olarak kabul edilmiştir (Çizelge 5.1). Bu tiplerin kabulü, tepki veren cephe tasarımının yöntem açısından mevcut ürün tasarımı tipleriyle gerçekleştirilebilmesi olasılığı göz önüne alınarak yapılmıştır.

Çizelge 5.1: Tepki veren cephelerin alt tasarım tipleri olarak kabul edilen ürün tasarım tipleri.

TEPKİ VEREN CEPHE TASARIM TİPLERİ			
Özgün tasarım			
Uyarlama tasarım			
Değişimli tasarım			
Seçme tasarım			
Konfigürasyon tasarım			
Endüstriyel tasarım			
Rutin tasarım			
Yeniden tasarım	Özgün yeniden tasarım	Parametrik yeniden tasarım	Uyarlama yeniden tasarım

Tasarlanan ürünün karmaşıklık düzeyine bağlı olarak tepki veren cephe tasarımında, tasarım tiplerinden birkaçının birleşimi ile tasarım yapılması da mümkün olabilir. Ayrıca, günümüzde var olmayan, ileride geliştirilebilecek farklı yaklaşımlarla da tepki veren cephe tasarımı yapılabileceği için bu tasarım tiplerinin zamanla artabileceği düşünülmelidir.

- **Yapılabilirliğin arttırılmasında kullanılacak strateji:** Yapılabilirlik mimari tasarımda yapım kolaylığının elde edilmesini amacıyla geliştirilen bir yaklaşımdır. 1960'ların başlarında, tasarım ve yapım süreci arasındaki bölünmenin, inşaat endüstrisindeki verimsizlikte payı olduğu kabul edilmiştir. Tasarım ve yapımın birbirinden ayrışmasının getirdiği olumsuz etkilerle ilgili olarak İngiltere'de yürütülen çalışmalar sonucunda yapılabilirlik anlamındaki "*buildability*" kavramı ortaya koyulmuştur (Emmerson, 1962; Higgin ve Jessop, 1963; Banwell, 1964). İngiliz Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1983), yapılabilirliğin (*buildability*)

tanımını şu şekilde yayınlamıştır: Yapılabilirlik, yapımı kolaylaştırıcı tasarımın, bütün bina gereksinimlerini kapsamasıdır.

Bunu takiben 1980'li yıllarda Amerika'da yine yapılabilirlik anlamındaki "*constructability*" kavramı ortaya çıkmıştır. Construction Industry Institute (CII) (1986) bu kavramı "genel proje hedeflerine ulaşmak için planlama, tasarım, tedarik ve saha operasyonlarında inşaat bilgisinin ve deneyimin optimum kullanımı" şeklinde tanımlanmıştır.

McGeorge ve Palmer (1997) yapılabilirliği, inşaat sektörü için inşaat endüstrisi tarafından tasarlanan ve geliştirilen, tek yönetim konsepti olarak tanımlamıştır. Yapılabilirlik kavramının projelerde uygulanmasının zaman, maliyet, kalite, iletişim, üretkenlik, risk yönetimi, güvenlik ve soyut kârlar açısından yarar sağladığı belirlenmiştir (Gibson ve diğ, 1996; Wong ve diğ, 2006; Wong ve diğ, 2007; Tama, 2009; Osipova ve Eriksson, 2011; Othman, 2011; Khan, 2015).

Zolfagharian ve Irizarry (2017) projelerde yapılabilirlik yaklaşımının nitel veya nicel olarak temsil edilebileceğini belirtmiştir. Uzmanların bilgi ve deneyimlerinden yararlanılarak geliştirilen kılavuzlar, konseptler, faktörler, kriterler ve prensipler yapılabilirlik bilgisinin nitel temsilcileridir. Yapılabilirlik kavramı farklı ekollerden gelişen yaklaşımlarda farklı tanımlandığı gibi, yapılabilirliğin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılan nitel temsilciler de farklılaşmaktadır. Aslında yapılabilirlik bilgisinin sınıflandırılması, birçok kaynakta aynı temellere dayanmaktadır; fakat kullanım alanlarına ve kapsamlarına göre bazı farklılıklar içermektedir. Yapılabilirlik bilgisinin nitel temsilcileri literatürden derlenerek EK D'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılabilirlik bilgisinin nitel temsilcileri yapılabilirlik kriterleri olarak adlandırılmaktadır. Cephe tasarımında sistemi oluşturan yapı ürünlerinin seçimi detay tasarımı aşamasında tamamlandığından, bu aşamada kullanılabilecek yapılabilirlik kriterleri tanımlanmıştır (Çizelge 5.2). Her bir yapılabilirlik kriterinin iyileştirilmesinde uygulanabilecek farklı yöntemler bulunmaktadır. Standart ürünler kullanarak tasarım tepki veren cephelerin tasarım ve üretimini kolaylaştırmak dolayısıyla yapılabilirliğini arttırmak için kullanılabilecek stratejilerden sadece bir tanesidir. Standart ürün kullanımının yanında yapılabilirlik kriterlerinden bir ya da birden çoğu kombine edilerek

yapılabilirliğin arttırılmasında yeni stratejiler geliştirilebilir. Bu nedenle yapılabilirliğin arttırılmasında kullanılacak strateji standart ürünlerle tasarım yollarını çeşitlendirmektedir.

Çizelge 5.2: Konsept değişkeni olarak kullanılan cephe tasarımının detay aşamasında etkili yapılabilirlik kriterleri.

Ana Yapılabilirlik Kriteri	Alt Kriterler
Sadeleştirme	Az sayıda bileşen/parça kullanma Malzemeyi temel boyut ve şeklinde (standart ürün) kullanma İşlenmesi kolay, kalifiye işçilik gerektirmeyen imalat yapma Ölçüsel ayarların sahada kolayca yapılabildiği imalat yapma Mimari işler ile servis sistemleri arasındaki imalat yükünü azaltma
Standartlaştırma	Malzeme tiplerinin standartlaştırılması Detayların standartlaştırılması Boyutların standartlaştırılması
Boyutsal Tolerans	Farklı malzeme birleşimlerinde toleranslar Aynı malzeme birleşimlerinde toleranslar
Endüstrileşmiş Yapım Tekniklerinin Kullanımı	Ön montajın kullanımı
Yapım Aşamalarının Tanımlanması	Aşamalı detaylandırmanın yapılması
Yapım İçin Ulaşılabilirliğin Sağlanması	
Taşınabilir Parçaların Kullanımı	
Kolay Bulunabilir Malzemelerin Kullanılması	
Geliştirilmiş Detayların Kullanımı	Çakışmayan sistemler oluşturma Birleşimlerin üst üste getirilerek yapılması Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı Uç uca birleşimlerin bozulmalara karşı dirençli olması Köşe ve kenar bitişlerinin korunması (kırılma ve güvenlik) Geliştirilmiş bitişler (tamir edilebilir yüzey oluşturma)
Sistemler Entegrasyonu	Yapı elemanı, taşıyıcı sistem ve servis sistemlerini bütünleşik tasarım yapma

- **Bileşenlerin standardizasyon düzeyi:** Tasarım hedefleri ve kaynaklara bağlı olarak sistem içinde kullanılması öngörülen standart ürün oranı değişiklik göstermektedir. Ürün ve cephe tasarımı literatür araştırmaları sonucunda tasarımda özelleştirme yaklaşımlarının çeşitlenmesinde, proje bazında standart ürün kullanımında ve bileşenlerin standardizasyon düzeyinin belirlenmesinde etkili aşağıdaki kriterler belirlenmiştir:
    - **Fonksiyonel ihtiyaçlar:** Cephe sisteminin karşılaması gereken fonksiyon miktarı arttıkça, ürün mimarisi karmaşıklaşmaktadır. Standart cephe sistemlerinde tanımlı fonksiyonların projenin fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılayamadığı durumlarda sistemde ihtiyaç duyulan özel ürün sayısı artmaktadır.
    - **Performans ihtiyaçları:** Cephe sistemi üreticileri tarafından geliştirilen standart sistemler tanımlı fonksiyonlar üzerinden tanımlı performans özellikleri göstermektedir. Her ne kadar bazı durumlarda

standart ürünlerin konfigürasyonu ile yüksek performanslı çözümler elde etmek mümkün olsa da bu ideal durum her zaman sağlanamamaktadır. Bu nedenle cephe sisteminden beklenen performansın niteliği ve niceliğinin artması özel çözümlere duyulan ihtiyacı arttırabilmektedir.

- **Özelleştirme ihtiyacı:** Projeye bağlı özelleştirme talebi arttıkça, özel üretim yapı ürünlerinin kullanılması daha gerekli hale gelmektedir. Bu durumda cephe sistemi, standardizasyon miktarı ile özel üretim yapı ürünleri arasındaki değişime bağlı olarak şekillenmektedir.
- **Üretim miktarı:** Birbiriyle eş cephe sistemlerinin üretim miktarı arttıkça, bu sistemlerin geliştirilmesinde kullanılan özel üretim ürünlerin maliyetleri de azalmaktadır. Özel ürünlerin mali olarak daha erişilebilir olması bileşen standardizasyonu ihtiyacını azaltır. Bu nedenle geliştirilen cephe sisteminin üretim miktarının belirlenmesi önem kazanmaktadır.
- **Proje bütçesi:** Özel ürünlerin üretilmesi neredeyse her zaman standart ürünlerden daha yüksek maliyetle gerçekleşmektedir. Bu nedenle düşük bütçeli projelerde standart ürünlerin kullanımının arttırılması hedeflenmektedir.

Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm kümesini tanımlayan konsept değişkenlerinin şematik gösterimi Şekil E.1'de verilmiştir. Konsept çözümlerin geliştirilmesi konsept değişkenlerinin seçim spektrumunda aldıkları değerlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Konsept geliştirme aşamasında konsept değişkenlerinin ne kadar çoğu tanımlanırsa çözüm o kadar özelleşmektedir. Aynı şekilde daha genel çözümlere ulaşabilmek adına bazı değişkenler göz ardı edilerek de konsept çözümlere ulaşılabilir. Bu bağlamda yukarıda tanımlanan değişkenler haricinde çözüm yolunun tanımlanmasında etkili başka değişkenlerin de olabileceği ve değişken sayısının daha da arttırılabileceği göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışma kapsamında ürün ve cephe tasarımında kullanılan standart ürünlerle özelleştirme yaklaşımları, konsept değişkenlerinin seçim spektrumunda aldıkları değerlerle birlikte ele alınarak tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımını sağlayan üç adet konsept çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen konseptler iki ana

güzergâh üzerinde şekillenmiştir. Öncelikle ürün ve cephe tasarımında ürün mimarisi farklılaşmasıyla elde edilen standart ürünlerle özelleştirme yaklaşımlarının, yeni tepki veren cephe sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılması öngörülmüştür. Bu yaklaşımla çözüm yolu olarak Konsept 1 açık ürün mimarisine ve Konsept 2 ise modüler ürün mimarisine sahip yeni birer tepki veren cephe sisteminin geliştirilmesini önermektedir. Çözüm yolunun şekillendiği diğer güzergâhta ise mevcut tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı sorgulanmıştır. Böylece tepki veren cephelerin tasarımını zorlaştıran en önemli etkenlerden olan performans tahmini sorununun, performansı tanımlı sistemlerin yeniden düzenlenmesi üzerinden giderilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda mevcut tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı Konsept 3 olarak belirlenmiştir. Geliştirilen bu konsept çözümler konsept değişkenleri bağlamında belirlenen özelliklerine göre aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

5.1.1.1 Konsept 1: Açık sistem tepki veren cephe tasarımı

Staib ve diğ. (2008) modern yapı sistemlerinin açık veya kapalı sistemler olarak tasarlanabileceğini ortaya koymuştur. Açık sistem tasarımı, ürün tasarımında standart ürünlerle özelleştirmeyi sağlayan stratejilerden biridir. Açık bir sistem, fonksiyonlarını proje ihtiyaçlarına tam olarak uyarlayabilmek için farklı kaynaklardan gelen modüllerin entegrasyonunu sağlayan bir platforma sahiptir. Bu sistemlerin en büyük avantajı farklı üreticilerin ürünlerini kullanma imkânı sunmasıdır. Açık ürün mimarisine sahip sistemlerin özellikleri Bölüm 2.4.2'de açıklanmıştır. Bu konseptin konsept değişkenlerine bağlı şematik gösterimi ise Şekil E.2'de verilmiştir.

Çalışmanın kapsamı bağlamında tepki veren cephe türü tepki faktörüne dinamik karşılık veren cepheleri kapsamaktadır. Bunun haricinde geliştirilecek platform ve modüller bağlamında üretilebilecek tepki veren cephelerin türü çeşitlenebilir. Daha önce açık sistem olarak tasarlanmış bir tepki veren cephe mevcut olmadığından tasarım tipi özgün tasarımdır. Açık sistem geliştirildikten sonra tepki veren cephe tasarımı ve üretimi daha önceden tüm detayları ve birleşimleriyle tanımlanmış, performansı değerlendirilmiş, fabrikada üretilmiş platform ve modüller üzerinden gerçekleştirileceğinden yapılabilirliğin arttırılmasında; standartlaştırma, boyutsal tolerans, endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı, geliştirilmiş detayların

kullanımı, yapım aşamalarının tanımlanması, yapım için ulaşılabilirliğin sağlanması, taşınabilir parçaların kullanımı kriterlerinin birlikte iyileştirileceği bir strateji geliştirilmiş olacaktır. Bu bakımdan sistemin yapılabilirliğinin oldukça yüksek olacağı öngörülmektedir.

Açık sistem platformu, farklı fonksiyonlara sahip modüllerin entegrasyonuna olanak sağlayacak, iyi tanımlanmış çok sayıda modül arayüzlerine sahip olacaktır. Sistem özelliklerini değiştirmek için modüller orijinal strüktüre eklenebilecek veya değiştirilebilecek şekilde tasarlanacaktır. Bu özelliğiyle fonksiyonel ihtiyaçlara yüksek oranda cevap verebilmektedir. Bununla birlikte, her ne kadar çok fonksiyonel bir sistem geliştirilmiş olsa da sistemin performans özellikleri proje bağlamında belirleneceğinden değişiklik gösterebilecektir.

Platform arayüzleri tanımlandıktan, standartlar ve açıklamalar yayınlandıktan sonra, farklı üreticiler tarafından platforma entegre olacak ve yeni özellikler oluşturacak pek çok yenilikçi modül tasarımı yapılabilecektir. Kullanılabilecek modüllerin çeşitliliği özelleştirme ihtiyacı yüksek olan projelere uyum sağlamayı kolaylaştıracaktır; yani sistemin standart modüllerle özelleşme imkânı fazladır. Ayrıca özelleşme ihtiyacına uygun yeni modüllerin tasarlanması da mümkündür. Diğer yandan, yeni bir sistemin geliştirilmesi ve modüllerin tasarlanıp standart olarak üretilebilmesi için yüksek bir üretim ihtiyacının doğması gerekmektedir. Bu bağlamda üretim miktarının fazla olacağı öngörülmeden yeni bir sistem tasarımı yapmak uygun olmayacaktır.

Tamamen standart modüllerden üretilmiş bir tepki veren cephenin maliyetinin de düşük olması beklenir. Fakat projeye bağlı özelleşmenin özel modüllerle sağlandığı uygulamalarda maliyet artmaktadır. Yani bu sistem hem düşük hem de yüksek bütçeli projeler tarafından kullanılabilecektir.

Açık sistemli tepki veren cephelerde farklı üreticiler tarafından pek çok standart modül tasarlanabileceğinden, farklı proje ihtiyaçlarının bu modüller üzerinden sağlanmasıyla yüksek bileşen standardizasyonuna erişilmesi kolay olacaktır. Bununla birlikte fonksiyon, performans ve özelleştirme ihtiyaçları, üretim miktarı ve proje bütçesi kriterlerine bağlı olarak açık sistem platformuna entegre edilecek özel modüllerin kullanımı ve geliştirilmesine de olanak sağlanmaktadır.

Açık sistem tepki veren cepheler konsept değişkenleri bakımından değerlendirildiğinde teorik olarak ideale yakın bir konsept çözümü olduğu öngörülmektedir. Fakat bu konseptin sistem düzeyinde geliştirilmesinde etkili pek çok değişken, tanımlanması gereken pek çok tasarım problemi bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi sistemin açıklık derecesine karar vermektir. Gerçek sistemler incelendiğinde tamamen "açık" bir sistemin mümkün olmadığı, daha çok bir kademelenmenin söz konusu olduğu belirlenmiştir. Sistemin açıklık derecesinin artması, daha geniş bir inovasyon ve özelleşme olasılığı barındırmakla birlikte kullanım ömrü boyunca risk oluşturabilecek bazı tasarım zaaflarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle mimari tasarımda açık sistem yaklaşımı bulunmakla birlikte yaygın olarak kullanılmamaktadır.

5.1.1.2 Konsept 2: Modüler sistem tepki veren cephe tasarımı

Ürün tasarımında standart ürünlerle özelleştirmeyi sağlayan stratejilerden bir diğeri de ürünlerin modüler sistemler olarak tasarlanmasıdır. Modüler sistem yaklaşımı mimaride de yaygın olarak kullanılmakta olan bir yaklaşımdır. Modüler bir yapı sisteminde, bir üretici belirli bir sayıda elemanı önceden tasarlar ve üretir, bu elemanlar önceden tanımlanmış bir dizi farklı yolla birleştirilerek tam sistemler halinde düzenlenirler (Staib ve diğ, 2008). Modüler yapı sistemlerinde modüller tek bir üretici tarafından üretildiğinden ve modüllerin kombinasyon varyasyonları belirli olduğundan bu sistemler kapalı sistemlerdir. İkinci konsept çözümde de hem mimari hem de ürün tasarımında kullanılan modüler sistemlerin tepki veren cephe tasarımına uyarlanması planlanmıştır. Bu konseptin konsept değişkenlerine bağlı şematik gösterimi Şekil E.3'te verilmiştir.

Literatürde tepki veren cephe modülleri geliştirilmesi konusunda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Mourtzouchou, 2018). Fakat bu konseptte yeni bir modüler sistem tasarımı önerildiğinden tasarım tipi özgün tasarım olacaktır. Bununla birlikte modüler sistemler açık sistemler olmadığından geliştirilecek sistemin çok daha tanımlı olması gerekmektedir. Başlangıç olarak tepki veren cephenin tepki faktörüne dinamik karşılık vereceği belirlenmiştir. Fakat geliştirilecek sistemin olası tepki veren bileşenlerinin, mekânsal morfolojisinin, tepki faktörlerinin, hareket tipinin, aktüatör tipinin ve tepkinin etkilerinin önceden belirlenmesi gerekmektedir.

Modüler sistemler ön üretimli modüllerden oluştuğundan, standartlaştırma, boyutsal tolerans, endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı, yapım aşamalarının tanımlanması, taşınabilir parçaların kullanımı ve geliştirilmiş detayların kullanımı kriterleri bağlamında yapılabilirliğin arttırılmasını desteklemektedir.

Modüler sistemlerde bileşenlerin standardizasyon düzeyi yüksektir. Aynı modülün birden fazla üründe kullanılması şeklinde gerçekleşen bileşen standardizasyonu görülmektedir. Geliştirilen sistemin projeye uyarlanması sürecinde fonksiyon, performans ve özelleştirme ihtiyacı, üretim miktarı ve proje bütçesine bağlı olarak özel modüllere ihtiyaç duyulabileceği ve standardizasyon oranının düşebileceği göz önüne alınmalıdır.

Bu konseptte de yeni bir sistemin geliştirilmesi söz konusu olduğundan öncelikle piyasa talebine bağlı olarak üretim miktarının yüksek olacağı kesinleştirilmelidir. Geliştirilen modüler sistem içinde tanımlanan farklı modüllerin sayısı, fonksiyon ve performans özellikleri ile sistemin modülerlik derecesi, farklı projelere uyarlanırlarken sağlanacak fonksiyon, performans, özelleştirme ve maliyet esnekliğini tanımlamaktadır. Sistem içinde farklı fonksiyonlara sahip ne kadar çok modül tanımlanabilirse sistemin projeye bağlı esnekliği o kadar fazla olacaktır. Bir modülde gerçekleştirilen değişiklikler diğer modüllerde değişikliklere neden olmadığından tasarım esnasında öngörülemeyen fakat sonradan ihtiyaç duyulan fonksiyonlar da modül değişimi ya da modül ekleri ile sağlanabilmektedir. Yine de sistemin tanıdığı özelleştirme imkânı üreticisinin tanımladığı modüllerin varyasyonlarına bağlı olduğundan orta derecece kabul edilmektedir. Bununla birlikte projenin özelleşme ihtiyacına bağlı olarak özel modüllerin geliştirilmesi olasılığı da mümkündür. Tamamen standart modüllerden oluşturulan sistemlerin maliyeti de azalacak, düşük bütçeli projelerde kullanılabilir olacaktır. Projeye özel modüllerin geliştirilmesi sistemin özelleşme oranını arttıracağı gibi maliyeti de arttıracaktır.

5.1.1.3 Konsept 3: Mevcut bir tepki veren cephe sisteminin standart ürünlerle yeniden tasarımı

Bu konseptte tasarım problemine farklı bir açıdan yaklaşılarak mevcut sistemlerin rasyonelleştirilmesi üzerine odaklanılmıştır. Bu kapsamda başka bir projeye uyarlanmak üzere seçilen mevcut bir tepki veren cephenin bileşenlerinin standart

ürünlerle değiştirilerek sistemin tekrar konfigüre edilmesi öngörülmektedir. Bu konseptin konsept değişkenlerine bağlı şematik gösterimi Şekil E.4'te verilmiştir.

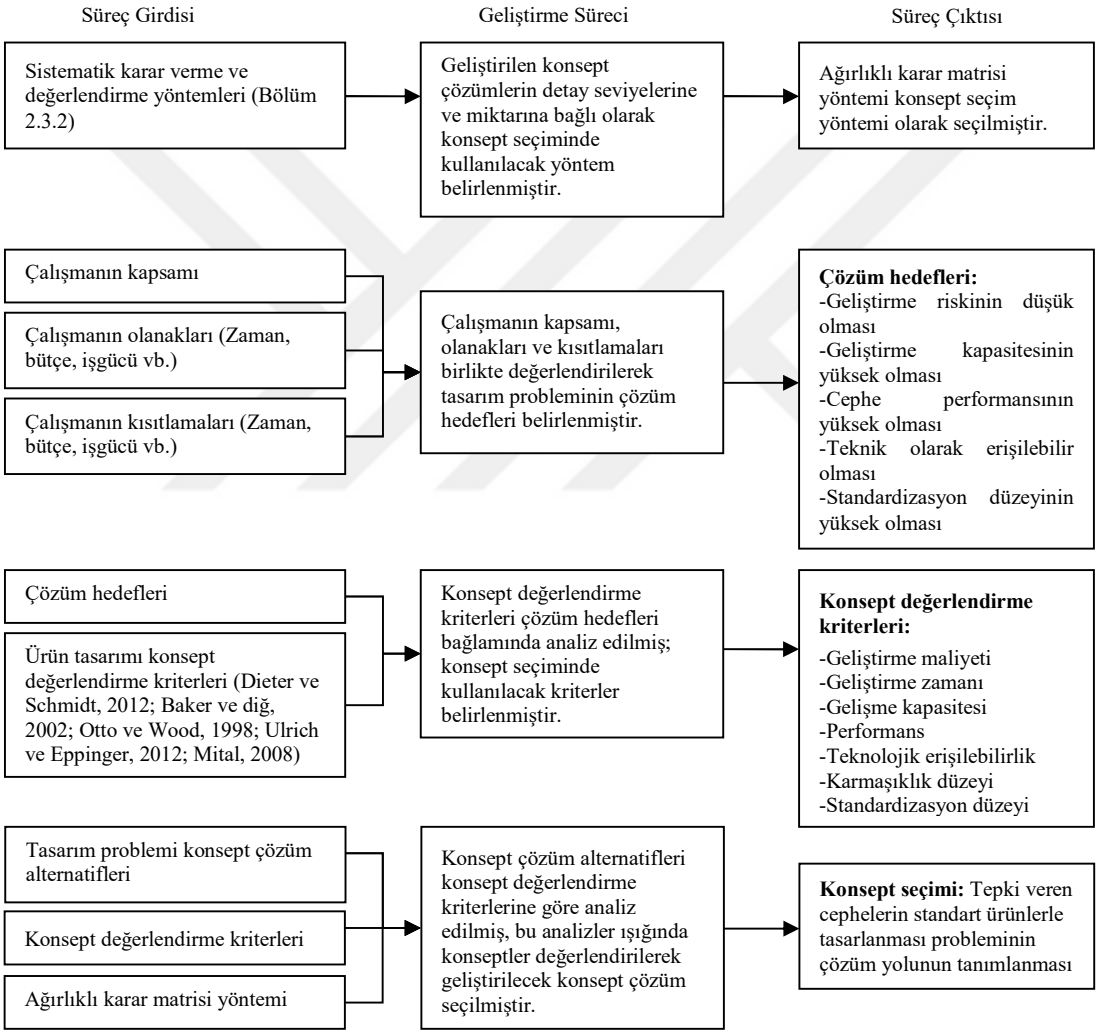
Konsept mevcut bir sistemin geliştirilmesi üzerine kurulu olduğundan yeniden tasarım tipi seçilmiştir. Tepki veren cephe türü olarak tepki faktörüne dinamik tepki veren cephe seçilmiş; en büyük çalışma prensibi farklılaşması bu kritere bağlı olarak geliştiğinden, olabildiğince çok mevcut sistemin konsept kapsamında kalması için başka bir sınırlama konulmamıştır. Yapılabilirliğin arttırılması stratejisi iki kriterin kombinasyonuyla oluşturulmuştur. İlki standart elemanların kullanımını teşvik eden kolay bulunabilir malzemelerin kullanılmasıdır. İkincisi ise mevcut tepki veren cephelerin en büyük tasarım ve üretim problemlerinden biri karmaşık yapıları olması nedeniyle bu sorunu çözmeye yönelik benimsenen sadeleştirme kriteridir.

Bileşenlerin standardizasyon düzeyi yine proje bazında belirlenmektedir. Burada hem mevcut sistemin karmaşıklığı hem de uyarlanacağı projenin ihtiyaç ve kaynakları rol oynamaktadır. Yeniden tasarlanacak mevcut sistem yeni projenin fonksiyonel ihtiyaçlarına en yakın olan sistemden seçilmelidir. Sistemin fonksiyonelliği geliştirilebileceği gibi bunu sağlamak her durumda kolay olmayacaktır. Bileşenlerin standart ürünlerle değiştirilmesi mevcut sistemin performansında da değişikliklere neden olabilir. Proje ihtiyaçlarına bağlı olarak yapılan değişikliklerin performans kayıplarına neden olabileceği bilinmelidir. Yine de yeniden tasarlanan sistemin performansının mevcut sistemin performansına yakın olacağı varsayılmakta ve bu konseptin performans ihtiyacı ortalama düzeyde olan projelerde kullanılabileceği öngörülmektedir. Zaten mevcut olan bir sistem tekrar kullanıldığından sistemin özelleşme imkânı düşüktür. Sistemin fizibil olması için yüksek üretim miktarına ihtiyaç yoktur. Tersine, proje bazında yapılan iyileştirmelerde etkili bir sistemdir. Sistem karmaşıklığı ve özel üretim bileşenlerin sayısı azalacağı için sistemin maliyeti de mevcut sistemden düşük olacaktır. Mevcut sistemde yapılan değişikliklerin kapsamına bağlı olarak düşük ve ortalama bütçeli projelerde kullanılabilecek sistemler oluşturulacaktır.

5.1.2 Konsept seçimi

Tasarım probleminin çözümüne yönelik bir dizi farklı konsept üretildikten sonra, bir sonraki adım bunları değerlendirmek, karşılaştırmak ve sıralamak ve böylece sistem geliştirme aşaması için en uygun konsepti tanımlamaktır (Dandy ve diğ, 2018). Tepki

veren cephelerin standart ürünlerle tasarlanmasını sağlayarak rasyonelliğini ve uygulanabilirliğini arttıracak, yukarıda tanımlanan konseptler haricinde konseptler geliştirmek de mümkündür. Bu çalışmada, ürün tasarımında kullanılmakta olan standart ürünlerle özelleştirme stratejileri de göz önünde bulundurularak, sadece başarı potansiyelinin yüksek olduğu kabul edilen konseptler tanıtılmıştır. Bu konseptlerden birinin seçilmesi araştırma probleminin çözüm stratejisinin geliştirilmesine öncülük edecektir. Bu çalışma kapsamında konsept seçiminde kullanılan sistematik yöntem Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4: Konsept seçiminde kullanılan sistematik yöntem.

Sistematik ve doğrulanabilir bir seçim yönteminin kullanılması belirlenen konseptler içinden çalışma hedefleri bağlamında potansiyeli en yüksek olan konseptin seçimini kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte konsept seçiminde kesinlikle güvenli olarak nitelendirilecek bir yöntem bulunmamaktadır (Pahl ve diğ, 1996). Tanımlanan

konsept çözüm uzayının nicel değerine göre seçim prosedürü, (i) eleme ve (ii) seçim olarak iki adım içermektedir. Öncelikle genel bir teknik ve ekonomik değerlendirmeye göre eleme yapılarak konsept sayısı azaltılmaktadır. Bu aşamada eleme kriterlerine göre genellikle olumlu özellik gösteren fakat bazı noktalarda kriterleri sağlamayan konseptler, diğer konseptlerden fikirler alınarak geliştirilebilir ve daha uygulanabilir yeni konseptler oluşturulabilir (Dieter ve Schmidt, 2012). Eleme aşamasından sonra kalan konsept çözümler arasından seçim yapılmaktadır.

Tasarım sürecinin çoğu belirli konularda verilen kararlarla şekillenmektedir. Tasarım için karar teorisinin uygulanması da bu bağlamda gelişmekte olan bir tasarım araştırması alanıdır. Konsept seçimi, hangisinin en iyisi olduğuna karar vermeden önce alternatiflerin karşılaştırıldığı bir karar verme aşamasıdır. Geçerli bir karşılaştırma yapmak için konseptlerin aynı soyutlama ya da detaylandırma seviyesinde olmaları gerekmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012). Konseptler arasında karşılaştırma, konsept seçiminde kullanılacak kriterlere bağlı olarak gerçekleştirilen değerlendirmeye göre yapılmaktadır. Değerlendirmede bir konseptin belirli bir hedefe göre "değeri", "faydası" ya da "gücü" ölçülmektedir. Konseptlerin özellikleri mutlak değerlerle ölçülemediğinden ve aynı zamanda da belirli kriterler bağlamında değerlendirilmeleri gerektiğinden bir hedefin belirlenmesi zorunludur (Pahl ve diğ, 1996). Değerlendirme, alternatiflerin birbiriyle karşılaştırılmasını ya da ideal bir çözümle kıyaslanmasını, bir derecelendirmeyi veya bu ideale yakınlık derecesini içermektedir.

Konsept seçimi için kullanılabilecek karar verme yöntemleri sezgisel yaklaşımlardan sistematik yöntemlere kadar çeşitlilik göstermektedir. Karmaşık karar problemlerinde sezgisel karar verme her zaman başarılı sonuçlar vermediğinden (Boeijen ve Daalhuizen, 2010) konsept seçimi için bir sistematik karar verme yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Konsept seçiminde kullanılacak yöntemin seçimi geliştirilen konseptlerin detay seviyesine, konseptlerle ilgili bilgi düzeyine ve değerlendirmede kullanılacak kriterlerin nicel ya da nitel özellikte olmasına bağlı olarak yapılmaktadır. Bu bağlamda ürün tasarımında kullanılan sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri (Bölüm 2.3.2) incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen konseptlerde değişkenlerle ilgili genel kararlar verilmiş, yüksek bir detaylandırma düzeyine geçilmemiştir. Konseptlerin çalışma

yapıları genel olarak somut değildir ve özellikleri sadece niteliksel olarak bilinmektedir. Bu özelliklere sahip belirli sayıda tasarım alternatifi, tasarım konsepti veya temel çözüm arasında bir seçim yapılması gerektiğinde ağırlıklı karar matrisi yönteminin kullanılması önerilmektedir (Boeijen ve Daalhuizen, 2010). Karar matrisi, değerlendirme kriterlerini ağırlıklandırma faktörleri ile sıralayıp her konseptin değerlendirme kriterlerini ne ölçüde karşıladığını derecelendirerek değerlendirme yapan bir yöntemdir (Dieter ve Schmidt, 2012). Bu bağlamda konsept alternatifleri arasından geliştirilecek konseptin seçimi için ağırlıklı karar matrisi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Yöntemin uygulama adımları şunlardır (Cross, 2005; Boeijen ve Daalhuizen, 2010; Haik ve Shahin, 2011; Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012):

1. Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi: Her bir konsept alternatifinin çözüm hedeflerine ne kadar ulaşabildiğini ölçmek için çözüm hedeflerini temsil eden ayırt edici kriterler tanımlanmaktadır.

2. Değerlendirme kriterlerine ağırlık verilmesi: Değerlendirme kriterlerine önem derecelerine göre toplamları 1 değerini verecek şekilde ağırlık değerleri atanmaktadır. Doğrudan atama yöntemi kullanılarak 100 puan her bir kriter arasında önem derecelerine göre pay edilir. Sonra her bir kriterin puanı 100'e bölünerek normalleştirilir. Kriterlere verilen ağırlıkların kesin olmayan bir değerlendirme olduğu, proje ve değerlendirmeyi yapan uzmana göre değişebileceği unutulmamalıdır.

3. Konsept alternatiflerine değer verilmesi: Her bir konsept alternatifine değerlendirildiği kriterin hayali ideal çözümüne yakınlık derecesine bağlı olarak değer verilmektedir. Değerlendirme kriterleriyle ilgili bilginin çok detaylı olmadığı durumlarda 5 puanlı ölçek sisteminin kullanılması önerilmektedir (Dieter ve Schmidt, 2012; Ulrich ve Eppinger, 2012). Bu sistemde 1 ideal çözüme en uzak, 5 ise ideal çözüme en yakın alternatifi temsil etmektedir. Puanların tanımları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Beş puanlı ölçek sisteminde puan tanımları.

5 Puanlı Ölçek	1	2	3	4	5
Tanım	Yetersiz	Zayıf	Yeterli	İyi	Mükemmel

4. Konsept alternatiflerinin ağırlıklı puanlarının oluşturulması: Konsept alternatifinin değerlendirme kriterleri bağlamında aldığı değer ile kriterin ağırlığının çarpımıyla konseptin bu kriter bağlamında aldığı ağırlıklı puanı belirlenmektedir. Bu işlem her bir değerlendirme kriteri ve her bir konsept için tekrarlanır.

5. Konsept alternatiflerinin sıralanması: Konsept alternatiflerinin her bir kriterden almış olduğu ağırlıklı puanları toplanarak toplam puanları elde edilir. Sonra da en yüksek toplam puana sahip olan konsept birinci sırayı alacak şekilde sıralama yapılır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen konseptlerin ağırlıklı karar matrisi yöntemine göre değerlendirilmesinde izlenen adımlar aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

5.1.2.1 Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlık değerlerinin atanması

Karar matrisi değerlendirmesinin sonucu büyük oranda değerlendirme kriterlerinin seçimine ve kriterlerin ağırlık değerlerine bağlı olarak değişmektedir (Pugh, 1996). Bu nedenle değerlendirmeden önce kriterlerin doğru belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Avramenko ve Kraslawski (2008) değerlendirme kriterlerinin tasarım hedeflerine bağlı olarak geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda konsept alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler tasarım probleminin çözümü için konulan hedeflerle ilişkilendirilerek belirlenmektedir. Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözümü için bu çalışmanın, zaman, işgücü, bütçe gibi konulardaki olanakları ve kısıtlamaları göz önüne alınarak belirlenen çözüm hedefleri şunlardır:

- **Geliştirme riskinin düşük olması:** Piyasaya yeni bir cephe sistemi sürmenin önemli finansal riskleri bulunmaktadır. Bu nedenle, yeni bir sistemin geliştirilmesi için piyasada yeterli talebin yaratılması gerekmektedir. Hedef piyasa hacminin ürün geliştirmenin maliyetini meşrulaştırmak için yeterli olup olmadığını belirlemek gerekmektedir. Mevcut koşullarda piyasadaki tepki veren cephe talebi ölçülemediği için geliştirme riskinin düşük olması hedeflenmektedir. Bunun için geliştirilecek konseptin piyasa koşullarında rekabetçi bir tasarıma öncülük etmesi gerekmektedir. Bu da konsept geliştirmek için harcanacak zaman, para gibi kaynakların azaltılmasıyla sağlanabilmektedir. Finansal riskler, kapsamlı gelişmelerden ziyade, inkremental inovasyon olarak adlandırılan

mevcut sistemlerde düşük maliyetle küçük ama etkili değişiklikler yapılarak azaltılabilmektedir.

- **Gelişme kapasitesinin yüksek olması:** Çözüm geliştirme süreci sonunda elde edilecek deneyim ve bilgiyle gelecekte daha iyi yeni ürünlerin üretilebilmesi hedeflenmektedir.
- **Cephe performansının yüksek olması:** Geliştirilecek cephe sistemlerinin mevcut sistemlerle rekabet edebilecek performans özelliklerine sahip olması amaçlanmaktadır.
- **Teknik olarak erişilebilir olması:** Konseptin yaygın olarak kullanılan ve kolay ulaşılabilen günümüz teknolojisi ile geliştirilmesinin mümkün olması gerekmektedir. Aynı zamanda sistem karmaşıklığının az olması ve sistemin olabildiğince sadeleştirilmesi de teknik olarak erişilebilirliği arttırmaktadır.
- **Standardizasyon düzeyinin yüksek olması:** Geliştirilecek konseptin standart ürünlerle tasarlanması ve projeye bağlı olarak özelleşme kapasitesinin yüksek olması hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın çözüm hedeflerinin belirlenmesinin ardından, bu hedefleri temsil edebilecek değerlendirme kriterlerinin tanımlanması amacıyla literatür araştırması gerçekleştirilerek konsept değerlendirme kriterleri derlenmiştir. Konsept alternatiflerinin değerlendirilmesi teknik, çevresel ve ekonomik özelliklerin değerlendirilmesini içermektedir. Konsept alternatiflerini titiz bir değerlendirme sürecine dâhil etmeden önce bir dizi kriterle filtreleyerek elemek konsept seçim prosedürünün ilk aşamasını oluşturmaktadır. Dieter ve Schmidt (2012) konseptleri filtrelemek için aşağıda sıralanan değerlendirmelerin yapılmasını önermektedir.

- Tasarımın fizibilitesine göre değerlendirme
- Teknolojik hazırlığa göre değerlendirme
- Müşteri gereksinimlerinin taranmasına dayalı tamam/ devam (*go/no go*) değerlendirmesi

Aynı zamanda Dieter ve Schmidt (2012) sadece aşağıda özellikleri verilen konsept çözümlerin geliştirilmek üzere değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir:

- Genel tasarım göreviyle ve birbirleriyle uyumlu
- İhtiyaç listesinin taleplerini yerine getiren
- Performans, düzen vb. bakımından gerçekleştirilebilir

- Belirlenen maliyet sınırları içinde olan

Otto ve Wood (1998) genel olarak, çoğu konsept seçim kararının dört değerlendirme kriterine dayandığını ortaya koymuştur. Bunlar: maliyet, geliştirme riski, teknik (zorluk planlanan teslimatı karşılama yeteneği) ve performanstır.

Ulrich ve Eppinger (2012) ürün geliştirme sürecinin başarısının iki kritere bağlı olarak değerlendirilebileceğini öne sürmüştür. Bunlardan biri yatırımcı gözünden, üretimin ve satışın kârlı olması; diğeri de projedeki diğer paydaşların çıkarlarına bağlı olarak belirlenen performans kriterleridir. Kârlılığı hızlı ve doğrudan değerlendirmek genellikle zordur. Ürün geliştirme girişiminin performansını değerlendirmek için kârlılıkla ilişkili olan daha tanımlı kriterler kullanılmaktadır. Bunlar: ürün kalitesi, ürün maliyeti, geliştirme zamanı, geliştirme maliyeti ve geliştirme kapasitesidir. Bu beş kritere göre yüksek performans gösteren ürün ekonomik olarak başarılı olacaktır; ancak diğer performans kriterleri de ayrıca önemlidir.

Mital (2008) kazanç sağlayan ürünlerin başarılı ürün geliştirme süreçlerinin göstergesi olduğunu belirtmiş; fakat kârlılığı değerlendirmek zaman aldığı için başarılı bir ürün geliştirme sürecinin niteliklerini belirlemede üretim tanımından faydalanmak gerektiğini öne sürmüştür. Buna göre piyasanın talep ettiği ürünler yüksek kalitede, hızlı, ekonomik, kolay ve verimli bir şekilde geliştirilmelidir. Bu yaklaşıma göre başarılı bir ürün geliştirme sürecini aşağıdaki nitelikler tanımlamaktadır (Mital, 2008):

- **Maliyet:** Ürünü üretmenin ve geliştirmenin toplam maliyeti.
- **Kalite:** Ürünün kalitesi.
- **Ürün geliştirme zamanı:** Piyasa ihtiyaçlarının değerlendirilmesinden ürün satışına kadar geçen süre.
- **Teknik bilgi geliştirme:** Gelecek ürünler için süreci tekrar etme yeteneği.

Bununla birlikte konsept değerlendirme kriterlerinin sahip olması gereken belirli özellikler bulunmaktadır. Tasarım hedefleri değerlendirme kriterleri ile temsil edildiğinden her bir tasarım hedefi için en az bir değerlendirme kriteri üretilmelidir. Her bir kriter tasarım açısından önemli bir özelliği ölçmeli ve başka bir kritere bağlı olmamalıdır. Kriterler alternetifleri anlamlı bir şekilde birbirinden ayırmalıdır.

Bunların yanı sıra Baker ve diğ. (2002) değerlendirme kriterlerinin aşağıda sıralanan şu özelliklere sahip olmalısı gerektiğini belirtmiştir:

- Alternatiflerin performansını karşılaştırabilme
- Tüm hedefleri kapsayacak şekilde tamamlanmış olma
- Operasyonel ve anlamlı olma
- Gereğinden fazla olmama
- Sayı olarak az olma

Sonuç olarak literatürden derlenen konsept değerlendirme kriterleri, tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözümü için konulan hedefler ve değerlendirme kriterlerinin sahip olması gereken özellikler bağlamında analiz edilerek, bu çalışmada kullanılacak konsept değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Çözüm hedeflerini temsil eden kriterler ve tanımları Çizelge 5.4'te verilmektedir.

Çizelge 5.4: Konsept değerlendirme kriterlerinin tasarım problemi çözüm hedefleri bağlamında belirlenmesi ve tanımlanması.

Hedef	Kriter	Tanım
Geliştirme riskinin düşük olması	Geliştirme maliyeti	Konseptin geliştirilmesi için yapılacak yatırım maliyetinin düşük olması değerlendirilmektedir.
	Geliştirme zamanı	Konseptin aynı alandaki diğer çalışmalar ve teknolojik gelişmelere karşı duyarlı olabilmesi, geliştirilmesi için gereken zamanın kısa olmasını gerektirmektedir.
Gelişme kapasitesinin yüksek olması	Gelişme kapasitesi	Elde edilen deneyim ve bilgiyle yeni ürünlerin üretilebilmesi desteklenmelidir.
Cephe performansının yüksek olması	Performans	Mevcut sistemlerle rekabet edebilecek performans özelliklerine sahip çözümler araştırılmaktadır.
Teknik olarak erişilebilir olması	Teknolojik erişilebilirlik	Konseptin erişilebilir tasarım ve üretim teknolojileri ile geliştirilebilmesi istenmektedir.
	Karmaşıklık düzeyi	Konseptin karmaşıklık düzeyi az, sadeleşmiş sistemlerin tasarımına öncülük etmesi gerekmektedir.
Standardizasyon düzeyinin yüksek olması	Standardizasyon düzeyi	Konseptin hem standart ürün kullanımını hem de özelleşme imkânını desteklemesi gerekmektedir.

Konsept değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinden sonra, yapılan çalışmada ulaşılmak istenen sonucun özelliklerine ve çalışmanın kapsamına bağlı olarak kriterlere ağırlık değeri verilmiştir. Kriterlerin ağırlık değerleri araştırmacı tarafından atanmıştır. Çalışmanın sınırlı bir sürede ve kısıtlı kaynaklarla tamamlanması gerektiğinden, sırasıyla konseptin geliştirme riskinin düşük olması ve teknik olarak erişilebilir olması en çok önem verilen ilk iki hedef olmuştur. Bu bağlamda

geliştirme maliyeti, geliştirme zamanı, teknolojik erişilebilirlik ve karmaşıklık düzeyi kriterlerinin ağırlıkları ortalama değerin üzerine çıkmaktadır.

Konseptin geliştirilmesiyle elde edilen bilginin diğer konseptlerin geliştirilmesine ve yeni tepki veren cephe sistemlerinin üretilmesine katkıda bulunması çalışmanın bilimsel değerini arttıracaktır. Bu nedenle seçilen konseptin geliştirilebilecek bir sistem olması da büyük önem taşımakta ve önem sırasında üçüncü yeri almaktadır.

Geliştirilecek sistemin performansı elbette ki piyasadaki diğer sistemlerle rekabet edecek düzeyde olmalıdır; fakat performansı arttırmak adına kaynak kullanımının fazlalaştığı karmaşık sistemlerin geliştirilmesi konsept geliştirme riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle performans açısından mevcut sistemlere yakın değerlerin gösterilmesi, hatta bazı durumlarda performanstan, proje bazında uygun görülebilecek miktarda, feragatta bulunulması kabul edilebilecek bir durumdur.

Önem sırasında son olarak standardizasyon düzeyi gelmektedir. Bunun nedeni geliştirilen tüm konseptlerin tepki veren cephelerin uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla standart ürünlerle tasarımı problemini çözmek amacıyla standart ürünlerin kullanımını içermesidir. Bu değerlendirme ışığında kriterlere Çizelge 5.5'te gösterilen şekilde 100 puan paylaştırılmış, sonra bu puanlar 100'e bölünerek normalleştirilmiş kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

Çizelge 5.5: Konsept değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması.

Kriter	Puan	Ağırlık
Geliştirme maliyeti	18	0.18
Geliştirme zamanı	18	0.18
Gelişme kapasitesi	12	0.12
Performans	12	0.12
Teknolojik erişilebilirlik	15	0.15
Karmaşıklık düzeyi	15	0.15
Standardizasyon düzeyi	10	0.1
TOPLAM	100	1

5.1.2.2 Konseptlerin değerlendirilmesi ve konsept seçimi

Konsept alternatiflerinin değerlendirmesi Bölüm 5.1.2'de tanımlanan ağırlıklı karar matrisi yöntemine göre yapılmaktadır. Değerlendirme sürecinde dikkat edilmesi gereken birkaç konu bulunmaktadır. Öncelikle konseptlerin aynı detay seviyesinde olmasına özen gösterilmelidir; yoksa en çok detaylandırılmış konsept ön plana

çıkacaktır. Bununla birlikte konseptlerin değerlendirme kriterleri bağlamında ayrıntılı olarak incelenmesi değerlendirmenin nesnelliği açısından önemlidir.

Konsept değerlendirme kriterleri tasarım ile beraber kısmi olarak üretim konularını da kapsadığından, literatürde konsept değerlendirme faaliyetinin üretici görüşleri alınarak tasarımcı tarafından yapılması önerilmektedir. Bu çalışmada konseptlerin değerlendirilmesini uzman görüşlerinden ve literatürden edinilen bilgilerden yararlanarak araştırmacı yürütmüştür. Öncelikle konsept alternatiflerinin değerlendirme kriterlerine göre analizleri yapılmıştır (Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Çizelge 5.8). Sonra da konseptler bu analizler ışığında değerlendirilerek Çizelge 5.9'da verilen ağırlıklı karar matrisi yöntemi ile konsept seçimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.6: Konsept 1: Açık Sistem Tepki Veren Cephe Tasarımı'nın konsept değerlendirme kriterleri bağlamında analizi.

Değerlendirme Kriteri	Konsept 1: Açık Sistem Tepki Veren Cephe Tasarımı'nın Analizi
Geliştirme maliyeti	Yeni bir ürünü piyasaya sürmenin çeşitli finansal riskleri bulunmaktadır. Açık bir sistemin geliştirilmesinde modüllerin entegre olacağı platformun geliştirilmesi, modül ile platform arayüzlerinin tanımlanması, standartların oluşturulması, platform-modül üreticisi-müşteri iletişiminin düzenlenmesi için sistemlerin oluşturulması gibi geliştirme faaliyetlerinin fazlalığı maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca bu maliyetin karşılanması için yüksek üretim miktarına ihtiyaç duyulmaktadır.
Geliştirme zamanı	Sistemin geliştirilmesi sürecinde yapılması gereken işler ve geliştirilmesi gereken ürünlerin fazlalığı nedeniyle geliştirme çalışmaları uzun zaman gerektirmektedir.
Gelişme kapasitesi	Açık sistemler farklı modül üreticileri tarafından desteklendiğinden ve geliştirildiğinden gelişme kapasitesi çok yüksektir.
Performans	Açık sistemlere entegre olabilecek modüllerin çeşitliliği farklı performans ihtiyaçlarının karşılanabilmesini sağlamaktadır.
Teknolojik erişilebilirlik	Sistem platformu tek bir üreticiden, modüller ise farklı teknoloji düzeylerinde farklı üreticilerden temin edilebilmektedir. Bu sistemler her coğrafya için aynı teknolojik erişilebilirlikte olmamaktadır.
Karmaşıklık düzeyi	Sistem platformuna entegre edilen modüller, bunların parça miktarı, gerekli montaj işlemleri ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak karmaşıklık düzeyi değişiklik göstermektedir.
Standardizasyon düzeyi	Sistemi oluşturan platform ve modüller standart olarak üretilmekte; proje ihtiyacına göre özelleştirme modüller arasından seçimle sağlanmaktadır. Özel ihtiyaçlar için özel modüllerin tasarımının da mümkün olduğu bu sistemin standardizasyon düzeyi yüksektir.

Çizelge 5.7: Konsept 2: Modüler Sistem Tepki Veren Cephe Tasarımı'nın konsept değerlendirme kriterleri bağlamında analizi.

Değerlendirme Kriteri	Konsept 2: Modüler Sistem Tepki Veren Cephe Tasarımı'nın Analizi
Geliştirme maliyeti	Yeni bir sistem geliştirmenin maliyeti çoğu zaman fazla olmaktadır. Modüler sistemlerde modüller tek bir üretici tarafından geliştirildiğinden maliyet geliştirilen modüllerin çeşitliliğine göre artacaktır.
Geliştirme zamanı	Yeni bir ürün ve modüllerin geliştirilmesi modül çeşitliliğine bağlı olarak uzun zaman alacaktır.
Gelişme kapasitesi	Sistemin gelişme kapasitesi üretilen modüllerin çeşitliliğiyle sınırlıdır.
Performans	Önceden belirlenmiş fonksiyonlara sahip standart modüllerin sağlayacağı performans sınırlıdır. Fakat özel üretim modüllerle sistem performansı istenilen düzeyde arttırılabilmektedir.
Teknolojik erişilebilirlik	Modüllerin üretim, montaj, bakım ve işletimi için gerekli olan teknolojiye bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Bu sistemler her coğrafya için aynı teknolojik erişilebilirlikte olmamaktadır.
Karmaşıklık düzeyi	Kullanılan modüller, bunların parça miktarı, gerekli montaj işlemleri ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak karmaşıklık düzeyi değişiklik göstermektedir.
Standardizasyon düzeyi	Sistemi oluşturan modüller sistem tedarikçisi tarafından standart olarak üretilmekte ve proje ihtiyacına göre özelleştirme bu modüller arasından seçimle yapılmaktadır. Özel ihtiyaçlar için özel modüllerin tasarımının da mümkün olduğu bu sistemin standardizasyon düzeyi yüksektir.

Çizelge 5.8: Konsept 3: Mevcut Bir Tepki Veren Cephe Sisteminin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı'nın değerlendirme kriterleri bağlamında analizi.

Değerlendirme Kriteri	Konsept 3: Mevcut Bir Tepki Veren Cephe Sisteminin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı'nın Analizi
Geliştirme maliyeti	Sistemin ürün mimarisi, çalışma sistemi ve parçaları zaten bilinmektedir. Geliştirme maliyeti yeniden tasarlanacak bölümün tanımlanması ve geliştirilmesini içerir. Buna göre yeniden tasarımda ele alınacak sistem parçalarının çeşitliliğine göre farklılık göstermekle birlikte, geliştirme maliyeti yeni sistem tasarımından daha azdır.
Geliştirme zamanı	Sistemin ürün mimarisi tanımlı ve teknik çözümlerin tekrar kullanımı mümkün olduğundan geliştirme için harcanacak zaman azdır.
Gelişme kapasitesi	Yeniden tasarım her bir sistem için özel sonuçlar verir. Pek çok sistem için uygulanabilirdir. Yeniden tasarım süreci zaman içinde geliştirilebilir.
Performans	Yeniden tasarlanan sistemin performansı mevcut sistemin performansı ve yeniden tasarımı gerçekleştiren ekibin uzmanlık seviyesine bağlıdır.
Teknolojik erişilebilirlik	Mevcutta işleyen sistemin teknolojisi her coğrafya için erişilebilir olmayabilmektedir. Yeniden tasarım mevcut teknolojik imkânlar gözetilerek yapılacağından sonuç ürünün teknolojisi erişilebilir olacaktır.
Karmaşıklık düzeyi	Sistemi oluşturan özel ürünlerin, standart ürünlerle değiştirilmesi; böylece sistemin karmaşıklık düzeyinin azaltılması yeniden tasarım hedeflerinden biridir. Yeniden tasarım sürecinde sistemin karmaşıklık düzeyinin azaltılması ile ilgili kararlar ön plana çıkmaktadır.
Standardizasyon düzeyi	Sistemin performansında belirgin bir kayıp olmaması amaçlandığından sistemi oluşturan tüm özel parçaların standart ürünlerle değiştirilmesi çoğu zaman mümkün olmayacaktır. Bununla birlikte, ürün mimarisinde gerekli ayarlamalar yapılarak standart ürünlerle projeye özel tasarımlar yapmak mümkündür.

Çizelge 5.9: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözümü için geliştirilen konsept alternatiflerinin ağırlıklı karar matrisi yöntemiyle değerlendirilmesi.

Seçim Kriteri	Ağırlık	Konsept 1		Konsept 2		Konsept 3	
		Değer	Ağırlıklı Puan	Değer	Ağırlıklı Puan	Değer	Ağırlıklı Puan
Geliştirme maliyeti	0.18	1	0,18	2	0,36	5	0,9
Geliştirme zamanı	0.18	1	0,18	2	0,36	3	0,72
Gelişme kapasitesi	0.12	5	0,6	3	0,36	2	0,24
Performans	0.12	5	0,6	4	0,48	2	0,24
Teknolojik erişilebilirlik	0.15	2	0,3	2	0,3	5	0,75
Karmaşıklık düzeyi	0.15	2	0,3	3	0,45	4	0,6
Standardizasyon düzeyi	0.1	4	0,4	4	0,4	2	0,2
	Toplam Puan	2,56		2,71		3,65	
	Sıralama	3		2		1	
	Devam	Hayır		Hayır		Devam	

Yapılan değerlendirme sonucu Konsept 3: Mevcut Bir Tepki Veren Cephe Sisteminin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı, geliştirilmek üzere seçilmiştir. Yeniden tasarımın avantajı, ürün mimarisinin ve yeni geliştirilen cephenin bir kısmının önceden bilinmesidir. Tamamen tanımsız bir çalışma alanı yerine, odaklanılması gereken belirli alanlar veya problemler vardır. Mevcut projelerde zaten başarılı bir şekilde kullanılmış olduklarından, yeniden tasarım çözümleri genellikle daha uygulanabilir ve güvenilirdir (Han ve Lee, 2006). Ürün mimarisinde çeşitli düzenlemeler yapılarak standart ürünlerle projeye özel tasarımlar yapmak mümkündür. Yeni bir ürünü piyasaya sürmenin finansal riskleri "artımsal inovasyon" olarak da nitelendirilebilecek mevcut sistemlerin düşük maliyetli değişikliklerle yeniden tasarlananarak kullanıma sunulmasıyla azaltılabilir. Sistemin karmaşıklık düzeyini azaltacak kararlar yeniden tasarım sürecinde ön plana çıkartılarak, karmaşıklık düzeyi azaltılabilir. Mevcut sistemler, kullanılan strandart ürünler ve yerel teknolojiler sayesinde, yeniden tasarlandıkları coğrafyada teknolojik olarak erişilebilir hale gelirler.

Bununla birlikte Pugh (1996), konsept değerlendirme yönteminin kullanıcıya asılsız bir güven aşılabileceğini ve tasarımcının toplam puanları mutlak olarak ele alma eğiliminde olabileceğini belirtmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken konsept değerlendirme kriterlerinin ve ağırlıklarının değerlendirmenin yönlendirilmesi

üzerindeki önemli etkisidir. Bu çalışmanın kapsamı, olanakları ve kısıtlamaları bağlamında geliştirilmek için en uygun konsept olarak Konsept 3 seçilmiştir; fakat diğer konsept alternatiflerinin potansiyeli de göz ardı edilmemelidir.

5.2 Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarım Modelinin Geliştirilmesi

Bu bölümde, tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı için geliştirilen konseptler arasından çalışmanın hedefleri bağlamında seçilen yeniden tasarım konsepti, yeniden tasarım sürecini tanımlayan bir model oluşturulacak şekilde geliştirilmektedir. Bir konsept aracılığıyla geçerli bir mimari tepkinin oluşturulması kolay bir süreç değildir. Konsept düzeyinden tasarım sürecinin tamamlandığı detay düzeyine geçiş tanımlanmamış olandan tanımlanmışa, sınırsızdan sınırlıya, seçenekleri daraltmayı amaçlayan yinelemeli bir karar verme sürecinden çözüme, problemden kabul edilebilir bir çözüme geçiştir (Emmitt ve diğ, 2004). Sonuçlar, anlam ve ifadenin konseptten malzemeye nasıl aktarıldığına, yorumlandığına ve işlediğine göre değerlendirilir (Plowright, 2014). Bu bağlamda öncelikle yeniden tasarım konseptinin yönlendireceği sistem tasarımının nasıl olması gerektiği belirlenmelidir.

Yeniden tasarım genellikle belirlenen tasarım hedefleri ile mevcut tasarımın özellikleri arasındaki çelişkilerin çözümüne odaklanır. Çoğu yeniden tasarım tekniği, çelişkileri mümkün olduğunca azaltan bir mevcut tasarımın seçimiyle başlar. Geriye kalan çelişkiler, derecelerine bağlı olarak, sistemi oluşturan parçaların davranışlarının değiştirilmesi, parçaların değiştirilmesi veya orijinal tasarımın yapısının değiştirilmesiyle çözülür (Li ve diğ, 2006). Yeniden tasarım konseptinin temel hedefi mevcut sistemi performansında belirgin bir kayıp olmadan standart ürünlerle yeniden tasarlamaktır. Böylece sistemin karmaşıklığı azaltılacak ve teknik erişilebilirliği artacaktır.

Kullanılan yapı ürünlerinin standardizasyonu, maliyetin ve karmaşıklığın azaltılması nedeniyle belirgin avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, bazı durumlarda standart ürün havuzu içinden seçim yapmak, özel proje ihtiyaçlarına göre aşırı boyutlandırmaya veya ürün kullanımına yol açabilmektedir (Cantamessa ve Montagna, 2016). Öyle ki, bu durum tasarım açısından kabul edilemez olabilir

(örneğin, havadaki sistemlerin ağırlığının artması). Cephe sisteminin özelleştirilme ihtiyacı arttıkça, cepheye özgü üretilen yapı ürünlerinin kullanılması daha gerekli hale gelmektedir. Bu nedenle mevcut tasarımdaki her özel ürünün yeniden tasarımda standart bir ürünle değiştirilemeyebileceği kabul edilmektedir.

Mevcut tepki veren cephe sistemlerinin standart ürünlerle yeniden tasarımında tutarlı olarak hedeflenen sonuçlara ulaşılabilmesi için tasarım sürecinin sistematik bir şekilde ortaya koyulması gerekmektedir. Bu nedenle, tasarım sürecinin genel tanımı olan bir tasarım modelinin geliştirilmesi kararlaştırılmıştır. Tasarım bilimi, mantıksal olarak birbiriyle bağlantılı birçok farklı bilgi ve disiplinin derlemesidir. Tasarım sürecinin kusursuz bir tanımını yapabilecek tek bir model bulunmamasına rağmen, tasarım modelleri tasarım sürecini açıklamak ve anlamak için güçlü araçlar sunar. Bir tasarım modeli, ortak bir amaç veya niyet ile bir bağlamda ilişkiler önerme, geliştirme, düzenleme ve sıralama yeteneğini gerektirir. Tasarım modelleri, sistematik olarak gerçekleşen ve mimari tasarım sürecinde belirli sonuçlar doğurduğu kabul edilen, tekrarlanabilir eylem kalıplarıdır. Sonuç üretme potansiyeline sahip öğretilebilebilir, öğrenilebililir ve uygulanabilirdirler. Yapılandırılmış bir model tasarımcılar, mühendisler ve proje yöneticileri gibi tasarımın ilgili tarafları arasında ortak bir dil haline gelir. Bu durum belirsizlikleri azaltır, taraflar arasında daha iyi ve hızlı iletişim kurulmasını sağlar. Tasarım süreci modelleri genellikle üretme, araştırma, karşılaştırma, seçme ve temsil faaliyetlerini tanımlayan üç ila beş aşamayı içermektedir (Plowright, 2014).

Temel tasarım aşaması hem eleştirel hem de yaratıcı düşünmenin bir kombinasyonunu gerektirmektedir (Cross, 2005). Eleştirel düşünme, nevcut tasarımın nasıl işlediğini, yaratıcı düşünme ise yeniden tasarımın nasıl olabileceğini araştırır. Modelin yeniden tasarım sürecinde ihtiyaç duyulan analizler, iyileştirmeler ve destek için yollar sağlaması gerekmektedir. Ayrıca tasarım sürecine odaklanarak uçtan uca görev akışının tespiti amaçlanmaktadır. Geliştirilen model güvenilir, kolay anlaşılır ve tekrarlanabilir olmalıdır.

Modelin geliştirilmesi sürecinde yapılan çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada uygulamaya dayalı bir araştırma yöntemi kullanılmıştır. Uygulamaya dayalı araştırma, tasarım uygulamasının tanıtılan veya ortaya koyulan bir savın kanıt temelini oluşturmak için kullanıldığı bir araştırma şeklidir (Pedgley, 2007). Bu

aşamada herhangi bir sistematik yöntemden yararlanılmadan mevcut bir tepki veren cephe standart ürünler kullanılarak yeniden tasarlanmış; tasarım sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler tasarım günlüğü yöntemiyle kayıt altına alınmıştır. Bu çalışmadan elde edilen veriler analiz edilerek, eksik görülen ve geliştirilmesi gereken faaliyetler belirlenmiştir. Bu veriler ışığında ikinci aşamada, modeli oluşturan aşamalar ve bu aşamalarda gerçekleştirilen faaliyetler, tepki veren cephe özellikleri bağlamında, ürün ve cephe tasarımı yöntemlerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesinde kullanılan yöntem ayrıntılı olarak Şekil F.1'de verilmiştir. Modelin geliştirilmesi sürecinde yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

5.2.1 Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı üzerine bir ön çalışma

Otto ve Wood'un (2001) da belirttiği gibi bir ürün tasarlamayı öğrenmenin yolu o ürünü tasarlamaktır. Fakat tasarım sürecinde pek çok faaliyet birbiri üzerine çakıştığından faaliyetler arasında uygun sıralamayı sağlamak ilk denemelerde zordur. Bu bağlamda, tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı modelinin geliştirilmesinde öncelikle bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı yeniden tasarım sürecinde gerçekleştirilen faaliyetlerin belirlenmesi, süreç akışında ve faaliyetlerin uygulanmasında görülen sorunların tespit edilmesidir. Yeniden tasarımın gerçekleştirilmesinde herhangi bir sistematik yönteme bağlı kalınmamıştır. Tasarım araştırmacı tarafından mevcut bilgi birikimiyle sezgisel olarak gerçekleşmiştir. Tasarım faaliyetleri, bu faaliyetlerin analizi ve karar verme sürecininin deşifre edilmesi amacıyla tasarım günlüğü (cf. Pedgley, 2007) yöntemiyle yakalanmıştır. Tasarımı gerçekleştiren araştırmacı, gözlemci, analist ve raportör olarak çoklu rolleri yerine getirmektedir. Yapılan çalışmada hem tasarım süreci faaliyetleri hem de yapılan tasarım araştırma verisi oluşturmaktadır.

Aşağıdaki bölümlerde, yapılan ön çalışmanın kaydedilen tasarım faaliyetleri açıklanmakta ve çalışmanın değerlendirmesi yapılmaktadır.

5.2.1.1 Örnek projenin standart ürünlerle yeniden tasarım süreci

Modelin geliştirilmesinin ilk aşamasını oluşturan bu bölümünde, Çizelge B.1'de derlenmiş olan mevcut tepki veren cephe projeleri içinden Kiefer Technik Galeri

tepki veren cephesi örnek proje olarak seçilmiştir (Şekil 5.5). Bu projenin seçilmesindeki temel neden cephenin yapısal ve fonksiyonel analizine imkân verecek yeterli düzeyde bilgiye ulaşabilmiş olmaktır. Ayrıca tepki faktörü güneş ışınımı ve tepkinin etkisi güneş kazançlarını önleme olan cephe, tepki veren cephelerin en büyük kullanım alanını örneklemektedir.

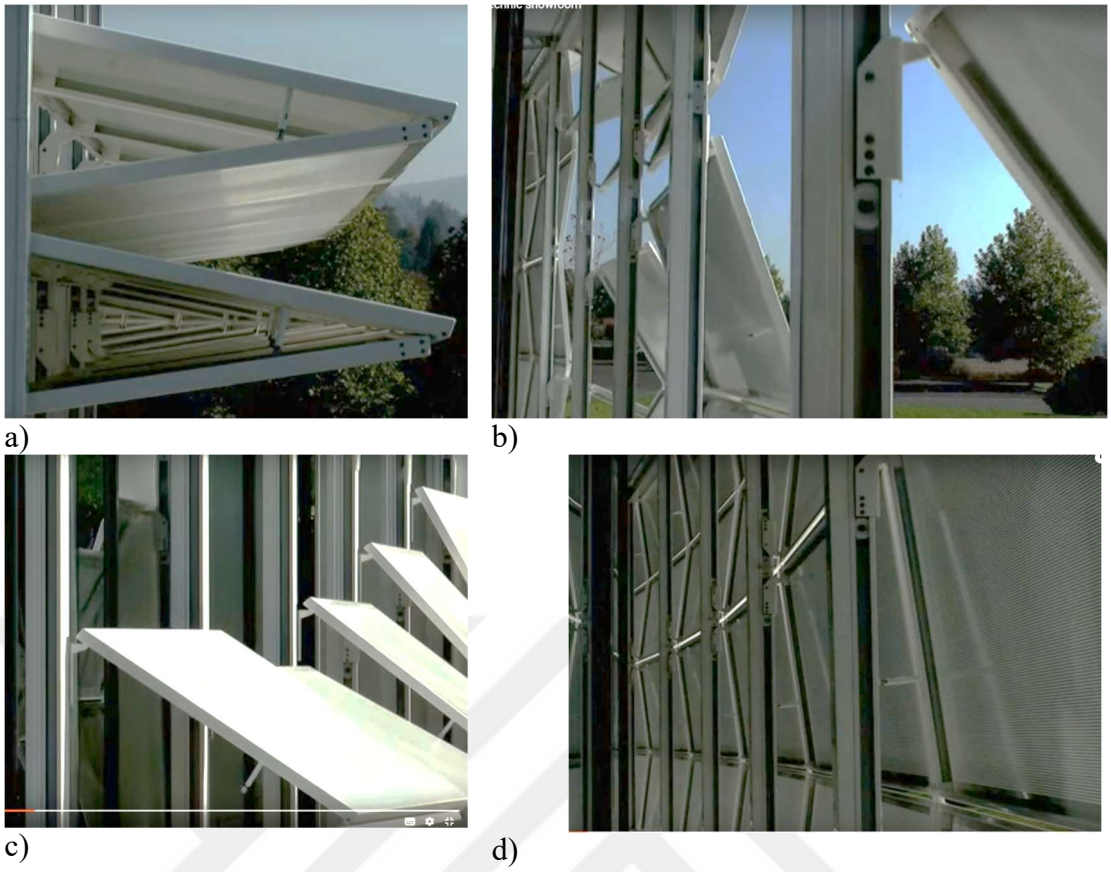


Şekil 5.5: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe görünüşü (Url-2).

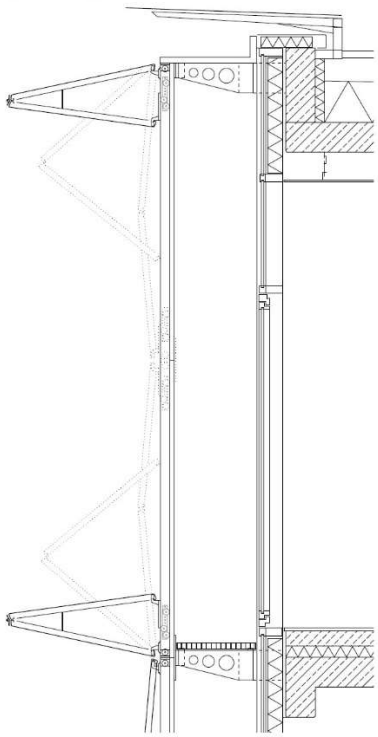
Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesinin standart ürünlerle yeniden tasarımı sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler tasarım günlüğü yöntemiyle kaydedilmiştir. Bu faaliyetler yeniden tasarım sürecinin uygulama adımları olarak sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

1. Adım: Veri toplama: Tepki veren cephenin yapısal, fonksiyonel ve üretim analizlerinin yapılmasına olanak sağlayacak bilgiler literatürden (Schumacher ve diğ, 2010) ve açık kaynaklar (Url-2) üzerinden araştırılmıştır. Bu bağlamda cephenin tasarım özellikleri, detay çizimleri, montaj şemaları, metraj cetveli, yakın plan fotoğrafları ve videoları gibi belgeler araştırılmış, ulaşılabilenler derlenmiştir.

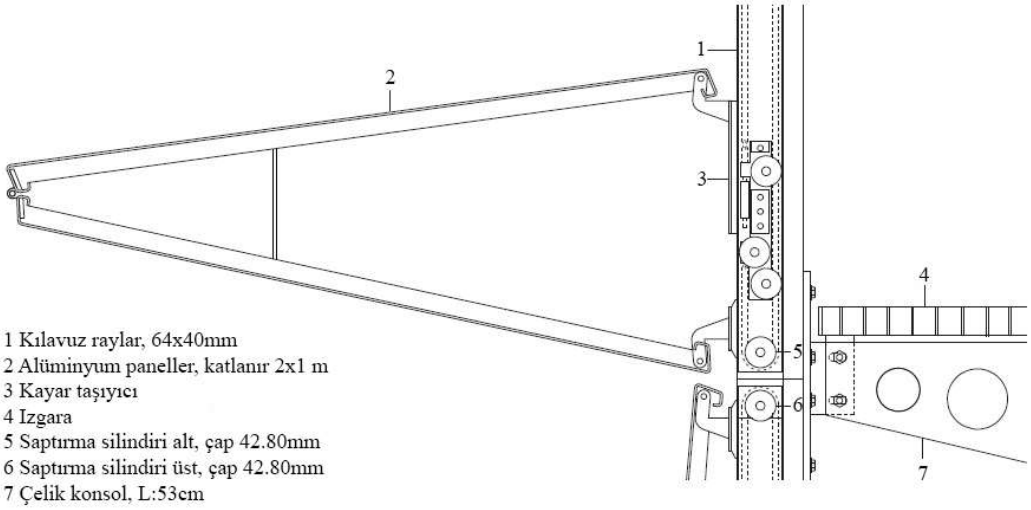
Cephenin detay çizimlerinde Schumacher ve diğ. (2010) çalışmasında yer alan çizimler temel alınmıştır. Bu detay çizimleri cephenin video görüntüleriyle (Şekil 5.6) karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklar belirlenmiş ve çizimler cephe görsellerine uyacak şekilde revize edilmiştir (Şekil 5.7, Şekil 5.8).



Şekil 5.6: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin işleyişini gösteren video görüntülerinden elde edilmiş yakın plan ekran görüntüleri (Url-2).



Şekil 5.7: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin son kat kısmi kesiti (Uyarlama, Schumacher ve diğ, 2010).



Şekil 5.8: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin katlanır alt panel detayı (Uyarlama, Schumacher ve diğ, 2010).

2. Adım: Mevcut cepheyi oluşturan parçaların belirlenmesi: Veri toplama aşamasında elde edilen belgeler analiz edilerek sistemi oluşturan parçalar belirlenmiştir. Tepki veren cephenin 1 modül katlanır panelini oluşturan parçalar erişilebilen boyut ve miktar bilgileriyle birlikte Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephe sisteminin 1 modül katlanır panelini oluşturan parçalar.

Montaj birimi	Parça adı	Miktar	Boyutlar (mm)
Tepki veren cephe-bina bağlantısı	Çelik konsol	2	L:530
	L profil	2	
	Somun	6	
	Vida	6	
	Izgara		
Tepki veren cephe taşıyıcı sistemi	Kılavuz ray	2	64x40
	Kutu profil	2	
Katlanır cephe paneli	C profil (çerçeve oluşturur)	4	
	Ferforje çelik panel	1	2000 x1000
	Menteşe	2	
	Vida	3x2	
	Yanaşma çubuğu	2	
Tepki veren cephe paneli ve cephe taşıyıcı sistemi birleşimi	Kayar taşıyıcı menteşe	2	
	Vida	4x2	
	Sabit taşıyıcı menteşe	2	
	Makara (hareket mekanizması)	2	
	Panel durdurucu profil (katlanır panelin birleşiminde kılavuz ray üzerinde)	2	

3. Adım: Mevcut cephenin tasarım parametrelerinin belirlenmesi: Tasarım parametrelerinin belirlenmesinde iki aşama izlenmiştir. Bunlardan ilki, mevcut sistemin, Çizelge 4.3'te verilen, tepki veren cephelerin sınıflandırılması için bu çalışmada geliştirilmiş olan kriterlere göre analizidir. Bu analizde yeniden tasarımın 1. adımında derlenen veriler kullanılmıştır. Mevcut cephenin sınıflandırma

kriterlerine göre analizi Şekil 5.9'da yer almaktadır. Bu analiz sonunda tasarımın tepki veren cephe özellikleriyle ilgili tasarım parametreleri elde edilmiştir.

