İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARDA PREFABRİKE BETONARME, ÇELİK VE TUTKALLI TABAKALANMIŞ AHŞAP DOLU GÖVDELİ KİRİŞLERİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİR ÖRNEK ÜZERİNDEN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış Atilla SAĞLAM

Anabilim Dalı : Mimarlık

Programı : Çevre Kont. ve Yapı Teknolojisi

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARDA PREFABRİKE BETONARME, ÇELİK VE TUTKALLI TABAKALANMIŞ AHŞAP DOLU GÖVDELİ KİRİŞLERİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİR ÖRNEK ÜZERİNDEN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barış Atilla SAĞLAM
(502051724)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hülya KUŞ (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Erkan AVLAR (YTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca gösterdiği ilgi ve destek için danışmanım Doç. Dr. Hülya KUŞ'a, yardım ve destekleri için tüm İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Teknolojisi ve Çevre Kontrolü Anabilim Dalı öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım boyunca gösterdikleri ilgi ve destek nedeni ile Alacalı İnşaat Sanayi Ticaret A.Ş. genel müdürü Fatih SAYIN ve proje müdürü Birol Doyranlı'ya, Protechnic Çelik Yapı Sistemleri Ltd., proje müdürü İnan ÇETİNKAYA'ya, Oran Mimarlık genel müdürü mimar Vedat TOKYAY'a, Ahmet Demirel - Orman Ürünleri Emprenye İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti. genel müdürü Ahmet DEMİREL'e, yüksek mimar Nevzat SAYIN'a teşekkür ederim.

Desteklerinden dolayı tüm arkadaşlarıma, yalnızca tez çalışmalarım sırasında değil, her zaman yanımda olan annem Selma SAĞLAM ve babam Ahmet SAĞLAM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2009

B. Atilla Sağlam

(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v-vi**
KISALTMALAR ... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xi-xiii**
ÖZET ... **xv-xvi**
SUMMARY ... **xvii**
1. GİRİŞ ... **1-3**
1.1 Amaç ve Kapsam ... 4-5
1.2 Yöntem ... 5-6
2. BÜYÜK AÇIKLIKLARIN GEÇİLMESİNDE KULLANILAN KİRİŞ TÜRLERİ ... **7-8**
2.1 Büyük Açıklıklı Yapılarda Kullanılan Betonarme Prefabrike Kirişler ... 9-10
2.1.1 Prefabrike Betonarme Kiriş Üretimi ... 10-17
2.1.2 Prefabrike Betonarme Kiriş Çeşitleri ... 17
2.1.2.1 Prefabrike Betonarme Kolon-Kiriş Sistemler ... 17-19
2.1.2.2 Prefabrike Betonarme Çerçeve Sistemler ... 19-20
2.1.2.3 Prefabrike Betonarme Kemer Sistemler ... 20-21
2.1.2.4 Prefabrike Betonarme Düzlem Kafes Kiriş Sistemler ... 21
2.1.3 Prefabrike Betonarme Kiriş Örnekleri ... 22-25
2.2 Büyük Açıklıklı Yapılarda Kullanılan Çelik Kirişler ... 25-26
2.2.1 Çelik Kiriş Üretimi ... 26-28
2.2.2 Çelik Kiriş Çeşitleri ... 29
2.2.2.1 Çelik Kolon- Kiriş Sistemler ... 29-31
2.2.2.2 Çelik Çerçeve Sistemler ... 31-32
2.2.2.3 Çelik Kemer Sistemler ... 32
2.2.2.4 Çelik Düzlem Kafes Sistemler ... 32-33
2.2.3 Çelik Kiriş Örnekleri ... 33-36
3. TUTKALLI TABAKALANMIŞ AHŞAP KİRİŞLER ... **37-38**
3.1 Tutkallı Tabakalanmış Ahşabın Üretimi ... 38-44
3.2 Büyük Açıklıklı Strüktürlerde TTA Kiriş Çeşitleri ... 45-46
3.2.1 Basit Açıklıklı Kirişler ve Kullanım Alanları ... 46
3.2.1.1 Sabit Kesitli Kiriş ... 46
3.2.1.2 Dolu Gövdeli Trapez Kiriş ... 46-47
3.2.1.3 Dolu Gövdeli Destekli Kirişler ... 47
3.2.1.4 Makaslar ... 47
3.2.1.5 Radyal Kirişler ... 48
3.2.1.6 90 Dereceli Izgara Sistemler ... 48
3.2.1.7 Özel Formlu Izgara Sistemler ... 48
3.2.1.8 60 Dereceli Izgara Sistemler ... 48
3.2.1.9 Konsollu Sistemler ... 48-49
3.2.2 Çok Açıklıklı Kirişler ve Kullanım Alanları ... 49
3.2.2.1 Mafsallı Sistemler ... 49
3.2.2.2 Sürekli Sistemler ... 49
3.2.3 Asma Kirişler ... 50
3.3 TTA Kiriş Örnekleri ... 50-52

4. GENİŞ AÇIKLIKLI SİSTEMLERİN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMASI **53-54**
4.1 Mekanik Dayanım ve Stabilite 54-58
4.2 Yangın Durumunda Emniyet 58-64
5. BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARDA KİRİŞ SİSTEMLERİN YAŞAM DÖNEMİ DEĞERLENDİRMESİ **65**
5.1 Yaşam Dönemi Değerlendirmesinin Tanımı ve Aşamaları 65-68
5.2 Geniş Açıklıklı Yapılarda Kullanılan Kirişlerin Yaşam Dönemi Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması 68-70
5.2.1 Enerji tüketimi 70-75
5.2.2 Gaz salımları (VOC) 75-79
5.2.3 Hammadde tüketimi 79-80
5.3 Genel Karşılaştırma Sonuçları 80-82
6. TÜRKİYE'DEN TTA KİRİŞLİ BÜYÜK AÇIKLIKLI BİR UYGULAMA ÖRNEĞİNİN ALTERNATİF KİRİŞLERLE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ **83-85**
6.1 Özel Irmak Lisesi Kapalı Spor Salonu ve Derslikleri 85
6.1.1 Mevcut sistemin yapım süreci 86-87
6.1.2 Örnek yapı sisteminin çelik kirişlerle yapım süreci 87-88
6.1.3 Örnek yapı sisteminin betonarme kirişlerle yapım süreci 88-89
6.2 Diğer Sistemlerle Tekrar Projelendirilen Örnek Yapı Sisteminin Farklı Üretim Süreçlerinin Karşılaştırılması 89-90
6.2.1 Enerji tüketimi 90-94
6.2.2 Gaz salımları 94-97
6.2.3 Hammadde tüketimi 97-100
7. SONUÇ VE ÖNERİLER **101-104**
KAYNAKLAR **105-111**
ÖZGEÇMİŞ **113**

KISALTMALAR

TTA	: Tutkallı Tabakalanmış Ahşap
YDD	: Yaşam Dönemi Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment)
VOCs	: Uçucu Organik Bileşikler
AO	: Açık Ocak
EAF	: Elektrikli Ark Fırını
BOF	: Temel Oksijen Fırını
BOS	: Temel Oksijen Çeliği
BA	: Betonarme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : TS 500'e göre beton kıvam ve özellikleri 13
Çizelge 2.2 : Çimento Sektörü Coğrafi Dağılım (2006 yılı sonu itibariyle) 13
Çizelge 2.3 : Beyaz Portland çimentosu ile gri Portland çimentosunun karşılaştırılması. 14
Çizelge 3.1 : Standart TTA genişlikleri 43
Çizelge 3.2 : Strüktürel TTA Kiriş Sistemleri 44
Çizelge 4.1 : Ağaç malzemede ve çelikte çekme direnci ve özgül ağırlık arasındaki ilişki 54
Çizelge 4.2 : Ahşap, Çelik ve Beton malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırması 55
Çizelge 4.3 : 10-25 metre açıklık geçebilen Prefabrike BA, çelik ve ahşap dolu gövdeli kirişler 56
Çizelge 4.4 : Isıl Genleşme Katsayıları (Liflere paralel yönde) 58
Çizelge 4.5 : Çeşitli malzemelerin oda sıcaklığındaki ısı özellikleri 59
Çizelge 4.6 : Prefabrike Betonarme, Çelik ve TTA kirişlerin yanma özellikleri bakımından karşılıştırılması 61
Çizelge 5.1 : 2100 kg TTA kiriş üretimi için gereken toplam enerji çizelgesi 71
Çizelge 5.2 : 1 kg Çelik, Prefabrike BA, TTA kiriş üretiminde tüketilen enerji ve CO_2 salımı miktarları 79
Çizelge 6.2 : IPE 600 kesitli profil boyutları 85
Çizelge 6.2 : Örnek uygulamada kullanılan TTA, Çelik ve Prefabrike BA kütleleri 87
Çizelge 6.3 : 2100 kg TTA kiriş üretimi için gereken toplam enerji çizelgesi 88
Çizelge 6.4 : TTA, Çelik ve Prefabrike BA kirişin taşınması için harcanan enerji ... 89
Çizelge 6.5 : Çelik, TTA ve Prefabrike BA kiriş üretiminde enerji tüketimi 91
Çizelge 6.6 : Ulaşım kaynaklı açığa çıkan gaz salımları 92
Çizelge 6.7 : Örnek uygulamada tasarlanan TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin taşınması sırasında ortaya çıkan olası gaz salımları 93
Çizelge 6.8 : TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemi sürecinde CO_2 salımı. 94
Çizelge 6.9 : TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemleri süresince taşınmaları sırasında tüketilen yenilenemeyen kaynaklar 95
Çizelge 6.10 : TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemi değerlendirmesi 95
Çizelge 6.11 : Yapı malzemelerinin yaşam dönemlerindeki enerji tüketimi ve gaz salımları 96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Prefabrike BA öngermeli ve ard-germeli kiriş üretim şeması..... 11
Şekil 2.2 : Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı..... 12
Şekil 2.3 : Üretim aşamasında ard-germe kanalları..... 15
Şekil 2.4 : (a)-(b) Üretilmiş elemanlar stok aşaması. 15
Şekil 2.5 : Prefabrike eleman nakliyesi 16
Şekil 2.6 : Kiriş ve döşeme montajı..... 16
Şekil 2.7 : Kolon-kiriş birleşim derz dolgusu 17
Şekil 2.8 : Ard-germe halatı sürülmesi. 17
Şekil 2.9 : Ard-germe işlemi 17
Şekil 2.10 : Prefabrike BA T, L ve I kesitli kirişler..... 18
Şekil 2.11 : (a)-(b) Kolon kiriş birleşim 18
Şekil 2.12 : Üst başlığı eğimli betonarme kirişler. 19
Şekil 2.13 : (a)-(b)-(c) Ankastre, iki ve üç mafsallı çerçeve sistemler. 20
Şekil 2.14 : K.K. Sistemi 22
Şekil 2.15 : K.K. sistemle üretilmiş örnekler Edip İplik Tekstil Kompleksi-1 23
Şekil 2.16 : K.K. sistemle üretilmiş örnekler Edip İplik Tekstil Kompleksi -2 23
Şekil 2.17 : Wings sistemi. 23
Şekil 2.18 : Wings sistemle üretilmiş Akın İplik Tekstil Kompleksi-1..... 24
Şekil 2.19: Wings sistemle üretilmiş Akın İplik Tekstil Kompleksi-2..... 24
Şekil 2.20 : Ala-Sawa sistemle üretilmiş Goldenkey Hotel, Bolu-1 24
Şekil 2.21 : Ala-Sawa sistemle üretilmiş Goldenkey Hotel, Bolu-2 24
Şekil 2.22 : Ala-Sawa Sistemi 25
Şekil 2.23 : Strüktürel paslanmaz çelik kiriş üretimi..... 29
Şekil 2.24 : Dolu gövdeli çelik kiriş çeşitleri 30
Şekil 2.25 : Boşlulu yuvarlak kesim çelik kiriş örneği..... 31
Şekil 2.26 : Boşluklu petek kesim çelik kiriş örneği 31
Şekil 2.27 a : Tek açıklıklı rijit çerçeve..... 32
Şekil 2.27 b : 2 açıklıklı rijit çerçeve 32
Şekil 2.27 c : 3 açıklıklı rijit çerçeve 32
Şekil 2.27 d : 4 açıklıklı rijit çerçeve..... 32
Şekil 2.28 : Um Deniz A.Ş. 34
Şekil 2.29 : Özay Isıtma..... 34
Şekil 2.30 : Tulya Kurtalan Spor Kulübü 34
Şekil 2.31 : Ortaklar Otomotiv 34
Şekil 2.32 : Tesislere genel bakış 35
Şekil 2.33 : Metal Eritme..... 35
Şekil 2.34 : Basınç Kabinleri..... 35
Şekil 2.35 : Profil Üretim 35
Şekil 2.36 : Kontrol Odası 35
Şekil 2.37 : Sıcak Haddeleme..... 35
Şekil 3.1 : TTA üretim şeması..... 38

Şekil 3.2 : Tabakaların kurtağzı birleşimi 40
Şekil 3.3 : Birleşim yandan 40
Şekil 3.4 : Manuel tutkallama mengenesi 41
Şekil 3.5 : Hidrolik tutkallama mengenesi 41
Şekil 3.6 : Eğri formda bir TTA ürünü 41
Şekil 3.7 : Eğri form örneği 41
Şekil 3.8 : I, L, U, T ve O profilli T.T.A birleşimleri 42
Şekil 3.9 : TTA üretim şeması 42
Şekil 3.10 : Maksimum TTA taşıma ölçüleri 43
Şekil 3.11 : Sabit kesitli kirişler 46
Şekil 3.12 : Dolu gövdeli trapez kirişler 46
Şekil 3.13 : Dolu gövdeli destekli kirişler 46
Şekil 3.14 : Makaslar 46
Şekil 3.15 : 90 derecelik ızgara sistemler 47
Şekil 3.16 : Özel formlu ızgara sistemler 47
Şekil 3.17 : Konsollu sistemler 48
Şekil 3.18 : Konsollu sistemler 48
Şekil 3.19 : Mafsallı sistemler 48
Şekil 3.20 : Sürekli sistemler 48
Şekil 3.21 : Emprenye öncesi 49
Şekil 3.22 : Emprenye haznesi 49
Şekil 3.23 : Emprenye işlemi 49
Şekil 3.24 : Emprenye sonrası 49
Şekil 3.25 : Emprenye haznesi 50
Şekil 3.26 : Basınç göstergesi 50
Şekil 3.27 : Emprenye makinesi 50
Şekil 3.28 : Adapazarı'nda prefabrike ilkokul 50
Şekil 3.29 : Adapazarı'nda prefabrike ilkokul 50
Şekil 3.30 : Adapazarı'nda prefabrike ilkokul 50
Şekil 3.31 : İroko ağacından profilli lamine çardak 50
Şekil 3.32 : Kemalpaşa Kültür Merkezi 51
Şekil 3.33 : Kemalpaşa Kültür Merkezi 51
Şekil 3.34 : Kemalpaşa Kültür Merkezi 51
Şekil 3.35 : Kemalpaşa Kültür Merkezi 51
Şekil 3.36 : Mercedes Benz Teşhir Holü Lamine Ahşap Yapısı 51
Şekil 3.37 : Mercedes Benz Teşhir Holü Lamine Ahşap Yapısı 51
Şekil 3.38 : Cornelia Otel Bar Örtüsü 51
Şekil 3.39 : Cornelia Otel Bahçe Örtüsü 51
Şekil 4.1 : Z faktörünün hesaplanması 60
Şekil 5.1 : Yapı ürünlerinin yaşam dönemini oluşturan süreçler 64
Şekil 5.2 : Prefabrike BA, Çelik ve TTA kirişlerin yaşam dönemleri 67
Şekil 5.3 : Çimento üretim süreci 67
Şekil 5.4 : 1 kg çelik üretimi için gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi 69
Şekil 5.5 : 1 kg TTA üretimi için gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi 70
Şekil 5.6 : 1 kg betonarme üretimi için gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi .. 73
Şekil 5.7 : 1 kg çelik üretimi sırasında üretilen atık miktarı 74
Şekil 5.8 : 1 kg betonarme üretimi sırasında üretilen atık miktarı 76
Şekil 5.9 : 1 kg TTA üretimi sırasında üretilen atık miktarı 77
Şekil 6.1 : Örnek uygulamanın karşılaştırma süreci 81

Şekil 6.2 : Irmak Lisesinden genel görünüşler 82
Şekil 6.3 : TTA düz profilli kirişler 83
Şekil 6.4 : TTA düz profilli kirişler 83
Şekil 6.5 : Yapının kesiti 83

BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARDA PREFABRİKE BETONARME, ÇELİK VE TUTKALLI TABAKALANMIŞ AHŞAP DOLU GÖVDELİ KİRİŞLERİN KARŞILAŞTIRILMASI VE BİR ÖRNEK ÜZERİNDEN İRDELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, tasarımcı için büyük açıklıklı sistemlerde yapı tasarımını etkileyen malzeme seçimini kolaylaştırarak, sağlıklı yapma çevreler oluşturulmasına katkıda bulunmak ve bu amaç doğrultusunda 10-25 metre açıklıklı yapı sistemlerinde günümüzde kullanımı en yaygın yapı malzemelerinden prefabrike betonarme, çelik ve tutkallı tabakalanmış ahşap malzemeler karşılaştırılarak, tasarım-yapım-performans gereksinimleri doğrultusunda tasarımcının bilinçli bir şekilde en etkin ve uygun olan malzeme seçimini destekleyecek bilgilerin verilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, büyük açıklıklı yapıların özellikleri ve günümüzdeki büyük açıklıklı strüktürel kullanımı tipolojik olarak incelenmektedir. Bu yapıların strüktürlerini oluşturan en önemli yapı elemanı olan kiriş sistemlerin (prefabrike BA, çelik ve tutkallanmış tabakalı ahşap) üretimi, çeşitleri ve kullanım alanları hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda 10-25 metre açıklıklarda kullanılabilecek sistemlerin seçimi hakkında genel kriterler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Kullanımı son yıllarda yaygınlaşan, fakat ülkemizde henüz strüktürel olarak yaygın bir şekilde üretimi yapılmayan tutkallı tabakalanmış ahşap (TTA) kirişlerin üretimi, çeşitleri detaylı olarak gösterilmiştir. Ayrıca her üç yapı malzemesi ile uygulanan sistemlerin performansları yapı malzemeleri direktifi gereksinimleri doğrultusunda mekanik dayanım ve stabilite, yangın ve çevre performansları açısından karşılaştırılarak TTA malzemenin, bazı tasarımcı ve kullanıcılar açısından oluşturulmuş dayanımı ile ilgili önyargıların giderilmesi hedeflenmiştir.

Son yıllarda, mimaride sürdürülebilirlik ve ekolojinin öneminin ortaya konulmasıyla birlikte ülkemizde de ön plana çıkan yaşam dönemi değerlendirilmesi detaylı bir şekilde anlatılarak, malzemeler YDD süreçleri açısından da karşılaştırılmaktadır.

Tez çalışmasının son bölümünde, ülkemizden Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu ve derslikleri örnek proje olarak kabul edilerek, mevcut durum önceki bölümlerde elde edilen bilgiler ışığında irdelenmiştir. Bu projede kullanılmış olan TTA kiriş sistemler önceki bölümlerde büyük açıklıklı yapılarda kullanılabilecek sistemlerden uygun olan betonarme ve çelik sistemlerin seçilmesi ile oluşturulan modellerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda yapım sürecindeki farklılıklar ve ayrıca yaşam dönemi değerlendirmeleri ile de yapı ürününün üretiminden montaja kadar geçen süreçte tükettiği hammadde, enerji ve yaptığı gaz salımı ortaya konarak tasarımcıya seçeceği ürünün hem yapıya uygunluğu hem de doğal ve yapma çevreye etkilerini görme fırsatı verilmesi hedeflenmiştir.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF GLULAM, PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE AND STEEL BEAMS FOR LONG SPANS – A CASE STUDY

SUMMARY

Main aim of this study is to assist designers and customers (even engineers) while choosing the building material (from glulam, prefabricated concrete and steel) under the design-performance criterions in long span buildings (10-25 meter beams) for creating healthier built environments.

Scope of the study includes typology of long span buildings, structural systems and materials, detailed production processes and life cyle assessments of these materials (10-25 meter beams are considered as structural material production) and a case study for obtaining productive outcomes.

By this study, glulam systems, which have been used for ten years in many countries, but not even produced in Turkey, have been expounded within details for designers and customers to be familiarized to those systems and compared with other materials in structural performances such as mechanical performance and stability, fire and environmental performance, due to many baseless prejudices for wood as a structural material.

In the last part of the thesis, by the case study, a rare long span structural building in Turkey has been considered to be compared to the data found in previous chapters. Private Irmak High School's covered sports hall and classrooms are compared in design (unit production and fitting to structure period comparison) and life cycle assessment (energy and source consumption and VOC emissions comparison) processes. In life cycle assessment, transportation is also participated in final data in comparisons. With those comparisons, it is expected to reach the aim, which has been previously mentioned.

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişmiş toplumlarda, özellikle son birkaç yüzyıldaki nüfus patlamaları nedeniyle bireylere daha fazla hizmet götürülmesi gerekmektedir. İnsanoğlunun gün geçtikçe artan sosyal, kültürel ve eğlenceye yönelik eylemleri, yeni işlevleri de beraberinde getirmektedir. Bu yeni işlevler de çok sayıda bireyin bir örtü altında toplanmalarını gerektirmektedir. Büyük açıklık gerektiren oditoryumlar, spor salonları, bazı endüstri yapıları, uçak hangarları vb. yapıların hepsi bu gereksinimler nedeniyle ortaya çıkmış mimari strüktürlerdir. Toplumsal gelişmenin doğurduğu gereksinmeler paralelinde beliren yeni işlevler ve bu işlevlerin zorlayıcı etkileri ile ortaya çıkan bu strüktürler, mimarın bilgi ve birikimlerini daha verimli bir şekilde kullanabilme fırsatı sunmaktadır.

Büyük açıklıklı olarak nitelendirilen iskelet sistemler, 10 metreden büyük açıklıklardır ve 15 metreden sonra geleneksel yöntemlerle yapılmaları hem ekonomik hem de strüktürel olarak yetersiz olmaktadır [1]. Bu gibi durumlarda diğer sistemler araştırılmalıdır. Günümüz mimarisinin büyük açıklıklı strüktür araştırmalarında, bilgi, enerji ve hammadde konularındaki yeni bulgular sonucu büyük gelişim gösteren teknoloji ve yeni gereç olanaklarının etkisi büyüktür. Yeni gereçlerin kullanımı ile ilgili yapım (konstrüksüyon) teknikleri de hızla gelişmektedir. Mevcut yapı ürünlerinin üretim tekniklerinin değişmesi, yeni yapı ürünlerinin bulunması ve çeşitlerinin hızlı bir biçimde artması sonucunda nitelikleri gelişmiş ve değişmiştir. Bu ölçekteki yapı strüktürlerinde yaygın olarak kullanılan, prefabrike BA ve tutkallı tabakalanmış ahşap nitelikleri gelişen malzemelerin başlıca örnekleri olurken, diğerlerine nazaran daha yeni bir malzeme olan çeliğin de, gelişen yapı teknolojileri ile dayanımı artmıştır.

Büyük açıklıklı sistem tasarımlarında da, diğer yapı tasarımlarında olduğu gibi tasarımın gereksinimlerinin tanımlanmasıyla başlayıp, mimarın yapı yaşam süreci boyunca performansını sürdürebilecek tasarımını ortaya çıkarmasıyla biten süreç izlenir. Genel olarak, tasarımdan beklenen performanslar, yapının yaşam süreci (malzeme ve bileşenlerin kalitesi yapının yaşam süreci ile eşdeğer ya da daha yüksek

kalitede olmalı), fiziksel ve mekanik etkenlere dayanımı, kullanıcı gereksinimlerini karşılaması, maliyet ve gerekiyorsa estetiktir [2-3]. Bu çalışma kapsamında büyük açıklıklı yapılardan beklenen en önemli performans özelliği olan açıklığı geçebilecek en etkin sistemin seçilerek, yapı ömrü, yangın ve deprem dayanımı gibi beklentilerini karşılaması ele alınmaktadır. Genel olarak bu tür yapıların taşıyıcı sistemlerinden beklenen ömrü minimum 50 yıl olarak gösterilmesine rağmen, ülkemizde yapı denetimi kanununa göre yapıların taşıyıcı sistemlerinin ömrü 15, diğer bölümlerinin ise 2 yıl olarak belirtilmektedir [4]. Dolayısı ile tasarımcı yapının sistemi belirleyen malzeme seçimini daha esnek bir şekilde yapmaktadır.

Malzeme seçimi tasarımın en önemli süreçlerinden biri olmakla beraber, geçmişte tasarımcıların yapı malzemesi seçimindeki etken öğeler; malzemenin yapıya uygunluğu, fiyatı, sağlanabilme kolaylığı ve görünüşü iken, günümüzde enerji verimi yüksek ve çevre üzerindeki etkileri de göz önüne alınarak malzeme seçilmesine özen gösterilmelidir. Bu eğilimler karşısında araştırmacılar yapı malzemelerinin çevre üzerindeki toplam etkisini ölçen "Yaşam Dönemi Değerlendirmesi" (Life Cycle Assessment) çalışmalarını geliştirmişlerdir [5]. Bu sisteme göre, yapı ürünlerinin, hammadde halinden geri dönüştürülmesi aralığında oluşan yaşam süreçlerinin çevre ile etkileşimi incelenmektedir. Bu incelemenin amacı ürünlerin çevreye olan etkilerini ve zararlarını belirleyip azaltmak ve buna bağlı olarak ekolojik çevreye en az zarar veren ürünlerin üretilmesini ya da seçilmesini sağlamaktır [6].