Sınıflandırma Kriterleri				KİEFER TECHNİK, 2007
Tepki Veren Bileşenler	Cephe			
	Bileşen			
	Eleman			Gölgelendirme elemanı
	Malzeme			
Mekansal Morfoloji	Cepheye entegre			
	Cepheye entegre değil	Cephe düzleminin dış tarafında		X
		Cephe düzleminin iç tarafında		
Tepki Faktörü	Kullanıcılar	Bireysel Kullanıcılar		Her eleman ayrı ayrı kontrol edilebiliyor. BUS/PLC sistemi ile programlanabilir.
		Kullanıcı Grupları		
		Kuruluşlar		
	Çevre Koşulları	Dış Ortam	Güneş ışınımı	X
			Dış ortam sıcaklığı	
			Nem oranı	
			Rüzgar	
			Yağış	
			Ses	
		İç Ortam	İç ortam sıcaklığı	
			Nem oranı	
			Işık miktarı ve kalitesi	
			Hava değişim hızı	
			Hava hızı	
			Ses düzeyi	
	Nesneler	İçinden Geçen Nesneler		
		Önünden Geçen Nesneler		
Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik			
	Dinamik			X
Haraket Tipi	Katlanma			X
	Kayma			
	Genişleme			
	Büzülme			
	Hem boyut hem de şekil olarak değişme			
	Ölçeklenme			
	Yuvarlanma			
	Burkulma			
	Rotasyon			
	Dışarı itilme			
Tepkinin Mekansal Boyutu	nm			
	mm			
	cm			
	m			Yaklaşık 1m
Hareket Limiti	Limitli (Küçük birimler)			
	Kısmi			
	Kapsamlı			
	Değişken			Farklı açılarla katlanıp açılabilir
Dinamik Tepki İçin Strüktürel Değişim	Mafsallı çubuklardan oluşan mekansal çubuk strüktürler			
	Menteşeli plakalar içeren katlanabilir plaka strüktürler			X
	Strut-kablo (gerginlik) strüktürleri			
	Membran strüktürler			

Sınıflandırma Kriterleri		KİEFER TECHNİK, 2007
Aktüatör Tipi	Motor esaslı	X
	Hidrolik	
	Pnömatik	
	Malzeme esaslı	
	Kimyasal	
	Manyetik	
Kontrol/Operasyon Tipi	Dahili kontrol	
	Direkt kontrol	X
	Endirekt(dolaylı) kontrol	
	Tepki veren dolaylı kontrol	
	Yaygın tepki veren dolaylı kontrol	
	Sezgisel tepki veren dolaylı kontrol	
Sistem Tepki Zamanı	Saniyeler	Tam açılma 30 sn
	Dakikalar	
	Saatler	
	Günler	
	Mevsimler	
	Yıllar	
Sistemin Adaptasyon Derecesi	Açık-Kapalı	
	Aşamalı	Kademeli olarak katlanıp açılır
	Hibrit	
Mimari Görünürlük Düzeyi (Rush Sınıflandırması)	Görünür değil, değişim yok	
	Görünür, değişim yok	
	Görünür, yüzey değişimi	
	Görünür, boyut veya şekil değişimi	
	Görünür, konum veya yön değişikliği	X
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)	Güneş kazançlarını önler
	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)	
	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik	
	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi	
	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme	
	Rüzgar enerjisini toplama ve dönüştürme	
	Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme	
	Renk değiştirme	
	Doku değişimi	
	Şekil değiştirme	
Performans Değişiklik Derecesi	Az	
	Orta	
	Belirgin	
	Değişken	
Sistem Karmaşıklığı	Seviye 1 (En basit)	n/a
	Seviye 2	
	Seviye 3	
	Seviye 4	
n/a: bir kaynağa bağlı olmadan yapılan tespitler için kullanılmıştır		

Şekil 5.9: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesinin, tepki veren cepheler için geliştirilen sınıflandırma kriterlerine göre analizi ve tasarım parametrelerinin belirlenmesi.

İkinci aşamada, literatürden derlenen veriler incelenerek, sınıflandırma kriterlerinde ele alınmamış, cephenin tasarımında önemli olan özellikler ve kısıtlamalar

belirlenmiştir. Kiefer Technik Galeri cephesinin bu aşamada tespit edilen tasarım parametreleri aşağıda sıralanmaktadır (Schumacher ve diğ, 2010; Url-2):

- Çevredeki ofis binalarının cepheleri alüminyum panel kaplama olduğundan çevreyle uyum sağlamak adına kaplama malzemesi olarak alüminyum seçilmiştir.
- Tepki veren cephe, binanın 28,75 m uzunluğundaki güneybatı cephesinde bulunmaktadır.
- 56 adet katlanır kepenk 112 adet alüminyum panel kullanılmıştır.
- Panel boyutları 2m yüksekliğinde, 2m genişliğindedir.
- Panel ağırlığı 50kg/m² dir.
- Tepki veren cephe, binada güneş ışınımının kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır.
- Bina çift cepheden oluşmuştur ve tepki veren cephe iç cephenin 53cm önünde yer almaktadır.
- Alüminyum paneller 7,75 m yüksekliğindeki destekleyici alüminyum iskelete monte edilmiştir.
- Destekleyici alüminyum iskelet kılavuz rayları taşımaktadır.
- Destekleyici iskelet paslanmaz çelik braketlerle binaya sabitlenmiştir.
- Makara ve elektrik ile işletilen motorlar kılavuz raylarına entegre edilmiştir.
- Katlanan kepenkleri açmak için her katın kepenk panellerinden üstteki elemanlar kaldırılmakta, alttakiler indirilmektedir.
- Kepenklerin alt ve üst panelleri beraber katlandığında yatay, kolonlarla desteklenmiş güneş gölgeliği oluşmaktadır.
- Kepenkler kapatıldığında ışık alüminyum panellerin deliklerinden galeriye geçmektedir.
- Alüminyum paneller, perde türü bir malzeme gibi çalışmaktadır.
- Katlanan panellerin aktüatörü elektrikle çalışan motorlardır ve bunlar kademeli olarak hızlanır.
- Her panel tekil olarak programlanabilen BUS/PLC otomasyon sistemiyle kontrol edilmektedir.
- Her panel gerekli derecede katlanıp açılabilir.

- Katlanır panellerin ana fonksiyonu güneş gölgelemesi olmasına rağmen cephenin sürekli değişen görünümünde isteğe göre koreografi de oluşturulabilir.
- Panellerin tam kapalı pozisyondan tam açık pozisyona geçmesi 30 saniyede tamamlanmaktadır.

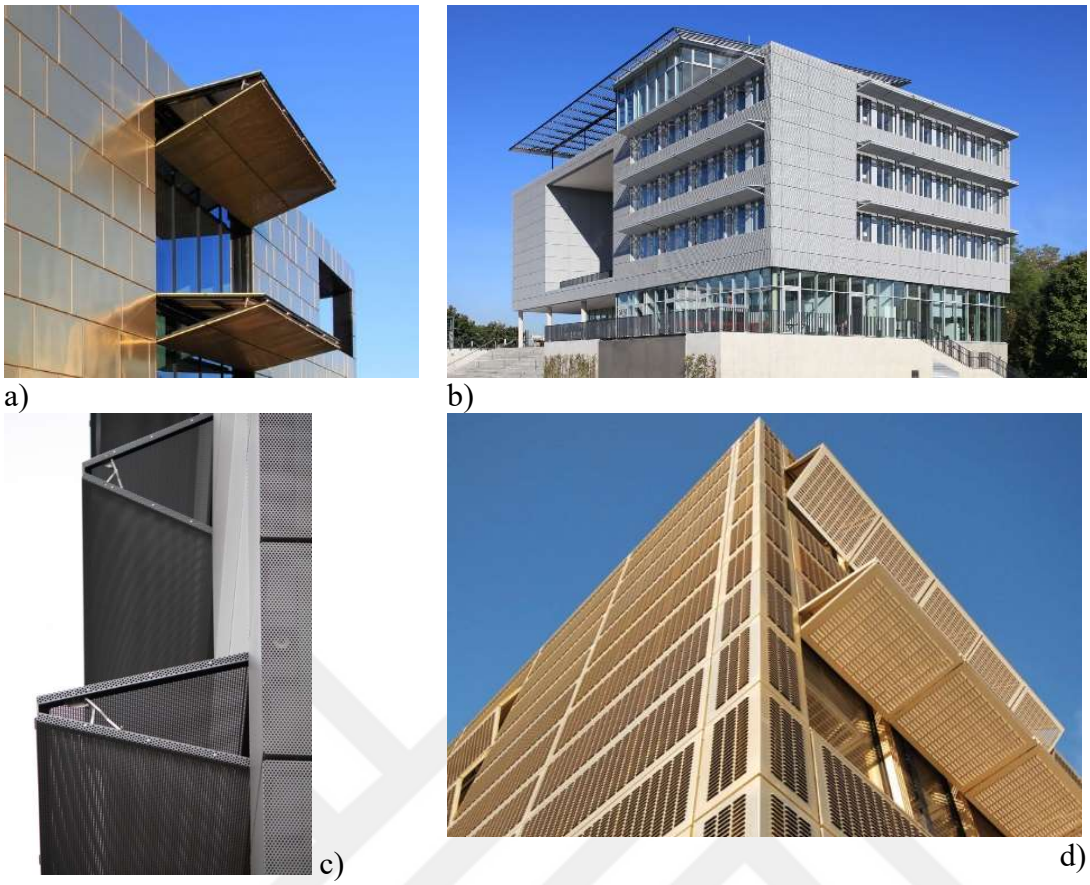
4. Adım: Mevcut tepki veren cephenin fonksiyonlarının belirlenmesi: Mevcut cephenin fonksiyonlarının ayrıntılı olarak belirlenmesi için, Klein (2013) tarafından geliştirilen cephe fonksiyon ağacı (Şekil G.1) kullanılarak, fonksiyon değerlendirmesi yapılmıştır. Bu bağlamda mevcut cephenin fonksiyonlarını gösteren fonksiyon ağacı Şekil G.2'de verilmiştir.

5. Adım: Benzer cephe sistemlerinin taranması: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesine benzer hareket tipine sahip cephe sistemleri ve bu sistemlerin detayları, tasarım kılavuzları, montaj kılavuzları ve teknik özellikleri açık kaynaklarda taranmıştır. Bu taramada kullanılan anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce olarak Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesine benzer hareket tipine sahip cephe sistemlerinin literatürde taranmasında kullanılan anahtar kelimeler.

Türkçe Anahtar Kelimeler	İngilizce Anahtar Kelimeler
Katlanır kepenk	Folding shutter
Yatay/dikey katlanır kepenk	Horizontal/vertical folding shutter
Katlanır kapı	Bifold door
Yatay/dikey katlanır kapı	Horizontal/vertical bifold door
Katlanır garaj kapısı	Bifold garage door
Katlanır pencere	Folding window
Katlanır cephe	Folding façade
	Folding louver

Benzer cephe sistemleri ile ilgili yapılan kaynak taraması sonucunda bulunan projeler; Pro aurum GMBH, Technische Universität München, Zentrum für Molekure Medizin der Universitat Köln, University of Potsdam'dır (Şekil 5.10). Belirlenen bu projelerin detay çizimleri ya da üretim bilgilerine ise açık kaynaklardan ulaşılamamıştır.



Şekil 5.10: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesine benzer hareket tipine sahip cephe sistemleri, a) Pro aurum GMBH (Url-12), b) Technische Universität München (Url-13), c) Zentrum für Molekure Medizin der Universitat Köln (Url-14), d) University of Potsdam (Url-15).

6. Adım: Benzer cephe sistemi üreticilerinden teknik detayların talebi: Beşinci adımda belirlenen Kiefer Tchnik Galeri cephesine benzer cephe sistemleri ve projeler ile ilgili teknik detaylara ulaşabilmek için projelerin sistem üreticilerinden ve tasarımcılarından elektronik posta ile bilgi talep edilmiştir. Teknik detay talep edilen üretici ve tasarımcılar şunlardır: Belu Tec, Colt, Glasscon, Kiefer Technik, Geiselbrecht Architects, Smartech ve Hufcor. Bu aşama sonunda sadece motorize katlanan dış kepenk- hareketli cephe (*external motorized folding shutter-moving facade*) sistemi üreticisi Glasscon firmasından geri dönüş alınmıştır. Firma yetkilisi bu sistemlerin çoğu durumda projeye bağlı olarak özel tasarlandığını ve teknik kataloglarının bulunmadığını beyan etmiştir.

7. Adım: Yeniden tasarımda kullanılacak tasarım parametrelerinin belirlenmesi: Mevcut sistemin standart ürünlerle yeniden tasarlanması sırasında mevcut tasarım parametrelerine ek olarak yeni tasarım parametreleri de belirlenmiştir. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Malzeme/bileşen/montaj elemanı miktarının minimumda tutulması
- Kolay montaj ve değişim olanağı
- Piyasada çok bulunan detaylar, malzemeler ve kaynakların kullanılması
- Hareket kolaylığı
- Montaj elemanlarının dışarıdan görülmemesi

Bununla birlikte mevcut tasarım parametrelerinden bazılarının yeniden tasarımda diğerlerinden daha büyük ağırlığa sahip olması gerektiği kararlaştırılmıştır. Sistemin performansının değişmemesi için gün ışığı geçirme oranı, panel kaplaması ve panel boyutlarının, hareket kolaylığının sağlanması için de ağırlığının aynı kalmasına özel gösterilmesi gerektiği belirlenmiştir.

8. Adım: Tepki veren cepheyi oluşturan parçaların muadillerinin aranması: Mevcut tepki veren cepheyi oluşturan her bir parçanın, muadili standart başka bir parçayla değiştirilebileceği varsayımıyla yapı kataloğu, ürün katalogları ve açık kaynaklarda tarama yapılmıştır. Katlanan panjur, kepenk, pencere, kapı teçhizatları mevcut sistemden farklı çalışma prensiplerine sahip olanlar dâhil olarak derlenmiştir. Fakat araştırma uzayı çok geniş olduğundan bulunan teçhizat, parça ve sistemlerin piyasada mevcut ürünlerin tamamını kapsadığı söylenemez.

9. Adım: Yeni tasarımı oluşturacak parçaların seçilmesi: Öncelikle katlanan cephe, kapı, pencere ve kepenk sistemleri ile ilgili yapılan literatür araştırmasında en çok rastlanan sistemler ve parçalar belirlenmiştir. Bu, değiştirilen parçaların farklı kaynaklardan temin edilebileceğini dolayısıyla daha erişilebilir olduğunu göstermektedir. Bu araştırmada hareket sistemi olarak makara kullanan cephe sistemlerine az rastlanmış; bulunan örnekler ve sistemlerin de dikey olarak katlanan küçük parçalardan oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun aksine yatay olarak katlanan büyük panellerin hareket mekanizması olarak genellikle hidrolik sistemler kullanılmaktadır. Bu bağlamda kepenk sistemi hareketinin hidrolik sistemle sağlanmasına karar verilmiştir. Mevcut cephenin hidrolik sistemle tekrar tasarlanmasında Hydroswing firmasından temin edilen ürün özellikleri ve montaj detayları (Url-16) esas alınmıştır. Sistemde kullanılabilecek hidrolik mekanizmanın özellikleri katlanır panellerin boyut ve ağırlık özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu nedenle yerel üretici ve tedarikçilerin ürün katalogları tekrar incelenerek mevcut katlanır panellerin özelliklerine uygun bir hidrolik mekanizma

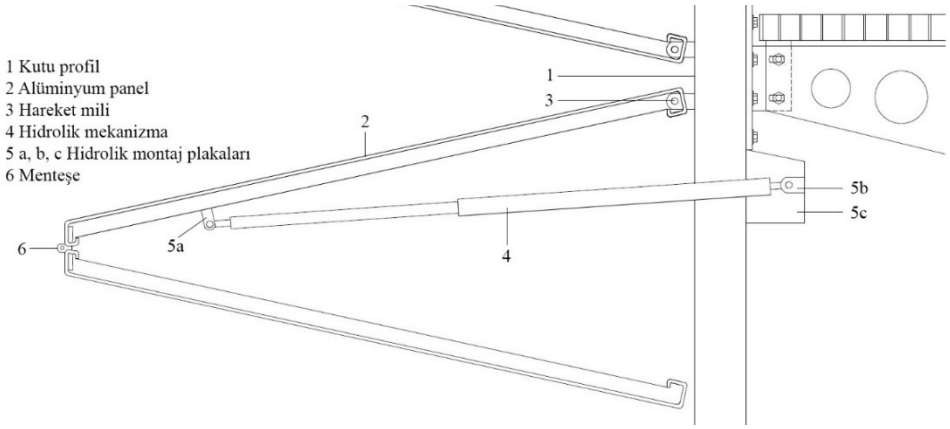
kullanılmak üzere seçilmiştir. Mevcut sistemin hidrolik hareket mekanizmasıyla değiştirilmesi panellere bağlı yanaşma çubuğu, raylar ve bunların üzerindeki durdurucu profillere olan ihtiyacı ortadan kaldırmış; bu nedenle bu parçalar sistemden çıkarılmıştır. Bununla birlikte hidrolik sistemin cepheye entegrasyonu için katlanır panellere ve kepenklerin taşıyıcı sistemini oluşturan alüminyum iskelete montaj parçaları eklenmesi gerekmiştir. Alüminyum plakalardan kesilerek üretilen bu parçalar, ilgili parçalara kaynaklanmaktadır.

Mevcut sistemde kullanılan menteşelere açık kaynaklar üzerinden ulaşılamamıştır. Bu nedenle, yük dayanımına ve boyutlarına dikkat edilerek, yapı ürünleri satan internet sitelerinden temin edilebilen standart menteşelerle ve hareket milleriyle değiştirilmişlerdir.

Bununla birlikte cephenin güneş gölgeleme performansında belirgin bir değişiklik olması istenmediğinden bu fonksiyon ve performansla direkt ilgili parçalar, panelleri oluşturan çelik çerçeve ve panel kaplaması değiştirilmemiştir. Benzer şekilde, piyasada bulunan ve kolay temin edilebilecek parçaların değiştirilmemesine karar verilmiş; mevcut sistemini oluşturan tüm cephe-bina bağlantısı detayları değiştirilmeden kullanılmıştır.

10. Adım: Seçilen parçaların birbiriyle uyumunun kontrol edilmesi: Bir sistemin parçalarının birleşerek üretilebilecek bir bütün oluşturabilmesi için tüm parçaların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbiriyle uyumlu olması gerekmektedir. Bu nedenle seçilen parçaların montaj açısından birbiriyle uyumu kontrol edilmiştir.

11. Adım: Sistem detaylarının üretilmesi: Sistemi oluşturan parçaların birleşim detayları çözülerek, sistem detayları üretilmiştir. Detayların geliştirilmesin sırasında cepheyi oluşturan parçaların muadillerinin aranması, parça seçimi ve parçaların birbiriyle uyumunun kontrol edilmesi faaliyetlerine pek çok kez geri dönülmüş ve yineleme döngüleri oluşmuştur. Bunun sonucunda birden çok alternatif üretilmiştir. Bu alternatifler arasından seçim yedinci adımda belirlenen tasarım parametrelerine ve cephenin görsel etkisinin çok değişmemesine dikkat edilerek yapılmıştır. Yeniden tasarlanan sistemin kısmi kesiti Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11: Yeniden tasarlanan sistemin bir katlanır panel birimini gösteren kısmi kesiti.

5.2.1.2 Yeniden tasarım ön çalışmasının değerlendirilmesi

Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesinin standart ürünlerle yeniden tasarım süreci, karşılaşılan zorluklar ve geliştirilmesi gereken faaliyetler; elde edilen yeni sistem ise performans ve üretim kolaylığı kriterleri bağlamında değerlendirilmiştir.

Yeniden tasarlanan tepki veren cephe sisteminin değerlendirilmesi sonucunda yapılan tespitler aşağıda listelenmiştir:

- Yeniden tasarımda yapılan değişiklikler mevcut cephe sisteminin, yerel inşaat piyasasında kolayca bulunabilen, standart ürünlerle tasarlanmasını sağlamıştır.
- Mevcut sistemin panel boyutları ve kaplaması aynı kaldığından güneş gölgeleme performansında bir değişiklik olmadığı kabul edilmiştir.
- Sistemin hareket mekanizması standart olarak üretilen hidrolik sistemle değiştirilmiştir. Bu değişim aslında daha basit bir çalışma sistemi olan makara sisteminin daha karmaşık bir sistemle değiştirilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Fakat hidrolik sistem üreticilerden kullanıma hazır şekilde temin edilmekte ve piyasada yaygın olarak bulunmaktadır. Bu bağlamda sistemin tasarım ve üretim karmaşıklığını arttırmamaktadır. Aynı zamanda bu değişim sonunda mevcut sistemden yanaşma çubuğu, raylar ve durdurucu profilleri çıkarmak mümkün olmuştur.
- Yapılan değişikliklerin sistemin genel karmaşıklık düzeyini ve uygulanabilirliğini nasıl etkilediği tam olarak belirlenememiştir. Bunun için bir ölçüm sisteminin oluşturulması gerekmektedir.

Yeniden tasarım sürecinin değerlendirilmesi sonucunda yapılan tespitler, gerçekleştirilen faaliyetlerde karşılaşılan zorluklar ve geliştirilmesi gereken faaliyetler bağlamında aşağıda listelenmiştir:

- Standart ürünlerle yeniden tasarım sürecinde karşılaşılan en büyük eksiklik malzeme ve sistem veri tabanı/kataloğunun bulunmamasıdır.
- Benzer sistemlerle ilgili teknik detaylara ulaşmak mümkün olmamıştır.
- Yeniden tasarım için kullanılacak, mevcut yapı ürünlerinin muadili ürünlerin taranması süreci çok zaman almakta; buna rağmen standart ürün çeşitlerinin tamamına ulaşmak mümkün olmamaktadır.
- Yeniden tasarımda mevcut sistemi oluşturan her bir yapı ürününün muadili standart yapı ürünleri aranmıştır. Fakat her bir ürünün değiştirilmesi hem gerekli hem de ihtiyaç duyulan zaman açısından uygulanabilir değildir. Bu bağlamda mevcut sistemi oluşturan hangi yapı ürünlerinin standart ürünlerle değiştirilmesi, hangilerinin modifiye edilmesi, hangilerinin ise değiştirilmeden kabul edilmesi gerektiği ile ilgili bir ön analiz yeniden tasarıma başlanmadan önce gerçekleştirilmelidir. Bu analiz, mevcut cepheyi oluşturan parçaların ve yapım süreçlerinin yeniden tasarımın yapıldığı proje bağlamında ne kadar erişilebilir olduklarını belirlemeli ve bir yeniden tasarım stratejisi oluşturmalıdır.
- Mevcut parçalar yerine standart ürünler seçilirken, belirlenen alternatif ürünler arasından sistematik bir seçim yapabilmek için bir karar destek sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Standart ürünlerin teknik özellikleri ve montaj bilgilerine ulaşmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle seçilen ürünlerin sistemi oluşturan diğer ürünlerle birlikte çalışmasında ve montajında karşılaşılabilecek sorunlar önceden tahmin edilememektedir.
- Standart ürünlerin mevcut sisteme nasıl entegre olacağı belirlenmelidir. Sistemi oluşturan mevcut parçalar ile sisteme yeni eklenen standart parçaların birleşiminde dikkat edilmesi gereken kriterler tanımlanmalıdır.
- Yeniden tasarım sürecinde birden çok konsept proje üretilmektedir. Bunların içinden seçim yapabilmek için öncelikli tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve karar verme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

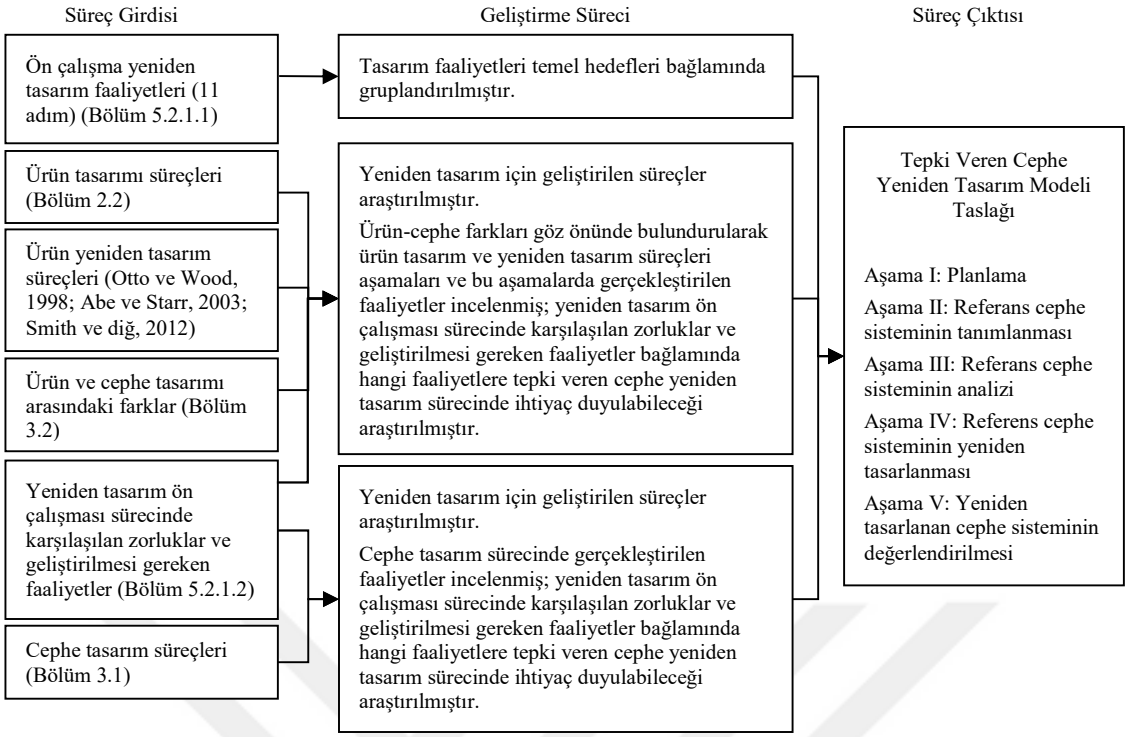
- Yeniden tasarımın parça seçimi, parçaların birbiriyle uyumunun kontrol edilmesi ve sistem detaylarının üretilmesi aşamalarında pek çok uzmanlık alanından bilgiye ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda yeniden tasarım sürecinde bir uzman destek sisteminin kullanılması faydalı görülmektedir.
- Standart ürünlerle yeniden tasarımda amaç tepki veren cephe sisteminin tasarım ve üretimini kolaylaştırmaktır. Sistemde yapılan değişikliklerin bu amacı sağladığı ispatlanmalıdır.
- Yeniden tasarım sürecinin kısaltılması için önlemler alınması gerekmektedir.

Sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilen bu yeniden tasarım çalışmasının değerlendirilmesinde belirlenen eksiklikler ve geliştirilmesi gereken faaliyetler göz önüne alınarak, ilerleyen bölümlerde sistematik bir yaklaşıma dayalı yeniden tasarım modeli geliştirilmiştir.

5.2.2 Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarım modeli uygulama aşamalarının geliştirilmesi

Genel olarak tasarım modelleri süreç kontrolü ve tasarım kolaylığı sağlamak için aşamalara ayrılmaktadır. Tasarımın aşamalı organizasyonu yoluyla toplam iş yükü ve karmaşık tasarım problemi daha kolay ele alınabilecek küçük parçalara bölünür. Böylece gelişme sürecinde tasarımın izlenmesi ve yönlendirilmesi kolaylaştırılır. Her bir tasarım aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler birbiriyle bağlantılıdır ve belirli hedeflere ulaşılmasını sağlar. Bu bağlamda oluşturulmak istenen yeniden tasarım modeli de belirli amaçlara ulaşmayı hedefleyen aşamalar üzerinden geliştirilmiştir. Yeniden tasarım modelinin aşamalarının belirlenmesinde kullanılan yöntem şematik olarak Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

Öncelikle, yeniden tasarım modelinin içermesi gereken tasarım aşamaları araştırılmıştır. Yeniden tasarım ön çalışmasında tespit edilen tasarım faaliyetleri temel hedefleri bağlamında gruplandırılmıştır. Oluşturulan faaliyet grupları mevcut cephenin tanımlanması, analizi ve yeniden tasarlanmasını içermektedir. Sonra, ön çalışmanın değerlendirilmesinde belirlenen eksiklikler ve geliştirilmesi gereken faaliyetler de göz önüne alınarak ürün ve cephe tasarım aşamaları incelenmiştir. Ürün ve cephe tasarımında yeniden tasarım için geliştirilen süreçler araştırılmıştır.

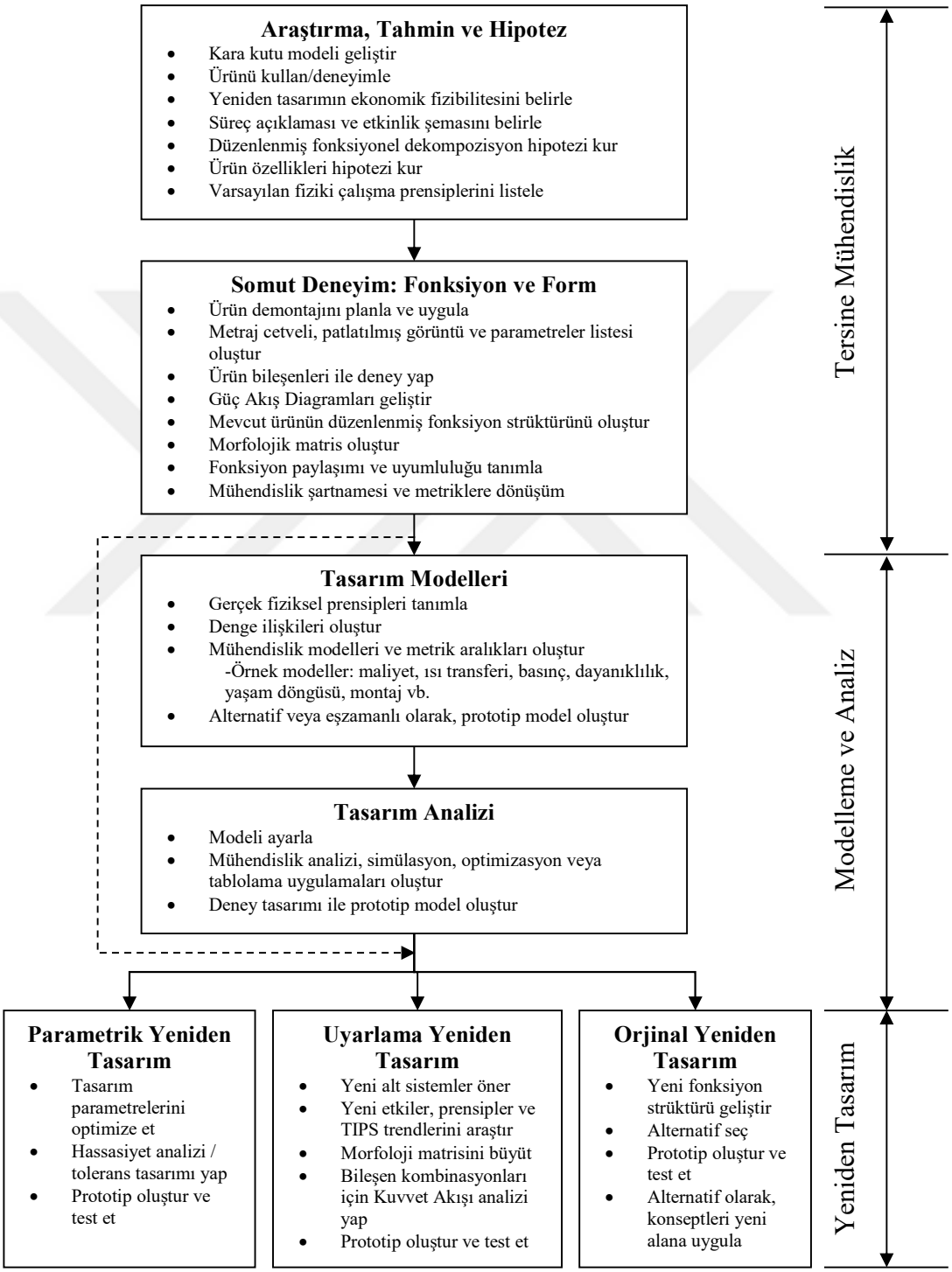


Şekil 5.12: Yeniden tasarım modelinin aşamalarının belirlenmesinde kullanılan yöntem.

Ürün tasarımında yeniden tasarımın ayrı bir tasarım süreci olarak ele alındığı (Otto ve Wood, 1998; Abe ve Starr, 2003; Smith ve diğ, 2012) ve genel ürün tasarımı sürecinden farklı olarak geliştirilmiş modüller içerdiği belirlenmiştir. Bu modüller tersine mühendislik olarak tanımlanan, mevcut ürünün sistematik bir şekilde tanımlanmasını ve analizini içeren faaliyetlerden oluşmaktadır (Otto ve Wood, 1998; Abe ve Starr, 2003). Bununla birlikte ürün yeniden tasarımı için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler genellikle ürünlerin yeniden tasarım sebeplerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Smith ve diğ, 2012). Ürün tasarımında yer alan yeniden tasarım süreci yaklaşımlarından Otto ve Wood'un (1998) geliştirdiği genel amaçlı yöntem Şekil 5.13'te verilmiştir.

Her ne kadar tepki veren cephelerin endüstriyel ürünler haline dönüştürülmesi amaçlansa da cepheler ile endüstriyel ürünler arasında Bölüm 3.2'de açıklanmış olan temel farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle ürün tasarım metodolojilerinin tepki veren cephe yeniden tasarımına uyarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, yeniden tasarım ön çalışmasından elde edilen veriler ve ürün-cephe farklılıkları göz önünde bulundurularak, ürün tasarım ve yeniden tasarım süreçleri aşamaları ve bu aşamalarda gerçekleştirilen faaliyetler incelenmiş; hangi faaliyetlere tepki veren

cephe yeniden tasarım sürecinde ihtiyaç duyulabileceği araştırılmıştır. Cephe tasarımında ise yeniden tasarıma özgü ayrı bir tasarım süreci yaklaşımına rastlanmamıştır. Tasarım süreci aşamalarında gerçekleştirilen faaliyetler amaçları ve hedefleri bağlamında incelenerek, hangilerine yeniden tasarım sürecinde ihtiyaç duyulabileceği araştırılmıştır.



Şekil 5.13: Genel yeniden tasarım ve tersine mühendislik metodolojisi (Otto ve Wood, 1998).

Gerçekleştirilen cephe ve ürün tasarım süreçleri incelemeleri sonucunda, yeniden tasarım ön çalışmasında belirlenen tasarım aşamalarına iki tasarım aşamasının daha eklenmesine karar verilmiştir. Tepki veren cephenin yeniden tasarımı belirli bir proje bağlamında gerçekleştirileceğinden ihtiyaç duyulan cephe fikrinin belirlendiği ve tasarım görevinin tanımlandığı bir tasarım aşamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu faaliyetler ürün tasarımında planlama (bk. Bölüm 2.2.1), cephe tasarımında fikir projesi tasarımı (bk. Bölüm 3.1.2) aşamasında gerçekleşmektedir. Yeniden tasarımın bu aşamasında gerçekleştirilecek faaliyetler bir proje tasarımını içermediğinden, bu aşama planlama aşaması olarak adlandırılmıştır.

Bunun yanı sıra yeniden tasarlanan cephenin proje ihtiyaçlarını ne kadar karşıladığının da belirlenmesi gerekmektedir. Bu yeniden tasarımın geliştirilen proje dâhilinde belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ürün tasarımında, ürünün üretime devrinden önce yapılan son değerlendirme çalışmaları detay tasarımı aşamasında (bk. Bölüm 2.2.4) yapılmaktadır. Cephe tasarımında ise değerlendirme süreci kesin proje aşamasında (bk. Bölüm 3.1.4) başlamakta, değerlendirmenin sonlandırılması ve tasarımın yapım sürecine devri uygulama projesi aşamasında (bk. Bölüm 3.1.5) tamamlanmaktadır. Yeniden tasarımın bu aşamasında gerçekleştirilecek faaliyetler temel olarak değerlendirme çalışmalarını içerdiğinden, aşamanın amacı bağlamında daha tanımlı olması için, bu aşama yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi olarak adlandırılmıştır.

Yeniden tasarımda gerçekleştirilecek faaliyetlerin temel amaçlarının belirlenmesi ve tasarım sürecinin aşamalara ayrılması bağlamında gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda yeniden tasarım sürecinin ana hatları çizilmiş ve beş aşamadan oluşan model taslağı hazırlanmıştır. Yeniden tasarım modeli taslağının aşamaları şunlardır:

- Planlama
- Referans cephe sisteminin tanımlanması
- Referans cephe sisteminin analizi
- Referens cephe sisteminin yeniden tasarlanması
- Yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi

Cross (2004), başarılı tasarım davranışının, kapsamlı problem analizine değil, problem kapsamının yeterli düzeyde belirlenmesine, problem bilgisinin toplanması

ve tasarımda etkili kriterlerin önceliklendirilmesine odaklanmış veya yönlendirilmiş bir yaklaşıma dayandığını belirtmektedir. Bundan yola çıkarak yeniden tasarım modelinin geliştirilmesi sürecinde bir sonraki adım, model aşamalarında gerçekleştirilecek faaliyetlerin belirlenmesi ve sistematik bir hale getirilmesi olmuştur. Bu süreçte yeniden tasarım ön çalışmasında tespit edilen tasarım faaliyetleri ve tasarım süreci değerlendirmesinde tespit edilen sorunlar bağlamında, cephe tasarım süreçleri, ürün tasarım süreçleri ve yöntemleri incelenmiştir. Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesinde çözülmesi gereken beş önemli alt problem belirlenmiştir:

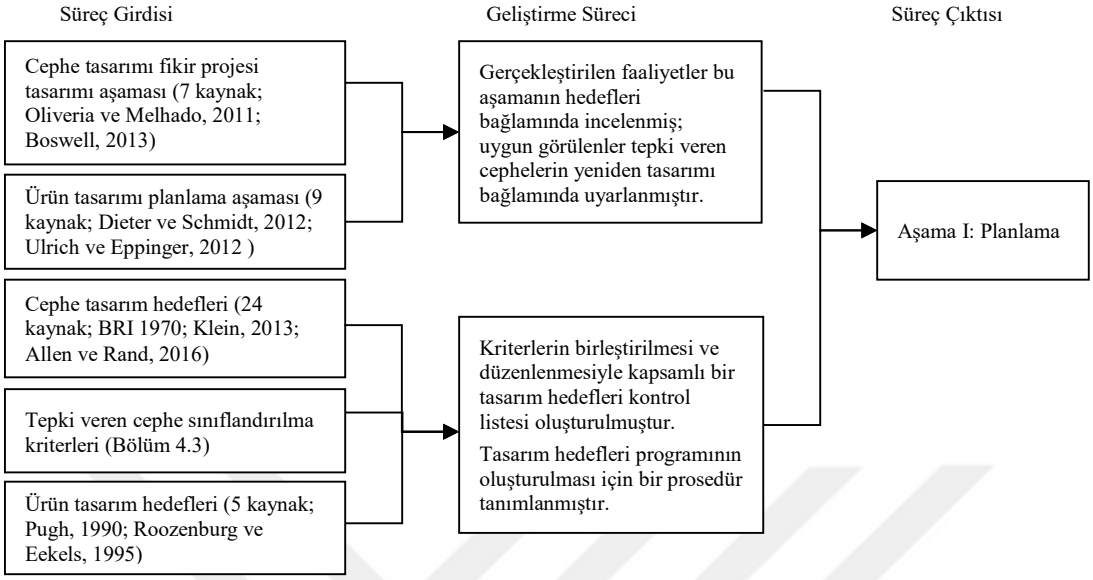
- Geliştirilecek proje bağlamında ihtiyaç duyulan özelliklere sahip, çelişkileri mümkün olduğunca azaltan bir mevcut sistemin seçilmesi
- Yeniden tasarımda sistemin uygulanabilirliğinin arttırıldığını kanıtlamak için kullanılacak temel performans göstergesinin tanımlanması
- Mevcut sistemi oluşturan hangi parçaların yeniden tasarıma tabi tutulacağının belirlenmesi
- Yeniden tasarım için parçaların nasıl seçilmesi gerektiğinin belirlenmesi
- Sistemin yeniden düzenlenmesi sürecinde ortaya çıkan problemlerin nasıl çözüleceğinin belirlenmesi

Model taslağını oluşturan her bir süreç aşaması, yukarıda verilen tasarım alt problemleri ve aşamanın ön görülen çıktılarına bağlı olarak ayrı ayrı geliştirilmiştir. Ayrıntılı bir inceleme için her bir süreç aşaması bir ön çalışmayla değerlendirilmiştir. Bu ön çalışmaların bulgularına dayanarak, yeniden tasarım modelinin uygulanmasını kolaylaştırmak için iyileştirmeler yapılmış; tasarım adımlarına kontrol listeleri ve şablonlar eklenmiştir. Her bir model aşamasının geliştirilmesinde kullanılan yöntem ve yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

5.2.2.1 Planlama aşamasının geliştirilmesi

Bu aşamanın amacı, geliştirilen proje bağlamında ihtiyaç duyulan cephe özellikleri ile mevcut cephe özellikleri arasında mümkün olduğunca az farklılık ve çelişki barındıran bir mevcut tepki veren cephe sisteminin, yeniden tasarım için referans cephe olarak seçilmesini sağlamaktır. Projenin tanımı ne kadar net olursa, takip eden aşamalara geçmek o kadar kolay olacağından, bu aşama yeniden tasarıma başlamadan önce gerçekleştirilmesi gereken, tasarım sürecine yön veren, genel

sürecin küçük ama önemli bir parçasıdır. Aşamanın geliştirilmesinde kullanılan yöntem şematik olarak Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14: Aşama I: Planlama süreç adımlarının geliştirilmesi.

Bu aşamanın amacı bağlamında cephe tasarımında fikir projesi aşamasında (bk. Bölüm 3.1.2), ürün tasarımında ise planlama (bk. Bölüm 2.2.1) aşamasında gerçekleştirilen faaliyetler incelenmiştir. Bunlar arasından proje ve cephe tasarım hedeflerinin belirlenmesi faaliyeti, referans tepki veren cephe sisteminin seçiminde değerlendirme kriterleri oluşturulması açısından yararlı görülmüş ve daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Genel olarak tasarım eylemi bir amacı veya bir fonksiyonu gerçekleştirmek için yapılmaktadır. Bu bağlamda tasarım sürecinin başında, tasarımın planlanması ve yönlendirilmesini sağlamak amacıyla tasarım hedeflerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tasarım hedefleri, tasarım ekibine tasarımın ilerleyişine dair bir yön ve bir bakış açısı sağlar; tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve seçimi için gerekli kriterleri oluşturur. Cephe tasarımına rehberlik eden hedefler, yapı tasarımı için belirlenen hedefleri içermelidir. Tasarım ekibinin her bir üyesinin kendi sorumluluk alanlarındaki hedeflere ulaşmak için odaklandığı belirli konular bulunmaktadır. Cephe tasarım sürecine tasarım ekibi üyeleri eklendikçe proje ve cephe tasarım hedefleri tüm proje ekibini kapsayacak şekilde genişletilir. Mimar, tüm proje tasarım ekibi katılımcılarıyla iş birliği içinde genel hedeflerin belirlenmesi çabasını yönlendirmelidir. Buradaki zorluk, her bir takım üyesinin bireysel

hedeflerinin tüm ekibin hedefi haline geldiği bir takım ortamını yapılandırmak, geliştirmek ve sürdürmektir (Boswell, 2013).

Cephe tasarım hedefleri nicel ve nitel hedefleri içermektedir. Nitel hedefler isteklerden ilham kaynaklarına kadar çeşitlilik gösteren, ölçülemeyen hissedilen hedeflerdir. Nicel hedefler ise ölçülebilen hedeflerdir. Nicel ve nitel hedeflerin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken konular bulunmaktadır. Nicel hedefler sadece pragmatik veya pratik hedeflerle izole edilmemelidir. Netleştirilmesi veya ulaşılabilirliğinin değerlendirilmesi zor olan genel veya belirsiz nitel hedefler ise genellikle tasarım sürecinde yarar sağlamaz. (Boswell, 2013)

Bu çalışma kapsamında cephe tasarım hedeflerinin belirlenmesi ile ilgili ellinin üzerinde bilimsel yayın incelenmiş; tasarım hedeflerinin tanımlanmasında kullanılan yaklaşımlar ve tasarım kriterleri belirlenmiştir. Buna göre cephe tasarım hedeflerinin tanımlanması ile ilgili kullanılan 3 farklı yaklaşım bulunmaktadır: kısıtlamaların tanımlanması (Gowri, 1990;1992), ihtiyaçların tanımlanması (Marcel, 2012, Knaack ve diğ, 2014) ve performansın tanımlanması (ISO 9699, 1994; Warren, 2003; Jin ve Overand, 2014).

Tasarım ihtiyaçları dış koşulları veya iç koşulları yöneten ihtiyaçlar; kural veya performans esaslı ihtiyaçlar olarak gruplandırılabilir (Herzog ve diğ, 2004; Struck ve diğ, 2015). Tasarımdan etkilenmeyen dış koşullar, bölgelere, ülkelere ve kıtalara göre değiştiğinden dikkatli bir analiz gerektirir (Herzog ve diğ, 2004). İç koşulları yöneten ihtiyaçlar ise genellikle konfor koşullarına odaklanmaktadır. Kural esaslı ihtiyaçlar, şartnameleri, kritik durumlardan öğrenilen sosyal ihtiyaçları veya dersleri temsil eder. Kural esaslı şartnamelerin potansiyel olarak yeniliği ve değişimi engellediği kabul edilmektedir. Performans esaslı ihtiyaçlar belirli bir fonksiyon veya amaç ile ilgili elde edilmek istenen başarımı tanımlar. Performans esaslı ihtiyaçlar ve şartnameler oluşturmanın üç yararı bulunmaktadır: (1) ticaretteki engelleri azaltma ve inovasyonu artırma; (2) düzenleme karmaşıklığını azaltma ve amacını netleştirme ve (3) güvenliği kısıtlamaksızın daha düşük maliyetlerle daha işlevsel yapılara izin verme (Struck ve diğ, 2015). Uluslararası standartlar incelendiğinde de proje ön talimatlarının (*briefing*) belirlenmesi için bir kontrol listesi sunan ISO 9699 (1994) ve bunun yürürlükten kaldırılmasıyla yerine geçen ISO 19208'nın (2016) performans standartlarına odaklandığı görülmüştür.

Literatür araştırmasının ikinci aşamasında 24 kaynaktan tasarım hedeflerini tanımlayan iki yüzün üzerinde tasarım kriteri derlenmiştir (Çizelge Ğ.1). Bu çalışmalar içinden BRI (1970), Klein (2013) (Şekil G.1), ve Allen ve Rand (2016) oldukça kapsamlı sınıflandırma ve tanımlar sağlamış olmalarına rağmen hiçbiri cephe tasarımı sürecinde göz önünde bulundurulması gereken kritelere bütüncül bir bakış açısı sunamamıştır. Literatürde bir tasarım kriterinin birden çok şekilde ifade edilebildiği, bir kriterin birden çok ana hedef altında incelenebildiği ve zaman zaman farklı amaçlara sahip kriterlerin aynı hedef altında değerlendirildiği tespit edilmiştir. Bu durum tasarım kriterlerinin sistematik bir şekilde gruplandırılmasını ve incelenmesini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda literatürden derlenen tüm tasarım kriterlerinin gruplandırılması yerine, bu tasarım kriterlerini genel olarak tanımlayan ve tasarım hedefleri belirlenirken dikkate alınması gereken ana kriterler belirlenmiş ve Çizelge 5.12'de verilmiştir. Kriterlere numara verilerek tasarım hedefleri programının oluşturulması ve tasarım sırasında kriterlere atıfta bulunma işleminin kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 5.12: Tasarım hedefleri belirlenirken dikkate alınması gereken ana kriterler.

Numara	Tasarım hedeflerini oluşturan ana kriterler
1	Yapısal çevre
2	Mekânsal biçimlendirme/form/boyutlandırma
3	Yasal kısıtlamalar/standartlar/yönetmelikler
4	Fonksiyon
5	Performans
6	Yapılabilirlik
7	Estetik
8	Sosyal etki
9	Güvenlik
10	Sağlık
11	Çevresel etki/ sürdürülebilirlik/ ekoloji
12	Sistem/ bileşen/ malzeme kullanımı
13	Tedarik/ erişilebilirlik
14	Lojistik
15	Maliyet
16	Test/ izleme /sınama /değerlendirme
17	Geliştirme süreci zaman programı
18	Yapım ve ihale
19	İşletme/ yönetim
20	Gelecekteki bakım ve adaptasyon politikası
21	Hizmet ömrü
22	Hizmet ömrü sonu politikası

Çizelge 5.12'de verilen her ana kriterin alt kriter olarak tanımlanabilecek niteleyici veya ölçülebilir özelliklere ayrılabileceği unutulmamalıdır. Bu ana kriterler arasında fonksiyon bilgisi, tasarımın oluşturulması ve değiştirilmesi, karşılaştırılması, değerlendirilmesi ve seçimi, cephe performansının tanımlanması ve bunların yanı

sıra onarım için gerekli tanının konulabilmesi gibi tasarımla ilgili çok çeşitli faaliyetlerde gereklidir. Bu bağlamda tasarım hedefleri belirlenirken özellikle üzerinde durulması gereken bir kriterdir.

Tasarım hedefleri belirlenirken dikkate alınması gereken ana kriterlerle ilgili aynı çalışma ürün tasarımı bağlamında da gerçekleştirilmiştir. Tasarım hedeflerinin genel çerçevesini belirlemek amacıyla literatürden ürün tasarım hedeflerinin belirlenmesinde kullanılan temel kriterler derlenmiştir (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13: Ürün tasarım hedeflerinin belirlenmesinde kullanılabilecek kriterler listesi (Roozenburg ve Eekels, 1995; Pahl ve diğ, 1996; Tooley ve Knovel, 2010).

Numara	Kriter	Numara	Kriter	Numara	Kriter
1	Psikolojik	12	Paketleme	23	Raf ömrü
2	Sosyal	13	Miktar	24	Depolama
3	Maliyet	14	Üretim tesisleri	25	Test, değerlendirme
4	Teknik	15	Boyut ve ağırlık	26	Güvenlik
5	İşletme	16	Estetik	27	Ürün politikası
6	Zaman	17	Malzeme	28	Sosyal ve politik etkiler
7	Kaynak	18	Ürün piyasa ömrü	29	Ürün yükümlülükleri
8	Performans	19	Standartlar	30	Kurulum
9	Çevre	20	Ergonomi	31	Yeniden kullanım
10	Kullanım ömrü	21	Kalite	32	Geri dönüşüm
11	Bakım	22	Güvenilirlik	33	Yok etme

Pugh (1990), ürün tasarımının hedeflerini kapsamlı bir şekilde belirlemek için, bir kontrol listesi formatında kullanılabilecek, 24 kriterden oluşan bir liste geliştirmiştir. Roozenburg ve Eekels (1995) bu kriterleri özetleyerek kullanımını kolaylaştırmıştır. Bu çalışma kapsamında, tasarım hedeflerinin kapsamlı ve sistematik bir şekilde belirlemesi için de benzer bir kontrol listesi yaklaşımı seçilmiştir. Bu bağlamda ürün tasarımı hedeflerini belirlemek için ortaya koyulan kriterler (Çizelge 5.13), cephe tasarım hedefleri kriterleriyle (Çizelge 5.12) karşılaştırılarak Roozenburg ve Eekels'in (1995) ürün tasarım hedefleri kontrol listesi tepki veren cephe tasarımına uyarlanmıştır. Uyarlama sırasında gerçekleştirilen çalışmalar şunlardır:

- Bazı kriterlerin adı değiştirilmiştir.
- Bazı kriterlerin değerlendirilmesinde cephe tasarımına uyum sağlayacak yeni kriterler eklenmiş; ürün tasarımına özgü kriterler çıkartılmıştır.
- Ürünün ne kadar süreyle piyasada kalacağını sorgulayan ürün ömrü kriteri, üreticinin hangi sorunlardan mesul tutulabileceğini tanımlayan ürün sorumluluğu kriteri ve ürün politikası kriteri kaldırılmıştır.

- İşletme ayrı bir kriter haline getirilmiştir.
- Kriterlerin değerlendirme sırası cephe geliştirme adımlarına göre sıralanmıştır.

Ayrıca tepki veren cephe özelliklerinin de daha ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi için bu çalışmada geliştirilen tepki veren cephe sınıflandırma kriterleri (Çizelge 4.3) kontrol listesine entegre edilmiştir. Böylece kapsamlı bir tasarım hedefleri kontrol listesi oluşturulması amaçlanmıştır. Yapılan bu işlemler sonrasında, geliştirilecek proje bağlamında ihtiyaç duyulan tepki veren cephe sisteminin sağlaması gereken özellikleri, yani tasarım hedeflerini belirlemek için kullanılacak 22 kriterden oluşan bir tasarım hedefleri kontrol listesi oluşturulmuştur.

Roozenburg ve Eekels (1995), eksiksiz bir tasarım şartnamesine ulaşmak için farklı bakış açılarının dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Tasarım hedeflerinin belirlenmesine yardımcı olmak için projenin geliştirilmesinden sorumlu ekip üyelerinden, mühendislik tasarımı, yapım süreçleri gibi bakış açılarından, biri veya birkaçı seçilerek mümkün olduğunca çok tasarım hedefi belirlenmelidir.

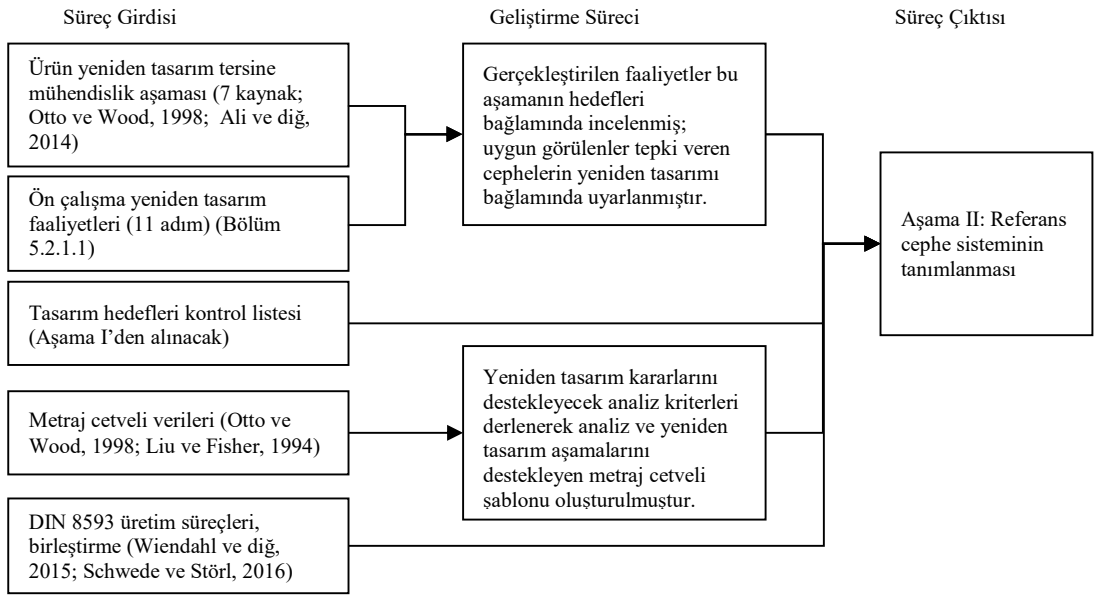
Tasarım ekibinin vizyonunun genişletilmesinde ve tasarım uzayının tanımlanmasında etkisi olan tasarım hedefleri birbiriyle ilişkilidir ve birbirlerini etkiler. Tasarım hedeflerinin ve bunların karşılıklı bağımlılıklarının kapsamlı bir şekilde anlaşılması, bir cephenin tasarım ve yapımında alınan kararların temelini oluşturmaktadır (Herzog ve diğ, 2004). Bu bağlamda sadece tasarım hedeflerinin belirlenmesi yetersiz kalmakta, bu hedeflerin birbiriyle ilişkilerinin, bağıl önemlerinin ve değerlendirme ölçeklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Tanımlanan tasarım hedeflerinin tasarıma yol gösterici bir programa dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu da ürün tasarımında tasarım hedefleri programının oluşturulmasıyla sağlanmaktadır. Bu bağlamda Boeijen ve Daalhuizen'in (2010) ürün tasarım hedeflerinin belirlenmesi üzerine olan çalışması cephe tasarımına uyarlanarak projeye özgü tasarım hedefleri programının oluşturulması için 4 adımdan oluşan bir prosedür tanımlanmıştır.

Tepki veren cephe tasarım hedefleri ve programı belirlendikten sonra yapılması gereken mevcut tepki veren cephelerin tasarım özelliklerinin bu programda belirlenen tasarım hedefleriyle karşılaştırılmasıdır. Bunun için bir tepki veren cephe veri tabanına ihtiyaç duyulmaktadır. COST Action TU1403 Adaptive Facades Network (2014-2018) araştırma projesi kapsamında tepki veren cephe vaka

çalışmaları ve projelerinin derlendiği bir veri tabanı oluşturma çalışması yürütülmüştür (Aelenei ve diğ, 2018). Fakat, 165 projenin yer aldığı bu veri tabanı henüz erişime açık değildir.

5.2.2.2 Referans cephe sisteminin tanımlanması aşamasının geliştirilmesi

Bir tasarımcı genellikle, tasarım zamanının %25-30'unu mevcut tasarımları ve ilgili üretim bilgilerini araştırarak geçirmektedir (Chang ve Peterson, 2012). Yeniden tasarımın gerçekleştirilebilmesi ve yönlendirilebilmesi için öncelikle referans tepki veren cephe kapsamlı bir şekilde tanımlanmalıdır. Planlama aşamasında, yeniden tasarlanacak mevcut sistemin seçimi için, sistemin ana fonksiyonu, performansı, çalışma mekanizması gibi asgari bazı özelliklerinin zaten bilinmesi gerekmektedir. Fakat bu bilgiler tasarımın gerçekleştirilmesi için yeterli olmayabilir. Referans sistemin tasarım mantığı, fiziksel sistemi ve işleyişinin tam olarak tanımlanması ve anlaşılması gerekmektedir. Bu bağlamda bu aşamada, yeniden tasarım stratejilerinin geliştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan, referans cephe özelliklerinin tanımlanması amaçlanmaktadır. Referans sistemin tasarım ve üretim verileri, tasarımcısından ve üreticisinden eksiksiz bir şekilde temin edilebileceği gibi bazı durumlarda ulaşılabilen mevcut kaynakların derlenmesi ve analizi ile tasarımcı tarafından da oluşturulabilir. Aşamanın geliştirilmesinde kullanılan yöntem şematik olarak Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15: Aşama II: Referans cephe sisteminin tanımlanması, süreç adımlarının geliştirilmesi.

Bu aşamada gerçekleştirilecek faaliyetlerin tanımlanması için öncelikle cephe ve ürün tasarımında mevcut bir sistemin tanımlanması için kullanılan yöntemler araştırılmıştır. Ürün yeniden tasarım sürecinde mevcut ürünlerin özelliklerini ve çalışma prensiplerini öğrenmek için tersine mühendislik süreçlerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda tersine mühendislik yaklaşımı ve süreci daha kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Tersine mühendislik, ürün geliştirme sürecinin tersine işlemidir. Temel olarak, mevcut bir ürünle ilgili tasarım modellerinin yeniden kurulmasına dayanmaktadır. Amaç bir ürünün mevcut örneklemesini tam olarak anlamak ve betimlemektir. Bunun için mevcut bir ürünün özellik analiziyle elde edilen bilgiler, üretim sürecine ait bilgilerle birleştirilerek kullanır (Ali ve diğ, 2014). Tersine mühendislik sürecinde bir ürün, gözlenir, demonte, analiz ve test edilir, deneyimlenir; fonksiyonelliği, formu, fiziksel prensipleri, üretilebilirliği ve birleştirilebilirliği açısından belgelenir (Otto ve Wood, 1998). Ortaya çıkan betimleme ve anlayışa dayanarak ürün, alt sistem, konfigürasyon, bileşen veya parametrik düzeyde geliştirilebilir (Otto ve Wood, 1998). Endüstride tersine mühendislik süreçleri, geliştirilmekte olan sistemleri optimize etmek için mevcut sistemlerden bilgi alma, mevcut ürünlerin iyileştirilmesi amacıyla yeniden tasarlanması, konsept geliştirme ve inovasyon süreçlerinin desteklenmesi, rakiplerin ürünlerinin analizi, tren ve uçak gibi uzun ömürlü ürünlerin onarımında bilgi edinme amacıyla kullanılmaktadır (Junior Montanha ve diğ, 2007; Ali ve diğ, 2014).

Literatürde tersine mühendislik sürecinin bir kısmını ya da tamamını şekillendirmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir (Otto ve Wood, 2001; Tay ve Gu, 2003; Junior Montanha ve diğ, 2007; Ali ve diğ, 2014). Ali ve diğ. (2014), genel olarak tersine mühendislik sürecinde tanımlanan 4 ana eylem bulunduğunu belirtmiştir. Bunlar:

- Ürün tarama ve veri toplama.
- Elde edilen verilerin bölümlendirilmesi.
- Bilgi çıkarma (*knowledge extraction*) (yani, özellik doğrulama).
- Ürünün 3 boyutlu modelinin oluşturulması.

Tersine mühendislik süreciyle ilgili en ayrıntılı görev listesi ise Otto ve Wood (1996; 1998; 2001) tarafından tanımlanmıştır. Burada tüm süreç iki ana aşamaya ayrılmıştır:

araştırma, tahmin, hipotez; somut deneyim: fonksiyon ve form. İlk aşamada ürün bir kara kutu olarak değerlendirilir, çalışma parametreleri üzerinden deneyimlenir, müşteri ihtiyaçları bağlamında incelenir, fonksiyonelliği, ürün bileşenleri ve fiziksel ilkeleri öngörülür. İkinci aşamada ürün hem fonksiyon hem de form olarak denenir. Bu aşama ürünün tamamen sökülmesini, üretim için tasarım analizini, ek fonksiyonel analizi ve nihai tasarım şartnamelerinin oluşturulmasını içerir. Bu iki aşamada gerçekleştirilen görevlerin listesi Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14: Tersine mühendislik aşamaları ve gerçekleştirilen görevler (Otto ve Wood, 1996; 1998; 2001).

1. Aşama: araştırma, tahmin, hipotez	2. Aşama: somut deneyim: fonksiyon ve form
Görevi açıklama: kara kutu modelinin oluşturulması	Ürün sökümünün planlanması ve uygulanması
Ürünün kullanılması/ deneyimlenmesi	Metraj cetveli, patlatılmış görünüm ve parametre listesi oluşturulması
Müşteri ihtiyaçlarının derlenmesi ve düzenlenmesi	Sistematik fonksiyon analizi prosedürlerinin uygulanması ve belgelenmesi
Ürün zayıflıklarının teşhis edilmesi	Ürün bileşenlerinin deneye tabi tutulması
Yeniden tasarımın ekonomik fizibilitesinin sunulması	Kuvvet akış diyagramlarının geliştirilmesi
Süreç tanımlaması veya faaliyet diyagramının belirlenmesi	Ürünün geliştirilmiş fonksiyon strüktürünün oluşturulması
Fonksiyonel ayrışma hipotezinin oluşturulması/ Fonksiyonların öngörülmesi	Ürün bileşenleri arasındaki kısıtlamaların belirlenmesi
Fonksiyonel modelleme	Morfolojik matris oluşturulması
Ürün özellikleri hipotezinin oluşturulması	Fonksiyon paylaşımı ve uyumluluğun tanımlanması
Öngörülen fiziksel çalışma prensiplerinin listelenmesi	Mühendislik şartnemeleri ve ölçümlerinin oluşturulması

Ürünün sökülmesi (demontaj) aşaması sağladığı veriler nedeniyle tersine mühendislik sürecinde dikkat edilmesi gereken önemli bir aşamayı oluşturmaktadır (Junior Montanha ve diğ, 2007). Otto ve Wood (2001) ürünün sökülmesi işleminin sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesinin önemini vurgulayarak, bu süreci de aşağıda açıklanan 5 alt göreve ayırarak incelemiştir.

- **Tasarım sorunlarının listelemesi:** Söküm faaliyetinin kapsamı ve amacının açık bir tanımlaması yapılmaktadır. Ölçülmesi gereken önemli performans kriterleri belirlenir. Mevcut ürünü tasarlayan ekibin tasarımda karşılaştığı sorunlar, kısıtlamalar ve imkânlar açığa çıkartılır. Bu amaçla cevaplanması gereken sorulardan bazıları şunlardır:
    - Tasarımın sorunları / kısıtlamaları nelerdir?
    - Tasarımın önemli özellikleri / fonksiyonları nelerdir?

- Hangi tasarım problemlerine çözüm bulunmuştur?
- Ürünle ilişkili kullanılan teknolojiler nelerdir?
- Bu ürün benzer ürünlerden oluşan bir ailenin parçası mıdır?
- Herhangi bir çevrimiçi inceleme / müşteri geri bildirimi bulunmakta mı?

Bu aşamada ayrıca üründen beklenen fonksiyonların ve ürün bileşenleriyle ilgili temel bilgilerin belirlenmesi gerekmektedir. Ürün bileşenleriyle ilgili genel olarak bilinmesi gereken veriler şunlardır: ürün birimi başına parça sayısı, boyutsal ölçümler, en fazla, en az ve ortalama malzeme kalınlığı, ağırlık, malzeme, renk/ bitiş özellikleri, üretim süreçleri, geometrik, mekânsal ve değişken toleranslar, temel fonksiyonlar ve parça maliyeti.

- **Ürün sökümüne hazırlık:** Ürün sökümünde ve ölçüm sürecinde ihtiyaç duyulacak tüm araçlar belirlenir. Bu araçlardan bazıları: tornavida, manivela, cetvel, multimetre, kompas, kamera ve test ekipmanlarıdır. Ürünün sadece sökümünden değil yeniden montajından da önemli veriler elde edilebileceğinden tahrip edici deneylerin yapılmaması, testere, kesici aletler ve çekiç gibi araçların kullanılmaması önerilmektedir.
- **Dağıtım ve kurulum yöntemlerinin incelenmesi:** Bir ürünle ilgili çok önemli ve genellikle gözden kaçan bir konu dağıtım yöntemidir. Ürünün tedarik zincirinde üreticiden satıcıya, sonra da tüketiciye nasıl geçtiği ve bunun için uygun şekilde tasarlanıp tasarlanmadığı belirlenmelidir.
- **Ürünü sökme, ölçme ve analiz etme:** Ürünün söküm işleminden etkili bir şekilde veri elde etmek için bunun ölçüm testleri, görsel ve yazılı belgeleme ile beraber yürütülmesi gerekmektedir. Ayrıca söküm işleminin ürünü tahrip edici olmaması gerekmektedir. Bu görevin adımları: ürünü parçalarına ayırma, ürünün parçalara ayrılmış görüntüsünü elde etmek için fotoğraf çekilmesi, veri listesinin doldurulması için parçaların ölçümünün ve gerekli testlerin yapılmasıdır.
- **Metraj cetvelinin oluşturulması:** Ürünün söküm sürecinde ürünün özelliklerini detaylı olarak tanımlayan bir belge oluşturulması gerekmektedir. Ürün mimarisini anlamak için farklı montaj veya alt montaj aşamaları

belirlenmelidir. Metraj cetvelinin her kolonundan elde edilen veriler performans ve maliyet dâhil olmak üzere daha sonra yapılacak analizler için gereklidir. Bu bağlamda bir metraj cetvelinde bulunması gereken veriler genel olarak şunlardır:

- Montaj bölümü adı
- Parça miktarı
- Parçaların boyutları ve ağırlığı
- Parçaların malzemesi, kaplaması veya rengi
- Kullanılan üretim süreçleri
- Parçanın amacı / fonksiyonu
- Parça başına maliyet tahmini

Ele alınan proje bağlamında tersine mühendislik sürecinin amacı ve hedefleri yukarıda belirtilen süreç adımlarına ek olarak alternatif eylemler ve teknikler kullanılmasını gerektirebilmektedir. Bu şekilde ürünler yeniliklere olanak sağlayan yeni bakış açılarından görülebilir (Otto ve Wood, 1998). Bununla birlikte tersine mühendislik sürecini destekleyen yöntemler de mevcuttur. Ürünün parçaları veya süreçleri arasındaki bağlantıları tanımlamak için arayüz diyagramları, önemli özellikleri tanımlamak için değer analizi, montaj analizi için Montaj için Tasarım yöntemi kullanılabilir (Junior Montanha ve diğ, 2007).

Tersine mühendislik sürecinin incelenmesinin ardından bu süreçte gerçekleştirilen faaliyetlerin referans cephe sisteminin tanımlanması için yeniden tasarım sürecine uyarlanması çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle standart ürünlerle yeniden tasarım ön çalışmasında tespit edilen faaliyetler, tersine mühendislik sürecinde gerçekleştirilen faaliyetlerle karşılaştırılmış; kapsam ve amaç olarak birbirine yakın görülen faaliyetler belirlenmiştir. Bölüm 3.2'de tanımlanan cephe ve ürün tasarımı arasındaki farklar bağlamında ürün tasarımına özgü süreç adımları ayıklanmıştır. Mevcut tepki veren cephelerin büyük çoğunluğu özel üretim sistemler olduğundan, bunlardan sistemin sökülmesi yoluyla veri elde etmek mümkün olmamaktadır. Ancak söküm aşamasında elde edilmesi amaçlanan bilgilerin, referans cephenin, literatür, tasarımcı, üretici gibi çeşitli kaynaklardan derlenen verilerinden elde edilebileceği öngörülmüştür. Bu nedenle ürün söküm süreci faaliyetleri de referans cephenin

tanımlanması bağlamında incelenerek uyarlanmıştır. Bu işlemlerin sonucunda referans cephe sisteminin tanımlanması aşamasını oluşturan faaliyetler belirlenmiştir (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.15: Referans cephe sisteminin tanımlanması aşamasını oluşturan faaliyetlerin, yeniden tasarım ön çalışması faaliyetleri ve tersine mühendislik faaliyetleri üzerinden tanımlanması.

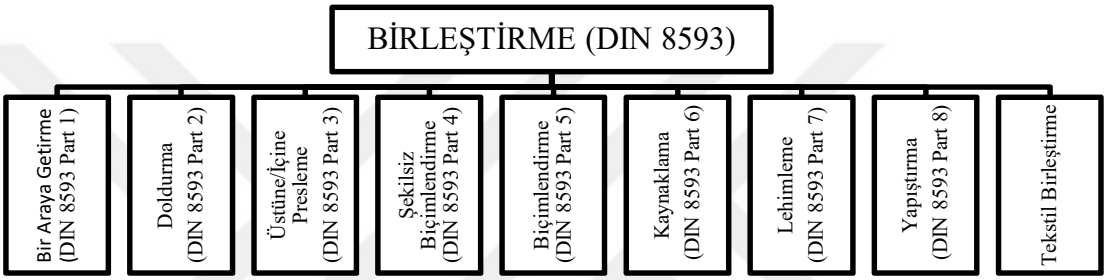
Standart ürünlerle yeniden tasarım ön çalışması faaliyetleri	Tersine mühendislik faaliyetleri	Referans cephe sisteminin tanımlanması faaliyetleri
Veri toplama	Tasarım sorunlarının listelenmesi	Tasarım hedeflerini ve kısıtlamalarının tanımlanması
Mevcut cephenin tasarım parametrelerinin belirlenmesi	Müşteri ihtiyaçlarının derlenmesi ve düzenlenmesi	
Mevcut cephenin fonksiyonlarının belirlenmesi	Ürün özellikleri hipotezinin oluşturulması	
Veri toplama	Ürün sökümünün planlanması	Cephe detaylarının belirlenmesi
		Cephenin üretim ve yapım süreçlerinin incelenmesi
	Ürün sökümüne hazırlık	Cephenin üretim ve montajı için gerekli girdilerin belirlenmesi
	Dağıtım ve kurulum yöntemlerinin incelenmesi	
Mevcut cepheyi oluşturan parçaların belirlenmesi	Ürünü sökme, ölçme ve analiz etme	Cephenin metraj cetvelinin oluşturulması
	Ürünün geliştirilmiş fonksiyon strüktürünün oluşturulması	
	Fonksiyon paylaşımı ve uyumluluğun tanımlanması	
	Metraj cetvelinin oluşturulması	
	Patlamış görünüm oluşturulması	Cephenin montaj şemalarının oluşturulması
	Ürün bileşenleri arasındaki kısıtlamaların belirlenmesi	

Referans cephe sisteminin tanımlanması faaliyetlerinin belirlenmesinden sonra bu faaliyetlerin daha sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak için alınabilecek önlemler araştırılmıştır. Bu bağlamda referans cephenin tasarım hedefleri ve kısıtlamalarının belirlenmesi ve listelenmesinde, planlama aşamasında geliştirilen tepki veren cephe tasarım hedefleri kontrol listesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

İmalat endüstrisinde veri giriş ve çıkışlarını sergilemek, parçaların temel özelliklerini tanımlamak ve parça ilişkilerini yapılandırmak için kullanılan metraj cetvelinin içeriği çalışmanın amacı bağlamında genişletilerek, metraj cetveli şablonu oluşturulmuştur. Metraj cetveli genellikle, hammadde, alt montaj, alt bileşen ve parça gibi sistemi oluşturan öğelerin, parça numarası, tanımı, miktarı, ölçü birimi ve parçanın satın alındığını veya üretildiğini açıklayan tedarik türü ile ilgili bilgiler içermektedir (Liu ve Fischer, 1994). Çalışma kapsamında oluşturulacak metraj cetvelinin, genel bir metraj cetvelinde bulunan bilgilerin yanında, yeniden tasarım

kararını destekleyecek, cepheyi oluşturan parçaların, malzeme, üretim, erişilebilirlik ve standardizasyon düzeyleriyle ilgili bilgileri de içermesi gerekmektedir.

Son olarak, cephenin montaj şemalarının oluşturulması için sistemi oluşturan parçaların birleşim tiplerinin de sistematik bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla cephe ve ürün tasarımında birleşim tipleri araştırılmış ve DIN 8593 Üretim Süreçleri Standardı'na ulaşılmıştır (Wiendahl ve diğ, 2015). Bu standartta birleşim tipleri 9 sınıfa ayrılarak tanımlamıştır (Şekil 5.16). Cephenin montaj şemaları oluşturulurken parça birleşimlerinin tanımlanmasında bu standartta belirlenen birleşim tiplerinden yararlanılacaktır.



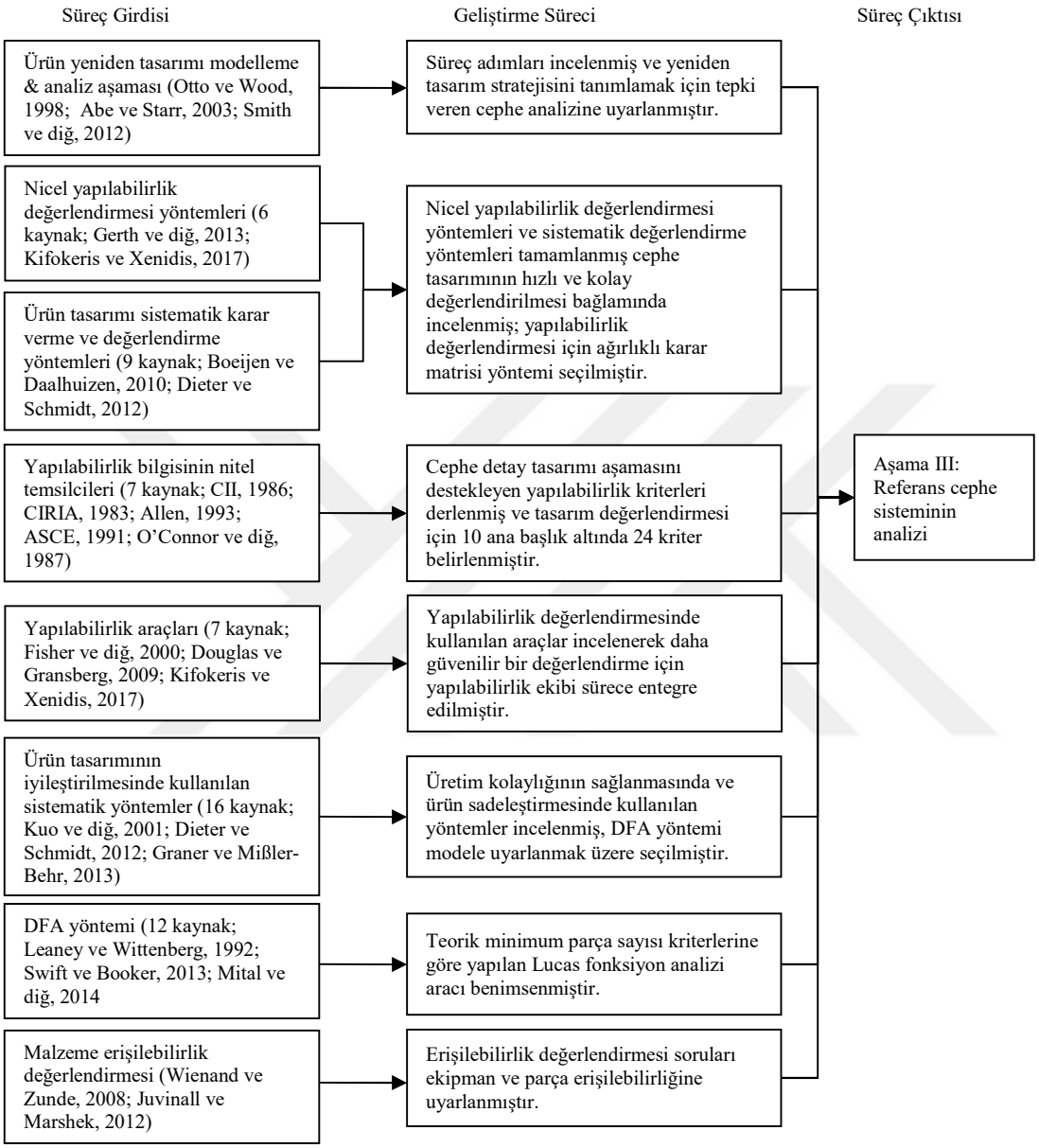
Şekil 5.16: DIN 8593 Üretim Süreçleri, birleşim tipi sınıflandırması (Wiendahl ve diğ, 2015).

5.2.2.3 Referans cephe sisteminin analizi aşamasının geliştirilmesi

Bu aşamanın amacı, yeniden tasarım stratejisini ve yeniden tasarım sırasında odaklanılacak parçaları belirlemek için, referans cephenin ve cepheyi oluşturan parçaların analizini gerçekleştirmektir. Burada yeniden tasarım modelinin geliştirilmesinde karşılaşılan temel sorunlardan ikisine çözüm aranmıştır. Bunlardan ilki sistemin uygulanabilirliğinin arttırıldığını kanıtlamak için kullanılacak temel performans göstergesinin tanımlanması; ikincisi ise referans sistemi oluşturan hangi parçaların yeniden tasarıma tabi tutulacağının belirlenmesi, yani yeniden tasarım stratejisinin sistematik bir şekilde oluşturulmasıdır. Bu bağlamda aşamanın geliştirilmesinde kullanılan yöntem şematik olarak Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

Ürün yeniden tasarım sürecinde referans ürünün tanımlanmasının ardından, ürünün modelleme ve analizi gerçekleştirilmektedir. Burada amaç tasarım hedefleri bağlamında hedeflenen yeni ürünle mevcut ürün arasındaki ayrılıkları ve ürünün temel bileşenlerini belirlemektir (Lefever ve Wood, 1996; Smith ve diğ, 2012). Ürün yeniden tasarım sürecinin bu aşamasında gerçekleştirilen faaliyetlerin tepki veren

cephe yeniden tasarım sürecine uyarlanmasında da faaliyetlerin yukarıda belirtilen amacı temel alınmıştır. Bu bağlamda öncelikle referans cephenin analizinde kullanılabilecek parametreler araştırılmıştır.



Şekil 5.17: Aşama III: Referans cephe sisteminin analizi, süreç adımlarının geliştirilmesi.

Attia ve diğ. (2018) tepki veren cephe sistemlerinin niteliksel teknik özelliklerinin değerlendirilmesini düzenlemek için temel performans göstergelerinin kullanılmasını önermiştir. Sistemin tek bir özelliğini temsil eden temel performans göstergesinin nicel değerlendirme ve karşılaştırma sağlayan kendine ait bir ölçü birimi ve ölçeği bulunmaktadır. Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarlanmasında amaç tasarım ve üretim kolaylığının sağlanması yoluyla sistemin uygulanabilirliğinin

arttırılmasıdır. Bu amacı yansıtacak şekilde tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımında temel performans göstergesi olarak sistemin yapılabilirlik değerinin kullanılması kararlaştırılmış ve ilk analiz parametresi olarak belirlenmiştir.

Referans cephenin yapılabilirlik değerinin belirlenmesi için sistematik bir yapılabilirlik değerlendirmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda yapılabilirlik değerlendirmesinde kullanılacak yöntemin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Yapılabilirlik değerlendirmesi temel olarak aşağıda sıralanan beş alan hakkında bilgi vermektedir (Koch ve diğ, 2010):

- Tasarım hataları (malzeme seçimi ve boyut)
- Belirsiz şartnameler
- Tasarlandığı şekilde inşa edilmesi zor veya aşırı maliyetli olabilecek proje özellikleri
- Yüklenicinin uygun şekilde inşa edebilme kapasitesini aşan proje özellikleri
- Alt yüklenicilerin (henüz tespit edilmemiş olan) teklif vermesi zor olacak, anlaşılması güç proje özellikleri

Yapılabilirlik değerlendirmesi ile ilgili yapılan araştırmalar, yapılabilirliğin çeşitli yönlerini ele alarak, öncelikle bir yapılabilirlik değerlendirmesi içindeki unsurları ve bu değerlendirmeyi uygulamaya koymak için en uygun yolu anlamaya çalışmışlardır (Wang ve diğ, 2007). Yapılabilirlik değerlendirmesi önceden belirlenmiş kriterlere bağlı olarak proje sürecinin çeşitli evrelerinde gerçekleştirilebilmektedir. Tasarımın farklı aşamaları, yapım süreci ve sonrasına yönelik yapılabilirlik değerlendirmesi yöntemlerini ele alan pek çok çalışma yapılmıştır (Zin, 2004; Gambatese ve diğ, 2007; Young III, 1996). Bu çalışmada tamamlanmış bir cephe tasarımının yapılabilirlik değerlendirmesi yapılacağından, araştırma alanı bu bağlamda daraltılmıştır.

Projelerde yapılabilirliğin iyileştirilmesinde kullanılan nicel değerlendirme yöntemi tasarım sürecinden ziyade bitmiş tasarımın değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu özelliğiyle Wong ve diğ. (2007) tarafından değerlendirme ve iyileştirme için daha uygulanabilir ve yönetilebilir kabul edilmektedir. Tasarımın nicel değerlendirmesi, karşılaştırılabilir sonuçlarla yapılabilirlik özelliklerinin objektif olarak

değerlendirilmesini mümkün kılar. Bu yöntem, Singapur Yapılabilir Tasarım Değerlendirme Sistemi (*Buildable Design Appraisal System*) (Poh ve Chen, 1998) ile Malezya için geliştirilen Çoklu Nitelikli Yapılabilirlik Değerlendirme Sistemi (BMAS) (Zin ve diğ, 2004) gibi mevzuatlar, otomatik yapılabilirlik değerlendirmesi için geliştirilen bilgi modelleri (Ugwu ve diğ, 2004), BIM ve 4D simülasyon ile yapılabilirlik değerlendirmesi (Zhang ve diğ, 2016) gibi çalışmalarda kullanılmıştır. Bu özellikleriyle nicel yapılabilirlik değerlendirmesi çalışmanın kapsamına uygun bulunmuş ve yapılabilirlik değerlendirme yöntemi olarak seçilmiştir.

Yeniden tasarım sürecinde gerçekleştirilecek yapılabilirlik değerlendirmesinin kolay uygulanabilmesi ve fazla zaman almaması için mümkün olduğunca pratik ve kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda hem nicel yapılabilirlik değerlendirmelerinde kullanılan yöntemler literatürden derlenmiş (Çizelge 5.16) hem de bu amaçla kullanılabilecek sistematik karar verme ve değerlendirme yöntemleri (Bölüm 2.3.2) incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda ulaşılan sistematik değerlendirme yöntemleri içinden uygulama kolaylığı bağlamında, Gerth ve diğ. (2013) tarafından kullanılmış olan, ağırlıklı karar matrisi yöntemi seçilmiştir.

Çizelge 5.16: Literatürde nicel yapılabilirlik değerlendirmesinde kullanılmış olan sistematik yöntemler.

Nicel Yapılabilirlik Değerlendirmesi Yöntemi	Kaynak
Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	Zolfagharian ve Irizarry, 2017
Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	Lam ve Wong, 2011
Ağırlıklı Karar Matrisi	Gerth ve diğ, 2013
Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı (Fuzzy QFD)	Yang ve diğ, 2003
Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD)	Zin ve diğ, 2004
Yapılabilir Tasarım Değerlendirme Sistemi (Buildable Design Appraisal System)	Poh ve Chen, 1998

Yapılabilirlik değerlendirmesinde kullanılacak yöntem seçildikten sonra bu değerlendirmenin hangi kriterler bağlamında yapılması gerektiği araştırılmıştır. Tamamlanmış bir cephe tasarımının değerlendirmesi yapılacağından, kullanılacak kriterlerin sistem özelliklerini değerlendirmesi gerekmektedir. Bu bağlamda EK D'de verilen yapılabilirlik bilgisinin nitel temsilcileri içinden cephe sisteminin tasarımının tamamlandığı detay tasarımı aşamasını destekleyen yapılabilirlik kriterleri derlenmiş ve 10 ana başlık altında 24 değerlendirme kriteri belirlenmiştir.

Nicel yapılabilirlik değerlendirmesinin birçok faktör tarafından yönlendirilmekte olduğu bilinmektedir. Bu süreçte güvenilir sonuçlara ulaşmak için kullanılabilecek araçların belirlenmesi amacıyla, projelerde yapılabilirlik uygulaması aşamalarını destekleyen araçlar incelenmiştir. Fisher ve diğ. (2000), Douglas ve Gransberg (2009), Othman (2011), Raviv ve diğ. (2012), Alalawi ve diğ. (2015), Zolfagharian ve Irizarry (2017), Kifokeris ve Xenidis'in (2017) bu konuyla ilgili kapsamlı çalışmalar yapmışlardır. Bunların içinden Fisher ve diğ. (2000) tarafından geliştirilen yapılabilirlik değerlendirmesi aşamaları sistemi Şekil H.1'de, bu aşamalarda kullanılabilecek araçlar kılavuzu Çizelge H.1'de verilmiştir.

Yapılabilirlik değerlendirmesinde sonucu belirleyen en önemli değişkenler yapılabilirlik kriterlerine verilen ağırlık ve değerlerdir. Bu değişkenlerin değerlerinin belirlenmesi çoğunlukla değerlendirmeyi yapan kişinin hükmündedir. Oysaki yirminci yüzyılın ortalarından itibaren, tasarım ve üretim süreçleri daha da karmaşık hale gelmiş; ne kadar bilgili ve yetenekli olursa olsun tek bir kişinin sürekli gelişen tasarım ve üretim süreçlerinin tüm özellikleri hakkında bilgi sahibi olması zorlaşmıştır (Mital ve diğ, 2008). Bu nedenle yapılabilirlik değerlendirmesinde doğru sonuçlara ulaşabilmek için bir araç olarak yapılabilirlik ekibi, uzman değerlendirmesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Douglas ve Gransberg (2009) yapılabilirlik ekibi uzman değerlendirmesi aracının Amerika'da tasarım firmalarında en çok kullanılan yapılabilirlik aracı olduğunu belirlemiştir. Yapılabilirlik ekibi yapılabilirlik sorunlarını beraber belirlemek ve çözmek için bir araya getirilmiş görevler arası bir organizasyondur (Fisher, 2007). Fisher ve diğ (2000) yapılabilirlik ekibinin sistematik bir şekilde oluşturulması için Çizelge 5.17'de verilen yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem, çalışmanın amacı bağlamında tepki veren cephe tasarımının değerlendirilmesine uyarlanarak kullanılmıştır.

Yapı tasarım ve yapım süreçlerinde uzmanlık alanı farklı olan, mimar, inşaat mühendisi, cephe mühendisi gibi, pek çok tasarım ve yapım uzmanı görev almaktadır. Yapılabilirlik hedeflerine ulaşmak, tüm proje katılımcılarının sorumluluğunda olmasına rağmen, tüm uzmanların tasarım sürecinde yer alma şansı aynı değildir. Bu bağlamda, yapılabilirlik ekibinde bulunması gereken uzmanlarla ilgili veriler literatürden derlenmiş ve ekip üyesi önerilerinin sıklık analizi yapılmıştır (Çizelge 5.18). Buna göre, yapılabilirlik ekibine en çok dâhil edilen kişiler yapım

uzmanlarıdır. Diğer yandan yapılabilirlik ekibine dâhil edilecek uzmanlar ve bunların sayısı, proje büyüklüğüne ve karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir (Arditi ve diğ, 2002).

Çizelge 5.17: Yapılabilirlik ekibinin oluşturulmasında kullanılan aşamalar, eylemler ve araçlar (Fisher ve diğ, 2000).

Aşama	Eylem	Araç
Yapılabilirlik lideri atanması	Bir kişiye yapılabilirlik çalışmalarını yönetme sorumluluğu verilir. Bu kişinin mevcut yapılabilirlik kaynakları ve süreçleri üzerinde en üst düzeyde kontrolü bulunmalıdır. Bu kişinin sorumlulukları diğer takım üyelerini atamak, yapılabilirlik toplantılarına liderlik etmek ve yapılabilirlik iyileştirmelerinin uygulanmasını yönetmektir.	Yapılabilirlik lideri
Rollerin ve sorumlulukların belirlenmesi	Uzmanlık alanları, deneyim, beklenen katkı ve takıma getirdiği maliyete bağlı olarak takım üyelerine yapılabilirlik rolleri ve sorumlulukları atanır.	Yapılabilirlik toplantıları
	Takım üyelerinin erişilebilirliklerinin değerlendirilir; böylece ihtiyaç duyulan zamanda uzmanlıklarına başvurulabilir. Gerekli görülen durumlarda alt gruplar oluşturulur ve bunların herbirine takım lideri atanır.	Sorumluluk matrisinin uygulanması
Yapılabilirlik ekibinin oluşturulması	Yapılabilirlik ekibi konsept analizleri için organize edilir.	Takım oluşturma
	Takım üyelerinin yapılabilirlik hedefleri ve prosedürlerini geliştirmesi, kabul etmesi ve resmi bir taahhüt imzalamasıyla resmi yapılabilirlik çalışmaları başlatılır.	Proje yapılabilirlik anlaşması

Çizelge 5.18: Yapılabilirlik ekibinde bulunması öngörülen uzmanlar.

Yapılabilirlik ekibi üyeleri	Hancher ve Goodrum (2007)	Opfer (1994)	Khan (2015)	Tama (2009)	Southern Company Operations (2017)	Othman (2011)	Toplam
Destekleyici (yönetim üyesi)	x				x		2
Yapım profesyonelleri (aktif veya emekli)	x			x			2
Dâhili yapım personeli	x	x	x			x	4
Danışmanlar	x		x	x			3
Mevzuat temsilcileri	x						1
Tesisat temsilcileri	x						1
Bakım-onarım temsilcileri	x						1
Malzeme tedarikçileri	x						1
Tasarımcı		x		x			2
İşveren		x	x				2
Mühendis			x		x		2
İnşaat mühendisleri						x	1
Elektrik mükendisleri						x	1
Mekanik Mühendisleri						x	1
Proje müdürü			x	x	x		3
Proje kontrol müdürü					x		1
Varlık yöneticisi					x		1
Saha müdürü					x		1
Metraj şefi						x	1
Alt yükleniciler						x	1
Uzman alt yükleniciler						x	1
Topoğraf						x	1

Farklı görüşleri olan uzmanların yapılabilirlik değerlendirmeleri de farklı olacaktır. Bu durumda yapılabilik konularıyla ilgili karar verme süreci de karmaşıklaşmaktadır. Karar verme sürecini organize etmek ve uygulanan prosedürü daha basit hale getirmek için uzman görüşlerinin de sistematik bir şekilde organize edilmesi gerekmektedir. Yapılabilirlik ekibini oluşturan uzman grubunun uzmanlık alanları ve uzmanlık seviyeleri ve değerlendirmelerinin önemine göre ayrıştırılması önerilmektedir (Szafranko, 2017).

Smith (2016) birçok faktör tarafından yönlendirilmekte olan yapılabilirlik değerlendirmesinde farklılıklara neden olan en etkili faktörlerin değerlendirmeyi yapan kişi/kişilerin deneyim seviyesi ve değerlendirmenin tamamlanması için ayrılan zaman olduğunu belirtmiştir. Uzmanlar, yapılabilirlik fikirlerini geliştirmek için genellikle kendi deneyimlerine güvendiklerinden, önceki deneyimler, yapılabilirlik sürecini güçlü bir şekilde değiştirebilmektedir. Yapılabilirlik değerlendirmesi en iyi, benzer projelerde pratik deneyimi olan hem tasarım detaylarında hem de saha kurulumunda güçlü bir altyapıya sahip bir yapılabilirlik ekibi ile yürütülebilir (Tama, 2009).

Uzmanların benzer sorunları çözme konusundaki deneyimlerinin ve bilgilerinin miktarı uzmanlık seviyelerini de belirlemektedir. Uzmanlık, model tanıma seviyesi ve alana özgü bilginin bellekte düzenlenme şekli ile ilişkilidir (Cooke, 1999). Bu, farklı bağlamlardan bir problem çözme modelini belirli bir problem durumuna aktarma kapasitesi olarak da anlaşılabilir. Dreyfus (2003), bir problem çözme durumunda ele alınan problemin niteliğinin, problem çözücünün uzmanlık seviyesine bağlı olduğunu belirtmiş ve yedi farklı problem algılama, yorumlama, yapılandırma ve çözme yöntemine karşılık gelen uzmanlık seviyesini tanımlamıştır. Bu uzmanlık seviyeleri aşağıda açıklanmaktadır (Dorst, 2004; Dorst ve Reymen, 2004):

- Acemi: Bir durumun nesnel özelliklerini daha deneyimli tasarımcılar, profesyoneller veya öğretmenler tarafından verildiği gibi dikkate alır. Sorunu çözmek için katı kurallar ve kesin yollar takip eder.
- Gelişmiş acemi: Gerçek durumlardan tecrübe kazanmıştır. Durumsal görüşlere önem verir ve ilgili görüşleri nasıl birleştireceğini öğrenmiştir. Aceminin takip ettiği katı kurallara karşı daha serbest yönelimlidir.

- Yetkin: Çalışma düzeni temelden farklıdır. Sorunun temel unsurlarını tanımlar, ilgili durumdaki unsurları seçer, ilgisiz olanları görmezden gelir. Hedeflere ulaşmak için bir plan oluşturur; başarılı ve başarısız kararlar için sorumluluk alır. Önceki uzmanlık seviyelerinde bulunmayan öğrenme ve yansıtma ihtiyacı vardır.
- Usta: Bir problemle karşılaştığında hemen en önemli konuları ve uygun planı görür; sonra da ne yapılması gerektiğini çözümler.
- Uzman: Belirli bir duruma sezgisel olarak yanıt verir ve uygun eylemi hemen yapar. Bu çalışma düzeyinde ayırt edilebilecek hiçbir problem çözme ve akıl yürütme yoktur. Aslında bu çalışmak için çok rahat bir seviyedir ve birçok profesyonel bu noktadan sonra ilerleyememektedir. Sorun odaklı değil çözüm odaklıdırlar (Cross, 2004).
- Üstat: Parçası oldukları profesyonel alana bir bütün olarak daha derin bir katılım gösterir, başarı ve başarısızlıklara dikkat çeker. Kendi çalışmasında üstat, uzmandan daha incelikli eylemler gerçekleştirecektir.
- Vizyoner: Bilinçli olarak çalıştığı alanı genişletmeye çalışır. İşlerin yürütülmesi için yeni yollar geliştirir, sorunları tanımlar ve yeni alanlar yaratır.

Yapılabilirlik ekibinin oluşturulmasıyla ilgili yukarıda açıklanan bilgiler bağlamında, tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarım modelinde yapılabilirlik değerlendirmesini gerçekleştirecek yapılabilirlik ekibinde yer alacak uzmanların nasıl tanımlanacağı belirlenmiştir. Buna göre yapılabilirlik ekibinde yer alacak uzmanlar ve bunların uzmanlık seviyeleri, projenin büyüklüğü ve karmaşıklığı bağlamında ihtiyaç duyulan uzmanlık alanları ve bilginin derinlik düzeyine göre belirlenecektir.

Yapılabilirlik değerlendirmesi referans cephenin mevcut piyasa ve proje koşullarında yapım kolaylığı derecesinin ve bunun iyileştirilmesini sağlamak için, standart ürün kullanımı haricinde, odaklananılması gereken kriterlerin belirlenmesini sağlamaktadır. Fakat yeniden tasarım stratejisinin belirlenmesi için bu değerlendirme yetersiz kalmaktadır. Yeniden tasarım ön çalışmasında, referans cepheyi oluşturan parçaların hepsi için muadil standart ürünlerin araştırılmasının zaman ve iş gücü

açısından uygulanabilir olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle yeniden tasarımda ele alınması gereken referans cephe parçalarının önceden belirlenmesi gerekmektedir.

Tepki veren cephelerde tasarım ve yapım kolaylığı sağlamak için pahalı, karmaşık veya gereksiz özellikleri ve bu özellikleri sağlayan parçaları azaltmak veya ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bu da cephe sisteminde kullanılan özel üretim parçaların standart ürünlerle değiştirilmesi ya da sistemden çıkartılması ile sağlanır. Burada gerçekleştirilen sistem sadeleştirmesidir. Bu bağlamda cephe parçalarının iki ana kriter üzerinden değerlendirmesi önerilmektedir: sistemden çıkarılması gereken parçalar ve standart ürünlerle değiştirilmesi gereken parçalar. Bu kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılabilecek sistematik yöntemler ürün tasarımı literatüründen araştırılmıştır.

İnşaat endüstrisinde tasarım ve yapım süreçleri arasındaki kopukluğu gidermek için kullanılan yapılabilirlik yaklaşımının imalat endüstrisindeki karşılığı üretilebilirlik (*manufacturability, producability*) yaklaşımıdır. En güncel tanımıyla üretilebilirlik, üretim, bakım, onarım ve elden çıkarma işlemlerinin fizibilitesini ve belirli özellikleri, üretim teknolojisi, çalışma koşulları ve maliyet optimizasyonu için uygunluğunu belirleyen ürün tasarım özelliklerinden oluşmaktadır (Bazrov, 2018).

Mital ve diğ. (2014) üretilebilirliği etkileyen tasarım ve üretim değişkenleri ile bağlantılı 16 kriter tanımlamıştır:

- Montaj süreci
- Malzeme seçimi
- Üretim süreci
- Standartlaştırılmış tasarımlar
- Tasarımın sadeleştirilmesi
- Şekillendirme işlemleri gerektiren tasarımlardan kaçınılması
- Kolay üretim için formüle edilmiş malzemelerin kullanılması
- Liberal toleranslar
- Keskin köşeleri engellemek için üretim faktörleri
- Minimize edilmiş sayıda standartlaştırılmış parçalar
- Ticari olarak erişilebilir parçaların kullanılması
- Şantiye içi taşıma kolaylığı

- Özel bitişlerden kaçınılması
- Mevcut ürünlere dayalı tasarımlar
- Teknik yeteneğin ölçülmesi
- Gelişmiş sistemler ve teknolojiler

Ürün tasarımında üretilebilirliği iyileştirmek için tüm tasarım sürecine entegre edilen ya da tamamlanmış tasarımların değerlendirilmesi için kullanılan çeşitli sistematik yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada tamamlanmış cephe tasarımının değerlendirilmesi hedeflendiğinden ürün tasarımının iyileştirilmesi için kullanılan sistematik yöntemler (Bölüm 2.3.3) kullanım amaçları bağlamında incelenerek tasarımda üretilebilirlik kriterlerinin değerlendirilmesini sağlayan yöntemler belirlenmiştir. Bunlar, değer mühendisliği, Montaj için Tasarım (DFA), Üretim için Tasarım (DFM) ve Üretim ve Montaj için Tasarım (DFMA) yöntemleridir. Nitel bir yaklaşım olan değer mühendisliği, öncelikle ürünün fonksiyonu, performansı ve maliyetleri ile ilgilenir (Tatikonda, 1994). Ürünün toplam parça sayısı ürün montaj kalitesinin ana göstergelerinden biri olduğundan, DFA öncelikle ürün yapısını sadeleştirmeyi ve bir ürünün montaj maliyetlerini düşürmeyi amaçlayan sistematik bir değerlendirme sürecidir (Tatikonda, 1994; Chang ve Peterson, 2012). DFM, ürün tasarımının ilk aşamalarında, ürünün imkân ve kısıtlamalarına dayanarak, üretimde kullanılacak en uygun malzeme ve üretim sürecini seçmek için kullanılan bir araçtır (Kuo ve diğ, 2001). Üretimi zorlaştıracak, pahalı, karmaşık veya gereksiz özellikleri azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla ürünlerin parçalarına odaklanmaktadır. Entegre bir DFM ve DFA uygulaması, DFMA yöntemini oluşturmaktadır. DFMA, bir ürünün, minimum işgücü, montaj zamanı ve üretim maliyeti ile kolayca ve verimli bir şekilde üretilip monte edilebilecek şekilde tasarlanmasını sağlamak için geliştirilen bir dizi kural ya da sistematik bir prosedür olarak tanımlanmaktadır (Boothroyd, 1996). Bu yöntemlerin hepsinde tasarımın değerlendirilmesi için kullanılan temel prensipler, tasarım kılavuzu kriterleri ve araçlar tanımlanmıştır.

Tasarım sürecinde hangi yöntemin seçileceği ve onun nasıl uygulanacağı, tasarımda ön plana çıkan tasarım kriterlerine ve/veya belirlenen sorunlara bağlıdır. Bu çalışma kapsamında referans cephe sisteminde kullanılan özel üretim parçaların standart ürünlerle değiştirilmesi ya da sistemden çıkartılması amaçlanmaktadır. Üretilebilirlik değerlendirmesi yöntemlerinden DFA da parça sayısının azaltılması temel prensibi

ile ürün tasarımının sadeleştirilmesini desteklemektedir. DFA montaj değerlendirmesi için Hitachi, Lucas, Boothroyd-Dewhurst gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve bu yöntemler içinde çeşitli araçlar tanımlanmıştır (Leaney ve Wittenberg, 1992; Huang, 1996; Bogue, 2012; Mital ve diğ, 2014). DFA araçları literatürde ürün karmaşıklığının tanımlanması ve sadeleştirmenin sağlanması amacıyla kullanılmaktadır (Lefever ve Wood, 1996; Badrous, 2011; Yen, 2012; Lucchetta ve diğ, 2005). Parça sayısının azaltılması DFA temel prensibi bağlamında kullanılan tasarım kılavuzu kriterleri, değerlendirme yöntemleri ve bu yöntemlere ait araçlar literatürden derlenerek Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19: Parça sayısının azaltılması için kullanılan DFA tasarım kılavuzu kriterleri ve değerlendirme yöntemleri.

DFA Tasarım Kılavuzu Kriteri	Değerlendirme Yöntemi	
	Boothroyd-Dewhurst	Lucas
• Parça sayısı ve türünün azaltılması • Parçaların çok fonksiyonlu olarak tasarlanması • Bağlantı elemanı sayısının en aza indirilmesi ya da yaygın olarak kullanılan verimli birleşim sistemlerinin kullanılması. • Standartlaştırılmış özellikler ve standart parçalar kullanılması • Tasarımın modülerleştirilmesi (az ve standart arayüz kullanımı, basit bağlantı mekanizmaları ve basit mimari / eleman yönlendirmesi vb.) • Tüm parçaların fonksiyonunun kontrol edilmesi ve gereksiz parçaların çıkarılması için tasarımın değiştirilmesi	Tasarım verimliliği •Fonksiyon analizi Karmaşıklık faktörü	Tasarım verimliliği •Fonksiyon analizi

Boothroyd-Dewhurst, parçalardan herhangi birinin sistemden çıkartılmasının veya başkalarıyla birleştirilmesinin teorik olarak gerçekleştirilebilirliğini belirlemede kullanılabilecek kriterler sunmuştur (Bogue, 2012). Buna göre, ayrı bir parça olarak sistemde yer almanın aşağıda sıralanan üç temel nedeni bulunmaktadır (Huang, 1996; Mital ve diğ, 2014):

- Parça, önceden monte edilmiş diğer tüm parçalara göre hareket etmektedir.
- Parça, önceden monte edilmiş olanlardan farklı bir malzemeden üretilmiştir.
- Parça, daha önce monte edilmiş olan parçaların monte edilmesine veya sökülmesine olanak sağlamak için ayrı yapılmıştır.

Yukarıda verilen kriterler kullanılarak tüm parçalar, teorik olarak ihtiyaç duyulan minimum parça sayısını belirlemek için değerlendirilmektedir. Bir parçanın varlığı,

bu nedenlerden en az biriyle doğrulanırsa teorik minimum parça değeri olarak 1; doğrulanamazsa 0 değeri alır. Elde edilen toplam teorik minimum parça sayısı tasarım verimliliğini belirlemede kullanılmaktadır. Boothroyd-Dewhurst tasarım verimliliğini, teorik minimum parça sayısına göre hesaplanmış ideal montaj süresinin mevcut tasarımın parça sayısına göre hesaplanan muhtemel montaj süresine bölünmesiyle tanımlamaktadır. (Leaney ve Wittenberg, 1992)

Boothroyd-Dewhurst yönteminde teorik minimum parça sayısının kullanıldığı başka bir değerlendirme ise hedef karmaşıklık faktörünün belirlenmesidir. Karmaşıklık faktörü bir ürün montajının bağıl karmaşıklığının sayısal ölçümünü sağlamaktadır (Url-4). Rakip ürünlerin analizinin bir parçası olarak veya alternatif tasarım konseptlerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır.

Lucas yönteminde, ürün için zaruri parçaların belirlenmesinde Boothroyd-Dewhurst'un kullandığı üç kriterli değerlendirme yöntemi geliştirilerek parçalar için "fonksiyon analizi" sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem potansiyel olarak gereksiz parçaları ve DFA yaklaşımı dâhilinde, diğer parçalar ile entegrasyon adayı olan parçaları tanımlamak için nicel bir araç sağlamaktadır. Fonksiyon analizi ile ürünün fonksiyonu için gerekli olan zaruri parçalar (A Tipi) ile eleme veya fonksiyonel parçalarla birleşme için aday olan zaruri olmayan parçalar (B Tipi) belirlenmektedir. Ayrıca tasarım verimliliği, fonksiyon analizinden elde dilen verilere bağlı olarak, yüzde cinsinden hesaplanmaktadır (Swift ve Booker, 2013).

Boothroyd-Dewhurst ve Lucas fonksiyon analizi araçları karşılaştırıldığında Lucas yönteminde kullanılan aracın değerlendirme kriterleri bağlamında daha kapsamlı bir değerlendirme sağladığı belirlenmiştir. Bu nedenle yeniden tasarım modelinde referans cephenin potansiyel olarak sistemden çıkartılabilecek parçalarının belirlenmesinde bu aracın kullanılmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte referans cephenin fonksiyonları ile yeniden tasarım hedefleri bağlamında ihtiyaç duyulan cephe fonksiyonlarının da aynı olmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bundan yola çıkarak yeniden tasarımda ihtiyaç duyulmayan fonksiyonları yerine getiren, sistemden çıkarılabilecek parçaların belirlenmesi için referans cephe ve ihtiyaç duyulan cephe arasında fonksiyon karşılaştırması yapılması önerilmiştir.

Referans cephenin parçaları standart ürünler olsa bile, bu parçaların aynı zamanda yeniden tasarlandıkları projenin tedarik, yapım ve maliyet gibi koşulları açısından erişilebilir olması da gerekmektedir. Erişilebilirlik standart ürünlerle tasarım mantığının temelini oluşturmakta ve parça seçiminde gerçek bir kısıtlama olarak yer almaktadır. Potansiyel parça adayları gerekli performans özelliklerine sahip olsalar bile, aynı zamanda "erişilebilir" olmaları gerekmektedir.

Modelde kullanılacak erişilebilirlik değerlendirmesi yönteminin belirlenmesi için öncelikle literatürden erişilebilirlik kriterleri derlenmiştir. Wienand ve Zunde (2008) erişilebilirlik değerlendirmesinin şunları içermesi gerektiğini belirtmiştir:

- Fiziksel erişilebilirlik (Elde edilebilir mi?)
- Finansal erişilebilirlik (Bütçeye uygun mu?)
- Çevresel erişilebilirlik (Kullanım için iyi ve güvenli bir ürün mü?)

Juvinall ve Marshek (2012) mühendislik tasarımında malzeme adaylarının erişilebilirliğini değerlendirmede tasarımcılara destek olacak şu erişilebilirlik sorularını tanımlamıştır:

- Malzemeyi elde etmek için gereken toplam süre nedir?
- Malzeme ihtiyaç duyulan geometri konfigürasyonunda mevcut mudur?
- Mevcut malzeme miktarının sınırı nedir?
- Gelecekte malzemenin erişilebilir olmasının olasılığı nedir?
- Özel imalat yapma/işleme gerekli midir?
- Özel imalat malzemenin erişilebilirliğini sınırlayacak mıdır?

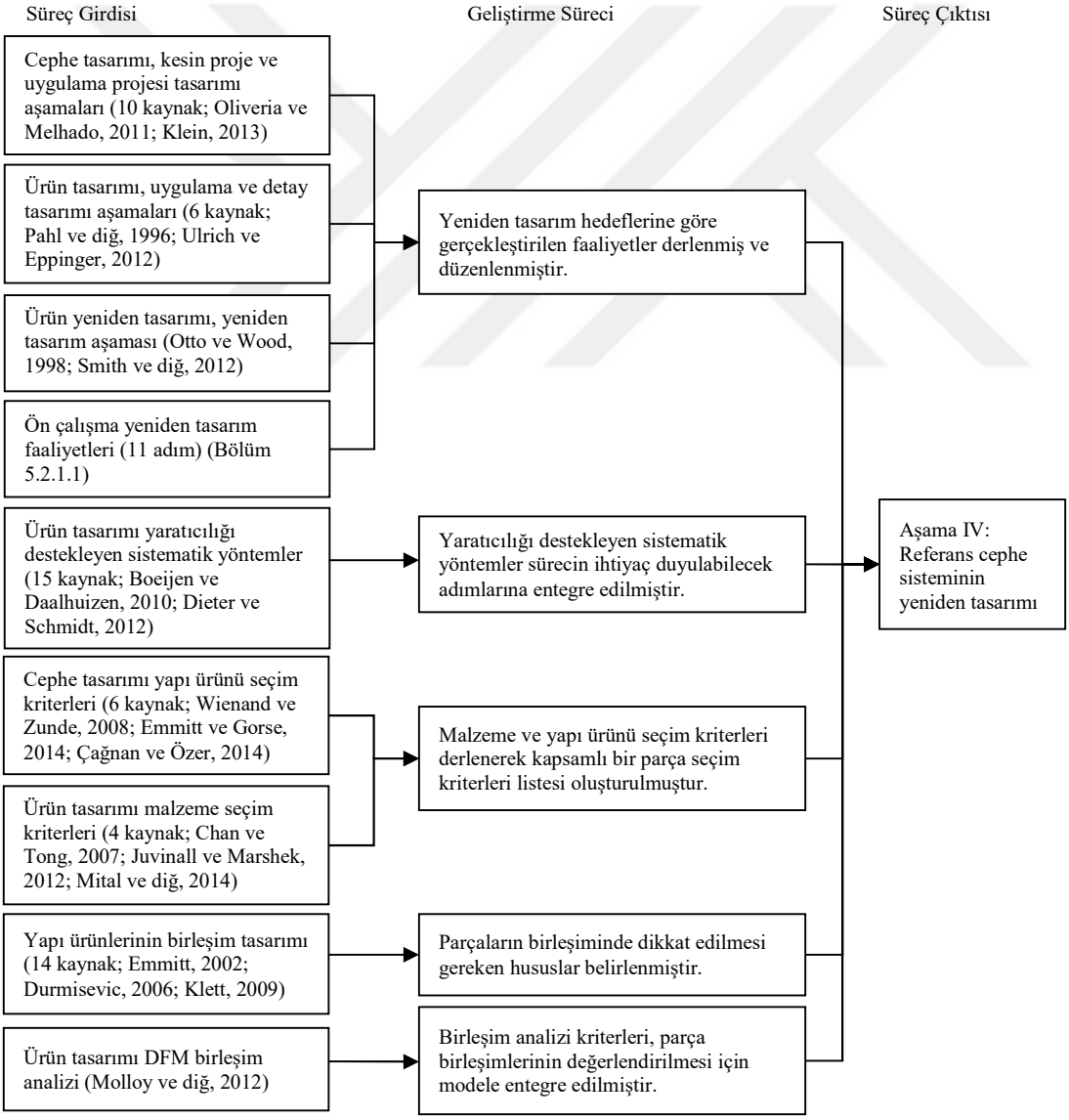
Erişilebilirlik hem parçanın tedarik koşulları hem de üretim, montaj ve kurulum ihtiyaçları açısından değerlendirilmelidir. Bu bağlamda literatürden elde edilen erişilebilirlik soruları parça erişilebilirliğini ve üretim, montaj ve kurulum ekipmanı erişilebilirliğini tanımlayacak kriterler olarak uyarlanmış ve tanımlanmıştır.

Erişilebilirlik proje bağlamında değerlendirileceğinden, kriterlerin sınır değerleri tanımlanmamıştır. Cepheyi oluşturan parçaların ve kullanılan ekipmanların sayıca fazlalığı göz önüne alınarak uygulama kolaylığının sağlanması bakımından

değerlendirmenin uzman görüşüne bağlı olarak, puan tahsis yöntemiyle gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır. Değerlendirme 5 puanlı ölçekte yapılacaktır.

5.2.2.4 Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı aşamasının geliştirilmesi

Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı, sadece sistemi oluşturan özel üretim parçalar yerine standart parçaların seçimini değil, aynı zamanda sistemin fonksiyonlarının düzenlenmesini, parçaların birleşimlerinin tasarlanmasını ve sistemin yeniden yapılandırılmasını da içeren özel bir tasarım aktivitesidir. Bu bağlamda birbiriyle ilişkili ve belirli şartlar altında gerçekleştirilmesi gereken pek çok faaliyet içermektedir. Bu aşamada gerçekleştirilecek faaliyetlerin belirlenmesinde kullanılan yöntem şematik olarak Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18: Aşama IV: Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı, süreç adımlarının geliştirilmesi.

Yeniden tasarım aşamasında gerçekleştirilecek faaliyetlerin ve bunların uygulanma hiyerarşisinin belirlenmesi için öncelikle ürün tasarımı ve cephe tasarımı süreçleri incelenmiştir. Yeniden tasarımda geliştirilecek cephe sisteminin tasarım konsepti ve bir önceki aşamada gerçekleştirilen analizler bağlamında uygun görülen, sistemin yapısal bütününü oluşturan bir bölümü referans cepheden değiştirilmeden alınacaktır. Dolayısıyla yeniden tasarım sürecinde gerçekleştirilecek faaliyetler sistemin yapısal bütünlüğünün tekrar oluşturulmasına yöneliktir. Bu faaliyetler ürün tasarımında uygulama ve detay tasarım aşamalarında, ürün yeniden tasarımında yeniden tasarım aşamasında, cephe tasarımında kesin proje ve uygulama projesi tasarımı aşamalarında gerçekleşmektedir. Cephe ve ürün tasarımının belirlenen bu aşamalarında gerçekleştirilen temel faaliyetler, tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı ön çalışmasında gerçekleştirilen faaliyetlerle birlikte değerlendirilerek, yeniden tasarım aşamasının temel faaliyetleri belirlenmiştir (Çizelge 5.20). Bu faaliyetler, yeni fonksiyon strüktürü önerilmesi, form tasarımının optimize edilmesi, parça seçimi ve parçaların birleşiminin sağlanmasıdır. Ürün ve cephe tasarım süreçlerinde tasarımın üretime devrinden önce gerçekleştirilen son değerlendirme bu modelde yeniden tasarım sürecinden ayrılmış ve ayrı bir aşama olarak değerlendirilmiştir. Bu aşamanın temel faaliyetleri ayrı ayrı ele alınıp incelenerek uygulanmalarını kolaylaştıracak alt faaliyetler ve araçlar tanımlanmıştır.

Fonksiyon strüktüründe, şekilleri, malzemeleri ve yerleşim düzenleri ile fonksiyonları gerçekleştiren parçalar veya ihtiyaç duyulan parça özellikleri geçici olarak belirlenmektedir (Otto ve Wood, 1998). Yeni fonksiyon strüktürü önerilerinin geliştirilmesi için öncelikle referans cephe sistemi ile ihtiyaç duyulan cephe sisteminin fonksiyonel özelliklerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma iki durumla sonuçlanabilir: ihtiyaç duyulmayan fonksiyonların belirlenmesi ve mevcut sistemin sağlayamadığı fonksiyonların belirlenmesi. Bu her iki durum için gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler tanımlanarak yeniden tasarım aşamasına entegre edilmiştir.

Cephe sistemlerinde özel üretim parçaların en çok, parçanın ihtiyaç duyulan performans, fonksiyon ve form özelliklerinin sağlanması amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Oysaki cephenin performansını belirgin şekilde etkilemediği sürece özel üretim gerektiren formların kullanımı gereksizdir. Aynı şekilde ürün tasarımında

da üretilebilirliğin iyileştirilmesi için biçimlendirme işlemleri gerektiren tasarımlardan kaçınılması önerilmektedir (Mital ve diğ, 2014). Bu bağlamda yeniden tasarım aşamasında gelişmiş biçimlendirmeye ihtiyaç duyan parçaların azaltılması amacıyla form tasarımının optimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu optimizasyon formun sadeleştirilmesini içerir.

Çizelge 5.20: Yeniden tasarım aşaması temel faaliyetlerinin, ürün tasarımı, cephe tasarımı ve yeniden tasarım ön çalışması faaliyetleri üzerinden belirlenmesi.

Ürün Tasarımı			Cephe Tasarımı		Yeniden Tasarım Ön Çalışması	Yeniden Tasarım Aşaması Temel Faaliyetleri
Uygulama Tasarımı	Detay Tasarımı	Yeniden Tasarım	Kesin Proje Tasarımı	Uygulama Projesi Tasarımı		
Fonksiyonların belirlenmesi	Parçaların seçiminin tamamlanması	Yeni fonksiyon strüktürü önerilmesi	Performans ihtiyaçlarının düzenlenmesi	Tasarım ve ilgili standartlar arasında karşılaştırma	Benzer cephe sistemlerinin taranması	Yeni fonksiyon strüktürü önerilmesi
Fonksiyonları karşılayacak parçaların belirlenmesi	Mühendislik çizimlerinin tamamlanması	Alternatiflerin seçimi	Temel eleman özelliklerinin tanımlanması	Modülasyon analizi	Benzer cephe sistemi üreticilerinden teknik detayların talebi	Form tasarımının optimize edilmesi
Parçaların yerleşim düzeninin tanımlanması	Metraj cetvelinin tamamlanması	Yeni alt sistemler önerilmesi	Cephenin genel birleşimlerinin tanımlanması	Geometrik toleransların incelenmesi	Yeniden tasarımda kullanılacak tasarım parametrelerinin belirlenmesi	Parça seçimi
Form tasarımının optimize edilmesi	Prototip testi	Tasarım parametreleri optimizasyonu	Arayüzlerin tanımlanması	Sistemin yapısal formülizasyonu	Tepki veren cepheyi oluşturan parçaların muadillerinin aranması	Parça birleşimi (Birleşim tipi, arayüzler, toleranslar)
Tasarımın teknik ve ekonomik değerlendirmesi	Son tasarım değerlendirmesi	Birleşim, tolerans tasarımı	Performans maliyet değerlendirmesi	Detaylandırma	Yeni tasarımı oluşturacak parçaların seçilmesi	
		Prototip oluşturulması ve testi		Son arayüz çalışması ve montaj prosedürlerinin tanımı	Seçilen parçaların birbiriyle uyumunun kontrol edilmesi	
					Sistem detaylarının üretilmesi	

Sistemden parçaların çıkarılması, parçaların eklenmesi ya da değiştirilmesi ve sistemin yeniden yapılandırılması sürecinde tasarımda çelişkiler ya da problemler oluşabilmektedir. Bu durum tasarım hedeflerini sağlayan uygulanabilir tasarım çözümlerinin üretilmesini zorlaştırmaktadır. Yeniden tasarım aşamasında bu tür problemlerin ve tıkanıklıkların hangi faaliyetlerde gerçekleşebileceği, ayrıntılı eylem kalıplarının tanımlanamadığı faaliyetler üzerinden belirlenmiştir. Tasarım problemleriyle başa çıkmak ve yeni fikir üretimini sağlamak için yaratıcılığı

destekleyen sistematik yöntemler (bk. Bölüm 2.3.1) bu aşamanın ihtiyaç duyulan alanlarına entegre edilmiştir.

Bu aşamanın diğer bir temel faaliyeti ihtiyaç duyulan fonksiyonları sağlayacak sistem parçalarının yani yapı ürünlerinin seçimidir. Yapı ürünü seçimi, yapıların kalitesini, uzun vadede dayanıklılığını ve estetik kimliğini belirleyen en önemli hususlardan biridir. Emmitt ve diğ. (2004) iyi mimari tasarımın merkezinde, bir binanın montajını oluşturan malzeme, bileşen ve ürünlerin doğru seçilmesinin bulunduğunu belirtmiştir. Bu nedenle yapı ürünü seçimi tasarımcıların başarı göstermesi gereken bir alandır. Bununla birlikte, yapı ürünlerinin şartnamelerle tanımlanması ve seçimi, araştırmacılar veya uygulayıcılar tarafından çok fazla ilgi görmemektedir. Burada, yapı ürünlerinin gereksinimleri, seçim yöntemleri ve kriterleri tanımlanarak, bu seçimleri yaparken tasarım ekiplerinin karşılaştığı konular ortaya koyulmuştur.

Bir proje bağlamında tasarımcı tarafından seçilebilecek potansiyel yapı ürünlerinin çeşitleri ve sayısı çok fazladır. Daha da önemlisi, yapı ürünlerinin en sıradanlarını bile tam olarak anlamak ve değerlendirmek için gereken ayrıntılı bilgi aslında çoğu tasarımcının bilgi dağarcığının ötesindedir (Wienand ve Zunde, 2008). Aslında etkili bir şekilde tasarım yapmak belirli yapı ürünleri hakkında temel bir bilgi birikimi gerektirir. Ancak şunu kabul etmek gerekir ki tasarımda yer alan tüm ürünlerde dikkate alınması gereken çok fazla parametre bulunmaktadır.

Geleneksel olarak, yapı ürünlerinin seçimini etkileyen faktörler, ürünün nitelikleri (özellikleri veya amaca uygunluk), başlangıç maliyeti ve erişilebilirliği olmuştur. Küçük kapsamlı projeler için, yüklenicilerin yerel pazar stoğunda bulunan malzeme ve ürünler seçmesi yaygındır; seçim, büyük ölçüde stoklara (erişilebilirlik) ve başlangıç maliyetine bağlı olarak değişir (Emmitt ve Gorse, 2014). Projelerin kapsamı büyüdükçe ihtiyaç duyulan yapı ürünlerinin de çeşidi ve sayısı artmakta, yazılı bir belgeyle tescil edilmiş şartname kararlarının onayına gerek duyulmaktadır. Bu durum seçim sürecini karmaşıklaştırmakta ve bu süreçte sistematik bir yöntem kullanılmasını gerektirmektedir.

Yapı ürünü seçiminde öncelikle, çözüm gerektiren sorunun, bu sorunun daha önce nasıl çözüldüğünün ve başka nasıl çözümlerin mevcut olduğunun tanımlanması gerekmektedir. Mimarlar ve mühendisler şartnamelerde yapı ürünlerini, marka adını

(kuralcı şartname) veya ürünün gerçekleştireceği fonksiyona bağlı olarak performans kriterlerini (performans şartnamesi) belirleyerek tanımlamaktadır (Emmitt ve Gorse, 2014). Daha sonra belirlenen bu şartnameler bağlamında uygun yapı ürünü adayları belirlenir. Emmitt ve diğ. (2004) yapı ürünü araştırmalarında kullanılacak kaynakları şu şekilde sıralamışlardır:

- Araştırma ve test raporları
- Kodlar ve standartlar
- Üretici bilgileri
- Ürün katalogları
- Müşteri gereksinimleri ve şartnameler
- Tasarım ofisinde yer alan bilgiler "standartlar" ve önceki projeler
    - Onaylanan ürün ve malzemelerin listesi
    - Yasaklı madde ve ürünlerin listesi
- Şartname hazırlayıcısının kendi favori ürünleri

Yapı ürünlerinin seçimi, bileşik kısıtlamalara bağlı olan çok kriterli karar problemi olarak kabul edilebilir. Performans kriterlerinin tanımı, ürün seçiminden önce gelmelidir; fakat gerçekte pek çok örnekte bunların aynı anda gerçekleştiği belirlenmiştir (Wienand ve Zunde, 2008). Literatürde ürün seçiminde kullanılabilecek pek çok yaklaşım ve kriter tanımlanmıştır (Çizelge 5.21). Bunların haricinde yapı ürünü seçimini etkileyen, açıkça ifade edilemeyebilecek bazı temel hususlar da belirlenmiştir (Çizelge 5.22).

Bir sistemi oluşturacak parçaların seçimi sadece mimarlığın değil diğer tasarım alanlarının da araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Ürün tasarımında parça tasarımını ve seçimini etkileyen önemli konulardan biri malzemesidir. Mital ve diğ, (2014) mühendislik tasarımında malzeme seçim sürecini etkileyen kriterleri beş ana başlık altında incelemektedir: fiziksel kriterler (boyutlar, şekil, ağırlık vb.), mekanik kriterler (direnç, genlik, yorulma vb.), işleme ve üretim kriterleri (deformasyon, döküm vb.), bileşen ömrü kriterleri (korozyon, aşınma, resistans vb.), maliyet ve erişilebilirlik kriterleri (miktar, standartlaştırma vb.).

Çizelge 5.21: Yapı ürünü seçiminde kullanılan kriterler ve seçimi etkileyen hususlar.

Emmitt ve diğ, 2004	Wienand ve Zunde, 2008		Akadiri ve Olomolaiye, 2012	Çağnan ve Özer, 2014	Emmitt ve Gorse, 2014
Estetik	Projeye özgü talepler	Estetik	Çevresel kriterler	Görsel özellikler	Estetik
Maliyet		Maliyet	Sosyo-ekonomik kriterler	Fiziksel özellikler	Maliyet (Tüm yaşam döngüsü maliyeti)
Erişilebilirlik		Erişilebilirlik	Teknik kriterler	Kimyasal özellikler	Erişilebilirlik
Sağlık ve güvenlik		Sağlık ve güvenlik		Mekanik özellikler	Sağlık ve güvenlik
Dayanıklılık ve performans	Performans kriterleri	Yapısal stabilite		Teknolojik özellikler	Dayanıklılık
Değiştirme ve bakım		Dayanıklılık		İnsan sağlığı ile ilgili özellikler	Değiştirme ve geri dönüştürülebilirlik
		Sağlık ve Güvenlik		Ekonomik özellikler	Uyumluluk (diğer ürünlerle)
		Yangın			Mevzuata Uyum
	Fonksiyonel özellikler	Şekil			Montaj kolaylığı (yapılabilirlik)
		Modülerlik			Çevresel etki
		Plastisite vb.			Risk (ürün ve üretici ile ilişkili)

Çizelge 5.22: Yapı ürünü seçimini etkileyen hususlar.

Seçimi etkileyen hususlar (Emmitt ve diğ, 2004)		Malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken konular (Chudley ve Greeno, 2008)
Yükümlülükler (ve anlaşmazlıklarda kanıt)		Yapı tipi ve kullanımı
Çevresel konular	Gömülü enerji	Yapı sahibinin gereksinimleri ve tercihleri
	Kirlilik izi	Yerel planlama kısıtlamaları
Servis tanımlaması	Teknik sorulara garantili cevap (24 saat içinde)	Yasal kısıtlamalar ve şartlar
	Ismarlama tasarım hizmeti ve ücretsiz çizimler, detaylar, şartnameler ve programların sağlanması	İnşaat alanı kısıtlamaları
	CAD dosyalarının sağlanması	Sermaye kaynakları
	Yapı kontrolüne sunulması için strüktürel hesaplamalar	Gelecekteki bakım ve adaptasyon politikası
	Yerinde teknik destek	
	Ürüne özgü teminat ve garantiler	
	Onaylanmış montaj ekibi	

Chan ve Tong (2007), malzeme seçimi için birçok kriterli ağırlıklı karar verme yöntemi önermiştir. Bu yöntemde kullanılacak seçim kriterlerini tasarım odaklı kriterler, ürün odaklı kriterler, maliyet odaklı kriterler ve çevre odaklı kriterler olmak üzere dört grup altında derlemiştir.

Juvinall ve Marshek (2012), ürün tasarımının malzeme seçimi aşamasında etkili olan ve tasarım gereksinimlerini karşılayan temel seçim kriterlerini erişilebilirlik, maliyet, malzeme özellikleri ve üretim süreçleri olarak tanımlamıştır. Bu seçim kriterleri ile ilgili malzeme özelliklerini alt kriterleri ile birlikte vermiştir.

Yeniden tasarım aşamasında parça seçimini desteklemek için bir değerlendirme sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda cephe tasarımında kullanılan yapı ürünü seçim kriteleri ile ürün tasarımında kullanılan malzeme seçim kriterleri derlenerek kapsamlı bir parça seçim kriterleri listesi oluşturulmuştur.

Mühendislik tasarımında parça seçiminde tasarım ihtiyaçlarını sınıflandırma, malzemelere ve tasarım seçim kriterlerine çevirmede çok kriterli karar yöntemleriyle birlikte Kalite Fonksiyon Yayılımı (*Quality Function Deployment*) yönteminin kullanılabileceği belirtilmiştir (Jahan ve diğ, 2016). Başka bir yöntem olarak da malzeme seçim indeksi kullanılmaktadır (Juvinall ve Marshek, 2012). Buna göre malzemenin seçim indeksi malzemenin performans ve erişilebilirlik değeri çarpımının toplam maliyetine bölünmesiyle elde edilir.

Parça seçimini düzenleyen kriterler, tasarım sürecinde oldukça karmaşık bir olay dizisi oluşturmaktadır. Seçim sürecindeki hedefler ve kriterler çoğu zaman çatışma içindedir (Chan ve Tong, 2007). Bununla birlikte, tüm ilgili seçim parametrelerinin belirlenmesi için geniş bir mühendislik bilgisine ihtiyaç vardır ve hatta bir seçim kriterinin ihmal edilmesi sonuçları olumsuz yönde etkileyebilir (Jahan ve diğ, 2016). Wienand ve Zunde (2008) bu nedenle tüm adayların ayrı ayrı incelenmesinin gerçekçi olmaktan çıktığını belirtmiş; daha sürdürülebilir ve öğrenilebilir bir yöntem oluşturmak için seçim değerlendirmesinde daha özetlenmiş bir yaklaşımın benimsenmesi gerektiğini savunmuştur. Bu duruma bir çözüm olarak, kriterlerin birbirine göre önemi ve belirleyici kriterler arasındaki değişimler proje bağlamında belirlenmelidir. Bu çalışmada da Wienand ve Zunde'nin (2008) konuya yaklaşımı benimsenerek parça seçiminde, proje kapsamında ele alınan uzman değerlendirmesine bağlı, özetlenmiş bir değerlendirme yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Aynı zamanda kullanım kolaylığı ve uygulama pratikliği açısından model içinde kullanılan değerlendirme yöntemlerinin olabildiğince benzer olması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada daha önce ele alınan çok kriterli karar problemlerinde ağırlıklı karar matrisi ve puan tahsis yöntemleri kullanılmıştır. Değerlendirme kriterlerinin ve olası parça adaylarının sayısına bağlı olarak bu yöntemler içinden ağırlıklı karar matrisi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Parça seçiminde kullanılacak kriterler, bunların önem ağırlıkları ve sınır değerleri proje bağlamında uzmanlar tarafından belirlenir. Parça adayları 0 (kabul edilemez), 1 (kabul edilebilir) ve 2 (istenen) ölçeği kullanılarak değerlendirilir.

Farklı fonksiyonları yerine getiren ve farklı özelliklere sahip yapı ürünlerinin bir yapıyı oluşturacak bütün haline gelmesi için birbirleriyle birleştirilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde cephe sisteminin parçalarını oluşturan yapı ürünleri seçildikten sonra da bunların birleşimleri tasarlanmalıdır. Esasen yapım süreci de yapıyı oluşturan parçaları birleştirme sürecidir. Yapı ürünleri ve birbirlerine geçme şekilleri, tasarım aşamasında sistematik olarak koordine edilmelidir (Staib ve diğ, 2008). Yapı ürünlerinin birleşim tasarımında tanımlanması gereken dört bileşen bulunmaktadır: arayüz, ek, tolerans ve birleşim.

Bir arayüz, bağlantılı fonksiyonel birimler aracılığıyla belirli fonksiyonları gerçekleştirmek için bir üründeki farklı fonksiyonel birimleri bağlamak veya birleştirmek için kullanılan ortak bir bağlantı noktası olarak tanımlanabilir (Zhang ve diğ, 2017). Teknik özelliklerine bağlı olarak arayüzler mekanik, elektrik, yazılım arayüzleri vb. olarak sınıflandırılabilir (Zhang ve diğ, 2017). Bir cephenin fiziksel parçaları arasında birleşim kurmak için mekanik arayüzler kullanılmaktadır. Arayüzler, kenar tasarımı ve birleşim tipinin belirlenmesi yoluyla bileşenler arasındaki esneklik derecesini tanımlamaktadır (Durmisevic, 2006). Bu bağlamda, Çizelge 5.23'de arayüzlerin geleneksel (kapalı) ya da açık olma durumlarının cephe sistemi ve tasarımına getirdiği değişiklikler karşılaştırmalı olarak açıklanmaktadır.

Çizelge 5.23: Ürünlerde geleneksel ve açık arayüzlerin karşılaştırılması (Uyarlama, Zhang ve diğ, 2017).

	Geleneksel Arayüz	Açık Arayüz
Tanım	Arayüz tasarım sürecinde belirlenen modülleri bağlamak için kullanılan arayüz	Üçüncü parti üreticiler tarafından temin edilebilecek bilinmeyen modüllerle platformu bağlamak için kullanılan arayüz
Özellik	Kapalılık; kullanıcı montajı ve sökme işlemleri için uygun değil Adaptasyon eksikliği; standardizasyon eksikliği	Açıklık; kullanıcı montajı ve sökme işlemleri için kolaylık Adaptasyon; standardizasyon
Olası Sonuç	Hem ürün hem de teknoloji için kapalı inovasyon yaklaşımı Kapalı iş modeli; ürünün kişiselleştirilme eksikliği	Hem ürün hem de teknoloji için potansiyel açık inovasyon Açık iş modeli; kişiselleştirilmiş fonksiyonlar
Avantajlar	Ek modüllerin ürün performansı üzerindeki etkisini tahmin etmek kolaydır Ürün kalitesini ve güvenilirliğini kontrol etmek kolaydır	Daha iyi ürün çeşitliliği ve esneklik Daha iyi uyarlanabilirlik, sürdürülebilirlik, geliştirilebilirlik ve genişletilebilirlik
Dezavantajlar	Ürün çeşitliliği ve esneklik eksikliği Uyarlanabilirlik, sürdürülebilirlik, geliştirilebilirlik ve genişletilebilirlik eksikliği	Ek modüllerin ürün performansı üzerindeki etkisini tahmin etmek zordur Ürün kalitesini ve güvenilirliğini kontrol etmek zordur

Yapı ürünlerinin ek (*joint*) veya birleşimi (*connection*) arayüzleri yoluyla tanımlanmaktadır. Ek, yapı ürünleri arasındaki boşluğu tanımlamak için kullanılan

terimdir. Yapı ürünlerinin yapısal olarak birleştirildiği durumlar ise birleşim olarak tanımlanmaktadır. İki veya daha fazla yapı ürününün bir araya getirilmesi bir ek oluşturmakta ve bunun detaylandırılma biçimi, ek çözümü, yapının tamamının görünümü, performansı ve dayanıklılığını etkilemektedir (Emmit ve diğ, 2004). Ekler yapıların sıcaklık ve yük değişiklikleri karşılamak, nem yüklü havayı dışarı çıkarmak gibi dinamik özelliklerinde merkezi ve belirleyici bir rol üstlenmektedir (Emmit ve diğ, 2004). Yük transferi ve filtreleme fonksiyonu açısından potansiyel olarak zayıf noktalardır. Ayrıca yüksek bakım gerekliliği de bulunmaktadır. Bu nedenle ek uzunluğunu sınırlamak ekonomik olarak yararlı bir yaklaşımdır. Diğer yandan eklerin azaltılması birleştirilmesi gereken ürünlerin boyutlarının artması anlamına gelmekte, bu da ürünlerin işlenmesi ve montajı sürecini karmaşıklaştırmaktadır. Ek yerleri yapının görünüşünde önemli bir konu teşkil ettiğinde, estetik kaygılar da ek tasarımında göz önünde bulundurulmaktadır. Birleşimlerdeki sızdırmazlık ya da nüfuz etme fonksiyonu, eklerin konumu, büyüklükleri veya kullanılan malzemenin doğası ile belirlenmektedir. Ek tipi seçimi, yapının istenen alan ayrımına, malzemeye, eklerin dayanıklılığı ve görünümüne bağlı olarak yapılmaktadır. Malzeme ve ürünlerin boyutlarının, estetik gereksinimlerin ve teknik koşulların uygun şekilde harmonize edilmesinin sağlanması ise tasarımcının görevidir. Meijs ve Knaack (2009) ek tiplerini şu şekilde sınıflandırmışlardır:

- **Ürünlerin konumuna göre ekler:** İki ürün arasında etkili bir ek sağlamanın en kolay yolu, iki ürünün birbirine göre konumlandırılmasıdır. Ürünlerin belirli bir formda olması veya üçüncü bir malzeme eklemek gerekmemektedir. Uç uca ekler, açık ekler ve üst üste binen ekler bu tip eklerdendir.
- **Ürünlerin formuna göre ekler:** Birleştirilen ürünler, üst üste binen ek düzenine (doğrudan yöntem) yönlendiren özel bir şekle sahiptir. Alternatif olarak formu nedeniyle sızdırmazlık sağlayacak üçüncü bir eleman da eklenebilmektedir (dolaylı yöntem). Bu iki yöntemin birleştirilmesi de mümkündür.
- **Ürünlerin malzemesine göre ekler:** Bu tip ekler birleşen ürünlerin malzeme özelliklerine dayanmaktadır. Ürünler arasında ya direkt olarak ya da ürünler arasında bağ oluşturacak üçüncü bir malzemenin kullanılmasıyla dolaylı olarak, fiziksel ya da kimyasal bir birleşim oluşturulmaktadır.

Birbirinden ayrı ürünler bir yapıdaki belirli bir ekte bir araya geldiğinde, belirli performans kriterlerine ulaşılmalıdır. Bir ekin kesin performansının niteliğini belirlemek ise zor bir görevdir. Emmitt ve diğ. (2004) bu performans kriterlerini üç yönlü olarak şu şekilde tanımlamıştır:

- **Ürünlerin bitişmesi:** geometrik yakınlık derecesini tanımlamaktadır. Ürünlerin ilişkilendirilmesi, her şeyden önce "yakınlık" ile ilgilidir. Zayıf veya güçlü olan bu yakınlık, ürünlerin boyutlarına ve şekillerine bağlı olarak birbirlerine mesafelerini de içeren konumlarına bağlıdır.
- **Ürünlerin sabitlenmesi:** Ek oluşturan ürünlerin birbirinin hareket serbestliğini sınırlama derecesini tanımlamaktadır. Ürünler birbirlerinin hareketlerini, özellikle veya kesinlikle kısıtlayabilir. Ürünler istenildiği şekilde bir araya getirildiğinde, bu durumun bir süre korunması beklenmektedir.
- **Ürünler arasında sızdırmazlık:** Madde veya bilgi geçişinin kontrol edilme derecesini tanımlamaktadır. Ekler bulunsa bile ürünler arasında fonksiyonel devamlılık istenebilmektedir.

Birleşim tasarımında uygun birleşimlerin seçimi, birleşimlerin düzenlenmesi ve boyutlandırılmasında toleransların da büyük etkisi bulunmaktadır. Toleranslar, bir yapı ürününün nominal ve gerçek boyutları arasındaki olası farklılıkları tanımlar ve bu nedenle planlama sürecinde dikkate alınmalıdır (Staib ve diğ, 2008). Çeşitli yapı ürünlerini, montaj biriminin diğer parçaları ile yan yana yerleştirmek için, belirli miktarda boyutsal tolerans gereklidir. Ön üretimli yapı ürünlerinin yapım sürecinde kullanılmasının artmasıyla toleranslar konusunun önemi de artmıştır. Birçok yapı ürününün hassas ebatlarda üretilememesi nedeniyle, malzeme, üretim ve yapı ürünlerinin sahaya yerleştirilmesindeki çeşitliliğe olanak sağlamak için boyutsal toleransların bırakılması gerekmektedir.

Tasarımcıların ayrıntılarıyla belirlemesi gereken birbiriyle ilişkili üç çeşit tolerans bulunmaktadır (Emmit, 2002; Emmitt ve Gorse, 2014):

- **İmalat toleransları:** İmalat toleransları, parçaların imalatındaki boyutsal sapmayı sınırlar. Bir standart, üretici ve/veya tasarım ekibi tarafından belirlenebilirler. Bazı üreticiler mevcut standartlarda tanımlanandan daha az,

bazıları ise daha çok toleransla üretim yapabilirler. Üreticiler, ürün çeşitlerinin toleransları ile ilgili tam bilgi sağlayacaktır. Genellikle fabrikada yapılan imalat, üretilen yapı ürünleri arasında tutarlı, çok kesin boyutlarda yapı ürünleri üretme yeteneğine sahiptir.

- **Konumsal toleranslar:** Bileşen parçalarının düzeni ve diziliminin kesinliğine, boyutlarına, üretim ve montaj için kullanılan teknolojiye bağlıdır. Montaj kolaylığı ve güvenlik için maximum ve minimum toleransların belirlenmesi şarttır. Bununla birlikte, toleransların inşaat sahasında karşılanıp karşılanmadığı, bu düzenlemeyi yapanların becerilerine ve denetimlerinin kalitesine bağlı olacaktır.
- **Birleşim yeri tolerasları:** Fonksiyonel ve estetik hususlar göz önüne alınarak belirlenir. Yapı ürünlerinin yapımında kullanılan malzemelerin (ısıl ve yapısal hareketin derecesini belirleyen) özellikleri, ürünlerin büyüklüğü ve diğer ürünlerle yan yana yerleştirilmesi değerlendirilmesi gereken fonksiyonel konulardır. Estetik hassasiyetlerle oluşturulan toleranslar, gelenekler, mimari üslup ve tasarımcının/ mühendisin kendi mizacına bağlı olarak belirlenir. Bu toleransların tasarımı cephenin hava ve ses yalıtımı ve termal özellikleri gibi performans gereksinimlerini etkileyecektir.

Genel bir kural olarak, tolerans ne kadar küçükse (veya parçalar birbirine ne kadar yakınsa) üretim maliyetleri, montaj süresi ve montaj maliyetleri de o kadar fazla olacaktır. Toleranslar göz önüne alındığında, tasarımcılar, yapı ürünleri için ilgili standartlara atıfta bulunmalı ve toleranslarla ilgili önerilerde bulunan üreticilerden tavsiye almalıdır. Giydirme cephe sistemleri gibi özel sistem üreticileri, toleranslar hakkında ayrıntılı bilgi içeren kapsamlı bir performans şartnamesi sağlamakta; birçoğu da sistem paketinin bir parçası olarak tasarım çizimleri üretmektedir (Emmit, 2002).

İki veya daha fazla yapı ürünü arasındaki fiziksel ek ve arayüzler ise birleşimleri tanımlamaktadır. Birleşim, geometrik olarak tanımlanmış iki veya daha fazla işlenecek ürünü veya şekilsiz bir maddeyle aynı tür işlenecek ürünü kalıcı olarak birbirine bağlamak veya bir araya getirmektir (Wiendahl ve diğ, 2015). Birleşim yerel olarak uygulanır ve sırasıyla yapıyı oluşturacak bir bütün olarak arttırılır. Ayrı ürünlerin nasıl ve niçin birbirine bağlandıkları, birleştirilecek malzemelere, mevcut

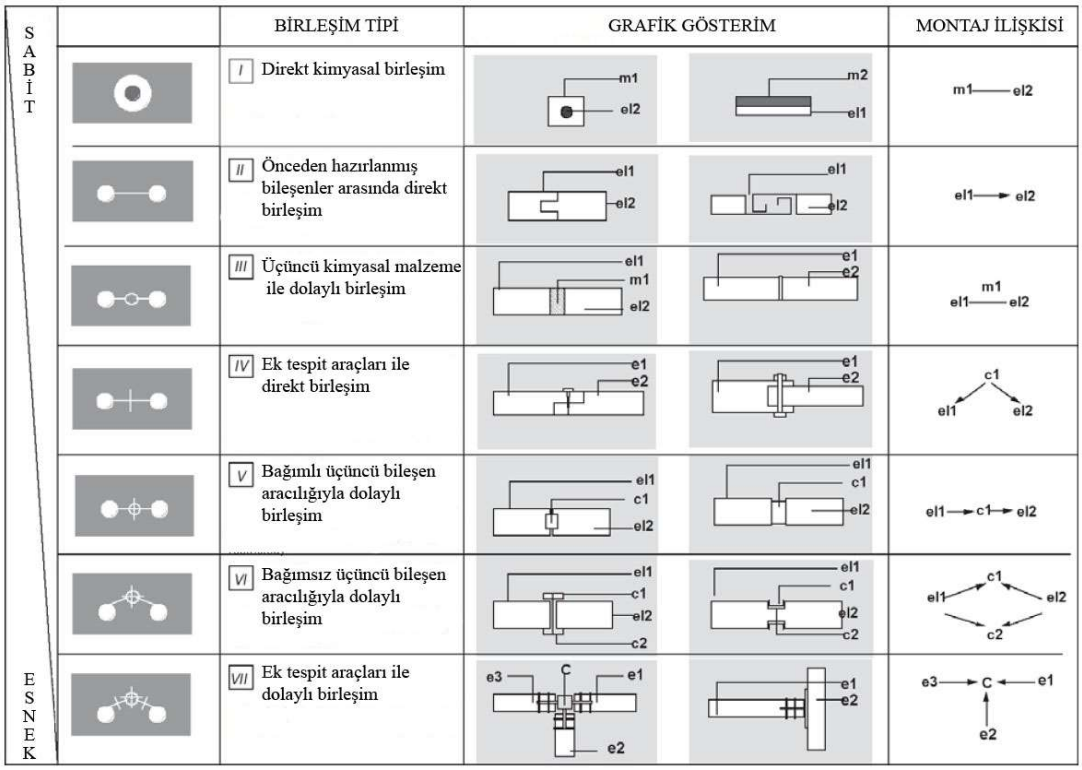
kaynaklara (insan işgücü ve mekanik tesis) ve birleşimin tasarımcı tarafından detaylandırılma şekline bağlı olacaktır (Emmitt, 2002). Koller (1984) birleşimleri üç fonksiyon bağlamında tanımlamaktadır: ürünler arasındaki hareketleri kısıtlayan fiziksel etki, ürünlerin ve katkı maddelerinin malzemesi ve birleşimin geometrisi (Klett, 2009). Durmisevic (2006) birleşimde kullanılan malzeme tipi, ek parça kullanımı, ek parça tipi ve pozisyonuna bağlı olarak aşağıda açıklanan şu üç ana birleşim türünü tanımlamıştır:

- **Doğrudan birleşim:** Ürün kenarlarının geometrisinin eksiksiz bir bağlantı oluşturduğu birleşimlerdir. İki temel doğrudan birleşim türü tanımlanabilir: üst üste bindirilmiş ve birbirine geçmiş. Üst üste bindirilmiş birleşimler genellikle dikey dış cephe bileşenleri arasındaki veya dikey ve yatay bileşenler arasındaki bağlantılar olarak kullanılmaktadır. Birbirine geçmiş birleşimler ürün kenarlarının farklı şekillendirildiği bir iç birleşimdir. Burada, kenarların şekli sadece sıralı montaja izin vermektedir.
- **Dolaylı birleşim:** Birleşimin oluşturulması için ek parçaların kullanıldığı birleşimlerdir. İç ve dış olmak üzere iki tip dolaylı birleşim tanımlanmaktadır. İç dolaylı birleşim, ürünleri bağlayan gevşek bir aksesuar içerir. Aksesuar ürünlerin içine takılıdır. Birleşim ürünlerin aynı kenar biçmine sahip olması avantajına sahiptir. Dolaylı dış birleşimler ise kapak şeritleri, çerçeve veya bu ikisinin kombinasyonundan meydana gelmektedir.
- **Dolgu birleşimler:** Bunlar inşaat sahasında kimyasal madde ile doldurulmuş iki ürün arasındaki birleşimlerdir. Bu tür ürünlerin montajı yoğun işgücü gerektirmektedir. Bunlara örnek olarak metal plakalar arasındaki kaynaklı birleşimler, tuğlaların birleşimleri gösterilebilir.

Birleşim tasarımı mimarlar tarafından yapılabileceği gibi böyle bir zorunluluk da bulunmamaktadır. Geleneksel, standart çözümleri olan birleşimler olduğu gibi, birleşimlerin geliştirilmesi yapı endüstrisinin alanıdır. Birleşim detayları genellikle yapıya özgüdür ve belirli durumlardan genellemeler yapmak zordur. Pek çok durumda, mimarın bir katalogdan bir birleşim detayı seçmesi yeterli değildir; bunun yerine kendisinin tasarıma katılması gerekmektedir. Bu bağlamda Meijs ve Knaack (2009) birleşimlere farklı bir yönden bakarak homojen yüzey içindeki veya aynı sistemin parçası olan birleşimler (iç birleşimler) ile boşlukları çevreleyen farklı

yüzeylerdeki birleşimler (dış birleşimler) olarak farklı bir sınıflandırma geliştirmiştir. Buna göre iç birleşimler malzeme, ürün veya sisteme özeldir; gelenekler, ürün veya sistem tedarikçisi tarafından belirlenmektedirler. Bu tip birleşimler mümkün olduğunca gelişmiş olduklarından tasarımlarına mimarların katılımı genellikle azdır. Dış birleşimler ise aynı sistemin veya türün parçası olmayan ürünler arasındaki birleşimlerdir. Ürünler arasındaki farklar, fonksiyonlarındaki bir geçişle ilgili olmaksızın, birleştirilecek ürünlerin spesifik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu tür bir birleşimin tasarımı, yapı tasarımcısının özel alanıdır. Geliştirildikleri belirli yapıya veya bir mimarın ticari markası olan mimari dile özgü benzersiz birleşimlerdir. Birleşim ile ilgili olarak standart detaylar da geliştirilebilir; ancak teknik ya da estetik olarak doğru bir tasarımın nihai sorumluluğu mimarın kendisine aittir.

Birleşimlerde kullanılan eklerin sayısı, malzeme tipi ve ürünlerin kenar şekilleri montaj, demontaj ve buna bağlı olarak tasarımın esnekliği üzerinde etkilidir. Durmisevic (2006) yukarıda belirtilen özelliklere göre, birleşimleri sabitten esneğe doğru hiyerarşik bir düzende 7 grupta sınıflandırmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19: Sabitten esneğe yedi birleşim prensibi (Durmisevic, 2006).

Bir birleşimin nihai tasarımını belirleyen çok sayıda faktör ve teorik olarak doğru birçok çözüm bulunmaktadır (Meijs ve Knaack, 2009). Aynı malzemeden oluşmuş farklı ürünlerin birleştirilmesi nispeten basit bir işlemdir ve iyi kurgulanmış tekniklere sahiptir. Ancak yapıların tek bir malzemeden oluşması sıra dışı bir durumdur. Ürünler birleştirilirken sadece farklı malzemelerin yanyana getirilmesi bile sayısız teknik zorluk yaratmaktadır (Meijs ve Knaack, 2009).