Ülkemizde çoğu yapı ürününün seçiminde belli bir yöntem izlenmemekte, ya da tasarımcı kendisine daha yakın gördüğü ve daha iyi tanıdığı yapı malzemesini ve sistemi seçmektedir. Büyük açıklıklı strüktürel sistemleri ele aldığımızda kullanımı en yaygın olan BA prefabrike sistemler (%70 kullanım) [7] ve betonarmenin maliyetinin arttığı strüktürlerde ise çelik sistemler karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte gelişen teknoloji ile beraber yapı malzemelerinin de geliştiğini, alternatif yapı malzemelerinin ortaya çıktığını görmekteyiz. Özellikle son dönemlerde; geçmişte en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan ahşap, özellikle yüksek dayanım gerektiren büyük açıklıklı strüktürlerde tekrar verimli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Tabakalanmış ahşap teknolojisi olarak adlandırılan bu sistemler, Otto Hetzer ile dünyada tanınmış, 1901-1906 yılları arasında İsviçre ve Almanya'da; 1907-1930 yılları arasında ise tüm Avrupa'ya yayılmıştır [8]. 1914 yılında Danimarka'da Hetzer lisansı ile, 1918'de Norveç'de, 1919'da İsviçre'de Brekke

lisansı ile tabakalandırılmış kiriş üretimine başlanmıştır. 1910 Brüksel Dünya fuarı ve 1913 Lipsia Dünya Fuarı'nda tanıtılarak kullanımı yaygınlaşmıştır [8]. Hanisch ve Thompson Boat Manufacturing Firması ile bu teknoloji Amerika'da kullanılmaya başlanmıştır [8]. Ülkemizde henüz bu sistemlerin üretimi olmamasına karşın, bazı yerli firmalar yurt dışı siparişleri ile uygulamalar yapmaktadır.

Doğal dengenin önem kazandığı günümüzde, bunu sağlayan malzemelerin seçilmesinde gerek mimari tasarımın, gerekse kullanılan malzemenin sürdürülebilirliği son derece önemli olmaktadır. Ancak, sürdürülebilir bir malzeme olan ahşap, alternatifi olmayan bir malzeme olarak karşımıza çıkmasına rağmen kullanımı ülkemizde üretiminin olmaması, maliyetinin bazı uygulamalarda yüksek olması nedeniyle diğer malzemeler kadar yaygın değildir.

Tasarımcıya yardımcı olması amacıyla strüktürel yapı ürünlerinin bilgilerine ilişkin mesleki yayınlar, satış firmalarının broşürleri, Türk Standart Enstitüsü (TSE) ve Sanayi Bakanlığı yayınları, Yapı Kataloğu gibi çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Çoğu kaynak yapı ürününün yapıdaki kullanımı ile ilgili bazı bilgileri ya da fiziksel, kimyasal, mekanik, teknolojik ve ekonomik özelliklerini içerebilmektedir. Fakat bu kaynakların dağınık ve sınırlı sayıda olması, tasarımcının amacına hizmet etmemesi, çevre ile ilgili özelliklerine ilişkin bilgilere ulaşılamaması zaman zaman yanlış yapı ürünü seçimine neden olabilmektedir. Yapı üretimindeki yapı ürününün yanlış seçimi ile öncelikle doğal ve yapma çevre; dolayısıyla insan sağlığı ve ülke ekonomisi zarar görebilmektedir. Bu nedenle, sağlıklı doğal ve yapma çevreler ancak uygun ürün ya da ürünlerin seçimiyle oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada, tasarımcının büyük açıklıklı yapı tasarımı sürecini başlatan aşama olan yapı ürününün seçimini etkileyen faktörler, günümüzde uygulama olarak en çok karşılaşılan 10-25 metre açıklık aralığındaki dolu gövdeli prefabrike betonarme, çelik ve tutkallanmış ahşap kiriş sistemler bazında ele alınmaktadır. Bu faktörler, malzemenin sağlanabilme kolaylığı, geçilecek açıklığa uygun fiziksel ve mekanik dayanımı, deprem, yangın gibi dış etkenlere dayanımı ve çevre üzerindeki etkileri olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, tasarımcı için büyük açıklıklı sistemlerde yapı tasarımını etkileyen malzeme seçimini kolaylaştırarak, sağlıklı yapma çevreler oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Bu amaç doğrultusunda 10-25 metre açıklıklı yapı sistemlerinde günümüzde kullanımı en yaygın yapı malzemelerinden BA prefabrike, çelik ve tutkallı tabakalınmış ahşap malzemeler tasarım-yapım-performans gereksinimleri doğrultusunda karşılaştırılarak, tasarımcının mevcut şartlar altında en etkin ve uygun olan malzemeyi bilinçli bir şekilde seçebilmesine yardım edilmesi düşünülmüştür.

Çalışma kapsamında, büyük açıklıklı yapıların özellikleri ve günümüzdeki büyük açıklıklı strüktürel kullanımı tipolojik olarak incelenmektedir. Bu yapıların strüktürlerini oluşturan en önemli yapı elemanı olan kiriş sistemlerin (prefabrike BA, çelik ve tutkallanmış tabakalı ahşap) üretimi, çeşitleri ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmektedir. Alt başlıklar halinde prefabrike BA ve çelik malzemenin günümüz teknolojisi ile hammadde halden yapı ürünü haline getirilmesi örnek olarak seçilen fabrikaların üretim sistemi de incelenerek açıklanmaktadır. Avrupa ve Amerika'da çok uzun yıllardan beri kullanılan, özellikle son zamanlarda Türkiye'de de kullanımı yaygınlaşan Tutkallı Tabakalanmış (Lamine) Ahşap kiriş sistemleri ayrıntılı olarak işlenmektedir. TTA üretimi için gereken üretim teknikleri, prensipleri ve teknolojileri incelenerek, günümüzdeki yerli ve yabancı strüktürel örnekleri gösterilmektedir. Her üç malzeme ile anlatılan büyük açıklıklı sistemlerde kullanılan kiriş üretim teknikleri ve çeşitleri sonucunda, 10-25 metre açıklıklarda kullanılabilicek en uygun çeşitler seçilme nedenleriyle beraber gösterilmektedir. Konu kapsamında 4. bölümde, prefabike BA, çelik ve TTA sistemler malzeme ve özellikleri bakımından incelenerek performansları karşılaştırılmaktadır. Performans özelikleri açısından yapı malzemeleri direktifi esas alınarak incelenmiş ve bağlamda malzemeler mekanik ve stabilite, yangın ve çevre sağlığı etkenleri bakımından karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar sonucunda TTA sistemler de kullanılan ahşabın, tasarımcı ve kullanıcılar tarafından oluşturulmuş taşıma ve yanma dayanımı gibi strüktürel mekanik dayanımı ile ilgili önyargıların da giderilmesi hedeflenmiştir. 5. bölümde prefabrike BA, çelik ve tutkallı tabakalanmış lamine sistemler yaşam dönemi değerlendirmesi (L.C.A.) açısından karşılaştırılarak, tasarımcının önceki bölümlerde strüktürel dayanıma uygun malzemelerden sağlıklı yapma çevre için en

uygununu seçebilmesine dair veriler sunulmaktadır. Yaşam dönemi değerlendirmesi kapsamında malzemelerin hammadde halinden yapı malzemesi üretimi, kullanımı ve geri dönüşümleri ele alınarak, bu süreçler içinde yaklaşık enerji ve hammadde tüketimleri ile gaz salımları karşılaştırılarak, çevreye etkileri ortaya konulmaktadır.

10-25 metre açıklıklarda kullanılacak en uygun kiriş türlerinin belirlenmesi, özelliklerinin ve birim miktarlarının çevreye yaptıkları etkilerin karşılaştırılması ile beraber, son bölümde ise Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu ve derslikleri örnek proje olarak incelenmektedir. Mevcut proje kapsamında kullanılan TTA ile oluşturulmuş büyük açıklıklı sistem, önceki bölümlerde incelenen uygun betonarme ve çelik sistemler seçilerek oluşturulan modelleri ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar doğrultusunda tasarım-yapım ve performans sürecindeki farklılıklar ve ayrıca yapı ürününün üretiminden montaja kadar geçen süreçte tükettiği hammadde, enerji ve yaptığı gaz salımı ortaya konarak tasarımcıya seçeceği ürünün hem yapıya uygunluğu hem de doğal ve yapma çevreye etkilerinin gösterilerek, tasarımcı için en uygun malzeme seçiminin gösterilmesi hedeflenmektedir.

1.2Yöntem

Tezin konusunun içeriği olan büyük açıklıklı strüktürel sistemlerin tipolojik ve strüktürel içeriği literatür araştırması sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Bunların arasında Yükselen Ayaydın ve Cengüz Yesügev'in büyük açıklıklı yapılarla ilgili yayımları başta gelmektedir [10, 11, 12, 13]. Yapı malzemelerinin, üretimden geri dönüşümüne kadar geçen süreçler, özellikler ve çeşitleri çeşitli kaynaklar dışında, Türkiye'den bazı firmalar ile iletişime geçilerek şantiye, uygulama, ofis ve fabrika gezileri ile oluşturulmuştur. Prefabrike BA yapı elemanları üzerine, Alacalı İnşaat yetkilileri ile görüşülerek fabrika ve tesis gezileri yapılmıştır. Buralarda üretim, uygulama, sistemler ve yeni teknolojiler hakkında bilgiler alınmıştır. Ayrıca Türkiye Prefabrike Birliği üyesi olan firma yetkilileri vasıtasıyla, TPB ile iletişim kurularak günümüzdeki prefabrike BA sistemleri ve geleceği ile ilgili bilgi elde edilişmiştir.

Büyük açıklıklı sistemlerdeki çelik yapı sistemleri konusunda Protechnic Çelik Yapı Sistemleri AŞ'nde yetkili yapı mühendisleri ile görüşülerek, bu sistemler ve teknolojileri hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir. Firmanın bazı uygulamaları yerinde görülmüş ve üretim konusunda gerekli detaylar elde edilmiştir. Bu

firmalardan biri olan Kroman Çelik AŞ'nin fabrikası gezilmiş ve yetkililerden teknik bilgiler alınmıştır.

Tutkallı tabakalanmış ahşap sistemler üzerine yapılan çalışmalarda ise, Ahmet Demirel Orman Ürünleri yetkilileri ile görüşülmüş, ahşap hakkında ayrıntılı bilgi alınmış, üretim teknikleri ve üretim süreci yerinde incelenmiştir. Ulusal Ahşap Birliği üyesi de olan firma yetkilileri ile bazı küçük çaplı uygulamaları yerinde görülmüştür. Türkiye'deki TTA sistemleri kullanarak örnek uygulamalar yapan, Oran Mimarlık bürosu ziyaret edilmiş ve ayrıca firmanın mimarı ile bitmiş ve yapımı süren uygulamalar gezilmiştir. Bahsedilen büronun projelerinde kullandığı TTA elemanların üretimi, ithalatı ve uygulaması hakkında ayrıntılı bilgi alınmıştır.

Malzemelerin çevresel ve yaşam dönemi değerlendirme karşılaştırmaları, çeşitli literatür kaynaklı araştırmalar doğrultusunda yapılmıştır. Ülkemizde bu araştırmaların çok yaygın olmaması nedeniyle, Amerika başta olmak üzere, Kanada, İngiltere ve İskandinav ülkelerin araştırmalarına ağırlık verilmiştir. Son bölümde Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu ve dersliklerinin diğer yapı malzemeleri ile tekrar tasarım sürecinin oluşturulup karşılaştırılmalı değerlendirilmesinde, yapının tasarım mimarı Nevzat Sayın'la görüşülmüştür. Bu görüşmeler ofis ve büro temelli gerçekleşmiş ve yapının yapım süreci hakkında detaylı teknik ve teorik bilgi alınmıştır. Ayrıca, örnek uygulamanın prefabrike BA ve çelik kirişlerle oluşturulması sırasında firma uzmanlarının fikirlerinden yararlanılmıştır.

2. BÜYÜK AÇIKLIKLARIN GEÇİLMESİNDE KULLANILAN KİRİŞ TÜRLERİ

Yapılar açıklıklarına göre ele alındığında küçük açıklıklı (10 m.'ye kadar) ve büyük açıklıklı (10 m. - 100 m. - > 100 m.) olarak iki şekilde sınıflandırılır [13]. Ayrıca, günümüzde genel olarak geleneksel sistemlerle geçilemeyen açıklıklar, büyük açıklıklı yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dönemler boyunca insanoğlu daha büyük açıklıkları geçme çabası içinde olmuşlardır. İlk dönemlerde daha çok dini yapılar büyük açıklıklı olarak göze çarpmasına karşın, günümüzde çok çeşitli işlevleri yerine getirmek amacıyla büyük açıklıklı yapılar yapılmaktadır. Endüstriyel yapılar, hangarlar, istasyon yapıları ile kapalı spor salonları (yüzme havuzu, basketbol salonu, buz pateni pisti vs.) işlevlerinin gerektirdiği bir takım özellikler nedeniyle büyük açıklıklı strüktürel sistemlerle oluşturulan yapılardır. Bu tür yapılarda mimari işlevsellik, büyük açıklıklı strüktürel sistemlerin oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır.

Bu şekilde büyük açıklıklı yapıları, endüstri yapıları, hangarlar ve istasyonlar gibi tipolojik olarak incelendiği zaman, tasarımlarında öncelikli karar noktası bu yapılardaki kullanıcı sayısıdır. Endüstri yapılarında bununla beraber makine, motor, ekipman boyutları ve sayısı da büyük açıklık kullanım zorunluluğu gerektirir. Genellikle tek katlı, özellikle bir doğrultuda büyük açıklıklardan oluşan taşıyıcı sistemleri içerirler. Günümüzde bu tür yapılarda ana malzeme genel olarak BA, çelik veya karma sistemler olarak kullanılabilmektedir. Betonarme malzemenin endüstri yapılarında gündeme gelmesi ancak prefabrike elemanların kullanımı ile olabilmektedir. Bu sistemlerde ana taşıyıcı için ekonomik olan açıklık maksimum 20 m.dir. Bazı uygulamalarda bu değer 30 m.ye çıkarılabilmektedir [14]. Çelik bir taşıyıcı sistemin kullanılması halinde, ana taşıyıcı sistem açıklığı 30 m.ye çıkabileceği gibi diğer yöndeki açıklıkta 10-15 m. hatta 20 m.ye kadar çıkabilir [9]. Kapalı spor salonlarında seyirci kapasitesine ve işlev gereksinimlerine göre planlanacak olan açıklık oranı değişim gösterir. Spor salonlarında, spor çeşidi ve

amacına göre kullanım alanı içerisinde düşey strüktürel elemanların olmaması en büyük gereksinimlerdendir. Açıklıklar gerekli oyun sahalarına göre belirlenir. Düşey taşıyıcıları bina formunu belirleyen dış sınırlar üzerinde çözülürken, büyük açıklıklı yatay elemanlar yapı içerisinde geniş kullanım alanı elde edilmesine olanak sağlar. Genellikle basketbol, tenis, voleybol vb. salon oyunları 20 m × 40 m'lik boyutlarda, buz hokeyi ve salon atletizm yarışmaları için 30 m × 60 m boyutlarda salonlar gerekmektedir. Salon büyüklüğüne bağlı olarak net salon yükseklikleri de 7-15 m arasındadır [13].

Yukarıda incelendiği gibi, çeşitli yapı tipolojilerindeki bu işlevsel yerleşimler sırasında büyük açıklıklı sistemlerin gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Kolonsuz bir şekilde geniş bir alanı örtebilen bu sistemler üretim için esnek bir yerleşim olanağı sunmaktadır [13]. Ayrıca büyük açıklıklar, kullanım alanının esnek bir yapıya sahip olmasını ve daha sonraki kullanım değişikliklerinin kolayca çözülebilmesini sağlar. Ekonomik olması, kullanışa ve estetik değerlere cevap vermesi, atmosfer etkilerine ve iç etkenlere dayanıklı olması, yapım kolaylığı da yapıdan beklenen diğer özellikleridir [10].

Strüktürler genel olarak geometrik çıkışlı olarak sınıflandırılırlar ve bu sınıflandırmada malzeme özelliği dikkate alınmadan, taşıyıcı sistem geometrik özellikleri, gerilme durumları ve taşıyıcı sistem öğeleri gösterilerek sınıflandırılırlar. Sınıflandırmaya göre strüktürler; (i) çubuk taşıyıcı sistemler, (ii) yüzeysel taşıyıcı sistemler ve (iii) asma sistemler olarak üç grupta incelenmektedir [10]. Bu çalışma kapsamında büyük açıklıklı strüktürler ele alınarak, en önemli yapı elemanı olan kiriş sistemleri detaylı olarak incelenmektedir. Bu nedenle mimarın, tasarımına uygun ve gerekli büyük açıklığı geçebilecek doğru malzeme seçim kararı verebilmesi için, öncelikle yapı malzemelerinin (prefabrike BA, çelik ve tutkallanmış tabakalı ahşap) özellikleri ve üretimi ayrı başlıklar altında anlatılmaktadır. Ayrıca, her malzeme, büyük açıklıklı sistemlere daha uygun olan tek doğrultuda yük aktaran çubuk taşıyıcı sistem olarak incelenmektedir. Bunun nedeni çubuk elemanların boylarının diğer boyutlarına göre çok daha büyük olması ve dolayısı ile açıklık geçmek amacıyla üretilmeleridir. Çift doğrultuda yük aktaran sistemler ise karma sistemler olduğu için malzeme düzeyinde incelenmesi zorlaştığı ve ekonomik olarak ek yükler getirdiği ayrıca kullanım alanı daha sınırlı olduğu için konu kapsamına alınmamıştır.

2.1 Büyük Açıklıklı Yapılarda Kullanılan Prefabrike Betonarme Kirişler

Betonarme, beton'un çelik kullanılmak suretiyle güçlendirilerek üretilen yapı malzemesinin ismi ya da inşaat terim anlamı ile bünyesinde % 0,2'den fazla donatı (çelik çubuk ya da hasır çelik) bulunan betondur [15] . Beton çok az çekme gerilmesi alır, asıl basınç gerilmelerini karşılar. Çelik donatı hem basınç hemde çekme gerilmelerini karşılar, ancak beton içinde genelde BA elemanın çekme dayanımına katkısı nedeniyle kullanılır. Kullanılan çeliğin, çekme gerilmeleri altında aniden kopmadan deformasyon yapabilmesi için, doğru haddelenmiş olması, yani gevrek olmaması gerekir. Bir elemanın göçmesi sırasında direncini büyük oranda koruyarak akabilmesi (deformasyon yapabilmesi) için eleman içinde kullanılan çelik donatı sınırı olmalı ve belli bir orandan fazla kullanılmamalıdır. Bu oran kirişlerde 0.02, bindirme bölgelerinde de 0.06'yı geçmemelidir. Diğer bir deyişle, 20×50 cm'lik bir kirişte 20 cm^2'lik donatıdan fazla donatı kullanılmışsa eleman sünek davranmadan göçebilir [16,17].

Prefabrike yapım yöntemi, yapı elemanlarının üretim tesisinde üretilerek yapı üretim alanında birleştirilmesine dayanan yapım yöntemi olarak tanımlanmaktadır [11]. Prefabrike yapım yöntemlerinde temel prensip; yapı üretiminde hızın artırılması, kalitenin yükseltilmesi ve işgücünün azaltılmasıdır [18]. Teknoloji genellikle fabrikada üretim, şantiyede montaja dayalı olduğu için oldukça yüksek ön yatırım gerektirmektedir. Ayrıca, teknolojinin ambalajlama, stoklama ve taşıma zorlukları bulunmaktadır. Prefabrike elemanların yapı üretim alanında üretilmesi ise, taşıma ve depolama gerektirmeden doğrudan montaja olanak veren diğer bir yöntemdir [9]. Stratejik olarak yapı organizasyonu doğru bir biçimde yapıldığı takdirde, stoklama yapmaya gerek kalmadan doğrudan montaj yapılarak hem enerji hem ekonomik kazanç sağlanabilmektedir [19].

Ülkemizde üretilen betonarme prefabrike taşıyıcı elemanların yaygın kullanım alanı, köprüler ve endüstri yapıları olmuştur. Bu tür yapılarda bile, ağır kirişler yerine çelik makasların kullanıldığı görülmektedir [20]. Ermenistan, tek ve çok katlı beton prefabrike yapıların en yaygın olarak kullanıldığı ülkelerden biridir. 1988 yılındaki (Mw= 6.9) depremde söz konusu yapıların tamamına yakını göçmüş veya kullanılamayacak derecede ağır hasar görmüştür. Bu depremden sonra tüm dünyada yapılan yoğun çalışmalar sonucu eleman birleşim bölgeleri başta olmak üzere taşıyıcı

sistem detaylarında yapılan düzeltmelere karşın, Ceyhan ve Gölcük depremlerinde görüldüğü gibi, yatay yüklere karşı dayanımında önemli bir gelişme olmadığı ya da ülkemizdeki uygulamaların hatalı olduğu görülmektedir [21]. 1999 Gölcük depreminde betonarme binalardaki büyük hasar ve can kaybı, proje hatalarından, tekniğine uygun olmayan ve proje dışı üretimler, tesisatlar nedeniyle hasara uğratılan taşıyıcı elemanlar, proje dışı eklentiler ve kat fazlalıkları nedeni ile oluştuğu belirtilmektedir [22].

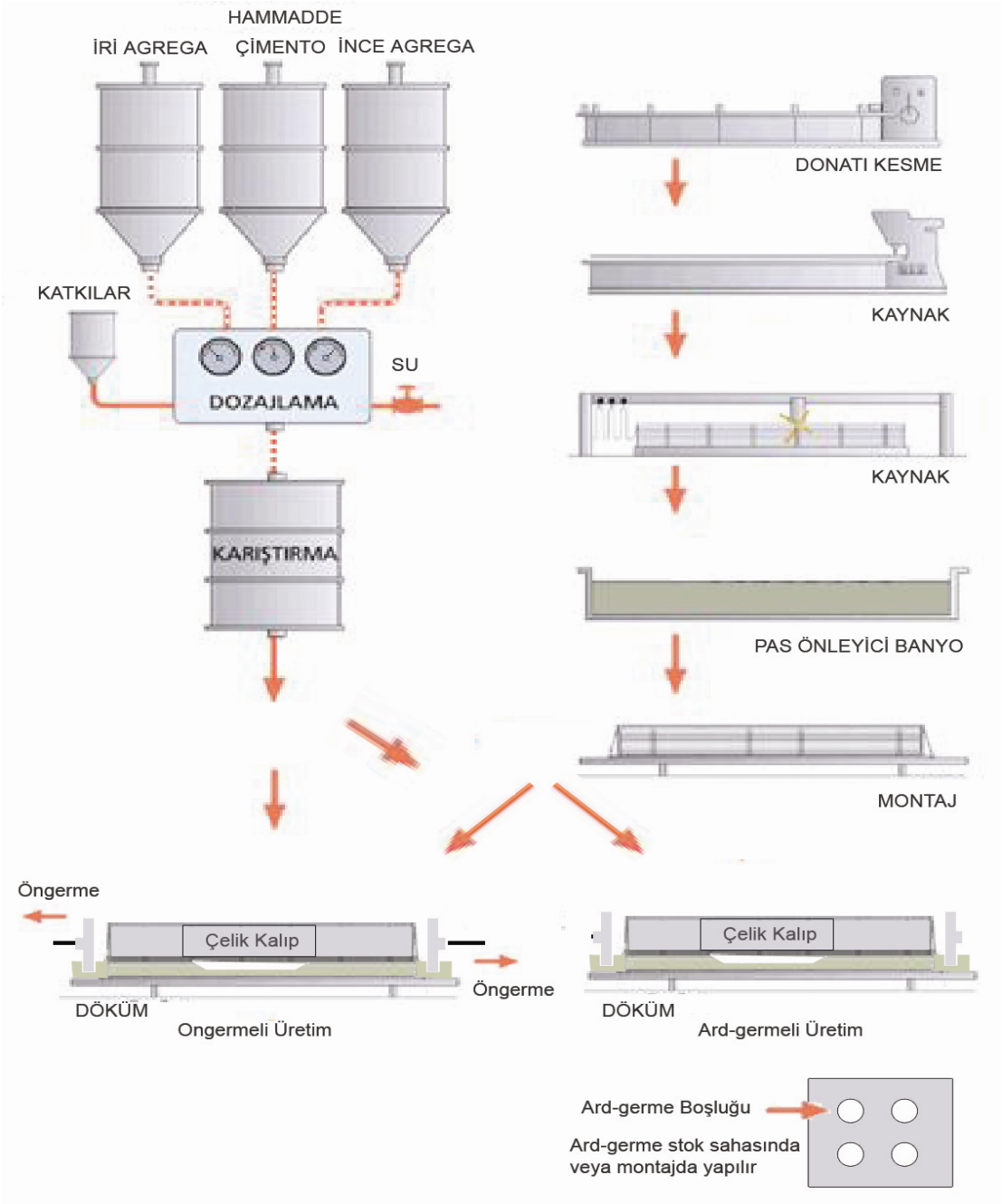
Ayrıca, deprem hasarı ve davranışı incelenen prefabrike yapıların listesinden çıkarılan gözlemlere göre kirişlerin kolonların üst başlarından mafsallı olan bağlantılarının yetersizliği sonucu depremin şiddetli olduğu alanlarda kirişler kolonların üzerinden kolayca düşmektedir [21]. Bunun dışında prefabrike BA kolon, kiriş ve aşıkların, beton ve donatısının dayanımlarının "yüksek" olması bu yapıları depreme dayanıklı yapamadığı da belirtilmektedir [21].