Birleşimlerin tek fonksiyonu ürünleri birbirine bağlamak değildir. Bir birleşimde özel bir dizi fonksiyon ve özelliğe sahip bir yapı ürününden bir diğerine ve diğer ürünün fonksiyon ve özelliklerine geçiş yapılmaktadır. Yapısal birleşimlerde, farklı fonksiyon ve özelliklere sahip yapı ürünleri birbirine birleştirilir, eklenir veya gerçekten birbirinden ayrılır. Birleşimlerin tasarlanması belirli bir fonksiyonu olan yapı ürününü gerektiğinde "bağlama" gerektiğinde ise "ayırma" meselesidir (Meijs ve Knaack, 2009). 1970'li yıllardan bu yana, üretimdeki verimlilik artışı da birleşimlerle ilişkilendirilmektedir. 1980'li yıllarda ise, israfın azaltılması ve kaynakların tasarrufu gibi başka bir konu daha gündeme girmiştir. Birleşimin güvenli bir şekilde sağlanabilmesi ve gelecekte onarım ve bakım için erişimin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için özen gösterilmesi gerekmektedir (Emmit ve diğ, 2004). Günümüz tasarımlarında da montaj ve sökümü destekleyen birleşimlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Yapının kullanım ömrünün sonunda malzemelerin geri kazanılması verimli olduğunda, bağlı ürünlere zarar vermeden kolayca erişilebilen ve sökülebilen birleşimler tercih edilmelidir. Diğer yandan üretim seçenekleri, nakliyeyle ilgili kısıtlamalar, şantiyede yönetilebilirlik ve malzemelerin özellikleri (özellikle deformasyon davranışı), ürünlerin maksimum boyutlarını ve bunların birleştirme gereksinimini belirlemektedir (Meijs ve Knaack, 2009). Tanımlanmış montaj ve yük transferi, birleşim yerinde yeterli ısı yalıtımının sağlanması, devamlı hava sızdırmazlığın sağlanması, su geçirimsizliğin sağlanması, eklerde nem birikiminin önlenmesi ve uygulamanın dayanıklılığı birleşim tasarımında özel bir öneme sahiptir. Tüm bu konulara odaklanmak, fonksiyonun yerine getirilmesi, montaj ve söküm ile ilgili özel özelliklerin sağlanması, birleşimlerin tasarımını karmaşık bir süreç haline getirmiştir.

Literatürde birleşim seçimi ya da geliştirmesi, dolayısıyla birleşimlerin tasarımına odaklanan birkaç farklı yaklaşım olduğu belirlenmiştir. Klett (2009), bu yaklaşımları (Roth, 1996; Koller, 1984; Ehrlenspiel, 1995; LeBacq ve diğ, 2002; Suhr, 1996)

derleyerek birleşimlerin şematik olarak tasarlanması sürecini sistematik hale getiren bir model (SYCONDE) geliştirmiştir. Genel olarak incelendiğinde birleşim tasarımının aşağıda sıralanan yedi aşamada tanımlandığı belirlenmiştir (Klett, 2009):

- Birleşim gereksinimlerinin belirlenmesi
- Gerek duyulan serbestlik derecesinin belirlenmesi
- Hareketi kısıtlayan fiziksel etkilerin araştırılması
- Uygun birleşimlerin seçimi
- Birleşimlerin düzenlenmesi
- Birleşimlerin boyutlandırılması
- Birleşimlerin uygulanması ve kullanımıyla ilgili belgelerin hazırlanması

Yeniden tasarım modelinde parça birleşimi tasarımının desteklenmesi için, yukarıda açıklanan literatür araştırması bağlamında, tanımlanması gereken tasarım bileşenleri ve gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler belirlenmiştir. Böylece parça birleşimi tasarımının sistematik bir şekilde yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Tasarlanan parça birleşimlerinin etkinliklerinin belirlenmesi de ayrıca önem taşımaktadır. Bu amaçla birleşim tasarımının değerlendirilmesinde kullanılabilecek yöntemler araştırılmıştır. Avrupa komisyonları BRITE/EURAM araştırma programları tarafından finanse edilen bir araştırma projesiyle DFM uygulamaları için geliştirilen yeni bir yöntem belirlenmiştir. Üretim İçin Tasarım Mimarisi ve Araç Takımı (Design for Manufacturing Architecture and Tool Suite- DEFMAT) isimli bu projede DFM analizi için genel bir problem çözme motoru, bir araç takımı geliştirilmiştir. DEFMAT analiz motoru prototipinde geliştirilen iki modül bu çalışma kapsamında incelenmiştir: konsept aşaması birleşim tasarımı desteği ve detay aşaması ürün birleşim analizi. (Molloy ve diğ, 2012)

Bir birleşimin konsept tasarımı, ürün montajının yapısal düzeni ile ilgilidir ve genel olarak ürün tasarımında önemli bir karardır. Birleşim şartnamesinde yer alan birleşim ihtiyaçları ve birleşim işleminin seçimi, birleşim geometrisinin ve özelliklerinin detay tasarımı kurallarını tanımlamaktadır. Konsept tasarım sürecinde tasarımcı, ürünün fonksiyonel ihtiyaçlarını belirlemektedir. Konsept aşaması birleşim tasarımı desteği modülü tasarımcıyı bilinen üretim süreçlerinin özellikleri ile desteklemektedir. Bu tasarımcının tasarımın salt fonksiyonel konuları ile birlikte kolay üretimini de göz önünde bulundurmasını sağlamaktadır. Birleşim ihtiyaçlarının

tanımlanmasına ek olarak bu analiz, mevcut süreç kapasitesi ve yetkinliklerindeki eksikliklerin vurgulanmasına ve üretimin başlamasından önce geliştirilmelerine olanak sağlamaktadır. (Molloy ve diğ, 2012)

Konsept tasarım analizi, tanımlanan 25 analiz kriteriyle, oldukça etkileşimli bir hesaplayıcıdır. Tasarımcı bu kriterler için önem derecesini belirleyebilmektedir. Konsept tasarım aşaması analizinde basit bir Evet-Hayır, Yüksek-Orta-Düşük ölçeği kullanılabilir. Değerlerin tam olarak belirtilmesi ise detay tasarım aşaması analiz sürecinin bir parçasıdır. (Molloy ve diğ, 2012).

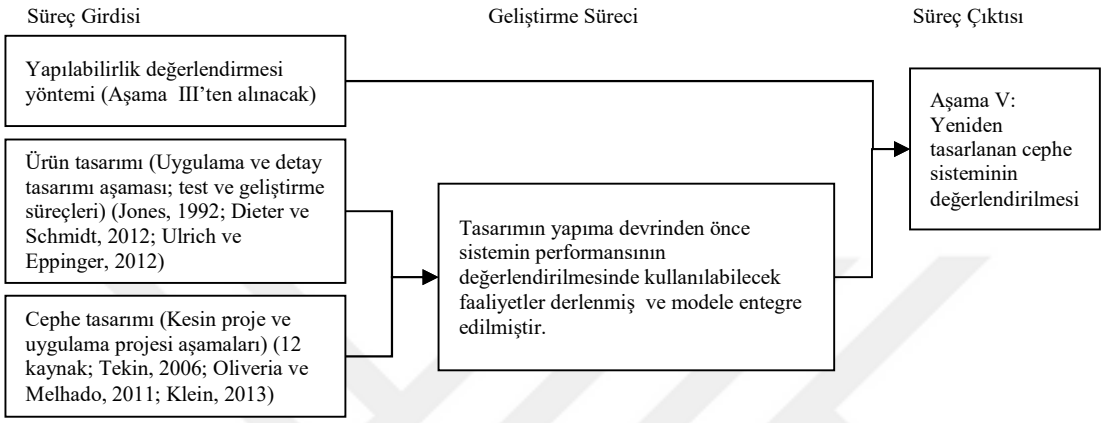
Analiz, çoklu değerlendirme döngülerinden oluşmaktadır. Analiz edilecek birleşim belirlendikten sonra bu birleşim için önemli olan tasarım kriterleri tanımlanan 25 analiz kriteri arasından belirlenmektedir. Her kriter için belirlenen değer bağlamında analiz, kriter değerlerini karşılayabilecek süreçler ile reddedilmesi gereken süreçleri hesaplamaktadır. Tasarımcı, şartnameden memnun kalana ve süreç seçimindeki sonuçları öğreninceye kadar analizleri dilediği kadar tekrarlayabilmektedir. Bu süreç, belirlenen tüm kriterler için tekrarlanmaktadır (Molloy ve diğ, 2012).

Bu çalışma kapsamında DEFMAT konsept tasarım birleşim analizi kriterleri, birleşim tasarımlarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere benimsenmiştir. Değerlendirme proje bağlamında belirlenen kriter ağırlıkları ve sınır değerlerine göre uzman görüşleri alınarak, ağırlıklı karar matrisi yöntemiyle gerçekleştirilecektir.

5.2.2.5 Yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi aşamasının geliştirilmesi

Ürün ve cephe tasarımında tasarımın değerlendirilmesi faaliyeti her tasarım aşamasının sonunda farklı kapsamlarda gerçekleştirilmektedir. Ürün tasarımında tasarımın üretime devrinden önce gerçekleştirilen üretilebilirlik ve performans değerlendirmeleri uygulama tasarımı aşamasında başlamakta, detay tasarımı aşamasında tamamlanmaktadır. Ürün yeniden tasarım süreçlerinde ise ürün prototipleme ve test faaliyetleri yeniden tasarım aşaması içinde gerçekleştirilmektedir. Cephe tasarımında, performans ve maliyet değerlendirmeleri kesin proje aşamasında başlamakta; tasarımın yapıma devrinden önce gerçekleştirilen son düzenlemelerle uygulama projesi aşamasında tamamlanmaktadır. Yeniden tasarlanan cephenin tasarım onayı alarak üretim ve yapım aşamalarına devri için de öncelikle yeniden tasarım hedefleri bağlamında değerlendirilmesi gerekmektedir. Performans değerlendirmesi konusu, tepki veren cephe tasarımının

genel cephe tasarımı süreçlerinden farklılaşmasında etkili olan temel nedenlerden biri olduğundan (bk. Bölüm 4.4), yeniden tasarım modelinde ayrı bir aşama olarak ele alınmıştır. Geliştirilen yeniden tasarım modelinin ürettiği sistemlerin, çalışmanın amacı doğrultusunda, etkinliğini ölçecek bir tasarım değerlendirme yaklaşımının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada gerçekleştirilecek faaliyetlerin belirlenmesinde kullanılan yöntem şematik olarak Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20: Aşama V: Yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi, süreç adımlarının geliştirilmesi.

Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımının temel amacı sistemin üretimini ve yapımını kolaylaştırmaktır. Bu bağlamda yeniden tasarlanan cephe sisteminin öncelikle yapılabilirliği değerlendirilerek, gerçekleştirilen tasarım değişikliklerinin tasarım amacını sağlayıp sağlamadığı belirlenmelidir. Referans cephe sistemiyle yeniden tasarlanan cephe sisteminin aynı koşullarda değerlendirilerek karşılaştırılmasını sağlamak için, yapılabilirlik değerlendirmesi yöntemi olarak referans cephe sisteminin analizi aşamasında geliştirilip kullanılan yöntem belimsenmiştir. Yapılabilirlik değerlendirmesinden sorumlu ekip, referans cephe analizini gerçekleştiren ekip olabileceği gibi, yapılan tasarım değişiklikleri bağlamında ekibe ihtiyaç duyulan yeni uzmanlık alanlarından üyeler de eklenebilir.

Yeniden tasarlanan cephe sisteminin yapılabilirlik değerlendirmesi sonucu elde edilen yapılabilirlik indeksi, referans cephenin yapılabilirlik indeksi ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırmada kabul edilebilecek sınır değer, proje hedefleri bağlamında değişiklik gösterebileceğinden, proje bağlamında tasarımcı tarafından belirlenir.

Yeniden tasarımın cephe performansı üzerinde değişikliklere neden olabileceği bilinmektedir. Bununla birlikte referans cephenin standart ürünlerle yeniden

tasarımında cephe performansında belirgin bir kayıp gerçekleşmemesi hedeflenmektedir. Yeniden tasarım aşamasında referans cephede gerçekleştirilen değişikliklerin kapsamı bağlamında cephe sisteminin bazı konularda performansının değerlendirilmesi gerekebilir. Bu değerlendirmenin sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yapılması önerilen faaliyetler ürün ve cephe tasarımı literatüründen derlenmiş ve uygulanma hiyerarşileri incelenmiştir.

Ürün tasarımında, tasarımın teknik olarak etkinliğinin değerlendirilmesinde test yöntemi kullanılmaktadır. Tasarımın test edilmesinin iki genel nedeni bulunur. İlki, tasarımın sözleşmeye veya bazı şartnamelere bağlı gereklilikleri karşıladığını tespit etmektir (doğrulama). Diğeri ise gerçek arıza modları ve tasarımın zayıf yönleriyle ilgili bilgi edinmek için tasarımın arıza oluşturmasını sağlamaktır. Büyük bir tasarım projesinin başında geliştirilen önemli belgelerden biri test planıdır. Test planı, yapılacak testlerin tasarım sürecinde ne zaman yapılacağı ve testlerin maliyeti hakkında bir açıklama sunmaktadır. Ürün tasarım şartnamesinin bir parçası olarak geliştirilmelidir. (Dieter ve Schmidt, 2012)

Bir ürün tasarımı projesinde ihtiyaç duyulabilecek birçok test vardır. Bunlardan bazıları şunlardır (Dieter ve Schmidt, 2012):

- Tasarım prototiplerinin testi.
- Modelleme ve simülasyonlar.
- Tüm mekanik ve elektriksel arıza modları için test.
- Tasarımın gerektirdiği özel testler (contalama, ısıl şok, titreşim, hızlanma, nem direnci vb.).
- Hızlandırılmış yaşam testi. Kritik kalite bileşenlerinin faydalı ömrünü değerlendirme.
- Çevresel sınırlamalar testi. Sıcaklık, basınç, nem gibi çevresel sınırlamaların, ürün şartnamesinde belirlenen limitlerinin testi.
- İnsan mühendisliği ve onarım testi. Tüm insan arayüzlerinin gerçek kullanıcılarla değerlendirilmesi. Bir kullanıcı ortamında bakım prosedürlerinin ve destek ekipmanlarının kontrolü.
- Güvenlik ve risk testi. Kullanıcıların yaralanma olasılığının ve ürün sorumluluğu davası ihtimalinin belirlenmesi. Ürünün satılacağı tüm ülkelerde güvenlik kurallarına ve standartlarına uygunluğun kontrolü.

- Yerleşik test ve teşhis. Yerleşik test, kendi kendine tanı ve öz bakım sistemlerinin yeteneğinin ve kalitesinin değerlendirilmesi.
- İmalat tedarikçisi yeterliliği. Tedarikçilerin kalite, zamanında teslimat ve maliyet açısından yeterliliğinin belirlenmesi.
- Paketleme. Ambalajın ürünü koruma yeterliliğinin değerlendirilmesi.

Ürün tasarımında son değerlendirme, detay çizimleri tamamlandığında ve üretime geçmeye hazır olunduğunda yapılmaktadır. Bu değerlendirmenin amacı, tasarımı ürün tasarım şartnamesinin en güncel versiyonuyla ve tasarım değerlendirmesi kontrol listesiyle karşılaştırmak, tasarımın üretime hazır olup olmadığına karar vermektir. Üretimde kullanılacak malzeme ve işlemler kullanılarak oluşturulan, tam boyutlu fonksiyonel parça veya ürün testini içeren beta-prototip testi bu süreçte tamamlanır. (Dieter ve Schmidt, 2012)

Tasarımın üretime devrinden önceki son değerlendirmede tasarım ekibinin tamamının değerlendirmeye katılması gerekmektedir. Ayrıca tasarımın ürün tasarım şartnamesinin tüm gerekliliklerini karşıladığını yapısal olarak gözden geçirmek için proje ile ilişkili olmayan tasarım uzmanlarına da ihtiyaç duyulabilir. Uzmanlar tasarımı dayanıklılık ve güvenlik, kalite güvencesi, saha servis mühendisliği ve satın alma bakımından değerlendirir. İmalat personeli, özellikle tasarımın üretilmesinden sorumlu tesisin işletme yönetimi ve DFM uzmanlarının değerlendirmede önemli katkısı olmaktadır. Tedarikçilerin temsili de genellikle istenir. Pazarlama uzmanları veya müşteri temsilcileri değerlendirmede bulunmalıdır. Koşullara bağlı olarak sürece dâhil edilecek diğer uzmanlar, yasa, patent, insan faktörü veya araştırma geliştirme temsilcileridir. Amaç, farklı uzmanlık, ilgi alanı ve gündeme sahip kişilerden oluşan bir değerlendirme grubuna sahip olmaktır. (Dieter ve Schmidt, 2012)

Cephe tasarımında sistemin performans özelliklerinin değerlendirilmesi kesin proje aşamasında başlamaktadır (Oliveira ve Melhado, 2011). Cephe sisteminin yapısal performansı, hava şartlarına karşı koruma, enerji verimliliği, akustik, yangın ve can güvenliği gibi performans özelliklerinin ön değerlendirmesi gerçekleştirilir.

Uygulama projesi tasarımı aşamasında ise cephe sisteminin performans özelliklerinin (hava sızdırmazlığı, dayanıklılık, ısıl ve akustik performanslar vb.) onaylı testlerle

değerlendirilmesi gerekmektedir (Marradi ve Overend, 2014). Bu değerlendirmede, dikkate alınması gereken ana hususları belirlemek için, cephe performans gereksinimleri ve bunların doğrulanma yönteminin açıkça belirtildiği bir tablo hazırlanır (Oliveira ve Melhado, 2011). Bu performans değerlendirme prosedürü tablosunun hazırlanmasından cephe tasarımcısı sorumludur. Cephe sisteminin performans değerlendirmesinde kullanılacak test yöntemi ise, değerlendirilecek performans özelliği, tasarımın tamamlanmışlık derecesi ve karmaşıklığına göre değişiklik göstermektedir.

Tekin (2006) giydirme cephe sistemlerine uygulanabilecek testleri inceleyerek test yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılan standartları ortaya koymuştur. Buna göre ülkemizde uygulaması yapılacak cephe testlerinde uluslararası standartlara uyulmaktadır. Bu standartlar; Centre for Window and Cladding Technology (CWCT), American Society for Testing and Materials (ASTM), American Architectural Manufacturers Association (AAMA) ve TS EN standartlarıdır. Örneğin CWCT giydirme cepheler için standart test metotları tanımlamıştır. Bu çalışmada yüksek katlı yapı cephelerinin performans değerlendirmesi için yapılabilecek testler olarak şunlar sıralanmıştır: rüzgâr dayanımı (dayanıklılık), dizaynın yer değiştirmesi sismik hareket, hava geçirgenlik, su geçirimsizlik (statik), su geçirimsizlik (dinamik), su geçirimsizlik (hortum), rüzgar dayanımı (güvenlik), sismik hareket (dizayn basıncının 1.5 katı), sökülüp tekrar montajının yapılması, yaşlandırma testi.

Başka bir çalışmada Şahin ve Gökuç (2018) alüminyum ve cam giydirme cephe sistemlerinin performans değerlendirmesinde, performans sınır değerlerini ve test metotlarını belirleyen TS EN standartlarını incelemişlerdir. Bu çalışmalardan elde edilen veriler ülkemizde cephe testi uygulaması yapan firmalardan (Url-10; Url-17; Url-18) temin edilen verilerle birleştirilerek cephe tasarımında performans sınır değerlerinin ve test yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir standartlar listesi oluşturulmuştur (EK I).

Tepki veren cephelerde performans değerlendirme yaklaşımları incelendiğinde ise zamana bağlı simülasyon çalışmaları ve prototip (test modeli, fiziksel model) değerlendirmelerinin ön plana çıktığı görülmektedir (Karanouh ve Kerber, 2015). Cephe performansı, gelişmiş yapı modelleme teknolojileri, logaritmalar, parametrik tasarım, kodlama, JAVA gibi teknolojiler kullanılarak oluşturulan sayısal cephe

modelleri üzerinden simülasyon yöntemleriyle değerlendirilebilir. Cephe performans değerlendirmesinde kullanılabilecek bazı simülasyon araçları literatürden derlenerek kullanım amaçları ile birlikte Çizelge İ.1E'de verilmiştir. Cephe prototiplerinin kullanıldığı deneysel değerlendirme prosedürü ise üç ana araç vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir: tam boyutlu dış mekân araçları, laboratuar iç mekân araçları ve dış mekân test hücreleri (Favoino ve diğ, 2018). Ayrıca, tepki veren cephe sistemleri ve bileşenlerinin temel performanslarını değerlendirmek için test araçları haritalandırması önerilmiştir. Bu haritalandırma için belirlenen 3 temel konu, (i) strüktür (strüktür, yangın ve güvenlik performansı), (ii) yapı fiziği (termal, akustik, görsel ve enerji performansı) ve (iii) yerinde denetlemedir (Favoino ve diğ, 2018).

Yeniden tasarım modelinin performans değerlendirmesi aşamasında gerçekleştirilecek faaliyetler ürün tasarımı, cephe tasarımı ve tepki veren cephe tasarımı süreçlerinde tasarımın performans değerlendirmesinde kullanılan yaklaşımlar derlenerek belirlenmiştir. Buna göre hem ürün tasarımında hem de cephe tasarımında performans değerlendirme süreci tasarımın performans gereksinimleri dikkate alınarak hazırlanan bir program bağlamında gerçekleşmektedir. Yeniden tasarım modelinde test planı olarak adlandırılan bu programda cephenin ihtiyaç duyulan performans özellikleri ve bunların kabul edilebilir sınır değerleri tanımlanır; cephenin bu özellikler ve sınır değerler açısından değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemler proje bağlamında belirlenir. Tasarımın sayısal ya da fiziksel modelleri üzerinde testler, bu test planına göre uygulanır.

6. TEPKİ VEREN CEPHELERİN STANDART ÜRÜNLERLE TASARIMI: YENİDEN TASARIM MODELİ

Yeniden tasarım model önerisi, standart ürünlerle tepki veren cephe tasarımına yönelik yapılandırılmış sistematik bir yaklaşımdır. Tasarım hedeflerine bağlı olarak, formun düzenlenmesi, yapı ürünlerinin değiştirilmesi, çıkartılması veya eklenmesi ve sistemin yeniden yapılandırılmasına dayanmaktadır. Model, planlama, referans cephe sisteminin tanımlanması, referans cephe sisteminin analizi, referens cephe sisteminin yeniden tasarlanması ve yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi olmak üzere beş aşamadan ve bu aşamaların uygulama adımlarından oluşmaktadır. Süreç teorik olarak doğrusal olsa da uygulamada aşamalar arasında geri dönüşler bulunmaktadır. Her bir aşamanın amaçları, uygulama adımları ve çıktıları aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

6.1 Aşama I: Planlama

Bu aşamanın amacı, geliştirilecek proje bağlamında ihtiyaç duyulan tepki veren cephenin tanımlanması ve bu ihtiyaçlara en uygun mevcut tepki veren cephenin seçilmesidir. Böylece yeniden tasarım çabalarının odağı belirlenecektir.

İhtiyaç duyulan tepki veren cephenin tanımlanması cephe tasarım hedeflerinin belirlenmesi yoluyla sağlanmaktadır. Bu nedenle tasarım hedeflerinin doğru ve ayrıntılı bir şekilde tanımlanması önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, tasarım hedeflerinin kapsamlı ve sistematik bir şekilde tanımlanması için kontrol listesi yaklaşımı kullanılmıştır. Kontrol listesi, yapılı çevre, performans gereksinimleri, yönetmelikler, standartlar, bina ve cephe özellikleri gibi kriterler bağlamında tasarım tarafından yerine getirilmesi gerekli olan özellikleri tanımlamaktadır. Geliştirilecek proje bağlamında ihtiyaç duyulan tepki veren cephe sisteminin sağlaması gereken özellikleri, yani tasarım hedeflerini belirlemek için Çizelge 6.1'de verilen 22 kriterden oluşan tasarım hedefleri kontrol listesi kullanılmalıdır.

Çizelge 6.1: Tepki veren cephelerin tasarım hedeflerinin belirlenmesinde kullanılacak kontrol listesi.

Tepki Veren Cephelerin Tasarım Hedeflerinin Belirlenmesi		
Kriter	**Açıklama**	**Hedef**
Çevre	Cephenin operasyon, üretim, depolama ve nakliye sırasında maruz kaldığı çevresel etkiler nelerdir? (Sıcaklık, nem, titreşim vb.)	
	Tasarım sürecinde özellikle dikkate alınması gereken bir çevresel etki bulunmakta mıdır?	
	Cephenin çevre üzerindeki hangi etkileri önlenmelidir?	
Performans /Fonksiyon	Cephe hangi fonksiyonları yerine getirmelidir?	
	Fonksiyonel özellikler hangi parametrelerle değerlendirilecektir? (Hız, güç, mukavemet, kapasite vb.)	
Tepki Veren Cephe Özellikleri	Hangi tepki veren cephe özellikleri sağlanmalıdır? (Çizelge 4.3'te verilen tepki veren cephe sınıflandırma tablosunu doldurunuz.)	
Boyut ve Ağırlık	Önerilen cephe panelinin boyutları nedir?	
	Tasarımda boyut çeşitliliği var mı? Boyutsal çeşitliliğin dayattığı gereksinimler/özellikler nelerdir?	
	Önerilen cephe panelinin ağırlığı nedir?	
	Üretim, nakliye veya kullanım, maksimum boyutlara veya ağırlığa sınırlama getiriyor mu? Potansiyel kısıtlamaları açıklayınız.	
Malzemeler	Özel malzeme kullanımı gerekli mi? Gerekliyse hangi malzeme neden kullanılmalı?	
	Kullanılmaması gereken malzemeler var mı? Varsa hangi malzeme neden kullanılmamalı?	
Ergonomi	Cephenin karşılamak zorunda olduğu ergonomi (algı, kullanım vb.) ile ilgili herhangi bir gereksinim var mı?	
Güvenlik	Kullanıcıların veya kullanıcı olmayanların güvenliği için herhangi bir özel servis sağlanmalı mı?	
Estetik, Görünüm ve Bitişler	Estetik tercihler nelerdir?	
	Cephenin bir mimari stile veya konsepte uyması gerekiyor mu?	
Sosyal ve Politik Etkiler	Cephenin yansıtması gereken bir sosyal görüş var mı?	
Yönetmelikler ve Standartlar	Cephe tasarımı ve üretiminde hangi yönetmeliklere uyulmalıdır? Bunların tasarıma getirdiği kısıtlamalar nelerdir?	
	Cephe tasarımı ve üretiminde hangi standartlara uyulmalıdır? Bunların tasarıma getirdiği kısıtlamalar nelerdir?	
Sınama	Üretim sürecinde cepheye hangi fonksiyon ve kalite testleri uygulanacaktır?	
	Cephe prototiplerine inşaat alanında hangi testler uygulanacaktır?	
Kullanım Ömrü	Öngörülen kullanım ömrü ne kadardır?	
Birim Başına Maliyet Hedefi	Yatırım yapılacak üretim maliyetinin sınır değeri nedir?	
Miktar	Üretim miktarı ne kadardır?	
Üretim Tesisleri	Cephe mevcut üretim tesislerinde üretim için mi tasarlanmalıdır?	
	Yeni üretim tesislerine yatırım yapmak mümkün müdür?	
	Üretimin tamamı ya da bir kısmı dışarıya mı ihale edilecek?	
Montaj ve Kurulum	Cephenin montajı ve fabrika dışındaki kurulumu hangi ihtiyaçları doğurur?	
Paketleme	Paketleme gerekli midir? Paketleme süreci hangi ihtiyaçları doğurmaktadır?	
Depolama	Cephe bileşenlerinin/elemanlarının üretim ve dağıtım sürecinde depolandığı zaman dilimleri bulunmakta mıdır? Depolamanın gerektirdiği özel önlemler nelerdir?	
Nakliye	Üretim ve kurulum alanına nakliyenin getirdiği gereksinimler nelerdir?	
İşletme	Cepheyi kullanma ve işletmenin öğrenilmesi ve işletmenin getirdiği gereksinimler nelerdir?	
Bakım	Periyodik bakım gerekli midir? Sistem bakım işin elverişli midir?	
	Hangi parçaların ulaşılabilir olması gerekmektedir?	
Yeniden Kullanım, Geri Dönüşüm, İmha	Malzemelerin, bileşenlerin ya da elemanların yeniden kullanılması öngörülmekte midir? Bu durum hangi gereksinimleri doğurmaktadır?	
	Malzeme ve parçalar atık imhası için ayrılabilir mi?	
	Geri dönüştürülmüş ürünlerin kullanılması öngörülmekte midir? Bu durum hangi gereksinimleri doğurmaktadır?	

Eksiksiz bir tasarım hedefleri listesine ulaşmak için projenin geliştirilmesinde etkili olan farklı bakış açılarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu bağlamda tasarım hedeflerinin belirlenmesine yardımcı olmak için projenin geliştirilmesinden sorumlu ekip üyelerinden, mühendislik tasarımı, yapım süreçleri gibi bakış açılarından, biri veya birkaçı seçilerek mümkün olduğunca çok tasarım hedefi belirlenmelidir.

Tasarım hedefleri listesi elde edildikten sonra, bu hedeflerin özellikleri ve birbiriyle ilişkileri gözden geçirilerek düzenlenmelidir. Bu düzenleme sonucunda tasarım hedefleri programı oluşturulur. Bu çalışma kapsamında projeye özgü tasarım hedefleri programının oluşturulmasında 4 adımdan oluşan bir prosedür tanımlanmıştır. Prosedürün adımları aşağıda açıklanmaktadır.

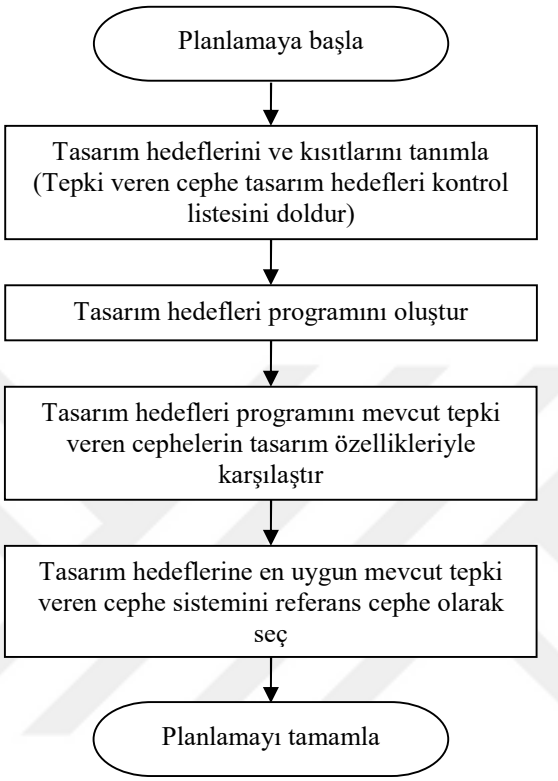
1. Nicel ve nitel tasarım hedefleri, yani ölçülebilir hedefler ve istekler arasında ayrım yapılmalıdır.
2. Benzer özellikler tanımlayan veya tasarım alternatifleri arasında ayırım yapmayan tasarım hedefleri programdan çıkartılmalıdır.
3. Varsa birbiriyle çelişen tasarım hedefleri belirlenmeli, çelişkinin giderilmesi için uzlaşma yolları aranmalıdır.
4. Tasarım hedefleri arasındaki hiyerarşi belirlenmelidir. Düşük seviyedeki hedefler ile yüksek seviyedeki hedefler arasında ayrım yapılmalıdır.

Geliştirilen tasarım hedefleri programının aşağıdaki koşulları yerine getirmesi gerekmektedir:

- Her bir tasarım hedefi mantıklı ve yasal olmalıdır.
- Tasarım hedefleri programı mümkün olduğu kadar eksiksiz olmalıdır.
- Tasarım hedefleri programında gereğinden fazla tasarım kriteri tanımlanmamalıdır. Tasarım olanaklarının çok sınırlı hale getirilmemesine dikkat edilmelidir.
- Tasarım hedefleri operasyonel olmalıdır.
- Tasarım hedefleri uygulanabilir olmalıdır.

Tasarım hedefleri programından elde edilen verilere dayanarak, bu hedefleri karşılamaya en yakın mevcut cephe sistemi yeniden tasarlanmak üzere referans cephe olarak seçilmektedir. Bu aşamada, mevcut tepki veren cephelerin tasarım

kriterlerini, teknik özelliklerini, performans özelliklerini, maliyet bilgilerini, üretim ve montaj detaylarını içeren bir veri tabanı olmaması, seçim işlemini zorlaştırmaktadır. Bu aşamanın uygulama adımları Şekil 6.1'deki akış şemasında gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Aşama I: Planlama, süreç akış şeması.

6.2 Aşama II: Referans Cephe Sisteminin Tanımlanması

Yeniden tasarım sürecinin doğru yönlendirilmesi için referans tepki veren cephenin kapsamlı bir şekilde tanımlanması ve anlaşılması gerekmektedir. Bu bağlamda bu aşama, referans cephenin tasarım ve üretim mantığını, fiziksel sistemini ve işleyişini ortaya koymaya yöneliktir. Referans cephenin işleyişini motive eden nedenlerin kavranmasına öncülük eder.

Referans cephe sistemin tanımlanması, ürün tasarımında kullanılan tersine mühendislik yaklaşımının cephe tasarımına uyarlanması ile sağlanmaktadır. Referans cephe sistemini incelemek ve tanımlamak için modeller, çizelgeler, diyagramlar, kılavuzlar ve normatif teoriler şeklinde çeşitli teknikler kullanılır. Cephe sistemi, formu, bileşenleri, fiziksel prensipleri, fonksiyonelliği, üretilebilirliği ve montajı açısından gözlem, demontaj ve analiz edilerek belgelendirilir. Mevcut tepki veren

cepheler genellikle özel çözümler olduğundan ve sistem modüllerine ya da bileşenlerine fiziksel olarak erişilemediğinden, tanımlama çalışmaları literatürden, tasarımcılardan, yüklenicilerden veya imalatçılardan elde edilen tasarım, üretim ve montaj detaylarına dayanmaktadır.

Bu aşamada referans tepki veren cephe ile ilgili kapsamlı bir bilgi toplama çalışması yürütülmektedir. Planlama aşamasında geliştirilen tepki veren cephe tasarım hedefleri kontrol listesi referans sistemin tasarımını şekillendiren kriterleri belirlemek için kullanılır (Çizelge 6.1). Tepki veren cephe özellikleri, tepki veren cephe sınıflandırma kriterlerine göre tanımlanır (Çizelge 4.3).

Cephe sisteminin bütünü incelenerek, sistemin üretimi, yapıya kurulumu/montajı için ihtiyaç duyulan detaylar belirlenir. Bu detaylar sistem özelliklerine göre belirlenmekle birlikte en azından, sistemin montaj başlangıç ve bitişi, köşe dönüşleri, yapıyla birleşim ve sistemi oluşturan birimlerin birbiriyle birleşim detaylarını içermektedir. Belirlenen bu detaylar bağlamında cephe sisteminin üretim ve yapım süreçleri gözden geçirilir ve bu süreçler için gerekli ekipman, işçilik ve sermaye gibi girdiler belirlenir.

Bu aşamanın en önemli adımlardan biri, referans cephenin metraj cetvelinin oluşturulmasıdır. Metraj cetveli, yeniden tasarım stratejisinin oluşturulmasını ve yeniden tasarım kararlarını destekleyecek şekilde, cepheyi oluşturan her bir parçanın fonksiyonel ve fiziksel özellikleri ile üretim ve tedarik bilgilerini içermelidir. Bu bağlamda genel olarak kullanılan metraj cetvellerinden farklılaşmaktadır. Metraj cetvelinin araştırma amacına uygun olarak hazırlanması için Çizelge J.1'de verilen metraj cetveli şablonunun kullanılması önerilmektedir.

Sistemin mevcut metraj cetveli tasarımcıdan veya üreticiden temin edilebiliyorsa, parçaların standardizasyon düzeyi, standart veya özel üretim olarak tanımlanmalı, yerel tedarikçiler belirlenmelidir. Eğer sistemin mevcut metraj cetveli tasarımcıdan veya üreticiden temin edilemiyorsa, öncelikle sistemi oluşturan parçaların ve bu parçaların miktarının, fonksiyonlarının ve üretimleri için gerekli malzeme ve boyut özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada en doğru analiz, mevcut sistemin sistematik bir şekilde sökülmesi; bu süreçte her bir parçanın fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin söküm sırasına ve ait oldukları alt montaj birimine göre

belgelendirilmesi ve metraj cetveline işlenmesi ile sağlanır. Sisteme fiziksel olarak erişilemediği durumlarda bu işlem sistem detayları üzerinden yapılan çıkarımlar bağlamında gerçekleşebilir. Fakat bu durumda parça ağırlıkları ve bazı malzeme özellikleri gibi ulaşılamayan bilgiler bulunabilir. Bu açığın giderilmesi için üretim ve malzeme gibi gerekli uzmanlık alanlarından detayların analizi bağlamında destek alınması gerekmektedir.

Cephe sistemini oluşturan parçaların belirlenmesinin yanı sıra, parçaların birbirleriyle ve diğer yapı bileşenleriyle aralarındaki bağlantı ve birleşimlerin de tanımlanması gerekmektedir. Cephe parçaları arasındaki birleşim tipi, üretim sürecinin DIN 8593'e göre analiziyle tanımlanır. Birleşim tiplerini sınıflandıran DIN 8593 bölüm numaraları, montaj şemasında birleşim tipi kodu olarak kullanılır. DIN 8593 temel üretim süreçleri, birleşimlerin sınıflandırılması ve tanımları aşağıda verilmiştir.

Bir Araya Getirme (*Putting Together*): Bağlantılı birleşimler, parçaları birbirinin üzerine ya da içine yerleştirerek, birbirine yuvalayarak, menteşeleyerek ya da sürerek birleştirmeyi içermektedir. Birleşme durumu, yerçekimi, sürtünme ve birbirine kenetlenme ile korunur. Bazı yöntemler, birleşimi güvence altına almak için ilgili parçaların elastik deformasyonunu veya yardımcı parçaları kullanır. Bağlantılı birleşimler hasar vermeden tahribatsız olarak ayrılabilirler. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 1'dir.

Doldurma (*Filling*): Dolgu birleşimler, gazlı, buharlı, akışkan, öz benzeri veya macunsu malzemelerin içi boş veya gözenekli nesneler içine dökülmesi, emdirilmesi veya doyurulması suretiyle parçaların birleşimini içermektedir. Bu tip birleşimler genellikle ısı uygulama gibi etkilerle kolayca çözülür. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 2'dir.

Üstüne/İçine Presleme (*Pressing On/In*): Presleme birleşimler parçaları zorla birbirine kapayarak bağlarlar. Böylece parçalar genellikle sadece elastik olarak deforme olurlar. Bu süreçlerin alt grupları arasında, vidalama, mengene ile sıkıştırma, kenetleme, çivileme, baskı aparatları ile birleştirme, çekiçleme ve yayma bulunmaktadır. Presleme birleşimler genellikle tahribatsız olarak ayrılabilir; fakat

bazen bunun için özel araçlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 3'tür.

Biçimlendirme (*Forming*): Biçimlendirilmiş birleşimler genellikle, parçaların belirli bölümlerini oluşturan alanların daha sonra birbirlerine geçerek birleşimi sağlamlaştıracak şekilde biçimlendirilmesiyle parçaların birbirine bağlanmasını içermektedir. Burada alt gruplar tel ve bant benzeri gövdelerin biçimlendirilmesini ve perçinleme süreçlerini içermektedir. Bu birleşimler sadece birleşim parçalarına zarar vererek veya tahrip ederek sökülebilir. Montaj şemasında şekilsiz biçimlendirme 4, biçimlendirme 5 sayı kodu ile gösterilmektedir.

Kaynaklama (*Welding*): Kaynaklı birleşimler, kaynak dolgularıyla veya dolgusuz, ısı ve/veya kuvvet (füzyon veya basınç kaynağı) kullanarak parçaları birbirine bağlar. Genel olarak, kaynak birleşimlerin amacı, birleşimin temel malzeme kadar güçlü olmasını sağlamaktır. Birleşim ancak tahribatlı bir şekilde bozulabilir. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 6'dır.

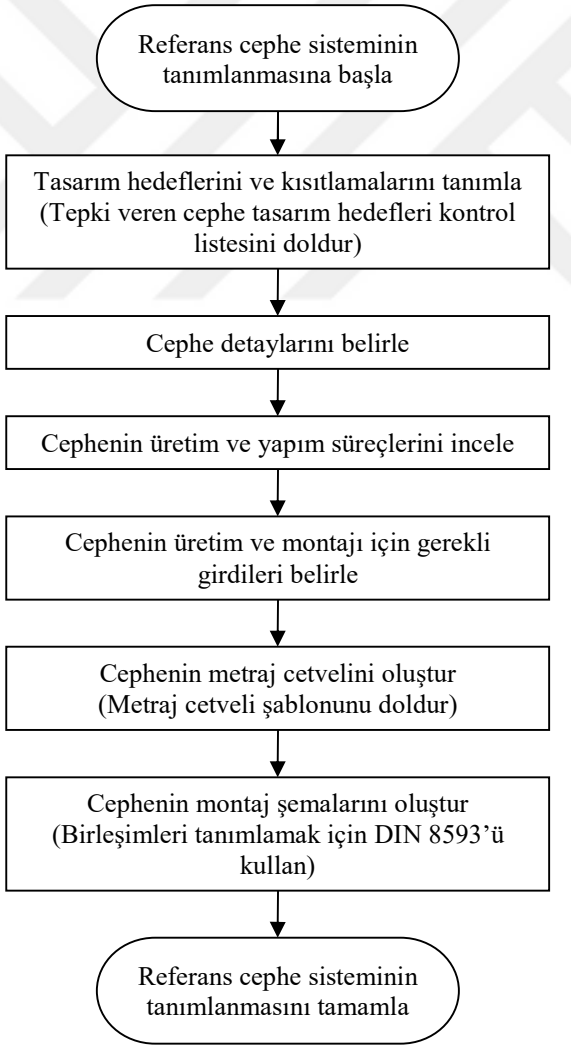
Lehimleme (*Soldering*): Lehimli birleşimlerle DIN 8593, yumuşak, sert ve yüksek sıcaklık birleşimleri arasında ayrım yapmaktadır. Birleşimin içine akan dolgu metalinin erime noktası, işlenecek parça malzemelerinden daha düşüktür. Sonuç olarak, birleşim bazı sınırlamalar dâhilinde lehim sökme aleti kullanılarak çözülebilmektedir. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 7'dir.

Yapıştırma (*Bonding*): Yapıştırıcı bağlar, parçaları yapıştırma ve birleşme yoluyla fiziksel olarak veya kimyasal olarak sertleşerek adhezyon ve kohezyon yoluyla birleştiren metalik olmayan bağlayıcı maddelerini kullanmaktadır. Bu bağ sınırlar dâhilinde çözülebilir. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 8'dir.

Tekstil Birleştirme (*Textile joining*): Tekstil birleşimler, iplik, filament ve malzeme üretiminden elde edilen tekstil lifli malzemelerin yarı bitmiş ya da bitmiş ürünlerin ek yerlerine yerleştirilmesiyle gerçekleşir. Bu süreçler henüz standartlaştırılmamıştır ve karbon fiberden yapılmış modern otomobil ve uçak gövdeleri haricinde imalatta nadiren uygulanmaktadırlar. Bu birleşim tipinin montaj şemasında gösterilen sayı kodu 9'dur.

Referans cephe sisteminin montaj şeması metraj cetvelinde verilen parça bilgileri ve DIN 8593'e göre analiz edilen parça birleşim tiplerine göre oluşturulur. Montaj şemasında her bir parça, metraj cetvelinde montaj birimini gösteren harf ve parça numarasını gösteren rakamla kodlanır (A1 gibi). Bu kod bir daire içinde yazılarak parçayı tanımlayan simge oluşturulur. Parçaların birbiriyle birleşimi, daireleri birleştiren çizgilerle gösterilir. Parçaların birleşim tipini tanımlayan ilgili DIN 8593 birleşim tipi sayı kodu birleşimleri gösteren çizgilerin üzerine veya altına yazılır.

Montaj şemalarının oluşturulmasıyla referans cephe sisteminin tanımlanması aşaması tamamlanmaktadır. Aşamanın tüm süreç adımlarını gösteren akış şeması Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu aşamanın tamamlanmasıyla referans cephe sisteminin analizi için gerekli bilgiler tanımlanmış olmaktadır.



Şekil 6.2: Aşama II: Referans cephe sisteminin tanımlanması, süreç akış şeması.

6.3 Aşama III: Referans Cephe Sisteminin Analizi

Yeniden tasarımın bir özelliği olarak, ürün mimarisi ve yeni cephe sisteminin bir bölümü önceden bilinmektedir; buna karşılık sistemden çıkartılması gereken ya da standart ürünlerle değiştirilmesi gereken parçaların tespit edilmesi gerekmektedir. Yeniden tasarımın odağı olacak parçaların belirlenmesi, yeniden tasarım hedeflerinin belirlenmesi kadar önemlidir. Tasarım probleminin gerçekte ne ile ilgili olduğu; yaratıcı tasarım ve problem çözümü için hangi yolların açık olduğu tanımlanmalıdır. Referans cephenin analizinde kriterlere bağlı değerlendirme ön plana çıkmaktadır. Ölçülemeyen bir durumun iyileştirilemeyeceği esasına dayanarak yapılan değerlendirmelerde problemleri ölçülebilir kriterler üzerinden tespit etmek amaçlanmıştır.

Tepki veren cephe tasarımında uygulanabilirliğin değerlendirilmesinde temel performans göstergesi olarak "yapılabilirlik değeri" belirlenmiştir. Bu bağlamda referans cephenin analizi yapılabilirlik değerlendirmesi ile başlamaktadır. Yapılabilirlik değerlendirmesinin niteliği çoğunlukla değerlendirmeyi yapan yapılabilirlik ekibindeki kişi ya da kişilere bağlı olduğundan, değerlendirmeye başlamadan önce bu ekibin seçimi önem taşımaktadır. Yapılabilirlik ekibinin lideri yeniden tasarımdan sorumlu olan tasarımcıdır. Bu noktada öncelikle, tasarımcının uzmanlık düzeyi, referans cephenin tasarım, üretim ve yapım süreçleri hakkında ihtiyaç duyulan bilgi düzeyi bağlamında tespit edilmelidir. Sonra da gerekli görülürse, daha derin bilgiye ihtiyaç duyulan alanlar belirlenerek gerekli uzmanlar yapılabilirlik ekibine dâhil edilmelidir. Oluşturulan ekibin görüşlerine hem yapılabilirlik değerlendirmeleri hem de yeniden tasarım sürecinde ihtiyaç duyulacaktır. Bu noktada, tasarımı değerlendirmeden önce hedef üreticinin veya tedarikçinin tanımlanması yararlanılabilecek önemli bir stratejidir.

Referans cephe sisteminin yapılabilirlik değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler 10 ana başlık altında 24 kriter olarak düzenlenmiştir. Bu kriterlerler ana hedefleri bağlamında aşağıda açıklanmaktadır:

- Sadeleştirme: Karmaşık olmayan birleşim detaylarının, yapım tekniklerinin, üretim ve yapım süreçlerinin kullanılmasını tanımlar. Tasarımda sadeleştirme dört kriter bağlamında değerlendirilmektedir:

- Az sayıda parça kullanma: İhtiyaç duyulan fonksiyonların mümkün olan en az sayıda parça kullanılarak sağlanması, böylece tasarım etkinliğinin arttırılmasıdır.
- Parçaları temel fiziksel özelliklerinde kullanma: Parçaların üretildikleri temel boyut ve şekillerde, herhangi bir şekilendirmeye ihtiyaç duyulmadan kullanılmasıdır.
- Parçaların boyutsal ayarlarını sahada yapabilme: İmalat sahasında, şantiye ya da fabrikada, parçaların boyutsal ayarlarının herhangi bir özel ekipman ya da bilgiye ihtiyaç duyulmadan kolayca yapılabilmesidir.
- Kolay uygulanan imalat yapma: İmalatın kalifiye işçilik gerektirmeden, genel amaçlı aletlerle yapılabilmesini ifade eder.

- Standartlaştırma: Bireysel eylemlerden doğacak karmaşıklıkları önlemek için davranış, anlayış, kullanış ve yapışta bir örneklik ve beraberlik sağlamaktır. Böylece tasarımda ve üretimde belirli bir düzen sağlanabilir. Tasarımda standartlaştırma üç kriter bağlamında değerlendirilmektedir:
  - Malzeme standartlaştırması: Alüminyum, çelik, beton gibi tasarımda olabildiğince aynı tip malzemenin kullanılmasıdır.
  - Tip (tasarım özellikleri) standartlaştırması: Belirli bir yapı elemanının tasarım özelliklerininin standardizasyonunu ifade eder. Tasarım özelliklerinde standardizasyon, form ve fonksiyonları aynı yapı ürünlerinin (vida dişi tipleri, dübel boyutları gibi) ya da detayların tekrarı üzerinden değerlendirilmektedir.
  - Boyut standartlaştırması: Yapı ürünü boyutları, tasarım boyutları (aks, modül vb.), tolerans boyutları gibi tasarımda kullanılan boyutların standardizasyonu ya da modüle edilmesidir.
- Kolay bulunabilir yapı ürünlerinin kullanılması: Erişilebilirliği yüksek, karmaşık özel üretim gerektirmeyen, yerel şekilde temin edilebilen, stoklarda bulunan yapı ürünlerinin kullanılmasıdır.
- Taşınabilir parçaların kullanımı: Yapı ürünlerinin boyut ve ağırlıkları, şantiyeye ve şantiye içinde taşınabilecek büyüklükte olmalıdır. Taşıma sırasında projenin sağladığı olanaklara bağlı olarak kol gücü ya da iş makineleri kullanılabilir.
- Yapım faaliyetleri için uygun koşulların sağlanması: Yapım faaliyetlerinin güvenli ve verimli olarak gerçekleştirilebilmesi için, geliştirilen detaylarda

yapım ve montaj süreçlerinin rahatça uygulanmasını sağlayacak mekânsal ve boyutsal ulaşılabilirlik koşullarının sağlanmasıdır.

- Boyutsal tolerans: Toleranslar, bir yapı ürününün nominal ve gerçek boyutları arasındaki olası farklılıkları tanımlar. İki yapı ürünü bir araya getirilirken üretim veya çevresel etmenler nedeniyle gerçekleşebilecek boyutsal değişiklilikler için oluşturulması gereken maksimum boyutsal aralıktır. Genel bir kural olarak öngörülen, tolerans azaldıkça yapılabilirlik de azalmaktadır. Tasarımcıların değerlendirmesi gereken birbiriyle ilişkili üç tolerans tipi bulunmaktadır:
    - İmalat toleransları: Parçaların imalatındaki boyutsal sapmayı tanımlar.
    - Konumsal toleranslar: Montaj kolaylığı ve güvenlik için gerekli toleranslardır.
    - Birleşim yeri toleransları: Yapı ürünlerinin birbiriyle birleşiminde fonksiyonel ve estetik gereklilerle ihtiyaç duyulan boyutsal aralıktır.
- Endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı: Bu tekniklerin ortak noktaları; yapım verimliliği ve üretkenliğinin arttırılması, yapım işlerinin paralel yürütülmesinin sağlanması ve böylece proje hedeflerinin temeli olan kaliteli yapıma kısa sürede ulaşılmasıdır. Yapılabilirlik değerlendirmesi kapsamında endüstriyel yapım teknikleri üç başlık altında incelenmektedir:
    - Ön üretim (prefabrikasyon) kullanımı: Yapı ürünlerinin atölye veya fabrika gibi kontrollü ortamlarda bir araya getirilmesiyle bileşen olarak ortaya çıkarıldığı bir üretim biçimidir.
    - Ön montaj kullanımı: Çeşitli yapı ürünlerinin şantiye dışında birleştirilerek şantiyede yerine montajının yapıldığı bir süreci tanımlar.
    - Modüler sistem kullanımı: Bileşenlerin, belirli bir binadan bağımsız, üreticiler tarafından önceden üretildiği kapalı sistemlerin kullanımıdır.
- Yapım aşamalarının tanımlanması: Detay tasarımının yapım işlemleri sırası gözetilerek yapılmasını ifade eder. Böylece yapım sürecini de kapsayan iş programı hazırlanarak olası sorunların tasarım sürecinde fark edilmesi sağlanır.
- Geliştirilmiş detaylar: Tasarımın yapılabilirliğinin arttırılabilmesi için detay tasarımında dikkat edilmesi gereken tasarım ilkelerini tanımlamaktadır.

- Birbiriyle çakışmayan birleşimler oluşturma: Birçok yapı ürününün bir araya geldiği düğüm noktalarında imalatın çakışması ve ürünlerin zarar görmesini engellemek için birleşimlerin çakışmayacak şekilde farklı yerlerde düzenlenmesidir.
- Üst üste bindirmeli birleşimler oluşturma: İki yapı ürününün birleşim noktasının en kolay ve temiz şekilde kapatılması üst üste bindirilerek birleştirilmeleriyle sağlanır. Bu nedenle üst üste bindirmeli birleşimlerin kullanılması önerilmektedir.
- Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı: Birleşimlerin yerinde montaj sırasında ve sonrasında ayarlanabilecek şekilde tasarlanmasıdır.
- Bozulmalara dirençli uç uca birleşimler oluşturma: Uç uca birleşimlerde oluşabilecek problemleri önlemek için birleşimlerin alından yapılması ya da ek parça ile desteklenmesi önerilmektedir.
- Köşe ve kenar bitişlerinin korunması: Köşe ve kenar bitiş detaylarının bozulma, kırılma ve yaralanmalara karşı korunmasıdır.
- Toleranslı yüzey oluşturma: Küçük yanlışlıkları, lekeleri gizleyen veya kamufle eden, tamir edilebilir, yüzeyler oluşturulmasını ifade eder.

- Bütünleşik tasarım: Sistem entegrasyonunun sağlanması için, farklı uzmanlık alanlarından elde edilen tasarım verilerinin (proje, belge, rapor vb.) mimari tasarım ile koordine edilmesi gerekmektedir. Bunun yöntemlerinden biri de cephe sistemini oluşturan parçaların, yapı elemanı, taşıyıcı sistem, servis sistemi gibi farklı sistemlerin fonksiyonlarını karşılayacak şekilde, bütünleşik olarak tasarlanmasıdır.

Yukarıda verilen değerlendirme kriterleri bağlamında yapılabilirlik değerlendirmesi, oluşturulan yapılabilirlik ekibi tarafından, ağırlıklı karar matrisi yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Yapılabilirlik değerlendirmesi için hazırlanan şablon Çizelge K.1'de verilmiştir. Değerlendirmenin uygulama adımları aşağıda açıklanmaktadır:

- Her bir kritere proje bağlamındaki önem ve uygulanabilirlik derecesine göre 2 (önemli), 1 (ilgili) ya da 0 (uygulanabilir değil) ölçeğinde ağırlık (A) verilir.
- Her bir kritere proje bağlamında kriteri sağlama derecesine göre 2 (istenen), 1 (kabul edilebilir) ve 0 (kabul edilemez) ölçeğinde değer (D) verilir.

- Her bir kriter için kriter ağırlığı ve değeri çarpılarak kriter puanı (P) elde edilir.
- Yapılabilirlik indeksi (I), kriter puanları toplamının mümkün olan en yüksek puana bölünmesiyle hesaplanır.
- İndeks değeri sıfırdan bire yaklaştıkça, yapılabilirlik düzeyi artar.

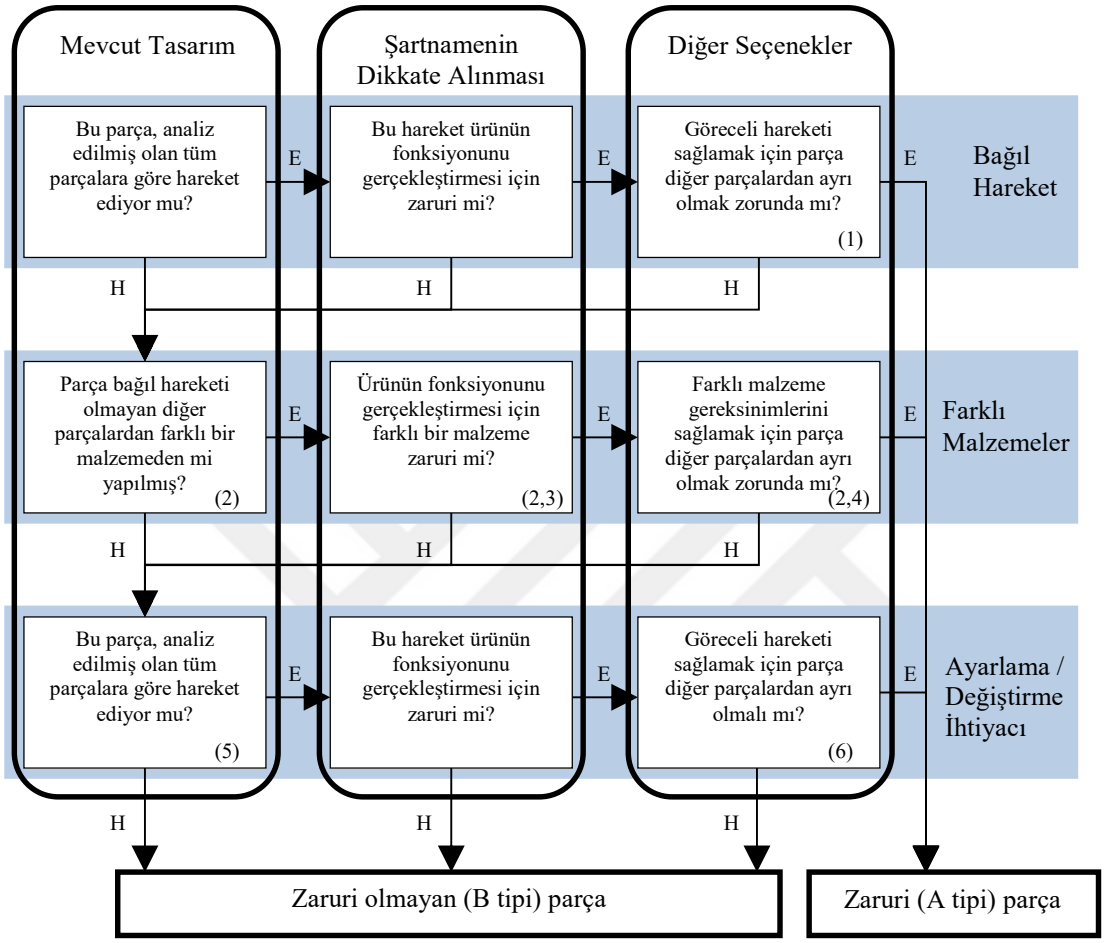
Değerlendirmenin amacı referans cephenin yapılabilirlik kriterlerini hangi kapsamda karşılayabildiğini belirlemek ve bu bağlamda yeniden tasarım sürecine yön çizmektir. Bu değerlendirmeye dayanarak, referans cephe tasarımının hangi yapılabilirlik kriterlerine göre geliştirilmesi gerektiği belirlenmektedir. Tüm yapılabilirlik kriterleri arasından, sadeleştirme, standartlaştırma, kolay bulunabilir malzemelerin kullanılması, geliştirilmiş detayların kullanımı ile ilgili kriterler cephe sisteminin karmaşıklığını azaltma ve standart ürünlerle üretimini destekleme konusunda ön plana çıkmaktadır.

Bu aşamanın ikinci önemli ayağı cepheyi oluşturan hangi parçaların yeniden tasarıma konu olacağını belirlemektir. Bunun için fonksiyon ve erişilebilirlik analizleri yapılmaktadır. Öncelikle DFA fonksiyon analizi aracı kullanılarak cepheyi oluşturan parçaların fonksiyonel analizi gerçekleştirilir. Metraj cetvelinden yararlanılarak cephenin her bir parçası mantıksal montaj sırasına göre listelenir. Birinci aşamada cephenin karşılaması gereken fonksiyonel gereksinimler incelenmektedir. İkinci aşamada cephenin bir bütün olarak mı yoksa bir dizi fonksiyonel alt bölüm olarak mı değerlendirilebileceğine karar verilir. Mümkünse, bitişik alt bölümlerde olabilecek parçaların veya özelliklerin çoğaltılmasını önlemek için cephenin bir bütün olarak düşünülmesi en iyi çözümdür. Üçüncü aşamada cepheyi oluşturan her parça Fonksiyonel Kriterler Çizelgesi'nde (Şekil 6.3) verilen sorgulama yöntemi kullanılarak iki kategoriye ayrılmaktadır:

- A tipi, zaruri parçalar: cephenin performansı için önemli olan fonksiyonları yerine getiren parçalardır. Teorik parçalar olarak da adlandırılmaktadırlar.
- B tipi, zaruri olmayan parçalar: cephenin fonksiyonu için kritik olmayan parçalardır.

Fonksiyon analizine başlamak için cephenin temel fonksiyonlarından birini yerine getiren bir parça seçilmekte ve bu A tipi parça olarak tanımlanmaktadır. Yapıştırıcı, sızdırmazlık contası, yağ gibi sıvılar parça olarak kabul edilmemeli ve

değerlendirmeye girmemelidir. Diğer tüm parçalar, Şekil 6.3'te verilen Fonksiyonel Kriterler Çizelgesi bağlamında, başlangıçta belirlenen A tipi parçaya göre montaj sırasıyla değerlendirilir.



Notlar:

1. Biçimlendirilmiş menteşeler, diyaframlar, körükler ve ısıl genleşmede olduğu gibi, istenen hareketi parçaları esneterek elde etmek mümkün olabilmektedir.
2. Bazı durumlarda, aynı malzemeler farklı fonksiyonel özelliklere sahip olabilir (sıcak/soğuk, pozitif/negatif, kuzey/güney vb.). Bu durumlarda, parçaları farklı malzemeler olarak kabul ederek ve analize devam edilmelidir.
3. Yalıtım, aşınma direnci, sızdırmazlık ve titreşim sönümlemesi gibi fonksiyonel nedenler farklı malzeme kullanımı gereksinimi oluşturabilmektedir.
4. Parça ve onun birleşme parçası aynı malzemeden yapılabilir veya istenen özelliği vermek için parçanın yerel olarak işlenmesi mümkün olabilmektedir.
5. Sigortalar, fırça dişlisi, ampuller ve filtreler bu tür parçaların örnekleridir.
6. Bir parçayı plastik olarak deforme ederek ayarlamalar yapılabilir mi?

Şekil 6.3: DFA Fonksiyon analizinde kullanılan Fonksiyonel Kriterler Çizelgesi (Swift ve Booker'ın (2013) çalışması açıklamalar eklenerek genişletilmiştir).

Fonksiyonel Kriterler Çizelgesi'nde sorular üç sütun halinde düzenlenmiştir. "Mevcut tasarım" sütunundaki sorular yanıtlanırken, tasarımın yalnızca olması

gerektiği gibi olup olmadığı dikkate alınmalıdır. “Şartnamenin dikkate alınması” sütunundaki sorular için tasarımın nasıl olduğu ve parçanın mevcut şekliyle sistemde bulunmak zorunda olup olmadığı değerlendirilmelidir. Son sütun, “diğer seçenekler”, tasarımın nasıl olabileceğine dair fikir vermektedir. Kararsız kalınan sorularda hayır cevabı üzerinden devam edilmelidir.

Fonksiyon analizinde, mevcut çözümlerin zihinsel kısıtlamalarını ortadan kaldırarak yenilikçi düşünce ve tasarımları teşvik etmek amacıyla, teknik veya ekonomik sınırlamalar büyük ölçüde göz ardı edilmektedir. Cephenin tamamında aynı fonksiyonu yerine getirmiyor olabilecek ya da ihtiyaç duyulan fonksiyonu çok daha az parçanın kullanımıyla sağlayabilecek olan, vida, conta, yay gibi, sistemde birden fazla bulunan parçaların değerlendirilmesinde dikkatli olunmalıdır. Sadece diğer parçaları birleştirme ya da bağlama fonksiyonu olan parçalar ise, ürün sadeleştirmesinde sistemden çıkarılacak, en önemli B tipi parça adaylarıdır. Fonksiyon analizi ile ürünün fonksiyonu için gerekli olan parçalar (A tipi) belirlenmekte; eleme veya fonksiyonel parçalarla birleşme için aday olan parçalar (B tipi) vurgulanmaktadır.

Karmaşıklığı azaltma girişimleri genellikle yapı ürünlerine ve bunların tasarım, üretim veya montajını basitleştirmenin yollarına odaklanır; ancak bir cephenin gerçekleştirdiği fonksiyonlar da eleştirel olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Fonksiyonları basitleştirmek, çeşitliliğini azaltmak, hatta kullanıcı için sınırlı bir değeri olanları tamamen ortadan kaldırmak mümkün olabilir. Bu nedenle referans cephe ve ihtiyaç duyulan cephenin tasarım hedefleri karşılaştırılarak, yeniden tasarımda ihtiyaç duyulmayan fonksiyonları sağlayan parçalar sistemden çıkartılmak üzere tespit edilir.

Erişilebilirlik analizleri parça ve üretim/yapım süreci girdilerinin değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Öncelikle cepheyi oluşturan parçaların erişilebilirliği Çizelge 6.2’de verilen erişilebilirlik kriterlerinin değerlendirilmesiyle belirlenir. Daha sonra, yeniden tasarım kısıtlamalarının belirlenmesi için bütçe, iş gücü ve ekipman gibi, üretim ve yapım süreci girdilerinin erişilebilirliği değerlendirilir. Üretim ve yapım sürecinin önemli bir girdisi olan ekipmanların erişilebilirliğinin değerlendirilmesi için geliştirilen kriterler Çizelge 6.3’te verilmektedir. Erişilebilirlik değerlendirmesinde 5 puanlı ölçek sistemi

kullanılmakta; 1 yetersiz, 2 zayıf, 3 yeterli, 4 iyi ve 5 mükemmel erişilebilirliği tanımlamaktadır. Erişilebilirlik kriterleri proje bazlı sınır değerler belirlenerek, uzman görüşü ile değerlendirilmektedir.

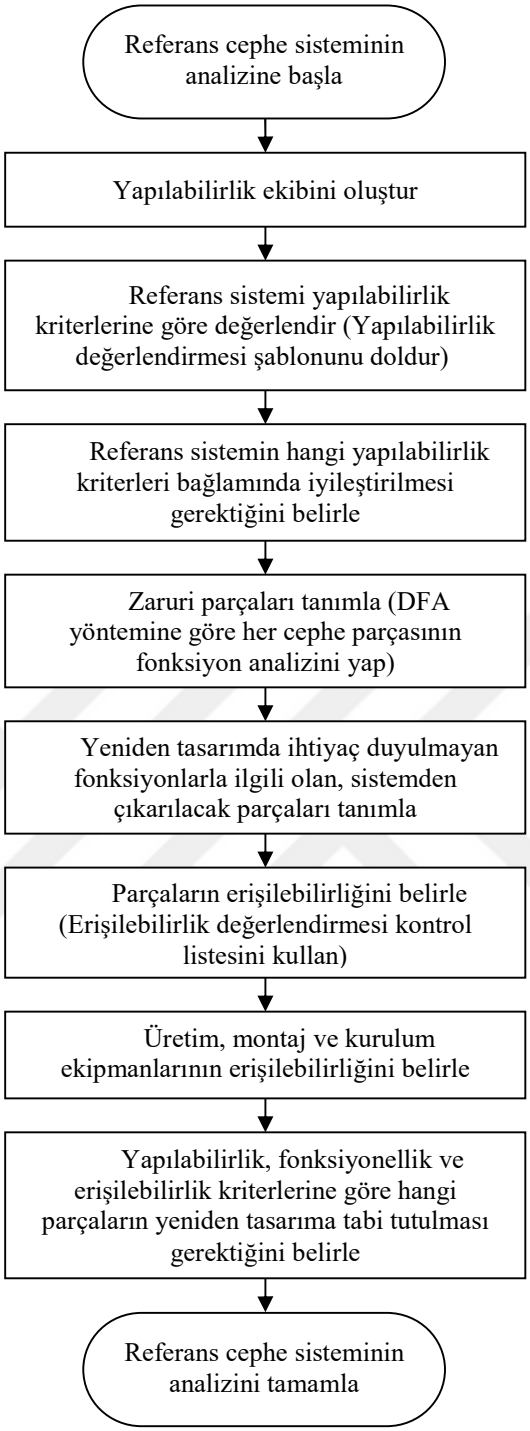
Çizelge 6.2: Cepheyi oluşturan parçaların erişilebilirlik değerlendirme kriterleri ve tanımları.

Kriterler	Tanımlama
Parçayı temin için gereken toplam süre	Parçanın siparişinin verilmesinden inşaat/üretim alanına ulaşmasına kadar geçen süredir. Parçanın temin süresi uzadıkça erişilebilirliği azalmaktadır.
Tedarikçi sayısı	Proje kapsamında ulaşılabilen pazar ortamında parçanın temin edilebileceği tedarikçilerin sayısıdır. Tedarikçi sayısı azaldıkça erişilebilirlik azalmaktadır.
Stok miktarı	Mevcut parça miktarının sınırıdır. Stok miktarı azaldıkça erişilebilirlik azalır.
Gelecekte de erişilebilir olma	Parçaya olan talebe bağlı olarak gelecekte de üretilebilirliği değerlendirilir. Parçanın tedarikçi sayısı ve stok miktarıyla ilişkilendirilebilir.
Şekillendirilme ihtiyacı	Parçanın ihtiyaç duyulan geometrik konfigürasyonda temin edilebilirliği değerlendirilir. Projeye özel şekillendirilme ihtiyacı olan parçaların erişilebilirliği azalır.
Özel imalat ihtiyacı	Parçanın hazır ürünler arasından temin edilemeyip projeye özel olarak imal edilmesi durumudur. Özel imalat ihtiyacı parçanın erişilebilirliğini azaltır.
Özel imalatın parça erişilebilirliğine getirdiği kısıtlama	Özel imalatın karmaşıklığının (içerik ve süreç) artmasına bağlı olarak erişilebilirliği azalır.
Maliyet	Parçaların toplam maliyeti, proje bütçesine göre değerlendirilir. Parça maliyetinin proje bütçesine oranı arttıkça erişilebilirlik azalır.

Çizelge 6.3: Cephe üretim ve yapım süreçlerinde kullanılan ekipmanların erişilebilirlik değerlendirme kriterleri ve tanımları.

Kriterler	Tanımlama
Ekipmanı temin için gereken toplam süre	Ekipmanın siparişinin verilmesinden inşaat/üretim alanına ulaşmasına kadar geçen süredir. Temin süresi uzadıkça erişilebilirliği azalmaktadır.
Tedarikçi sayısı	Proje kapsamında ulaşılabilen pazar ortamında ekipmanın temin edilebileceği tedarikçilerin sayısıdır. Tedarikçi sayısı azaldıkça erişilebilirlik azalmaktadır.
Özel imalat ihtiyacı	Ekipmanın projeye özel olarak imal edilmesi durumudur. Özel imalat ihtiyacı ekipmanın erişilebilirliğini azaltır.
Maliyet	Ekipmanın satın alma ya da kiralama maliyeti, proje bütçesine göre değerlendirilir. Ekipman maliyetinin proje bütçesine oranı arttıkça erişilebilirlik azalır.

Yapılabilirlik, fonksiyonellik ve erişilebilirlik değerlendirmeleri bağlamında referans cephe üzerinde bir çözümleme yapan bu aşamanın uygulama adımları Şekil 6.4'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4: Aşama III: Referans cephe sisteminin analizi, süreç akış şeması.

6.4 Aşama IV: Referans Cephe Sisteminin Yeniden Tasarımı

Bir sistemin yeniden tasarlanması, yeni fonksiyon strüktürü, alt sistemler ve yapısal formülizasyon geliştirilmesini, tasarım parametreleri optimizasyonunu ve birleşim tasarımını içeren özel bir tasarım aktivitesidir. Referans sistemde yapılan değişikliklere göre parametrik, uyarlanabilir veya özgün yeniden tasarım çözümleri

elde edilebilir. Bu çalışmada benimsenen yeniden tasarım yaklaşımı, tasarım hedeflerine bağlı olarak, form optimizasyonunu, parçaların sistemden çıkarılmasını, değiştirilmesi veya sisteme eklenmesini ve birleşim tasarımı yoluyla sistemin yeniden yapılandırılmasını içermektedir.

Yeniden tasarım aşaması dört modülden oluşmaktadır: sadeleştirme, problem çözme/fikir üretme, parça seçimi ve parça birleşimi (Şekil 6.5). Sadeleştirme modülünde form optimizasyonu ve sistemden parça çıkarma işlemleri yapılmaktadır. Problem çözme/fikir üretme modülünde yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemlerin entegrasyonuyla tasarım problemlerine yaratıcı çözümler ve yeni fikirler aranmaktadır. Parça seçimi modülünde kriterlere bağlı değerlendirme yöntemiyle ihtiyaç duyulan yeni parçalar seçilmektedir. Parça birleşimi modülünde ise DFM birleşim analizi aracı entegrasyonuyla sistemi oluşturan tüm parçaların birleşimi sağlanmaktadır. Bu aşamanın adımları hem şartlı hem de tekrarlı olarak ilerlemektedir. Aşağıda bu modüllerde gerçekleştirilen faaliyetler açıklanmaktadır.

Yeniden tasarım aşaması sadeleştirme modülü ile başlar. Şekilleri, malzemeleri ve yerleşim düzenleri ile fonksiyonları gerçekleştiren parçalar veya ihtiyaç duyulan parça özelliklerinin geçici olarak belirlendiği yeni fonksiyon strüktürü geliştirme çalışmaları yapılır. Karmaşıklık düzeyi yüksek sistemlerde gerekirse, sistem ayrı ayrı geliştirilebilecek montaj birimlerine veya alanlara bölünerek ele alınabilir. Yeni fonksiyon strüktürü önerilerinin geliştirilmesi için referans cephe sistemi ile ihtiyaç duyulan cephe sistemi arasındaki fonksiyonel farklılıklar bilinmelidir. Bu aşamada referans cephe sisteminin analizi aşamasında gerçekleştirilen fonksiyon karşılaştırmasından elde edilen veriler kullanılmalıdır. Referans cephenin yeniden tasarım bağlamında ihtiyaç duyulmayan fonksiyonları tanımlanırsa, bunlarla ilgili parçalar sistemden çıkartılır. Aynı şekilde referans cephenin yeniden tasarım hedefleri bağlamında sağlayamadığı fonksiyonlar tespit edilirse, bu fonksiyonları karşılamak için ihtiyaç duyulan parçalar ve bunların şekil, boyut, malzeme ve yerleşim düzeni gibi özelliklerinin belirlenmesi için problem çözme/fikir üretme modülüne geçilerek sistem yeniden tasarlanır.

Sadeleştirme modülünde gerçekleştirilen bir sonraki faaliyet, sistemin özel üretim parça kullanımı ihtiyacını azaltmak için, form optimizasyonu işleminin uygulanabilirliğinin denetlenmesidir. Bu optimizasyon formun sadeleştirilmesini

içerir. Sistemin genel form kurgusu ile birlikte parçalar incelenir; sistem ve parça formlarının karmaşıklık düzeyi, bunun neden olduğu özel biçimlendirme ihtiyacı ve üretime getirdiği zorluk derecesi tespit edilir. Form özelliklerinin özel üretim parça ihtiyacı ve üretim zorluğu üzerinde belirgin bir etkisi varsa form sadeleştirmesi yapılması gerekmektedir. Bu değerlendirme tasarımcının öncülüğünde, gerek görülürse ihtiyaç duyulan uzmanların görüşleri alınarak yapılmaktadır.

Sadeleştirme sistem ya da parça bazında gerçekleşebilir. Öncelikle formun biçimlenişinde hangi faktörlerin etkili olduğu belirlenir. Sonra bu faktörler bağlamında temel form özelliklerine sahip farklı çözümlerin geliştirilmesi; ihtiyaç duyulan parçalar ve bunların şekil, boyut, malzeme ve yerleşim düzeni gibi özelliklerinin belirlenmesi için problem çözme/fikir üretme modülüne geçilerek sistem yeniden tasarlanır.

Sistem sadeleştirmesiyle ilgili yapılan son çalışma referans cephe sisteminin analizi aşamasında gerçekleştirilmiş olan DFA fonksiyon analizi ve erişilebilirlik analizi bağlamında tespit edilen zaruri olmayan ve/veya erişilebilir bulunmayan parçaların sistemden çıkartılmasıdır. Bu parçalar sistemde birden fazla fonksiyon yerine getiriyor olabileceğinden ve bu parçalar olmadan sistem bütünlüğü ya da fonksiyonları sağlanamıyor olabileceğinden, parçaların sistemden çıkartılmasının etkileri değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme sistem fonksiyonelliği üzerinden yapılmaktadır. Bir parça sistemden çıkartıldığında sistemin hâlâ istenilen fonksiyonel özelliklere sahip ve işleyen bir bütün oluşturabilme yeterliliği değerlendirilir. Bu bağlamda belirlenen parçaların sistemden tek tek çıkartılması önerilmektedir. Sonuç kabul edilebilir bulunursa sistemde kalan parçaların birleşiminin sağlanması amacıyla parça birleşimi modülüne; kabul edilebilir bulunmazsa ihtiyaç duyulan fonksiyonların mevcut ya da yeni parçalarla sağlanması için problem çözme/fikir üretme modülüne geçilir.

Problem çözme/fikir üretme modülünde şu tasarım problemleri bağlamında sistem revize edilmektedir:

- Tüm tasarım hedeflerinin karşılanması amacıyla mevcut sistem parçalarıyla ihtiyaç duyulan fonksiyonların sağlanması,
- Form optimizasyonu (sadeleştirmesi).

- Zaruri olmayan ve erişilemeyen parçaların sistemden çıkartılmasından sonra ihtiyaç duyulan fonksiyonların mevcut parçalarla ya da yeni parçalar içeren basit çözümlerle sağlanması.
- İhtiyaç duyulan özelliklere sahip standart ürünlere erişilemediği durumlarda ihtiyaç duyulan fonksiyonların farklı çözümlerle sağlanması.

Problem çözme/fikir üretme modülünde gerçekleştirilen sistem revizyonları, sistemin fonksiyon strüktürü ve yapısal formülizasyonunda yapılan değişiklikleri kapsamaktadır. Bilinen çözümler veya mevcut parçalar (tekrarlanan parçalar, standart parçalar vb.) basitleştirilmiş biçimde gösterilir; ihtiyaç duyulan parçalara ait, şekil, boyut, malzeme ve yerleşim düzeni gibi, temel özellikler tanımlanır. Eğer tasarım problemleri mevcut parçalarla çözülebiliyorsa parça birleşimi modülüne; eğer ek parçalara ya da mevcut parçaların değiştirilmesine ihtiyaç duyuluyorsa parça seçimi modülüne geçilir.

Tasarım problemlerine bir çözüm bulmak, tatmin edici bir çözüme ulaşılana kadar sürekli bir araştırma, inceleme ve yeni çözüm alternatiflerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Çözüm alternatifleri ile ilgili fikir üretme ve belirli bir fikre odaklanma konusunda yaşanan sorunlarda yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemlerden yararlanılması önerilmektedir. Öncelikle hangi konuda desteğe ihtiyaç duyulduğu belirlenmeli; sonra bu kullanım amacıyla eşleşen yöntem seçilmelidir. Yaratıcılığı destekleyen yöntemlerin listesi ve kullanım amaçları Çizelge 2.8'de verilmiştir. Bu yöntemler genel olarak aşağıda verilen konularda fayda sağlamaktadır:

- Yaratıcılığın önündeki engellerin üstesinden gelmek.
- Alternatif tasarım çözümleri üretmede yararlı bulunan, geçmişte kullanılan stratejileri doğrudan uygulamak.
- Tasarım uzayında yapılan araştırmayı daha verimli hale getirmek.
- Çalışmayı en iyi çözümün bulunduğu tasarım uzayı alanına daraltmak.
- Tasarımcının tasarım uzayında bir tasarımdan en yakın diğer tasarıma geçmesine olanak veren işlemleri sağlamak.

Parça seçimi modülüne gelindiğinde öncelikle, özel üretim parçalar gibi, mevcut sistemdeki erişilebilirliği düşük olan parçalar yerine ya da sistem revizyonları

sırasında yeni tanımlanmış, temel özellikleri belirlenmiş parçalar için, gerekli fonksiyonları ve özellikleri sağlayacak standart ürünler araştırılmaktadır. Bu araştırmada kullanılabilecek dijital veya basılı kaynaklar şunlardır: arama motorları, üretici firma ürün katalogları, tedarikçi firma ürün veritabanları (Alibaba, Koçtaş vb.), ürün ve/veya ürün kataloglarını derleyen yayınlar (Yapı kataloğu, Raf Ürün Dergisi, Archi Expo vb.), araştırma ve test raporları. Standart ürünler içinde yapılan parça araştırmasında uygun bir aday tespit edilemezse ihtiyaç duyulan fonksiyonların farklı çözümlerle sağlanmasının yollarını araştırmak için problem çözme/fikir üretme modülüne geri dönülür. Bu araştırma sonucunda fonksiyonel olarak uygun görülen alternatifler ise parça adayları olarak belirlenir. Adaylar hem nitelikleri hem de diğer parçalarla uyumları açısından Çizelge 6.4'te verilen parça seçim kriterlerine göre ağırlıklı karar matrisi yöntemiyle değerlendirilir.

Çizelge 6.4: Parça seçim kriterleri.

Parça Seçim Kriterleri		
Malzeme Özellikleri	Mekanik	Mukavemet, elastisite, sertlik (*hardness*), Poisson oranı, sönümleme, çekme dayanımı, basınç dayanımı, darbe dayanımı, tokluk (*toughness*), yorulma, sünme, aşınma, rijitlik (*stiffness*), kesme
	Fiziksel	Ağırlık, yoğunluk, elektrik, manyetik, optik, iletim, genleşme, yanıcılık, erime noktası, özgül ısı, yayma kuvveti (*emissivity*), emicilik, renk
	Kimyasal	Korozyon direnci, bozunma, bileştirme (*composition*), bağ, strüktür, oksidasyon, stabilite, kırılganlık
	Boyutsal	Boyut, şekil, profil, yüzey bitişi, boyutsal stabilite, toleranslar, modülerite
Üretim Süreçleri		Dökülebilirlik (*castability*), kaplanabilirlik, ısıl işleme kapasitesi, sertleşebilirlik, şekillenebilirlik, işlenebilirlik, birleştirilebilirlik, kaynaklanabilirlik, montaj kolaylığı
Erişilebilirlik		Parçayı temin için gereken toplam süre, tedarikçi sayısı, stok miktarı, gelecekte de erişilebilir olma, şekillendirilme ihtiyacı, özel üretim ihtiyacı, özel üretimin parça erişilebilirliğine getirdiği kısıtlama
Maliyet		Hammadde, gerekli miktar, öngörülen hizmet ömrü, ek imalat gerektirme
Yasal		Standartlara uygunluk, çevresel etki, sağlık, geri dönüştürülebilirlik, kullanılabilirlik (*disposability*), ürün sorumluluğu, güvenlik
Estetik		Görsel etki

Yapı ürünlerinin seçimi, bileşik kısıtlamalara bağlı, çok kriterli bir karar problemidir. Parça seçimini düzenleyen kriterler oldukça karmaşıktır ve temsil ettikleri tasarım hedefleri zaman zaman birbiriyle çatışmaktadır. Tüm ilgili seçim kriterlerinin

belirlenmesi için geniş bir mühendislik bilgisine ihtiyaç vardır. Bu nedenle parça adaylarının tüm kriterlere göre ayrı ayrı incelenmesinin gerçekçi olmaktan çıktığı belirlenmiş; daha sürdürülebilir ve öğrenilebilir bir yöntem oluşturmak için özetlenmiş bir değerlendirme yaklaşımı kullanılmıştır. Parça seçimi için hazırlanan şablon Çizelge 6.5'te verilmiştir. Seçim yönteminin uygulama adımları aşağıda açıklanmaktadır:

- Parça seçiminde kullanılacak kriterler proje bağlamında Çizelge 6.4'te verilen kriterler içinden tasarımcı tarafından belirlenir. Bazı kriterler değerlendirmede kullanılmayabilir.
- Her bir kritere tasarımcı tarafından proje bağlamındaki önem derecesine göre 2 (önemli) ya da 1 (ilgili) ölçeğinde ağırlık verilir.
- Kriterlerin sınır değerleri proje bağlamında standartlar, sözleşmeler, teknik raporlar, deneyler, ölçümler, uzman görüşleri, tasarımcı tercihleri vb. ile belirlenir. Her bir kriterin sınır değeri olmak zorunda değildir.
- Her bir parça adayına, her bir seçim kriteri için proje bağlamında kriteri sağlama derecesine göre 2 (istenen), 1 (kabul edilebilir) ve 0 (kabul edilemez) ölçeğinde değer verilir. Bu değerler tasarımcı liderliğinde ihtiyaç duyulan alanlarda uzman görüşü alınarak belirlenir.
- Seçim kriterleri içinden, 2 (önemli) ağırlık değerine sahip kriterlerden en az birinden 0 (kabul edilemez) değeri alan parçalar değerlendirmeden elenir.
- Her bir kriter için kriter ağırlığı ve değeri çarpılarak kriter puanı elde dilir.
- Her bir parça adayı için kriter puanları toplamı hesaplanır.
- Toplam kriter puanı en fazla olan parça adayı seçilir.

Çizelge 6.5: Parça seçim değerlendirmesi şablonu.

PARÇA SEÇİM KRİTERLERİ	Sınır Değer	Ağırlık	Aday 1		Aday N	
			Değer	Puan	Değer	Puan
1 2 3 N						
TOPLAM PUAN						

Yeniden tasarımda kullanılacak parçalar seçildikten sonra parça birleşimi modülüne geçilir. Parça birleşimi modülünde tüm sistemin beraber çalışacak şekilde birleştirilmesi için birleşimler tanımlanır ve etkinlikleri değerlendirilir. Yapı

ürünlerinin birleşim tasarımında tanımlanması gereken dört bileşen bulunmaktadır: arayüz, ek, tolerans ve birleşim. Bu bileşenler aşağıda açıklanmıştır.

Arayüz: Bağlantılı fonksiyonel birimler aracılığıyla belirli fonksiyonları gerçekleştirmek amacıyla bir üründeki farklı fonksiyonel birimleri bağlamak veya birleştirmek için kullanılan ortak bir bağlantı noktası olarak tanımlanabilir. Yapı ürünlerinin ek veya birleşimi de arayüzleri yoluyla tanımlanmaktadır.

Ek: Yapı ürünleri arasındaki boşluğu tanımlamak için kullanılan terimdir. Yapı ürünlerinin yapısal olarak birleştirildiği durumlar ise birleşim olarak tanımlanmaktadır. Ek tipleri ürünlerin konumuna, formuna ve malzemesine göre sınıflandırılmaktadır. Ek tipi seçimi, yapının istenen alan ayrımına, malzemeye, eklerin dayanıklılığı ve görünümüne bağlı olarak yapılmaktadır. Eklerin performansı ürünlerin bitişmesi, sabitlenmesi ve ürünler arasında sızdırmazlığın sağlanması üzerinden değerlendirilir.

Tolerans: Bir yapı ürününün nominal ve gerçek boyutları arasındaki olası farklılıkları tanımlar. Tasarımcıların belirlemesi gereken birbiriyle ilişkili üç çeşit tolerans bulunmaktadır: imalat toleransları, konumsal toleranslar ve birleşim yeri tolerasları. Genel bir kural olarak kabul edilen, tolerans ne kadar küçük olursa (veya parçalar birbirine ne kadar yakınsa) üretim maliyetleri, montaj süresi ve montaj maliyetlerinin de o kadar fazla olacağıdır. Toleranslar göz önüne alındığında, tasarımcılar, yapı ürünleri için ilgili standartlara atıfta bulunmalı ve toleranslarla ilgili önerilerde bulunan üreticilerden tavsiye almalıdır.

Birleşim: Geometrik olarak tanımlanmış iki veya daha fazla ürünü veya şekilsiz bir maddeyle aynı tür bir ürünü kalıcı olarak birbirine bağlamak veya bir araya getirmektir. İki veya daha fazla yapı ürünü arasındaki fiziksel ek ve arayüzler birleşimleri tanımlar. Bir birleşimde özel bir dizi fonksiyon ve özelliğe sahip bir yapı ürününden bir diğerine ve diğer ürünün fonksiyon ve özelliklerine geçiş yapılmaktadır. Yapısal birleşimlerde, farklı fonksiyon ve özelliklere sahip yapı ürünleri birbirine birleştirilir, eklenir veya gerçekten birbirinden ayrılır. Birleşimlerin tasarlanması belirli bir fonksiyonu olan yapı ürününü gerektiğinde "bağlama" gerektiğinde ise "ayırma" meselesidir. Birleşimler üç fonksiyon bağlamında tanımlamaktadır: ürünler arasındaki hareketleri kısıtlayan fiziksel etki, ürünlerin ve

katkı maddelerinin malzemesi ve birleşimin geometrisi. DIN 8593 standardı temel üretim süreçleri, birleşim sınıflandırmasını verilmiştir. Buna göre 8 tip birleşim bulunmaktadır: bir araya getirme, doldurma, üstüne/içine presleme, biçimlendirme, kaynaklama, lehimleme, yapıştırma ve tekstil birleştirme. Bu birleşim tiplerinin açıklaması Bölüm 6.2'de verilmiştir.

Birleşim tasarımında genel olarak aşağıda sıralanan 6 görev gerçekleştirilmektedir:

- Birleşim gereksinimlerinin belirlenmesi
- Gerek duyulan serbestlik ve esneklik derecesinin belirlenmesi
- Hareketi kısıtlayan fiziksel etkilerin araştırılması
- Uygun birleşim tipinin seçimi
- Birleşimlerin düzenlenmesi
- Birleşimlerin boyutlandırılması

Birleşim tasarımının tamamlanması için parçaların birleşimi tanımlandıktan sonra proje bağlamında etkinliğinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme eğer tek bir tasarım geliştirilmişse bunun etkinliğini ve uygulanabilirliğini ölçmek için; birden çok tasarım alternatifi geliştirilmişse alternatifler arasından seçim yapmak için kullanılır. Birleşim değerlendirmesi tasarımcı tarafından, değerlendirilecek kriterler bağlamında ihtiyaç duyulan uzman görüşleri alınarak yapılır. Tanımlanan birleşimler Çizelge 6.6'da verilen DFM birleşim analizi aracı kriterlerine göre, ağırlıklı karar matrisi yöntemiyle değerlendirilir. Birleşim değerlendirmesi için hazırlanan şablon Çizelge 6.7'de verilmiştir. Seçim yönteminin uygulama adımları aşağıda açıklanmaktadır:

- Birleşim değerlendirmesinde kullanılacak kriterler proje bağlamında Çizelge 6.6'da verilen kriterler içinden tasarımcı tarafından belirlenir. Bazı kriterler değerlendirmede kullanılmayabilir.
- Her bir kritere tasarımcı tarafından proje bağlamındaki önem derecesine göre 2 (önemli) ya da 1 (ilgili) ölçeğinde ağırlık verilir.
- Kriterlerin sınır değerleri proje bağlamında standartlar, sözleşmeler, teknik raporlar, deneyler, ölçümler, uzman görüşleri, tasarımcı tercihleri vb. ile belirlenir. Her bir kriterin sınır değeri olmak zorunda değildir.
- Her bir birleşim alternatifine, her bir değerlendirme kriteri için proje bağlamında kriteri sağlama derecesine göre 2 (istenen), 1 (kabul edilebilir) ve

0 (kabul edilemez) ölçeğinde değer verilir. Bu değerler tasarımcı liderliğinde ihtiyaç duyulan alanlarda uzman görüşü alınarak belirlenir.

- Değerlendirme kriterleri içinden, 2 (önemli) ağırlık değerine sahip kriterlerden en az birinden 0 (kabul edilemez) değeri alan alternatif değerlendirmeden elenir.
- Her bir kriter için kriter ağırlığı ve değeri çarpılarak kriter puanı elde dilir.
- Her bir birleşim alternatifi için kriter puanları toplamı hesaplanır.
- Toplam kriter puanı en fazla olan birleşim alternatifi seçilir.

Geliştirilen birleşim alternatifleri içinden hiçbiri kabul edilebilir bulunmazsa birleşimlerin yeniden tasarlanması aşamasına geri dönülür. Birleşim alternetiflerinden biri kabul edilebilir bulunursa yeniden tasarım tamamlanır.

Çizelge 6.6: DFM birleşim analizi kriterleri.

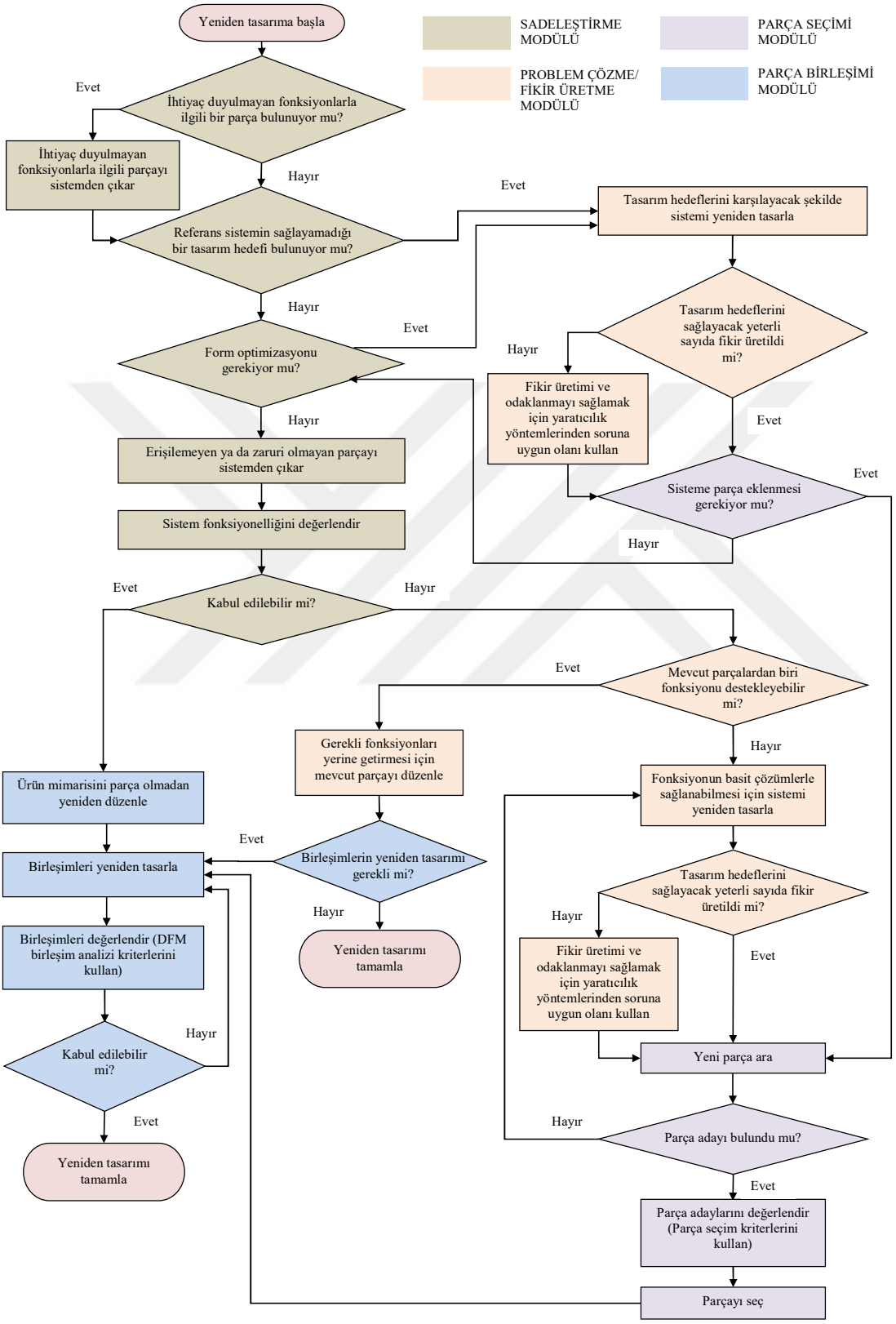
No.	Birleşim Analizi Kriterleri	No.	Birleşim Analizi Kriterleri
1	Tasarım çeşitliliği	14	Akışkan geçirmezlik, sızdırmazlık
2	Şekil	15	Gaz sızdırmazlık
3	Hafifletme, inceltme	16	Yüksek frekans sızdırmazlık
4	Merkeziyet	17	Bakım kolaylığı
5	Korozyon direnci	18	Üretilebilirlik
6	Makineleşme derecesi	19	Malzeme verimliliği
7	Yük çeşitliliği	20	İşletimsel güvenlik
8	Statik yük taşıma kapasitesi	21	Kalite test edilebilirliği
9	Dinamik yük taşıma kapasitesi	22	Geri dönüştürülebilirlik
10	Aşırı yükleme toleransı	23	Kaldırılabilirlik
11	Elektrik iletkenliği	24	Tamir edilebilirlik
12	Isıl iletkenlik	25	Tekrar kullanılabilirlik
13	Isı dayanımı		

Çizelge 6.7: Parça birleşim değerlendirmesi şablonu.

BİRLEŞİM DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	Sınır Değer	Ağırlık	Alternatif 1		Alternatif N	
			Değer	Puan	Değer	Puan
1						
2						
3						
N						
TOPLAM PUAN						

Bu aşamanın süreç adımlarını gösteren akış şeması Şekil 6.5'te verilmiştir. Yeniden tasarım aşaması çoklu uygulama döngülerinden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen deneme ve tekrar sayısı, parça eleme veya entegrasyon probleminin karmaşıklığına ve tasarımcının yaratıcılığına bağlı olarak değişmektedir. Tasarımcı sonuçtan

memnun kalana kadar bu aşamayı dilediği kadar tekrarlayabilir; birden çok yeniden tasarım alternatifi üretebilir.



Şekil 6.5: Aşama IV: Referans cephenin yeniden tasarlanması, süreç akış şeması.

Bu aşamanın etkili bir şekilde tamamlanmasında tasarımcıların malzeme ve üretim teknolojileri ile ilgili bilgilerinin yanı sıra, yapı ürünleriyle ilgili teknik bilgiye hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılabilmesinin büyük önemi bulunmaktadır. Bununla birlikte, tasarım ekibinin, üretim ve tedarik süreçleri ile ilgili pratik görüşler temin etmek amacıyla üretim ve lojistik gibi diğer alanlardaki uzmanlar ile yakın işbirliği içinde çalışması da çok önemlidir.

6.5 Aşama V: Yeniden Tasarlanan Cephe Sisteminin Değerlendirilmesi

Bu aşamada, yeniden tasarım faaliyetleri sonucunda elde edilen cephe ya da cepheler, tasarım hedefleri doğrultusunda değerlendirilmektedir. Yapılabilirlik değerlendirmesi ve performans değerlendirmesi olarak iki modülden oluşan aşamalı bir değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. Süreç akışında aşamanın adımları şartlı olarak ilerlemektedir.

Yeniden tasarım aşamasında birden çok tasarım alternatifi geliştirilmişse, titiz bir değerlendirme sürecine dâhil edilmeden önce, tüm alternatiflerin genel teknik ve ekonomik özellikleri bağlamında bir ön incelemeye girmesi, başarı potansiyellerine göre sıralanması ve gerek görülürse bazılarının bu aşamada elenmesi önerilmektedir. Yeniden tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi bu sıralamaya göre yapılacak; ilk alternatif değerlendirmede başarısız olursa, bir sonraki alternatif değerlendirmeye girecektir. Bu döngü bir tasarım alternatifi değerlendirmeden başarılı olana kadar devam eder. Böylece değerlendirme sürecinde harcanacak zaman ve maddi kaynaklar en aza indirilecektir.

Yeniden tasarlanan cephenin değerlendirmesi yapılabilirlik modülü ile başlar. Bu modülde yeniden tasarlanan cephenin yapılabilirlik değerlendirmesi ve referans cephe ile yapılabilirlik indeksi karşılaştırması yapılmaktadır. Amaç, referans cephenin yeniden tasarımla yapılabilirlik kriterleri bağlamında ne ölçüde değiştiğini ve geliştiğini açıklığa kavuşturmaktır. Yapılabilirlik değerlendirmesinde kullanılan yöntem Aşama III'te geliştirilen yöntemin aynısıdır; değerlendirme şablonu Çizelge K.1'de verilmiştir. Değerlendirmeyi gerçekleştirecek yapılabilirlik ekibi, referans cephenin değerlendirmesini yapan uzmanlardan oluşmaktadır. Fakat yeniden tasarım aşamasında yapılmış olan değişikliklerin kapsamına bağlı olarak gerekli görülen alanlar ile ilgili daha fazla ve/veya farklı alanlardan uzman görüşüne başvurulabilir.

Yapılabilirlik iyileştirmesinde kabul edilebilir sınır değer proje bazlı olarak yapılabilirlik ekibi tarafından belirlenecektir. Değerlendirme sonuçları tasarım hedeflerini karşılayamıyorsa ve kabul edilebilir bir yapılabilirlik iyileştirmesi sağlanamamışsa, Aşama IV: Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı, aşamasına geri dönülmesi ya da birden çok yeniden tasarım alternatifinin bulunduğu durumlarda bu alternatif askıya alınarak bir sonraki yeniden tasarım alternatifinin değerlendirmeye girmesi gerekmektedir. Eğer yapılabilirlik iyileştirmesi kabul edilebilir aralıkta ise performans değerlendirmesi modülüne geçilmektedir.

Referans cephenin standart ürünlerle yeniden tasarımıyla cephe sisteminin performansında belirli bir ölçüde kayıp yaşanabileceği bilinmektedir. Bu durum standart ürünlerle tasarımın bilinen kısıtlamalarından biridir. Referans cephenin yeniden tasarımında amaçlanan, tasarım hedefleri kapsamında, belirgin bir performans kaybının oluşmamasıdır. Yeniden tasarlanan cephenin performans değerlendirmesi ihtiyacı referans cephede yapılan değişikliklerin kapsamı bağlamından yapılabilirlik ekibi tarafından belirlenir. Eğer performans değerlendirmesine ihtiyaç duyulmuyorsa yeniden tasarlanan cephenin değerlendirilmesi tamamlanır.

Performans değerlendirmesine ihtiyaç duyulan durumlarda öncelikle bir test planı hazırlanır. Test planı, yapılacak test türlerinin, testlerin uygulanmasında kullanılacak yöntemlerin ya da standartların, performans değerlendirmesinde kullanılacak sınır değerlerin ya da referans değer aralıklarının, testlerin ne zaman, nerede yapılacağının ve testlerin maliyetlerinin açıklamasını verir. Test süreci test planına göre gerçekleştirilir.

Cephe sistemlerine uygulanabilecek performans testleri büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Bunlardan yaygın olarak uygulananlar aşağıda sıralanmaktadır:

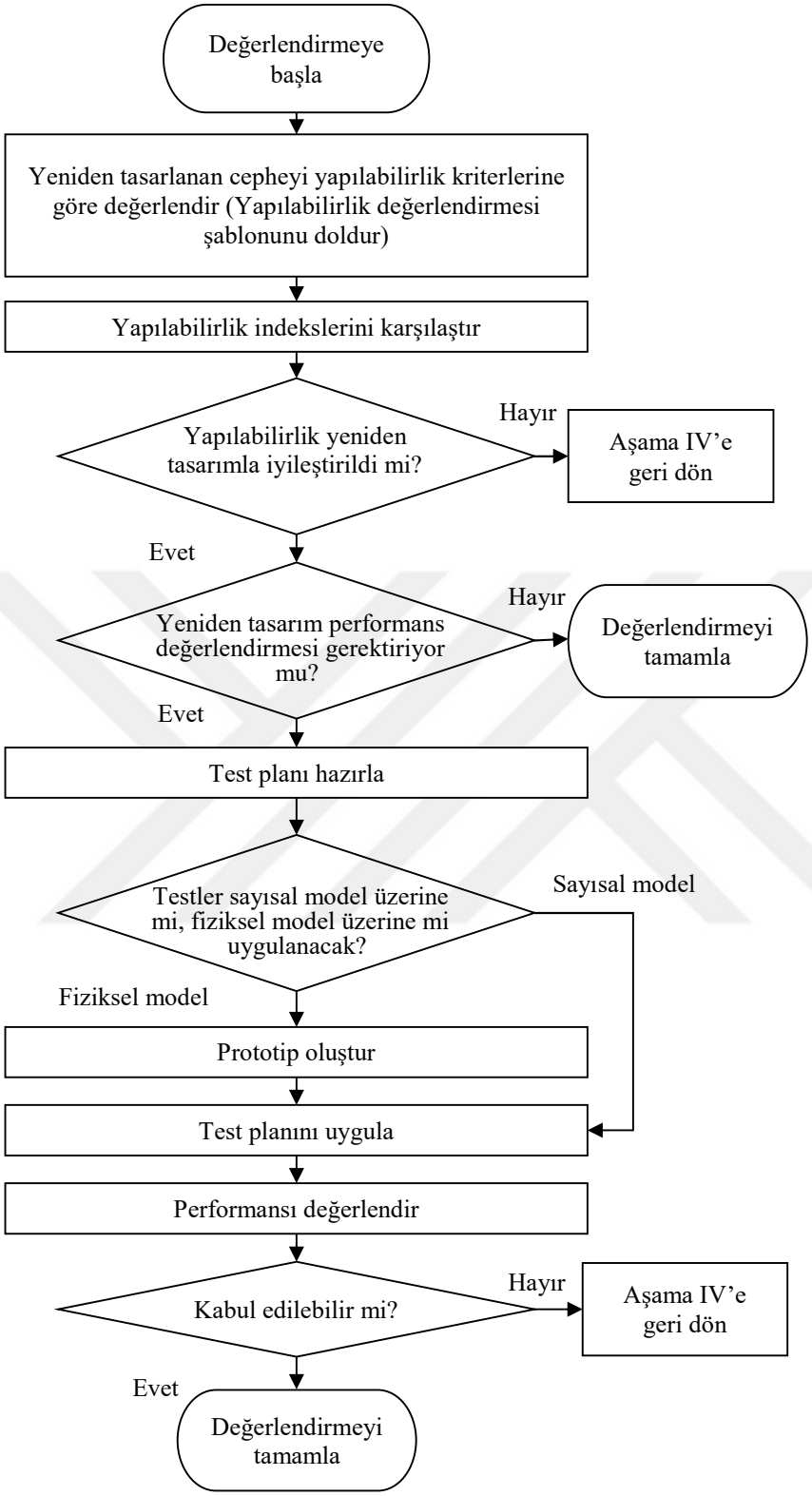
- Hava geçirgenlik
- Isıl performans
- Su geçirimsizlik (statik, dinamik, hortum)
- Rüzgâr dayanımı (dayanıklılık, güvenlik)
- Sismik hareket
- Dayanım

- Darbe dayanımı
- Akustik, hava yoluyla yayılan ses yalıtımının ölçülmesi
- Yangın
- Çevresel sınırlamalar testi
- Yerinde denetleme
- Yaşlandırma testi
- Sökülüp tekrar montajının yapılması
- Tekrarlanan açma kapama

Testler fiziksel modeller (prototipler) ve/veya sayısal modeller (simülasyonlar) üzerinden yapılabilir. Fiziksel model üzerinden yapılacak testlerde öncelikle prototiplerin oluşturulması gerekmektedir. Bu testlerinin yapılmasında uluslararası standartlara uyulmaktadır. EK I'da cephe sistemlerine uygulanabilecek testlerin yöntemlerini ve cephelerin sahip olması gereken performans özelliklerini tanımlayan standartlardan bazıları yer almaktadır. Sayısal modeller üzerinden gerçekleştirilecek testlerde ise simülasyon araçlarından faydalanılmaktadır. Cephe performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek simülasyon araçlarından bazıları kullanım amaçları ile birlikte Çizelge İ.1'de verilmiştir.

Her bir test için değerlendirmede kullanılacak sınır değerler yasalar, standartlar (EK I), teknik şartnameler, üreticiler, uzmanlar vb. tarafından belirlenir. Test sonuçları proje bağlamında testleri yürüten ekip tarafından değerlendirilir. Test sonuçları kabul edilebilir bulunmazsa Aşama IV: Referans cephe sisteminin yeniden tasarımı'na geri dönülmesi ya da birden çok yeniden tasarım alternatifinin bulunduğu durumlarda bu alternatif askıya alınarak bir sonraki yeniden tasarım alternatifinin değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Test sonuçları kabul edilir bulunursa değerlendirme aşaması tamamlanır.

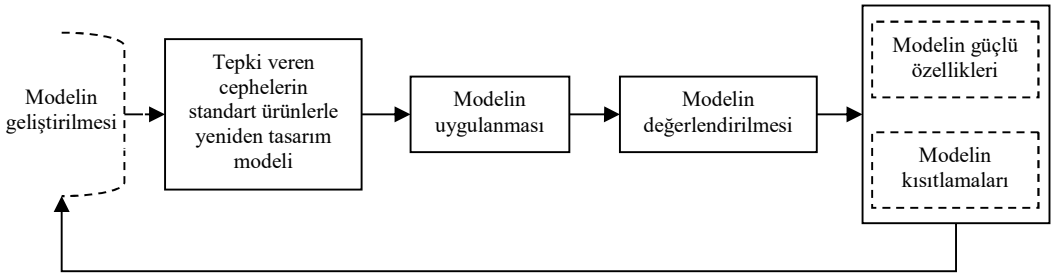
Değerlendirme aşaması başarıyla sonuçlanırsa, yeniden tasarlanan cephe sisteminin detaylı tasarımı tamamlanır. Üretim, montaj, nakliye, yapım ve kullanım ile ilgili belgeler eksiksiz olarak hazırlanır. Birden fazla yeniden tasarım alternatifinin değerlendirmeye girdiği durumlarda değerlendirme aşamasını başarıyla tamamlayan alternatifler, yapılabilirlik indeksleri ve performansları bağlamında değerlendirilir, en iyi sonucu veren alternatif seçilir. Bu aşamanın tüm süreç adımlarını gösteren akış şeması Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6: Aşama V: Yeniden tasarlanan cephenin değerlendirilmesi, süreç akış şeması

7. MODELİN UYGULAMASI

Model önerisinin örnek proje üzerinde uygulanmasının iki pratik yararı bulunmaktadır: modelin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi ve bu değerlendirme bağlamında modelin geliştirilmesi. Modelin uygulanması fonksiyonelliğinin ve performansının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için yinelemeli bir geliştirme işlemi sağlamaktadır. Bu geliştirme, aşama adımlarındaki değişiklikleri ve akış diyagramı strüktüründeki iyileştirmeleri kapsar. Bu çalışmada da model, Şekil 7.1'de gösterilen, uygulama, değerlendirme ve iyileştirme döngüsü içinde seçilen örnek proje üzerinde birden çok kez uygulanarak geliştirilmiştir. Bu bölümde modelin geliştirilmesi tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen son uygulama yer almaktadır. Amaç modelin uygulanabilirliğinin ve belirlenen tasarım problemlerine çözüm üretebilme yetisinin gösterilmesidir. Bu uygulamaya bağlı olarak model özelliklerinin değerlendirmesi yapılmaktadır. Modelin aşamalarına bağlı olarak süreç adımlarında gerçekleştirilen faaliyetler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.



Şekil 7.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarım modeli uygulama döngüsü.

7.1 Aşama I: Planlama

Bu aşamanın amacı geliştirilen mimari proje bağlamında ihtiyaç duyulan cephenin tasarım hedeflerinin ihtiyaçlar ve kısıtlamalar dâhilinde belirlenmesi, bu bağlamda projeye en uygun mevcut tepki veren cephenin yeniden tasarım için referans cephe olarak seçilmesidir. Bunun için öncelikle ihtiyaç duyulan cephenin kapsamlı olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu görevin sistematik ve eksiksiz bir şekilde yerine

getirilmesi için bu çalışmada geliştirilen tasarım hedefleri kontrol listesinin kullanılması önerilmektedir. Ancak bu örnekte yeniden tasarlanacak mevcut cephe herhangi bir projeye bağlı olarak seçilmediğinden, bu aşamada tasarım hedefleri kontrol listesine ihtiyaç duyulmamıştır. Bunun yerine referans cephe olarak kullanılacak mevcut tepki veren cephenin seçimi yeniden tasarıma olanak tanıyacak, tasarım ve üretim detaylarına ulaşılabilen bir sistemden yana yapılmışır. Bu bağlamda Unterschleißheim, Almanya'da yer alan BMW Meslek Okulu'nun (*BMW Training Academy*) tepki veren cephesi yeniden tasarım için referans cephe olarak seçilmiştir (Şekil 7.2). Proje Ackermann und Partner tarafından tasarlanmış ve 2004 yılında yapımı tamamlanmıştır (Schumacher ve diğ, 2010). Cephe sistemi, arkasında bulunan cam cephenin gün boyunca neredeyse tamamen gölgelenmesini sağlayan, 180° dönebilen ve yelkeni andıran dikey güneş kırıcı panelleri ile tepki veren cephe özelliği kazanmaktadır.


a) b)

Şekil 7.2: BMW Meslek Okulu tepki veren cephesi a) ön görünüş ve b) koridor görünüşü (Schulungsgebäude in Unterschleißheim, 2018).

Referans cephenin, fikri mülkiyet hakları göz önünde bulundurularak, İstanbul, Türkiye'deki bir proje için yeniden tasarlandığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte referans cephenin tüm tasarım parametrelerinin İstanbul'da yer alan bir projeyle uyumlu olamayacağı da bilinmektedir. Yine de süreci sadeleştirmek için yeniden tasarımın aynı tasarım hedefleriyle ve aynı çevresel koşullarda yapıldığı varsayılmıştır. Yeniden tasarımın odağı, İstanbul'un piyasa koşullarında cephenin yapılabilirliğini iyileştirmek için standart ürünler kullanarak sistemi sadeleştirmektir.

7.2 Aşama II: Referans Cephe Sisteminin Tanımlanması

Bu aşamada referans cephe, Şekil 6.2 'de verilen, 6 adımdan oluşan süreç akış şemasının uygulanmasıyla tanımlanmaktadır. Bu tanımlama, literatürden (Schumacher ve diğ, 2010; Schittich, 2005) elde edilen tasarım süreci bilgileri, detay çizimleri ve bunlara dayalı olarak yapılan çıkarımlar bağlamında gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak, referans cephenin tasarımında etkili olan ve tasarım özelliklerini oluşturan tasarım hedefleri, ihtiyaçlar ve kısıtlamalar bağlamında belirlenmektedir. Literatürden elde edilen verilerin sistematik bir şekilde ortaya koyulması ve kapsamlı bir tanımla sağlamak için bu adımda, Çizelge 6.1'de verilen tasarım hedefleri kontrol listesi kullanılmıştır. 22 kriterden oluşan kontrol listesinde, referans cephenin tasarım özellikleri ulaşılabilen verilere bağlı olarak 8 kriter üzerinden tanımlanmıştır. Bu kriterleri içerecek şekilde sadeleştirilmiş kontrol listesi Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1: Referans cephenin tasarım özelliklerini tanımlayan tasarım hedefleri.

Kriter	Açıklama	Hedef
Çevre	Cephenin operasyon, üretim, depolama ve nakliye sırasında maruz kaldığı çevresel etkiler (sıcaklık, nem, titreşim vb.) nelerdir?	Dış ortam koşulları (su, güneş ışığı, rüzgâr vb.)
	Tasarım sürecinde özellikle dikkate alınması gereken bir çevresel etki bulunmakta mıdır?	Rüzgâr, güneş ışınımı, araç titreşimi
Performans /Fonksiyon	Cephe hangi fonksiyonları yerine getirmelidir?	Güneş kazanımını önleme; panel yükünü destekleme; güneşin konumuna göre otomatik hareket; araçların geçişine izin verme (yeterli genişliği sağlama)
	Fonksiyonel özellikler hangi parametrelerle değerlendirilecektir? (Hız, güç, mukavemet, kapasite vb.)	Mukavemet, güneş kazanç faktörü, panel boyutları, hareket, zaman
Tepki Veren Cephe Özellikleri	Hangi tepki veren cephe özellikleri sağlanmalıdır? (Çizelge 4.3'te verilen tepki veren cephe sınıflandırmasını doldurunuz.)	Bakınız Çizelge 7.2
Boyut ve Ağırlık	Önerilen cephe panelinin boyutları nedir?	Yükseklik: 6,67m, genişlik: 2,50m, kalınlık: 0,25m
	Tasarımda boyut çeşitliliği var mı? Boyutsal çeşitliliğin dayattığı gereksinimler/özellikler nelerdir?	Hayır
	Önerilen cephe panelinin ağırlığı nedir?	1000kg
Güvenlik	Üretim, nakliye veya kullanım, maksimum boyutlara veya ağırlığa sınırlama getiriyor mu? Potansiyel kısıtlamaları açıklayınız.	Hareketli bir eleman olduğundan hafif olmalıdır. Boyutlar imalathaneden şantiyeye nakliye için karayolları mevzuatına uygun olmalıdır.
	Kullanıcıların veya kullanıcı olmayanların güvenliği için herhangi bir özel servis sağlanmalı mı?	Deathman kontrol, hareket sistemi için güvenlik kontrolü
Estetik, Görünüm ve Bitişler	Estetik tercihler nelerdir?	Panel formunun yelkene benzemesi
	Cephenin bir mimari stile veya konsepte uyması gerekiyor mu?	Yelken konsepti
Sosyal ve Politik Etkiler	Cephenin yansıtması gereken bir sosyal görüş var mı?	Sembolik değer: Yelken benzeri güneş kırıcı paneller meslek okulunun teknik hareketliliğini ve BMW Group'un dinamik hareketliliğini sembolize eder.
Miktar	Üretim miktarı ne kadardır?	43 adet güneş kırıcı panel

Tepki veren cephenin gerçekleştirdiği değişim olayını tanımlayan karakteristik özellikleri, Çizelge 4.3'te verilen tepki veren cephe sınıflandırma kriterleri kullanılarak ortaya koyulmuştur. Referans cephe özelliklerine göre sadeleştirilmiş tepki veren cephe sınıflandırma kriterleri listesi Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2: Değişim olayını tanımlayan referans cephe özelliklerinin tepki veren cephe sınıflandırma kriterlerine göre gösterimi.

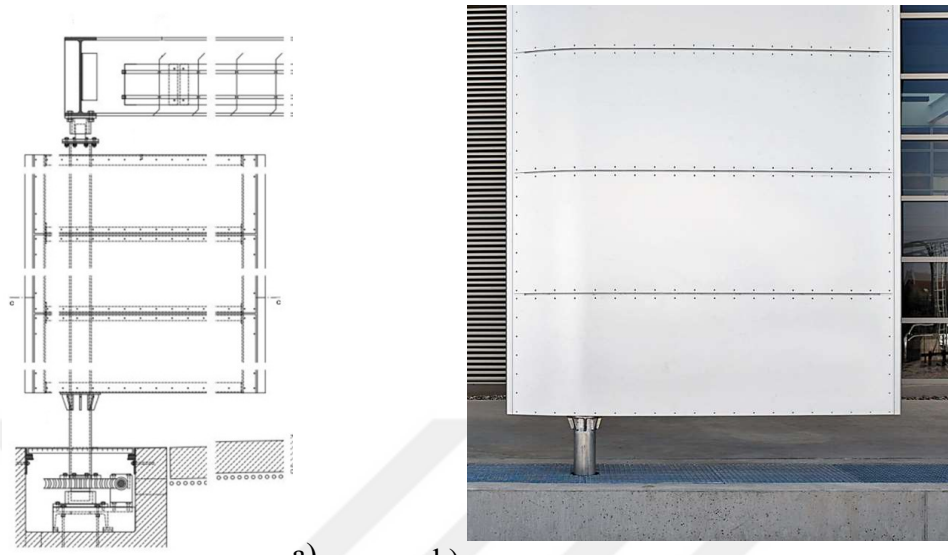
Sınıflandırma Kriterleri	BMW Meslek Okulu Tepki Veren Cephe Özellikleri
Tepki Veren Bileşenler	Güneş kırıcı (Yapı bileşeni)
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre değil; cephe düzleminin dış tarafında
Tepki Faktörü	Bireysel kullanıcılar; dış ortam, güneş ışınımı
Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Dinamik
Hareket Tipi	Rotasyon
Tepkinin Mekânsal Boyutu	Metre
Hareket Limiti	Kapsamlı (Düşey mil üzerinde 180º)
Dinamik Tepki İçin Strüktürel Sistem	Düşey mil etrafında dönen plaka strüktür
Aktüatör Tipi	Motor esaslı
Kontrol/Operasyon Tipi	Direkt ve indirekt kontrol
Sistem Tepki Süresi	Saniyeler ile dakikalar arası
Sistemin Adaptasyon Derecesi	Hibrit
Mimari Görünürlük Düzeyi (Rush Sınıflandırması)	Görünür, konum veya yön değişikliği
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme
Performans Değişiklik Derecesi	Orta*
Sistem Karmaşıklığı	Seviye 2*

* Bu değerlendirmeler varsayımsaldır; Seviye 2, 4 ölçeğinde görece basit sistemleri tanımlar.

Tepki veren cephe sistemini oluşturan güneş kırıcı paneller, iç mekânlardan bir koridorla ayrılarak cephe düzleminin dışında yer almaktadır. Paneller gruplar halinde, zeminde yer alan bir kanalda bulunan, bir bağlaştırıcı (*coupler*) tahrik mili tarafından bağlanarak bir elektrik motoru tarafından döndürülmektedir (Schumacher ve diğ, 2010). 180° dönebilen paneller, arkalarında bulunan cam cephenin gün boyunca neredeyse tamamen gölgelenmesini sağlar. Güneş kırıcı panellerin açısı otomatik olarak güneşin konumuna göre ayarlanır. Ancak, iç mekânlara araç girişini sağlamak gibi durumlarda, belirli bir düzende konumlandırılmak için manuel olarak da çalıştırılabilirler. Otomatik çalışma esnasında, paneller sürekli ve çok yavaş dönerler. Manuel kullanımda ise olası yaralanmaları veya hasarları önlemek için "*deathman*" kontrolü kullanılır.

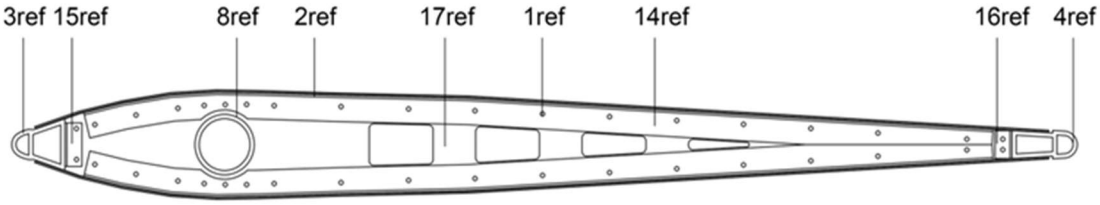
Güneş kırıcı panellerin plan düzleminde farklılaşan 3 adet detayı bulunmaktadır. Bunlar, panelin üst bitişi, alt bitişi ve gövde içi plan kesit detaylarıdır. Literatürde

gövde içi plan kesit detayı ve kısmi kesit içeren görünüş detayına ulaşılabilmiş (Şekil 7.3); diğer detaylar literatürden derlenen detaylar ve görseller temel alınarak oluşturulmuştur (Şekil 7.4).



a) b)

Şekil 7.3: a) Kısmı kesit ve görünüş çizimi (Schittich, 2005) ve b) güneş kırıcı panelin tabanından kısmi görünüm (Schittich, 2005; Unterschleißheim, Schulungsgebäude, 2018).



1ref) Perçin	4ref) Köşe profil B	15ref) T profil B
2ref) Alüminyum levha kaplama	8ref) Boru profil	16ref) T profil C
3ref) Köşe profil A	14ref) T profil A	17ref) Boşluklu kiriş

Şekil 7.4: Referans cephenin güneş kırıcı panelinin plan kesit detayı (Parça numaraları metraj cetveli ile bağlantılıdır ve "ref" referans tasarımın parçalarını göstermektedir) (Uyarlama, Schittich, 2005).

Referans cephe sisteminin tasarım mantığı ve bunun somutlaştırılmasında kullanılan detaylar belirlendikten sonra sisteminin inşaat alanında kurulumundan geriye doğru geçirmiş olduğu üretim ve yapım süreçleri incelenmiştir. Literatürde güneş kırıcı panellerin üretim, montaj, dağıtım ve sahada kurulum süreçleriyle ilgili bilgiye ulaşılamamıştır. Bu süreçler tasarımcı ve Türkiye'de bulunan uzmanlar tarafından

değerlendirilerek, ekipman ve vasıflı işgücü gibi süreç girdileri belirlenmiştir. Buna göre bu süreçlerde, alüminyum malzemenin şekillendirilmesi için lazer kesim makinesi, parçaların montajı için alüminyum kaynak ve perçin makinesi, inşaat alanında kurulum için de düşük kapasiteli vinç gibi görece basit ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Güneş kırıcı panellerin metraj cetveline ya da panelleri oluşturan parçaların ve montaj biçimlerinin belirlenebileceği fiziksel modellerine ulaşılamamıştır. Bu nedenle metraj cetvelinin oluşturulması için bir adet güneş kırıcı panel, detay çizimlerinden ve fotoğraflardan elde edilen verilere dayanılarak, teorik olarak parçalarına ayrılmıştır. Öncelikle panelin teorik söküm işleminin başladığı ilk parça, alüminyum levha kaplama, birinci montaj birimi olarak belirlenmiştir. Alüminyum levhaların birleşimini sağlayan perçinler sistemden sökülen ilk parçalar olduğundan parça numarası olarak 1 kodunu almıştır. Bu bağlamda sistemden sökülen her parçanın ait olduğu montaj birimi ve parça numarası belirlenmiş, arayüze sahip oldukları diğer parçalar kayıt altına alınmıştır. Literatürden elde edilen verilere bağlı olarak eş özelliklere sahip parçaların miktarı ve boyutları ölçümlerle tanımlanmış; malzeme özellikleri belirlenmiştir. Parçaların sistemden çıkarılmasıyla sistemin kaybettiği fonksiyonlar üzerinden parça fonksiyonları tanımlanmıştır. Her bir parça için, piyasadan herhangi bir işlem gerekmeksizin temin edilebilme değerlendirmesi yapılarak parça standardizasyon düzeyi belirlenmiştir. Bir adet güneş kırıcı panelin teorik söküm işleminde gerçekleştirilen bu faaliyetlerle Çizelge J.1'de verilen şablona uygun olarak metraj cetveli oluşturulmuştur (Şekil 7.5). Bununla birlikte metraj cetveli şablonunda yer alan parça ağırlığı, tedarikçi ve birim maliyet verilerine ulaşılamamıştır.

Güneş kırıcı panellerin teorik olarak sökülmesi sırasında paneli oluşturan parçaların birleşim tipleri DIN8593'e göre tanımlanmıştır. Metraj cetvelinde yer alan bilgiler ve parça birleşim tipleri kullanılarak bir adet güneş kırıcı panelin montaj şeması oluşturulmuştur (Şekil L.1). Güneş kırıcı paneli oluşturan parçalar metraj cetvelinde verilen montaj birimini gösteren harfler ve parça numaralarını gösteren rakamlarla kodlanarak daireler içinde gösterilmiştir. Parçaların birbiriyle birleşimi, daireleri birleştiren çizgilerle gösterilmiştir. Parçaların birleşim tipini gösteren ilgili DIN 8593 bölüm numaraları birleşimleri gösteren çizgilerin üzerinde verilmiştir. Buna

göre sayı kodu olarak 6 kaynaklama; 3 ise üstüne/içine presleme birleşim tipini tanımlamaktadır. Üstüne/içine presleme birleşiminde parça olarak perçin kullanılmıştır. Birleşimlerde kullanılan perçinler parça kodları ve miktarları ile birlikte birleşim tipinin yanında belirtilmiştir.

Bu faaliyetler sonunda referans cephe sistemi, yeniden tasarım stratejisinin belirlenmesini sağlayacak analizlerin gerçekleştirilebileceği düzeyde tanımlanmış olmaktadır.

Referans Cephe Proje Adı:	BMW Meslek Okulu
Cephe Tasarımı:	Ackermann und Partner
Cephe Üreticisi:	
Parça Sayısı:	1264



Metraj Cetveli

Parça No		Parça Adı	Miktar	Fonksiyon 1	Fonksiyon 2	Birim	Boyutlar			Malzeme	Standardizasyon Düzeyi	
							En	Boy	Yükseklik		Standart	Özel
A		Kaplama Montajı										
	1	Perçin	50x16	Parçaları birleştirme	Hasarsız harekete imkan verme	mm				Alüminyum	x	
	2	Aluminyum levha kaplama	16	Güneş korunumu sağlama		mm	t:3	2400	830	Eloksanlı Alüminyum	x	
B		Köşe Profil Montajı										
	1	Perçin	32x2	Parçaları birleştirme	Hasarsız harekete imkan verme	mm				Alüminyum	x	
	3	Köşe profil A	1	Yüzeye dik rijit oluşturma	Malzeme bozulmasını önleme	mm	120	125	6670	Alüminyum		x
	4	Köşe profil B	1	Yüzeye dik rijitlik oluşturma	Malzeme bozulmasını önleme	mm	65	155	6670	Alüminyum		x
C		Düşey Şaft Montajı										
	5	Dairesel plaka A	1	Parçaların birleşimini sağlama		mm	Ø240 dış; Ø140 iç		10	Alüminyum		x
	6	Dairesel plaka B	1	Yapısal yükleri taşımak		mm	Ø250 dış; Ø140 iç		10	Alüminyum		x
	7	Üçgen plaka	8	Yük transferi		mm	t:9	45	100	Alüminyum		x
	8	Boru profil	1	Yapısal yükleri taşımak	Hareketi sağlamak	mm	Ø140 dış; Ø120 iç		7320	Alüminyum	x	
D		Üst ve Alt Kiriş Montajı										
	1	Perçin	38x2	Parçaları birleştirme	Hasarsız harekete imkan verme	mm				Alüminyum	x	
	9	L profil A	2	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	60 (t:5)	2130	100	Alüminyum		x
	10	L profil B	2	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	60 (t:5)	2130	100	Alüminyum		x
	11	L profil C	2	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	40 (t:5)	100	100	Alüminyum	x	
	12	L profil D	2	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	40 (t:5)	50	100	Alüminyum	x	
	13	Dolu kiriş	2	Yapısal yükleri taşımak	Yüzeye dik rijitlik oluşturma	mm	235	2215	t:5	Alüminyum		x
E		Ara Kirişlerin Montajı										
	1	Perçin	38x7	Parçaları birleştirme	Hasarsız harekete imkan verme	mm				Alüminyum	x	
	14	T profil A	2x7	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	60 (t:5)	2130	100	Alüminyum		x
	15	T profil B	1x7	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	60 (t:5)	2130	100	Alüminyum	x	
	16	T profil C	1x8	Parçaların birleşimini sağlama	Yük transferi	mm	40 (t:5)	100	100	Alüminyum	x	
	17	Boşluklu kiriş	2	Yapısal yükleri taşımak	Yüzeye dik rijitlik oluşturma	mm	235	2215	t:5	Alüminyum		x

Şekil 7.5: Referans cephenin bir adet güneş kırıcı panelini tanımlayan metraj cetveli.

7.3 Aşama III: Referans Cephe Sisteminin Analizi

Önceki aşamada derlenen verilere dayanarak bu aşamada, yeniden tasarım stratejisini ve yeniden tasarım sırasında odaklanılacak parçaları belirlemek için, referans cephenin yapılabilirlik, cepheyi oluşturan parçaların fonksiyonellik ve erişilebilirlik analizi gerçekleştirilmektedir. Sürecin ilerleyişi Şekil 6.4'te verilen süreç akış şemasına bağlı olarak yürütülmektedir.

Öncelikle, referans cephenin yapılabilirlik değerlendirmesini gerçekleştirecek yapılabilirlik ekibinin oluşturulması çalışmaları yapılmıştır. Yapılabilirlik ekibinin başında yeniden tasarımdan sorumlu araştırmacı bulunmaktadır. Referans cephenin tanımlanması aşamasında elde edilen veriler ışığında cephenin malzeme temininden başlayıp şantiyede kurulumuna kadar geçen süreçte üretimi ve montajı için gerekli bilgiler ve araştırmacının bu bilgiler bağlamındaki uzmanlık seviyesi belirlenmiştir. Güneş kırıcı paneller tamamen alüminyum malzemeden yapıldığından, alüminyum malzemenin işlenip yapı ürünü haline getirilmesi ve birbiriyle birleştirilmesi konusunda kapsamlı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılabilirlik ekibinin başındaki araştırmacının bu konulardaki bilgisi genel düzeydedir; bu süreçlerin gerçekleştirilmesinde uygulamalı deneyimi yoktur. Bu bağlamda İstanbul'da alüminyum işleme işi yapan, imalat ve yapım süreçleri hakkında yeterli ve nitelikli bilgiye sahip, alüminyum profil ve cephe imalatçıları ile yapılabilirlik değerlendirmesinde görüşleri alınmak üzere iletişime geçilmiştir. Görüşme yapılan uzmanlar ve şirketleri hakkındaki detaylar, çalışmanın ticari tarafsızlığını ve uzmanların kişisel gizliliğini korumak amacıyla saklanmıştır. Bu nedenle görüşülen uzmanlar, sadece uzmanlık alanları ve mesleki deneyimleri bağlamında aşağıda tanıtılmaktadır.

- Uzman 1: Metalurji ve malzeme mühendisliği lisans derecesine sahiptir. Alüminyum profil imalatı yaparak, mimarlık, mühendislik ve yapım endüstrisine hizmet eden ve araştırma geliştirme faaliyetlerinde bulunan bir şirkette görev almaktadır. 10 yılın üzerinde mesleki deneyime sahiptir.

- Uzman 2: Mimarlık ile metalurji ve malzeme mühendisliği lisans derecesine sahiptir. Bir devlet üniversitesinde 9 yıldır öğretim görevlisi olarak görev

almaktadır. Yapı ürünleri konusunda doktora çalışmalarına devam etmektedir.

- Uzman 3: Makine mühendisliği lisans derecesine sahiptir. Makine imalatı yapan, endüstriyel ürün tasarımı ve üretimi konusundaki araştırma projelerine destek veren bir şirkette görev almaktadır. 10 yılın üzerinde mesleki deneyime sahiptir.

- Uzman 4: Lazer kesim ve büküm hizmetiyle ilgili sektörlerin tümüne, her türlü sac metal parça üretimi konusunda 13 yıldır hizmet veren bir şirkette görev almaktadır.

- Uzman 5: Sanayi sitesinde kaynak ustası olarak görev almaktadır. 10 yılın üzerinde mesleki deneyime sahiptir.

Yapılabilirlik değerlendirmesi gerçekleştirilmeden önce tüm uzmanlardan, referans cephe sisteminin üretimini zorlaştıran ya da üretim sırasında dikkat edilmesi gereken konularla ilgili bilgi alınmıştır. Yapılabilirlik değerlendirmesi ise araştırmacı ile birlikte uzman 1 ve 2'nin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılabilirlik değerlendirmesi Çizelge K.1'de verilen şablona göre yapılmıştır. Yapılabilirlik kriterlerine verilen ağırlıklar ve referans cephe özelliklerinin bu kriterlerler bağlamında aldığı değerler, değerlendirmeyi gerçekleştiren uzmanların ortak görüşleriyle belirlenmiştir. Farklı görüşlerin bulunduğu durumlarda çoğunluk kararı esas alınmıştır. Bu yöntemle gerçekleştirilen yapılabilirlik değerlendirmesi Çizelge K.2'de verilmiştir.

Yapılabilirlik değerlendirmesi sonucunda, güneş kırıcı panellerin yelken formu nedeniyle, malzemelerin, üretim sürecini zorlaştıran, özel şekillendirmeye ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. CNC lazerde alüminyum kesim işlemlerinin paslanmaz çelik ve demir metaline göre daha zor olduğu ortaya koyulmuştur. Alüminyumun sertlik derecesinin az olması sebebiyle lazer ışınına karşı tepkimesi daha kuvvetlidir. Kesim işleminde gerçekleşen mikron parçacıklar lensi diğer metallere göre daha çabuk bozmaktadır. Bu da alüminyum malzemenin lazer kesim işlemine ayrı bir maliyet yüklemektedir. Bununla birlikte lazer kesim işlemlerinde alüminyum malzemenin alaşım özellikleri de önem kazanmaktadır (Url-7). Ayrıca, fazla sayıdaki montaj parçası nedeniyle montaj işlemi karmaşıklaşmaktadır. Bu bağlamda, yeniden

tasarımda odaklanılacak yapılabilirlik kriterleri, sistemi genel boyutlarda ve konfigürasyonlarda kolayca temin edilebilen ürünlerle ve montaj için minimum parça sayısıyla üretmek üzere, sadeleştirme ve standartlaştırma olarak seçilmiştir.

Referans cephe sisteminin yapılabilirlik değerlendirmesinin ardından, sistemi oluşturan parçalar, fonksiyonellik ve erişilebilirlik değerlendirmesine tabi tutulmuşlardır. Metraj cetvelinde tanımlanan parçaların fonksiyonellik değerlendirmesinde öncelikle, Şekil 6.3'te verilen DFA fonksiyon analizi aracı Fonksiyonel Kriterler Çizelgesi sorgulama yöntemi kullanılarak zaruri ve zaruri olmayan parçalar tanımlanmıştır (Çizelge 7.3). Fonksiyon analizinin başında güneş kırıcı panelin temel fonksiyonlarından hareketi sağlama ve yapısal yükleri taşıma görevlerini yerine getiren boru profil zaruri parça olarak tanımlanmıştır. Diğer parçaların fonksiyon analizi bu temel parça bağlamında gerçekleştirilmiştir. Bu analizde mevcut çözümlerin zihinsel kısıtlamalarını ortadan kaldırarak yenilikçi düşünmeyi teşvik etmek amacıyla teknik veya ekonomik sınırlamalar büyük ölçüde göz ardı edilmiştir.

Çizelge 7.3: Bir adet güneş kırıcı panelin DFA fonksiyon analizine göre belirlenen zaruri ve zaruri olmayan parçaları (Parça numaraları metraj cetveli ile eşleştirilmiştir).

Parça No	Parça Adı	DFA Fonksiyon Analizi	
		Zaruri	Zaruri olmayan
1	Perçin		x
2	Aluminyum levha kaplama	x	
3	Köşe profil A		x
4	Köşe profil B		x
5	Dairesel plaka A		x
6	Dairesel plaka B		x
7	Üçgen plaka		x
8	Boru profil	x	
9	L profil A		x
10	L profil B		x
11	L profil C		x
12	L profil D		x
13	Dolu kiriş	x	
14	T profil A		x
15	T profil B		x
16	T profil C		x
17	Boşluklu kiriş	x	

Parçaların fonksiyonel değerlendirmesinin ikinci aşamasında yeniden tasarımda ihtiyaç duyulmayan fonksiyonları sağlayan parçalar belirlenmektedir. Bu çalışmada

yeniden tasarlanan cephenin referans cepheyle aynı fonksiyonel özelliklere sahip olması amaçlandığından, istenmeyen fonksiyonlarla ilişkili bir parça bulunmamaktadır.

Referans cepheyi oluşturan parçaların erişilebilirlik değerlendirmesi, Çizelge 6.2'de verilen değerlendirme kriterleri bağlamında gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeye girecek parça ve değerlendirme kriteri sayısı göz önüne alınarak sürecin sadeleştirilmesi amacıyla, her parçaya tüm değerlendirme kriterleri üzerinden 5 puanlı ölçekte tek bir erişilebilirlik değeri verilmiştir. Burada 5 erişilebilirliğin en yüksek, 1 en düşük olduğu durumları tanımlamaktadır. Erişilebilirlik değeri, parçanın erişilebilirliğinin kaç kriter üzerinden ne kadar kısıtlandığına bağlı olarak yapılabilirlik ekibinde yer alan ilgili uzmanların görüşleri alınarak tanımlanmıştır. Tamamen standart süreçlerle üretilip temin edilen perçin, alüminyum boru profil ve levha kaplama erişilebilirlik değeri olarak 5 puan almışlardır. Bunlar haricindeki tüm parçalar geometrik konfigürasyon ya da özel imalat gerektirmektedir. Bu parçaların erişilebilirlik değeri de üretim aşamasında uygulanacak işlemlerin karmaşıklığı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bir adet güneş kırıcı paneli oluşturan parçaların erişilebilirlik değerlendirmesi Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4: Bir adet güneş kırıcı paneli oluşturan parçaların erişilebilirlik değerlendirmesi (Parça numaraları metraj cetveli ile eşleştirilmiştir).

Parça		Erişilebilirlik				
No	Parça Adı	1	2	3	4	5
1	Perçin					x
2	Aluminyum levha kaplama					x
3	Köşe profil A		x			
4	Köşe profil B		x			
5	Dairesel plaka A				x	
6	Dairesel plaka B				x	
7	Üçgen plaka				x	
8	Boru profil					x
9	L profil A			x		
10	L profil B			x		
11	L profil C				x	
12	L profil D				x	
13	Dolu kiriş			x		
14	T profil A			x		
15	T profil B			x		
16	T profil C				x	
17	Boşluklu kiriş			x		

Erişilebilirlik değerlendirmesinin ikinci aşamasında üretim, montaj ve kurulum süreçlerinde ihtiyaç duyulan, lazer kesim, alüminyum kaynak ve perçin makinesi, düşük kapasiteli vinç gibi ekipmanların İstanbul inşaat endüstrisi koşullarında erişilebilirliği, Çizelge 6.3'te verilen kriterler bağlamında değerlendirilmiştir. Bu ekipmanlar erişilebilir olarak nitelendirilmiş, fakat geliştirilecek proje bağlamında maliyetlerinin dikkate alınması gerektiği not edilmiştir. Bu nedenle ekipman erişilebilirliği genel olarak 5 puanlı ölçekte 4 puan almıştır.

Bu aşamada yapılan analizler sonucunda yeniden tasarım stratejileri olarak şunlar belirlenmiştir: (i) zaruri olmayan parçalar olarak tanımlanmış parçaların sistemden çıkarılması, (ii) sistemden çıkarılamayan ve özel biçimlendirme gerektiren parçaların standart ürünlerle değiştirilmesi, (iii) panel formunun sadeleştirilmesi.

7.4 Aşama IV: Referans Cephe Sisteminin Yeniden Tasarımı

Referans cephenin yeniden tasarımı araştırmacının önderliğinde, tüm yapılabilirlik ekibinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Ekip üyelerine analiz aşamasında belirlenen yeniden tasarım stratejileri verilerek yeniden tasarım alternatifleri oluşturmaları istenmiştir. Alternatif tasarımların geliştirilmesi sırasında, gerekli görülen konularda, ekip içi bireysel ya da toplu görüşmeler yapılarak fikir alışverişinde bulunulmuştur. Yeniden tasarım alternatiflerinin geliştirilmesinde Şekil 6.5'te verilen süreç akış şeması dâhilinde gerçekleştirilen faaliyetler aşağıda açıklanmaktadır.

Yeniden tasarımın referans cephe ile aynı tasarım hedeflerine ve çevresel koşullara sahip bir proje için yapıldığı kabul edilmektedir. Bu nedenle tasarımda gerek duyulmayan fonksiyonlar ve bunları sağlayan parçalar bulunmamaktadır. Aynı şekilde sistemin sağlaması gereken yeni tasarım hedefleri de bulunmamaktadır. Bu bağlamda yeniden tasarım, aynı zamanda yeniden tasarım stratejisi olarak da belirlenmiş olan, form sadeleştirme faaliyetleriyle başlamaktadır.

Güneş kırıcı panellerin formu, aerodinamik özellikleri gibi fonksiyonlarında temel bir değişikliğe neden olmayacak şekilde rasyonalize edilmiştir. Eğrisel form parçaların biçimlendirme ve montaj süreçlerini kolaylaştıracak şekilde köşeli bir forma getirilmiştir. Bu işlem sırasında panelin genel boyutlarının ve yüzey eğiminin olabildiğince değişmemesine özen gösterilmiştir.

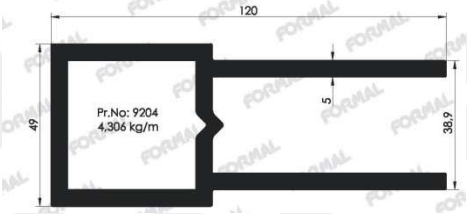
Güneş kırıcı panelde yapılan form değişikliği, metraj cetvelinde tanımlanan, birleştirme parçaları T profil A, L profil A ve B'nin özel şekillendirme gerekliliğini de ortadan kaldırmıştır. Böylece alüminyum T ve L profiller standart üretim süreçleriyle temin edilebilir; dolayısıyla kolayca erişilebilir olmuşlardır.

Form değişikliğinden sonraki adımda, erişilemeyen ve/veya zaruri olmayan parçaları, sistemin fonksiyonelliğini etkilemeyecek şekilde, sistemden çıkarmanın yolları aranmıştır. Öncelikle, analizlerde zaruri olmayan ve en az erişilebilir parçalar olarak tanımlanan, özel üretim köşe profilleri değerlendirilmiştir. Bunların fonksiyonu panellerin strüktürünü oluşturan çerçeve sisteminin bütünlüğünü sağlayıp, panel yüzeyine dik rijitlik oluşturmak ve alüminyum levha kaplamanın bitiş noktalarını açılmalara karşı korumaktır. Bu profillerin yerine getirdiği fonksiyonlar olmadan sistem kabul edilebilir bulunmamış ve bu fonksiyonlar mevcut parçalardan hiçbirine aktarılamamıştır. Bu nedenle, bu parçaların fonksiyonlarını yerine getirebilecek standart ürünler tedarikçilerin ürün katalogları üzerinden araştırılmıştır.

Ürün kataloğu incelemelerinde özel üretim köşe profillerinin fonksiyonlarının hepsini yerine getirebilecek uygun ürünler bulunamamıştır. Bu nedenle, fonksiyonların basit çözümlerle sağlanabilmesi için tasarım yeniden ele alınmıştır. Bu tasarım problemine alternatif çözümler üretilmesini desteklemek için yaratıcılığı destekleyen sistematik yöntemlerden biri olan ASIT'in fikir geliştirici araçlarından yararlanılmıştır. ASIT yönteminin seçilmesinin nedeni, teknik sorunların genel özelliklerinin ve tekrar eden yaratıcılık ilkelerinin tespiti ile geliştirilmiş TRIZ prensiplerinin gruplandırılmasıyla, uygulama süreci basitleştirilmiş bir fikir geliştirme yöntemi sunmasıdır. ASIT'in fikir geliştirici araçları tasarım probleminin 5 prensip üzerinden incelenmesine dayanmaktadır: birleştirme, çoğaltma, bölme, simetriyi kırma ve nesne kaldırma. Köşe profillerinin fonksiyonlarının diğer parçalara aktarılacak şekilde düzenlenmesini öneren birleştirme prensibi, diğer parçaların yapısını daha da karmaşıklaştıracağından uygulanmamıştır. Mevcut profillerin biraz değiştirilmiş bir kopyasının kullanılmasını öneren çoğaltma prensibi, mevcut profillere benzer, uygun bir standart ürün bulunamadığından uygulanamamıştır. Simetrik bir durumu asimetrik olana çevirerek çözüm geliştirmeyi öneren simetriyi kırma prensibi kullanılarak herhangi bir çözüm üretilememiştir. Sorunu köşe profillerini sistemden çıkartarak çözmeyi öneren nesne kaldırma

prensibi ise profillerin fonksiyonları sistemin bütünlüğü için önemli görüldüğünden uygulanamamıştır.

Tüm ASIT araçları içinden, tasarım problemini mevcut parçaları bölüp yeniden düzenleyerek çözmeyi öneren, bölme prensibi uygulanabilir kabul edilmiş ve köşe profillerin fonksiyonlarının farklı parçalar tarafından gerçekleştirilecek şekilde ayrılmasına karar verilmiştir. Bu yeni bakış açısıyla, ürün katalogları yeniden incelenmiş ve bu kez potansiyel olarak uygun ürünler bulunmuştur. Malzeme bozulmalarını önleme fonksiyonu, başka bir endüstride kullanılmak üzere üretilen standart bir alüminyum profille (Şekil 7.6), çerçeve sisteminin bütünlüğünü sağlayıp, panel yüzeyine dik rijitlik oluşturma fonksiyonu ise standart bir alüminyum U profil ile sağlanmıştır. Yalnızca bir profil çifti değişim için boyutsal ve fonksiyonel olarak uygun kabul edildiğinden, parça seçimi değerlendirmesine gerek kalmamıştır.



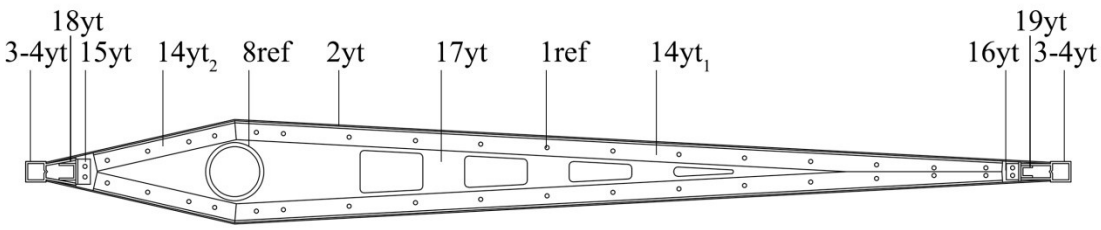
Şekil 7.6: Malzeme bozulmalarını önleme fonksiyonunu üstlenen standart profil (Url-8).

Köşe profilleri yerine kullanılacak standart profiller belirlendikten sonra sistemin bir bütün halinde çalışması için bunların birbiriyle ve diğer parçalarla birleşimleri ele alınmıştır. Referans sistemde köşe profiller perçinle T ve L profillerle birleştirilmişlerdir. Yeniden tasarımda köşe profiller yerine kullanılacak profillerin ise önce birbirleriyle birleşiminin sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilecek çözümler araştırılmış ve şunlara ulaşılmıştır: perçinleme, kaynaklama ve VHB (very high bonding) bant ile yapıştırma. İki profilin birleştirilmesi için öncelikle basit el aletleriyle kabaca şekillendirilerek birbirlerinin içine sokulmaları gerekmektedir. Bu nedenle VHB bant bu birleşim için uygun değildir. Diğer birleşim tipi alternatiflerinden en uygun olanın belirlenmesi için DFM birleşim analizi kriterleri kullanılmıştır. Öncelikle birleşim analizinde kullanılabilecek 25 adet kriter tasarım probleminin kapsamı dâhilinde incelenerek 5 kritere indirgenmiştir: korozyon direnci, statik yük taşıma kapasitesi, dinamik yük taşıma kapasitesi, üretilebilirlik ve tamir edilebilirlik. Değerlendirme

kriterlerine sınır değerler atanmamıştır. Profiller statik yük olarak kendi ağırlıklarını ve kısmen alüminyum levha kaplama ağırlıklarını; dinamik yük olarak da rüzgâr yükünü karşılamaktadır. Bu iki yük tipi de sisteme önemli kısıtlamalar getirmemektedir. Birbiri üzerinde tam oturmamış iki metal malzemenin ortak aralığında korozif ortamın da etkisi ile aralık korozyonu oluşabilmektedir. Perçin yerine kaynak birleşim yapılması, iki profilin üst üste bindiği yerlerin çözelti girişine kapatılmasıyla ortamın nemden arındırılmasını sağlamakta ve aralık korozyonunun önüne geçilebilmektedir. Diğer yandan alüminyum kaynak, alüminyum malzemenin yumuşak yapısı ve çift taraflı kaynak gerektiren profillerin 6 metreyi geçen boyutları nedeniyle zor bir uygulama olarak kabul edilmektedir. Profillerde şekil bozukluklarının oluşabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle kaynak birleşimlerin üretilebilirliği perçin birleşimden daha zor ve insan kaynaklı hatalara daha açıktır. Birleşim tipleri tamir edilebilirlik kriteri açısından değerlendirildiğinde ikisi de farklı kısıtlamalara sahip olmakla birlikte tasarımda eşit derecede etki yarattıkları belirlenmiştir. Çizelge 7.5'te verilen profillerin birleşim değerlendirmesi sonrasında perçin birleşim tipinin kullanılmasına karar verilmiştir. Güneş kırıcı panellerin köşe bitişini tanımlayan bu profillerin kirişlerle birleşimi ise referans cephede kullanılan birleşimle aynı kalmıştır. Bu çözüm birinci yeniden tasarım alternatifini oluşturmaktadır ve Şekil 7.7'de gösterildiği şekilde detaylandırılmıştır.

Çizelge 7.5: Köşe profillerin birleşim alternatiflerinin değerlendirmesi.