1999 yılından itibaren ülkemize getirilip, üretilmeye başlanan ard-germeli sistemler ile depreme dayanıklı çok katlı prefabrike BA yapı üretimi de mümkün olabilmektedir.

2.1.1 Prefabrike Betonarme Kiriş Üretimi

Ülkemizde büyük açıklıklı yapılar için standartlara uygun üretim yapan Türkiye Prefabrik Derneğine üye yaklaşık 25 firma bulunmaktadır [23]. Bu bölümde kiriş üretimi çeşitli yayınlanmış kaynaklar dışında, başta Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. olmak üzere incelenen çeşitli firmaların üretim sistemleri de göz önüne alınarak üretim sistemi anlatılmaktadır. Büyük açıklıklı yapılarda, kirişin üretimi genel olarak kat sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Prefabrike BA kirişler, endüstriyel yapılarda olduğu gibi tek katlı ve/veya kısmi ara katlı olduğu zamanlarda ön germeli olarak, çok katlı oldukları zaman ard- germeli olarak üretilmektedir. Ülkemizde öngermeli prefabrike BA kiriş üretimi yaygın olmasına karşın, ard-germeli üretim sadece Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından yapılmaktadır. Genel olarak ülkemizde çok katlı büyük açıklıklı prefabrike BA sistemlerde, ekonomik olduğu için öngermeli elemanlar kullanılmaktadır, fakat depreme karşı dayanıklı olmadığı için bu üretim sistemleri Türkiye Prefabrik Birliği tarafından onaylanmamaktadır [23].

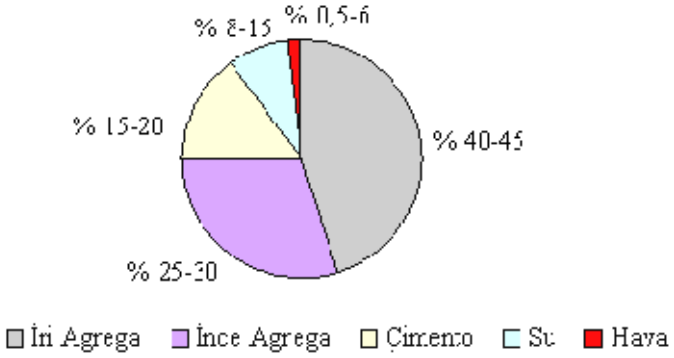
Prefabrike BA yapı elemanları üretim tesisinin alanı, üretilen elemanların boyutlarına ve üretim kapasitesine göre değişiklik göstermekte ve bir tesiste birden fazla üretim birimi yer almaktadır. Yapı elemanı üretim tesisindeki işlemler; kalıpların hazırlanması, donatı ve kablo ekipmanının kalıplara yerleştirilmesi, beton dökümü ve sıkıştırılması, elemanların kalıptan sökülüp depolama alanına taşınmasıdır [12]. Elemanların üretim tesisindeki depolanması işlemi ara depolama olarak ifade edilmektedir. Prefabrike BA yapı üretim şeması Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Prefabrike BA öngermeli ve ard-germeli kiriş üretim şeması [19].

Kalıplar hazırlanırken, bitmiş elemanların kalıptan çıkarılması ile boşalan kalıpların iç yüzeylerindeki donmuş çimento kalıntılarının temizlenmesi, yüzeylerin yağlanması veya cilalanması, kalıp parçalarının sıkıştırılıp birleştirilmesi özen ve dikkat gerektiren işlemlerdir. Bunların büyük bir kısmı mekanize olmadığından, burada işçilik ve denetim, üretimin kalitesi açısından büyük önem taşır. Donatı ve kablo ekipmanının kalıplara yerleştirilmesinde mümkün olduğu kadar rasyonelleştirilmeye çalışılır, çoğu kez kaynaklı ızgara veya hasır donatı kullanılır. İşçiliği azaltmak için hasırların bükülmesi yoluna da gidilebilir [14]. Donatının kaynaklanması ve bükülmesi mekanik araçlarla yapıldığından işçilikten büyük tasarruf edilir. Bütünüyle veya bölüm bölüm hazırlanmış olan donatı, temizlenip yağlanmış olan kalıba, kaldırma araçları yardımıyla yerleştirilir. Konu kapsamındaki gibi çok büyük kirişlerde donatı kalıbın alt tabanı üzerine monte edildikten sonra kalıbın yan kısımları takılır [24].

Betonun üretimi gelişmiş fabrikalarda yüksek düzeyde bir otomasyona erişmiştir. Türlü karışım programları yapılarak istenen doz ve granülometri, otomatik olarak oluşturulabilir. Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agrega (kum, çakıl, kırma taş), (Şekil 2.2) kimyasal katkılar ve mineral katkılardır. Kimyasal katkılarla (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz...) mineral katkılar (taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı…) betonun performansını istenilen yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır. Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşıp sertleşerek agrega tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar, yapıştırır, böylece betonun mukavemet kazanmasına olanak verir [25]. TS 500'e göre beton kıvam ve özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.2: Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı [26].

Çizelge 2.1: TS 500'e göre beton kıvam ve özellikleri

Kıvam	Çökme	Özellikler
Nemli toprak	0-2,5 cm	Su miktarı çok az, vibrasyonla özenli ve kuvvetli bir şekilde yerleştirilmediği takdirde betonda boşluklar kalır.
Sıkı	2,5-5 cm	Vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli betonarme yapılar için uygun
Plastik	5-7,5 cm	Donatının fazla olması halinde seçilir.
Akıcı	7,5-15 cm	Su miktarı fazla, vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli değil. Çok sık donatı bulunması halinde kullanılmasına izin verilir.
Şerbet	15	Su; agrega ve çimentodan kolaylıkla ayrılır. Betonarmede bu kıvama sahip beton kullanılmamalıdır. (TS, 500)

Çimento Uluslararası Standart Sanayi sınıflandırmasında (ISIC) 369 ana grup ve 3692 kod numarası, Uluslararası Standard Anlaşma sınıflandırmasında (SITC) 661.2 kod numarası ile sanayide kullanılan esas kimyasal maddeler grubunda yer almaktadır [27]. Çimento, başlıca silisyum, kalsiyum, aluminyum ve demir oksitlerini içeren hammaddelerin karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edilen klinkerin (bir veya daha fazla cins katkı maddesi ilavesiyle) öğütülmesi suretiyle elde edilen hidrolik bağlayıcıları tarif etmektedir [28]. Ülkemizdeki TSE normlarına göre çalışma kapsamına giren çimento üretimi için, 2006 yılı sonu itibaren ülkemizde halen 39 adedi entegre tesis, 17 adedi öğütme paketleme tesisi olmak üzere 56 çimento fabrikası faaliyettedir. Bunların bölgesel dağılımları ve mülkiyetleri Çizelge 2.2'de verilmektedir [29].

Çizelge 2.2: Çimento Sektörü Coğrafi Dağılım (2006 yılı sonu itibariyle) [30]

Bölge	**Fabrika**	**Tesis**
Marmara	8	4
Ege	4	2
Karadeniz	6	5
Akdeniz	3	3
İç Anadolu	8	4
G.D. Anadolu	6	-
D. Anadolu	4	-
Toplam	39	17

Büyük açıklıklı prefabrike BA ön germeli kirişlerde C30-C40, ard- germeli kirişlerde ise C50 yüksek dayanımlı beton kullanılmaktadır [14, 31]. Ayrıca Türkiye prefabrike derneğine üye firmalar, büyük açıklıklı yapılar için genellikle beyaz portland çimentosu kullanmaktadır. Bunun nedeni Çizelge 2.3'deki gri portland çimentosu ile

karşılaştırılmasında da görüleceği gibi; performans kriterleri açısından, beyaz portland çimentosu, standart değerlerin çok üstündedir. Yüksek miktarda C_3S ve C_3A bileşikleri içermesi ve ince öğütülmesi nedeniyle dayanım kazanma hızı ve erken yaş dayanımları yüksek, hidrolik olarak çok aktiftir. Bu özelliğiyle, erken dayanım istenen, özellikle ön döküm üretimlerinde yoğun bir şekilde kullanılabilmektedir. Çimentoların bağlayıcılık özelliğini belirleyen kalsiyum silikat bileşikleri sayesinde (C_3S ve C_2S) beyaz portland çimentosunun dayanımı da çok yüksektir. Bu dayanım değerleri ile gri portland çimentoları dâhil olmak üzere, piyasadaki mevcut çimentolar arasında dayanımı en yüksek çimento niteliğine sahiptir. Ayrıca, hacim genleşmesi düşük, beyazlığı da çok yüksektir. (en az %85 beyazlık). Bu özelliği bakımından da estetik ve dekoratif amaçlı kullanılabilirler [32].

Çizelge 2.3: Beyaz Portland çimentosu ile gri Portland çimentosunun karşılaştırılması [32]

	TS EN 197-1 CEM I 52,5 N		TS EN 197-1 CEM I 42,5 R	
Özellikler	Beyaz Portland Çimentosu	ST. Değer	Gri Portland Çimentosu	ST. Değer
SO_3 (%)	3,38	≤ 4,00	3,15	≤ 4,00
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,12	≤ 5,00	0,66	≤ 5,00
Kızdırma Kaybı (%)	2,61	≤ 5,00	2,05	≤ 5,00
Priz Başlangıcı (dk.)	100	≥45	150	≥60
İncelik (cm^2/gr)	4700	-	3450	-
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	38,0	≥20,0	25,0	≥ 20,0
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	60,0	≥52,5	48,0	≥42,5

Durağan kalıplı üretimde betonun karıştırıcıdan alınması ve kalıba dökülmesi işlemleri köprü veya tek raylı asma vincin taşıdığı potalar, raylı arabalar, raylı köprüler, ulaşım bantları ve çok amaçlı imalat makinaları aracılığıyla gerçekleştirilir. Betonun düzeltilmesi ise ya elle ya da özel perdah makineleri yardımıyla yapılır. Betonun sıkıştırılması, vibratörler aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu vibratörler kalıp

içinde, elemanın üst yüzeyinde, kalıbın yanlarında ve kalıp tabanının altında düzenlenebilir. Betonun sıkıştırılması evresinde vibrasyon süresi priz süresini aşmayacak şekilde yapılarak, sıkıştırmanın homojen dağılmasına ve donatı ile kalıpların vibratörden etkilenerek bozulmamasına özen gösterilir. Genellikle beton yüzeyinde fazla suyun vakum yöntemiyle alınması, vibrasyon yöntemiyle birlikte kullanıldığında iyi sonuç vermektedir [24].

Daha önce de söz edildiği ve Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi, büyük açıklıklı yapılarda üretilen kirişlere ön germe ya da ard-germe işlemleri uygulanmaktadır. Bunun nedeni betona basınç uygulayarak, daha narin kesitlerle, daha büyük açıklıkları geçebilmektir. BA üretimi sırasında ön germeli sistemlerde, beton kalıp içerisine yerleştirilen ve gerilmiş olan çelik ön germe halatının üzerine dökülür ve daha sonra prizini alır ve kalitesi genelde C30-C40 arasındadır. Türkiye Prefabrik Birliğince C40 önerilmektedir [23]. Bu şekildeki kalıba ön germe hattı da denir. Örneğin incelenen firmanda hat uzunluğu 120 m.dir [14]. Ard-germe ise C50 kalitesinde, içlerine kıvrımlı (oluklu) ard-germe kanalları yerleştirilerek üretilir (Şekil 2.1). Şekil 2.3'te üretim aşamasındaki ard- germe kanalları ve Şekil 2.4 a ve b'de de üretilmiş elemanların stok aşaması gösterilmektedir.



2.3



2.4 (a)



2.4(b)

Şekil 2.3: Üretim aşamasında ard- germe kanalları [19]

Şekil: 2.4 a-b Üretilmiş elemanlar stok aşaması [19]

Ard-germe işlemi stok sahasında ya da montaj sırasında, kolon-kiriş birleşim noktaları içerisine rötresiz özel harç doldurulduktan sonra, kanallar içerisine ard-germe halatları sürülmesi ve germe makinesi yardımıyla ard-germe halatlarını projede belirtilen bar kuvvetiyle çekilerek yapılır [19]. Prefabrike yapı elemanlarının üretim tesisinden yapı alanına taşınması en yaygın olarak karayolu ile gerçekleştirilmektedir. Küçük boyutlu elemanlar normal taşıma araçları ile

taşınırken, büyük ve ağır elemanlar için özel geliştirilmiş treylerler, römork ve çekiciler kullanılmaktadır. Prefabrike yapı elemanlarının ülkemizde karayolu taşımacılığında en uygun taşıma uzaklığının 50–150 km arasında olduğu, bazı ülkelerde ise 200 km hatta daha büyük taşıma uzaklıklarının bile verimli olabildiği belirtilmektedir [12]. Yapı üretim alanına taşınan prefabrike yapı elemanları nakliye araçlarından indirilerek depolanmaktadır. Şekil 2.5'te prefabrike elemanların nakliyesi gösterilmektedir. Prefabrike yapı elemanlarının yapı üretim alanında depolanması son depolamadır. İyi bir nakliye ve montaj yönetimi ile son depolama yapılmayabilir. Depolama alanında, yapı elemanlarının taşınması için askılı raylı veya zeminden raylı vinç elemanı kullanılmaktadır [9].



Şekil 2.5: Prefabrike eleman nakliyesi



Şekil 2.6: Kiriş ve döşeme montajı

Hazır yapı elemanlarının montaj süreci yapı üretim alanına ulaştırılan prefabrike elemanların bir araya getirilmeleri ve birleştirilmeleri işlemini kapsamaktadır. Bu aşamada işlemin türüne göre çeşitli vinçler kullanılmaktadır. Montaj işlemlerinin hemen her mevsimde yapılabilir olması, geleneksel yapım yöntemlerine göre prefabrike yapım yöntemine önemli bir üstünlük sağlamaktadır [9]. Şekil 2.6 'da kiriş-döşeme montajı gösterilmektedir. Montaj aşamasında kolon–kiriş birleşim derzleri rötresiz özel harç ile doldurulur, ard-germe halatları kolon ve kirişlerde bırakılan kanallar içerisine sürülür (Şekil 2.7, 2.8). Ard-germe halatlarına germe ünitesi yardımı ile projede belirtilen kuvvet verilir, hatlar kilitlenerek sistem moment aktaracak hale gelmektedir (Şekil 2.9).

İlk ve son germe noktaları özel harç ile doldurulduktan sonra, kontrollü enjeksiyon pompası ile tüm germe kanalları rötresiz harç ile doldurulur. Yüzeyleri pürüzlendirilmiş ve firketeler bırakılmış döşeme elemanları üzerine çelik hasır

yerleştirilerek kaplama (topping) betonunun dökülmesiyle diyafram etkisi yaratılarak sistem tamamlanır.





2.7 2.8 2.9

Şekil 2.7: Kolon-kiriş birleşim derz dolgusu

Şekil 2.8: Ard-germe halatı sürülmesi

Şekil 2.9: Ard-germe işlemi [19]

2.1.2 Prefabrike Betonarme Kiriş Çeşitleri

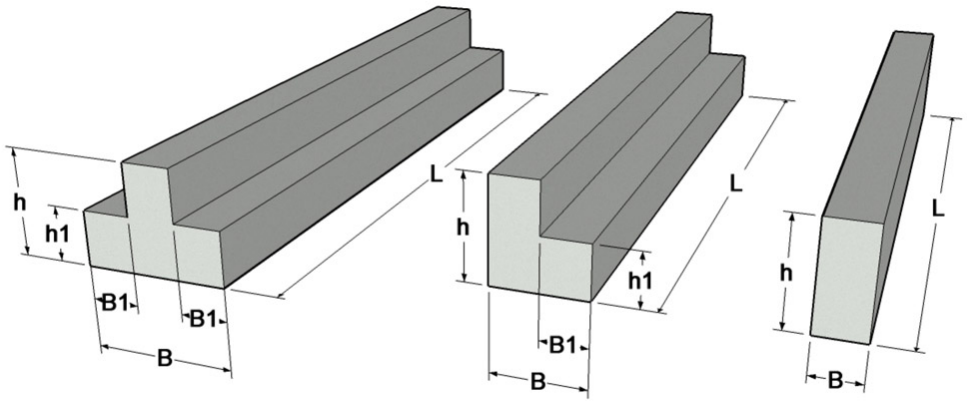
Prefabrike BA kiriş çeşitleri, daha önce de belirtildiği gibi tek doğrultuda yük aktaran çubuk taşıyıcı sistemler kapsamında incelenmektedir. Konu kapsamında ele alınan sistemler, 10 m -25 m açıklığı geçebilecek kolon-kiriş sistemler, çerçeve sistemler, kemerler ve düzlem kafes kirişlerdir.

2.1.2.1 Prefabrike Betonarme Kolon-Kiriş Sistemler

Prefabrike kolon ve kiriş elemanların, belirli bir düzen içinde bir araya gelmesiyle oluşan sistemler çubuk taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerdeki en basit çözüm, paralel başlıklı bir ana kirişin, temellere ankastre kolonlara oturtulmasıdır. Dolu gövdeli kirişlere sahip sistemlerde taşıyıcı sistem bileşenleri, ana ve tali kirişler ve kolonlardır [9]. Üretim, montaj yöntemi, geçilen açıklık, öngerilme yapımı, kalıp, tesisat bağlantılarına ve kullanılacak aşık tipine bağlı olarak betonarme kirişlerin kesit ve biçimlerini genel olarak iki grupta inceleyebiliriz; (i) paralel başlıklı ve (ii) üst başlığı eğimli (trapez) kirişler. Paralel başlıklı kirişler kolonlara düz veya açılı

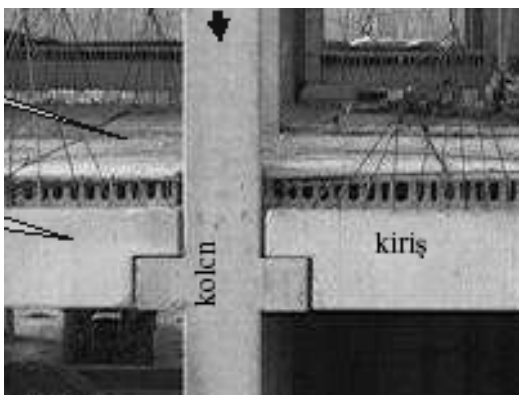
olarak yerleştirilmektedir. Normal donatılı olarak en çok 15 m sisteme hafiflik ve malzeme tasarrufu sağlayan ön gerilmeli ya da ard-gerilmeli olarak 30 m açıklık geçebilmektedir [33]. Paralel başlıklı kirişler, dikdörtgen kesitli, malzemenin en ekonomik biçimde kullanıldığı T, L ve I kesitli olarak üretilir (Şekil 2.10).

Kirişlerin içine konulan çelik donatılar baş ve sonlarından ankraj edilerek, kayma gerilmelerine karşı güçlendirilir (Şekil 2.11a). Kirişlerin, kolon, kiriş, döşeme gibi bir başka elemana bağlanabilmesi için, baş taraflarına ankraj çubukları ve çelik levhalar yerleştirilir (Şekil 2.11b). Kirişlerin döşemelerle birleştirilmeleri, üzerlerine bırakılan çelik donatılar yardımıyla olur [34]. "I" kirişler, mesnetlerde değişen ve değişmeyen kesitli olmak üzere iki tip kesite sahiptir. Bu tür kirişlerde alt başlığın ince kesitinden dolayı, karşılanamayan basınç gerilmeleri oluşabilir. Bunu önlemek için gövde aşağıya doğru kalınlaştırılmalıdır [9].

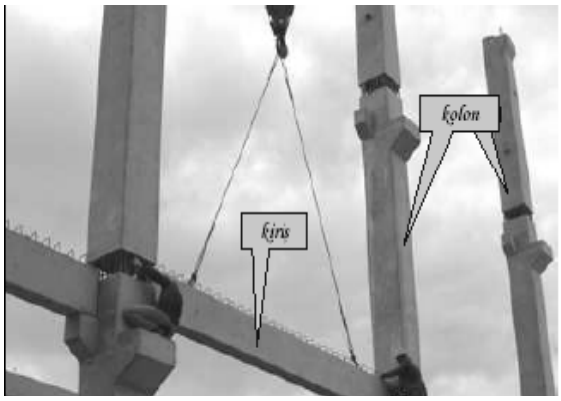


(a) T tipi (b) L tipi (c) I tipi

Şekil 2.10: Prefabrike BA T, L ve I Kesitli Kirişler

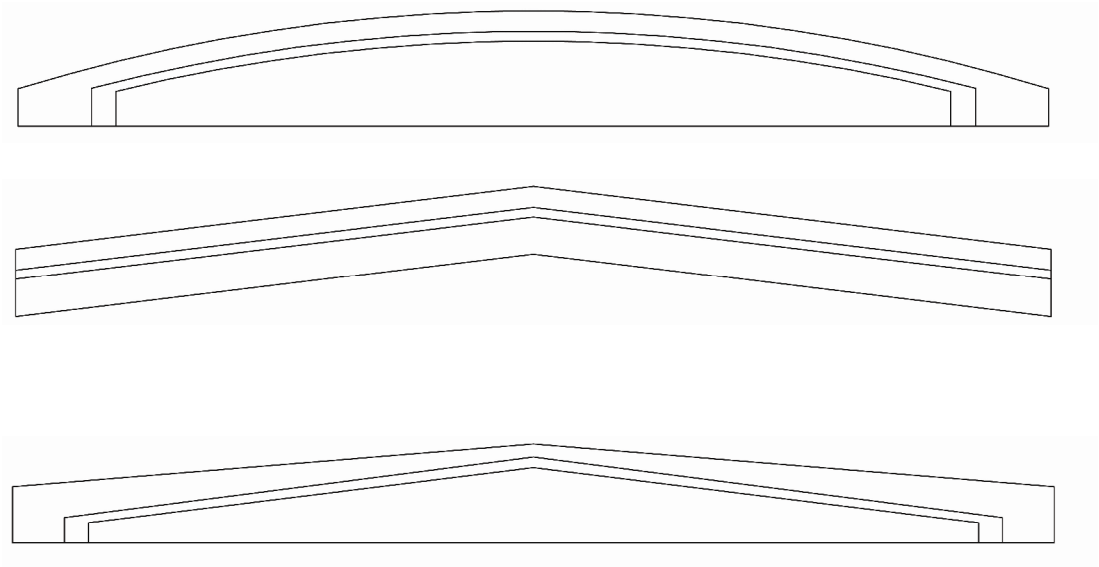


Şekil 2.11-a: Kolon kiriş birleşim



Şekil 2.11-b: Kolon kiriş birleşim

Üst başlığı eğimli (trapez) kirişler (Şekil 2.12), mesnetlere doğru eğim alan kirişlerdir. Bu kirişler, "T" ve "I" kesitli olarak üretilir ve başlık eğimleri çatı kaplama malzemelerine bağlı olarak %2-15 arasında, olabildiğince en azda tutulmaya çalışılır. Momentin fazla olduğu orta kısımda kesitin artması bir avantaj olmasına rağmen kiriş yüksekliğinin artması ağırlığını da arttırmaktadır.



Şekil 2.12: Üst başlığı eğimli betonarme kirişler

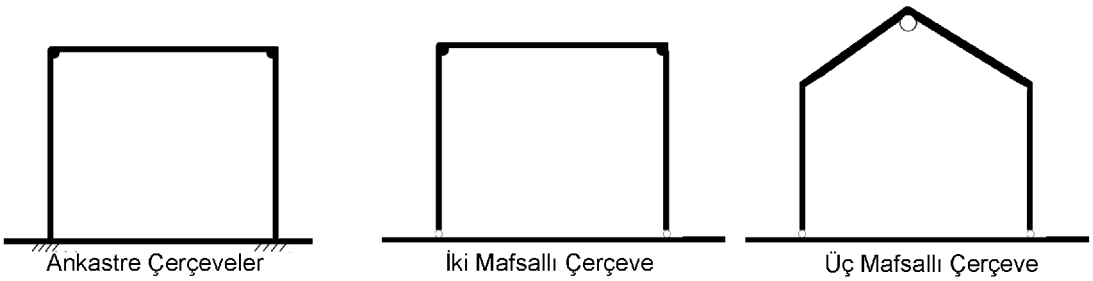
Aşıklı uygulamalarda, kiriş aralıkları 5 m - 8 m arasında tutulur. Genellikle, 6 m'lik aşık uzunlukları tercih edilir. 8 m - 10 m'den büyük kiriş aralıklarında ise, ince kesitli aşıklar deformasyona uğrayacağı için aşık kesitinin arttırılması, öngerme verilmesi veya kafes kiriş şeklindeki aşıkların uygulanması gerekmektedir; bu da sistemin maaliyetini büyük ölçüde arttırmaktadır.

2.1.2.2 Prefabrike Betonarme Çerçeve Sistemler

Tek doğrultuda yük aktaran ikinci prefabrike betonarme çubuk sistem ise BA çerçevelerdir. Betonarme çerçeveler, yeterince kuvvetlendirilmiş yüksek kaliteli betondan üretilmiş prefabrike taşıyıcı sistemlerdir. Yerinde yapımı, kalıp maliyeti yönünden ekonomik olmayan bu tip çerçevelerin kullanımı, düşük eğimli tek açıklıklı olarak sınırlansa da, çok gözlü veya çok katlı olarak da hafif çatı kaplamaları ve prefabrike BA aşıkları taşımak için tasarlanmaktadır [9]. Standart elemanlarla büyüyebilme olanağı sağlayan betonarme çerçeveler, yangına karşı dayanıklı, hızlı üretim, bakım kolaylığı ve kolayca sökülüp takılabilme gibi

avantajlara sahiptir. Bu sistemler, genellikle 4.5 m - 6 m aralıklarla en çok 24 m açıklık geçebilmektedir [35]. Prefabrike BA çerçeveler ankastre ve üç mafsallı olarak iki gruba ayrılırlar. Ankastre çerçeveler yatay kuvvetlerin fazla olduğu durumlarda veya açıklığın, yüksekliğe oranının bir veya biree yakın olduğu yapılarda çerçeve tek parça halinde döküldükten sonra temellere ankastre veya iki mafsallı olarak bağlantısı yapılabilir. Ancak bu kaldırma ve montaj işlemleri nedeniyle kısa açıklıklı yapılar için daha uygundur.

Üç mafsallı çerçeveler, çerçeve tek parça halinde dökülüp kaldırılamadığı zamanlar uygulanan çözüm yoludur. Bu tür sistemler, açıklığın yüksekliğe oranının bire yakın olduğu dik çatılı yapılarda kullanılır. Geçilebilecek açıklık 7.5 m ile 20 m arasındadır. Ancak 40 m'ye varan büyük açıklıklarda ise çerçeve dört bölüm halinde dökülür ve köşeler ard çekmeli öngerme sistemi ile rijit olarak bağlanır [36]. Şekil 2.13'de ankastre, iki ve üç mafsallı çerçeveler gösterilmektedir.



Şekil 2.13: Ankastre, iki ve üç mafsallı çerçeve sistemler

2.1.2.3 Prefabrike Betonarme Kemer Sistemler

Betonarme kemerlerin geleneksel yöntemlerle uygulanmasında kalıp, kalıp iskelesi kullanımı özellikle maliyeti arttırması ve yapım süresini uzatması nedeniyle, BA çerçeve sistemler gibi kemerler de prefabrike olarak üretilirler. Ancak imalat, nakliye, montaj açısından dolu gövdeli kirişlere göre çok daha pahalıya mal oldukları için öz ağırlığın önem kazandığı 30 m - 50 m'ye kadar olan geniş açıklıklı yapılarda sisteme daha uygun olduğundan tercih edilir. Kolonlara serbestçe oturan kemer kirişler mekân yüksekliğini arttırmamak, imalat, nakliye ve montajı kolaylaştırmak için, dairesel yassı kemerler şeklinde üretilirler. Kemer yayının yüksekliği, açıklığın 1/6-1/12'si arasında değişir. Açıklık 20 m - 25 m arasında, yay yüksekliği f= L/6-

L/10 olduğu zaman, tek parçada betonlanan, iki mafsallı gergili şekilde kullanılır. Açıklığın 20 m'den büyük olduğu durumlarda ise kemer iki ya da daha fazla bölümden oluşturulur. 50 m'ye kadar olan büyük açıklıklarda genellikle üç mafsallı kemerler kullanılmaktadır [9]. Kemer kirişlerin, mesnet noktalarında oluşabilecek açılmaları önlemek için kemer uçları çelik bir çubuk, çift yapılı "U"-"T" ve "L"kesitli çeşitli profiller veya öngermeli beton gergi ile elmanlardaki genleşmeler de göz önünde bulundurularak birbirlerine bağlanırlar [36]. Bu tür kemer kirişler, küçük parçalı bir seri üretime olanak vermesine karşın hesaplama güçlüğü, hareketli montaj iskelesi, düğüm noktası fazlalığı ve buna bağlı olarak montaj süresinin uzun olması gibi dezavantajlara sahiptir.

2.1.2.4 Prefabrike Betonarme Düzlem Kafes Kiriş Sistemler

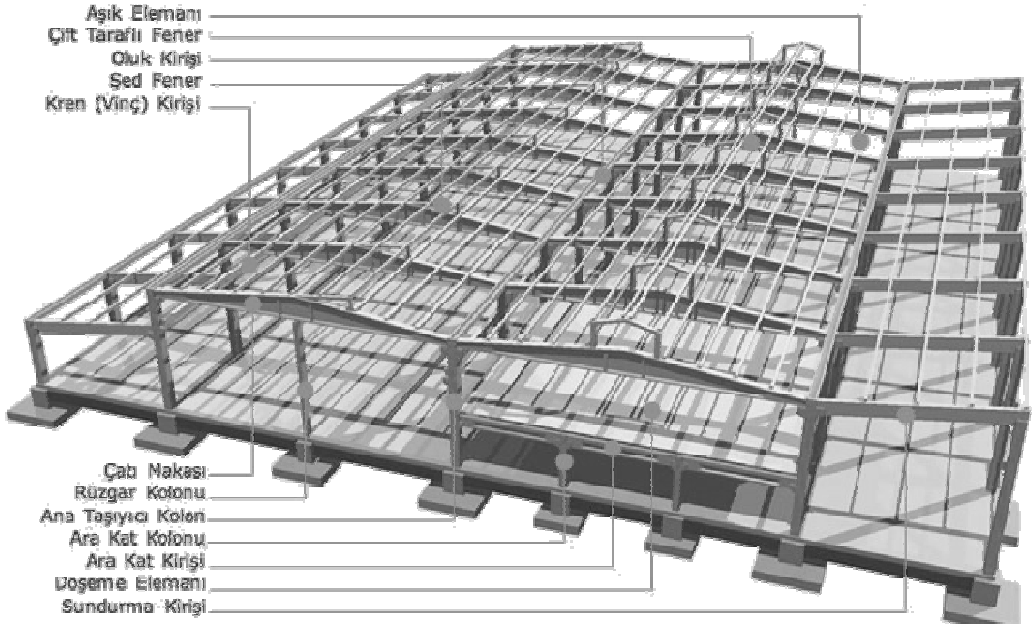
Düzlem kafes kiriş sistemler, aynı düzlem içinde birbirlerine uçlarından rijit bir çerçeve oluşturacak şekilde birleştirilen doğrusal çubuklar sistemidir. Düzlem kafes kirişler, üst ve alt başlık çubukları ile bunların arasında düzenlenen dikme ve diyagonallerden oluşur. Doğrusal çubukların birleşim noktalarına düğüm noktası adı verilir [12]. Üst başlıklarda eksenel basınç gerilmeleri, ara elemanlarda hem basınç hem çekme, alt başlılarda da çekme gerilmeleri görülür. Betonarme kafes kirişler, kalıp ve beton dökümü gibi güçlüklere sahip olmasına karşın diğer BA elemanlar gibi bakım gerektirmez ve yangına karşı dayanımı yüksektir. Paralel başlıklı BA kafes kirişler en çok uygulanan tipidir. Paralel başlıklı dışında üçgen başlıklı ve trapez kafes kirişlerde uygulanmaktadır. Birleşimler, kolonda bırakılan donatı filizlerinin kirişteki yuvalarına yerleştirilerek desteklenmesiyle gerçekleşir [34].

Bu çalışma kapsamında ele alınan prefabrike BA çubuk taşıyıcı sistemler arasında 10 m - 25 m arasındaki büyük açıklıklı prefabrike yapılar için en uygun olanları ön germeli ve ard-germeli paralel başlıklı ve üst başlığı eğimli (trapez) kiriş sistemlerdir. Kolon-kiriş sistemi diğer sistemlerden ayıran ve yaygın kullanıma sahip olmasının en belirgin özelliği büyük açıklıklı strüktürlerin yapımında yüksek dayanım, düşük maliyeti, hızlı üretimi ve montaj kolaylığıdır. Uygulamanın daha iyi tanınması için örnek olarak Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasının ürünleri incelenmiştir.

2.1.3 Prefabrike Betonarme Kiriş Örnekleri

Alacalı İnşaat ve Ticaret A.Ş. firmasının ön germeli olarak üretilen Alacalı Wing sistemi ve K.K sistemleri Türkiye Prefabrike Birliğine üye her firmanın kendi ismine göre değişiklik gösterdiği, fakat diğer özellikleri bakımından birbirine yakın standartlara sahip olduğu görülmüştür [23]. Bunun dışında bu firmanın 1999 yılında ülkemize Japon Kurosawa firması ile ar-ge ortaklığı paylaşarak oluşturduğu ard-germeli Ala-Sawa sistemler sadece bu firmada üretilmektedir. Benzeri ard- germeli sistemler yurt dışından ithal edilebilmektedir [19]. Üretim IS09001-2000 standartlarında gerçekleştirilmektedir.

Ana çerçevesi trapez formda "I" kesitli kirişlerin, kolonlara mafsallı olarak bağlanmasıyla oluşturulan bir prefabrike BA bina yapım sistemi olan K.K. sistemi, ağır proje yükleri olan, yüksek tonajlı kren taşıma kapasiteli binaların strüktürü için uygun bir sistemdir. Çatı eğimi standart % 12 olarak uygulanmaktadır. Proje yüklerine ve yapıda istenen açıklıklara bağlı olarak gerekli yapısal elemanlarda ön gerilme teknolojisi kullanılır. Büyük açıklığı 10 m - 30 m ve kiriş açıklığı 5 m - 10 m olabilmektedir. Buna karşılık ekonomik modülasyonu 20 m × 8 m'dir [19]. Şekil 2.14 K.K. sistemleri göstermektedir. Şekil 2.15 ve 2.16'da bu sistemle üretilmiş Türkiye'den bie örnek verilmiştir.



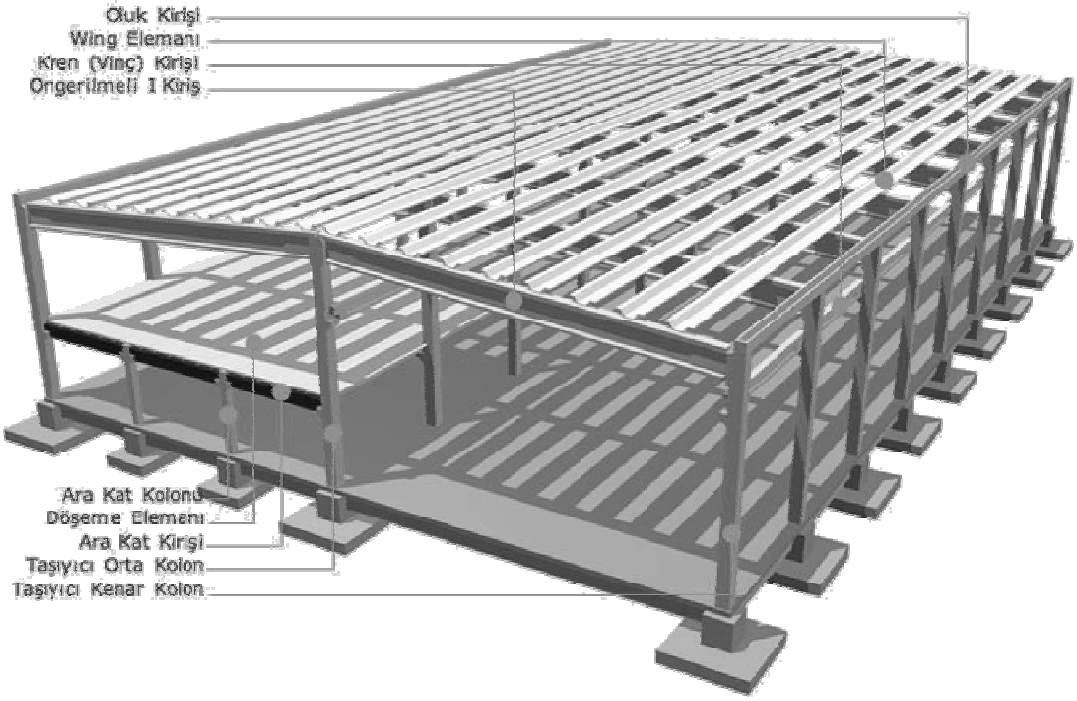
Şekil 2.14: K.K. Sistemi [19]





Şekil 2.15-2.16: Türkiye'den K.K. sistemle üretilmiş bir örnek Edip İplik Tekstil Kompleksi [19]

Büyük açıklıkta ve ekonomik modüler sistemlerin kurulmasına olanak tanıyan düz formda öngermeli "I" kesitli kirişlerin kolonlara mafsallı olarak bağlanmasıyla oluşturulan Alacalı Wing sistemi yeni bir prefabrike BA bina yapım sistemidir. İtalya'dan transfer edilen sistemde aşık görevi gören, kırık plak formundaki ön germeli "wing" elemanları özel olarak tasarlanmış olup, bu yapı elemanlarıyla çerçeve yönünde 15 metreye kadar açıklıklar geçilebilmektedir. Ekonomik modülasyonu 24 m. × 12 m.dir. Şekil 2.17 Wing sistemleri göstermektedir. Şekil 2.18 ve 2.19'da bu sistemle üretilmiş Türkiye'den bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.17: Wings sistemi [19]



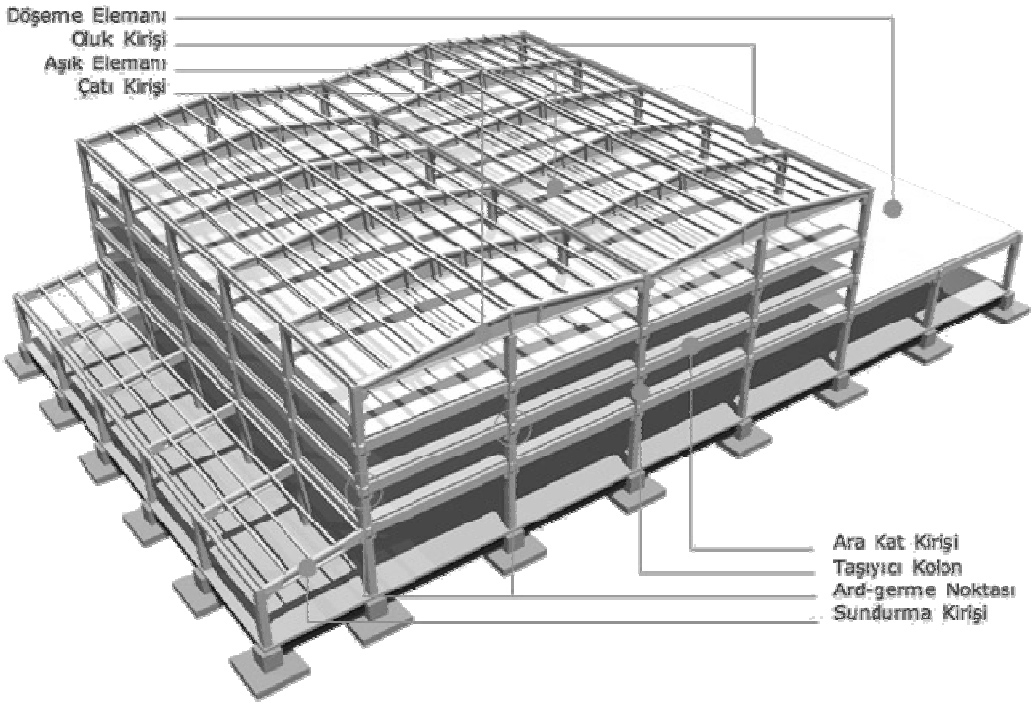

Şekil 2.18-2.19: Türkiye'den Wings sistemle üretilmiş Akın İplik Tekstil Kompleksi [19]

K.K. ve Wings sistemlerle tek katlı veya kısmi ara katlı (en fazla %25) büyük açıklıklı sistemlerde kullanılan kirişler C40 beton dayanım kalitesinde tasarlanmaktadır. İç mekan kullanımına ve açıklığa göre iki sistemden biri seçilebilmektedir. Yapı çok katlı olacağı zaman ard- germeli Ala-Sawa sistemler uygun görülmektedir.

Ala-Sawa sistemler bina taşıyıcı sistemini oluşturan ve çok yüksek kalitede (C50) beton kullanılarak fabrika şartlarında yüksek denetim altında üretilen taşıyıcı elemanlara, yerine montajı sonrasında kısmi ard-germe yapılarak birleşimlerini moment aktarıcı hale getiren ve rezerv olarak bırakılan germe kuvvetiyle deprem gibi yatay kuvvet etkilerini karşılayan prefabrike BA çok katlı bina yapım teknolojisidir. Eğer yapı konut gibi kat yüksekliği fazla olan bir yapı ise ekonomik modülasyonu 12 m. × 12 m.dir. Şekil 2.22 Ala-Sawa sistemleri göstermektedir. Şekil 2.20 ve 2.21 bu sistemle üretilmiş Türkiye'den bir örnektir.




Şekil 2.20-2.21: Türkiye'den Ala-Sawa sistemle üretilmiş Goldenkey Hotel, Bolu [19]



Şekil 2.22: Ala-Sawa Sistemi [19]

2.2 Geniş Açıklıklı Yapılarda Kullanılan Çelik Kirişler

Günümüzde ülkemiz tasarımcıları alışkanlıklarının da etkisinde kalarak seçim yapmakta ve daha çok deneyime ve bilgiye sahip olduklarını düşündükleri BA sisteme yönelmektedir. Türkiye'de 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinden sonra çelik taşıyıcı sistemin kullanımı gündeme gelmiş ve betonarmeye alternatif bir sistem olarak ülkemiz koşullarındaki kullanımı söz konusu olmuştur. Çelik üretiminde ülkemiz dünyada ön sıralarda yerini almasına rağmen, bu üretim potansiyeli inşaat sektörüne aynı düzeyde yansımamaktadır. 2002 yılına Türkiye dünya üretiminde 12. sırada yer almaktadır [37, 38].

Demir ve çelik çok eski tarihlerden beri bilinmekle beraber mühendislik yapılarında kullanılmaya başlanılması iki asırlık bir geçmişe dayanır. Halbuki kagir ve ahşap köprüler M.Ö.500 yılında yapılmaya başlanmıştır. 18. yüzyılda İngiltere'de yüksek fırınlarda font ve ham demirin bol miktarda üretilmesinden sonra, demir köprülerde kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra tekniğin ilerlemesine paralel olarak dövme çelik ve son olarak ta dökme çelik yapılarda kullanıla gelmiştir. İlk uygulamalarda font kullanılmış, malzemenin özelliği (basınç mukavemeti fazla, çekme mukavemeti düşük) nedeniyle kemer sistemler yapılabilmiştir. Bunlardan ilk uygulama olan

1779'da İngiltere'de 31 m. açıklığında kemer tarzında yapılan Coalbrookdale Köprüsü hala kullanılmaktadır [39]. Önceleri sadece köprü inşaatlarında kullanılan çelik zamanla hal yapıları, uçak hangarları, spor halleri vs. yapımında da kullanılmıştır. Mukavemeti 200 kg/mm²'yi bulan çelik üretiminin sağlanması ve elektrik ark kaynağının incelenerek yaygın halde kullanılmaya başlanması bugünkü modern çelik konstrüksiyon tarzını ortaya çıkarmıştır [39].

Çalışma kapsamında, Türkiye'de üretilen ve mimari sektörde yaygın olarak kullanılan çelik malzeme incelenecektir.

2.2.1 Çelik Kiriş Üretimi

Ham çelik üretimi dünya genelinde 2007 yılında 28.4 milyon tonluk üretimin yüzde 34.7'si Avrupa'da, yüzde 9.8'i Amerika'da ve yüzde 55.5'i ise Asya'da gerçekleşmiştir [40]. Uluslararası Demir Çelik Enstitüsünün verilerine göre 2006 yılında toplam 23.3 milyon ton ham çelik üretimiyle Türkiye'nin, dünyada 11'inci ülke konumunda olduğu görülmektedir [40]. Dünyada çelik; entegre demir çelik tesislerinde ya da yarı entegre demir çelik tesislerinde (ark ocaklarında) yapılabilmektedir. Çelik malzeme, yapısında başta Demir (Fe) olmak üzere, %0.16-0.30 oranında Karbon (C) bulunan bir alaşımdır ve ark ocaklarında üretilmektedir. Karbon, çeliğin sertliğini ve dayanımını arttırır. Ancak, çekme dayanımını azaltıp kırılganlığının artmasına da neden olur [41].

Betonarmeye dayalı bir yapı sektörüne sahip Türkiye'de, çeliğin inşaat sektöründeki toplam payı %5 seviyelerinde kalmaktadır. Çoğunlukla üretilen kaliteli çelik ya altyapı projeleri ve endüstriyel yapılar için kullanılmakta ya da yurtdışına satılmaktadır [42]. Çeliğin Türkiye'deki üretimi ve teknolojik gelişmelerin bu sektör üzerindeki etkileri aşağıda açıklanmıştır. Türkiye'de ilk entegre demir çelik tesisi Karabük Demir Çelik Fabrikaları (KARDEMİR) adıyla, 1937 yılında işletmeye açılmıştır. İkinci entegre tesisi olan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR), Türkiye'nin yassı ürün talebini karşılamak için, 1965 yılında üretime başlamıştır. 1977 yılında, uzun ürün ve yarı mamul talebini karşılayabilmek amacıyla, Türkiye'nin üçüncü entegre tesisi, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İSDEMİR) işletmeye açılmıştır [43]. Karabük Demir Çelik Fabrikaları ve İskenderun Demir Çelik Fabrikaları yüksek fırın, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları basit oksijen fırını teknolojilerini kullanarak üretim yapmaktadırlar. Ayrıca, bu üç entegre tesisin yanı

sıra 15 adet küçük tesiste çelik üretimi yapılmaktadır. Bu tesisler ise üretimde Elektrik Ark Fırını teknolojisinden yararlanmaktadır. Türk demir çelik sektörü, üretim yönetimi açısından, 2006 yılında toplam üretimin % 65'i elektrik ark ocaklı tesisler tarafından, geriye kalan % 35'i ise entegre tesisler tarafından gerçekleştirilmiştir [44].

Ülkelerde kullanılan üretim teknolojileri bakımından inceleme yapıldığında, Türkiye ve Avrupa ülkeleri arasında çok ta büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Hem Türkiye'de hem de Avrupa ülkelerinde çelik üretiminde kullanılan teknolojiler aynıdır. Bu anlamda bütün ülkeler teknolojik gelişmeleri takip etmekte ve tesislerini yenilemektedirler. Demir çelik endüstrilerinin kurulduğu zaman kullanılan Bessemer fırınları bütün ülkelerde yerini Elektrik Ark Fırını ve Basit Oksijen Fırını'na bırakmıştır. Uluslararası demir-çelik enstitüsünün verilerine göre 1997 dünya çelik üretiminin %26,9 unu Avrupa ülkeleri üretmiştir. Bu dönem içerisinde Türkiye'nin dünya çelik üretimindeki payı %1,82'dir [43].

Ülkemizde çelik kiriş üretiminde, %60-70 oranında ithal ya da yerli çelik hurdaları kullanılır [40]. Tez çalışması kapsamında üretim tesislerine gidilmiş olan, üretiminde %100 çelik hurdası kullanan Kroman Çelik Sanayi A.Ş.'nin üretimi örnek olarak verilmiştir. Fabrikaya gelen yerli ve yabancı hurdalar istenilen standarda uygun olarak hazırlanıp, hurda sepetlerine doldurulur. Dolu sepetler belirli ağırlık sırasına göre elektrik ark ocağına şarj edilir. Elektrik ark ocağına şarj edilen sepetlerdeki hurdalar ocağa alınarak ergitilir. Ergime tamamlandığında sıvı metal, ark ocağından argon-oksijen karbon düşürme kabına alınır. Karbon miktarı düşürülür. Elektrik ocağında döküme hazır hale gelen sıvı çelik potaya alınır ve pota ocağına nakledilir. Pota ocağına sevk edilen sıvı çeliğin ilk bir numunesi alınarak, laboratuvarda spektro testi yapılır. Bu test ile sıvı çeliğin içerdiği alaşım yüzdeleri ölçüldükten sonra gerekli katkı maddeleri eklenir. İmal edilecek çelik sıcaklık ayarlaması yapıldıktan sonra pota sürekli döküm tesislerine sevk edilir. Sürekli döküm makineleri kapasitesine bağlı olarak belirli boyutlarda kütük üretimi yapılmaktadır. Buradan kütükler, elde edilmek istenen kiriş türüne göre soğuk ya da sıcak haddelenmek üzere ayrılırlar. Sıcak haddeleme, hızlı yeniden kristalleşme ve füzyonun başlangıç noktaları arasındaki sıcaklıkta haddeleme anlamına gelir [40]. Sıcak haddelenme işlemi ile üretilen kütükler, sıcak besleme olarak kangal haddehane tav fırınlarına

şarj edilir. Uygulanan sıcaklık aralığı, çeliğin bileşimi gibi değişik faktörlere bağlıdır. Kural olarak, sıcak haddelemede son çalışma sıcaklığı yaklaşık 900 Cº' dir. Sıcak haddeleme ile ısıtılan kütükler, borular veya değişik şekillerdeki kesitler üretilmek üzere kalıptan geçirilir. Sıcak kalıpta özel aletler kullanılarak metallerden kesilmiş taslakların kalıplarda sıcak olarak şekillendirilmesi ve bu yolla biçim veya kesit elde edilmesi ile son bulur. Profil haddehanesi olarak da nitelendirilen bu yerde fabrikanın kapasitesine göre profiller üretilmektedir. Kroman Çelik AŞ'de genel olarak, NPI 80-160, NPU 100-160, 90 ve 120 mm eşkenar köşebentler imal edilmektedir [40, 45].