BİRLEŞİM DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	Sınır Değer	Ağırlık	Perçin		Kaynak	
			Değer	Puan	Değer	Puan
Korozyon direnci		1	1	1	2	2
Statik yük taşıma kapasitesi		2	1	2	1	2
Dinamik yük taşıma kapasitesi		2	1	2	1	2
Üretilebilirlik		2	2	4	1	1
Tamir edilebilirlik		2	1	2	1	2
TOPLAM PUAN				11		9



1ref) Perçin
2yt) Alüminyum levha kaplama
3-4yt) Standart köşe profili
8ref) Boru profil
14yt$_1$) T profil (A)
14yt$_2$) T profil (B)
15yt) T profil (C)
16yt) T profil (D)
17yt) Boşluklu kiriş
18yt) U profil (A)
19yt) U profil (B)

Şekil 7.7: Yeniden tasarlanmış güneş kırıcı panelin plan kesit detayı, alternatif 1 (Parça numaraları referans cephe metraj cetveli ile bağlantılıdır; "ref" referans cephenin değiştirilmemiş parçalarını,"yt" yeniden tasarımdaki değiştirilmiş veya düzenlenmiş parçaları tanımlar).

İlk alternatifin geliştirilmesinden sonra yeniden tasarım süreç akış şeması tekrar kullanılmış ve ilk alternatifte yapılan değişikliklere ek olarak montaj parçası sayısını azaltmak için çözümler araştırılmıştır. İlk önce alüminyum levha kaplamaların T ve L profillerle birleşimi için kullanılabilecek perçin haricindeki birleşim alternatifleri değerlendirilmiştir. Alüminyum levhalar eloksallı alüminyum malzemeden üretildiğinden zaten üretilebilirlik zorluğu olan kaynak birleşimini daha da zorlaştırmakta, ayrıca tasarımda estetik sorunlar oluşturmaktadır. Bu nedenle kaynak birleşimi uygulanabilir bulunmamıştır. Diğer bir alternatif olarak birleşimlerde VHB bantların kullanımı incelenmiştir. Çeşitli boyut ve dayanıklılık özelliklerine sahip olarak üretilen VHB bantlar, inşaat endüstrisinde giydirme cephe panellerinin imalatı, dış cephe kaplaması, iç panel ve bitiş detaylarının uygulanmasında kullanılmaktadır. Literatürde VHB Mimari Panel Bantları'nın birçok durumda perçinlerin, punto kaynakların, sıvı yapıştırıcıların, sızdırmazlık malzemelerinin ve diğer kalıcı birleşim elemanlarının yerini alabileceği ve imalat işlemi sırasında derhal kullanım gücü sağlayabileceği belirtilmiştir (Url-9). Bununla birlikte VHB Mimari Panel Bantları'nın Türkiye'de üretimi ya da temini ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır. Piyasada bulunan VHB bantların özellikleriyle mimari panel bantlarının özellikleri karşılaştırılarak kullanılabilecek ürünler belirlenmiş; sonra da üreticilerden yeniden tasarım projesi bağlamında bu ürünlerin uygulanabilirliğinin belirlenmesi için görüş istenmiştir. Konuyla ilgili üreticilerden bilgi alınamamıştır. Yine de, bu çözüm 2. yeniden tasarım alternatifi olarak tanımlanmış ve yeni çözüm arayışlarına devam edilmiştir.

Bir sonraki denemede yine montaj parça sayısını azaltmak amacıyla ilk yeniden tasarım alternatifinde yapılan değişikliklere ek olarak, zaruri olmayan parça olarak tanımlanmış, T ve L profillerin sistemden çıkarılması durumu ele alınmıştır. T ve L profillerin montaj fonksiyonunun, zaruri parça olarak tanımlanan, kirişlere aktarılmasıyla ilgili çözüm yolları araştırılmıştır. Böylece, tüm T ve L profillerin ve bunları kirişlerle birleştiren perçinlerin sistemden çıkartılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda uzman görüşleri de alınarak aşağıda sıralanan üç alternatif geliştirilmiştir:

- Alüminyum levhalar ve köşe bitişlerini oluşturan profillerin ek bir parça kullanılmaksızın direkt olarak kirişlere kaynaklanması: Birleşim analizi değerlendirmesinde kaynakla birleşimin getirdiği üretilebilirlik sorunları nedeniyle bu alternatif uygulanabilir bulunmamıştır.
- Kirişlerin kenarlarının L formu elde edilecek şekilde bükülmesi: Kirişlere ek bir şekillendirme işlemi uygulanarak parça birleşimlerini sağlama fonksiyonu yüklenebilmektedir. Fakat alüminyum levha kalınlığı ve kirişlerin formu nedeniyle bükme işleminin uygulanması kolay değildir. Aynı nedenlerle 90° bükme işleminin kiriş kenarlarında mikro çatlaklara, dolayısıyla taşıyıcılık kapasitesinde düşüşe neden olabileceği belirlenmiştir.
- Kiriş kenarlarında T formu elde etmek için, 5 mm kalınlığındaki orjinal kirişlerin, kenarlarından L formunda bükülmüş ve birbirine perçinlenmiş iki adet 2.5 mm kalınlığındaki kiriş ile değiştirilmesi: Kirişlerin bükülmesinde levha kalınlığının getirdiği sorunların giderilmesi için levha kalınlığı azaltılmıştır. Bu alternatifte parça sayısı azaltılmış olmasına rağmen bükme işleminin kiriş üretimine getireceği karmaşıklık ve sistemin taşıyıcılık kapasitesindeki değişimin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, yeniden tasarım sürecinde bir temel çözüm ve onun üç adet tasarım varyasyonundan oluşan dört yeniden tasarım alternatifi üretilmiştir ve bir sonraki aşama için uzman değerlendirmesine sunulmuştur.

7.5 Aşama V: Yeniden Tasarlanan Cephe Sisteminin Değerlendirilmesi

Yeniden tasarım süreci sonucunda elde edilen dört yeniden tasarım alternatifi bu aşamada değerlendirilerek yapım aşamasına geçilmesi için uygunluklar sınanmıştır.

Değerlendirme referans cephenin analizini gerçekleştiren aynı yapılabilirlik ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir.

Değerlendirme aşamasının başında iş yükünün azaltılması için yeniden tasarım alternatiflerinin aşamalı olarak değerlendirilmesine karar verilmiştir. Uzmanların ön değerlendirmesinde, montaj işlevini üstlenecek şekilde kirişlerin modifiye edilmesinin parça sayısını ve montaj adımlarını azaltmak açısından iyi bir fikir olduğu; ancak kirişlerin üretilebilirliğinin ispatı için bükme işleminin kiriş şekillendirmesine getireceği karmaşıklık ve değişen yük taşıma kapasitelerinin hesaplanması gibi değerlendirmelere tabi tutulması gerektiği belirtilmiştir. Aynı şekilde VHB bantların tasarımda kullanımı ile ilgili üretici onayı alınamadığından bu alternatifin de öncelikle üretilebilirliğinin ispatı gerekmektedir. Diğer yandan temel yeniden tasarım alternatifi olan birici alternatif piyasa koşullarında herhangi bir ön değerlendirmeye gerek duyulmadan üretilebilir kabul edilmiştir. Tasarımların üretilebilirliğinin ve performansının belirlenmesi tepki veren cephe tasarımını karmaşıklaştıran ve süreci uzatan temel nedenlerdendir. Bu bağlamda öncelikle birinci yeniden tasarım alternatifinin değerlendirmeye tabi tutulmasına; bu alternatifin projenin yapılabilirlik ve performans hedeflerini sağlayamaması durumunda diğer alternatiflerin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Değerlendirme Şekil 6.6'da verilen süreç akış şemasına göre gerçekleştirilmiştir.

Yeniden tasarımın değerlendirilmesi yapılabilirlik değerlendirmesiyle başlamaktadır. Bu değerlendirmede Çizelge K.1'de verilen şablon kullanılmıştır. Referans cephenin değerlendirilmesinde yapılabilirlik kriterlerine verilen ağırlık değerleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Yeniden tasarım alternatifinin yapılabilirlik kriterleri bağlamında aldığı değerler, değerlendirmeyi gerçekleştiren uzmanların ortak görüşleriyle belirlenmiştir. Farklı görüşlerin bulunduğu durumlarda çoğunluk kararı esas alınmıştır. Bu yöntemle gerçekleştirilen yapılabilirlik değerlendirmesi Çizelge K.2'de verilmiştir.

Form değişikliği ile sağlanan, yapı ürünlerinin genel boyut ve konfigürasyonlarda kullanılabilmesi imkânı ve özel köşe profillerinin standart profillerle değiştirilmesi, sistemin basitleştirme ve standartlaştırma puanlarını arttırmıştır. Bununla birlikte, özel köşe profillerinin fonksiyonları iki standart profil tarafından yerine getirildiğinden ve bu profiller perçinlerle birleştirildiğinden, sistemin parça sayısı ve

montaj adımları artmıştır. Bu bakımdan, basitleştirme kriterinin altında değerlendirilen az sayıda parça kullanımı kriterinden puan alınamamıştır. Sistemi oluşturan parçalar karmaşık şekillendirme işlemlerine ihtiyaç duymadığından imalat toleranslarından alınan puan artmıştır. Sonuç olarak tasarım alternatifinin yapılabilirlik indeksi 0,67568 olarak hesaplanmıştır. Referans cepheyle karşılaştırıldığında %23 iyileşme sağlanmıştır. Yapılabilirlik ekibi tarafından yapılabilirlik indeksinin sınır değeri 0,5 kabul edildiğinden tasarım alternatifi yapılabilirlik değerlendirmesini başarıyla geçmiştir.

Sonraki aşamada tasarım alternatifinin performans değerlendirmesi gerekliliği incelenmiştir. Yeniden tasarım aşamasında güneş kırıcı panelin hareket mekanizması, kontrol tipi, genel boyutları ve alüminyum levha yüzey kaplaması değişmediğinden performansında da önemli bir değişiklik olmadığı kabul edilmiştir. Sonuç olarak, bu yeniden tasarım alternatifinin, performans testi gibi, daha fazla değerlendirmeye tabi tutulmasına gerek duyulmamıştır. Birinci yeniden tasarım alternatifi üretilmek üzere seçilmiş ve yeniden tasarım süreci burada sonlandırılmıştır.

7.6 Model Uygulamasının Değerlendirilmesi

Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı model önerisi BMW Meslek Okulu tepki veren cephesi üzerinde uygulanarak tepki veren cepheyi oluşturan güneş kırıcı panellerin yeniden tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamaya bağlı olarak yeniden tasarım modeli, süreç aşamalarının ve bu aşamalarda gerçekleştirilen faaliyetlerin fonksiyonelliği ve uygulama kolaylığı açısından değerlendirilmiştir.

Aşama I: Planlama'nın amacı geliştirilecek projenin tasarım hedefleri ve bu bağlamda ihtiyaç duyulan cephe özelliklerinin tanımlanması; bu hedefleri karşılamaya en yakın mevcut bir tepki veren cephe sisteminin yeniden tasarımda kullanılmak üzere referans cephe olarak seçilmesidir. Bu çalışmada referans cephe bir proje bağlamında seçilmediğinden bu aşama kullanılmamıştır.

Aşama II: Referans Cephe Sisteminin Tanımlanması, referans cephenin tasarım, üretim ve yapımı ile ilgili bilgilerin sistematik bir şekilde derlenerek ortaya koyulmasını sağlamıştır. Bu sayede Aşama III'te gerçekleştirilecek analiz çalışmaları

için düzenli bir veri kaynağı oluşturulmuştur. Bu aşamada referans cepheyle ilgili ihtiyaç duyulan tüm verilere ulaşılamaması, bazı verilerle ilgili elde edilebilen kaynaklar üzerinden çıkarımlarda bulunulmasını gerektirmiştir. Tasarım, üretim ve yapım konularında yeterince tanımlanamayan bir sistemin yeniden tasarımı mümkün olamayacağından, bu aşama modelin bir proje üzerinde uygulanabilirliğinin belirlenmesinde kilit görev üstlenmektedir.

Aşama III: Referans Cephe Sisteminin Analizi, referans cephenin yeniden tasarım hedefleri bağlamında analizini ve yeniden tasarım stratejisinin oluşturulmasını sağlamıştır. Tasarım problemini çözmek için, referans cephe sistemi ayrıştırılarak yapılabilirlik, fonksiyonellik ve erişilebilirlik bağlamında analiz edilmiş, sorunu oluşturan öğeler belirlenmiş ve yeniden tasarım için sistematik bir düşünme tarzı geliştirilmiştir. Bu aşamada kurulan yapılabilirlik ekibinin görüşlerinden yeniden tasarımın sonuna kadar faydalanılmıştır.

Referans cephe kapsamlı bir şekilde anlaşılmadan, yeniden tasarım sürecinde alınan kararlar yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle yeniden tasarım aşamasında doğru kararların hızlı bir şekilde alınmasında Aşama II ve III'ün önemi bulunmaktadır.

Aşama IV: Referans Cephenin Yeniden Tasarımı'nda çözüm alternatiflerinin geliştirilmesi faaliyet adımları içinde birden fazla tekrar gerektirmiştir. Bu nedenle karmaşıklık düzeyi diğer aşamalara göre yüksektir. Ürün veri tabanlarının olmaması mevcut parçalar yerine kullanılabilecek standart ürün araştırması sürecini hem uzatmış hem de zorlaştırmıştır. Sonuçta parça değişimi için tek bir profil çiftine ulaşılabilmiştir. Bu nedenle parça seçimi değerlendirmesine gerek kalmamıştır. Parçaların birleşim analizi yeni alternatifler geliştirilmesinde ve olası alternatiflerin elenmesinde kullanışlı bir araç olmuştur. Fikir üretiminin desteklenmesi için kullanılan ASIT yöntemi, tasarım problemine çözüm üretilmesi aşamasında farklı tasarım yaklaşımlarının denenmesini empoze ederek zihinsel blokların önüne geçmiştir. Bu aşamada yeniden tasarım alternatiflerinin geliştirilmesinde en büyük katkıyı yapılabilirlik ekibinde yer alan uzmanların görüşleri sağlamıştır. Bazı alternatiflerin geliştirilmesinde yeni uzmanlık alanlarından da görüş talep edilmiştir.

Aşama V: Yeniden Tasarlanan Cephe Sisteminin Değerlendirilmesi'nde, kademeli değerlendirme yaklaşımı sayesinde gereksiz iş yükü önlenmiştir. Referans cephenin

formundaki değişimin sistemin performansında değişiklik yapabileceği bilinmektedir. Fakat uzman görüşleriyle bu değişimin çok az olması öngörüldüğünden, performans değerlendirmesine gerek olmadığı kabul edilmiştir. Yapılabilirlik ekibi ile birlikte yapılan değerlendirmede geliştirilen yeniden tasarım alternatiflerinden biri değerlendirme sürecini başarıyla geçmiştir. Böylece modelin belirlenen tasarım problemlerine çözüm üretebilme yetisi kanıtlanmıştır.

Model genel olarak değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yeniden tasarım modeli tasarımda standart ürünlerin kullanılmasıyla tepki veren cephe sistemlerinin tasarım ve üretiminin kolaylaştırılması amacıyla geliştirilmiştir. Bu bağlamda model hem ürün hem de süreç odaklı yapılandırılmış bir yaklaşım sunmaktadır.
- Ürün tasarımı ve cephe tasarımı süreçlerinde kullanılan bilimsel prosedür ve teoriler yoluyla problem çözmeye odaklandığından teknik olarak rasyoneldir.
- Modelin aşamaları ve bunların faaliyet adımları iyi bir şekilde tanımlanmıştır.
- Aşamalar, sistematik olarak gerçekleşen ve belirli sonuçlar doğurduğu kabul edilen tekrarlanabilir eylem kalıplarından meydana gelmiştir. Bu özellikleriyle modelin aşamaları sonuç üretme potansiyeline sahip, öğretilebilebilir, öğrenilebililir ve uygulanabilirdir.
- Aşamalar içinde tanımlanan faaliyet adımları, bilgi akışı, faaliyetler arasındaki etkileşim ve öncelik açısından değerlendirildiğinde, doğru şekilde sıralanmıştır.
- Modelin aşamaları teoride sıralıdır; her bir aşaması bir sonrakinde kullanılmak üzere veri üretmektedir. Ancak en iyi çözümü elde etmek için aşamaların içinde ve/veya arasında birden fazla yineleme gerekebilir.
- Aşama I, II ve III'te sıralı süreç akışı vardır. Bu nedenle süreç adımlarını takip etmek oldukça kolaydır. Aşama IV'te süreç akışı şartlı ve tekrarlı; buna bağlı olarak daha karmaşıktır. Aşama V'in şartlı süreç akışı ise proje ihtiyaçları bağlamında fonksiyoneldir.
- Yeniden tasarım sürecinde gerçekleştirilen faaliyetleri desteklemek için geliştirilen kontrol listeleri, şablonlar ve değerlendirme kriterleri modelin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır.

- Modelde uzman değerlendirme sistemi kullanıldığından, modelin uygulanmasındaki başarı modeli kullanan uzmanların doğru seçilmesiyle ve ihtiyaç duyulan uzmanlara ulaşılabilmesiyle doğru orantılıdır.

8. SONUÇLAR

Değişen performans gereksinimlerine ve sınır koşullara adapte olarak yapıların bütüncül performansını ve kullanıcı konforunu arttıran tepki veren cephe sistemleri inşaat endüstrisinin değişen performans gereksinimleri bağlamında etkili bir konsept olarak kabul görmektedir. Ancak bu sistemlerin pratikteki uygulamaları çok sınırlıdır. Mevcut örneklerin çoğunluğu, siparişe göre mühendislik tasarım süreçleriyle, proje odaklı, özel ve karmaşık çözümler olarak geliştirilmiştir. Bu sistemlerin yaygın olarak kullanımının sağlanması için tasarım ve üretim süreçlerinde sadeleşme ve standartlaşmaya gidilmesi gerekmektedir. Bu dönüşümün sağlanması tasarım ve üretim süreçlerinde kapsamlı değişiklikler/uyarlamalar gerektirir. Bu nedenle de aşamalı olarak planlanması önerilmektedir. Bir başlangıç noktası olarak bu çalışmada tepki veren cephe sistemlerinin tasarım ve üretiminin kolaylaştırılması amacıyla standart ürünlerle tasarımı hedeflenmiştir. Bu bağlamda tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımını destekleyecek bir tasarım modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Piyasadaki cephe sistemleri incelendiğinde pazarlanan sistemlerin çoğunluğunun proje bazında belirli ölçüde özelleştirilebilen endüstriyel ürünler olarak geliştirildiği belirlenmiştir. Bu cephelerde sistem tasarımı, belirlenen pazar ihtiyaçları bağlamında sistem sağlayıcıları/üreticileri tarafından ürün tasarımı süreçleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda tasarım modelinin geliştirilmesi hem ürün tasarımı hem de cephe tasarımı doğrultusunda yapılan kapsamlı bir literatür araştırmasına dayanmaktadır. Ürün tasarımı konusunda yapılan araştırmada ürün tasarımının kapsamı ve tipleri, tasarım sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler ve kullanılan sistematik yöntemler incelenmiştir. Ürün tasarımında kullanılan standart ürünlerle tasarım özelleştirme yaklaşımları belirlenmiştir.

Cephe tasarımı konusunda yapılan araştırmalarda öncelikle cephe tasarımlarında genel süreç akışı, gerçekleştirilen faaliyetler, etkili aktörler ve kararlar belirlenmiştir. Cephe ve ürün tasarımı arasındaki farklar, cephe sistemlerinde kullanılan farklı ürün düzeyleri ve standart ürünlerle tasarım özelleştirme yaklaşımları açıklanmıştır. Daha

sonra, tepki veren cephe tasarımının çözümlenmesi, karakteristik sistem ve tasarım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tanımlama, sınıflandırma ve örnek analizi çalışmaları yapılmıştır.

Kapsamlı bir literatür araştırmasının ardından tasarım modeli geliştirme süreci tasarım probleminin olası çözüm yollarının tanımlanmasıyla başlamıştır. Bunun nedeni tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin kabul edilebilir pek çok çözüme sahip açık uçlu bir problem olmasıdır. Tanımlanan konsept değişkenleri üzerinden üretilen konsept çözümler çalışmanın çözüm hedefleri bağlamında değerlendirilerek "mevcut bir tepki veren cephe sisteminin standart ürünlerle yeniden tasarımı" konsepti geliştirilmek üzere seçilmiştir.

Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesi iki aşamalı olarak ilerlemiştir. İlk aşamada herhangi bir sistematik yöntem kullanılmadan mevcut bir tepki veren cephenin standart ürünlerle yeniden tasarımı üzerine bir ön çalışma yapılmıştır. İkinci aşamada, ön çalışmayla tespit edilen süreç sistematize edilerek geliştirilmiştir. Böylece beş aşamadan oluşan yeniden tasarım modeli, ürün tasarımının tersine mühendislik ve yeniden tasarım süreçleri ile cephe tasarımı süreçlerinin sentezi ve belirlenen DFA ve DFM araçlarının entegrasyonu ile oluşturulmuştur. Geliştirilen modelin özellikleri, uygulama sonucu yapılan değerlendirmeyle belirlenen güçlü yanları, kısıtlamaları ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

8.1 Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı Modelinin Özellikleri

Tasarım sürecinin kusursuz bir tanımını yapabilecek tek bir model bulunmamasına rağmen, tasarım modelleri tasarım süreçlerini açıklamak ve anlamak için güçlü araçlar sunmaktadır. Tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı için geliştirilen bu model de tasarım sürecini, tasarım kararlarını hiyerarşik bir düzene sokarak optimize etmeye çalışmanın ve karar verme aşamaları için rasyonel kriterler üretmenin bir yolu olarak ele almıştır. Bu bağlamda yeniden tasarım süreci aşamalara ayrılarak kurgulanmış ve her aşamaya karar verme sürecini destekleyen araçlar entegre edilmiştir.

Yeniden tasarım modeli tasarımda standart ürünlerin kullanılmasıyla tepki veren cephe sistemlerinin tasarım ve üretiminin standartlaştırma ve sadeleştirme yoluyla kolaylaştırılması amacıyla geliştirilmiştir. Bu bağlamda model tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı için hem ürün hem de süreç odaklı yapılandırılmış bir yaklaşım sunmaktadır.

Modelde, ele alınan tasarım problemlerinin çözümlenmesi için cephe ve ürün tasarımı konularında geliştirilmiş sistematik tasarım süreçleri ve yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yeniden tasarım süreci, ürün, cephe ve tepki veren cephe tasarım süreçlerinin entegrasyonuyla optimize edilmiş, süreç aşamalarında ihtiyaç duyulan değerlendirme ve analizlerin rasyonelleştirilmesi için sistematik yöntemler kullanılmıştır. Bu özellikleriyle model, yapılandırılmış rasyonel düşünme eğilimini tasarıma kazandırmak amacıyla, teknik rasyonelliğe dayanmaktadır. Tasarım modellerinde teknik rasyonellik, bilimsel prosedür ve teoriler yoluyla problem çözmeye odaklanır. Rasyonelist modeller, tasarıma ayrıntılı, kapsamlı, doğrusal ve evrensel bir yaklaşım sunar.

Yeniden tasarım modeli analitiktir. Tasarım problemini çözmek için, mevcut cephe sistemini ayrıştırarak analiz eder, sorunu oluşturan öğeleri belirler ve yeniden tasarım için sistematik bir düşünme tarzı yürütür.

Model aynı zamanda prosedüreldir; yeniden tasarımı yönlendirmeye yönelik en iyi uygulama aşamalarını sunar. Bilgi akışı açısından görevler arasındaki etkileşimi ve önceliği belirleyerek, tasarım aşamasındaki eylem sıralamasını tanımlar. Tasarım sırasında ortaya çıkan uçtan uca faaliyet akışlarıyla ilgilendiğinden bölgesel düzeyde gelişmiştir.

Yeniden tasarım modeli beş aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, sistematik olarak gerçekleşen ve belirli çıktıları olduğu kabul edilen tekrarlanabilir eylem kalıplarından meydana gelir. Bu özellikleriyle modelin aşamaları sonuç üretme potansiyeline sahip, öğretilebilir, öğrenilebilir ve uygulanabilirdir. Yeniden tasarım modelinin aşamaları ve bu aşamalarda üretilen bilgiler sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır:

- **Aşama I, planlama:** Yeniden tasarlanan cephenin sağlaması gereken özellikler, yani tasarım hedefleri ortaya koyulmakta ve bu hedefleri

karşılamaya en yakın mevcut bir tepki veren cephe yeniden tasarımda kullanılmak üzere referans cephe olarak seçilmektedir.

- **Aşama II, referans cephe sisteminin tanımlanması:** Tersine mühendislik süreçleri kullanılarak referans cephenin tasarım mantığı ve fiziksel sisteminin özellikleri ortaya koyulmaktadır.
- **Aşama III, referans cephe sisteminin analizi:** Cephe sisteminin yapılabilirlik, cepheyi oluşturan parçaların fonksiyonellik ve erişilebilirlik; ve cephenin üretim, montaj ve yapımında ihtiyaç duyulan girdilerin erişilebilirlik analizi yapılarak yeniden tasarım stratejisi geliştirilmektedir.
- **Aşama IV, referans cephe sisteminin yeniden tasarımı:** Referans cephe önceki aşamalarda gerçekleştirilen analizler ve oluşturulan yeniden tasarım stratejisi bağlamında standart ürünlerle, kolay üretimi destekleyecek şekilde yeniden tasarlanmaktadır.
- **Aşama V, yeniden tasarlanan cephe sisteminin değerlendirilmesi:** Yeniden tasarlanan cephe öncelikle hedeflenen yapılabilirlik iyileştirmesinin sağlanması, sonra da gerekli görülürse performans hedefleri bağlamında iki aşamalı olarak değerlendirilmektedir.

Modelin aşamaları teoride sıralıdır; her bir aşaması bir sonrakinde kullanılmak üzere veri üretmektedir. Ancak en iyi çözümü elde etmek için aşamaların içinde ve/veya arasında birden fazla yineleme gerekebilir.

Geliştirilen yeniden tasarım modelinin tepki veren cephe tasarımından sorumlu mimarın önderliğinde, malzeme, üretim teknikleri ve yerel pazar koşulları ile ilgili kapsamlı bilgiye sahip deneyimli üretim uzmanları, mühendisler ve üreticiler tarafından kullanılması önerilmektedir. Model, projenin geneliyle ilgili tüm önemli kararlar üzerinde uzlaşmaya varıldıktan sonra, yani konsept aşamasından sonra kullanılmalıdır.

Yeniden tasarım modelinin geliştirilmesi ile birlikte modelin uygulanabilirliği bir örnek çalışmayla sınanmıştır. Modelin her bir aşaması uygulama kolaylığı ve fonksiyonellik bağlamında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda ve modelin geliştirilmesi sırasında belirlenen modelin güçlü özellikleri ve kısıtlamaları aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

8.1.1 Modelin güçlü özellikleri

Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı için önerilen yeniden tasarım modeli geliştirilirken, uygulanabilirliği ve etkinliğinin sağlanması için belirli özelliklere sahip olması amaçlanmıştır. Modelin bu özellikleri ne ölçüde sağladığı model uygulaması üzerinden değerlendirilmiştir. Modelin güçlü yanlarını oluşturan bu özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

- Yapılandırılmış sistematik tasarım modelleri projenin geliştirilmesinde görev alan mimarlar, mühendisler ve proje yöneticileri arasında ortak bir dil haline gelmektedir. Yeniden tasarım sürecinin aşamaları, yapılacak değerlendirmeler ve bunlarda kullanılacak kriterler tüm tasarım ekibi tarafından önceden bilinmektedir. Bu özelliğiyle model, belirsizlik ortamını azaltmakta, taraflar arasında daha hızlı iletişim kurulabilmesini ve proje geliştirme sürecine daha doğru bir başlangıç yapılabilmesini sağlamaktadır.
- Model kullanıldığı her farklı projede farklı bir veri kümesi üzerinden uygulanacaktır. Bu verilerin modelin uygulanmasında yeterli ve uygun olduğunun belirlenmesi için statik kontrole izin veren özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu bağlamda modelin her aşama ve süreç adımı için gerekli olan veri girdileri ve uygulama sonucunda elde edilecek veri çıktısı belirlenmiştir. Yeniden tasarım modelinin aşamaları ve bunların süreç adımları iyi bir şekilde tanımlanmıştır.
- Her aşama için geliştirilen süreç akış diyagramları ve süreç adımlarını desteklemek için geliştirilen kontrol listeleri, şablonlar ve değerlendirme kriterleri tekrarlanabilir eylem kalıpları meydana getirerek modelin uygulanmasını rasyonelleştirmekte ve kolaylaştırmaktadır.
- Süreç akış diyagramlarının tasarım aşamaları bağlamında gelişen sıralı ve dallanmış yapısı, uygulama aşamasında karşılaşılabilecek çıkmaz yolların ve sürecin kilitlendiği noktaların tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu süreç ve durum formaliteleri ile yapılan bir başka analiz türüdür. Bu özelliğiyle model kullanılmadan önce ön değerlendirmeye olanak sağlayarak ele alınan proje bağlamında yeniden tasarım sürecinin sonlandırılabileceğine dair güvence vermektedir.

- Aşama I'de, yeni geliştirilecek cephenin tasarım kararlarını etkileyen faktörlerin, yani cephe tasarım hedeflerinin belirlenmesi, ihtiyaç duyulan cephe ile mevcut tepki veren cephelerin özelliklerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece yeniden tasarım için en uygun tepki veren cephenin referans cephe olarak seçilmesi mümkün olur. Aynı zamanda yeniden tasarımın ilk aşamasında referans cephe ile ihtiyaç duyulan cephe arasındaki olası çelişkiler belirlenir ve bunlara karşı önlem almak mümkün olur.
- Referans cephe kapsamlı bir şekilde tanımlanmadan ve anlaşılmadan yeniden tasarıma başlanması yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Aşama II ve III'te referans cephenin kapsamlı bir analizi yapılarak, yeniden tasarım stratejisinin sistematik bir şekilde geliştirilmesi sağlanmaktadır. Böylece yeniden tasarımda alınan kararların neden sonuç ilişkisi doğru bir şekilde kurulabilir.
- Aşama IV yaratıcılığı sınırlamadan, karar verme araçları sunarak, yeniden tasarımı yönlendirmektedir. Süreç adımları genel tanımlanmış görevler üzerinden ilerlediğinden, bu aşamanın yinelenerek kullanılması birden çok yeniden tasarım alternatifi üretebilmektedir. Bu bakımdan model üretkendir.
- Yeniden tasarım süreci her ne kadar belirli bir amaç doğrultusunda yönlendirilerek gerçekleşse de elde edilen tasarım alternatiflerinin çoklu performans kriterleri bağlamında başarısı tam olarak bilinememektedir. Aşama V, üretilen yeniden tasarım alternatiflerinin tasarım hedefleri bağlamında başarısının değerlendirilmesi için izlenebilecek bir prosedür sağlar.
- Öncelikle yapılabilirlik, sonra da gerekli görülen durumlarda gerçekleştirilen performans değerlendirmesi şeklindeki kademeli değerlendirme yaklaşımı gereksiz iş yükünü önlemektedir.
- Model uygulandığı yerel koşullar bağlamında uygulanabilir üretim potansiyeline sahip çözümler üretir. Bu nedenle kullanımında bir çevresel kısıtlama yoktur.
- Bazı kaynaklarda sistematik yöntemlerin yaratıcılığı ve inovasyonu kısıtlayabileceği varsayılsa da, bu durum temelli bir tutumdur. Modelin kullanımı tasarımcıların öngöremediği eylemleri ortaya koyup düşündürerek yenilikçi fikirler geliştirilmesini destekleyebilir.

- Model kapsamının genişletilmesine olanak tanımaktadır. Modelin geliştirilmesi sırasında öngörülememiş olan tasarım hedeflerini desteklemek için tasarım analizi araçları modele sonradan eklenebilir.
- Özgün tepki veren cephe tasarımlarında ürün mimarisi belirlendikten sonra tasarımın yapılabilirliğinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için de bu modelin belirli aşamalarından yararlanılabilir.

8.1.2 Modelin kısıtlamaları

Geliştirilen modelin kullanımını destekleyen güçlü özelliklerin yanı sıra, bazı kısıtlamaları da bulunmaktadır. Bu kısıtlamalar ve aşılmaları için geliştirilen bazı çözüm önerileri aşağıda sıralanmaktadır:

- Yeniden tasarlanan tepki veren cephenin kalitesi, referans cepheden ve modeli kullanan tasarımcıların uzmanlık seviyesinden soyutlanamaz. Bu nedenle, modeli kullanacak uzmanların ve referans cephenin doğru seçimi yeniden tasarlanan cephenin nitelikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir.
- Standart ürünlerle yeniden tasarlanan cephenin performansında referans cepheye göre değişim olması beklenmektedir. Önemli olan, bu değişimin yeni geliştirilen proje için öngörülen sınırlar içinde kalmasıdır.
- Birçok tasarım teorisyeni tasarım sürecinin aşamalı, tekrarlı ve evrimsel bir dönüşüm olarak görülebileceğini savunmaktadır. Geliştirilen bu model de teoride sıralı olmasına rağmen, genellemeye uygun olarak, en iyi çözümü elde etmek için aşamalar arasında ve/veya içinde çoklu tekrarlar gerektirebilmektedir.
- Aşama IV, referans cephe sisteminin yeniden tasarımı, makul bir çözüme ulaşmak için süreç adımları içinde birden fazla tekrar gerektirebildiğinden karmaşıklık düzeyi diğer aşamalara göre yüksektir.
- Mevcut tepki veren cephelerin tasarım kriterlerini, teknik özelliklerini, performans bilgilerini üretim ve montaj detaylarını içeren bir veri tabanı olmaması, Aşama I'de referans cephenin seçimi işlemini zorlaştırmaktadır. Diğer yandan mevcut tepki veren cephelerin fikri mülkiyet hakları yeniden tasarımda dikkate alınmalıdır. Bu sorunun aşılması için proje mükelleflerinden gerekli izinler alınıp projelerin kullanımı ile ilgili yasal

düzenlemeler hazırlanarak, bir tepki veren cephe veri tabanı oluşturulması gerekmektedir.

- Mimari tasarımın genel bir sorunu olarak, ürün veri tabanlarının olmaması yeniden tasarım aşamasında kontrollü bir parça seçim işlemi yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu durum aynı zamanda parçaların birleşim tasarımını da etkilemekte ve ek tasarım tekrarlarına sebep olabilmektedir. Teknik ve fiziksel bilgiler içeren ürün veri tabanlarının oluşturulması mimari detaylandırmanın önemli sorunlarından birini çözecektir.

Yukarıda sıralanan kısıtlamaların çoğunun çözümü bulunmaktadır ve gerekli çalışmaların yapılması durumunda modelin uygulanması üzerindeki olumsuz etkilerinin azalacağı öngörülmektedir. Bu kısıtlamalara rağmen modelin mevcut koşullardaki uygulaması başarı ile sonuçlanmıştır.

8.2 İleride Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler

Tepki veren cephelerin tasarım ve üretimindeki karmaşıklığın azaltılmasında bir adım olarak geliştirilen standart ürünlerle yeniden tasarım modelinin uygulanabilirliği örnek çalışmayla tespit edilmiştir. Dinamik tepki veren cepheler özelinde kurgulanan modelin statik tepki veren cepheler için benzer bir yinelemeli geliştirme döngüsü kullanılarak uyarlaması yapılabilir.

Tepki veren cephelerin yaygın olarak uygulanabilmesi için bir sonraki aşamada geliştirilmesi gereken, tasarım ve üretimdeki karmaşıklığın azaltılmasını sağlayacak konseptler öncelikle modüler, sonra da açık sistem konseptleridir. Gerekli uyum standartları ve modüllerin geliştirilmesi konusunda sektörle iş birliği yapılarak çalışmaların ilerletilmesi yararlı olacaktır. Bu konuyla ilgili ilerlemenin sağlanabilmesi için ekonomik, sosyal ve politik çevrelerin birlikte gelişmesi gerekmektedir.

Yeniden tasarlanan cephelerin uygulanabilirliği, yatırım potansiyeli, pazarlanabilirliği ve çevresel etkileri konusunda bir gösterge sağlayarak daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmeleri için maliyet, çevresel etki ve yaşam döngüsü analizlerinin de yapılması önerilmektedir.

Tepki veren cephe geliştirme süreci, uygun çözüme ulaşmak için, tasarım yönetimi, kontrol ve denetim mühendisliği bakış açılarında ustalık gerektirmektedir. Bu durum farklı sorumlulukları olan pek çok tarafın birlikte çalışmasını gerektirmektedir. Takım entegrasyonunu ve yeterli iletişimi sağlamak için tüm tarafların takip edilebileceği bir dil geliştirmek önemlidir.

Yapı Bilgi Modelleme (BIM), yapı ile ilgili grafik (geometri/biçim vb.) ve alfasayısal (malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü vb.) verilerden oluşan üç boyutlu bir model oluşturarak, bu modelin yapı endüstrisi paydaşları tarafından ortak kullanımını sağlayan bir çalışma yaklaşımı sunmaktadır. Ayrıca karmaşık analiz ve değerlendirme süreçlerinde hızlı ve etkili sonuç alınmasını sağlar. Bu bağlamda yeniden tasarım modelinin bir BIM modülü olarak geliştirilmesinin yolları araştırılmalıdır.

Son olarak, 3 boyutlu model verilerinden nesneler yapmak için malzemelerin genellikle üst üste katmanlar şeklinde birleştirilmesine dayanan eklemeli imalat (*additive manufacturing*) teknolojilerinin gelişmesiyle standart ve özel üretim ürünler arasındaki ayrım da bulanıklaşmaktadır. Üç boyutlu yazıcı, seçmeli lazer sinterleme, seçmeli lazer ergitme gibi eklemeli imalat teknolojilerinin yaygın olarak erişilebilir olması üretim paradigmasını değiştirecektir. Bu konunun yapı endüstrisindeki etkilerinin incelenmesi ve gerekli adaptasyonun sağlanması için çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Abe, T., & Starr, P. (2003). Teaching the writing and role of specifications via a structured teardown process. *Design Studies*, 24(Common Ground), 475-489. doi:10.1016/S0142-694X(03)00037-1

Adams, S. (1989). Practical Buildability. *CIRIA Building Design Report.* London, UK: Butterworths -Heinemann Ltd

Addington M. & Schodek, D. (2007). *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions,* Oxford: Elsevier Architectural Press.

Aelenei, D., **Aelenie, L. & Vieira, C.P.** (2016). Adaptive Façade: concept, applications, research questions. *Energy Procedia 91*, 269 – 275

Aelenei, L., Aelenei, D., Romano, R., Mazzucchelli, E. S., Brzezicki, M., & Rico-Martinez, J. M. (2018). *Case Studies – Adaptive Facade Network,* TU Delft Open for the COST Action 1403 adaptive facade network.

Akadiri, P. O. & Olomolaiye, P. O. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. *Engineering, Construction and Architectural Management,*19 (6), 666-687.

Alalawi, M., Ali, M., Johnson, S., Han, S., & Mohamed, Y. (2015). Constructability: capabilities, implementation, and barriers. *International Construction Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering (ICSC) (5th: 30 June 2015).* Retrieved August 1, 2018, from https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/52660/items/1.0076375

Ali, M.I.O., Laroche, F., Bernard, A., & Remy, S. (2014). Toward a methodological knowledge based approach for partial automation of reverse engineering. *CIRP Design Conference,* Apr 2014, Milan, Italy.

Allen, E. (1993). *Architectural Detailing: Function, Constructability, Aesthetics.* Hoboken, New Jersey: Wiley.

Allen, E., & Rand, P. (2016). *Architectural Detailing: Function, Constructability, Aesthetics.* Hoboken, New Jersey: Wiley.

Altın, M. & Orhon, A. V. (2014). Akıllı yapı cepheleri ve sürdürülebilirlik, *7. Çatı ve Cephe Sempozyumu,* İstanbul, Türkiye: Nisan 3-4.

Altshuller, G. S. (1984). *Creavity As An Exact Science: The Theory of The Solution of Inventive Problems*. New York: Gordon & Breach Publishers.

Anderson, D. M. (2014). *Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production.* CRC Press

Anshuman, S. & Kumar, B. (2005). Intelligent building facades: beyond climatic adaptivity. *International Conference on Computing in Civil Engineering,* DOI: 10.1061/40794 (179) 99.

Arditi, D., Elhassan, A. & Toklu, Y.C. (2002). Constructability analysis in the design firm*. Journal of Construction Engineering & Management*, 128 (2) 117-126.

ASCE. The Construction Management Committee, Construction Division (1991). Constructability and constructability programs: White paper. *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(1), 67-89.

Asimow, M. (1962). *Introduction to Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ,

Attia, S. (2017). Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE. *QScience Connect,* Shaping Qatar's Sustainable Built Environment, 2 (6), 1-13 Retrieved from http://dx.doi.org/10.5339/connect.2017.qgbc.6

Attia, S., & Bashandy, H. (2016). Evaluation of adaptive facades: The case study of AGC Headquarter in Belgium. In Belis, J. & Louter, C., (Ed.), *Challenging Glass 5 -– Conference on Architectural and Structural Applications of Glass.* Ghent, Belgium: Ghent University.

Attia, S., Bilir, S., Safy, T., Struck, C., Loonen, R., & Goia, F. (2018). Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive façade systems. *Energy & Buildings,* 179, 165-182.

Attia, S., Favoino, F., Loonen, R.C.G.M., Petrovski, A., & Monge-Barrio, A. (2015). Adaptive facades system assessment: An initial review. *10th Conference on Advanced Building Skins,* 3-4 November, 1265-1273, Bern, Switzerland.

Avramenko Y. & Kraslawski, A. (2008). *Case Based Design-Applications in Process Engineering.* Springer

Badrous, S. N. S. (2011). *Complexity Of Products And Their Assembly Systems.* Doctor of Philosophy Faculty of Graduate Studies through Industrial and Manufacturing Systems Engineering, University of Windsor.

Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J., Sorenson, K., (2002). *Guidebook to Decision-Making Methods*, WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA. http://emiweb.inel.gov/Nissmg/Guidebook 2002.pdf

Bakti E.S., Trigunarsyah B. (2003). Constructability implementation at corporate level, *The Ninth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction,* p: 88-93

Ballast, D. K. (2010). *Interior detailing: concept to construction.* Hoboken, N.J. : John Wiley & Sons, c2010.

Bandera, C., Filippi, S., & Motyl, B. (2011). A survey on systematic innovation strategies for product design and development. *Proceedings of the IMProVe 2011 International Conference on Innovative Methods in Product Design,* Venice, Italy

Banwell, H. (1964) The Placing and Management of Contracts for Building and Civil Engineering Work (London: HMSO).

Başarır, B., & Altun, M.C. (2017). A classification approach for adaptive façades. In Tavil, A., & Celik, O.C. (Eds.), ICBEST Istanbul: Interdisciplinary Perspectives for Future Building Envelopes, Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University.

Bazrov, B. M. (2018). Assessing the manufacturability of product designs. *Russian Engineering Research,* 38 (9), 672–676.

Beim A. (2013). Tectonic thinking in contemporary industrialized architecture. *Journal of Facade Design and Engineering,* 1, 85–95

Bekdik, B., Pörzgen, J., Bull S. S., & Thuesen, C. (2018). Modularising design processes of façades in Denmark: re-exploring the use of design structure matrix. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1-2), 95-108, DOI:10.1080/17452007.2017.1360760

Bilir, S., & Attia, S. (2017). Performance evaluation of adaptive facades: a case study with electrochromic glazing. *Next Facades COST Action TU1403 Adaptive Facades Network Conference*, TUM Department of Architecture, Munich, Germany.

Blessing, L. (2002) What is this thing called design research? In: Proceedings of the 2002 international CIRP design seminar, Hong Kong, 16–18 May 2002, pp 1–6

Blessing L. T. M., & Chakrabarti A. (Eds.) (2014). *An Anthology of Theories and Models of Design*. London: Springer

Blok, R., Van Herwijnen, F. (2006). Quantifying structural flexibility for performance based life cycle design of buildings, In Scheublin, F. ve Pronk A.D.C (Eds.), *Proceedings of the joint CIB, Tensinet, IASS International Conference on Adaptibility in Design and Construction, Adaptables 2006,* Eindhoven, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Boeijen, A. V. & Daalhuizen, J. (2010). *Delft Design Guide*. Available on the Internet: TU Delft OpenCourseWare: http://ocw.tudelft.nl

Boer, B. D., Ruijg, G., Loonen, R. R., Trcka, M. M., Hensen, J. J., & Kornaat, W. (2011). Climate adaptive building shells for the future – optimization with an inverse modelling approach. *In Proceedings ECEEE Summer Study 2011*, Belambra Presqu'île de Giens, France, June 2011, 1413-1422

Bogue, R. (2012). Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. *Assembly Automation,* 32(2), 112–118

Bolbroe, C. (2014). Adaptive architecture. *Non-Refereed Proceedings of the 2nd Media Architecture Biennale Conference: World Cities.* Aarhus, Denmark, MAB14

Bolger, F., & Wright, G. (1994). Assessing the quality of expert judgment: Issues and analysis. *Decision Support Systems*, 11(1), 1-24.

Boothroyd, G. (1996). Design for manufacture and assembly: The boothroyd-dewhurst experience. In G. Q. Huang, (Eds.) *Design For X Concurrent Engineering Imperatives.* Springer Science+Business Media Dordrecht.

Boswell, C. K. (2013). *Exterior Building Enclosures Design Process and Composition for Innovative Facades.* New Jersey: Wiley.

BRI, (1970). *On the Systematic Method for Selecting Building Materials, Fourth Report-Functional Requirement for Building Elements and Components in Dwellings,* Report No. 58, The Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government.

Brock, L. (2005). Designing the Exterior Wall: An Architectural Guide To The Vertical Envelope. Hoboken, N.J: John Wiley.

Brookes A. J. & Grech, C. (1997). *The Building Envelope and Connections.* Architectural Press, Oxford

Buchert, T., Halstenberg, F. A., Bonvoisin, J., Lindow, K. & Stark, R. (2017). Target-driven selection and scheduling of methods for sustainable product development. Journal of Cleaner Production, 161, 403-421.

Buxton P. (2013) Rapid response unit. *RIBA Journal*, 8/2013, 46-48.

Çağnan, Ç. & Özer, H. (2014). Yapı üretiminde sistem yaklaşımı ile yapı ürünü performanslarının çevre-ekoloji ve yasal zorunluklar bağlamında test edilmesine yönelik bir model önerisi. *Megaron*, 9(4), 255-270.

Cantamessa M., & Montagna F. (2016). Design and redesign of product architecture. *In: Management of Innovation and Product Development.* London: Springer. doi:10.1007/978-1-4471-6723-5_16

Chan J. W.K. & Tong, T. K. L. (2007). Multi-criteria material selections and end-of-life product strategy: Grey relational analysis approach. *Materials & Design,* 28(5), 1539-1546

Chang, G. A. & Peterson, W. R. (2012). *AC 2012-5319: Using Design For Assembly Methodology To Improve Product Development And Design Learning At MSU.* American Society for Engineering Education.

Charles, J. A., Crane, F. A. A., & Furness J. A. G. (2001). *Selection and Use Of Engineering Materials.* Oxford: Butterworth-Heinemann

Chechurin, L., & Borgianni, Y. (2016). *Understanding TRIZ through the review of top cited publications.* Computers in Industry, 82, 119-134. doi:10.1016/j.compind.2016.06.002

Chen, G. & Clements-Croome, D. J. (2004). The assessment of building facade systems. *IDCOP Scientific Report Series.* University of Reading and University of Norwich.

Chen, Y., Peng, Q., & Gu, P. (2017). Methods and tools for the optimal adaptable design of open-architecture products. *The International Journal Advanced Manufacturing Technology,* (1-4), 991. doi:10.1007/s00170-017-0925-6

Chudley, R. & Greeno, R. (2008). *Building Construction Handbook* (Seventh Edition), Elsevier, Oxford

Constructability Review Process. (t.y.). Erişim tarihi: 4 Mayıs 2018, http://www.pcassoc.com/tools/constructability-review-process/

Construction Industry Institute (CII) (1986), *Constructability: A Primer,* Construction Industry Institute, University of Texas, Austin, TX.

Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1983), *Buildability: An Assessment,* Special Publication 26, London: Construction Industry Research and Information Association.

Cooke, N. J. (1999). Knowledge elicitation. In. F.T. Durso, (Ed.), *Handbook of Applied Cognition,* 479-509.

Cross, N. (2004). Expertise in design: an overview. *Design Studies*, 25(5), 427–441.

Cross, N. (2005). *Engineering Design Methods: Strategies For Product Design* (3rd ed.). Chichester: John Wıley & Sons Ltd.

Crowther P. (2002). Design for buildability and the deconstruction consequences. *CIB Task Group 39 meeting,* Germany.

Dandy, G., Daniell, T., Foley, B. & Warner, R. (2018). *Planning & Design Of Engineering Systems*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group.

De Temmerman, N., Alegria Mira, L, Vergauwen, A., Hendrickx, H.& De Wilde, W. P. (2012). Transformable structures in architectural engineering. In De Wilde, W. P., Brebbia, C. A.& Hernandez, S. (Eds.) *High Performance Structure and Materials VI,* WITPress

de Haas, W. (2013). *Sustainable Building Components - The Benefits Of Flexible İnstallations* (Master Thesis). University of Twente.

de Wilde, P. (2002) Design analysis integration: supporting the selection of energy saving building components. *Building and Environment* 37(8-9): 807–16.

Delice, Ş. (2011). Yapılabilirlik ölçütünün bina üretim sürecinde kulanılması için bir kontrol listesi önerisi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

d'Estre´e Sterk, T. (2005). Building Upon Negroponte: A Hybridized Model Of Control Suitable For Responsive Architecture. *Automation in Construction 14* (2005) 225– 232

Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2012). *Engineering Design* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Higher Education.

DIN 8593 Manufacturing processes joining. *Standard by Deutsches Institut Fur Normung E.V.* (German National Standard), 09/01/2003

Dorst, K. & Reymen, I. (2004). Levels of expertise in design education. *International Engineering and Product Design Education Conference.* Delft, The Netherlands, 2-3 September 2004.

Dorst, K. (2004). On the problem of design problems - Problem solving and design expertise. *Journal of Design Research,* 4(2), 185-196.

Douglas, E.E. & Gransberg, D.D. (2009). Implementing Project Constructability. AACE International Recommended Practice No. 30R-03. TCM Framework: 11.5 – Value Management and Value Improving Practices (VIPs). Available from: www.aacei.org/technical/rps/30R-03.pdf

Dreyfus, H.L. (2003). *Can there be a better source of meaning than everyday practices?* Unpublished lecture notes of the second 2003 Spinoza Lecture at the University of Amsterdam.

Durmisevic, E. (2006). *Transformable Building Structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction* (Doktora tezi). Technische Universiteit Delft.

Edis E., & Özkan E. (2007). Mimari yapısal öğelerin tasarımında teknoloji-tasarım etkileŞimi, *İTÜ dergisi*, 6 (1), 31-42

Eekhout, M. (2008). Methodology for Product Development in Architecture. NL: Ios Press

Emmerson, S.H. (1962). Survey of Problems Before the Construction Industries London: HMSO

Emmitt, S. & Gorse, C.A. (2014). *Barry's Advanced Construction Of Buildings* (3rd edition). John Wiley & Sons, Ltd.

Emmitt, S. (2002). *Architectural Technology.* Blackwell Science Ltd

Emmitt, S., Olie, J. & Schmid, P. (2004). *Principles of Architectural Detailing.* Blackwell Publishing Ltd.

Eng, C. S. (2007) Buildability/constructability. In (eds.) Best, R., de Valence, G. (2003). Design and Construction. London: Routledge.

European Commission (2010). *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Union, 53, 13-35.

Favoino, F., Loonen, R. C. G. M., Doya, M., Goia, F., Bedon, C., & Babich, F. (2018). *Building Performance Simulation and Characterisation of Adaptive Facades – Adaptive Facade Network.* TU Delft Open for the COST Action 1403 adaptive facade network.

Ferguson, S., Siddiqi, A., Lewis, K., & De Weck, O. (2007). Flexible and reconfigurable systems: Nomenclature and review. *ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference,* Las Vegas, Nevada, USA, 249-263.

Fernandez, I. (2014). Time scale and adaptive envelopes – Minutes or decades? *Proceedings of FACADE2014 - Conference on Building Envelopes.* KKL Luzern

Finger, S. & Dixon, J. R. (1989) A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-based Models of Design Processes. *Research in Engineering Design*, 1(1):51–67.

Firesmith, D. (2015). *Open System Architectures: When and Where to be Closed.* Retrieved from https://insights.sei.cmu.edu/sei_blog/2015/10/open-system-architecture-when-and-where-to-be-closed.html

Fischer, M. & Tatum, C. B. (1997). Characteristics of design-relevant constructability knowledge. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management,* 123(3), 253–260.

Fisher, D. J. (2007). An overview of constructability tools. In Gambatese, J. A., Pocock, J. B., & Dunston, P. S. (Ed.), *Constructability Concepts and Practice.* Reston, Va: American Society of Civil Engineers (ASCE).

Fisher, D. J., Anderson, S. D. & Rahman, S. P. (2000). Integrating constructability tools into constructability review process. *Journal of Construction Engineering and Management,* 126 (2), 89-96.

Fogliatto, F. S., Da Silveira, G.J.C., Borenstein, D. (2012) The mass customization decade: An updated review of the literature. Int. J. Production Economics, Sayı138, 14–25.

Fortmeyer, R. M., & Linn, C. D. (2014). *Kinetic architecture: Designs for active envelopes.* Mulgrave, Victoria: Images Publishing Group.

Fox M.A. & Yeh, B.P. (1999) Intelligent kinetic systems in architecture, In Proceedings of *Managing Interactions in Smart Environments* (MANSE).

Fox, M. A., & Kemp, M., (2009). *Interactive Architecture*, New York: Princeton Architectural Press.

Fox, S., Marsh, L., & Cockerham, G. (2001). Design for manufacture: a strategy for successful application to buildings. *Construction Management and Economics,* 19(5), 493-502. doi:10.1080/01446190110044861

Ganah, A., Anumba, C. & Bouchlaghem, N. (2000). The use of visualization to communicate design information to construction sites. *Rep., ARCOM,* Glasgow, U.K., 833–842.

Gericke, K. & Blessing, L. (2011). Comparisons of design methodologies and process models across disciplines: A literature review. Proceedings of the *18th International Conference on Engineering Design*, Design Society, Copenhagen: Denmark.

Gerth, R., Boqvist, A., Bjelkemyr, M., & Lindberg, B. (2013). Design for construction: utilizing production experiences in development. *Construction Management and Economics,* 31(2), 135-150. doi:10.1080/01446193.2012.756142

Gibson, G. E., McGinnis, C. I., Flanigan, W. S., & Wood, J. E. (1996). Constructability in the public sector. *ASCEJ Const. Eng. Mgmt.,* 122(3), 274-280.

Gonnet, S., Henning, G. & Leone, H. (2007). A model for capturing and representing the engineering design process. *Expert Systems with Applications*, 33 (4), 881-902.

Gosztonyi, S. (2015). Adaptive Façade – which criteria are needed? In Pottgiesser, U., Hemmerling, M. & Böke, J. (Eds.), *Proceedings of Façade 2015 Computational Optimisation.* Sweden, Europe: HS OWL, Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur.

Gowri, K. (1990). *Knowledge-Based System Approach To Building Envelope Design* (Doctoral dissertation). Concordia University. Available from: BASE, Ipswich, MA.

Gowri, K. (1992). Building codes and performance standards as knowledge- bases for design. *Proceedings Joint CIB Workshops on Computers and Information in Construction,* Montreal, 12-15 May 1992, 235-24.

Graner, M., & Magdalena Mißler-Behr. (2013). Key determinants of the successful adoption of new product development methods. European Journal of Innovation Management, 16(3), 301-316. doi:http://dx.doi.org/10.1108/EJIM-08-2012-0084

Güncü A., & Kurnuç S. A., (2013). Güneş enerjisine dayalı yenilikçi kinetik yapı kabuğu uygulamaları. *I.Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu (ISITES2013),* Sakarya, Türkıye, 7-9 Haziran 2013,1292-1302

Gür, V. & Aygün, M. (2008). Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi, *Itü Dergisi/A Mimarlık, Planlama, Tasarım,* Cilt:7, Sayı:1, 74-82

Graner, M., & Mißler-Behr. M. (2013). Key determinants of the successful adoption of new product development methods. *European Journal of Innovation Management,* 16 (3), 301-316.

Haik, Y., & Shahin, T. (2011). *Engineering Design Process* (2nd ed.). Stamford, USA: Cengage Learning.

Han, Y. H., & Lee, K. (2006). A case-based framework for reuse of previous design concepts in conceptual synthesis of mechanisms. *Computers in Industry,* 57(4), 305-318. doi:10.1016/j.compind.2005.09.005

Hancher, D. E. & Goodrum, P. M. (2007). Constructability issues and review processes. In Gambatese, J. A., Pocock, J. B., & Dunston, P. S. (Ed.), *Constructability Concepts and Practice*. Reston, Va: American Society of Civil Engineers (ASCE).

Harris, J.S. (1961) 'New Product Profile Chart', Chemical and Engineering News, Vol. 39, No. 16, pp.110-118.

Hassan, Z. (1997). *Conplan: Construction planning and buildability evaluation in an integrated and intelligent construction environment* (Doktora tezi). T.I.M.E Research Institute Department of Surveying University of Salford, Salford, UK

Hathaway, E.B. (2015). Dynamic, adaptive building envelopes. In B. Kolarevic, V. Parlac (Eds.), *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change* (pp.69-100). New York: Routledge

Heiselberg, P. (2012). *IEA - ECBCS Annex 44: Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings.* AECOM ltd.

Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. (2004). *Facade Construction Manual.* Boston: Birkhäuser-Publishers for Architecture.

Heydari, B., Mosleh, M. & Dalili, K. (2016) From modular to distributed open architectures: A unified decision framework. Systems Engineering 19 (3), 252-266

Higgin, G. & Jessop, N. (1963). Communications in the Building Industry: The Report of a Pilot Study. London: Tavistock.

Horowitz, R. (2001). ASIT's five thinking tools with examples. *The TRIZ Journal*, July 2001, available online at http://www.triz-journal.com

Horváth, I. (2004). A treatise on order in engineering design research. Research in Engineering Design, December 2004, Volume 15, Issue 3, pp 155–181. https://doi.org/10.1007/s00163-004-0052-x

Howard, T. J., Culley, S. J., & Dekoninck, E., (2008). Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29, 160-180.

Howard, T. J., Culley, S. J., & Dekoninck, E., (2007). Creativity in the engineering design process. *International Conference On Engineering Design, ICED'07,* Cıte Des Scıences Et De L'ındustrıe, Paris, France.

Hu, S. J. (2013) Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization. Procedia CIRP 7 (2013), 3 – 8

Huang, G. Q. (1996). *Design For X Concurrent Engineering Imperatives.* Springer Science+Business Media Dordrecht.

Hubka, V. & Eder, W. E. (1988). Theory of technical systems: A total concept theory for engineering design. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hvam, L., Mortensen, N. H., Thuesen, C., & Haug, A. (2013). Conceptualizing the use of system products and system deliveries in the building industry. In P. A. E. Piroozfar, & F. T. Piller (Eds.), *Mass Customisation and Personalisation in Architecture and Construction*, Routledge.

Ichida, T. & Voigt, E. C. (1996). *Product Design Review: A Method for Error-Free Product Development.* Portland, Or: Productivity Press.

IPENZ (2008). Constructability, New Zealand.

ISO 9699 (1994). Performance standards in building, Checklist for briefing, Contents of brief for building design Retrieved March 18, 2018, from https://www.iso.org/standard/17555.html.

ISO 19208 (2016). Framework for specifying performance in buildings. Retrieved March 18, 2018, from https://www.iso.org/standard/63999.html.

Jager, A. (2002). Industrial design methods. In de Jong, T. M. & van der Voordt, D. J. M. (Eds.) *Ways To Study And Research: Urban, Architectural, And Technical Design.* Delft, The Netherlands: DUP Science. Retrieved from http://0-search.ebscohost.com.divit.library.itu.edu.tr/login.aspx?

Jahan, A., Edwards, K. L., & Bahraminasab, M. (2016). *Multi-Criteria Decision Analysis For Supporting The Selection Of Engineering Materials In Product Design.* Burlington: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.

Jensen, P. (2014). *Configuration Of Platform Architectures In Construction* (Doctoral dissertation). Sweden, Europe: Luleå tekniska universitet, Byggkonstruktion och -produktion

Jergeas, G. & Van der Put, J. (2001). Benefits of constructability on construction projects. Journal Of Construction Engineering & Management, 127(4), 281.

Jin, Q. & Overand, M. (2014). A prototype whole-life value optimization tool for façade design, *Journal of Building Performance Simulation,* 7(3), 217-232.

Jones, J. C. (1992). Design methods (2. bs. ed.). New York: Van Nostrand Reinhold.

Junior Montanha, I. R., Ogliari A., Back N. (2007). Guidelines for reverse engineering process modeling of technical systems. In: Loureiro G., Curran R. (eds.) *Complex Systems Concurrent Engineering*. London: Springer.

Juvinall, R. C., & Marshek K.M. (2012). *Fundamentals of Machine Component Design.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Kamrani A. K. & Salhieh, A. M. (2002). *Product Design for Modularity.* Springer Science+Business Media, LLC, New York

Karanouh, A. & Kerber, E. (2015). Innovations in dynamic architecture: The Al-Bahr Towers design and delivery of complex facades. Journal of Facade Design and Engineering 3 (2015), 185–221.

Kendall, S. H. (2013). Under what conditions are "Industrialization" and "Integration" useful concepts in the building sector?. In Wallis, I., Bilan, L., Smith, M., & Kazi, A. S. (Eds), *Industrialised, Integrated, Intelligent Sustainable Construction.* I3CON in collaboration with BSRIA.

Khan, S. (2015). An overview of constructability: A management tool for architects. *Architecture Research,* 5(5), 125-139, DOI: 10.5923/j.arch.20150505.01

Kifokeris, D. & Xenidis, Y. (2017). Constructability: Outline of past, present and future research. *Journal of Construction Engineering Management,* 143 (8)

Kim, K. M. & Lee K. P. (2010). Two types of design approaches regarding industrial design and engineering design in product design. *In Proceedings of International Design Conference - Design 2010* Dubrovnik - Croatia, May 17 - 20, 2010.

Kim, S. Y. & Kim, J. J. (2007) Influence of light fluctuation on occupant visual perception. *Building and Environment*, 42(8), 2888-2899.

Kirkegaard, P. H. & Foged, H. I. W. (2011). *Development and Evaluation of a Responsive Building Envelope,* London: University of Nottingham.

Klein, T. (2013). *Integral Facade Construction-Towards A New Product Architecture For Curtain Walls* (Doctoral dissertation). Delft Technical University, Delft 2013.

Klett, J. (2009). *Systematic Design of Connections under Consideration of Assembly and Disassembly related Properties.* Doktora tezi. Berlin Teknik Üniversitesi, Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme.

Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2014). *Façades: Principles Of Construction*. Boston: Birkhäuser.

Koch, J. E., Gransberg, D. D., & Molenaar, K. R. (2010). *Project administration for design-build contracts: a primer for owners, engineers, and contractors.* Reston, Va: ASCE Press/American Society of Civil Engineers.

Kolarevic, B. (2015). Towards architecture of change. In Kolarevic, B. & Parlac V. (Eds.), *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change* (pp.1-17). New York: Routledge

Kolarevic, B. & Parlac, V. (2015). Adaptive, Responsive Building Skins. In B. Kolarevic, V. Parlac (Eds.), *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change*, New York: Routledge.

Kolmogorov, A. N. (1983) Combinatorial Foundations of Information Theory and the Calculus of Probability, Russian Mathematical Surveys, 38, pp 29-40.

Koren, Y., Hu, S. J., Peihua G., & Shpitalni, M. (2013). Open-architecture products. *CIRP Annals*, 62(2), 719-729, ISSN 0007-8506.

Koren, Y., Shpitalni, M., Gu, P. & Hu, S. J. (2015). Product Design for Mass-Individualization, *In Procedia CIRP*, 36, 64-71, ISSN 2212-8271.

Kragh, M. (2011). Façade Engineering and the design team of the future. *Society of Facade Engineering. Executive Boardroom Commentary*, 30-36. Retrieved from http://www.cibse.org/getmedia/28be6591-0d43-429e-a14c-8c64c7ecb315/kragh-paper.pdf.aspx

Kuo, T. C., Huang, S. H., & Zhang, H. C. (2001). Design for manufacturability and design for "x": concepts, applications, and perspectives. *Computers & Industrial Engineering,* 41, 241-260.

Lam, P. T. I. & Wong, F. W. H. (2011). A comparative study of buildability perspectives between clients, consultants and contractors. *Construction Innovation,* 11 (3), 305-320.

Lampel, J., Mintzberg, H. (1996) Customizing customization. *Sloan Management Review*, 38, 21–30.

Lawson, B. R. (1970). Open and closed ended problem solving in architectural design. In Honikman (Eds.), 1971. *A.P. 1970 Conference*, London: RIBA

Leaney P. G., & Wittenberg, G. (1992). Design for assembling: The evaluation methods of Hitachi, Boothroyd and Lucas. *Assembly Automation*, 12(2), 8-17

Leenders, R. T. A., Van Engelen, J. M., & Kratzer, J., (2007). Systematic design methods and the creative performance of new product teams: do they contradict or complement each other? *Journal of Product Innovation Management,* 24(2):166 – 179

Lefever, D. D., & Wood, K. L. (1996). Design for assembly techniques in reverse engineering and redesign. *ASME Design Theory and Methodology Conference.* Retrieved from https://www.sutd.edu.sg/cmsresource/idc/papers/1996-_Design_for_Assembly_Techniques_in_Reverse_Engineering_and_Redesign-DFA-sop_force_flow.pdf

Li, Z. S., Kou, F. H., Cheng, X. C., & Wang, T. (2006). Model-based product redesign. *International Journal of Computer Science and Network Security,* 6(1).

Lindahl, M. (2005). *Engineering Designers' Requirements on Design for Environment Methods and Tools* (Doctoral Thesis). KTH, Stockholm.

Liu, T.H., & Fischer, G.W. (1994). Assembly evaluation method for PDES/STEP-based mechanical systems. *Journal of Design and Manufacture*, 4, 1-19.

Loonen, R.C.G.M., Trcka, M., & Hensen, J. L.M. (2011). Exploring the potential of climate adaptive building shells. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney, 14-16 November.

Loonen, R.C.G.M. (2010). *Climate Adaptive Building Shells: What Can We Simulate?* MSc thesis, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

Loonen, R.C.G.M. (2013). Climate adaptive building shells. Retrieved from http://pinterest.com/CABSoverview/

Loonen, R.C.G.M., Favoino, F., Hensen, J.L.M., & Overend, M. (2017). Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. *Journal of Building Performance Simulation,* 10:2, 205-223

Loonen, R.C.G.M., Rico-Martinez J.M., Favoino F., Brzezicki, M., Menezo, C., La Ferla G., & Aelenei, L. (2015). Design for façade adaptability – Towards a unified and systematic characterization. *Proceedings of 10th Energy Forum - Advanced Building Skins*, Bern, Switzerland, 1274–84.

Loonen, R.C.G.M., Trcka, M., Cóstola, D. & Hensen J. L.M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483–493, doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016

Lucchetta, G., Bariani, P. F., & Knight, W. A. (2005). Integrated design analysis for product simplification. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 54(1), 147-150.

Magee, C. L., De Weck, O. L. (2004). Complex System Classification. *Fourteenth Annual International Symposium of the International Council On Systems Engineering (INCOSE),*20 June – 24 June 2004

Maneschi, K. & Melhado, S. (2010). Scope of design for production of partition walls and facade coverings. *Architectural Engineering And Design Management,* 6, 3–17.

Mann, D., & Cathain, C. (2005). Using TRIZ in Architecture: First Steps. *The Triz Journal,* Retrieved from http://triz-journal.com/using-triz-architecture-first-steps/

Marcel, B. (2012). International Façades - CROFT. Climate related optimized façade technologies. *A+BE: Architecture And The Built Environment*, 1, 1-360 doi:10.7480/abe.2012.1

Marradi, B., & Overend, M. (2014). Glass façades design process: Interviewing the experts. In Madeo F. & Schnabel, M. A. (eds.), Across: Architectural Research through to Practice: 48th International Conference of the Architectural Science Association 2014, The Architectural Science Association & Genova University Press.

Martin, M.V., & Ishii, K. (1996). Design for variety. A Methodology for understanding the costs of product proliferation. *Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference,* August 18–22.

Mass Customization: What, Why, How, and Examples, (2015). Erişim: 04 Temmuz 2017, *https://www.cleverism.com/mass-customization-what-why-how/>*

McGeorge, D. & Palmer, A. (1997). Construction Management – New Directions (Oxford: Blackwell Science).

Meagher, M. (2015). Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. *Frontiers of Architectural Research,* 4(2), 159-165.

Mehta, M., Scarborough, W. & Armpriest, D. (2013). *Building Construction: Principles, Materials, And Systems.* Pearson

Meijs, M., & Knaack, U. (2009). *Components And Connections: Principles Of Construction.* Basel; Boston: Birkhäuser

Meinel, C., & Leifer, L. (2012). Design thinking research. In H. Plattner, C. Meinel, & L. Leifer (Eds.), *Design Thinking Research: Studying Co-Creation İn Practice.* Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Mendelsohn, R. (1997). The constructability review process: A constructor's perspective. *Journal of Management in Engineering,* 13 (3), 17–19.

Meyer, D. (2010). Test Based facade innovation. Knaack, U. & Klein, T. (eds), *The Future Envelope-3: The Making of.* IOS Press.

Mikkola, J. H. (2007). Management of Product Architecture Modularity for Mass Customization: Modeling and Theoretical Considerations. *IEEE Transactions On Engineering Management,* 54(1).

Mital, A. (2008). *Product Development: A Structured Approach To Consumer Product Development, Design, And Manufacture*. Amsterdam; Boston: Elsevier/Butterworth-Heinemann.

Mital, A., Desai, A., Subramanian, A. & Mital, A. (2014). *Product Development: A Structured Approach To Consumer Product Development, Design, And Manufacture.* (2nd ed.) Waltham, MA: Elsevier. Retrieved from http://0search.ebscohost.com.divit.library.itu.edu.tr/login.aspx?direct=true&db=cat01696a&AN=itu.b2795094&lang=tr&site=eds-live

Modrak, V., Bednar, S., & Soltysova, Z. (2016). Application of axiomatic design-based complexity measure in mass customization. Paper presented at the *26th CIRP Design Conference, Procedia CIRP*, 50, 607-612.

Moghtadernejad, S., Chouinard, L. E., & Mirza, M. S. (2018). Multi-criteria decision-making methods for preliminary design of sustainable facades. *Journal of Building Engineering*, 19, 181–190.

Molloy, O., Warman, E. A., & Tilley, S. (2012). *Design For Manufacturing And Assembly: Concepts, Architectures And Implementation.* Springer Science & Business Media.

Mols, T., Blumberga, A., & Karklina, I. (2017). Evaluation of climate adaptive building shells: multi-criteria analysis. *Energy Procedia*, 128, 292-296.

Moloney, J. (2011). *Designing Kinetics For Architectural Facades: State Change.* Abingdon, Oxon [England] ; New York, NY: Routledge, 2011.

Mourtzouchou, M. (2018). *Multi-Functional Facade Module For Different Climate Conditions* (Yüksek Lisans Tezi). Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment.

Nadoushani, Z. S. M., Akbarnezhad, A., Jornet, J. F., & Xiao, J. (2017). Multi-criteria selection of façade systems based on sustainability criteria. *Building and Environment*, 121, 67-78.

Natee, S., Low, S. P., & Teo, E. A. (2016). *Quality Function Deployment for Buildable and Sustainable Construction.* Singapore: Springer.

Nima, M.A., Abdul-Kadir, M.R. & Jaafar, M.S. (2001). Evaluation of the role of the contractor's personnel in enhancing project constructability. *Structural Survey,* 19(4), 193-200.

Nordlund, M., Kim, S., Tate, D., Lee, T., & Oh, H. (2016). Axiomatic design: Making the abstract concrete. Paper presented at the *26th CIRP Design Conference, Procedia CIRP*, 50, 216-221.

Oosterhuis, K. (2003). *Hyperbodies: Towards An E-Motive Architecture*, Basel; Boston; Berlin: Birkhauser.

Oborn, P. (2014). *Al Bahr Towers: The Abu Dhabi Investment Council Headquarters.* Wiley.

O'Connor, J. T., Rusch, S. E., & Schulz, M. J. (1987). Constructability concepts for engineering and procurement. *Journal of Construction Engineering and Management,* 113(2), 235-248.

O'Connor, J. T. & Miller, S. J. (1994). Barriers to constructability implementation. *ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities,* May, 8 (2), 110-128.

Ogwezi, B., Bonser, R., Cook, G, & Sakula, J. (2011). Multifunctional, Adaptable Facades. *TSBE EngD Conference,* TSBE Centre, University of Reading, Whiteknights, RG6 6AF, 5th July 2011.

Oliveira, L. A., & Melhado, S. B. (2011). Conceptual Model for the Integrated Design of Building Façades. *Architectural Engineering & Design Management,* 7(3), 190-204.

Ong, S. K., Nee, A. C., & Xu, Q. L. (2008). *Design Reuse in Product Development Modeling, Analysis and Optimization.* Hackensack, NJ: World Scientific.

Opfer, N. D. (1994). Improving constructability in concrete construction. *Transactions of AACE International*, MAT.3.1-MAT.3.5.

Osipova, E. & Eriksson, P. E. (2011). How procurement options influence risk management in construction projects. *Construction Management and Economics,* 29 (11), 1149-1158.

Othman, A. A. E. (2011). Improving Building Performance through Integrating Constructability in the Design Process. *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal,* 3 (2), 333-347.

Otto, K. N. & Wood, K. L. (1996). A Reverse Engineering and Redesign Methodology for Product Evolution. In proceedings of the 1996 *ASME Design Theory and Methodology Conference,* Irvine, California.

Otto, K. N. & Wood, K. L. (2001). *Product Design: Techniques In Reverse Engineering And New Product Development.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Otto, K. N. & Wood, K. L. (1998). Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. *Research in Engineering Design*, 10 (4), 226-243.

Pahl, G., Beitz, W., & Wallace, K. (1996). *Engineering Design: A Systematic Approach.* London: Springer.

Park, J. J. & Dave, B. (2013). Bio-inspired responsive façades. *2nd Central European Symposium on Building Physics,* Vienna, Austria

Pavitt, T. C., & Gibb, A.G.F. (2003). Interface management within construction: In particular, building facade. *Journal of Construction Engineering and Management,* 129(1), 8. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364

Pedgley, O. (2007). Capturing and analysing own design activity. *Design Studies*, (5), 463.

Pepper III, H. C. (1994). The benefits of constructability reviews during the design of environmental capital projects. *Cost Engineering*, 36(2), 19-21.

Perino, M. & Serra, V. (2015). Switching from static to adaptable and dynamic building envelopes: A paradigm shift for the energy efficiency in buildings. *Journal Of Facade Design And Engineering*, 3 (2), 143-163, doi:10.3233/FDE-150039

Piller, F. T., & Tseng, M. M. (2010). *Handbook of Research in Mass Customization and Personalization*, 2. Cilt. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Pine, B. J. (1993). *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Boston, Harvard Business School Press.

Piroozfar, A. E. (2005). Mass-customisation: applicability and complications in building industry. In Piller, F. & Tseng, M. (Eds.), *3rd International World Congress on Mass Customization and Personalization (MCPC 2005)*, Hong Kong.

Piroozfar, P. A. E. (2013). Advancements of mass customisation in service and manufacturing industries: lessons for the built environment. In Piroozfar, P. A. E. & Piller, F. T. (Eds.), *Mass Customisation And Personalisation In Architecture And Construction.* New York: Routledge.

Piroozfar, P. A. E. & Farr, E. R. P. (2015). Visual perception and the choice of systemised building façades. *Architectural Engineering and Design Management,* 11:1, 65-81, DOI: 10.1080/17452007.2013.775103

Piroozfar, P. A. E. & Piller, F. T. (2013). *Mass Customisation And Personalisation In Architecture And Construction.* New York: Routledge.

Plowright, P. D. (2014). *Revealing Architectural Design: Methods, Frameworks And Tools.* Routledge: NewYork.

Poh, P. S. H. & Chen, J. (1998). The Singapore buildable design appraisal system: a preliminary review of the relationship between buildability, site productivity and cost. *Construction Management and Economics*,16 (6), 681-92.