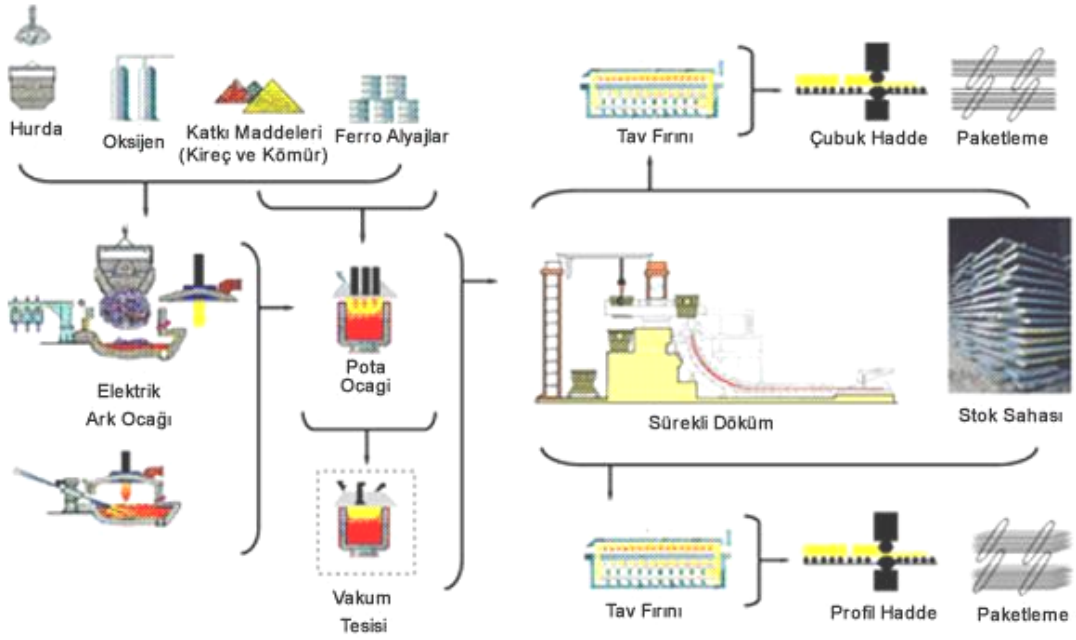
Soğuk haddeleme, çevre ısısında gerçekleştirilir. Soğuk kalıpta dövme ve kalıpta ıstampalama yöntemi de sıcak haddelenmede olduğu gibi, soğuk yöntemle metalden kesit veya şekiller elde edilmesini sağlar. Soğuk işlenmiş ürünlerin, sıcak çekim ve sıcak haddeleme ürünlerinden belli başlı farkları, soğuk işlenmiş ürünlerin sıcak işlemle elde edilen ürünlere göre daha düzgün bir görünümü olması ve soğuk çalışılmış ürünlerin yüzeyinde pullanma olmamasıdır. Ayrıca soğuk işlenmiş ürünlerde boyutsal toleranslar daha küçüktür. İnce yassı ürünler (ince geniş saclar, levhalar, plakalar ve şeritler) genellikle soğuk indirgeme yöntemiyle üretilir. Soğuk işlenmiş ürünlerin mikroskopik incelenmesinde işleme yönüne paralel olarak tane diziliş durumu ve tanelerin deformasyonları göze çarpar, bunun aksine sıcak haddelenmiş ürünlerde tane düzeni yeniden kristalleşme nedeniyle oldukça düzgün görünümdedir [40].

Tez konusu kapsamında genel olarak 10-25 metre kullanımı yoğun olan profilli kirişler ele alınacağı için bu bölümde sıcak haddelenmiş üretim örnek alınmaktadır. Soğuk haddelenme işlemi genel olarak 30 metre üzeri büyük açıklıklarda, özel projelerde ya da özel kesitli profiller elde edilmek istendiği zaman seçilir, ekonomik maliyeti sıcak haddeleme işlemi ürünlerinden çok yüksektir [40]. Strüktürel çelik kiriş üretimi Şekil 2.23'de görülmektedir.

Günümüzde kullanım süresini doldurmuş çeliklerin %60'ı geri dönüştürülebilmektedir. Bunun dışında çelik üretimi sırasında, üretime % 20 geri dönüştürülen hurdalar, % 20 üretim sırasında oluşan hurdalar ve % 40 yeni hammaddeler kullanılmaktadır [40].

2.2.2 Çelik Kiriş Çeşitleri

Çelik kirişler çalışma kapsamında daha gerçekçi karşılaştırma yapabilmek amacıyla, prefabrike BA kiriş sistemler gibi tek doğrultuda yük aktaran çubuk sistemler sınıfında incelenmiştir. Çubuk çelik kiriş sistemler; (i) kolon-kiriş sistemler, (ii) çerçeve sistemler, (iii) kemerler ve (iv) düzlem kafes kirişler olmak üzere kendi aralarında 4 gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.23: Strüktürel çelik kiriş üretimi [42]

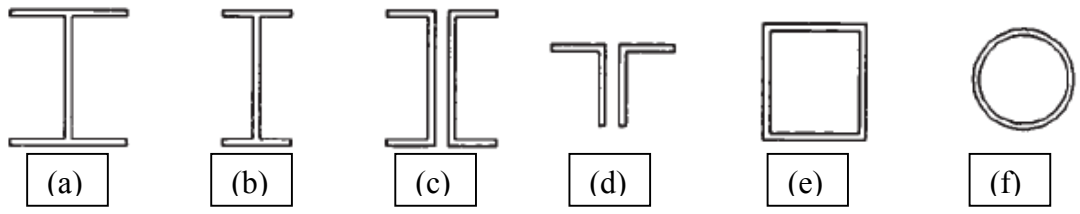
2.2.2.1 Çelik Kolon- Kiriş Sistemler

Yapısal çeliklerin, yapıda düşey taşıyıcı olarak kullanılan kesitleri, "I, kutu ve U" profilleridir. Eksenel olarak, kolon üzerine gelen yükleri en uygun biçimde zemine aktaran profil, paralel flanş yüzeyli geniş I-profilidir [46]. Büyük açıklıklı yapılarda kullanılan, yatay taşıyıcı elemanlar I-profiller, boşluklu, petek kirişler veya makas kirişler olarak karşımıza çıkmaktadır. I- kesitli kirişlerin, kolon ile olan birleşimleri kaynak ve bulonlar ile olmaktadır. Taşıyıcılar birbirine köşebent veya çelik plakalarla sabitlenir.

Bu tür dolu gövdeli çelik kirişler, hadde ürünü profiller, levhalı yapma enkesitler ya da profil ve levhalarla oluşturulmuş bileşik enkesitlerle düzenlenir. Hadde ürünü dolu gövdeli kirişler genellikle geniş I profillerle yapılır. Bu profillerin başlıklarında

malzeme yoğunluğu olduğu için basit eğilme etkisindeki kirişler için uygun bir kesittir. U ya da köşebent gibi simetrik olmayan profillerle düzenlenecek kirişlerde eğilme momentleri ile birlikte burulma momentleri de oluşacağından bu kirişler fazla yüklü olmamalıdır. Kirişin taşıdığı yük bakımından hadde ürünü profilin yeterli olmadığı durumlarda, kiriş yüksekliği sınırlı ise ya da tüm kiriş yüksekliğinin arttırılması ekonomik olmayacaksa, momentin büyük olduğu kısımlarda kiriş levhalarla takviye edilebilir. Levhalı yapma enkesitli kirişler hazır profil ve takviyeli profil enkesitlerinin yetmediği büyük açıklıkların geçileceği durumlarda kullanılır. Genellikle kiriş iki başlık levhasının tek gövde levhasına eklenmesiyle oluşturulur. Levhalı yapma enkesitli kiriş yüksekliği arttıkça gövde levhası kalın yapılmalı ya da ince yapılacaksa, gövdenin karşıladığı kesme kuvvetlerinin gövdede burkulmaya yol açmaması için gövde düşey ya da yatay levhalarla berkitilmelidir. Berkilme levhaları kirişi ağırlaştırır. Kutu kesitler, iki başlık levhasına iki gövde levhası kaynaklanarak oluşturulur. Bunların berkitilmesi içten diyafram levhalarıyla yapılır [46]. Dolu gövdeli kiriş çeşitleri Şekil 2.24'te gösterilmiştir ve ekonomik maksimum açıklığı 35 metre olarak gösterilmektedir [40, 45].

Açıklıklar büyüdükçe çelik kirişlerin dolu gövdeli düzenlenmesi kiriş yüksekliğini ve ağırlığı arttıracağı için ekonomik olmaz. Kiriş gövdesini boşluklu düzenlemek kirişi hafifletir. Petek (Castella) kirişler, boru profiller, kutu profiller, raylar, "Z" profiller özel üretilmiş hadde ürünü profillerdir. Bu tür kirişlerde, I profilin gövdesi boyunca zig-zaglı olarak kesilmesiyle elde edilen iki parçanın kaydırılıp uç bölgelerinden istenildiğinde ek parça kullanılarak kaynakla yeniden birleştirilmesi sonucu boşluklu gövdeli kesitler şeklinde oluşturulmaktadır. Bu şekilde oluşturulan kirişler ile daha çok düzgün yayılı yüklerin taşınmasına olanak sağlanmaktadır (Şekil 2.25, 2.26).



Şekil 2.24: Dolu gövdeli çelik kiriş çeşitleri (H, I, U, köşebent, kutu, boru profiller)





Şekil 2.25-2.26: Boşluklu kiriş örnekleri- Dairesel kesim, petek (Castella) kesim

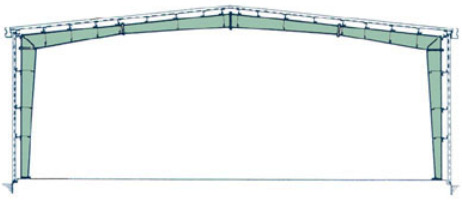
Castella kirişi normal kiriş yüksekliğinin 1.5 katı yüksekliğe sahip ve yükler altındaki deformasyonu daha azdır [47]. Hafif ağırlıktaki döşemeler ile büyük açıklıkların geçildiği çatılarda kullanılabilecek uygun ve ekonomik bir sistemdir. Ayrıca eğilmeye çalışan bu kirişlerdeki boşluklar elektrik ve iklimlendirme tesisat borularının da geçirilmesine olananak verdiği için tercih nedenidir.

2.2.2.2 Çelik Çerçeve Sistemler

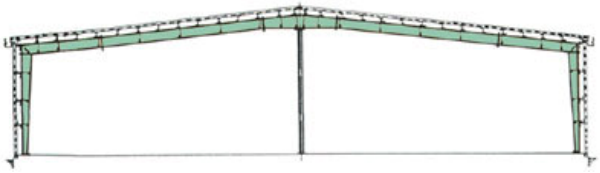
Çerçevelerde dirseklerin formu değiştikçe, gerilmelerin yoğunluğu ve izlediği yollar değişir. Çoğu zaman kesitlerin ağırlık merkezi, asal ekseni ile uymayabilir. Açının 90°'den az olduğu dış köşeler her zaman gerilmelerin etkisi altındadır. Keskin bir iç köşe etrafında yoğunlaşmış küçük alanda, basınç gerilmeleri karşı gelmektedir. Çekme gerilmeleri, dışta daha büyük bir alana sahiptir, köşelerde kesme eğilimindedir. Dirsek düzenlemeleri, kesme kuralları ve çeşitli ihtiyaçlara uyumlu birkaç tiple sınırlandırılabilir [48]. Kaynaklı çerçeve tasarımlarında, en ekonomik düzenlemeyi elde etmek için bileşenlerdeki kaynak işlemini sınırlandırmak gerekmektedir. Bu, çerçeve tipi seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli ölçüttür. Daha büyük açıklıkları geçmek için tepe noktasına doğru profil kesitleri azaltılarak, daha küçük momentler elde edilir. Farklı kesit yüksekliğindeki elemanların birleşiminde ise alt veya üst flanşlardan üçgen parçalar kesilerek çıkarılır ve ara plaka ile kaynaklanır [48].

Kesme, istenilen forma eğme, yerleştirme ve kaynaklama bütün çelik çerçevelerde uygulanan işlemlerdir. Genelde, kaynaklı köşeli çerçeveler daha rijit, basit üretimli ve düşük maliyetlidir. Çerçeve tipi seçiminde sadece kaynak işemi değil köşelerin şekli, boyutu ve bileşenlerin düzenlenmesi de önemlidir [48].

Çerçeve sistemler, büyük açıklık olarak 36-60 m arasında geçebilmektedir ve U, I profillerinin ve kafes aşıklarının kullanılmasıyla 8-12 m. aralıklarla uygulanır. Şekil 2.27'de büyük açıklıklı sistemlerde kullanılan tek, 2, 3 ve 4 açıklıklı rijit çerçeve sistemleri gösterilmektedir.



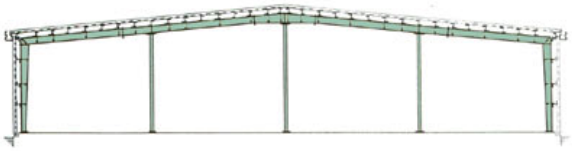
Şekil 2.27 a: Tek açıklıklı rijit çerçeve



Şekil 2.27 b: 2 açıklıklı rijit çerçeve



Şekil 2.27 c: 3 açıklıklı rijit çerçeve



Şekil 2.27 d: 4 açıklıklı rijit çerçeve

2.2.2.3 Çelik Kemer Sistemler

Kemerler, geniş açıklıkları örtmek için kullanılan en eski taşıyıcı sistemdir. Ancak kemerlerin bitmiş formları ve ölü mekânları nedeniyle kullanımları sınırlı olmakla birlikte kemerin çelik kafes sistemle oluşturulması oldukça ekonomik bir sistemdir. Çelik kemerler iki ya da üç mafsallı olarak yapılabilir.

2.2.2.4 Çelik Düzlem Kafes Sistemler

Kafes sistemler özellikle büyük açıklıklı yapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılırken, çatılarda da sürekli olarak kullanılmaktadır. Ayrıca enerji nakil hattı direklerinde, mikro dalga antenlerinde v.s. kullanılmaktadır [47]. Doğru eksenli çubukların birbirine mafsallı olarak birleşmesinden oluşan taşıyıcı sistemlere "kafes kirişler" adı verilir. Kafes sistemlerde çubukların mafsallı olarak birbirlerine birleştikleri noktalara düğüm noktaları denir. Yükler kafes gövdeli kirişlerin düğüm noktalarına etkitildiğinde, sistemi oluşturan çubuklar sadece çekme ve basınca çalışacağından ince enkesitlerle büyük açıklıklar geçilebilir. Çelik düzlem kafeslerin yükseklikleri, açıklığın 1/12- 1/16'sı kadar alınır [46].

Kirişlerin birbirileriyle ya da bağ kirişleri ile birleşimi mafsallı ya da ankastre yapılır. Eğilmeye çalışan bir kiriş enkesiti düzenlenirken kiriş gövdesinin kesme kuvvetlerini kiriş başlıklarının da eğilme momentlerini karşıladığı kabul edilir. Bu nedenle kiriş-kiriş birleşiminin gövdeden yapılması sadece kesme kuvvetlerinin aktarıldığı mafsallı birleşimi sağlar. Ankastre birleşimde kiriş başlıklarında da süreklilik sağlanmalıdır [49].

Düzlem kafes sistemler şekillerine göre; kafes kirişler, kafes kemer ve kafes çerçeveler şeklinde sınıflandırılır. Bunların yükseklikleri sabit veya değişken olabilir. Çelik düzlem kafes kirişlerin 30 m' den büyük açıklıklar için kullanılması ekonomiktir [40, 45].

Çalışmada çelik çubuk taşıyıcı sistemler ile ahşap ve prefabrike BA kirişlerin karşılaştırılabilmesi amacıyla NPI profilli kolon kiriş sistemi ele alınacaktır. Çelik ile diğer malzemeler ile üretilen sistemlerden daha büyük açıklıklar geçilebilmesine rağmen, uygulanan sistem seçilirken minimum ve maksimum açıklık geçebilme oranları göz önünde bulundurulması ekonomik açıdan uygun olur. NPI profilli çelik kolon kiriş sisteminin konu kapsamında diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırılmasının diğer bir nedeni de 10-25 metre açıklıklı uygulanan yapı strüktürlerinde kullanımının uygun ve yaygın olmasıdır.

2.1.3 Çelik Kiriş Örnekleri

Çalışma kapsamında ziyaret edilen Protechnic Çelik Yapı Sistemleri Ltd., çelik yapılar, uzay kafes çatı ve kaplamaları üzerine imalat ve montaj hizmeti veren bir firmadır. Bina, stadyum, spor salonları, havuz, alışveriş merkezleri, üst- geçitler, benzin istasyonları, vb. gibi mekânların uzay çatı sistemleri üzerinde yoğun olarak faaliyet göstermektedir [45]. Şekil 2.28-2.29'da bu firmadan bazı uygulama örnekleri görülmektedir. Firma, genel olarak uygulanan standart sistemleri dışında özgün sistem kullanmamaktadır. Şekil 2.30-2.31'de firmanın uzay kafes sistemi ile üretilmiş örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.28: Um Deniz A.Ş. [45]



Şekil 2.29: Özay Isıtma [45]





Şekil 2.30: Tulya Kurtalan Spor Kulübü [45] **Şekil 2.31:** Ortaklar Otomotiv [45]

Çelik profillerin üretiminin izlenmesi için Kroman Çelik Sanayi AŞ'ye fabrika gezisi yapılmıştır. 1996'dan beri faaliyette olan fabrika, Gebze Osmangazi mevkiinde 300.000 m^2 toplam arazi üzerine 60.000 m^2'lik kapalı tesislerde üretim yapmaktadır. Kroman Çelik Sanayi A.Ş. 90 MVA gücünde 100 ton DC ve 36 MVA gücünde 50 ton kapasiteli 2 adet elektrik ark ocağı, 15 MVA gücündeki 90 ton kapasiteli pota ocağı ve iki adet altı yollu sürekli döküm makinesi ile üretim yapmakta olup toplam yıllık kapasitesi 1.100.000 tonu bulmaktadır. Şekil 2.32-2.37'de Kroman Çelik Sanayi AŞ fabrikasının üretim tesisleri görülmektedir. Çelik üretimi ISO9001-2000 ulusal standartlarındadır.

Ülkemizde kullanımı son yıllarda yaygınlaşan tutkallı tabakalanmış ahşap kiriş sistemler hakkında pek fazla bilgi bulunmaması ve ayrıca ahşabın doğal yapısal performansına ilişkin önyargıların, strüktürel malzeme olan ahşapta da geçerli olması nedeniyle kullanımına sıcak bakılmamaktadır. Bu nedenle tutkallı tabakalanmış ahşap sistemler ile ilgili geniş bilgiye TTA kiriş sistemler başlığıyla ayrı bir bölümde yer verilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 2.32: Tesislere genel bakış [40]



Şekil 2.33: Metal Eritme [40]



Şekil 2.34: Basınç Kabinleri [40]



Şekil 2.35: Profil Üretim [40]



Şekil 2.36: Kontrol Odası [40]



Şekil 2.37: Sıcak Haddeleme [40]

3. TUTKALLI TABAKALANMIŞ AHŞAP KİRİŞLER

Ahşap, sürdürülebilir ve kolay temin edilebilir bir ürün olması bakımından, asırlardır kullanılan en yaygın doğal yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde, gelişen üretim teknolojileri ile tasarım gereksinimlerini daha iyi şekilde karşılayacak yeni işlenmiş ahşap ürünler üretilmeye başlanmıştır. Bu ürünler strüktürel uygulamalar için hazırlanmaktadır ve ahşap bileşikler olarak da adlandırılır; Yapımsal Kontrplak, Yonga Levha (OSB), Tutkallı Tabakalanmış Ahşap (Glulam- TTA), Kaplama Tabakalı Kereste (LVL), vb. [50].

Ahşap organik bir malzemedir ve boyuna liflerden oluşan hücresel bir yapıya sahiptir. Her ne kadar işlenmiş ahşap ürünlerde ahşabın lifleri istenilen özelliğe göre dünzenlenebilse de, ahşabın temel karakteristik özellikleri son üründe de sabittir. Bu temel karakter özelliği ağacın türüne, yetişme şartlarına ve ağacın kalitesine bağlıdır [51].

Tutkallı tabakalanmış ahşap (TTA) elemanlar, masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için, uç uca yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Kavisli elemanlarda ortalama 2.50 cm (1 inç) kalınlıktaki keresteler kullanılırken, az kavisli ya da düz elemanlar için nominal 5.00 cm (2 inç) kalınlıktaki keresteler kullanılmaktadır. TTA, yatay, dikey ve eğimli elemanlar olarak tasarlanarak, konutlarda ve diğer yapılarda yüksek yük taşıyıcı yapısal elemanlar olarak kullanılır. TTA'yı oluşturan katlardaki elamanların lif yönlerinin birbirine paralel olarak düzenlenmesi daha yaygındır. Eğimli elemanlarda ise lif yönlerinin paralel olarak düzenlenmesi bir zorunluluktur. Bu konuyla ilgili son gelişmelerden biri de liflerin plastikle takviye edilmesidir. Bu yenilikle TTA elemanlarda enine kesitte daha fazla miktarda düşük kalitede ahşap eleman kullanarak yüksek dirençli ve sert bir eleman elde etmek mümkün olmuştur [52].

Strüktürel amaçlı kullanılan tutkallı tabakalanmış ahşap, uygun standartlarda seçimi, düzenlemesi ve ön hazırlığı yapılan ahşap tabakaların uygun bağlayıcılarla birbirine

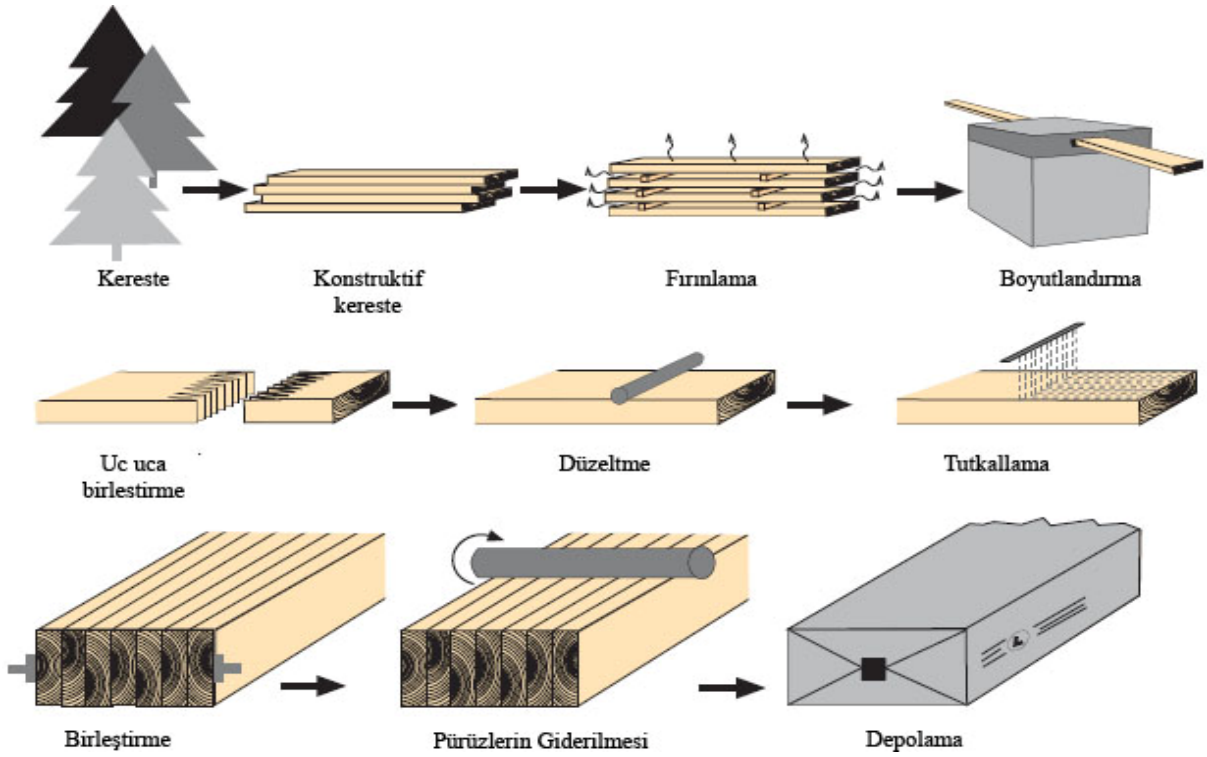
bağlanmasıyla elde edilen, basınç mukavemet dereceleri hesaplanmış birleşik ürünlerdir [6]. Tüm tabakaların lif yönleri uzunlamasına yönde paralel olmaktadır. Tekil tabakalar kereste kalınlığındadır. Tabakalaşmalar, uç uca eklenen ve uzun boylar yaratan parçalardan, üst üste tutkallanıp geniş kesitler yaratan parçalardan ya da tutkallama sırasında eğrisel biçim elde etmek üzere bükülen parçalardan oluşmaktadır.

Bu teknoloji ilk kez, Avrupa'da 1893 yılında, İsviçre'de bir oditoryum yapısının çatı kemerlerinin üretiminde, kazein tip bağlayıcılar kullanılarak uygulanmaya başlanmıştır [6]. 1.Dünya savaşı süresince kazein bağlayıcılardaki ilerlemeler, önce uçakların strüktürel elemanlarının üretiminde daha sonra da binaların çerçeve elemanlarının üretiminde tabakalanmış ahşabın kullanımını yaygınlaşmıştır. 2. Dünya Savaşı yıllarında daha dayanıklı sentetik reçineli bağlayıcıların geliştirilmesiyle, tabakalanmış ahşap elemanların köprüler, kamyon kasaları ve deniz araçları gibi yüksek derecede aşındırıcı etkileri olan hizmet koşullarına direnç gereksinmesi olan alanlarda kullanımı giderek artmıştır [53]. Günümüzde, sentetik reçineli bağlayıcılar, özellikle fenol/reçine bazlı (resorcinol) ve melamin tipleri yapısal tabakalı ahşabın ana bağlayıcılarıdır.

Genellikle, TTA elemanlar dikdörtgen kesitlidir. Mesnetler arasında düz veya eğrisel olabilirler. Düz kirişler, yataylamasına tabakalanmış olarak (yükün tabakanın geniş yüzüne bastığı) hesaplanıp üretilebileceği gibi, dikey tabakalar halinde de (yükün tabakaların geniş yüzlerine paralel olarak bastığı) hesaplanıp üretilebilir. Ancak en yaygın kullanılanlar yatay tabakalannmış tiplerdir. Eğrisel elemanlar, tutkallama sırasında tabakaların bükülmesine olanak sağlamasından dolayı yatay tabakalandırma yöntemiyle üretilir [53].

3.1 TTA'nın Üretimi

Tutkallı tabakalanmış ahşap ürünlerin üretimleri, hammaddenin seçilmesi ve strüktürel işlevine göre seçilmesiyle başlar. Tabakaların hazırlanması, uc uca birleştirilmesi ve tutkallanarak kalıplanması sonrasında bitiş işlemlerine tabii tutularak stoklanırlar. TTA'nın üretim şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: TTA üretim şeması [54]

Tutkallanmış tabakalı ahşap kiriş üretiminde ilk işlem hammadde seçimi ve sınıflandırılmasıdır. Masif ahşap malzemeli taşıyıcı sistemlerde olduğu gibi, TTA strüktürlerde de her ahşap cinsinin kullanılamayacağı açıktır. Ahşap, ağaç denilen bir bitki türünün gövdesinden elde edilen organik bir malzeme olup, dünyada onbinlerce değişik türü bulunmaktadır. Teknolojik olarak TTA strüktürlerde kullanılabilecek ağaç türlerinin seçiminde birtakım özellikler aranmaktadır. Bunların başında, ağaç gövdesini oluşturan çubuk hücrelerle bunların arasını dolduran selüloz maddesinin oluşturduğu lif sisteminin, bu lifler doğrultusundaki gerilme mukavemetinin belirli bir değerin altında olmaması gelmektedir. Bu değerin 10 N/mm^2 ile 100 N/mm^2 değerleri arasında olması istenmektedir [6, 10, 54]. Ülkemizde kerestenin mukavemet sınıfı, ya prEN 14081-1, prEN 14081-2'ye ya da prEN 14081-3'e uygun olmalıdır [55].

Bunun yanısıra, ağacın ekonomik kullanımının sağlanması için düzgün gövdeli, uzun, çabuk yetişen türler tercih edilmektedir. En yaygın kullanılan ağaç türleri; Douglas Çamı (Douglas Fir), Güney Çamı (Southern pine), Köknar Çamı (Spruce Pine) gibi daha çok çamgiller familyasına giren ağaçlar olup, bunların büyük bir kısmı ülkemiz dâhil birçok ülkede yetişmemektedir. Dolayısıyla bu teknolojinin

malzeme temini açısından birçok ülkeyi dışa bağımlı kılması kaçınılmazdır [56]. Yeni kıtada ABD ve Kanada, Avrupa'da ise Avusturya, Kuzey ülkeleri ve Rusya en büyük üretici ülkelerin başında gelmektedir. Diğer yandan 1989 yılında Fransanın Avrupa'da bir numaralı TTA üreticisi olduğu ve Norveç, İsveç, Danimarka ve Finlandiya'da da TTA'nın yoğun bir şekilde üretildiği bildirilmektedir [54, 57]. Rusya, Ukrayna, Romanya 'dan Rus çamı ve Sibirya sarıçamı, G. Amerika'dan iroko ithal edilmektedir. Ülkemizde ise sarıçam, ladin, göknar ağaçları Boyabat (Ayancık), Kastamonu (Yenicel), Balıkesir (Dursunbey), Çanakkale civarından elde edilmektedir [58].

TTA üretiminde öncelikle, bütün keresteler görsel olarak dayanım özelliklerine göre sınıflandırılmalı ve elastisite modülleri (E) mekanik olarak belirlenmelidir. Dayanımını ve gücünü gösteren bu iki değerlendirme ile kerestenin, kiriş ya da kolon olarak kullanım yerini belirler. Örneğin, yüksek dayanımlı parçalar, kirişteki eğilme gerilmesinin en yüksek olduğu yerlerdeki laminasyonda kullanılır. Bu dayanım özelliklerinin belirlenmesi "sınıflandırma" olarak bilinir ve bitmiş ürünün performansını gösterir [6, 59]. Türkiye'de dış görünüşlerine göre kalite sınıflandırması: Ekstra mal: budaksız, 1. sınıf, kuşgözü budaklı (çok küçük), 2. sınıf: orta budaklı ve 3. sınıf ise inşaat iskeleleri gibi estetik kaygı bulunmayan yerlerde kullanılan lekeli keresteler olarak belirtilmiştir [58].

Hammadde seçimi ve sınıflandırılması tamamlanan TTA kiriş üretiminin bir sonraki aşaması tabakaların hazırlanmasıdır. Bu aşamada imalat alanının sıcaklığı en az 15 C° olmalıdır. Elemanların kürlenmesi sırasında yüksek bir sıcaklık gerekebilir ve bu bölümler imalat alanlarının belirli bölümleri ayrılarak sınırlandırılabilirler (kür odaları). İmalat sırasında havanın bağıl nemi, % 40 ile % 75 arasında olmalıdır. Kürleme sırasında % 30 bağıl nem kabul edilebilir. Bu aralıktan gün içindeki kısa süreli sapmalar kabul edilebilir [55].Stok alanından alınan ağaç gövdeleri proje ve hesaplara bağlı olarak, yaklaşık 5 cm. kalınlıkta, 20 cm. yükseklikte ve 1.5-5.0 m uzunluğunda tabakalar halinde biçildikten sonra, ahşap içerisindeki nem oranı % 15 düzeyine gelinceye kadar 180-250 derece arasında fırınlanır [58]. Daha sonra Şekil 3.2 ve 3.3' de görüldüğü biçimde uçları "kurtağzı" formunda çentiklenerek stoklanır.

Tabakalar hazırlandıktan sonra uç uca birleştirilme aşamasına geçilir.Bu aşamada tabakalar özel yapıştırıcılarla birbirine eklenir. Bu ekleme sırasında en az iki dakika basınç altında tutulur. Yapışma ön aşaması tamamlandığında uç uca yapışan tabakalar bir sonraki bölümde istenilen boyutlarda kesilir ve en az sekiz saat süre ile bir stok bekleme alanına alınarak tutkalın kuruyup istenen mukavemetin sağlanmasına kadar stok alanında tutulur [10].



Şekil 3.2: Tabakaların kurtağzı birleşimi



Şekil 3.3: Birleşim yandan

Tabakaların uç uca birleştirilmesi işleminden sonraki aşama tabakaların tutkallanması ve tabakalanmasıdır. Uç uca eklenmiş ahşap elemanların ek yerlerindeki tutkal kalıntıları özel ekipmanlarla temizlenerek pürüzler giderilir. Temizlenen tabakalar bir yürüyen askı sistemi üzerine asılarak dört yönünden tutkal püskürtülen bir koridordan geçirilir. En çok kullanılan tutkal çeşitleri resorsinol, fenol veya üre formaldehit reçineleri, melaminüre formaldehit reçineleri, kazein, epoksi veya poliüretan bileşikleridir [60]. Ülkemizde ahşap tutkalları EN 204 e göre kalite sınıflandırmasından (D1,D2, D3 ve D4) genel olarak D3 ve bazen de D4' tür. D3 hızlı kuruması, setleştiriciye ihtiyaç duymaması ve boşlukları doldurması ile tercih nedenidir. D4 bu özelliklere ek olarak suya daha dayanıklıdır, uygulama yerine göre tercih edilebilir, ancak daha pahalıdır. Tutkallar ayrıca ürünün dayanım süresine ve türüne göre seçilmektedir. Uygulaması elledir (rulo, tutkal şişesi vb kullanarak) [61, 62]. Her yüzeyi tamamiyle tutkallanan tabakalar hidrolik veya manuel mengenelere (Şekil 3.4- 3.5) yerleştirilerek istenilen eğimi ve formu (Şekil 3.7) verecek olan yere sabitlendirilmiş çelik montaj kalıplarına gönderilir (Şekil 3.6) ve 0.4 ile 1.2 N/mm^2 basınç altında preslenir [63]. Bu işlem 20 C° ısı ve % 65 bağıl nem ortamında yapılır. Bu, 8 ile 24 saat arasında süren bir kürleme işlemidir. Daha sonra kalıplardan alınan tabakalanmış elemanlar bitirme işlemi için bir sonraki bölüme

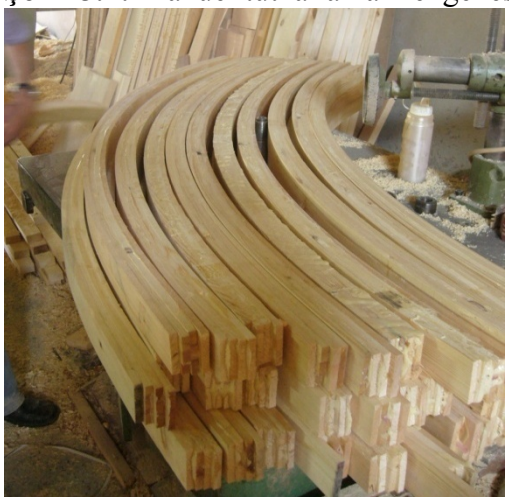
alınır [6]. Tutkallama işleminde kullanılan üre formaldehit tutkallar mekanik dayanımları yüksek olduğu için tercih sebebidir ve DIN 68141 sayılı standardın öngördüğü şartlara uygun olup, strüktürel elemanlarda kullanılabilmektedir [64]. Sürülen tutkal miktarı genellikle m² başına tutkalın cinsine ve tutkallama şekline göre, ince derzlerde 200-300 gram, kalın derzlerde ise 300-700 gram arasında değişmektedir [65].



Şekil 3.4: Manuel tutkallama mengenesi



Şekil 3.5: Hidrolik tutkallama mengenesi



Şekil 3.6: Eğri formda bir TTA ürünü

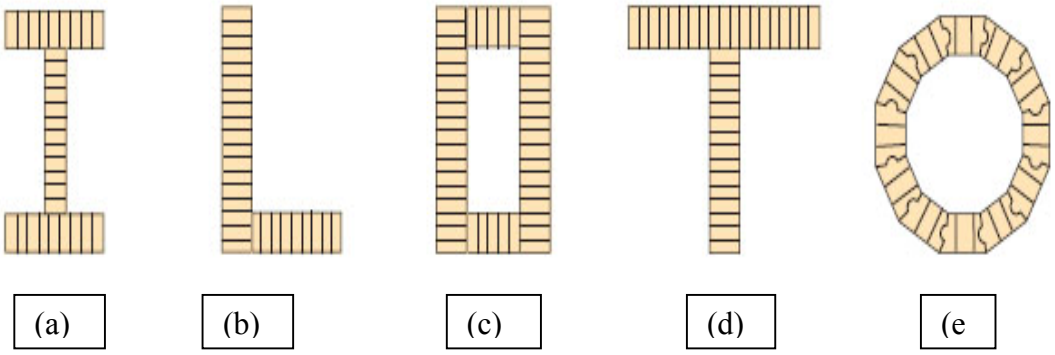


Şekil 3.7: Eğri form örneği

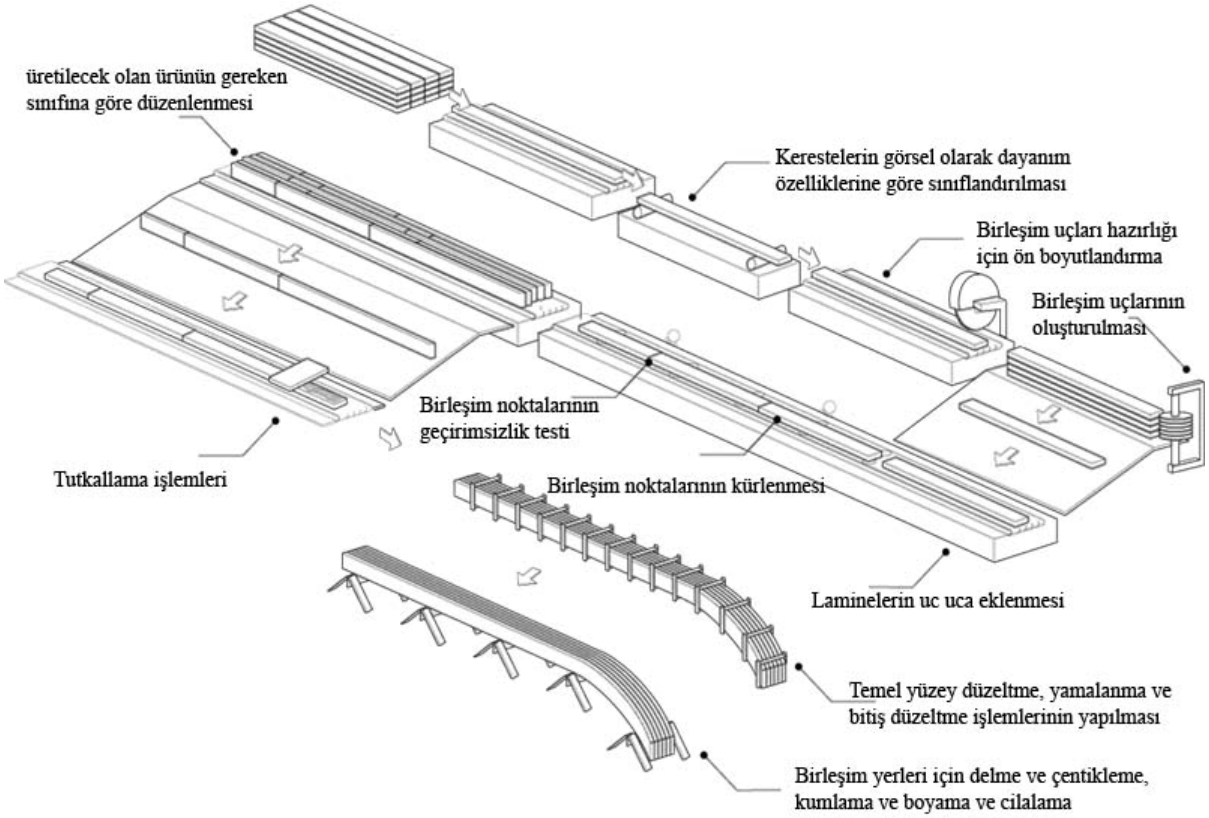
Kalıptan alınan elemanlar artık son şeklini almış TTA elemanlarıdır. Ancak tutkallama işlemi sonucundaki pürüzlerin giderilmesi için yüzey temizleme işlemi yapılması ve sistem elemanlarının birbirleriyle bağlantılarının sağlanması için gerekli delik ve pahların dekopaj cihazları ile açılması gerekmektedir ki bu işlemlere bitirme işlemi adı verilir [10]. Bu işlemler tamamlandıktan sonra yüzey dolgu ve boyama veya dolgu ve cilalama işlemi yapılır. Daha sonra bağlantı parçalarının montajı yapılır. TTA elemanları birbirleriyle özel üretilmiş metal parçalarla birleştirilir. Bu parçalar, paslanmaz çelik (krom-nikel çeliği), boyalı çelik, özel alaşımlı metaller

veya özel alaşımlı alüminyumdan üretilmektedir [57]. Şekil 3.8'de TTA birleşimleri gösterilmektedir.

Bütün aşamaları bitirilen elemanlar stok sahalarına alınır. TTA elemanları büyük boyutlu elemanlar olduklarından daha çok parçalar halinde şantiyeye sevkedilirler. Son montaj işlemi şantiyede yapılır. T.T.A üretim şeması Şekil 3.9' da detaylı olarak gösterilmektedir.

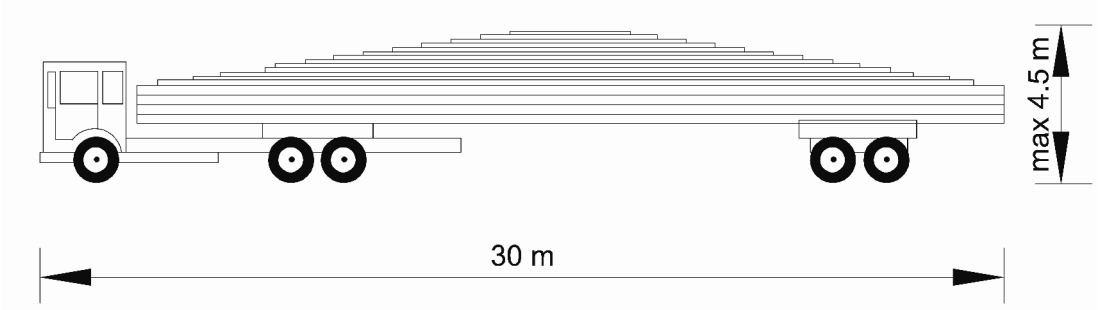


Şekil 3.8: I, L, U, T ve O profilli T.T.A birleşimleri [66].



Şekil 3.9: TTA Üretim Şeması [63]

Tek elemanın genişliği bitmiş ürünün genişliği ile aynıdır ve 275 mm.'nin altındadır. Genişlikleri 175 mm.'den büyük olan elemanlar yanyana iki elemanın birleştirilmesinden oluşturulabilir. Genişlikleri 275 mm.'den fazla olan bütün elemanlar yanyana konulmuş iki keresteden oluşturulur. Genişlikleri 365 mm.'den büyük olan elemanlar, 50 mm. genişliğinde elemanlarla üretilir, fakat bu standart ölçülerde üretilenlerden daha pahalı olmaktadır. TTA elemanların standart derinlikleri 114- 2128 mm. arasında ya da çoğunlukla 38 mm veya 19 mm.nin katları şeklinde üretilir. 38 mm.lik laminasyonlardan oluşturulan ürünler, 19 mm.lik laminasyonlardan oluşturulanlardan çok daha ucuzdur. Fakat 19 mm.lik laminasyonlar, 38 mm.'lik laminasyonlardan daha çok eğime izin verir. Uzun ve düz ürünler elde etmek ve genel olarak bükülmeyi ortadan kaldırmak için TTA eğik bir şekilde üretilir. Bu özellik TTA'nın en büyük avantajıdır. Lamine ürünler 40 m. uzunluğa kadar çıkabilir, fakat genelde uzunlukları taşıma kısıtlamalarına bağlıdır ve bu uzunluk 30 metre olarak belirtilmektedir (Şekil 3.10, Çizelge 3.1)[53].



Şekil 3.10: Maksimum TTA taşıma ölçüleri [53]

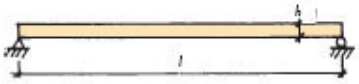
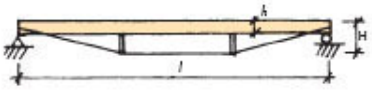
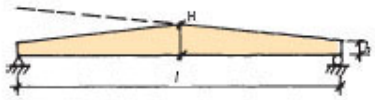
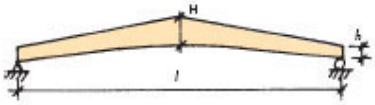
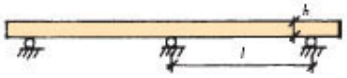
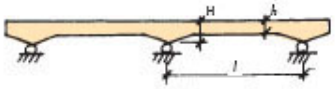
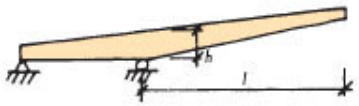
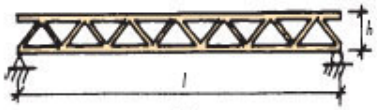
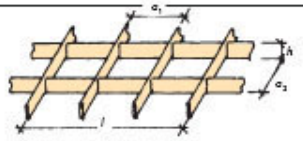
Çizelge 3.1: Standart TTA genişlikleri [67]

TTA elemanın ilk genişliği (mm.)	TTA elemanın bitmiş genişliği (mm.)
89	80
140	130
184	175
235 (ya da 89 + 140)	225 (ya da 215)
286 (ya da 89 + 184)	275 (ya da 265)
140 + 184	315
140 + 235	365

3.2 Büyük Açıklıklı Strüktürlerde TTA Kiriş Çeşitleri

Ahşap kolon-kiriş sistemini meydana getiren ahşap kolon ve kirişler tiplerine göre çeşitli kesit özelliklerine sahiptir [68]. Bu kolon ve kiriş tiplerine bağlı olarak farklı taşıyıcı sistemler oluşturulabilir. Geçilebilecek açıklıklar bu sistemlerin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu sistemlerden strüktürel kiriş sistemleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2: Strüktürel TTA Kiriş Sistemleri [66]

Sistem	Teknik	Egim	Açıklık	Kesit Yüksekliği
	*Sabit kesitli kirişler*	≥ 3°	< 30	$h \sim \frac{l}{17}$
	*Dolu gövdeli destekli kirişler*	3-30°	< 50	$h \sim \frac{l}{40}$ $H \sim \frac{l}{12}$
	*Dolu gövdeli trapez kirişler*	3-10°	10-30	$h \sim \frac{l}{30}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	*Değişken kesitli kirişler*	3-15°	10-20	$h \sim \frac{l}{30}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	3 *Mafsallı* kirişler	≥ 3°	< 25	$h \sim \frac{l}{20}$
	3 *Mafsallı* Makas kirişler	≥ 3°	< 25	$h \sim \frac{l}{24}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	Konsollu *Sistemler*	< 10°	< 15	$h \sim \frac{l}{10}$
	*Makaslar*	≥ 3°	30-85	$h \sim \frac{l}{10}$
	Izgara *Sistemler*	≥ 3°	12-25	$h \sim \frac{l}{20}$ $(a = 2{,}4 - 7{,}2\ \mathrm{m})$

Standart kirişler, projeden bağımsız olarak, sabit genişlik, yükseklik ve uzunluklarda, hiçbir özel kesimi, boşluğu, girintisi, gömme ankrajı, aksesuarları olmayan, tüm yüzeyleri planyalı, emprenye edilmemiş yapı elemanlarıdır [67]. Yapı elemanları dış koşullarda kullanılacaksa, tutkal cinsi "rezorkinol tutkal" olarak farklılaşacaktır. Çalışma kapsamında ki kirişler, standart kirişlerden farklı olarak, projeye göre değişken boyutlara sahip, detaylara göre değişik açılarda, kesinti, girinti ve boşlukları olan yapı elemanlarıdır. Ayrıca bu elemanlar gereken durumlarda gömme ankrajları ve diğer aksesuarları yerleştirilmiş, istenilen renk, emprenye sıvısı ile kaplanmış kullanım yerine göre ya melamin ya da rezornikol tutkal ile imal edilmektedirler. Kirişler açıklıklarına göre üçe ayrılırlar;

3.2.1 Basit Açıklıklı Kirişler ve Kullanım Alanları

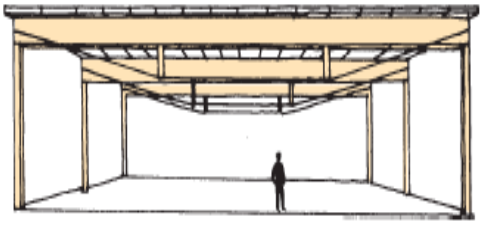
Basit açıklıklı kirişler kullanılacağı yere ve işlevine göre değişik profillerde DIN 1052, EUROCODE 5 olarak üretilirler [69].

3.2.1.1 Sabit Kesitli Kirişler

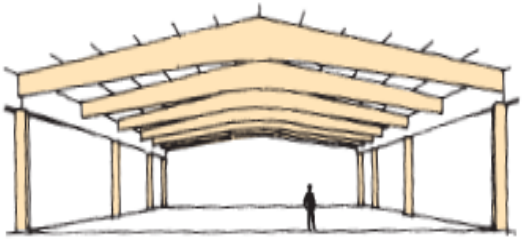
Bu kirişlerin üzerindeki yüklemeler deformasyona neden olabilirler, bu deformasyonlar eğilme ve makaslama gerilmesine dönüşebilirler. Burada kiriş, gerilmelere ya da kesite bağlı sehimlere, yükün türüne ve açıklığa göre tasarlanır. Ayrıca yanal burkulmalar da destek kirişlerin boyutlarını belirleyebilir. Bu tür lamine krişlerde açıklık 10-25 metre arasında olup, kiriş yüksekliği uzunluğunun 1/17'sidir (Şekil 3.11). Kiriş genişliği 8 cm -22 cm, yüksekliği 6.2 cm - 220.9 cm aralığında olabilmektedir [53, 69].

3.2.1.2 Dolu Gövdeli Trapez Kirişler

Eğik ve bükük olan bu basit kirişlerde, dikey yükler sadece dikey mesnet etkisi oluştururlar. Bununla beraber bu kirişler sehim ve bükülme veya makaslama gerilmeleriyle eğik bölgelerde oluşan eğilme ve çekme gerilmelerine göre tasarlanır. Bu tür lamine kirişlerde açıklık 6 m -35 m arasındadır ve h1 kiriş yüksekliği uzunluğunun 1/16'sı, h2 kiriş yüksekliği ise 1/30'udur (Şekil 3.12). Kiriş genişliği 8 cm -22 cm, kiriş yüksekliği 6.2-220.6 cm arasında olabilirken, eğim açısı 3-10 derece arasında değişebilmektedir. [53, 69].