Pugh, S. (1981). Concept selection: a method that works. In: Hubka, V. (Ed.), *Review of Design Methodology. Proceedings International Conference on Engineering Design,* March 1981, Rome. Zürich: Heurista, 497 – 506.

Pugh, S. (1996). *Creating Innovative Products Using Total Design.* Addison-Wesley Massachusetts.

Ramy, M. (2018). *Developing A Strategic Framework For The Design Of Adaptive Building Envelopes* (Master's thesis). Heriot-Watt University, School of the Built Environment, Architectural Engineering.

Ramzy, N. & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*, 1(3), 170-177.

Raviv, G., Shapira, A. & Sacks, R. (2012). Relationships between methods for constructability analysis during design and constructability failures in projects. *Construction Research Congress.* West Lafayette, IN, USA

RIBA Plan of Work (2016). RIBA Plan of Work 2013 Designing for Manufacture and Assembly. RIBA Publishing

Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D. & Mazzucchelli, E. S. (2018). What is an adaptive façade? Analysis of recent terms and definitions from an ınternational perspective. *Journal Of Facade Design & Engineering,* 6 (3), 65-76.

Roozenburg, N. F. M., & Eekels, J. (1995). *Product Design: Fundamentals And Methods.* Chichester: Wiley.

Rush, R. D. (1986). *The Building Systems Integration Handbook*. Wiley, New York, USA

Solla, I. F. (2014). Time Scale and Adaptive Envelopes-Minutes or Decades? In proceedings of Luible, A. (Eds.), *Facade 2014- Conference on Building Envelopes*.

Samyn, P.,& De Coninck, J. (2014). *AGC Glass Building.* Lannoo Publishers.

Sarja, A. (1998). *Open and Industrialised Building.* CIB Publication: 222 Report of Working Commission W24. London: E & FN Spon.

Scheepmaker, J. (2010). Architectural mass production. Knaack, U. & Klein, T. (eds), *The Future Envelope-3: The Making of.* IOS Press.

Schittich, C. (ed.), (2005). Schulungsgebäude in Unterschleißheim. DETAIL Zeitschrift für Architektur- Steel Construction, German/English Edition 2005(4), 325-330.

Schittich, C., Lang, W., Krippner, R., Green, P., & Taylor, I. (2006). *Building Skins.* München: Edition Detail.

Schnädelbach, H. (2010). Adaptive architecture – A conceptual framework, In proceedings of Geelhaar, J., Eckardt, F., Rudolf, B., Zierold, S, & Markert, M. (Eds.), *MediaCity: Interaction of Architecture, Media and Social Phenomena,* Weimar, Germany, 523-555

Schulungsgebäude in Unterschleißheim (2018, January). Retrieved 20 January 2018 from https://inspiration.detail.de/schulungsgebaeude-in-unterschleissheim-107778.html

Schumacher, M., Schaeffer, O., & Vogt, M. (2010). *Move: Architecure In Motion-Dynamic Components And Elements.* Basel; London: Birkhäuser.

Schwede, D., & Störl, E. (2016). System for the analysis and design for disassembly and recycling in the construction industry. Central Europe towards Sustainable Building Prague 2016 (CESB16)

Shetty, D. (2016). *Product Design For Engineers.* Boston: Cengage Learning.

Singhaputtangkul, N. (2013). Knowledge-Based Decision Support System Quality Function Deployment (Kbdss-Qfd) Tool For Assessment Of Building Envelope Materials And Designs In The Early Design Stage, Doktora tezi, Department Of Building School Of Design And Environment National University Of Singapore.

Smith, J. G. (2016). Constructability reviews. Erişim tarihi: 4 Mayıs 2017, https://www.wbdg.org/resources/constructability-reviews

Smith, R. E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide To Modular Design And Construction.* Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.

Smith, S., Smith, G., & Shen Y.T. (2012). Redesign for product innovation. *Design Studies*, 33 (2), 160-184, ISSN 0142-694X

Southern Company Operations (2017). *Constructability Review Guideline.*

Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. J. (2008). *Components And Systems: Modular Construction: Design, Structure, New Technologies.* München: Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation; Basel [Switzerland]; Boston: Birkhäuser

Struck C., Almeida M. G., Monteiro da Silva S., Mateus R., Lemarchand P., Petrovski A., ….. de Wit J., (2015). Adaptive facade systems – review of performance requirements, design approaches, use cases and market needs, *10th Conference on Advanced Building Skins,* 3-4 November, 1254-1264, Bern, Switzerland.

Swift, K. G., & Booker, J. D. (2013). *Manufacturing Process Selection Handbook*. Retrieved from http://ebookcentral.proquest.com Created from itup on 2017-06-30 06:33:09.

Szafranko, E. (2017). Methodology of an assessment of building construction variants with the use of expert systems. *2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics).*

Şahin, O. Z., & Gökuç, Y. T. (2018). Alüminyum ve cam giydirme cephe sistemlerinin sınıflandırılması ve performans açısından değerlendirilmesi. Yalıtım, 22 (170), 46-54.

Tama, M. (2009). Quality management in design and construction of the building envelope. In Trechsel, H. R., & Bomberg, M. (Ed.), *Moisture control in buildings: the key factor in mold prevention.* (pp. 492-565) West Conshohocken, Pa : ASTM International. Retrieved from https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008781X1/moisture-control-in-buildings-2/legal-considerations

Tashakori, M. (2014). *Design of a Computer Controlled Sun-Tracking Facade Model* (Masters Thesis), The Pennsylvania State University, College of Arts and Architecture, Available from https://etda.libraries.psu.edu/paper/21370/22437.

Tassoul, M. (2006) *Creative Facilitation: A Delft Approach*. Delft: VSSD.

Tatikonda, M. V. (1994). Design For Assembly: A Critical Methodology For Product Reengineering And New Product Development. *Production And Inventory Management Journal*, First Quarter, 1994.

Tatum, C. B. (1987). Improving constructability during conceptual planning. *Journal of Construction Engineering and Management ASCE*, 113(2), 191–207

Thuesen, C., Jensen, J. S., & Gottlieb, S. C. (2013). Enabling Mass Customization in Construction – Making the long tail work. In P. A. E. Piroozfar, & F. T. P. (Eds.), *Mass Customisation and Personalisation in Architecture and Construction* (pp. 208-218). Routledge.

Tay F.E.H., & Gu J. (2003). Product modeling for conceptual design support. *Journal of Computers in Industry,* 48, 143-155.

Tekin, Ç. Ç. (2006). Giydirme sistemlerinde test metodları. *Çatı ve Cephe Sempozyumu 2006*, İstanbul.

Thomke, S. & Von Hippel, E. (2002). Customers as Innovators: A New Way to Create Value. Harward Business Review, Nisan 2002

Tomiyama, T. (1997) A Note on Research Directions of Design Studies. In Riitahuhta A, (Ed.) *WDK 25, Proceedings of the 11th ICED 1997*, Vol. 3. Tampere University of Technology, Tampere, Finland, 29–34.

Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C., & Kimura, F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals- Manufacturing Technology,* 58(2), 543-565. doi:10.1016/j.cirp.2009.09.003

Tooley M.H., & Knovel (2010). *Design Engineering Manual.* (1st ed). Amsterdam; London; Boston: Butterworth-Heinemann.

Trigunarsyah, B. (2004). Constructability practices among construction contractors in Indonesia. *Journal Of Construction Engineering And Management,* 130(5), 656-669.

Tseng, M. M., Wang, Y., & Jiao, R. (2017). Mass customization. In: The International Academy for Produ, Laperrière L., Reinhart G. (eds). *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, Berlin, Heidelberg: Springer.

Ueda, K., Takenaka, T., Vancza, J., & Monostori, L. (2009). Value creation and decision making in sustainable society. *CIRP Annals-Manufacturing Technology,* 58 (2), 681-700.

Ugwu, O. O., Anumba, C. J. & Thorpe, A. (2004). The development of cognitive models for constructability assessment in steel frame structures. *Advances in Engineering Software,* 35 (3-4), 191-203.

Ullman, D. G. (2004). *The Mechanical Design Process.* McGraw-Hill Singapore, 2004.

Ulrich, K. T. (1992) *The Role Of Product Architecture In Manufacturing Firm.* Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product Design And Development (*5th ed.). New York: McGraw-Hill/Irwin.

Url-1, Berkeley Lab, DesignWorks, Engineering Division, Types of Design, <http://www-eng.lbl.gov/~dw/services/TypesOfDesign/TypesOfDesign.htm>, erişim tarihi 04.07.2017.

Url-2, <http://giselbrecht.at/projekte/gewerbe_industriebauten/kiefer/index.html>, erişim tarihi 14.09.2017.

Url-3, < https://www.expertsinuncertainty.net/Workgroups/Theinvestigationofdependencybetweenexperts/tabid/4601/Default.aspx>, erişim tarihi 15.06.2018.

Url-4, <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dmg/tools-and-techniques/boothroyd-dewhurst-complexity-factor/>, erişim tarihi 15.06.2018.

Url-6, Façade Engineering. (n.d.). Retrieved from <https://www.arup.com/expertise/services/buildings/facade-engineering>, erişim tarihi 15.06.2017.

Url-7, <https://istanbulpaslanmaz.com/hizmetlerimiz/lazer-kesim/al%C3%BCminyum-lazer-kesim.html>, erişim tarihi 15.06.2018.

Url-8, <http://www.formal.com.tr/urunlerimiz/17/25/6>, erişim tarihi 15.06.2018.

Url-9, <https://3m.citrination.com/pif/000321?locale=en-US>, erişim tarihi 15.11.2018.

Url-10, <http://www.fti-europe.com/TestTalep.aspx>, erişim tarihi 17.06.2019.

Url-11, <https://www.gft.eng.cam.ac.uk/resources/facade-design-tools-force-directed-layout>, erişim tarihi 29.1.2018.

Url-12, <https://www.stylepark.com/en/news/corporate-architecture>, erişim tarihi 27.10.2017.

Url-13, <https://fritsch-tschaidse.de/en/projects/tu-munich-institute-for-advanced-study.html>, erişim tarihi 27.10.2017.

Url-14, <https://www.stylepark.com/en/news/the-mutable-house>, erişim tarihi 27.10.2017.

Url-15, <https://www.stylepark.com/en/colt/folding-shutter-front>, erişim tarihi 27.10.2017.

Url-16, <http://hydroswing-hydraulic-doors.co.uk/hydraulic-door-downloads>, erişim tarihi 30.10.2017.

Url-17, <https://www.muayene.com/standartlar/yapi-malzemeleri-ve-binalar-standartlari/yapi-malzemeleri-ve-binalar-yapi-elemanlari-duvarlar-bolmeler-standartlari>, erişim tarihi 17.06.2019.

Url-18, <https://secure.turkak.org.tr/kapsam/Scope/PublicHTML/155?sube=2304&language=0>, erişim tarihi 17.06.2019.

Van Der Aa, A., Heiselberg, P., & Perino, M. (2011). *Designing with responsive building components.* IEA ECBCS Annex 44 Integrating Environmentally Reaponsive Elements in Buildings. Aalborg University.

Van Dijk, R. C. (2011). *The adaptable façade: An adapative façade for the future faculty of architecture at delft university of technology.* Saarbrücken: Lambert Academic Publishing.

VDI. (1993). VDI 2221: Systematic Approach to the Development and Design of Technical Systems and Products. Beuth Verlag.

VDI. (1997). VDI 2222: Part 1. Methodic Development of Solution Principles. Beuth Verlag.

Velikov, K., & Thün, G. (2012). Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. In F. Trubiano (Eds.), *Design and Construction of High Performance Homes.* Routledge Press: London, UK, 75–92.

Vermaas, P. E. (2014). Design theories, models and their testing: on the scientific status of design research. In Blessing L. T. M., & Chakrabarti A. (Eds.), *An Anthology of Theories and Models of Design*. London: Springer

Vibaek, K. S. (2014). *Architectural System Structures: Integrating Design Complexity in Industrialised Construction.* New York: Routledge, Taylor & Francis Ltd.

Wang, X., Kleinsmann, M. & Chen, J. (2007). Understanding collaboration: Industrial design versus constructability review. In Proceedings *24th CIB W78 Conference: Bringing ICT knowledge to work.* June 26 - 29 2007, Maribor, Slovenia, University of Maribor: Faculty of Civil Engineering, 373-378.

Warren, P. (2003). Integral Building Envelope Performance Assessment. Technical Synthesis Report, IEA ECBCS Annex 32, FaberMaunsell Ltd.

Wen, B., Li, X., & Wang, Z. (2012). New progress concerning research of product design theory and methods. *Applied Mechanics and Materials,*121-126, 692-700. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.692

Wenngren, J., Ericson, Å. & Parida, V. (2016). Improving Team Activities in the Concept Development Stages: Addressing Radical Development and Open-Ended Problems, *Journal of Promotion Management*, 22(4), 496-510, DOI: 10.1080/10496491.2016.1190223

Wienand, N., & Zunde, J. (2008). *Materials, Specification And Detailing: Foundations Of Building Design*. Abingdon [England]; New York: Taylor & Francis.

Wiendahl, H. P., Reichardt, J. & Nyhuis, P. (2015). *Handbook Factory Planning and Design.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Wigginton, M., & Harris, J. (2002). *Intelligent Skins*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Wong, F. W. H., Lam, P. T. I., Chan, E. H. W., & Shen, L. Y. (2007). A study of measures to improve constructability. *International Journal Of Quality & Reliability Management,* (6), 586. doi:10.1108/02656710710757781

Wong, F. W. H., Lam, P. T. I., Chan, A. P. C., & Chan, E. H. W. (2006). A review of buildability performance in Hong Kong and strategies for improvement. *Surveying and Built Environment,* 17(2), 37-48.

Wynn, D. C. & Clarkson, P. J. (2005). Models of designing. Clarkson, J., & Eckert, C. (Eds.). *Design process improvement: A review of current practice* (1. Aufl. ed.). London: Springer.

Wynn, D. C. & Clarkson, P. J. (2018). Process models in design and development. *Research in Engineering Design,* 29 (2), 161-202. https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7

Xiangyu, W., Maaike, K., & Jingyu, C. (2014). Understanding collaboration: industrıal design versus constructability review. (serial online). 2014; Available from: BASE, Ipswich, MA. Accessed April 1, 2018.

Yates, J. K. & Battersby, L. C. (2002). Master builder project delivery system and designer construction knowledge. *ASCEJ. Const. Eng. Mgmt.,* 129(6), 145-151.

Yang, Y.Q., Wang, S.Q., Dulaimi, M., & Low, S.P. (2003). A fuzzy quality function deployment system for buildable design decision-makings. *Automation in Construction,* 12(4), 381-393.

Yen, T. N. (2012). *Product Simplification Design Improvement By Using Dfma Method.* (Bitirme Tezi) Faculty of Mechanical Engineering, Unıversıtı Malaysıa Pahang.

Young III, J. A. (1996). Constructability in the design firm. *Transactions of AACE International.*

Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J. Šaparauskas, J., & Turskis, Z. (2013). Multi-criteria assessment of facades' alternatives: peculiarities of ranking methodology. *Procedia Engineering*, 57, 107-112.

Zhang, C., Zayed, T., Hijazi, W. & Alkass, S. (2016). Quantitative assessment of building constructability using BIM and 4D simulation. *Open Journal of Civil Engineering,* 6, 442-461

Zhang, J., Gu, P. Peng, Q. & Hu, S. J. (2017). Open interface design for product personalization. *CIRP Annals - Manufacturing Technology.* http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.036

Zhenmin, Y., Chengshuang, S. & Yaowu, W. (2018). Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. *Automation in Construction*, 88 (2018), 13-22

Zin, R. M. (2004). *Design phase constructability assessment model.* (Doktora Tezi) Universiti Teknologi Malaysia.

Zin, R. M., Nesan, L. J. & Mohammed, A. H. (2004). Constructability assessment framework. *Journal of Building and Construction Management*, 9 (1), 44-58.

Zolfagharian, S., & Irizarry, J. (2017). Constructability Assessment Model for Commercial Building Designs in the United States. *Journal Of Construction Engineering And Management,* 143(8), doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001323

Zuk W. & Clark R. H., (1970). *Kinetic Architecture*, New York: Van Nostrand Reinhold.

EKLER

EK A: Farklı Endüstrileşme Ölçeklerindeki Ürünlerin Geliştirme Süreçleri Arasındaki Farkların Belirlenmesi Ön Çalışması
EK B: Tepki Veren Cephe Projeleri, Ürünleri Ve Prototiplerini İçeren Veri Tabanı
EK C: Mevcut Tepki Veren Cephe Sınıflandırmalarının Sınıflandırma Kriterlerine Göre Derlemesi
EK Ç: Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Tasarımı Probleminin Çözüm Yolunun Tanımlanmasında Kullanılan Yöntem
EK D: Yapılabilirlik Bilgisinin Nitel Temsilcileri: Konseptler, Faktörler, Kriterler
EK E: Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Tasarımı Probleminin Çözüm Yollarının Tanımlanması İçin Geliştirilen Konseptlerin, Konsept Değişkenlerine Bağlı Olarak Haritalanması
EK F: Mevcut Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı Modelinin Geliştirilmesinde Kullanılan Yöntem
EK G: Cephe Fonksiyon Ağacı
EK Ğ: Literatürde Yer Alan Cephe Tasarım Kriterleri
EK H: Yapılabilirlik Değerlendirmesi Aşamaları Ve Bu Aşamalarda Kullanılan Yapılabilirlik Araçları
EK I: Cephelerin Performans Özelliklerini Ve Test Metotlarını Tanımlayan Standartlar
EK İ: Cephe Tasarımının Değerlendirilmesinde Kullanılan Simülasyon Araçları
EK J: Metraj Cetveli Şablonu
EK K: Yapılabilirlik Değerlendirmesi
EK L: BMW Meslek Okulu Tepki Veren Cephesinin Bir Adet Güneş Kırıcı Panelinin Montaj Şeması

EK A: Farklı Endüstrileşme Ölçeklerindeki Ürünlerin Geliştirme Süreçleri Arasındaki Farkların Belirlenmesi Ön Çalışması

Çizelge A.1: Farklı endüstrileşme ölçeklerindeki ürünlerin geliştirme süreçleri arasındaki farkların belirlenmesi ön çalışması.

DEĞERLENDİRME KRİTERİ	BİNA	CEPHE	DOĞRAMA	ENDÜSTRİ ÜRÜNÜ-GIRGIR	ENDÜSTRİYEL ÜRÜN-DİŞLİ
Üretim İhtiyacının doğuşu	%100 İstek üzerine	İstek üzerine veya market ihtiyacına bağlı	Sipariş üzerine veya siparişten önce market ihtiyacına bağlı	Siparişten önce üretim-market ihtiyaçlarına bağlı	Siparişten önce üretim-market ihtiyaçlarına bağlı
Geliştirme süreçleri	Girişim-Ön karar- tasarım-teklif- ihale*-sözleşme-yapım-kabul-işletme-yıkım	Ön karar- tasarım-teklif- ihale*-sözleşme- yapım-kabul-işletme-yıkım	İhtiyacın beyanı-ihtiyacın tespit edilmesi- konsept geliştirme- detay tasarımı-test ve değerlendirme-üretim-hizmete sunma	İhtiyacın beyanı-ihtiyacın tespit edilmesi- konsept geliştirme- detay tasarımı-test ve değerlendirme-üretim - hizmete sunma	İhtiyacın beyanı-ihtiyacın tespit edilmesi- konsept geliştirme- detay tasarımı-test ve değerlendirme-üretim - hizmete sunma
Ürünün özelliklerinin esnekliği/ değişkenliği	Tüm özellikler her projeye özel istek ve ihtiyaçlara göre tasarlanır ve şekillenir	Tüm özellikler projeye özel istek ve ihtiyaçlara göre tasarlanır ya da ana hatları ve üretim detayları belirli fakat siparişe göre şekillenebilen ürünler kullanılır	Ana hatları ve üretim detayları belirli fakat siparişe göre şekillenebilen ürünler	Az sayıda özelliği değişebilen kullanıcıya belirli alternatifler arasından seçim şansı veren standart ürünler	Tüm özellikleri belirli standart ürünler
Kalite kontrolü	Kritik olmayan sorunlar içerir, tasarım uygulama ve kullanım sırasında tamiratlar yapılır	Kritik olmayan sorunlar içerir, tasarım uygulama ve kullanım sırasında tamiratlar yapılır	Tüm üretim sürecinde kalite kontrollü var ve "sıfır hatalı" ürün ortaya çıkar	Tüm üretim sürecinde kalite kontrollü var ve "sıfır hatalı" ürün ortaya çıkar	Tüm üretim sürecinde kalite kontrollü var ve "sıfır hatalı" ürün ortaya çıkar
Eş ürünlerin üretim sayısı	Tek veya çoklu	Tek veya çoklu	Küçük seriler	Orta ve büyük seriler	Büyük seriler
Performans	Simülasyonla tahmin edilebilir, gerçek performans kullanıma başlandıktan sonra belli olur	Simülasyonla tahmin edilebilir, gerçek performans kullanıma başlandıktan sonra belli olur	Performans özellikleri belirlidir	Performans özellikleri belirlidir, üretimden önce tespit edilir.	Performans özellikleri belirlidir, üretimden önce tespit edilir.
Tasarım methodolojisi	Kara kutu veya şahsi rutin	Kara kutu veya şahsi rutin	Cam kutu	Cam kutu-analiz sentez değerlendirme	Cam kutu-analiz sentez değerlendirme
Geliştirme metodolojisinin düzeyi	Genel	Genel	Ayrıntılı organizasyon şeması	Ayrıntılı organizasyon şeması	Ayrıntılı organizasyon şeması
Endüstrileşme düzeyi	Üretim süreci ve bileşen düzeyinde	Üretim süreci ve bileşen düzeyinde	Tüm aşamalarda	Tüm aşamalarda	Tüm aşamalarda
İhtiyacın belirlenmesinde kullanılan yöntemler	Fonksiyonel program ve kullanıcı istekleri, yasal konular	Fonksiyonel program ve kullanıcı istekleri, yasal konular	Fonksiyonel program ve kullanıcı istekleri, yasal konular	Market değerlendirmesi, kullanıcı anketleri, ekonomik analiz, yasal konular, hedef kullanıcıların belirlenmesi,	Market değerlendirmesi, kullanıcı anketleri, ekonomik analiz, yasal konular, hedef kullanıcıların belirlenmesi, rakabetin değerlendirilmesi
Kullanım ömrü	50-100 yıl	20 yıl	20 yıl	5-10 yıl	5-10 yıl
Ürün esnekliği/ tasarıma üretimden sonra müdahale	Yüksek	Orta	Az	Çok az/yok	Yok

EK B: Tepki Veren Cephe Projeleri, Ürünleri Ve Prototiplerini İçeren Veri Tabanı

Çizelge B.1: Tepki veren cephe projeleri, ürünleri ve prototiplerini içeren veri tabanı.

PROJENİN İSMİ	MİMARI	YERİ	YILI	TANIMI	KAYNAK
Allwater Panel (prototip)	Allwater Ltd	Kecskemét, Hungary	2017	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Bund Finance Center	Foster + Partners and Heatherwick Studio	Shanghai	2017	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Apple Dubai Mall	Foster + Partners	Dubai, United Arab Emirates	2017	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Headquarters for Swatch and Omega	Shigeru Ban Architects	Biel, Switzerland	2017	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Kindow Binds	Kindow BV	Delft, Netherlands	2017	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Living Wall Facade	Arup	Leeds, United Kingdom	2016	adaptive	Mourtzouchou, 2018
White & Black Liquid Crystal Film	Gauzy	Tel Aviv - Yafo, Israel	2016	adaptive	Mourtzouchou, 2018
CONTROLITE® - Intelligent Daylighting System	Danpal®		2016	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Adaptive Solar Facade (prototip)	ETH Foundation	Zurich, Switzerland	2015	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Closed Cavity Facade, JTI Headquarters	Josef Gartner GmbH	Geneva, Switzerland	2015	adaptive	Mourtzouchou, 2018
licrivisionTM - Liquid Crystal Window	Merck Window Technologies B.V.	Darmstadt	2015	adaptive	Mourtzouchou, 2018
SwissTech Convention Center	Richter Dahl Rocha & Associés	Lausanne, Switzerland	2014	adaptive	Mourtzouchou, 2018
iSolar Blinds	LCG	Newcastle, United Kingdom	2014	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Smart Window & Power Window	PHYSEE	Delft, Netherlands	2014	adaptive	Mourtzouchou, 2018
SDU Kolding Campus	Henning Larsen Architects	Kolding Campus, Denmark	2014	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Homeostatic Facade System	Decker & Yeadon	New York, USA	2013	adaptive	Mourtzouchou, 2018
BIQ – Biyoreaktör Cepheli Bina		Almanya	2013	akıllı	Velikov ve Thün, 2012; Altın ve Orhon, 2014
ADAPTIWALL (prototip)	TNO Delft & Partners	Delft, The Netherlands	2012	adaptive	Mourtzouchou, 2018
RMIT Design Hub	Sean Godsell	Melbourne, Australia	2012	adaptive	Buxton, 2013
One Ocean, Thematic Pavilion Expo 2012	Soma ZT GmbH	Yeosu, South Korea	2012	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Torre de Especialidades, Hospital Manuel Gea Gonzales	Elegant Embellishments	Mexico City, Mexico	2012	adaptive	Altın ve Orhon, 2014
Al Bahar Towers		Dubai	2012	adaptive	Oborn,2014; Attia, 2017
Articulated Cloud	Ned Kahn	Pittsburgh, Pennsylvania	2011	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Media-TIC exhibition building	Cloud 9 architects	Barcelona	2011	smart	Tashakori, 2014; Velikov ve Thün, 2012; Güncü ve Kurnuç, 2013
Da Vinci Rotating Tower	David Fisher	Dubai	2010-2011	adaptive	Loonen, 2010
MAC 567 office complex	Sauerbruch&Hutton Architects	Milan	2010	adaptive	Fernandez, 2014
Shape Shift (prototip)	Manuel Kretzer and students from the ETH in Zurich		2010	Smart	Velikov ve Thün, 2012
HelioTrace	Skidmore, Owings, and Merrill	New York	2010	intelligent	Tashakori, 2014; Velikov ve Thün, 2012
Simons Centre at Stony Brook University	Hoberman	New York, USA	2010	adaptive	Mourtzouchou, 2018
Bloomframe Balcony	Hurks Geveltechniek	The Netherlands	2007-2010	adaptive	Loonen, 2010
Hotel habitat	Ruiz-Geli – Cloud9	Barcelona, Spain	2006-2010	adaptive	Loonen, 2010
IC solar façade system (prototip)	Rensselaer Polytechnic Institute	Troy, New York	2007-2010	adaptive	Loonen, 2010
GROW	SMIT |	New York	2005-2010	adaptive	Loonen, 2010

Çizelge B.1 (devam): Tepki veren cephe projeleri, ürünleri ve prototiplerini içeren veri tabanı.

PROJENİN İSMİ	MİMARI	YERİ	YILI	TANIMI	KAYNAK
Q1 Thyssen Krupp Quarter	JSWD ve Chaix & Morel	Essen	2010	kinetik	Güncü ve Kurnuç, 2013
Metal shutter houses	Shigeru Ban Architects	New York, USA	2007-2010	adaptive	Loonen, 2010
Sliding evi	dRMM	İngiltere	2009	kinetik	Güncü ve Kurnuç, 2013; Loonen, 2010
Flare	Staab Architects (WhiteVoid interactive art and design)	Berlin	2008-2009	dinamik	Güncü ve Kurnuç, 2013; Loonen, 2010
Solar Ivy	S-M-I-T	New York	2005 - 2009	adaptive	Loonen, 2010
Climate Adaptive Skin (prototip)	Bas Hasselaar	TU Delft, The Netherlands	2005-2009	adaptive	Loonen, 2010
Habitat 2020 (prototip)	Philips Design Probe		2009	adaptive	Loonen, 2010
Eclipsis shutter shade	Virginia Tech's entry to US DOE Solar Decathlon competition		2009	adaptive	Loonen, 2010
The B&W house	Universidad Politécnica de Madrid	US DOE Solar Decathlon competition	2009	adaptive	Loonen, 2010
Blight	Vincent Gerkens |	Belgium	2009	adaptive	Loonen, 2010
Kameleon Concept (prototip)	Sublean	Sliedrecht, The N	2009	adaptive	Loonen, 2010
North House (prototip)	University of Waterloo	Waterloo	2009	responsive	Velikov ve Thün, 2012
Deployable External Insulation	Stephen Gage, Bartlett School of Architeture	London, UK |	2008	adaptive	Loonen, 2010
GreenPix Zero Energy Media Wall	Simone Giostra & Partners and ARUP	Beijing	2008	interactive	Tashakori, 2014; Velikov ve Thün, 2012; Altın ve Orhon, 2014; Loonen,2010
The BASF House,	Derek Trowell Architects	University of Nottingham, UK	2008		Schnädelbach, 2010
D.E.I. Pavilion	Deployable.Org	London, UK,	2008		Schnädelbach, 2010
iHomeLab	Lischer Partner Architekten	Lucerne, Switzerland	2008	adaptive	Loonen, 2010
Nano Vent Skin (prototip)	Augustin Otegui		2008	adaptive	Loonen, 2010
Responsive kinetic façade (prototip)	SOM and Sci-Arc		2008	adaptive	Loonen, 2010
Wind Shaped Kinetic Pavilion	Michael Jantzen		2007	adaptive	Loonen, 2010
Zollverein school	Sanaa Architects	Essen, Germany	2007	adaptive	Loonen, 2010
Zon-Wel SmartFaçade (prototype)	SenterNovem EET project	The Netherlands	2007	adaptive	Loonen, 2010
TU Darmstadt's 2007 Solar Decathlon House		Darmstad	2007	İntelligent	Tashakori, 2014
Bionic Breathing Skin	Lidia Badarnah	TU Delft, The Netherlands	2007	adaptive	Loonen, 2010
Homo Lumens MMVII	László Benczúr, Péter Sugár, László Kara	Budapest, Hungary	2007	adaptive	Loonen, 2010
Showroom Kiefer technic	Ernst Giselbrecht + Partner	Bad Gleichenberg, Austria	2007	adaptive kinetic	Güncü ve Kurnuç, 2013; Loonen, 2010
Sonomorph (prototip)	Natasa Sljivancanin		2007	adaptive	Loonen, 2010
Swindow	Tateyama aluminium inc.	Japan	2007	adaptive, dynamic adaptive	Loonen, 2010; Ogwezi ve diğ, 2011
"Turning the place over"	Richard Wilson	Liverpool, United Kingdom	2007	adaptive	Loonen, 2010
ACTRESS (ACtive RESponsive and Solar) (prototip)	TEBE Research Group, Department of Energy	Torino, Italy	2007	responsive	Mourtzouchou, 2018
pixelSkin02 (prototip)	Sachin Anshuman	Orangevoid, United Kingdom	2006	smart	Tashakori, 2014; Loonen,2010
PixelSkin01(prototip)	Sachin Anshuman	Orangevoid, United Kingdom	2006	interactive	Tashakori, 2014; Loonen,2010

Çizelge B.1 (devam): Tepki veren cephe projeleri, ürünleri ve prototiplerini içeren veri tabanı.

PROJENİN İSMİ	MİMARI	YERİ	YILI	TANIMI	KAYNAK
Balloon Sun Shading	Marcel Bilow, Tillman Klein	TU Delft, The Netherlands	2006	adaptive	Loonen, 2010
Liquid façade (prototip)	Ulrich Knaack	TU Delft, The Netherlands	2006	adaptive	Loonen, 2010
PV honeycomb glass façade (prototip)	Daisuke Nagatomo and Minnie Jan	Japan	2006	adaptive	Loonen, 2010
Kunsthaus Graz (BIX),	[Peter Cook and Colin Fourier	Graz, Austria,	2005	media facade	Anshuman ve Kumar, 2005 Schnädelbach, 2010
Münich football arena, Allianz Arena	Herzog & de Meuron	Munich-Germany	2005	media facade	Schnädelbach, 2010
Living Glass	Soo-in Yang and David Benjamin (The Living)	New York	2005	smart	Velikov ve Thün, 2012
EWE Arena binası		Oldenburg	2005	kinetik	Güncü ve Kurnuç, 2013
Aperture	Frédéric Eyl and Gunnar Green	University of the Arts Berlin, Germany	2005	adaptive	Loonen, 2010
Edge Monkey(prototip)	Stephen A. Gage and Will Thorne		2005	adaptive	Loonen, 2010
EWE Arena	ASP Architekten	Oldenburg, Germany	2005	adaptive	Loonen, 2010
Fluidized Glass Façade (prototip)	Fraunhofer Institute for Solar Energy	Germany |	2005	adaptive	Loonen, 2010
Nocturnal ventilator (prototip)	Nick Browne	Bartlett School of Architecture | London, UK	2005	adaptive	Loonen, 2010
Smart shade(prototip)	Lance Hosey ATMO / Atelier Modern	Washington DC	2005	adaptive	Loonen, 2010
Son-O-House	van der Heide, Spubroek (NOX),	Eindhoven The Netherlands	2004	media facade	Schnädelbach, 2010
AeroDimm	Stefan Pfaffstaller	Vienna, Austria	2004	adaptive	Loonen, 2010
Chanel Ginza	Peter Marino Associates	Tokyo, Japan	2004	adaptive	Loonen, 2010
Documentation Centre (Proposal for Former Concentration Camp)	Axel Ritter	Hinzert, Germany	2004	adaptive	Loonen, 2010
Gerontology Centre	Siegert Architekten	Bad Tölz, Germany	2003	adaptive	Loonen, 2010
Adaptive Façade, un-realised project	Kas Osterhuis		2003		Schnädelbach, 2010
SmartWrapTM (prototip)	Kieran Timberlake Associates	Philadelphia, US	2003	adaptive	Loonen, 2010
Super Cilia Skin	MIT Media Lab	Massachusetts, USA	2003	adaptive	Loonen, 2010
The esplanade	DP Architects and Michael Wilford & Partners	Singapore	2002	adaptive	Loonen, 2010
Paper art museum	Shigeru Ban Architects	Shizuoka, Japan	2002	adaptive	Loonen, 2010
Gemini Evi	ArchBüro Kaltenegger	Weiz, Austria	2001	kinetik	Güncü ve Kurnuç, 2013; Loonen, 2010
Aegis Hyposurface	Mark Goulthorpe	dECOi Architects |	1999-2001	adaptive	Anshuman ve Kumar, 2005; Loonen, 2010
Burke Brise soleil	Santiago Calatrava	Milwaukee, Wisconsin	2001	adaptive	Loonen, 2010
Switchable insulation	ZEA Bayern		1999-2001	adaptive	Loonen, 2010
iFly Virgin Wonderwall	Klein Dytham Architecture	Tokyo, Japan	2000	media facade	Schnädelbach, 2010
Dr. Jockisch Building	Architecten HBH	Landshut, Germany	2000	adaptive	Loonen, 2010
GSW Headquarters	Sauerbruch & Hutton Architekten	Berlin	1999	Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Pfalzkeller	Santiago Calatrava	St. Gallen, Switzerland	1998	adaptive	Loonen, 2010
L'hemisferic	Santiago Calatrava	Valencia, Spain	1998	adaptive	Loonen, 2010
Weather Sensitive Envelope (prototip)	Axel Ritter		1997	adaptive	Loonen, 2010
Commerzbank	Norman Foster.	Frankfurt	1997	Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Bremtex	VOW architecten |	Oisterwijk, The Netherlands	1996	adaptive	Loonen, 2010

Çizelge B.1 (devam): Tepki veren cephe projeleri, ürünleri ve prototiplerini içeren veri tabanı.

PROJENİN İSMİ	MİMARI	YERİ	YILI	TANIMI	KAYNAK
Curtain Wall House	Shigeru Ban Architects	Tokyo, Japan	1995	adaptive	Loonen, 2010
Wall street ferry terminal	Smith-Miller + Hawkinson Architects	New York	1995	adaptive	Loonen, 2010
Heliotrop	Rolf Disch	Ziegelweg Freiburg, Germany	1993	İntelligent	Anshuman ve Kumar, 2005; Loonen,2010
Kinetic light	Christian Möller and Rüdiger Kramm	Frankfurt, Germany	1992	adaptive	Loonen, 2010
TRON-Concept Intelligent House	Professor Ken Sakamura from the University of Tokyo	Tokyo, Japan	1989	Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005; Velikov ve Thün, 2012
Institut du Monde Arabe	Jean Nouvel	Paris, France	1989	adaptive	Schnädelbach, 2010; Loonen, 2010
Tower of Winds	Toyo Ito	Yokohama, Japan	1986	media facade	Schnädelbach, 2010
Beadwall	Zomeworks	New Mexico, USA	1980	adaptive	Loonen, 2010
Solar barrel wall	Steve Baer	Corrales, New Mexico	1971	adaptive	Loonen, 2010
1967 Montreal Expo US pavillion	Buckminster Fuller	Montreal	1967	İntelligent	Velikov ve Thün, 2012
Fun Palace	Cedric Price and Joan Littlewood		1961	interactive	Velikov ve Thün, 2012
Le mur neutralisant	Le Corbusier |		1929	adaptive	Loonen, 2010
Galleria Fashion store	UN Studio and Arup-Lighting	Seoul Korea		media facade	Anshuman ve Kumar, 2005
Kinetic wall	Kinetic Design group at MIT and Roart Associates	New York		kinetic	Anshuman ve Kumar, 2005
Adaptive Bloom (prototip)	Justin Goodyer			Interactive	Anshuman ve Kumar, 2005
Gotz		Dublin		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Tax office		Enschede		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Helicon		London, UK,		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Env Building		Garston		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Glaxo		London, UK,		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Stadttor		Dusseldorf		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
LBNL		Oakland		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
SQA Headquarters		Holland		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Apollo		Amsterdam		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
United Gulf Bank		Manama		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Phillips Plastic		Phillips		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
B3 British Petroleum		London, UK,		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Educare Sprots		Guadalajara		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Microelectronics		Duisburg		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Federal US Court		Islip		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Congress Centre		Valencia		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
Phoenix Library		Phoenix		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
NCE		Berlin		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005

Çizelge B.1 (devam): Tepki veren cephe projeleri, ürünleri ve prototiplerini içeren veri tabanı.

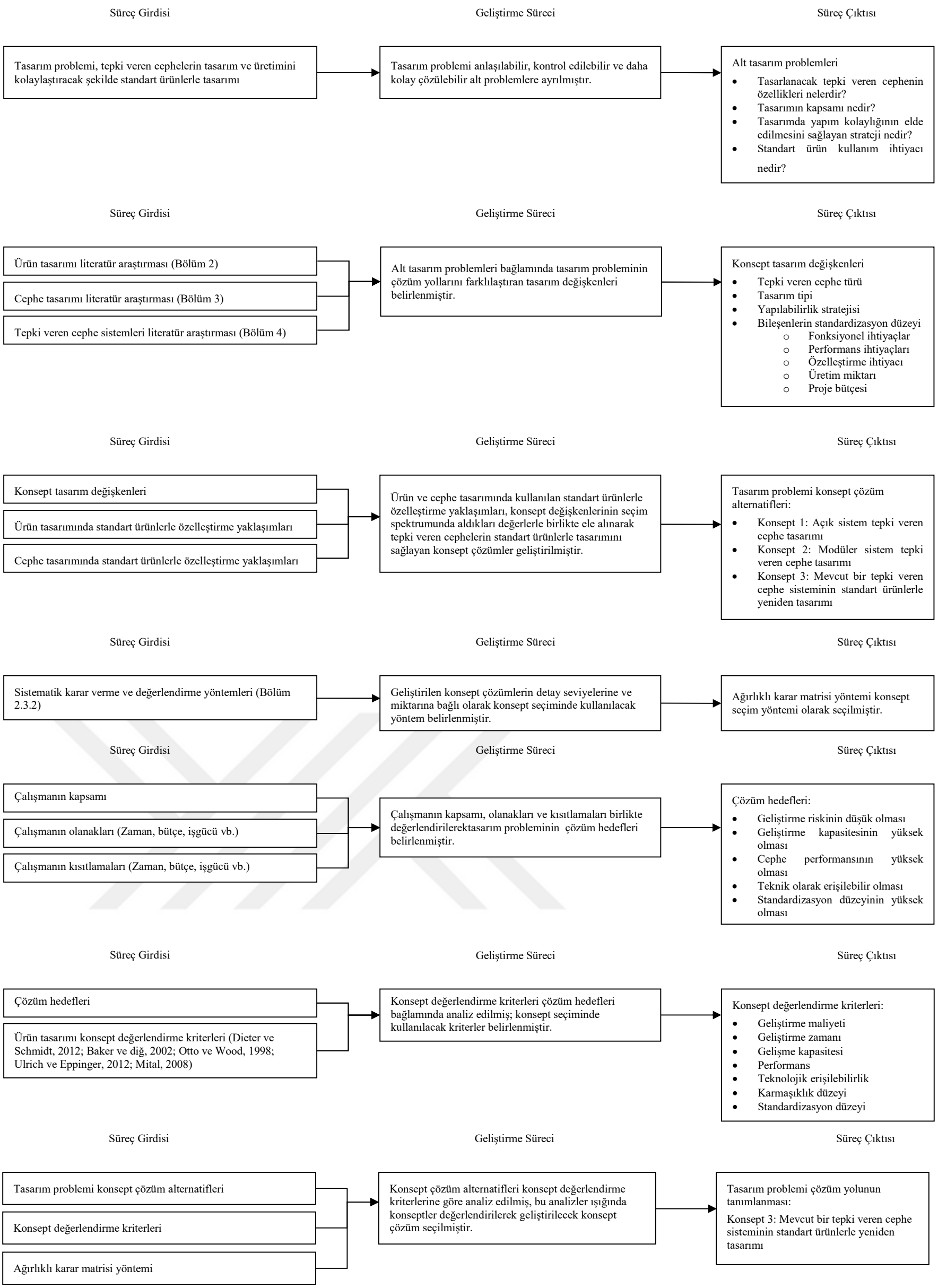
PROJENİN İSMİ	MİMARI	YERİ	YILI	TANIMI	KAYNAK
Brundtland Centre		Denmark		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
SUVA		Basel		Intelligent	Anshuman ve Kumar, 2005
The Wave in Target Field		Minneapolis usa			Fernandez, 2014
Strata System	Adaptive Buildings Initiative			Intelligent	Velikov ve Thün, 2012
Adaptive House Project	Michael C. Mozer at the University of Colorado at Boulder			Interactive	Velikov ve Thün, 2012
Active Building Envelope (prototip)	Rensselaer Polytechnic Institute	Troy, New York		adaptive	Loonen, 2010
Active window / micromirror (prototip)	University of Kassel	Germany		adaptive	Loonen, 2010
Adaptive Fritting (prototype)	Hoberman Associates	New York		adaptive	Loonen, 2010
Bi-directional thermodiodes (prototip)	Cheju National University	Republic of Korea		adaptive	Loonen, 2010
BioTower (prototip)	Dennis Dollens			adaptive	Loonen, 2010
Breathing wall (prototip)	The Environmental Building Partnership Ltd	United Kingdom		adaptive	Loonen, 2010
Electrochromic glazing				adaptive	Loonen, 2010
Electrically heated glass				adaptive	Loonen, 2010
Girasol (prototip)	COLT international Ltd. |	United Kingdom		adaptive	Loonen, 2010
GlassX crystal (prototip)	GlassX AG |	Zürich, Switzerland		adaptive	Loonen, 2010
Living walls and roofs				adaptive	Loonen, 2010
Microblind (prototip)	Boris Lamontagne and Christophe Py	National Research Council of Canada		adaptive	Loonen, 2010
Photochromics				adaptive	Loonen, 2010
Self-regulating ventilation				adaptive	Loonen, 2010
Smart Energy Glass	Peer+	Eindhoven, The Netherlands		adaptive	Loonen, 2010
SmartScreen (prototip)	Martina Decker and Peter Yeadon	new york		adaptive	Loonen, 2010
SolVent window system				adaptive	Loonen, 2010
Sunbender	ZomeWorks Passive Energy Products	New Mexico, USA		adaptive	Loonen, 2010
Thermochromics				adaptive	Loonen, 2010
Wall integrated PCM				adaptive	Loonen, 2010

EK C: Mevcut Tepki Veren Cephe Sınıflandırmalarının Sınıflandırma Kriterlerine Göre Derlemesi

Çizelge C.1: Mevcut tepki veren cephe sınıflandırmalarının sınıflandırma kriterlerine göre derlemesi (Farklı kaynaklarda verilen benzer sınıflandırma kriterleri kutular içine alınarak gruplandırılmıştır. Aynı kriterin değerlendirilmesinde farklı kaynaklarda yapılan ekler kaynakla beraber altı çizili şekilde gösterilmiştir.).

Kaynaklar	Schnädelbach, 2010	Gür ve Aygün 2008;	Van Dijk, 2009	Loonen ve diğ, 2013	Loonen ve diğ, 2015	Loonen ve diğ, 2015	Schnädelbach, 2010; Loonen ve diğ, 2015	Aelenei ve diğ, 2018	Kirkegaard ve Foged, 2011	Ogwezi ve diğ, 2011	Loonen ve diğ, 2013	Kirkegaard ve Foged 2011; Moloney, 2009; Zuk 1970	Kolarevic ve Parlac, 2015; Kirkegaard ve Foged, 2011	Fox veYeh,1999; Ramzy ve Fayed, 2011	Ramzy ve Fayed, 2011	Loonen ve diğ, 2013; Fernandez, 2014	Ramzy ve Fayed, 2011	Loonen ve diğ, 2015
Sınıflandırma Kriteri	Logical data source driving adaptations	Yapı kabuğundaki fonksiyonel değişkenlik alanları	Uyarlanabilir Bileşenler (*Adaptive Components*)	İlgili Fizik (*Relevant Physics*)	Adaptasyon amacı (*Purpose of adaptation*)	Tepki veren fonksiyon (*Responsive function*)	Adaptasyon elemanları (*Elements of adaptation*)		Kinetik sistemlerin strüktürel sistemleri (*Structural system of kinetic structures*)	Değişime verilen tepki (*Respond to changes*)	Adaptasyon ölçeği (*Scale of adaptatio*)	Kinetik olarak işletilebilme yolları (*Ways for kinetic operability*)	Cephenin aktive edilme yöntemi (*Methods of actuation in building envelopes*)	Kontrol mekanizmaları (*Control Mechanisms*)	Kontrol Sınırı (*Control Limit*)	Zaman ölçeği (*Time scale*)	Hareket sınırı (*Limit of motion*)	Adaptasyon derecesi *(Degree of adaptability)*
1	Kullanıcılar • Bireysel kullanıcılar • Kullanıcı grubu •Organizasyonlar	Hava ve ses geçirgenliği	Termal yalıtım	Termal	Termal konfor	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)	Cephe elemanı	Malzeme	Mafsallı çubuklardan oluşan mekânsal çubuk strüktürler	Statik	Mikro	Katlanma	Motor esaslı	Dâhili kontrol	Az (*Minor*)	Saniyeler	Limitli (*Limited*)	Açık-kapalı
2	Çevre • Dış çevre • İç çevre	Enerji korunumu/ kazanımı,	Isı depolama	Hava akışı	İç mekân hava kalitesi	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik	Duvar	Bileşen	Menteşeli plakalar içeren katlanabilir plaka strüktürler	Dinamik	Makro	Kayma	Hidrolik	Direkt kontrol	Orta (*Medium*)	Dakikalar	Kısmi (*Medium*)	Kademeli
3	Nesneler • İçinden geçen nesneler • Somut arayüz nesnesi • Önünden geçen nesneler	Güneş kontrolü	Nem alma	Optik	Görsel performans	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi	Duvar boşluğu	Cephe sistemi	Strut-kablo (gerginlik) strüktürleri			Genişleme	Pnömatik	Endirekt (dolaylı) kontrol	Belirgin (*Significant*)	Saatler	Kapsamlı (*Major*)	
4		Doğal aydınlatma	Doğal havalandırma	Elektrik	Enerji üretimi	Rüzgâr enerjisini ve gün ışığını toplama ve elekrik veya termal enerjiye dönüştürme	Yapı malzemesi		Membran strüktürler			Hem boyut hem de şekil olarak değişme	Malzeme esaslı	Tepki veren dolaylı kontrol	Değişken (*Variable*)	Günler	Değişken	
5		Ses kontrolü	Gün ışığı girişi		Akustik kalite	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme						Rotasyon	Kimyasal	Yaygın tepki veren dolaylı kontrol		Mevsimsel		
6			Aşırı ısınma Kontrolü		Kişisel kontrol	Bireysel ihtiyaçlara kullanıcı etkileşimi ve adaptasyonu						Burkulma	Manyetik	Sezgisel tepki veren dolaylı kontrol		Yıllar (evrilebilme)		
7			Görüş									Yuvarlanma Ölçeklenme						
8			Rüzgâr & su															
9			Akustik															
10			Renk															
11			Doku															
12			Şekil															

EK Ç: Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Tasarımı Probleminin Çözüm Yolunun Tanımlanmasında Kullanılan Yöntem



Şekil Ç.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yolunun tanımlanmasında kullanılan yöntem.

EK D: Yapılabilirlik Bilgisinin Nitel Temsilcileri: Konseptler, Faktörler, Kriterler

Yapılabilirlik kavramı farklı ekollerden gelişen yaklaşımlarda farklı tanımlandığı gibi, yapılabilirliğin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılan nitel temsilciler de farklılaşmaktadır. Aslında yapılabilirlik bilgisinin sınıflandırılması, birçok kaynakta aynı temellere dayanmaktadır; fakat kullanım alanlarına ve kapsamlarına göre bazı farklılıklar içermektedir. Bu bölümde yapılabilirlik kavramının geliştirilmesinde etkili olan kurumların ve farklı yazarların yapılabilirlik bilgisinin nitel temsilinde kullandıkları yaklaşımlardan örnekler tanıtılmaktadır.

Yapılabilirlikle ilgili İngiltere'de yapılan erken dönem araştırmaları tasarımın rasyonelleştirilmesine odaklanmaktadır (Trigunarsyah, 2004). Bu araştırmaların temel amacı, şantiyede yapım teknikleri üzerinde etkisi olan tasarım faktörlerini tanımlamaktır. Bu bağlamda CIRIA (1983), aşağıda sıralanan yedi yapılabilirlik ilkesini (*Guidelines for Buildability*) tanımlamıştır (Hassan, 1997).

- Herhangi bir dokümantasyon başlatılmadan önce saha koşullarının incelenmesi ile tamamlanmış tasarıma yönelik çalışmalar yapılmalı ve çalışılmalıdır.
- Yapının düzeni ve bölümlerinin aşamalı olarak tamamlanması, saha erişimi, malzeme taşıma ve yapım sırasının gerekliliklerini tanımalıdır.
- Yapım yöntemi, en etkili yapım sırasını teşvik etmeli ve başlangıçta bir "kuru yapı kabuğu" tamamlamanın faydalarını sözleşmede tanımalıdır.
- Tasarımcılar, mantıklı ve düzenli sıralanmış ticaret için yapının montajı sırasında montaj basitliğini planlamalıdır.
- Bileşenlerin ve yapı elemanlarının maksimum tekrarı ve standardizasyonu benimsenmelidir.
- Yapı tasarımları, ulaşılabilir ve uygun toleranslarla hazırlanmalıdır.
- Saha koşullarına ve korunma kapasitesine imkân verecek sağlam ve uygun malzemeler belirtilmelidir.

CIRIA'nın tanımladığı yukarıda verilen yapılabilirlik ilkeleri Adams (1989) tarafından geliştirilerek aşağıda sıralanan pratik yapılabilirlik için on altı tasarım prensibi elde edilmiştir.

- Ayrıntılı araştırma
- Tasarım aşamasında ulaşılabilirliğin dikkate alınması
- Tasarım aşamasında depolamanın dikkate alınması
- Erken kabuk oluşturma için tasarım
- Zemin altı işinde minimum süre için tasarım
- Uygun malzeme kullanımı
- Mevcut yerel ustalığın dikkate alınması
- Basit montaj için tasarım
- Tekrarlama ve standardizasyonu en üst düzeye çıkarmak için planlama
- Tesis/fabrika kullanımının en üst düzeye çıkarılması
- Hassas toleranslara imkân verilmesi
- Pratik bir işlem sıralamasına imkân verilmesi
- İş değişikliğinden kaçınma için planlama
- İnşaat alanını tekrar teftişten kaçınılması; ilk seferde doğru yapılması
- Güvenli yapım tasarımı
- Açık iletişim

İngiliz yaklaşımının aksine Amerikan yapılabilirlik araştırmacıları yönetim sistemlerine ve mal sahipleri ile yüklenicilerin katılımına vurgu yapmışlardır. Yapılabilirlik iyileştirmesi, tüm proje yaşam döngüsünün entegre bir parçası olarak düşünülmüştür. Bu bağlamda yapılabilirlik bilgisinin sınıflandırılmasında kullanılan kriterler de farklılaşmıştır. O'Connor ve diğ. (1987) CII Constructability Task Force için hazırladığı raporda projenin mühendislik ve tedarik aşamasında yapılabilirliği iyileştirmek için kullanılabilecek yedi konsept tanımlamışlardır (Bakti ve Trigunarsyah, 2003; Gerth ve diğ, 2013):

- Yapım süreci odaklı planlama ve programlama
- Tasarımın basitleştirilmesi
- Tasarım elemanlarının tekrarı ve standartlaştırılması
- Yapım etkinliği için teknik şartnamelerin geliştirilmesi
- Ön üretim, ön montaj ve modülerizasyon kullanımı
- Yerleşim, malzeme ve iş gücüne ulaşılabilirlik
- Kötü hava koşulunda imalat için tasarım

O’Connor ve diğ. (1988), yapılabilirlik ile ilgili önceki çalışmalarını geliştirerek tasarım ve yapım aşamalarındaki uygulanma alanlarına göre aşağıda sıralanan sınıflandırmayı yapmışlardır (Khan, 2015).

- Konsept planlama aşaması
    - Yapılabilirlik programları, proje uygulama planlarının ayrılmaz bir parçası yapılır.
    - Proje planlaması aktif olarak inşaat bilgisi ve deneyimini içerir.
    - Yapım bilgisi ve tecrübesi olan personelin kaynağı ve nitelikleri farklı sözleşme stratejilerine göre değişir.
    - Genel proje programları yapım duyarlıdır.
    - Temel tasarım yaklaşımları başlıca yapım yöntemlerini dikkate alır.
- Tasarım ve tedarik aşaması
    - Şantiye düzeni verimli yapımı teşvik eder.
    - Tasarım ve tedarik programları yapım duyarlıdır.
    - Tasarımlar verimli yapımı sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.
    - Tasarım öğeleri standartlaştırılmıştır.
    - Şartname geliştirmede yapım verimliliği göz önüne alındığında, proje yapılabilirliği arttırılır.
    - Üretim, taşıma ve montaja olanak sağlamak için modül / ön montaj tasarımları hazırlanır.
    - Tasarımlar personel, malzeme ve ekipmanın yapım ulaşabilirliğini arttırır.
    - Tasarımlar olumsuz hava koşullarında yapımı kolaylaştırır.
- Saha operasyonları aşaması
    - Saha görevlerinin yenilikçi eksiksiz sıralaması.
    - Geçici yapım malzemeleri / sistemlerinin yenilikçi kullanımı.
    - El aletlerinin yenilikçi kullanımı.
    - İnşaat ekipmanlarının yenilikçi kullanımı.
    - Yüklenici tercihine bağlı ön montaj.
    - Saha yöntemlerini doğrudan destekleyen yenilikçi geçici tesisler.
    - Kalıcı malzemelerin düzeni, tasarımı ve seçimi ile ilgili ihale sonrası yüklenici tercihleri.

Amerikan yapılabilirlik ekolü American Society of Civil Engineers (ASCE) tarafından sürdürülmektedir. ASCE (1991) yapılabilirlik ilkeleri aşağıda sıralanan başlıklar üzerine yoğunlaşmaktadır (Delice, 2011).

- Proje yönetimi
- Proje dağıtım sistemi
- Kontrat stratejisi
- Risk yönetimi
- Yüklenici teklifi
- İşgücü planı
- Sahaya ulaşım
- Saha ve işleyiş taslağı
- Strüktür taslağı
- İşletim, bakım ya da değiştirme için ulaşılabilirlik
- Yapım sırası
- Donanım planı
- Ekipman ve malzeme sağlama
- Özel yapım teknikleri: ön üretim, ön montaj, modülizasyon
- Yapım için yönetim planı
- Kalite yönetimi
- Malzeme yönetimi
- Saha güvenliği
- İş güvenliği
- İşletilebilirlik
- Bakım yapılabilirliği

Avustralya'da da Construction Industry Institute Australia (CIIA), Avustralya inşaat sektörüne uyarlanmış CII yapılabilirlik konseptlerine dayanan on iki yapılabilirlik ilkesi geliştirmiştir. Bu ilkeler aşağıda sıralanmıştır (Crowther, 2002).

- Entegrasyon
- Yapım bilgisi
- Ekip yetenekleri

- Ortak hedefleri
- Ulaşılabilir kaynaklar
- Dış faktörler
- Program
- Yapım metodolojisi
- Ulaşılabilirlik
- Teknik şartnameler
- Yapımda yenilikler
- Geri besleme

Nima ve diğ. (2001) yapılabilirlik yaklaşımını tasarım ve yapım sürecinin farklı aşamaları genelinde geliştirmiştir. Bu çalışmada yapılabilirlik yaklaşımının benimsenmesini ve uygulanmasını kolaylaştırmak için geliştirilen 23 konsept üç süreç altında aşağıda verilen şekilde sınıflandırılmıştır (Othman, 2011).

- Konsept planlama aşaması
    - K1: Proje yapılabilirlik programı, tüm proje ekibi üyelerinin katılımı ile proje uygulama planı içinde tartışılmalı ve belgelenmelidir.
    - K2: Proje başlangıcından itibaren tüm aşamaları boyunca yapılabilirlik konusunu dikkate almak için, proje sahibinin, mühendisin ve yüklenicinin temsilcilerinden oluşan bir proje ekibi oluşturulmalı ve sürdürülmelidir.
    - K3: Mevcut inşaat bilgisine ve deneyime sahip bireyler, tasarım ve inşaat arasındaki çatışmanın önlenebilmesi için erken proje planlamasını gerçekleştirmelidir.
    - K4: Projenin uygulaması için gereken sözleşme türü ve sayısı seçilirken yapım yöntemleri göz önünde bulundurulmalıdır.
    - K5: Ana proje takvimi ve inşaat tamamlanma tarihi yapım-duyarlı olmalı ve mümkün olduğunca erken tayin edilmelidir.
    - K6: Saha operasyonlarının kolay ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, temel yapım yöntemleri, bu yöntemlere göre tasarımı yönlendirmek için mümkün olduğunca erken bir zamanda, derinlemesine tartışılmalı ve analiz edilmelidir. Bu, geri

kazanım ve geri dönüşüm yöntemlerinin yanı sıra sürdürülebilirlik ve nihai imha planlamasını içerebilir.

- K7: Saha yerleşimi, inşaat, işletme ve bakımın verimli bir şekilde yapılabilmesi ve bu aşamalar sırasında gerçekleştirilen faaliyetler arasında çatışmanın önlenmesi için, dikkatli bir şekilde çalışılmalıdır.

- Tasarım ve tedarik aşamaları
  - K8: Tasarım ve tedarik programları yapım sırasına göre belirlenmelidir. Bu nedenle, yapım programı tasarım geliştirme ve tedarik programından önce tartışılmalı ve geliştirilmelidir.
  - K9: Gelişmiş bilgi teknolojileri, inşaat sektörü dâhil olmak üzere her alanda önemlidir. Bu nedenle, bu teknolojilerin kullanımı, bu alandaki uzmanlaşmış rollere parçalanma probleminin üstesinden gelecektir ve yapılabilirliği geliştirecektir.
  - K10: Tasarımlar, tasarımcılar tarafından tasarımın basitleştirilmesi ve nitelikli inşaat personeli tarafından tasarım incelemesi yoluyla verimli bir yapıya kavuşmak için yapılandırılmalıdır. Bu, malzeme israfını en aza indirmeye, geri dönüşüme ve maliyet etkinliğine yardımcı olacaktır.
  - K11: Proje elemanları, proje maliyetini asla olumsuz yönde etkilemeyecek ölçüde standartlaştırılmalıdır.
  - K12: Proje teknik özellikleri, proje performansının seviyesinden veya verimliliğinden ödün vermeden, verimli yapıma ulaşmak için basitleştirilmeli ve yapılandırılmalıdır.
  - K13: Proje elemanları için modülerleştirme ve ön montajın uygulanması dikkate alınmalı ve dikkatle çalışılmalıdır. İmalat, nakliye ve montajı kolaylaştırmak için modülerleştirme ve ön montaj tasarımı hazırlanmalıdır.
  - K14: Proje tasarımı, inşaat personeli, malzeme ve ekipmanın saha içerisinde gerekli pozisyona ulaşabilmesini göz önünde bulundurmalıdır.
  - K15: Tasarım, olumsuz hava koşullarında yapımı kolaylaştırmalıdır. Uygun hava şartlarında projenin yapımını planlamak için çaba sarf edilmelidir; aksi halde tasarımcı atölyelerde önceden imal edilebilecek prefabrike proje elemanlarını arttırmalıdır.

- Saha operasyonları aşamaları
    - K16: Saha görevleri sıralaması, bazı proje elemanlarının hasarlarını veya yeniden işlenmesini minimize etmek, iskele ihtiyaçlarını, kullanılan kalıpları veya inşaat personeli, malzeme ve ekipmanın sıkışıklığını en aza indirmek için yapılandırılmalıdır.
    - K17: Geçici inşaat malzemeleri/sistemlerinde inovasyon veya tasarım çizimleri ve teknik şartnameler tarafından tanımlanmayan veya sınırlandırılmamış mevcut geçici inşaat malzemelerinin/sistemlerinin kullanılmasının yenilikçi yollarının uygulanması, yapılabilirliğin arttırılmasına olumlu katkıda bulunacaktır.
    - K18: Kullanıma hazır el aletlerinin kullanımında ya da mevcut araçların modifiye edilmesinde ya da emek yoğunluğunu azaltan, hareketliliği, güvenliği veya erişilebilirliği arttıran yeni el araçlarının tanıtılmasında yeni yöntemlerin inovasyonunu kapsama yapım aşamasında yapılabilirliği arttıracaktır.
    - K19: Mevcut ekipmanı kullanmak için yenilikçi metotların tanıtılması veya mevcut ekipmanların verimliliğini artırmak için modifikasyonunun yapılması daha iyi bir yapılabilirliğe öncülük edecektir.
    - K20: Verimliliği arttırmak, iskele ihtiyacını azaltmak ya da olumsuz hava koşullarında proje yapılabilirliği iyileştirmek için, yüklenicilerin isteğe bağlı herhangi bir ön montajı kullanmaya teşvik edilmeleri gerekmektedir.
    - K21: Yüklenicinin geçici tesislerin inovasyonunu gerçekleştirmesi için cesaretlendirilmesiyle yapılabilirlik arttırılabilir.
    - K22: Kalite ve zamana bağlı olarak iyi yükleniciler belgelendirilmelidir. Böylece gelecekteki inşaat işlerinde sözleşmeler sadece düşük tekliflere göre değil, kalite ve zaman gibi diğer proje nitelikleri de göz önüne alınarak yapılacaktır.
    - K23: Yapılabilirlik konseptleriyle ilgili konuların değerlendirilmesi, dokümantasyonu ve geri bildirimi, öğrenilen dersler olarak daha sonraki projelerde kullanılmak üzere proje boyunca korunmalıdır.

Yapılabilirlik bilgisini detay tasarımı açısından inceleyen çalışmalar da yapılmıştır. Bu yaklaşımın temsilcilerinden Emmitt ve diğ. (2004), Ballast (2010), Allen ve Rand'in (2016) çalışmaları incelenmiştir. Emmitt ve diğ. (2004) yapılabilirliği üç tema altında değerlendirmektedir: basitlik, standardizasyon ve iyi iletişim. Yapılabilirliği sağlamak için gerekli tasarım faktörlerini ise şu şekilde sınıflandırmışlardır:

- Boyutsal koordinasyon
- Alışılmış materyallerin ve yapım tekniklerinin kullanımı
- Strüktürün tasarım koordinasyonu
- Müşterinin gereksinimlerine ve bunu takip eden konsept tasarıma uygunluk.
- Üretilen bilgilerin doğruluğu

Ballast (2010) yapılabilirlik kavramını, "detayın temel işlevi veya estetik ihtiyaçlarından bağımsız olarak, detayın kendisi tarafından üretilen gereksinimlerin toplamı" olarak tanımlamıştır. Örneğin her detay yapısal olarak sağlam olmalı, uygun birleşimler kullanmalı, toleransları karşılamalı ve planlanan yaşam döngüsüne uyacak şekilde dayanıklı olmalıdır. Bu yaklaşım bağlamında yapılabilirlik kriterlerini sekiz ana başlık altında aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

- Strüktürel gereksinimler
    - Strüktürün temel konseptleri
    - Mümkün olduğunda basit direkt taşıyıcı birleşimlerin kullanılması
    - Kiriş davranışının birleştirilmesi
    - Mümkün olan en basit birleşimlerin kullanılması
    - İhtiyaç olduğunda yedekli birleşim veya taşıyıcının kullanılması
    - Üretici tarafından onaylanmış strüktürel birleşimlerin kullanılması
    - Yeniden kullanım potansiyeli için sökülebilir birleşimlerin kullanılması
- Birleşimler
    - Rijit birleşimler için uygun yöntemin kullanılması
    - Kullanım alanına göre sökülebilir birleşim tipinin belirlenmesi
    - Birleşim sayısı ve tipinin minimize edilmesi
    - Birleşimlerin ulaşılabilir olması
- Çalışma (*Movement*)

    - Ortama alıştırılmış malzemelerin kullanılması
    - Ahşapta yükü alınmış arkalıkların kullanılması (*Use relieved backs on wood*)
    - Kontrol bağlantılarının kullanılması (*Use control joints*)
    - Genleşme derzlerinin temini (*Provide expansion joints*)
    - Sürgülü, üst üste çakışan bağlantıların kullanılması (*Use sliding/overlapping joints*)
    - Kayma bağlantıların kullanılması (*Use slip joints*)
    - Bina genleşme derzlerini kullanılması
    - Açık alan sağlanması
- Tolerans
    - Ayar alanının sağlanması (*Provide shim space*)
    - Çizici ile işaretlemenin sağlanması (*Provide scribe*)
    - Pervazların kullanılması (*Use reveals*)
    - Öteleme/ çıkıntıların kullanılması (*Use offsets*)
    - Dolgu şeritlerinin kullanılması (*Use filler strips*)
    - Sürgülü ya da üst üste çakışan geçmelerin kullanılması (*Use sliding or overlapping fit*)
    - Ayarlanabilir bağlantıların kullanılması (*Use adjustable connections*)
    - Yeterli açıklık verilmesi ve ara parçaların birleştirilmesi (*Give adequate clearance and ıncorporate intermediate attachments*)
- Boşluklar **(***Clearances*)
    - Çalışma ve montaj için alan ayrılması
    - Parçaların montajı için alan sağlanması
    - Toleranslara olanak verilmesi
- Dayanıklılık (*Durability*)
    - Kendinden dayanıklı (*Self-Durable*)
    - Uygulamalı koruma (*Applied protection*)
- Bakım yapılabilirlik (*Maintainability*)
    - Temizlenebilirlik (*Cleanability*)
    - Ayarlanabilme (*Adjustability*)
    - Onarım ve değiştirme (*Repair and replacement*)
- Yapım süreci

    - Parça sayısı
    - Sekans
    - İş gücü ticaret bölümü (*Trade division of labor*)
    - Kullanıma hazır ya da özel üretim parçalar (*Off-shelf versus custom part)*
    - Fabrikada ya da sahada üretim (*Shop versus field fabricated*)

Allen ve Rand (2016) detay tasarımında kullanılacak yapılabilirlik kriterlerini üç ana başlık altında, aşağıda verilen şekilde sınıflandırmışlardır:

- Montaj kolaylığı
    - Kesilmemiş/Tam birimler
    - Minimum parça sayısı
    - Taşınması kolay parçalar
    - Tekrar eden montaj
    - Benzeşik (temsili) montajlar (*Simulated Assemblies*)
    - Gözlemlenebilir montajlar (*Observable Assemblies*)
    - Ulaşılabilir birleşimler
    - Demontaj için detaylandırma
    - Montaj boşluğu
    - Çelişmeyen sistemler
- Toleranslı detaylar
    - Boyutsal tolerans
    - Kayar geçme
    - Ayarlanabilir geçme
    - Pervaz/açığa vurma
    - Alından birleşme
    - Temiz kenar
    - Aşamalı bitiş
    - Toleranslı yüzey
- Yapım kaynaklarının etkin kullanımı
    - Fabrika ve inşaat alanı
    - Tekrarlayan üretim
    - Yapım sıralamasını prova yapma (*Rehearsing the construction sequence*)

- Kullanıma hazır parçalar
- Yerel yetenekler ve kaynaklar
- Formları kuvvetlerle hizalama (*Aligning forms with forces*)
- Detayları arındırma (*Refining the detail*)
- Her tür havaya elverişli yapım
- İşçilik onuru (*Pride of craftsmanship*)
- Kabul edilen standartlar

Yapılabilirlik bilgisinin sınıflandırılması ile ilgili yapılan çalışmaların bir diğeri de literatürde yer alan yapılabilirlik kriterleri, konseptleri ve ilkelerinin derlenmesi ve tekrar sınıflandırılmasıdır. Delice (2011) yaptığı çalışmada on farklı kaynaktan topladığı yapılabilirlik kriterlerini tekrarlanma sayılarına göre değerlendirerek yirmibir adet yapılabilirlik kriteri elde etmiştir. Daha sonra bu kriterleri tasarımcı anketleri ile yapılabilirlik kriterlerinin uygulanmasında sorumlu kişilere, ön tasarım, detay tasarımı, yapım hazırlık ve yapım süreçlerinde kullanılacak şekilde gruplandırmıştır. Delice'nin (2011) derlediği yapılabilirlik kriterleri şunlardır:

- Basitleştirme
  - Az sayıda bileşen/eleman kullanma
  - Malzemeyi temel boyut ve şeklinde kullanma
  - İşlenmesi kolay, kalifiye işçilik gerektirmeyen imalat yapma
  - Ölçüsel ayarların sahada kolayca yapılabildiği imalat yapma
  - Mimari işler ile servis sistemleri arasındaki imalat yükünü azaltma
- Standartlaştırma
  - Yapım sisteminin standartlaştırılması
  - Malzeme tiplerinin standartlaştırılması
  - Detayların standartlaştırılması
  - Boyutların standartlaştırılması
- Boyutsal tolerans
  - Farklı malzeme birleşimlerinde toleranslar
  - Aynı malzeme birleşimlerinde toleranslar
- Endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı
  - Ön üretimin (Prefabrikasyon) kullanımı
  - Ön montajın kullanımı

    - Modüler sistemlerin kullanımı
- Yapım aşamalarının tanımlanması
- Şantiyeye ulaşımın ve şantiye içi ulaşılabilirliğin sağlanması
    - Sahaya ulaşılabilirlik analizlerinin yapılması
    - Şantiyeye giriş-çıkışın sağlanması
    - Şantiye içi ulaşılabilirliğin sağlanması
- Yapım veya montaj için ulaşılabilirliğin sağlanması
- Taşınabilir parçaların kullanımı
    - Kol gücü ile taşınabilir parçaların kullanımı
    - İş makineleri ile taşınabilir parçaların kullanımı
- Arsa araştırmalarının yapılması
- Toprak altı çalışmalarının en azda tutulması
- Şantiyedeki depolama olanaklarının oluşturulması
- Kolay bulunabilir kaynakların kullanılması
- Kolay bulunabilir malzemelerin kullanılması
- Her türlü hava koşulunda yapım
- Yapım ekiplerinin tek seferde işlerini tamamlaması
- Dış kabuğu ilk aşamada oluşturma
- Yapımda iş güvenliğinin dikkate alınması
- Geliştirilmiş detayların kullanımı
    - Çakışmayan sistemler
    - Birleşimlerin üst üste getirilerek yapılması
    - Yerinde ayarlanabilir birleşimler
    - Ucuca birleşimler
    - Köşe ve kenar bitişleri
    - Geliştirilmiş bitişler
- Sistemler entegrasyonu
- Bina elde etme sürecinde yer alan ekipler arası iletişim
- Tasarımın gerekli düzeyde anlatımı

Zolfagharian ve Irizarry (2017) yaptıkları kapsamlı literatür araştırmasında 79 temel yapılabilirlik özelliği belirlemişlerdir. Öncelikle bu özellikleri tasarım ve yapım olmak üzere iki kategoriye ayırarak 13 başlık altında derlemişlerdir. Tasarım

kategorisi basitleştirme, standartlaştırma, koordinasyon, prefabrikasyon ve esneklik özelliklerini; yapım kategorisi de arsa, çevre, güvenlik, kaynaklar, geçici erişim, mekân, denetleme ve amaca uygunluk özelliklerini içermektedir. Daha sonra da bu özellikleri 6 faktör altında kategorize etmişler ve birbirlerine göre bağıl önemlerini hesaplamışlardır (Çizelge D.1).

Çizelge D.1: Yapılabilirlik faktörleri ve bağıl önemleri (Zolfagharian ve Irizarry, 2017).

Yapılabilirlik Faktörü	Yapılabilirlik İndeksi
Tasarım değerlendirmesi ve koordinasyon	1
Yapı detayları ve tasarım bileşenleri	0.959
Şantiye lojistik planlama ve programlama	0.945
Tasarım standardizasyonu	0.777
Kaynak bilgisi ve sıralama	0.656
İnovasyon	0.6

Yapılabilirlik bilgisinin nitel temsilcileri ile ilgili yapılan bu araştırma sonunda açıkça görülmektedir ki projelerde yapılabilirlik yaklaşımının uygulanmasında öncelikle yapılması gereken çalışmalardan biri amaca ve kullanım aşamasına uygun olarak nitel temsilcilerin belirlenmesidir. Bu şekilde yapılabilirliğin hedeflenen yararlarına ulaşabilme yolunda daha kısa ve dolaysız bir strateji belirlenebilecektir.

EK E: Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Tasarımı Probleminin Çözüm Yollarının Tanımlanması İçin Geliştirilen Konseptlerin, Konsept Değişkenlerine Bağlı Olarak Haritalanması

KONSEPT DEĞİŞKENLERİ

Tepki Veren Cephe Türü

Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik		
	Dinamik		
Tepki Veren Bileşenler	Cephe		
	Bileşen		
	Eleman		
	Malzeme		
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre		
	Cepheye entegre değil	Cephe düzleminin dış tarafında	
		Cephe düzleminin iç tarafında	
Tepki Faktörü	Kullanıcılar	Bireysel Kullanıcılar	
		Kullanıcı Grupları	
		Kuruluşlar	
	Çevre Koşulları	Dış Ortam	Güneş ışınımı
			Dış ortam sıcaklığı
			Nem oranı
			Rüzgâr
			Yağış
			Ses
		İç Ortam	İç ortam sıcaklığı
			Nem oranı
			Işık miktarı ve kalitesi
			Hava değişim hızı
			Hava hızı
			Ses düzeyi
	Nesneler	İçinden Geçen Nesneler	
		Önünden Geçen Nesneler	
Hareket Tipi	Katlanma		
	Kayma		
	Genişleme		
	Büzülme		
	Hem boyut hem de şekil olarak değişme		
	Ölçeklenme		
	Yuvarlanma		
	Burkulma		
	Rotasyon		
	Dışarı itilme		
Aktüatör Tipi	Motor esaslı		
	Hidrolik		
	Pnömatik		
	Malzeme esaslı		
	Kimyasal		
	Manyetik		
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik		
	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi		
	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme		
	Rüzgâr enerjisini toplama ve dönüştürme		
	Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme		
	Renk değiştirme		
	Doku değişimi		
	Şekil değiştirme		

Tasarım Tipi

Özgün tasarım			
Uyarlama tasarım			
Değişimli tasarım			
Seçme tasarım			
Konfigürasyon tasarım			
Endüstriyel tasarım			
Rutin tasarım			
Yeniden tasarım	Özgün yeniden tasarım	Parametrik yeniden tasarım	Uyarlama yeniden tasarım

Yapılabilirliğin Arttırılmasında Kullanılacak Strateji

1	Sadeleştirme
	Az sayıda bileşen/eleman kullanma
	Malzemeyi temel boyut ve şeklinde kullanma
	İşlenmesi kolay, kalifiye işçilik gerektirmeyen imalat yapma
	Ölçüsel ayarların sahada kolayca yapılabildiği imalat yapma
	Mimari işler ile servis sistemleri arasındaki imalat yükünü azaltma
2	Standartlaştırma
	Malzeme tiplerinin standartlaştırılması
	Detayların standartlaştırılması
	Boyutların standartlaştırılması
3	Boyutsal Tolerans
	Farklı malzeme birleşimlerinde toleranslar
	Aynı malzeme birleşimlerinde toleranslar
4	Endüstrileşmiş Yapım Tekniklerinin Kullanımı
	Ön montajın kullanımı
5	Yapım Aşamalarının Tanımlanması
	Aşamalı detaylandırmanın yapılması
6	Yapım İçin Ulaşılabilirliğin Sağlanması
7	Taşınabilir Parçaların Kullanımı
8	Kolay Bulunabilir Malzemelerin Kullanılması
9	Geliştirilmiş detayların kullanımı
	Çakışmayan sistemler oluşturma
	Birleşimlerin üst üste getirilerek yapılması
	Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı
	Uç uca birleşimlerin bozulmalara karşı dirençli olması
	Köşe ve kenar bitişlerinin korunması (kırılma ve güvenlik)
	Geliştirilmiş bitişler (tamir edilebilir yüzey oluşturma)
10	Sistemler Entegrasyonu
	Yapı elemanı, taşıyıcı sistem ve servis sistemlerini bütünleşik tasarım yapma

Bileşenlerin Standardizasyon Düzeyi

Düşük — Yüksek

Fonksiyonel İhtiyaçlar — Düşük — Yüksek

Performans İhtiyaçları — Düşük — Yüksek

Özelleştirme İhtiyacı — Düşük — Yüksek

Üretim Miktarı — Düşük — Yüksek

Proje Bütçesi — Düşük — Yüksek

Şekil E.1: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm kümesini tanımlayan konsept değişkenlerinin şematik gösterimi.