Şekil 3.11: Sabit kesitli kirişler [69]



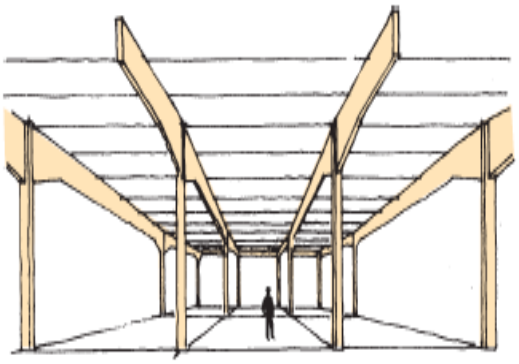
Şekil 3.12: Dolu gövdeli trapez kirişler [69]

3.2.1.3 Dolu Gövdeli Destekli Kirişler

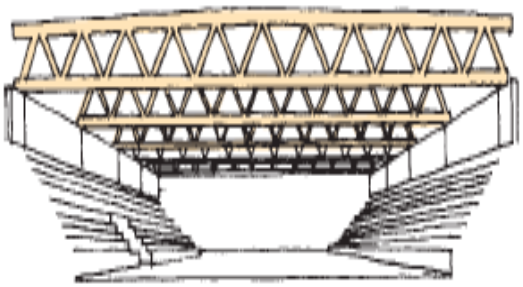
Bu tür kirişler basit kirişlerden makas kirişlere geçiş elemanları olarak gösterilirler. Kirişteki destekler, orta seviyede bir mesnet noktası görevi görürler ve böylece burulma momenti azalır. Çok geniş açıklıklı yapılar için ekonomik sayılır. Bu kirişler ön proje aşamasında sürekli kiriş ile karıştırılabilir. Bu tür lamine kirişlerde açıklık 10 m -50 m arasındadır (Şekil 3.13) [53, 69].

3.2.1.4 Makaslar

Makas profiller, kirişlere eklenmiş destek elemanlarından oluşmuştur. Bu destekler basınca ve çekmeye karşı direnç gösterir ve makas sisteminde yüklerin dağıtılarak eğilme ve burulma momentlerinin azalmasını sağlar. Bu profillerdeki basınç elemanlarının boyutları genel olarak burkulma gerilmesine göre tasarlanırken, çekme elemanlarının boyutları zayıf noktalardaki çekme gerilmesine göre tasarlanır. Gerekiyorsa çapraz makas alanları büyütülür. Bu tür lamine kirişlerde açıklık genel olarak 8 m -25 m arasındadır (Şekil 3.14) [53, 69].



Şekil 3.13: Dolu gövdeli destekli kirişler [69]



Şekil 3.14: Makaslar [69]

3.2.1.5 Radyal Kirişler

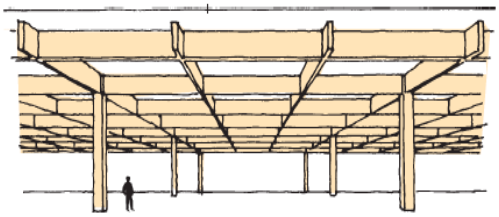
Radyal düzenli kirişler çok çeşitli plan uygulamaları için uygundur. Farklı açıklıklar üzerine oturtulan mertekler ile boyutları ya da boşlukları da çeşitlendirilebilir.

3.2.1.6 90 Derecelik Izgara Sistemler

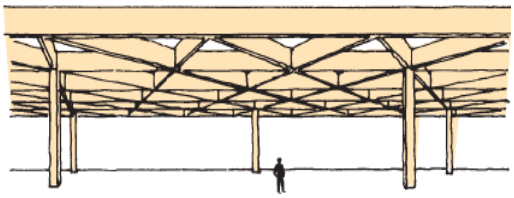
Izgara kirişler tek açıklıklı kirişlerin birbirine dik iki yön üzerinde birbirleriyle birleşmesinden oluşmaktadır. Birbirleriyle aynı diziliş ya da boyutlarda olan ana ve ikincil kirişlerle oluşan ızgara sistemler tek tip olur (Şekil 3.15) [53, 69].

3.2.1.7 Özel Formlu Izgara Sistemler

Özel formlu ızgara profiller, ana kirişlerin 90 ya da 60 dereceyle birleştiği, ikincil kirişlerin değişik yönlerde tasarıma uygun şekilde birleşmesiyle oluşmuşlardır (Şekil 3.16) [53, 69].



Şekil 3.15: 90 derecelik ızgara sistemler [69]



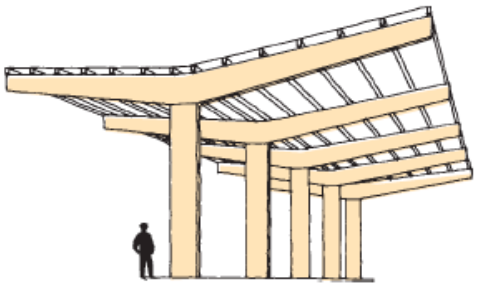
Şekil 3.16: Özel formlu ızgara sistemler [69]

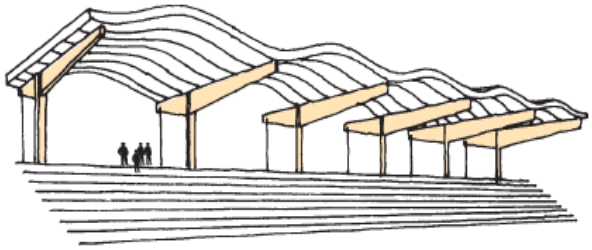
3.2.1.8 60 Dereceli Izgara Sistemler

60 dereceli ızgara profiller, ana kirişlerin 60 dereceyle, ikincil kirişlerin farklı dizilişlerle tasarıma uygun şekilde birleşmesiyle oluşur [53, 69].

3.2.1.9 Konsollu Sistemler

Konsol kirişler statik olarak uygun bir şekilde bir noktadan sabitlenmiş olan kirişlerdir. Sabitlenmiş noktadaki moment sorunu basınç ve çekme elemanlarıyla çözülmektedir. Bu elemanlar çekmeye ve basınca göre tasarlanmalıdır, çünkü elemanın ölü yükü rüzgarın kaldırma kuvvetinden daha küçüktür. Lamine konsol kiriş açıklığı 5 m -20 m arasındadır. Kiriş kalınlığı uzunluğun 1/10'u kadardır. Eğer kafes sistemli konsol kullanılıyorsa kiriş açıklığı 10-40 metreye kadar çıkabilir (Şekil 3.17, 3.18) [53, 69].





Şekil 3.17: Konsollu sistemler [69] **Şekil 3.18:** Konsollu sistemler [69]

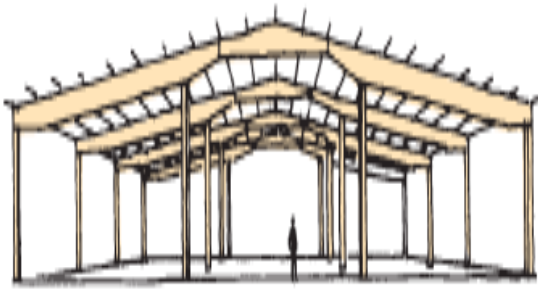
3.2.2 Çok Açıklıklı Kirişler ve Kullanım Alanları

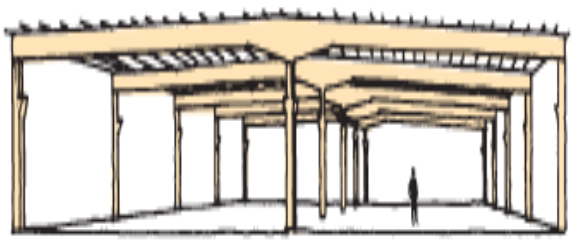
3.2.2.1 Mafsallı Sistemler

Bu profiller belirli açıklıklarda menteşelenmiş çok açıklıklı kirişlerden oluşan mafsallı sürekli kirişlerdir. Mafsallar eğilme momentleri dışındaki kiriş gerilmlerinin dağılmasına yardım eder. Bu nedenle mafsallarda moment sıfırdır. Bu kirişlerin boyutlandırılmaları, basit açıklıklı veya konsol kirişlerdeki gibi tasarlanır. Lamine mafsallı kiriş açıklığı 10 m -30 m'dir (Şekil 3.19) [53, 69].

3.2.2.2 Sürekli Sistemler

Açıklıklar üzerindeki sürekli kiriş statik olarak belirsizdir. Tek açıklık üzerindeki yüklemeden oluşan deformasyonlar bütün açıklıklarda görülür, çünkü kirişin sürekliliği eğilmeye direnç gösterir. Bütün açıklıklar ve destekler yükü paylaşır. Sehimler mafsallı ve basit açıklıklı profilli sistemlerden daha azdır. Bu kirişlerin tasarımı eğilme ve makaslama gerilmelerine göre yapılır. Lamine sürekli kiriş açıklığı 10 m -30 m, kiriş yüksekliği uzunluğunun 1/22'sidir (Şekil 3.20) [53, 69].





Şekil 3.19: Mafsallı sistemler [69] **Şekil 3.20:** Sürekli sistemler [69]

3.2.2.3 Asma Kirişler

Asma kirişler ters çevirilmiş kemer şeklindedir. Yükler genellikle çekme kuvveti uygular. Çatı rüzgarın kaldırma kuvvetine karşı direnç gösterecek şekilde uygulanmalıdır.

Yukarıda da incelendiği gibi, büyük açıklıklı tutkallı tabakalanmış ahşap kiriş sistemlerinden, düz profilli kirişler ve tasarıma göre eğimli profilli kiriş sistemler 10-25 metre açıklıklı yapılarda uygun olarak karşımıza çıkmaktadır [53, 69].

3.3 TTA Kiriş Örnekleri

Çalışma kapsamında küçük çaplı üretim ve uygulama yapan Ahmet Demirel Orman Ürünleri Ltd. Şti.'ne ofis ve fabrika ziyareti, proje ve uygulama yapan Oran Mimarlık Bürosuna büro, şantiye ve uygulama gezileri yapılmıştır. Şekil 3.21 - 3.24 incelenen fabrikada ki emprenyeleme işlemini ve Şekil 3.25 -3.27 emprenye makinelerini ve aletlerini göstermektedir.



Şekil 3.21: Emprenye öncesi



Şekil 3.22: Emprenye haznesi



Şekil 3.23: Emprenye işlemi

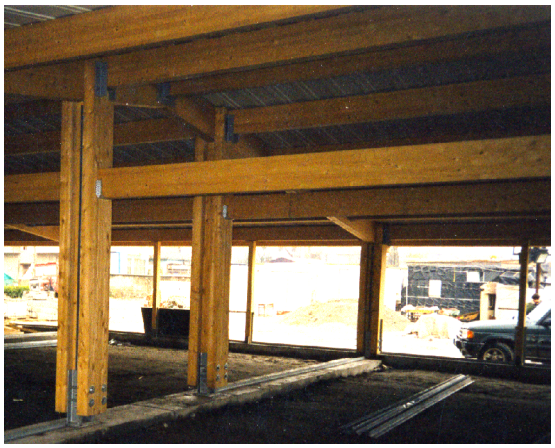


Şekil 3.24: Emprenye sonrası






Şekil 3.25: Emprenye haznesi **3.26:** Basınç göstergesi **3.27:** Emprenye makinesi




Şekil 3.28-3.29: Adapazarı'nda prefabrike ilkokul [58]




Şekil 3.30: Adapazarı'nda prefabrike ilkokul [58] **Şekil 3.31:** İroko ağacından profilli lamine çardak

1994 yılında kurulmuş olan Oran Mimarlık büyük açıklıklı yapılara ağırlık vermiş TTA uygulamaları ile bilinen bir mimarlık bürosudur. 1997 yılından itibaren, Holzbau Rubner'ın Türkiye'deki tek temsilciliğini ve TTA sistemlerin yaygınlaştırılmasına çalışmaktadır. Ürün teminatını ithal olarak yine bu firmadan sağlayan firmanın birçok TTA yapı örneği bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları Şekil 3.32-3.39'da gösterilmektedir. Ayrıca son bölümde yer alan malzemelerin bir örnek üzerinde karşılaştırılmasında bu firmanın mimar Nevzat Sayın'la ortak olarak yaptığı Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu örnek olarak ele alınmıştır.





Şekil 3.32-3.33: Kemalpaşa Kültür Merkezi [53]





Şekil 3.34-3.35: Kemalpaşa Kültür Merkezi [53]





Şekil 3.36-3.37: Mercedes Benz Teşhir Holü Lamine Ahşap Yapısı [53]





Şekil 3.38: Cornelia Otel Bar Örtüsü **Şekil 3.39:** Cornelia Otel Bahçe Örtüsü [53]

4. GENİŞ AÇIKLIKLI SİSTEMLERİN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMASI

Yapı malzemeleri kullanıldığı yere ya da amacına göre belirli dayanım özelliklerine sahip olmalıdırlar. Bu gereksinimlerden kaynaklanan dayanım özellikleri o malzemenin performans özelliklerini belirler ve farklı özelliklere göre sınıflandırılmaktadırlar. Çalışma kapsamında 1989 yılından itibaren Yapı Malzemeleri Direktifi (The Construction Products Directive-CPD) olarak adlandırılmaya başlanan sınıflandırma göz önüne alınmıştır. Avrupa Birliği (AB)'nin standartlaşma yolunda Avrupa Ürün Standartlarını geliştirmek için oluşturduğu Yapı Malzemeleri Direktifi (89/106/EEC The Construction Products Directive), Türkiye'ye de uyarlanarak 8 Eylül 2002 tarihinde yayımlanmış ve 2004 yılında yürürlüğe girmiştir. [70]. 18.02.2006 tarih ve 26084 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan yönerge değişikliği ile 01.01.2007'ye kadar uzatılmıştır. Bu tarihten itibaren piyasaya arz edilen ilgili yapı malzemelerine CE işareti iliştirilmesi mecburidir [71]. 89/106/EEC sayılı yönerge teknik düzenlemeler, standardizasyon ve yürürlüğe giriş aşamaları bakımından karmaşık bir sistem olarak görülmektedir. Bu yönerge, binalar ve sivil mühendislik işleri de beraberinde olmak üzere, inşaat işlerinde daimi olarak kullanılmak amacıyla üretilen her türlü ürünün kapsamına girdiği yapı malzemelerine uygulanmaktadır [70]. Yapı malzemelerinin ömrü ulusal standartlar doğrultusunda 30, 50 ya da 100 yıllık olarak tasarlanabileceği gibi bu durumda diğer şartlarla karşılaştırılarak ekonomik tasarımın yapılması gerektiği vurgulanmaktadır [72].

Yapı malzemeleri direktifi kapsamında olan ürün gruplarına; agrega, beton, çimento, yapıştırıcı, alçı, plastik bağlayıcılar, metal ve metal elemanlar, ahşap ve ahşap ürünler ve yapı kimyasalları gibi çalışma kapsamındaki ürünlere yer verilmiştir. Ayrıca yönetmelikte, ürünlerin uymaları zorunlu olan koşullar; (i) mekanik dayanım ve stabilite, (ii) yangın durumunda emniyet, (iii) hijyen, sağlık ve çevre, (iv) kullanım emniyeti, (v) gürültüye karşı koruma ve (vi) enerjiden tasarruf ve ısı

korunumu başlıkları altında 6 temel gereksinim olarak belirtilmiştir [70, 73]. Bu gereksinimler doğrultusunda her üç malzeme alt başlıklar halinde yerli ve yabancı standartlardan yararlanılarak karşılaştırılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında taşıyıcı sistemin bir bileşeni olan ve açıklık geçen dolu gövdeli kiriş elemanları ele alındığı için her üç yapı malzemesi de, mekanik dayanım ve stabilite, yangın durumunda emniyet ve hijyen, sağlık ve çevre performansı açısından karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, yapı malzemelerinin sağlık ve çevre performansı açısından karşılaştırıması, çalışma kapsamında yaşam dönemi değerlendirmesi bölümünde ayrıntılı olarak yapılmaktadır.

4.1 Mekanik Dayanım ve Stabilite

Ahşap organik bir malzemedir ve boyuna liflerden oluşan hücresel bir yapıya sahiptir. Her ne kadar işlenmiş ahşap ürünlerde, ahşabın lifleri istenilen özelliğe göre dünzenlense de, ahşabın temel karakteristik özellikleri son üründe de sabittir. Bu temel karakter özelliği ise ağacın türüne, yetişme şartlarına ve ağacın kalitesine bağlıdır. Ahşabın kalitesi, diğer bir deyişle yoğunluğu arttıkça tüm dayanım büyüklükleri de artmaktadır [74]. Ahşap higroskopik bir malzemedir. Bu onun etrafındaki yoğun buharı emeceği ve lif doyma noktasının altındaki ortamda ise nem kaybedeceği anlamına gelir. Bu nedenle nemin ahşap üzerindeki etkilerini incelemek, ahşabın ve işlenmiş ahşap ürünleri üzerindeki etkileri kontrol altında tutmak açısından önemlidir. Ahşabın yoğunluğu ve nem birbirine bağlıdır. %15 neme karşılık gelen birim hacim ağırlığı ağaç türüne göre 0.1 t/m^3 ile1.5 t/m^3 arasında değişir [59]. Ahşap malzemenin bünyesindeki nem oranı, ahşabın çalışmasını doğrudan olarak etkilemektedir. Bu özellik tutkallanmış tabakalı ahşap kirişlerin üretimi sırasında, malzemenin kurutulma aşamasının önemini ve hassasiyetini göstermektedir. Ayrıca, geniş yapraklı ağaçların hücre yapısı gereği, iğne yapraklılara oranla daha kolay su tutabilme özelliği onun daha kolay çalışmasına neden olmakta ve iğne yapraklı ağaçların rutubet kriterinde daha kullanışlı olmasını sağlamaktadır. Ancak gelişen teknoloji sayesinde ahşabın bu zaafları giderilmektedir. İşlenmiş ahşap ürünleri ve kerestelerin çoğu üretim aşaması için, belli seviyelere kadar kurutularak nem seviyeleri azaltılır. Bunun iki nedeni vardır; istenilen verimi sağlamak için ahşabın nem seviyesini azaltmak ve ahşap yapıştırıcılarının tutuculuk etkisini arttırmaktır [58].

TTA kirişlerin en önemli avantajı mimari ve statik olarak büyük hafiflik elde edilmesi ve standartlaşmanın azami düzeye yükseltilmesidir. Birim ağırlığı 2200 kg/cm^3 ile 5000 kg/cm^3 arasında değişen betonarme ve birim ağırlığı 7800 kg/cm^3 olan çelik ile karşılaştırıldığında, bu malzemelere göre oldukça hafif olduğu görülmektedir [6]. Bu yapı elemanın hafifliği (400kg/m^3), düşey taşıyıcılar ve temel hesaplarında inşaat mühendisliğine başta küçük kesitlere imkan verebilmesi gibi önemli avantajlar getirmektedir. Ağaç malzeme özgül ağırlığının düşük olmasına karşılık elastik yapısı dolayısıyla yüksek direnç özelliklerine sahiptir [75].

Ağaç malzemede ve çelikte çekme direnci ve özgül ağırlık arasındaki ilişki karşılaştırıldığında; (Çizelge 4.1) ağaç malzeme liflere paralel çekme direnci özgül ağırlığının 1666 katıdır. Buna karşılık çeliğin çekme direnci özgül ağırlığının ancak 641 katıdır. Hafifliğine oranla yüksek dirence sahip olması nedeniyle ahşap malzemeden yapılan binaların hafif olmaları, dolayısıyla yumuşak zemin üzerine kurulması mümkündür [75]. Beton çekme dayanımı, basınç dayanımının %8-15'i kadar olduğu için proje aşamasında betonun çekme dayanımı yok kabul edilir [76]. Betonla beraber kullanılan çelik donatı ile oluşturulan betonarme hem çekmeye hem de basınca dayanımı sağlamaktadır. Fakat, betonarme her iki diğer yapı malzemesinden ağır olduğu için mimarlar için geniş açıklıklı yapılarda yapı malzemesi olarak son tercih olmalıdır.

Çizelge 4.1: Ağaç malzemede ve çelikte çekme direnci ve özgül ağırlık arasındaki ilişki [6]

	Ağaç	Çelik
Ortalama özgül ağırlığı	0,6 gr/cm^3	7,8 gr/cm^3
Çekme direnci	1000kg/cm^3 (liflere paralel)	5000kg/cm^3

Mekanik özellikler; malzemede dış kuvvetler etkisiyle oluşan gerilme ve kırılmaları, boyut ve şekil değişimlerini, yüklemelere karşı koyma derecesini ve durumunu belirtmektedir [77]. Bu özellikler ahşap malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılma yerlerine uygunluğunu göstermektedir. Ahşap malzemenin önemli mekanik özellikleri arasında basınç, çekme, eğilme, kayma dayanımları, elastisite modülü ve sertliği sayılabilir [78]. Anizotrop olan ve özellikleri çeşitli doğrultularda aynı olmayan ahşap malzemede mekanik kuvvetlerin etkisi büyük ölçüde ağaç

türüne, birim ağırlığa, anatomik yapıya, coğrafik orijine, yetişme yeri koşullarına, nem miktarına, kimyasal bileşime, kusurların bulunup bulunmamasına, kuvvetin etki yönü ile lif doğrultusu arasındaki açıya bağlı bulunmaktadır [77].

Çizelge 4.2: Ahşap, Çelik ve Beton malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırması

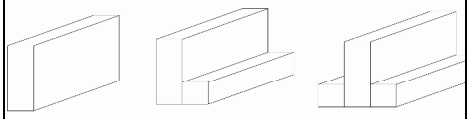
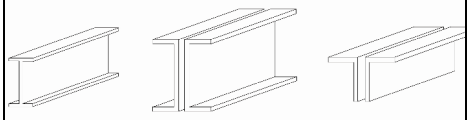
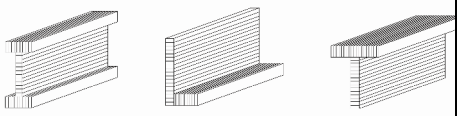
	Birim		ÇELİK		AHŞAP			Beton		
Sınıf			ST37	ST52	1.SINIF	2.SINIF	3.SINIF	C30	C40	C50
Birim Ağırlık	Kg/m^3		7800			400-800		<2400	2400-3200	3200<
Genleşme	Cm/cm 0 C^o % deformasyon		15.1×10^6			4×10^6			10×10^6	
Isı İletkenliği	Kcal/m.h.c		25-40			0.12-0.58			1.25	
Eğilme Dayanımı	Kg/cm^2		3700-1400	5200-2100	130	100	70		500	
Elastisite Modülü	N/mm^2		21×10^5			10×10^4			21×10^4	
Çekme Dayanımı	Kg/cm^2	Liflere paralel	3700	5200	105	85	0	190	220	250
		Liflere dik	1400	2100	0.5	0.5	0			
Basınç Dayanımı	Kg/cm^2	Liflere paralel	3700	5200	110	85	60	3000	4000	5000
		Liflere dik	1400	2100	25	25	25			
Yangına Dayanım			B1	B1	B2	B2	B2	A1	A1	A1

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi ahşap malzemenin eğilme direnci 100 kg/cm^2, betonun 500 kg/cm^2 ve çeliğin eğilme direnci ise 1400-5200 kg/cm^2 arasında değişmektedir [79]. Ahşap malzemenin basınç dayanımı ise 60 ile 110 kg/cm^2 olarak değişmekte iken çelik malzemede 1400-5200 kg/cm^2 ve betonda da çeliğe yakın olarak 1400-5000 kg/cm^2 arasında bir değişim götermektedir (Çizelge 4.2). Ahşap malzemenin

kesme emniyet gerilmesi 9 kg/cm^2'dir. Çelik malzemenin kesme emniyet gerilmesi ise 1120-1680 kg/cm^2 arasında değişmektedir (Çizelge 4.2).

Ahşap malzemenin burulma emniyet gerilmesi 10 kg/cm^2'dir. Çelik malzemenin ise 1120-1680 kg/cm^2 arasında değişmektedir (Çizelge 4.2). Mekanik dayanım için malzemelerin üretim teknikleri ve boyutlandırılması da önem kazanmaktadır. Çizelge 4.3'te 10-25 metre açıklık geçebilen Prefabrike BA, çelik ve ahşap dolu gövdeli kirişler gösterilmiştir. Bu çizelgede de görüldüğü gibi dolu gövdeli çelik kirişler ile ekonomik olarak daha büyük açıklıklar geçilebilmektedir.

Çizelge 4.3: 10-25 metre açıklık geçebilen Prefabrike BA, çelik ve ahşap dolu gövdeli kirişler

YAPI SİSTEMİ	10-25 METRE AÇIKLIK GEÇEBİLEN SİSTEM ÇEŞİTLERİ	SİSTEM PROFİLLERİ
PREFABRİKE BA	Ön germeli [tek katlı, %25 ara katlı] ve ard-germeli [çok katlı] paralel başlıklı ve üst başlığı eğimli (trapez) kiriş sistemler En büyük ekonomik açıklık: 30 m	 I– L – T PROFİLLER
ÇELİK	Dolu gövdeli çelik profilli kiriş sistemler En büyük ekonomik açıklık: 35 m	 I – H – KÖŞEBENT PROFİLLER
TTA	Düz ya da eğimli profilli kiriş sistemler En büyük ekonomik açıklık: 30 m	 I – L –T PROFİLLER

Çelik, ahşap ve betona böre daha izotropik ve mukavemeti yüksek bir malzemedir. Elastisite modülü ahşapta 100.000 N/mm², betonarmede 210.000 N/mm², çelikte ise 2.100.000 N/mm²' dir [80]. Yani, ahşabın 21 katı, betonarmenin 10 katıdır. Bu yüzden daha az sehim yapar ve daha az malzeme sarfı gerektirir. Ayrıca inşaat aşamasında ahşap ve çelik taşıyıcı elemanların mukavemeti, betonda olduğu gibi beton santralindekilerin, mikser şoförünün, kalıpçının, demir bağlama işçisi ve taşeronunun, beton aplikasyon işçisinin, beton kür işçisinin ve doğal olarak müteahhidin insiyatifine bağlı değildir.