KONSEPT DEĞİŞKENLERİ

Tepki Veren Cephe Türü

Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik		
	Dinamik		
Tepki Veren Bileşenler	Cephe		
	Bileşen		
	Eleman		
	Malzeme		
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre		
	Cepheye entegre değil	Cephe düzleminin dış tarafında	
		Cephe düzleminin iç tarafında	
Tepki Faktörü	Kullanıcılar	Bireysel Kullanıcılar	
		Kullanıcı Grupları	
		Kuruluşlar	
	Çevre Koşulları	Dış Ortam	Güneş ışınımı
			Dış ortam sıcaklığı
			Nem oranı
			Rüzgâr
			Yağış
			Ses
		İç Ortam	İç ortam sıcaklığı
			Nem oranı
			Işık miktarı ve kalitesi
			Hava değişim hızı
			Hava hızı
			Ses düzeyi
	Nesneler	İçinden Geçen Nesneler	
		Önünden Geçen Nesneler	
Hareket Tipi	Katlanma		
	Kayma		
	Genişleme		
	Büzülme		
	Hem boyut hem de şekil olarak değişme		
	Ölçeklenme		
	Yuvarlanma		
	Burkulma		
	Rotasyon		
	Dışarı itilme		
Aktüatör Tipi	Motor esaslı		
	Hidrolik		
	Pnömatik		
	Malzeme esaslı		
	Kimyasal		
	Manyetik		
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik		
	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi		
	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme		
	Rüzgâr enerjisini toplama ve dönüştürme		
	Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme		
	Renk değiştirme		
	Doku değişimi		
	Şekil değiştirme		

Tasarım Tipi

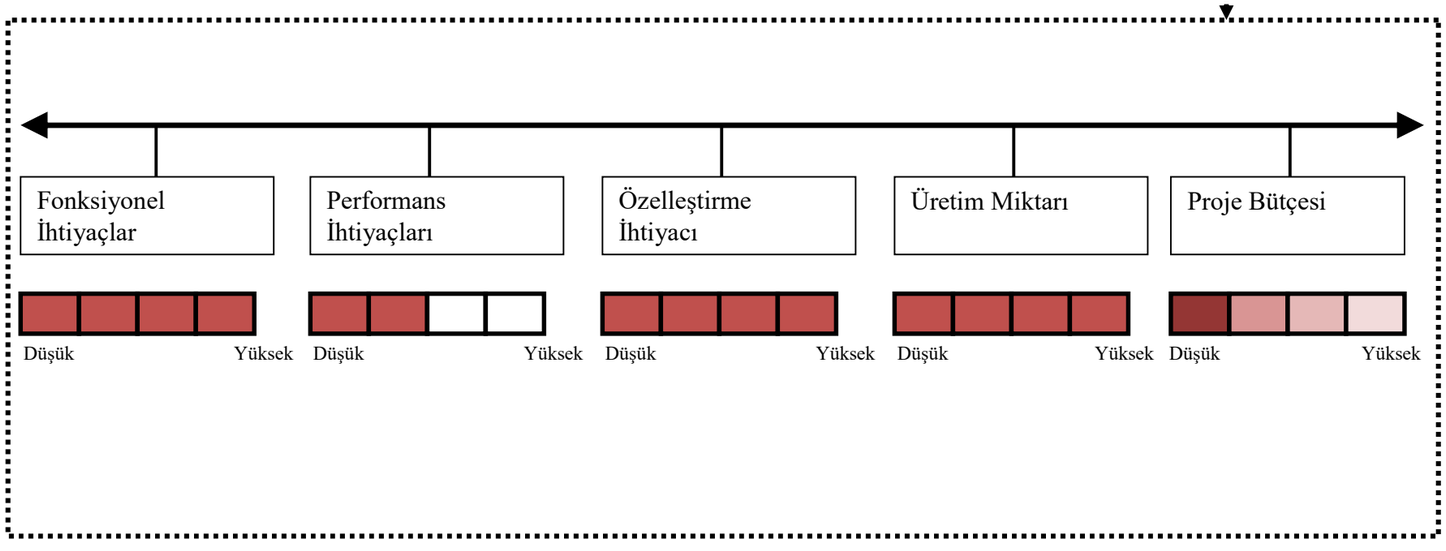
Özgün tasarım			
Uyarlama tasarım			
Değişimli tasarım			
Seçme tasarım			
Konfigürasyon tasarım			
Endüstriyel tasarım			
Rutin tasarım			
Yeniden tasarım	Özgün yeniden tasarım	Parametrik yeniden tasarım	Uyarlama yeniden tasarım

Yapılabilirliğin Arttırılmasında Kullanılacak Strateji

1	Sadeleştirme
	Az sayıda bileşen/eleman kullanma
	Malzemeyi temel boyut ve şeklinde kullanma
	İşlenmesi kolay, kalifiye işçilik gerektirmeyen imalat yapma
	Ölçüsel ayarların sahada kolayca yapılabildiği imalat yapma
	Mimari işler ile servis sistemleri arasındaki imalat yükünü azaltma
2	Standartlaştırma
	Malzeme tiplerinin standartlaştırılması
	Detayların standartlaştırılması
	Boyutların standartlaştırılması
3	Boyutsal Tolerans
	Farklı malzeme birleşimlerinde toleranslar
	Aynı malzeme birleşimlerinde toleranslar
4	Endüstrileşmiş Yapım Tekniklerinin Kullanımı
	Ön montajın kullanımı
5	Yapım Aşamalarının Tanımlanması
	Aşamalı detaylandırmanın yapılması
6	Yapım İçin Ulaşılabilirliğin Sağlanması
7	Taşınabilir Parçaların Kullanımı
8	Kolay Bulunabilir Malzemelerin Kullanılması
9	Geliştirilmiş detayların kullanımı
	Çakışmayan sistemler oluşturma
	Birleşimlerin üst üste getirilerek yapılması
	Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı
	Uç uca birleşimlerin bozulmalara karşı dirençli olması
	Köşe ve kenar bitişlerinin korunması (kırılma ve güvenlik)
	Geliştirilmiş bitişler (tamir edilebilir yüzey oluşturma)
10	Sistemler Entegrasyonu
	Yapı elemanı, taşıyıcı sistem ve servis sistemlerini bütünleşik tasarım yapma

Bileşenlerin Standardizasyon Düzeyi





Şekil E.2: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarının tanımlanması için geliştirilen Konsept 1'in konsept değişkenlerine bağlı olarak haritalanması.

KONSEPT DEĞİŞKENLERİ

Tepki Veren Cephe Türü

Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik		
	Dinamik		
Tepki Veren Bileşenler	Cephe		
	Bileşen		
	Eleman		
	Malzeme		
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre		
	Cepheye entegre değil	Cephe düzleminin dış tarafında	
		Cephe düzleminin iç tarafında	
Tepki Faktörü	Kullanıcılar	Bireysel Kullanıcılar	
		Kullanıcı Grupları	
		Kuruluşlar	
	Çevre Koşulları	Dış Ortam	Güneş ışınımı
			Dış ortam sıcaklığı
			Nem oranı
			Rüzgâr
			Yağış
			Ses
		İç Ortam	İç ortam sıcaklığı
			Nem oranı
			Işık miktarı ve kalitesi
			Hava değişim hızı
			Hava hızı
			Ses düzeyi
	Nesneler	İçinden Geçen Nesneler	
		Önünden Geçen Nesneler	
Hareket Tipi	Katlanma		
	Kayma		
	Genişleme		
	Büzülme		
	Hem boyut hem de şekil olarak değişme		
	Ölçeklenme		
	Yuvarlanma		
	Burkulma		
	Rotasyon		
	Dışarı itilme		
Aktüatör Tipi	Motor esaslı		
	Hidrolik		
	Pnömatik		
	Malzeme esaslı		
	Kimyasal		
	Manyetik		
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik		
	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi		
	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme		
	Rüzgâr enerjisini toplama ve dönüştürme		
	Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme		
	Renk değiştirme		
	Doku değişimi		
	Şekil değiştirme		

Tasarım Tipi

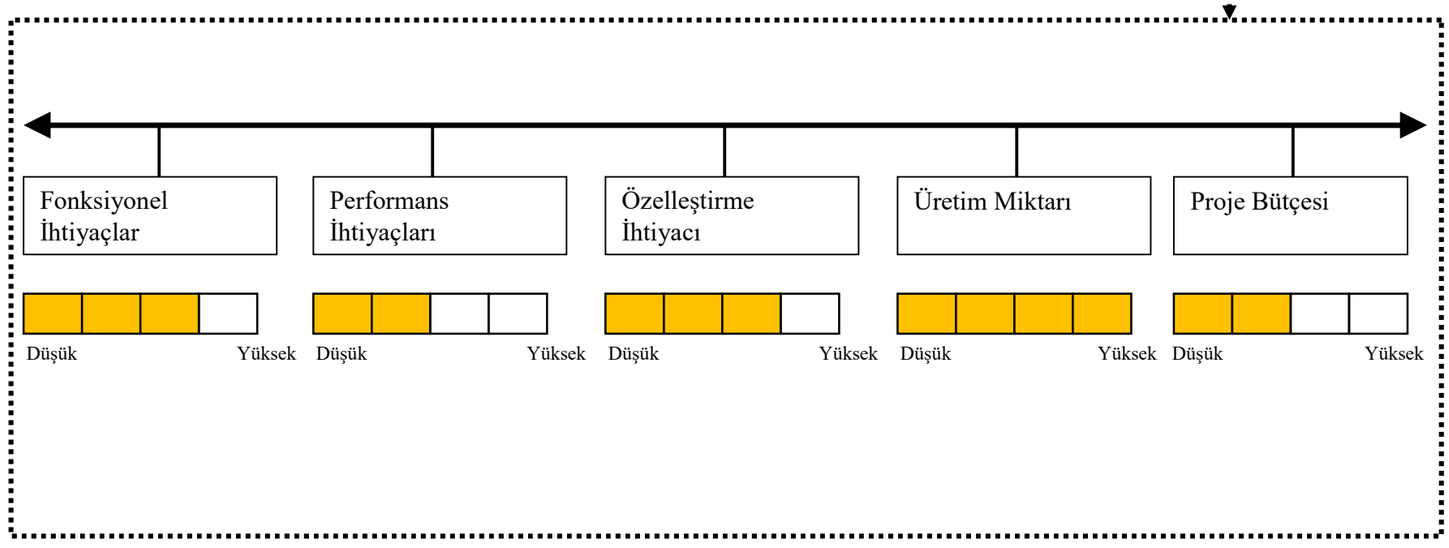
Özgün tasarım			
Uyarlama tasarım			
Değişimli tasarım			
Seçme tasarım			
Konfigürasyon tasarım			
Endüstriyel tasarım			
Rutin tasarım			
Yeniden tasarım	Özgün yeniden tasarım	Parametrik yeniden tasarım	Uyarlama yeniden tasarım

Yapılabilirliğin Arttırılmasında Kullanılacak Strateji

1	Sadeleştirme
	Az sayıda bileşen/eleman kullanma
	Malzemeyi temel boyut ve şeklinde kullanma
	İşlenmesi kolay, kalifiye işçilik gerektirmeyen imalat yapma
	Ölçüsel ayarların sahada kolayca yapılabildiği imalat yapma
	Mimari işler ile servis sistemleri arasındaki imalat yükünü azaltma
2	Standartlaştırma
	Malzeme tiplerinin standartlaştırılması
	Detayların standartlaştırılması
	Boyutların standartlaştırılması
3	Boyutsal Tolerans
	Farklı malzeme birleşimlerinde toleranslar
	Aynı malzeme birleşimlerinde toleranslar
4	Endüstrileşmiş Yapım Tekniklerinin Kullanımı
	Ön montajın kullanımı
5	Yapım Aşamalarının Tanımlanması
	Aşamalı detaylandırmanın yapılması
6	Yapım İçin Ulaşılabilirliğin Sağlanması
7	Taşınabilir Parçaların Kullanımı
8	Kolay Bulunabilir Malzemelerin Kullanılması
9	Geliştirilmiş detayların kullanımı
	Çakışmayan sistemler oluşturma
	Birleşimlerin üst üste getirilerek yapılması
	Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı
	Uç uca birleşimlerin bozulmalara karşı dirençli olması
	Köşe ve kenar bitişlerinin korunması (kırılma ve güvenlik)
	Geliştirilmiş bitişler (tamir edilebilir yüzey oluşturma)
10	Sistemler Entegrasyonu
	Yapı elemanı, taşıyıcı sistem ve servis sistemlerini bütünleşik tasarım yapma

Bileşenlerin Standardizasyon Düzeyi

Düşük — Yüksek



Şekil E.3: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarının tanımlanması için geliştirilen Konsept 2'nin konsept değişkenlerine bağlı olarak haritalanması.

KONSEPT DEĞİŞKENLERİ

Tepki Veren Cephe Türü

Tepki Faktörüne Verilen Karşılık	Statik		
	Dinamik		
Tepki Veren Bileşenler	Cephe		
	Bileşen		
	Eleman		
	Malzeme		
Mekânsal Morfoloji	Cepheye entegre		
	Cepheye entegre değil	Cephe düzleminin dış tarafında	
		Cephe düzleminin iç tarafında	
Tepki Faktörü	Kullanıcılar	Bireysel Kullanıcılar	
		Kullanıcı Grupları	
		Kuruluşlar	
	Çevre Koşulları – Dış Ortam	Güneş ışınımı	
		Dış ortam sıcaklığı	
		Nem oranı	
		Rüzgâr	
		Yağış	
		Ses	
	Çevre Koşulları – İç Ortam	İç ortam sıcaklığı	
		Nem oranı	
		Işık miktarı ve kalitesi	
		Hava değişim hızı	
		Hava hızı	
		Ses düzeyi	
	Nesneler	İçinden Geçen Nesneler	
		Önünden Geçen Nesneler	
Hareket Tipi	Katlanma		
	Kayma		
	Genişleme		
	Büzülme		
	Hem boyut hem de şekil olarak değişme		
	Ölçeklenme		
	Yuvarlanma		
	Burkulma		
	Rotasyon		
	Dışarı itilme		
Aktüatör Tipi	Motor esaslı		
	Hidrolik		
	Pnömatik		
	Malzeme esaslı		
	Kimyasal		
	Manyetik		
Tepkinin Etkisi	Güneş kazançlarını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	İletken, konvektif ve uzun dalga radyan ısı akışını önleme, reddetme, içeri alma veya modüle etme (saklama, dağıtma)		
	Dış hava değişim ve filtreleme için kontrollü gözeneklilik		
	Görünür ışığın önlenmesi, reddedilmesi, içeri alınması veya yönlendirilmesi		
	Ses basıncını önleme, reddetme, içeri alma veya yönlendirme		
	Rüzgâr enerjisini toplama ve dönüştürme		
	Görüşü önleme, reddetme veya modüle etme		
	Renk değiştirme		
	Doku değişimi		
	Şekil değiştirme		

Tasarım Tipi

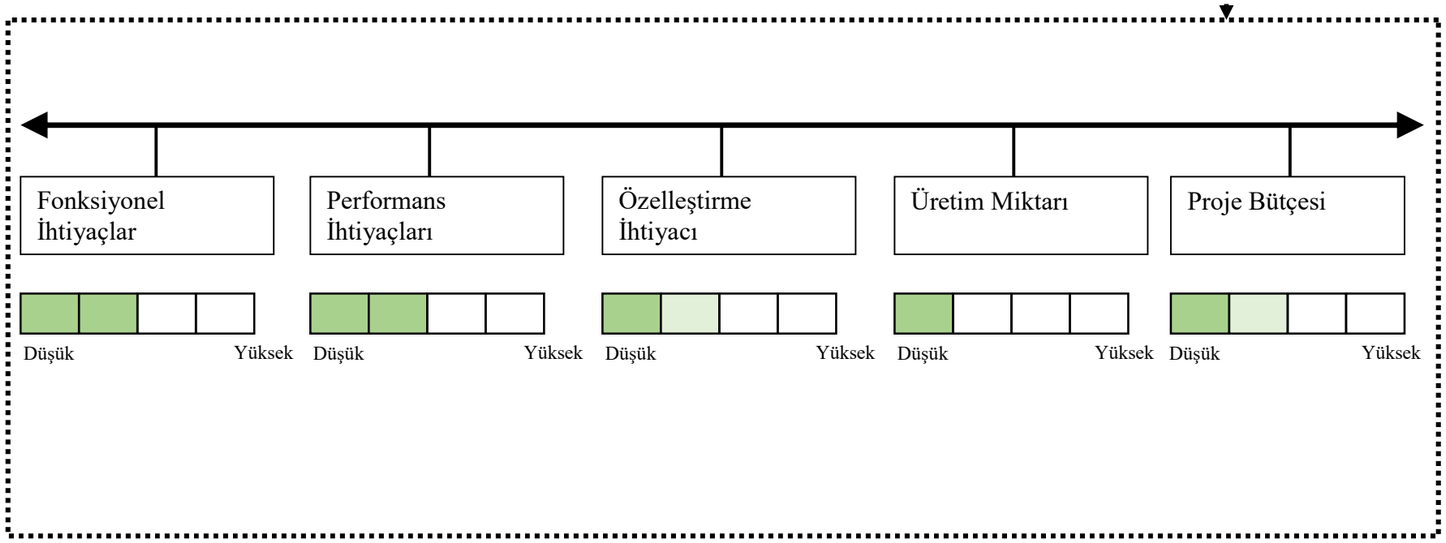
Özgün tasarım			
Uyarlama tasarım			
Değişimli tasarım			
Seçme tasarım			
Konfigürasyon tasarım			
Endüstriyel tasarım			
Rutin tasarım			
Yeniden tasarım	Özgün yeniden tasarım	Parametrik yeniden tasarım	Uyarlama yeniden tasarım

Yapılabilirliğin Arttırılmasında Kullanılacak Strateji

1	Sadeleştirme
	Az sayıda bileşen/eleman kullanma
	Malzemeyi temel boyut ve şeklinde kullanma
	İşlenmesi kolay, kalifiye işçilik gerektirmeyen imalat yapma
	Ölçüsel ayarların sahada kolayca yapılabildiği imalat yapma
	Mimari işler ile servis sistemleri arasındaki imalat yükünü azaltma
2	Standartlaştırma
	Malzeme tiplerinin standartlaştırılması
	Detayların standartlaştırılması
	Boyutların standartlaştırılması
3	Boyutsal Tolerans
	Farklı malzeme birleşimlerinde toleranslar
	Aynı malzeme birleşimlerinde toleranslar
4	Endüstrileşmiş Yapım Tekniklerinin Kullanımı
	Ön montajın kullanımı
5	Yapım Aşamalarının Tanımlanması
	Aşamalı detaylandırmanın yapılması
6	Yapım İçin Ulaşılabilirliğin Sağlanması
7	Taşınabilir Parçaların Kullanımı
8	Kolay Bulunabilir Malzemelerin Kullanılması
9	Geliştirilmiş detayların kullanımı
	Çakışmayan sistemler oluşturma
	Birleşimlerin üst üste getirilerek yapılması
	Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı
	Uç uca birleşimlerin bozulmalara karşı dirençli olması
	Köşe ve kenar bitişlerinin korunması (kırılma ve güvenlik)
	Geliştirilmiş bitişler (tamir edilebilir yüzey oluşturma)
10	Sistemler Entegrasyonu
	Yapı elemanı, taşıyıcı sistem ve servis sistemlerini bütünleşik tasarım yapma

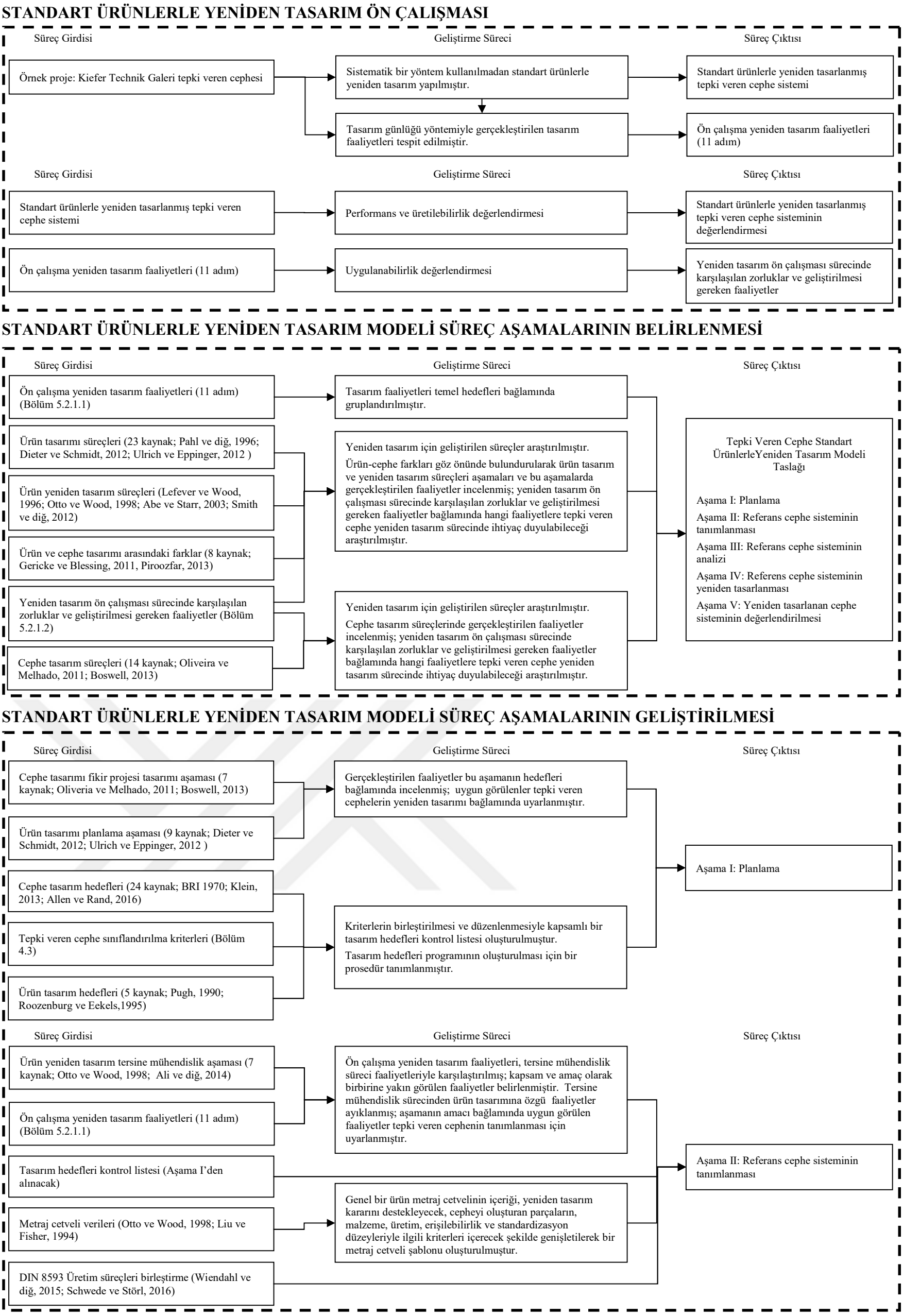
Bileşenlerin Standardizasyon Düzeyi



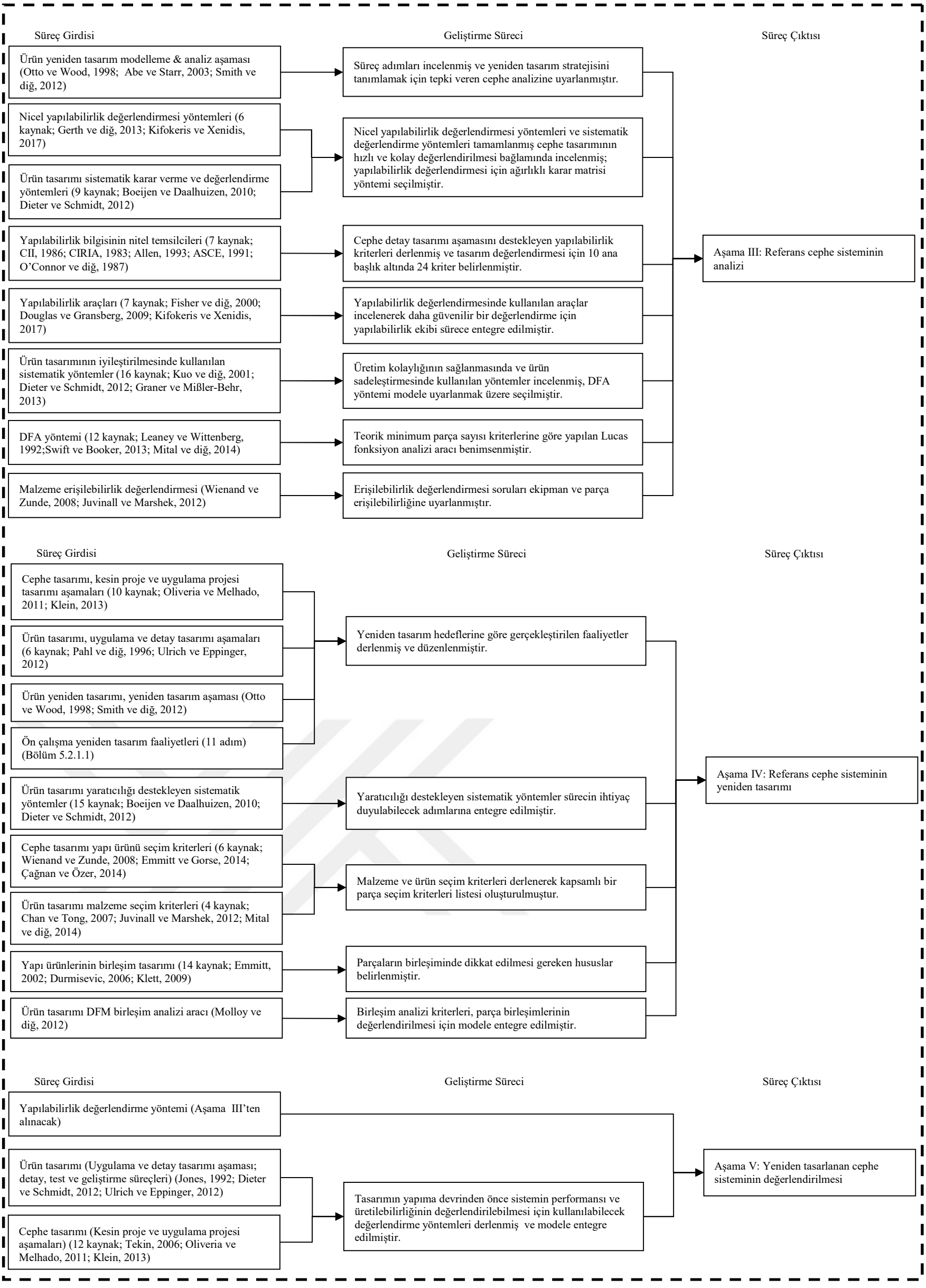


Şekil E.4: Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı probleminin çözüm yollarının tanımlanması için geliştirilen Konsept 3'ün konsept değişkenlerine bağlı olarak haritalanması.

EK F: Mevcut Tepki Veren Cephelerin Standart Ürünlerle Yeniden Tasarımı Modelinin Geliştirilmesinde Kullanılan Yöntem

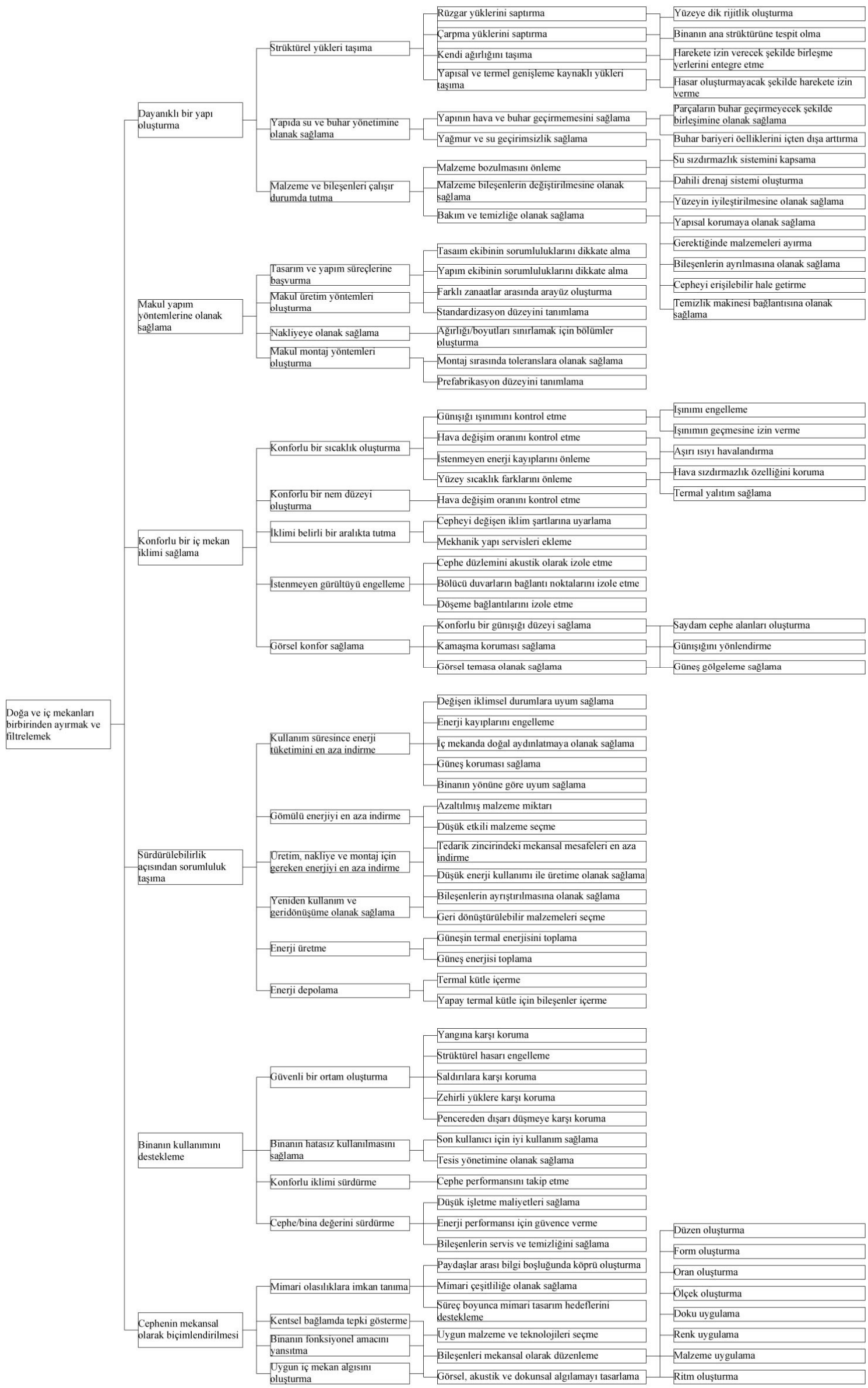


Şekil F.1: Mevcut tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı modelinin geliştirilmesinde kullanılan yöntem.

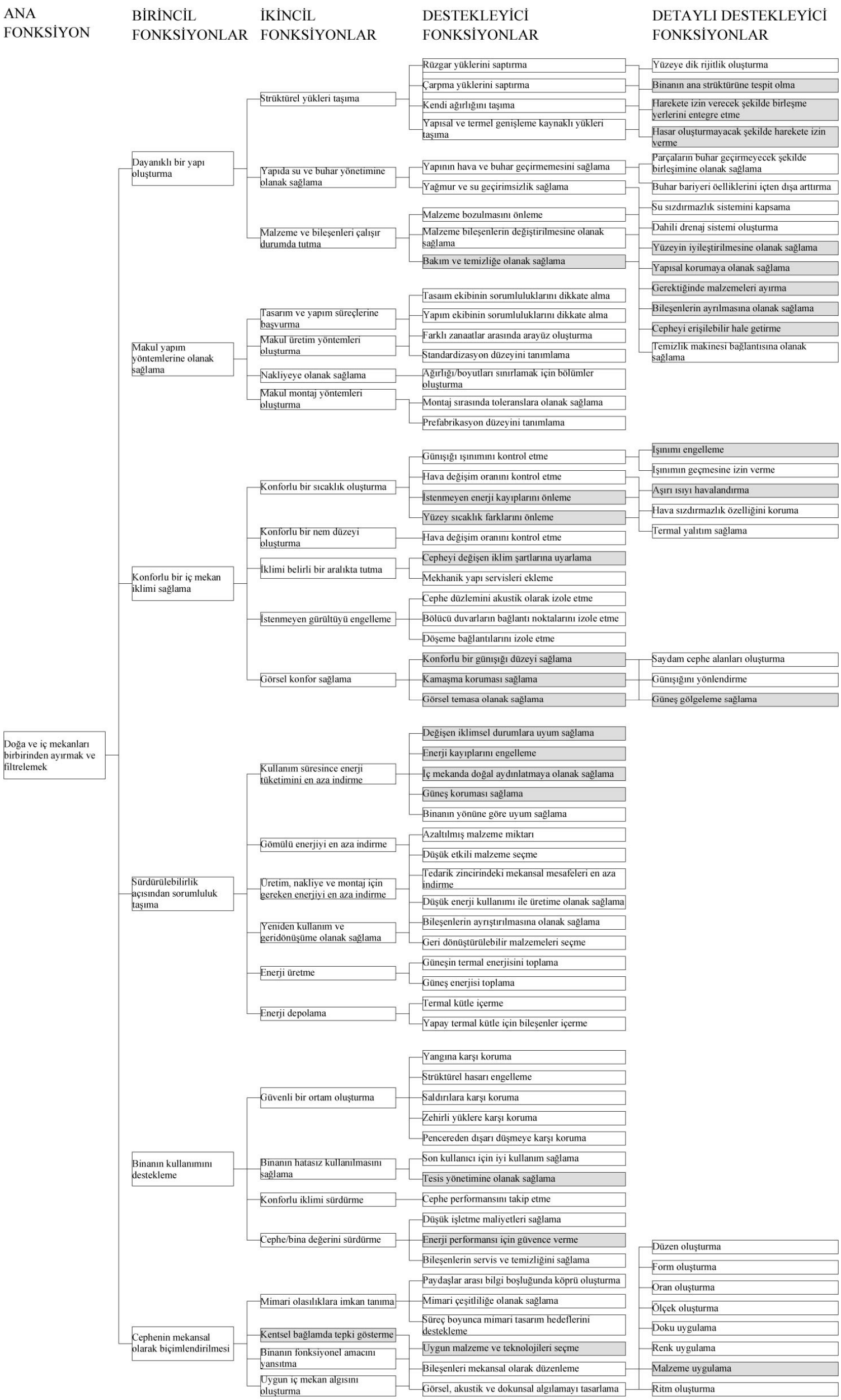


Şekil F.1 (devam): Mevcut tepki veren cephelerin standart ürünlerle yeniden tasarımı modelinin geliştirilmesinde kullanılan yöntem.

EK G: Cephe Fonksiyon Ağacı



Şekil G.1: Cephe fonksiyon ağacı (Klein, 2013).



Şekil G.2: Kiefer Technik Galeri tepki veren cephesinin, cephe fonksiyon ağacına göre değerlendirilmesi (Boyalı alanlar cephenin fonksiyonlarını belirtir) (Uyarlama; Klein, 2013).

EK Ğ: Literatürde Yer Alan Cephe Tasarım Kriterleri

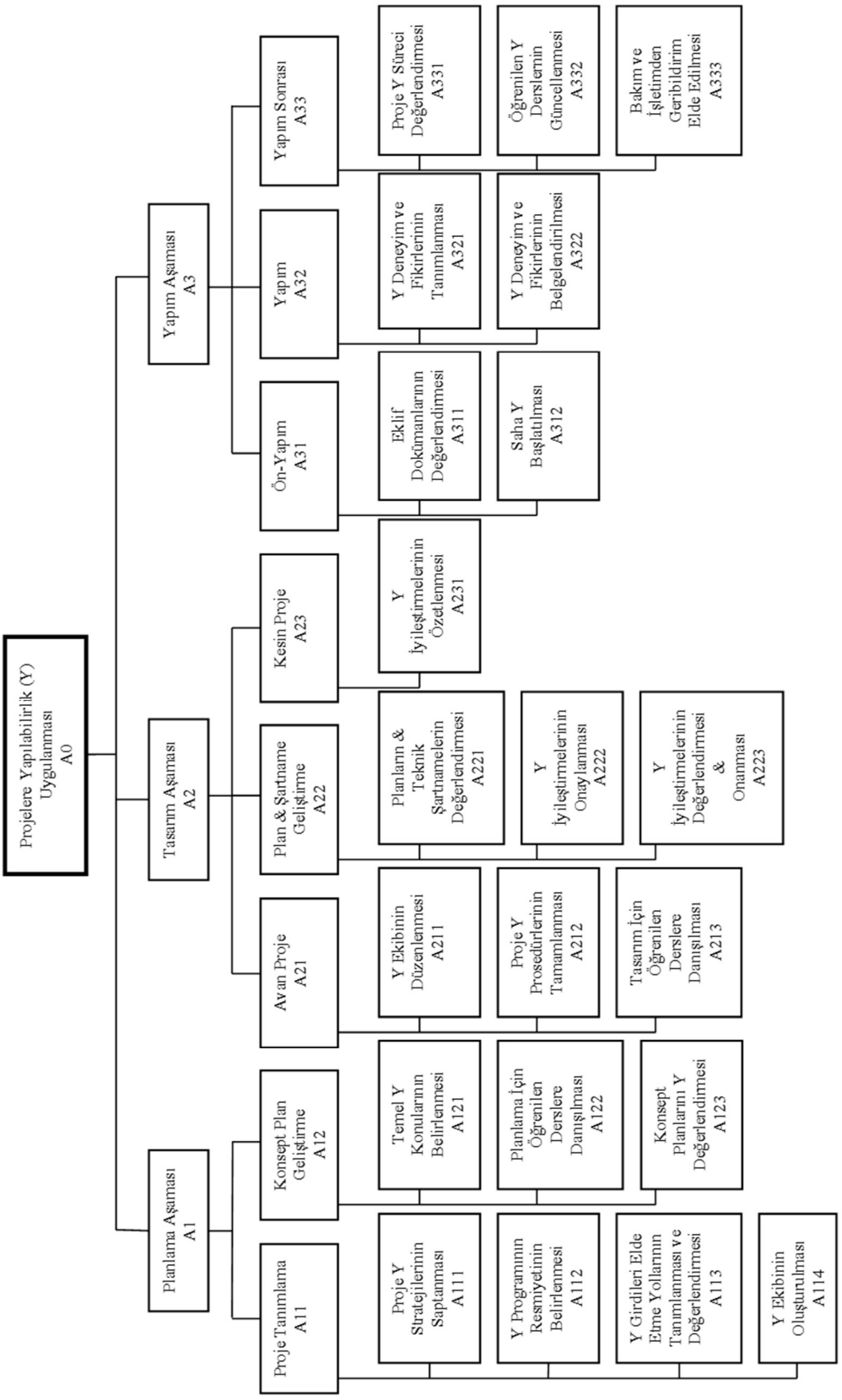
Çizelge Ğ.1: Literatürde yer alan cephe tasarım kriterleri.

Ana Kriterler	Alt Kriter Sayısı	Kaynak
Fonksiyon	10	Allen ve Rand, 2016
Yapılabilirlik	3	
Estetik	9	
Maliyet	12	Zavadskas ve diğ, 2013
Performans		
Çevresel etki		
Strüktürel ve fiziksel özellikler		
Maliyet	2	Mols ve diğ, 2017
Yapım karmaşıklığı	1	
Termal direnç	2	
Yönetim karmaşıklığı	1	
Kullanıcı ihtiyaçlarına adaptasyon	2	
İnsan faktörü etkisi	1	
Estetik değer	1	
Çevresel etki	4	Nadoushani ve diğ, 2017
Maliyet	5	
Performans	5	
Sosyal yarar	3	
Fonksiyon	10	Wigginton ve Harris, 2002
Tasarımla ilişkili kriterler	12	Natee ve diğ, 2016
Yapıla ilişkili kriterler	6	
Çevresel etki	18	
Maliyet		
Sosyal etki		
Yapılabilirlik		
Tasarım ihtiyaçları	3	Gowri, 1990
Tasarım kısıtlamaları	3	
Malzeme kısıtlamaları	10	Gowri, 1992
Bileşen kısıtlamaları		
Sistem kısıtlamaları		
Konfor		Marcel, 2012
Termal ihtiyaçlar		
Görsel ihtiyaçlar		
Hijyenik ihtiyaçlar		
Akustik ihtiyaçlar		
Verimlilik		
Dış mekân	3	Herzog ve diğ, 2004
Cephe düzlemi	3	
İç mekân	3	
Fonksiyon	14	Schittich ve diğ, 2006
Form		
Yapım		
Ekoloji		
Fonksiyonel ihtiyaçlar		Knaack ve diğ, 2014
Termal ihtiyaçlar		
Görsel ihtiyaçlar		
Hijyenik ihtiyaçlar		
Su	3	Smith, 2010
Hava filtreleme	3	
Enerji	2	
Yoğuşma	4	
Ses	3	
Güvenlik	2	Moghtadernejad ve diğ, 2018
İnsan konforu	9	
Sürdürülebilirlik	3	
Dayanıklılık ve bakım kolaylığı	4	
Maliyet etkinliği	4	
Dayanıklı bir yapı oluşturma	26	Klein, 2013
Makul yapım yöntemlerine olanak sağlama	11	
Konforlu bir iç mekân iklimi sağlama	26	
Sürdürülebilirlik açısından sorumluluk taşıma	21	
Binanın kullanımını destekleme	15	
Cephenin mekânsal olarak biçimlendirilmesi	18	

Çizelge Ğ.1 (devam): Literatürde yer alan cephe tasarım kriterleri.

Ana Kriterler	Alt Kriter Sayısı	Kaynak
Organizasyonel hedefler		Boswell, 2013
Görsel hedefler		
Performans hedefleri		
Maliyet hedefleri		
Zaman hedefleri		
Lojistik	4	Emmitt ve Gorse, 2014
Tedarik	3	
Motivasyon	3	
Test, izleme, hizmet	3	
Yerinde montaj	3	
Tasarım	4	
Yapı tipi ve kullanımı		Chudley ve Greeno, 2008
Yapı sahibinin gereksinimleri ve tercihleri		
Yerel planlama kısıtlamaları		
Yasal kısıtlamalar ve şartlar		
İnşaat alanı kısıtlamaları		
Sermaye kaynakları		
Gelecekteki bakım ve adaptasyon politikası		
Erişilebilirlik	6	de Haas, 2013
Sökülebilirlik	6	
Esneklik	8	
Gelecek	4	
Sistemden kaldırma bağımlılıkları	11	
Enerji	5	
Yeniden kullanım	4	
Geri dönüşüm	2	
Yok etrme	2	
Koruma	2	
Yapının lokasyonu	8	Brock, 2005
Yapının kullanım amacı	8	
İlgili kodlar	4	
Form ve strüktür tasarımı	5	
Yapım ve ihale stratejileri	4	
Bütçe	10	
Çevresel maliyet, dayanıklılık	2	
İhtiyaçlar		
Isı ve kütle	5	Jin ve Overand, 2014
Akustik	3	
Işık	2	
Yangın	3	
Hizmet ömrü	3	
Maliyet	1	
Sürdürülebilirlik	1	
Adapte olma	4	Chen ve Clements-Croome, 2004
Alım gücü	6	
Dayanıklılık	7	
Enerji	4	
Akıl (intelligence)	4	
Sıhhat (well-being)	12	
Dayanıklılık	7	Gerth ve diğ, 2013
Yapılabilirlik	7	
Üretim ve yönetim	8	
Fonksiyon	6	
Güvenlik	31	BRI, 1970
Sağlık ve konfor	31	
Dayanıklılık	35	
Üretim	20	

EK H: Yapılabilirlik Değerlendirmesi Aşamaları Ve Bu Aşamalarda Kullanılan Yapılabilirlik Araçları



Şekil H.1: Yapılabilirlik değerlendirmesi aşamaları sistemi (Fisher ve diğ, 2000).

Çizelge H.1: Yapılabilirlik aşamalarında kullanılabilecek araçlar kılavuzu (Yapılabilirlik aşamaları Şekil H.1'deki kodlarla eşleştirilmiştir.)(Fisher ve diğ, 2000).

ARAÇ İSİMLERİ	YAPILABİLİRLİK AŞAMALARI																			
	A111	A112	A113	A114	A121	A122	A123	A211	A212	A213	A221	A222	A223	A311	A312	A321	A322	A331	A332	A333
Politika & hedef beyanı	X				X				X											
Yapılabilirlik toplantıları				X			X		X		X				X					
Operasyon & bakım girdisi							X													X
Yapılabilirlik organizasyon yapısı									X						X					X
Öneri formları							X				X				X					
İhale öncesi konferans														X						
Yapım öncesi konferans															X					
Sözleşme şartları/teşvikleri														X						
Partnerlik								X							X					
Yüklenici-kararlı programlar															X					
Uygulama sorumluluk matrisi				X					X						X					X
Ekip oluşturma				X				X												
Yapılabilirlik mühendisleri			X			X		X		X					X					
Yapım sonrası değerlendirmeler						X				X								X		
Proje yapılabilirlik anlaşması				X					X						X					
Ajans yapılabilirlik kontrol listesi											X								X	X
Resmi süreçler		X							X											
Yapılabilirlik destekleyicisi				X																
Değer mühendisliği								X							X					
Fikir/ Öğrenilen dersler günlüğü							X					X					X	X		X
Kritik yol yöntemi							X				X									
Maliyet/yarar analizi							X					X			X					
Yapılabilirlik kaynakları			X			X		X		X					X					
CAD/GCCA							X				X									
Veritabanları						X				X									X	X
Hiper ortam/ multimedya/CD ROM/ Hipermetin						X				X	X						X			
EDI/ bar kodlama/ kalem teknoloji																	X			X

GCCA: Graphical Computer Constructability Anaysis, EDI: Electronic Data Interchange

EK I: Cephelerin Performans Özelliklerini Ve Test Metotlarını Tanımlayan Standartlar

Cephelerin performans özelliklerini ve test metotlarını tanımlayan standartlardan bazıları şunlardır (Tekin 2006; Şahin ve Gökuç, 2018; Url-10; Url-17; Url-18):

- TS EN 12152 - Giydirme Cepheler - Hava Geçirgenliği-Sınıflandırma
- TS EN 12153 - Giydirme Cepheler - Hava Geçirgenliği -Test Metodu
- TS EN 12154 - Giydirme Cepheler - Su Sızdırmazlık - Sınıflandırma
- TS EN 12155 - Giydirme Cepheler - Su Sızdırmazlık - Statik Basınç Altında Laboratuvar Deneyi
- TS EN 13116 - Giydirme Cepheler - Rüzgar Yüklerine Dayanım (Taşıyıcılık)- Sınıflandırma
- TS EN 12179 - Perde duvarları - Rüzgar Yüklerine Dayanım-Deney Metodu
- TS EN 13050 - Giydirme Cepheler - Su Sızdırmazlık - Dinamik Hava Basıncı ve Su Püskürtme Etkisi Altında Laboratuvar Deneyi
- TS EN 13051 - Giydirme Cepheler - Su Sızdırmazlık - Yerinde Deney
- AAMA 501.2 - Giydirme Cepheler - Su Sızdırmazlık - Saha Testi
- AAMA 501.4 - Giydirme Cepheler - Statik Sismik Test Metodu
- AAMA 501.6 - Giydirme Cepheler - Dinamik Sismik Test Metodu
- TS EN 14019 - Giydirme Cepheler - Çarpmaya Direnç - Performans Şartları
- AAMA 501.5 - Giydirme Cepheler – Termal Çevrim Deneyi
- AAMA 503 - Giydirme Cepheler - Yeni Monte Edilen Vitrin Camları, Giydirme Cepheler ve Eğimli Cam Sistemleri için Saha Testleri
- TS EN 12631 - Giydirme Cepheler - Isıl Performans - Isıl Geçirgenliğin Hesaplanması
- TS EN 1991-1-1 - Giydirme Cepheler - Yapılar Üzerindeki Etkiler - Zati Ağırlığa ve Yatay Yüklere Karşı Direncin Hesaplanması
- AAMA 501.7 - Giydirme Cepheler - Katlar Arası Diket Hareket için Tavsiye Edilen Statik Deney Metodu
- ASTM E 283 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Tanımlanan Basınç Farkında Hava Geçirgenlik Oranının Tanımlanması için Deney Metodu
- ASTM E 331 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Uniform Statik Basınç Farkında Su Sızdırmazlık
- ASTM E 330 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Uniform Statik Basınç Farkında Yapısal Performans Deneyi
- CWCT Section 5 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Hava Geçirgenlik Test Metodu
- CWCT Section 6 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Su Sızdırmazlık Test Metodu
- CWCT Section 11 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Rüzgar Yükü Test Metodu
- CWCT Section 12 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Rüzgar Yükü Güvenlik Testi Metodu
- ASTM E 1105 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Uniform veya Çevrimli Statik Basınç Farkı Altında Su Sızdırmazlık Saha Testi

- AAMA 501.1 - Giydirme Cepheler / Kapı ve Pencereler - Dinamik Basınç Altında Su Sızdırmazlık Testi
- TS EN 1026 - Kapı ve Pencereler - Hava Geçirgenliği
- TS EN 1027 - Kapı ve Pencereler - Su Sızdırmazlık
- TS EN 12211 - Kapı ve Pencereler - Rüzgar Yüküne Dayanım
- TS EN 13049 - Kapı ve Pencereler - Hafif ve Şiddetli Kütle Darbe Direnci Deneyi ve Sınıflandırma
- TS EN 1191 - Kapı ve Pencereler - Tekrarlanan Açılma ve Kapanmaya Karşı Direncin Tayini
- TS EN 14608 - Kapı ve Pencereler - Sarkma Kuvvetine Karşı Direncin Tayini
- TS EN 14609 - Kapı ve Pencereler - Statik Burma Etkisine Karşı Direncin Tayini
- TS 11797 EN 947 - Kapı ve Pencereler - Düşey Yüke Karşı Direncin Belirlenmesi
- TS EN 948 - Kapı ve Pencereler - Statik Burulmaya Karşı Direncin Tayini
- TS EN 950 - Kapı ve Pencereler - Sert Cisim Darbesine Direncin Belirlenmesi
- TS EN ISO 10077-1 - Kapı ve Pencereler - Isıl Performans - Isı İletiminin Hesaplanması - Basitleştirilmiş Metot
- TS EN ISO 10077-2 - Kapı ve Pencereler - Isıl Performans - Isı İletiminin Hesaplanması - Kasalar için Sayısal Metot
- ASTM E 783 - Kapı ve Pencereler - Hava Geçirgenliği Saha Testi
- TS 6007 EN 949 - Kapı ve Pencereler - Yumuşak ve Ağır Cisim ile Çarpma Dayanımının Tayini
- TS EN ISO 9972 - Binaların Hava Geçirgenliğinin Tayini - Fan Basıncı Altında Tutma Deneyi
- TS EN 12600 - Cam Yapılar - Çarpmaya Karşı Direnç - Sarkaç Deneyi
- ASTM E 935 - Korkuluk Sistemleri - Metal Korkuluk Sistemlerinin Performansı için Standart Test Metodu
- NF P 01-013 - Korkuluk Sistemleri - Korkuluk Testleri
- TS EN ISO 10140-2 - Akustik - Yapı Elemanlarının Ses Yalıtımının Laboratuvarda Ölçümü - Hava ile Yayılan Ses Yalıtımının Ölçülmesi
- TS EN ISO 10848-2 - Akustik - Bitişik Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin ve Darbe Sesinin Yanal İletiminin Laboratuvarda Ölçülmesi
- TS EN ISO 16283-1 - Akustik - Yapıların ve Yapı Elemanlarının Ses Yalıtmı için Sahada Yapılacak Ölçümler - Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı
- TS EN 1364-4 Yük taşımayan elemanların yangına direnç deneyleri - Bölüm 4: Giydirme cepheler – Bölüm konfigürasyonu
- TS EN 1364-3 Taşıyıcı olmayan elemanlar için yangına dayanıklılık deneyleri - Bölüm 3: Giydirme cephe – Tam kurulum
- TS EN ISO 1182 Yapı mamullerinin yangın deneylerine tepkisi - Tutuşmazlık deneyi
- TS EN ISO 1716 Yapı ürünlerinin yangına tepki deneyleri - Yanma ısısının tayini
- TS EN ISO 11925-2 Yangın dayanımı deneyleri - Aleve doğrudan maruz kaldığında tutuşabilirlik - Bölüm 2: Tek alev kaynağıyla deney
- TS EN 13823 Yapı ürünleri için yangına tepki deneyleri-Tek bir yakma unsuru ile ısıl etkiye maruz kalan döşemeler haricindeki yapı ürünleri

EK İ: Cephe Tasarımının Değerlendirilmesinde Kullanılan Simülasyon Araçları

Çizelge İ.1: Cephe tasarımının değerlendirilmesinde kullanılan simülasyon araçları (Uyarlama, Url-11).

Simülasyon Aracı İsmi	Geometri Manipülasyonu	Değerlendirilen Tasarım Durumu
Bisco / Kobru86	2D	Termal
COMFEN	3D	Enerji/ Günışığı/ Konfor
Design Builder	3D	Enerji/ Günışığı/ Konfor
DIVA	3D	Enerji/ Günışığı/ Konfor
DTS glazing designer	Geometri yok	Enerji
Ecotect	3D	Enerji/ Günışığı/ Konfor
Enerji Plus	Geometri yok	Enerji/ Günışığı/ Konfor
Facade design tool	Geometri yok	Enerji
FenestraPro	3D	Enerji/ Günışığı
Flixo	2D	Termal
Gft Optimisation tool	Geometri yok	Enerji/ Günışığı/ Konfor
GlasGlobal	Geometri yok	Strüktürel
Glass Performance Analysis	3D	Strüktürel
Glastik	Geometri yok	Strüktürel
Green Building Studio	3D	Enerji/ Günışığı
IES VE	3D	Enerji/ Günışığı/ Konfor
LEAP VERTEX	Geometri yok	Strüktürel
LECWall	Geometri yok	Strüktürel
MEPLA	Geometri yok/ 3D	Strüktürel
Open Studio	3D	Enerji/ Günışığı/ Konfor
PanelPlus	2D	Strüktürel/ İmalat çizimleri
RF-Glass	3D	Strüktürel
Sefaira	3D	Enerji/ Günışığı
Therm	2D	Termal
Tilt-up concrete wall panels	Geometri yok	Strüktürel
Trisco/ Solido	3D	Termal
WinIso2D	2D	Termal
WinIso3D	3D	Termal

EK J: Metraj Cetveli Şablonu

Çizelge J.1: Metraj cetveli şablonu.

Referans Cephe Proje Adı	
Cephe Tasarımı	
Cephe Üreticisi	
Parça Sayısı	

Cephe montaj fotoğrafı veya şeması

Metraj Cetveli

Parça No	Parça Adı	Miktar	Fonksiyon 1	Fonksiyon 2	Fonk. N	Birim	Boyutlar			Ağırlık	Malzeme	Yüzey Bitişi	Arayüzleri	Tedarikçi	Birim Maliyet	Standardizasyon Düzeyi		DFA Fonksiyon Analizi		Tasarım Hedefleri Fonksiyon Analizi		Erişilebilirlik Analizi				
							En	Boy	Yükseklik							Standart	Özel	Zaruri	Zaruri olmayan	İhtiyaç olan	İhtiyaç olmayan	1	2	3	4	5
A																										
B																										
N																										

REFERENS CEPHE TANIMLAMA MODÜLÜ

REFERENS CEPHE ANALİZ MODÜLÜ

EK K: Yapılabilirlik Değerlendirmesi

Çizelge K.1: Yapılabilirlik değerlendirmesi şablonu.

	YAPILABİLİRLİK KRİTERLERİ	KRİTERLERİN AÇIKLAMASI	Ağırlık	Max. Puan	Referans Cephe		Yeniden Tasarım	
					Değer	Puan	Değer	Puan
1	Sadeleştirme							
	Az sayıda parça kullanma	İhtiyaç duyulan fonksiyonların mümkün olan en az sayıda parça kullanılarak sağlanması, böylece tasarım etkinliğinin arttırılmasıdır.	0	0	0	0	0	0
	Parçaları temel fiziksel özelliklerinde kullanma	Parçaların üretildikleri temel boyut ve şekillerde, herhangi bir şekilendirmeye ihtiyaç duyulmadan kullanılmasıdır.	0	0	0	0	0	0
	Kolay uygulanan imalat yapma	İmalatın kalifiye işçilik gerektirmeden, genel amaçlı aletlerle yapılabilmesini ifade eder.	0	0	0	0	0	0
	Parçaların boyutsal ayarlarını sahada yapabilme	Şantiye ya da fabrikada, parçaların boyutsal ayarlarının herhangi bir özel ekipman ya da bilgiye ihtiyaç duyulmadan kolayca yapılabilmesidir.	0	0	0	0	0	0
2	Standartlaştırma							
	Malzeme standartlaştırması	Tasarımda olabildiğince aynı tip malzemenin kullanılmasıdır.	0	0	0	0	0	0
	Tip (tasarım özellikleri) standartlaştırması	Form ve fonksiyonları aynı yapı ürünlerinin ya da detayların tekrarı ile tasarım özelliklerinde standardizasyon değerlendirmektedir.	0	0	0	0	0	0
	Boyutların standartlaştırılması	Yapı ürünü boyutları, tasarım boyutları, tolerans boyutları gibi tasarımda kullanılan boyutların standardizasyonu ya da modüle edilmesidir.	0	0	0	0	0	0
3	Boyutsal Tolerans							0
	İmalat toleransları	Parçaların imalatındaki boyutsal sapmayı tanımlar.	0	0	0	0	0	0
	Konumsal toleranslar	Montaj kolaylığı ve güvenlik için gerekli toleranslardır.	0	0	0	0	0	0
	Birleşim yeri toleransları	Yapı ürünlerinin birbiriyle birleşiminde fonksiyonel ve estetik gereklilerle ihtiyaç duyulan boyutsal aralıktır.	0	0	0	0	0	0
4	Endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı							
	Ön üretim (prefabrikasyon) kullanımı	Yapı ürünlerinin atölye veya fabrika gibi kontrollü ortamlarda bir araya getirilmesiyle bileşen olarak ortaya çıkarıldığı bir üretim biçimidir.	0	0	0	0	0	0
	Ön montajın kullanımı	Çeşitli yapı ürünlerinin şantiye dışında birleştirilerek şantiyede yerine montajının yapıldığı bir süreci tanımlar.	0	0	0	0	0	0
	Modüler sistem kullanımı	Elemanların, belirli bir binadan bağımsız, üreticiler tarafından önceden üretildiği kapalı sistemlerin kullanımıdır.	0	0	0	0	0	0
5	Yapım aşamalarının tanımlanması	Detay tasarımlarının yapım işlemleri sırası gözetilerek yapılmasını ifade eder.	0	0	0	0	0	0
6	Yapım faaliyetleri için uygun koşulların sağlanması	Yapım faaliyetlerinin güvenli ve verimli olarak gerçekleştirilebilmesi için, geliştirilen detaylarda yapım ve montaj süreçlerinin rahatça uygulanmasını sağlayacak mekânsal ve boyutsal ulaşılabilirlik koşullarının sağlanmasıdır.	0	0	0	0	0	0
7	Taşınabilir parçaların kullanımı	Yapı ürünlerinin boyut ile ağırlıkları şantiyeye ve şantiye içinde taşınabilecek büyüklükte olmalıdır.	0	0	0	0	0	0
8	Kolay bulunabilir yapı ürünlerinin kullanılması	Erişilebilirliği yüksek, karmaşık özel üretim gerektirmeyen, yerel şekilde temin edilebilen, stoklarda bulunan yapı ürünlerinin kullanılmasıdır.	0	0	0	0	0	0
9	Geliştirilmiş detayların kullanımı							
	Çakışmayan birleşimler oluşturma	Birçok yapı ürününün bir araya geldiği düğüm noktalarında birleşimlerin çakışmayacak şekilde farklı yerlerde düzenlenmesidir.	0	0	0	0	0	0
	Üst üste bindirmeli birleşimler oluşturma	İki bileşenin birleşim hizasında üst üste bindirilerek birleştirilmesidir.	0	0	0	0	0	0
	Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı	Birleşimlerin yerine montaj sırasında ve sonrasında ayarlanabilecek şekilde tasarlanmasıdır.	0	0	0	0	0	0
	Bozulmalara dirençli uç uca birleşimler oluşturma	Uç uca birleşimlerde oluşabilecek problemleri önlemek için birleşimlerin alından yapılması ya da ek parça ile desteklenmesi önerilmektedir.	0	0	0	0	0	0
	Köşe ve kenar bitişlerinin korunması	Köşe ve kenar bitiş detaylarının bozulma, kırılma ve yaralanmalara karşı korunmasıdır.	0	0	0	0	0	0
	Toleranslı yüzey oluşturma	Küçük yanlışlıkları, lekeleri gizleyen veya kamufle eden, tamir edilebilir, yüzeyler oluşturulmasını ifade eder.	0	0	0	0	0	0
10	Bütünleşik tasarım	Cephe sistemini oluşturan parçaların, farklı sistemlerin fonksiyonlarını karşılayacak şekilde, bütünleşik olarak tasarlanmasıdır.	0	0	0	0	0	0
		TOPLAM PUAN		0		0		0
		YAPILABİLİRLİK İNDEKSİ (I)				######		#######

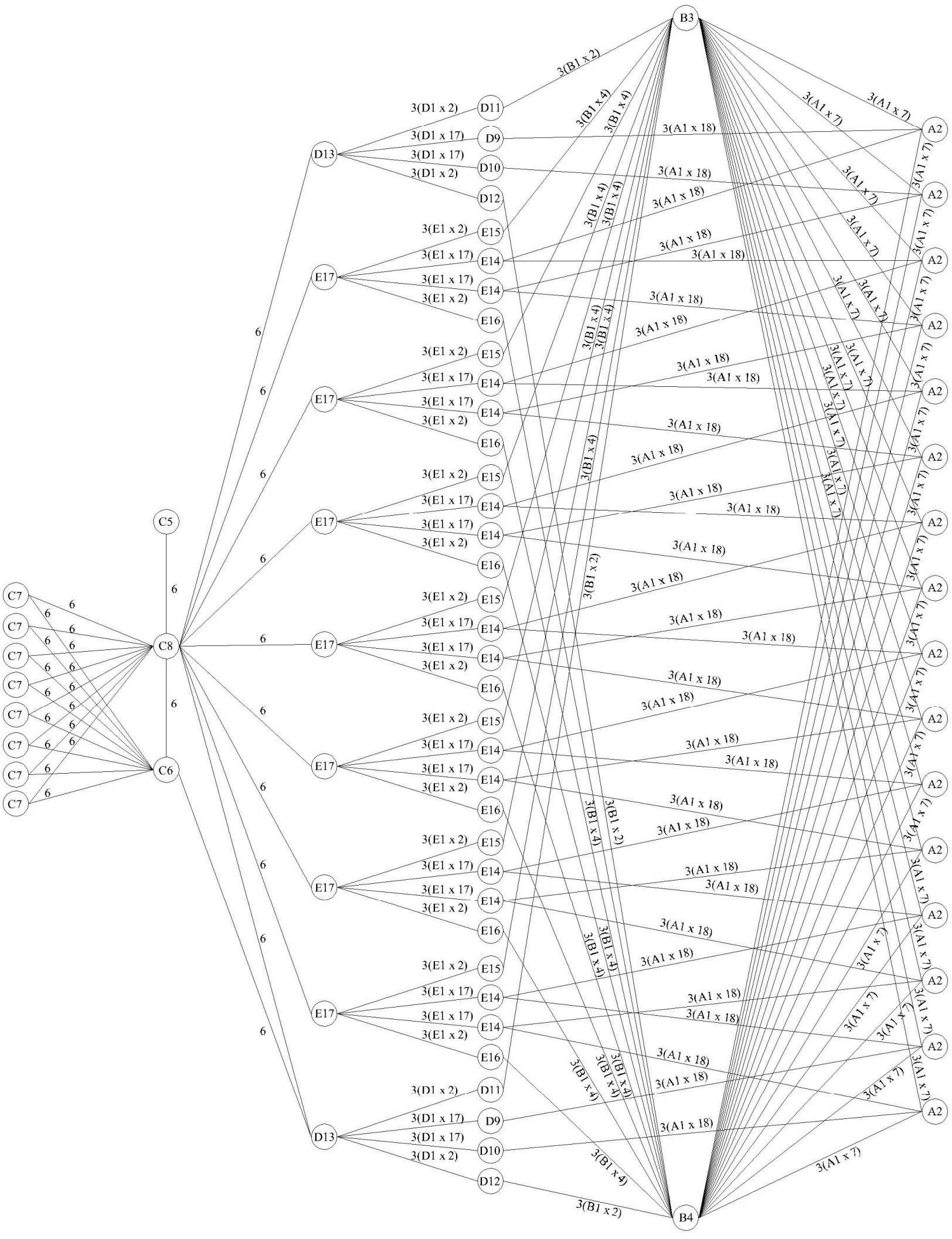
Açıklamalar:

- Her bir kritere proje bağlamındaki önem ve uygulanabilirlik derecesine göre 2 (önemli), 1 (ilgili) ya da 0 (uygulanabilir değil) ölçeğinde ağırlık (A) verilir.
- Her bir kritere proje bağlamında kriteri sağlama derecesine göre 2 (istenen), 1 (kabul edilebilir) ve 0 (kabul edilemez) ölçeğinde değer (D) verilir.
- Her bir kriter için kriter ağırlığı ve değeri çarpılarak kriter puanı (P) elde edilir.
- Yapılabilirlik indeksi (I), kriter puanları toplamının mümkün olan en yüksek puana bölünmesiyle hesaplanır.
- İndeks değeri sıfırdan bire yaklaştıkça, yapılabilirlik düzeyi artar.
- Genel bir kural olarak, tolerans azaldıkça yapılabilirlik de azalmaktadır.

Çizelge K.2: BMW Meslek Okulu tepki veren cephesi (referans cephe) ve yeniden tasarlanan tepki veren cephe (yeniden tasarım) yapılabilirlik değerlendirmesi.

	YAPILABİLİRLİK KRİTERLERİ	KRİTERLERİN AÇIKLAMASI	Ağırlık	Max. Puan	Referans Cephe		Yeniden Tasarım	
					Değer	Puan	Değer	Puan
1	Sadeleştirme							
	Az sayıda parça kullanma	İhtiyaç duyulan fonksiyonların mümkün olan en az sayıda parça kullanılarak sağlanması, böylece tasarım etkinliğinin arttırılmasıdır.	2	4	0	0	0	0
	Parçaları temel fiziksel özelliklerinde kullanma	Parçaların üretildikleri temel boyut ve şekillerde, herhangi bir şekilendirmeye ihtiyaç duyulmadan kullanılmasıdır.	1	2	0	0	2	2
	Kolay uygulanan imalat yapma	İmalatın kalifiye işçilik gerektirmeden, genel amaçlı aletlerle yapılabilmesini ifade eder.	2	4	1	2	2	4
	Parçaların boyutsal ayarlarını sahada yapabilme	Şantiye ya da fabrikada, parçaların boyutsal ayarlarının herhangi bir özel ekipman ya da bilgiye ihtiyaç duyulmadan kolayca yapılabilmesidir.	1	2	0	0	2	2
2	Standartlaştırma							
	Malzeme standartlaştırması	Tasarımda olabildiğince aynı tip malzemenin kullanılmasıdır.	2	4	0	0	2	4
	Tip (tasarım özellikleri) standartlaştırması	Form ve fonksiyonları aynı yapı ürünlerinin ya da detayların tekrarı ile tasarım özelliklerinde standardizasyon değerlendirmektedir.	2	4	1	2	2	4
	Boyutların standartlaştırılması	Yapı ürünü boyutları, tasarım boyutları, tolerans boyutları gibi tasarımda kullanılan boyutların standardizasyonu ya da modüle edilmesidir.	2	4	0	0	1	2
3	Boyutsal Tolerans							
	İmalat toleransları	Parçaların imalatındaki boyutsal sapmayı tanımlar.	1	2	0	0	1	1
	Konumsal toleranslar	Montaj kolaylığı ve güvenlik için gerekli toleranslardır.	1	2	1	1	1	1
	Birleşim yeri toleransları	Yapı ürünlerinin birbiriyle birleşiminde fonksiyonel ve estetik gereklilerle ihtiyaç duyulan boyutsal aralıktır.	1	2	1	1	1	1
4	Endüstrileşmiş yapım tekniklerinin kullanımı							
	Ön üretim (prefabrikasyon) kullanımı	Yapı ürünlerinin atölye veya fabrika gibi kontrollü ortamlarda bir araya getirilmesiyle bileşen olarak ortaya çıkarıldığı bir üretim biçimidir.	2	4	2	4	2	4
	Ön montajın kullanımı	Çeşitli yapı ürünlerinin şantiye dışında birleştirilerek şantiyede yerine montajının yapıldığı bir süreci tanımlar.	2	4	2	4	2	4
	Modüler sistem kullanımı	Elemanların, belirli bir binadan bağımsız, üreticiler tarafından önceden üretildiği kapalı sistemlerin kullanımıdır.	2	4	0	0	0	0
5	Yapım aşamalarının tanımlanması	Detay tasarımlarının yapım işlemleri sırası gözetilerek yapılmasını ifade eder.	2	4	2	4	2	4
6	Yapım faaliyetleri için uygun koşulların sağlanması	Yapım faaliyetlerinin güvenli ve verimli olarak gerçekleştirilebilmesi için, geliştirilen detaylarda yapım ve montaj süreçlerinin rahatça uygulanmasını sağlayacak mekânsal ve boyutsal ulaşılabilirlik koşullarının sağlanmasıdır.	1	2	1	1	1	1
7	Taşınabilir parçaların kullanımı	Yapı ürünlerinin boyut ile ağırlıkları şantiyeye ve şantiye içinde taşınabilecek büyüklükte olmalıdır.	2	4	1	2	1	2
8	Kolay bulunabilir yapı ürünlerinin kullanılması	Erişilebilirliği yüksek, karmaşık özel üretim gerektirmeyen, yerel şekilde temin edilebilen, stoklarda bulunan yapı ürünlerinin kullanılmasıdır.	2	4	1	2	2	4
9	Geliştirilmiş detayların kullanımı							
	Çakışmayan birleşimler oluşturma	Birçok yapı ürününün bir araya geldiği düğüm noktalarında birleşimlerin çakışmayacak şekilde farklı yerlerde düzenlenmesidir.	0	0	0	0	0	0
	Üst üste bindirmeli birleşimler oluşturma	İki bileşenin birleşim hizasında üst üste bindirilerek birleştirilmesidir.	1	2	2	2	2	2
	Ayarlanabilir birleşimlerin kullanımı	Birleşimlerin yerine montaj sırasında ve sonrasında ayarlanabilecek şekilde tasarlanmasıdır.	2	4	1	1	1	2
	Bozulmalara dirençli uç uca birleşimler oluşturma	Uç uca birleşimlerde oluşabilecek problemleri önlemek için birleşimlerin alından yapılması ya da ek parça ile desteklenmesi önerilmektedir.	2	4	1	2	1	2
	Köşe ve kenar bitişlerinin korunması	Köşe ve kenar bitiş detaylarının bozulma, kırılma ve yaralanmalara karşı korunmasıdır.	2	4	2	4	2	4
	Toleranslı yüzey oluşturma	Küçük yanlışlıkları, lekeleri gizleyen veya kamufle eden, tamir edilebilir, yüzeyler oluşturulmasını ifade eder.	2	4	0	0	0	0
10	Bütünleşik tasarım	Cephe sistemini oluşturan parçaların, farklı sistemlerin fonksiyonlarını karşılayacak şekilde, bütünleşik olarak tasarlanmasıdır.	0	0	0	0	0	0
		TOPLAM PUAN		74		33		50
		YAPILABİLİRLİK İNDEKSİ (I)				0,4459		0,67568

EK L: BMW Meslek Okulu Tepki Veren Cephesinin Bir Adet Güneş Kırıcı Panelinin Montaj Şeması.



Şekil L.1: BMW Meslek Okulu tepki veren cephesinin bir adet güneş kırıcı panelinin montaj şeması.

Açıklamalar: Güneş kırıcı paneli oluşturan parçalar metraj cetvelinde verilen montaj birimini gösteren harfler ve parça numaralarını gösteren rakamlarla kodlanarak daireler içinde gösterilmiştir. Parçaların birbiriyle birleşimi, daireleri birleştiren çizgilerle gösterilir. Parçaların birleşim tipi DIN8593'e göre tanımlanmış ve ilgili DIN 8593 bölüm numaraları birleşimleri gösteren çizgilerin üzerinde verilmiştir. Bu göre sayı kodu olarak 6 kaynaklama; 3 üstüne/içine presleme birleşim tipini tanımlamaktadır. Üstüne /içine presleme birleşiminde parça olarak perçin kullanılmıştır. Birleşimlerde kullanılan perçinler parça kodları ve miktarları ile birlikte birleşim tipinin yanında belirtilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Bahar Başarır

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1986 İstanbul

E-posta **:** baharbasarir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2010, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2013, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011 yılından günümüze Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.
- 2010-2011 yılları arasında Atölye T Mimarlık ve Danışmanlık şirketinde çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Başarır, B.,** Altun, M. C. 2018. A Redesign Procedure to Manufacture Adaptive Facades with Standard Products. *Journal of Facade Design & Engineering*, 6(3), 77-100.
- **Başarır, B.,** Altun, M. C. 2018. A Redesign Procedure to Manufacture Adaptive Facades with Standard Products. *Facade 2018-Adaptive! COST Action TU1403 Adaptive Facades Network Final Conference*, November 26-27, 2018 Lucerne, Switzerland.
- **Başarır, B.,** Altun, M. C. 2017. A Classification Approach for Adaptive Façades. *ICBEST Istanbul, Interdisciplinary Perspectives For Future Building Envelopes,* May 15-18, 2017 İstanbul, Turkey.

- **Başarır, B.,** Altun, M. C. 2017. Analysis of Low-Tech Adaptive Façade Systems. *ICBEST Istanbul, Interdisciplinary Perspectives For Future Building Envelopes,* May 15-18, 2017 İstanbul, Turkey.