Depremde yapılara, kendi ağırlıkları ve kullanım yüklerinden başka yanal yükler gelmektedir. Bu nedenle hafif ve elastik malzemeden yapılan yapılar, ağır malzemelere oranla deprem yüklerinden daha az etkilenmektedir. Ahşap malzemelerin deprem anındaki davranışının diğer yapı elemanlarına kıyasla çok daha verimli olduğu görülmektedir. Hafiflik aynı zamanda yatay kuvvetleride azaltmaktadır [64]. Diğer yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında, ahşabın şok ve vibrasyon etkilerini absorbe edebilme kabiliyeti daha yüksektir [77].

Özellikle büyük açıklıkların geçilmesinde ahşap malzemenin hafif ve yüksek taşıma gücünün olması avantaj sağlamaktadır. Depremde malzemenin seçimi dışında ayrıca malzemelerin uygulanması da önem kazanmaktadır. Yapıdaki düşey ve yatay yük taşıyan elemanlar birbirine iyi bağlanması; yani yapı elemanları arasında yeterli ve güvenli bir biçimde kuvvet aktarımını sağlayacak birleşim yeri ayrıntıları olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, betonarme yapıda kolon-kiriş birleşim yerlerinde etriye sıklaştırması ve boyuna donatıların yeterli boyda ankrajı, ahşap karkas yapılarda kiriş ve dikmeleri bağlayan metal elemanlar kullanılması ve ahşap elemanların yapının temeline yeterli bir biçimde bağlanmış olması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında, aynı yüklere maruz bırakılıp ve statik gereklerine uygun inşa edilmiş taşıyıcı elemanlarda kullanılan 3 malzemeden en ağırı betondur, ardından çelik ve sonra ahşap gelir. Yapıların ağırlığı ve rijitliği ne kadar artarsa deprem yüklerinden olumsuz etkilenme riskleri de o ölçüde artar. Bilindiği gibi en ağır ve rijit olan malzeme betondur ve en esnek ve yüzey alanına düşen mukavemet değerleri en yüksek yapı malzemesi de çeliktir. Bu nedenle, binanın yüksekliği, kullanım amacı, taban alanı, cephe yüzey alanı ve statik yapısını etkileyecek mimari projesine göre değişmekle birlikte genel anlamda depreme karşı en güvenilir yapı malzemesi olarak karşımıza çelik çıkmaktadır [80].

4.2 Yangın Durumunda Emniyet

Ahşabın doğal, hafif ve yanıcı bir malzeme olmasından dolayı, mimarlar arasında bu malzemenin yapı strüktüründe kullanılmasına pek sıcak bakılmamaktadır. Fakat geçmişten günümüze kadar uygulanan, Amerika ve Avrupa'da konut sektörünün vazgeçilmezi olarak görülen bu malzemenin gelişen teknoloji ile birlikte daha büyük strüktürlerde kullanılabilmesi bu önyargıların yersiz olduğunu göstermektedir.

Bilindiği gibi, sıcaklık değiştikçe birçok malzeme büyüklük ve hacim olarak değişir ve sıcaklığın artmasıyla genleşir. Bu doğrusal ve hacimsel genişleme anlamına gelir. Genişleme malzemelerin gücünde azalmaya neden olur. Strüktürel eleman seçiminde ahşapta doğru seçim yapıldığında ısıya karşı genleşme çelikten ve betondan çok daha azdır ve diğer malzemelerin tam tersine, ısının etkisiyle kurur ve güç kazanır [81]. Çizelge 4.4'te liflere paralel yönde çeşitli ağaçların ısıl genleşme katsayıları verilmiştir. Strüktürel yapılarda ısıl genleşme katsayıları düşük olan ağaçlar seçilmesi uygun görülmektedir. Bu nedenle meşe ve çam strüktürel TTA kiriş sistemlerde kullanılabilecek en uygun ağaç türü olarak gözükmektedir.

Çizelge 4.4: Isıl Genleşme Katsayıları (Liflere paralel yönde) [82]

Ağaç Cinsleri	Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha_w \times 10^4$
Şimşir	2.57
Kavak	3.85
Meşe	4.92
Karaağaç	5.65
Gürgen	6.04
Akağaç	6.24
Kestane	6.49
Ceviz	6.55
Dişbudak	9.51

Isıl genleşme katsayılarının çelik ve beton malzemeye oranla düşük olması, ahşabın özellikle yangın performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Çizelge 4.5). Yangın gibi özel durumlarda özellikle strüktürel görev yapan ahşap malzemenin hacmindeki değişim çok az olduğu için, eleman bazında hasarın çelik ve BA gibi sistemlere kıyasla çok daha az olmasına ve göçmenin gecikmesine neden olmaktadır [68].

Yangına karşı koruyucu işlem görmemiş tabakalanmış ahşap kirişlerde, ateşin laminasyonlu ahşap kirişi etkilemesi 1.3 mm/dak.'dır. Emprenye edilmiş laminasyonlu ahşap kirişlerde ise ateşin etkilenme 0.5 mm/dak.'ya düşmektedir [69]. Emprenye işlemi ile ahşabın yangın dayanımı yaklaşık 2-3 katı olarak artmaktadır. Emprenye maddesi olarak, yangına ve böceklere karşı sudan etkilenmeyen inorganik tuzlar ve çözücü esaslı organikler (amonyum fosfat, amonyum sülfat, boraks, asit,

çinko, klorid, silikat, flor – krom- fenol tuzları, bakır birleşenleri) kullanılmaktadır. Kreozot (kömür katranı), her ne kadar resorsin formaldehit, fenol resorsin formaldehit ve fenol formaldehit tutkallarıyla kullanılsa da kötü koku bırakması ve yağlı boya tutmaması nedeniyle önerilmemektedir.

Çizelge 4.5: Çeşitli malzemelerin oda sıcaklığındaki ısı özellikleri [82]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm3)	Isı İletkenliği (W/Mk)	Özgül Isı (kJ/kgK)
Çam	600	0.15	1.63
Kızıl Meşe*	700	0.17	1.63
Beton	960	0.33	0.84
Çelik	7830	45	0.50

* Çizelgede yer alan ağaç cinslerinin nem miktarı %12 olarak alınmıştır.

Büyük boyutlu ahşap lamine elemanların (kolon, kiriş) yangına karşı dayanma süreleri (R) aşağıdaki bağıntıdan yararlanılarak hesaplanmaktadır (4.1).

$$R = Z.\ B.\ G \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada;

R= Ahşap lamine elemanın yangına karşı dayanma süresi (dakika)

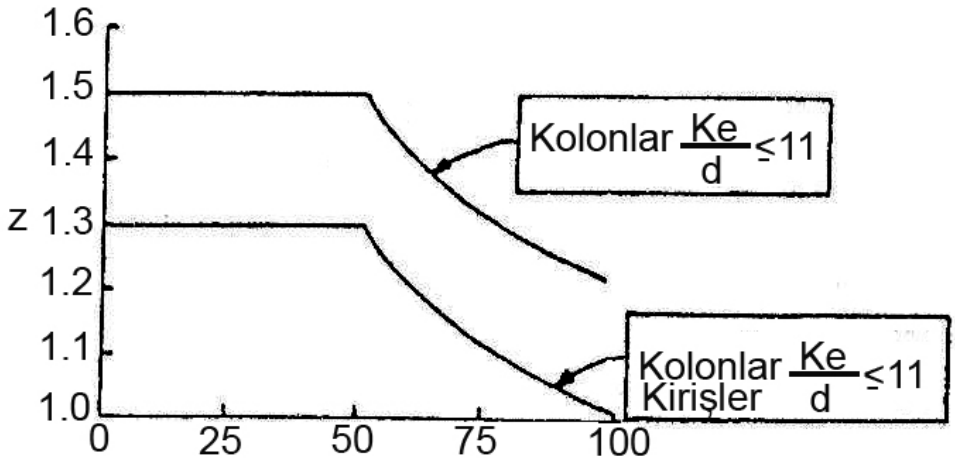
B= Ahşap lamine elemanın alın kesitindeki geniş kenarının uzunluğu (cm)

G= Kiriş ya da kolonun kesit faktörü

Z= Ahşap lamine elemanın tipine (kiriş – kolon) ve etki eden yük oranına bağlı faktördür. (Şekil 4.1)

G= Faktörü; ahşap lamine elemanın yangın sırasında üç ya da dörtkenarından alevden etkilenmesine göre aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılarak belirlenmektedir. (Ke/d)

Ke değeri (katsayı), ahşap lamine elemanın uçlarında uygulanan bağlantı şekline göre belirlenmektedir [83].



Şekil 4.1: Z faktörünün hesaplanması

Çizelge 4.6'da TTA (çam), BA ve çelik elemanların yanma ile ilişkili özellikleri karşılaştırılmaktadır. Çizelge 4.6'da verilen özgül ısılarına bakıldığı zaman ahşabın özgül ısısı oldukça yüksektir [6]. Bu bir kilogramlık ahşabın ısısının 1 C^{o} artırılması ve azaltılması için çok fazla enerjiye ihtiyaç duyulması anlamına gelir. Ahşap, taş ve betondan neredeyse iki kat daha fazla ısı enerjisine; benzer bir şekilde, çeliği ısıtmak ve soğutmak için kullanılan ısı enerjisinin üç katına ihtiyaç duyar. Yangın açısından diğer malzemelere kıyasla iyi olan bu özellik [68], üretim esnasında kurutulması sırasında gereken ısı enerjisi olarak baktığımızda betonarme ya da çeliğin üretimi sırasında ihtiyaç duyulan ısı enerjisinden de fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bunun çevresel etkileri bir sonraki bölümde işlenen yaşam dönemi değerlendirmesi kısmında daha detaylı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, bu özellik ahşabın daha düşük ısıda tutuşmasına karşın yanma ısısına daha geç ulaşmasını da sağlamaktadır.

Ahşabın ısıl iletkenlik katsayısı çok düşüktür. Konu kapsamında strüktürel amaçlı kullanım öngörüldüğü için, ısı iletkenlik derecesi önem kazanmaktadır. Çeliğin ısı iletkenlik katsayısı çok yüksek olduğu için, özellikle yangın anında dayanımını, bir noktasından aldığı ısıyı tüm malzeme yüzeyine yayması ile azaltan bir yapı malzemesi olması bakımından avantajlı olarak düşünülmektedir. Aslıdna, çelik ve betonun ısıyı iletme özelliği ağaç malzemeye göre daha fazla olduğundan, yangın anında ağaç malzemeye göre daha çabuk ve fazla etkilenmektedir. Fakat ağaç malzemenin ısı iletkenliğinin düşük olması ve yangın anında yüzeyde oluşan karbonun da etkisi ile ısının iç kısımlara ilerlemesi çelik ve betona göre daha yavaş

olmaktadır. Bunun sonucunda da yangına karşı dayanım süresini arttırmaktadır. Ağaç malzemenin nem ve özgül ağırlığı yanma süresini etkilemektedir. Özgül ağırlığı ve nemi yüksek olan ağaç malzemenin yanma süresi, düşük nemli ve düşük özgül ağırlıklı ağaç malzemeye göre daha fazladır. Ayrıca, lamine elemanların yapıştırılmasında kullanılan tutkallar ağaç malzemeye göre daha yüksek sıcaklıklarda (400-500 C°) yandığından yangına karşı dayanma süresini arttırıcı etki yapar. Yanmayı geciktirici maddelerle emprenye edilmiş, %6-7 nemli ağaç malzemede ilk 8 dakika kömürleşme miktarı ortalama 0,85mm/dk'dır. Yanmanın başlamasından 8 dakika sonra, bu oran 0.63 mm/dk'ya düşmektedir. Emprenye işlemleri ile bu oran daha da arttırılabilmektedir [84]. Çizelge 4.6'da da görüldüğü gibi ahşap ürünler 300 Cº' de yanarak, çelik 537 Cº' de çökerek ve BA 600 Cº'de yüzey kayıpları olarak kesiti küçülerek dayanımını yitirmeye başlar.

Çizelge 4.6: Prefabrike Betonarme, Çelik ve TTA kirişlerin yanma özellikleri bakımından karşılıştırılması

YAPI SİSTEMİ	Özgül Isı (kJ/kgK)	Yanıcılık Sınıfı [85]	Yapı Malzemelerinin Tanımı [85]	Yangında Gözlenen Davranış [85]	Yanma Isısı – Kritik Isıya Ulaşma Süresi (Cº) (dak)	Beklenen Yangına Dayanım Süresi [85]
BA	0.84	A1	Hiç yanmaz	Alev almaz, yanmaz, kömürleşmez	300-600** 80	2 saat
Çelik	0,50	B1	Zor alevlenici	Alev kaynağı kalktıktan sonra da yanmayı sürdürür.	537 [87] 70	2 saat
TTA (Çam*)	1.63	B2	Normal alevlenici	Yanıcı duman ve zehirli gaz oluştururlar.	270-300 80 [85]	2 saat

* Çizelgede yer alan çam ağacının nem miktarı %12 olarak alınmıştır.

** Beton yanmaz, fakat 500-600 Cº'ye ulaşınca yüzeyi atarak kesit kaybı olur [23, 86].

Beton yanmaz, yangını iletemez ve duman oluşturmaz. Bu nedenle beton yangına karşı A tipi dayanıma sahiptir. Fakat demir donatının beton içerisindeki pas payı ortadan kalktığında, inşaat demiri çelik yapıdaki gibi iletken olmakta ve yaklaşık 30 dakika sonra taşıma özellikleri tamamen ortadan kalkmaktadır. Ayrıca betonu yangında etkileyen en önemli özelliklerden biri de yanmayla ortaya çıkan yüzey atmalarıdır. Bu olay 300 C°'de başlar ve en fazla 600 C°'de görülür [23]. Betondaki

yavaş ısı iletiminden dolayı yüksek sıcaklık yüzeyde kalır ve yüzeyde su buharına dönüşerek yüzey atmalarına sebep olur. Yüzey atmaları beton dayanımı yükseldikçe artar, betonun nem oranı arttıkça artar. EN 1992'de aks uzaklıklarına bağlı olarak donatının ulaşacağı sıcaklıklar hesaplanır. Betonun yangın dayanımının artırılmasına gerek yoktur. Fakat kalker tipi agregaların kullanılması silisli agregalara göre dayanımını artırır. Hafif agrega kullanımı performansını artırır. Hafif agregalar suya doygun halde ise performansını da kötü hale getirir ve yangın esnasında dökülme yaparak taşıyıcı işlevselliğini yitirmeye başlar [88].

Çelik 537 Cº' ye ulaştığında dayanımını kaybeder. Betonarme ve ahşap yanma ısılarına daha uzun sürede ulaştıkları için birlikte taşıyıcılık görevlerini daha uzun süre yerine getirebilmektedir. Çelik yapılarda yüksek yangın dayanımı istendiği zaman beton kompozit sistemler uygulanmaktadır. Bu yöntemde çelik kısmen veya tamamen beton ile kaplanmaktadır [88]. Yangın dayanım süresi; betonun içerisinde bulunan karışım oranlarına ve kullanılan agregaların özelliklerine bağlıdır. Yapısal olarak içerisinde kil, arduvaz gibi malzemeler kullanılan beton, normal betondan çok daha yüksek yangın dayanımına sahiptir. Kompozit kirişlerdeki yangın dayanım süresi; uygulama çeşitliliğine göre farklılık göstermektedir. Döşemenin altında tamamen açıkta kalan kirişlerdeki koruma süreleri sınırlıdır. Yangın dayanımını artırmak için kirişi tamamen ya da kısmen betonun içine yerleştirmek dayanım süresini arttırmaktadır [88]. Büyük yüklere maruz kalan ve geniş açıklıklarda kullanılan kirişlere uygulanan yöntem ise; kiriş flanşlarının arasına donatı çubuklarının yerleştirilmesi ve betonla doldurulması şeklindedir [88].

5. BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARDA KİRİŞ SİSTEMLERİN YAŞAM DÖNEMİ DEĞERLENDİRMESİ

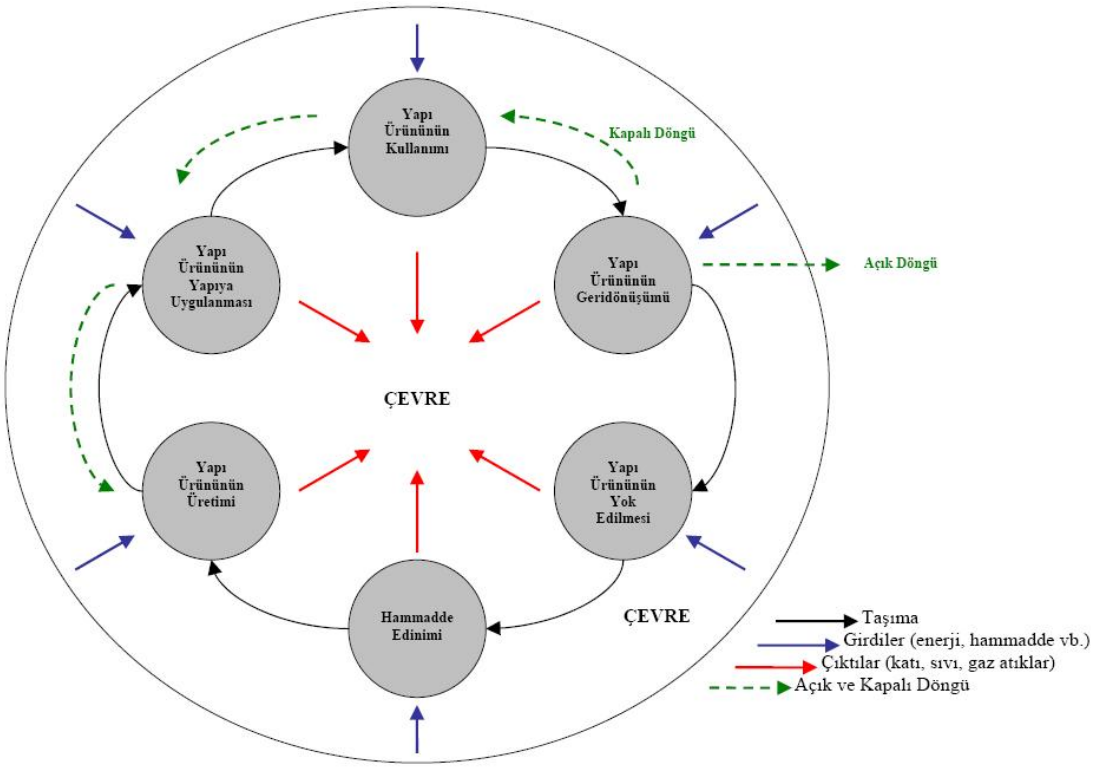
5.1 Yaşam Dönemi Değerlendirmesinin Tanımı ve Aşamaları

Yapı ürünlerinin yaşam dönemi; ürünü oluşturan hammaddelerin elde edilmesiyle başlayıp, ürünün kullanımının sona ermesi ile yok edilmesine kadar geçen zaman dilimindeki süreçlerin bütünüdür [2]. Yapı ürünlerinin yaşam dönemini oluşturan süreçler; doğadan hammaddelerin ve enerji kaynaklarının çıkartılması ve hammadenin elde edildiği yerden işleme yerine taşınması, bitmiş bir yapı ürününün yapımında kullanılması için hammaddenin işlenmesi, yapı ürününün son haline getirilmesi, paketlenmesi ve dağıtılması, yapıya uygulanması, kullanılması, bakımı ve onarımı, tekrar kullanılması, hizmet ömrünün sonunda geri dönüşümü ve yok edilmesidir.

Ayrıca her süreç arasında gerçekleşen taşıma unsuru da yapı ürünlerinin yaşam dönemi kapsamına girmektedir [89]. Yaşam dönemi kapalı ya da açık döngü şeklinde olabilmektedir; kapalı döngü, kullanımı sona eren yapı ürününün, aynı yapı ürünü üretiminde tekrar kullanılması için geri dönüştürülmesi, açık döngü ise farklı bir yapı ürünü üretiminde ya da farklı bir amaçla kullanılması amacıyla geri dönüştürülmesidir [89]. Şekil 5.1'de yapı ürünlerinin yaşam dönemini oluşturan süreçler açık ve kapalı döngü olarak görülmektedir.

Yapı ürünlerinin bu şekilde hammadde halinden geri dönüştürülmesi şeklinde oluşan yaşam süreçlerinin çevre ile etkileşiminin incelenmesi yaşam dönemi değerlendirmesi (LCA) olarak nitelendirilmektedir ve asıl amacı ürünlerin çevreye olan etkilerini/zararlarını belirleyip azaltmak ve buna bağlı olarak ekolojik çevreye en az zararı veren ürünlerin üretilmesini ya da seçilmesini sağlamaktır. Yaşam dönemi değerlendirmesine yönelik 'LEED' (Leadership in Energy and Environmental Design-1998, A.B.D.), 'BREEAM' (Building Research and Establishment Environmental Assesment Method-1990, İngiltere), 'BEPAC' (Building Environmental Performance Assesment Criteria- 1987, Kanada) başta

olmak üzere, ‘Athena’, ‘BEES’, ‘BRE’, ‘Analytica’, ‘Simapro’, ‘Pre’, ‘GaBi’, ‘TEAM’, ‘GB Tool’, ‘Woolley’, ‘’Curwell ve March’ vd. bilgisayar benzetim modelleri geliştirilerek çevresel değerlendirme yöntemleri oluşturulmuştur [6]. Bu modellere göre; hammadde elde edilmesi sırasında; enerji, işgücü ve mali değerler harcanmaktadır. Süreç sonunda hammadde tüketimi, gaz emisyonları, katı ve sıvı atıklar ortaya çıkmaktadır. Yerel ürünlerin seçimi ile ekonomik giderler azaltılabilmekle birlikte hammaddelerin taşınması sırasında oluşacak enerji tüketiminin ve atıkların azalmasına da katkıda bulunulmaktadır.



Şekil 5.1: Yapı ürünlerinin yaşam dönemini oluşturan süreçler [90]

Üretim sürecinde, enerji, işgücü ve mali değerler kullanılmakta, hammaddeler tüketilmekte, araç ve gereç kullanılmaktadır [91]. Süreç sonunda; yapı ürünleri, yan ürünler, gaz emisyonları, katı ve sıvı atıklar ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak, metal yapı ürünlerinin üretim süreci sırasında hem çok miktarda atık oluşmakta hemde enerji harcanmaktadır [40, 44]. Yapı ürünlerinin üretimi sırasında enerji tüketiminin yüksek olması, küresel ısınma, asit yağmurları ve kirli sisin oluşmasına neden olmaktadır.

Yapıda kullanımı sürecinde de, enerji, işgücü ve mali değerler tüketilmekte ve yapı ürünleri, araç ve gereçler kullanılmaktadır [91]. Süreç sonunda, gaz emisyonları, katı ve sıvı atıklar ortaya çıkmaktadır. Ahşap gibi bazı yapı ürünlerinin uygulanması sırasında kullanılan bazı yapıştırıcılar, boya ya da vernikler uygulama sırasında ortaya çıkan uçucu organik bileşikler nedeniyle uygulama yapan kişinin sağlığına tehdit oluşturabilir.

Yapının kullanımı sürecinde, enerji tüketilmekte ve süreç sonunda; kullanımı sona eren yapı ürünleri, gaz emisyonları, katı ve sıvı atıkları ortaya çıkmaktadır [91]. Bazı yapı ürünlerinden kaynaklanan yapı içi hava kirleticileri, yapı ürününün kullanımı sürecinde yapının içini kirleterek kullanıcı sağlığına zarar verebilmektedir.

Yapının yok edilme süresinde, enerji, işgücü ve mali değerler tüketilmekte ve yok edilme işlemleri için araç ve gereçler kullanılmaktadır [91]. Süreç sonunda; enerji, gaz emisyonları, katı ve sıvı atıklar ortaya çıkmaktadır. Yapı ürünlerinin yok edilmesi sırasında da uygulanan yok etme teknolojisine göre oluşan farklı atıklar çevre için zararlı olabilmektedir.

Geri dönüşüm sürecinde, enerji, iş gücü ve mali değerler tüketilmekte ve geri dönüşüm işlemi için makine, araç ve gereçler kullanılmaktadır [91]. Süreç sonunda; yapı ürününün geri dönüşümü ile elde edilen hammadde ya da ürünler, gaz emisyonları, katı ve sıvı atıklar oluşabilmektedir. Geri dönüştürülmüş yapı ürünlerinin kullanımı; hammadde kaynaklarının tüketimini azaltmakla birlikte ve ürünlerin yok edilmesi sırasında oluşan zararların ve harcanan enerjinin azaltılmasını da sağlamaktadır. Ancak bazı durumlarda tam tersine geri dönüşüm işlemleri zor, karmaşık ve maliyeti yüksek olmaktadır ki bu yüzden çevreye etkisi kötü yönde olabilmektedir (küresel ısınma) [89]. Bu süreç konu kapsamındaki yapı malzemelerin geri dönüşümü sırasında detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Yaşam dönemi değerlendirmesinde, yapı ürününün yaşam süreci boyunca çevreye doğrudan ya da dolaylı olarak etkimektedir. Bu süreçlerde oluşabilecek olumsuz etkiler sonucu kullanıcı için üretilmiş bir yapı bazen sağlıksız bir yapma çevre haline gelebilmekte ve doğal çevre de bundan etkilenebilmektedir. Bu nedenle, tasarımcının yapı ürünü belirleme kararını kolay ve doğru bir şekilde alabilmesi, yapı ürünü üreticisinin ve kullanıcısının bilinçlendirilmesi, çevre etkilerine ilişkin yaptırımların oluşturulması ve ileriye dönük olarak sürdürülebilir yapı teknolojilerinin

geliştirilmesi için yaşam dönemi değerlendirme araçlarının/modellerinin tüm dünya ülkeleri ile birlikte ülkemizdeki kullanımının da yaygınlaştırılması gerekmektedir [92].

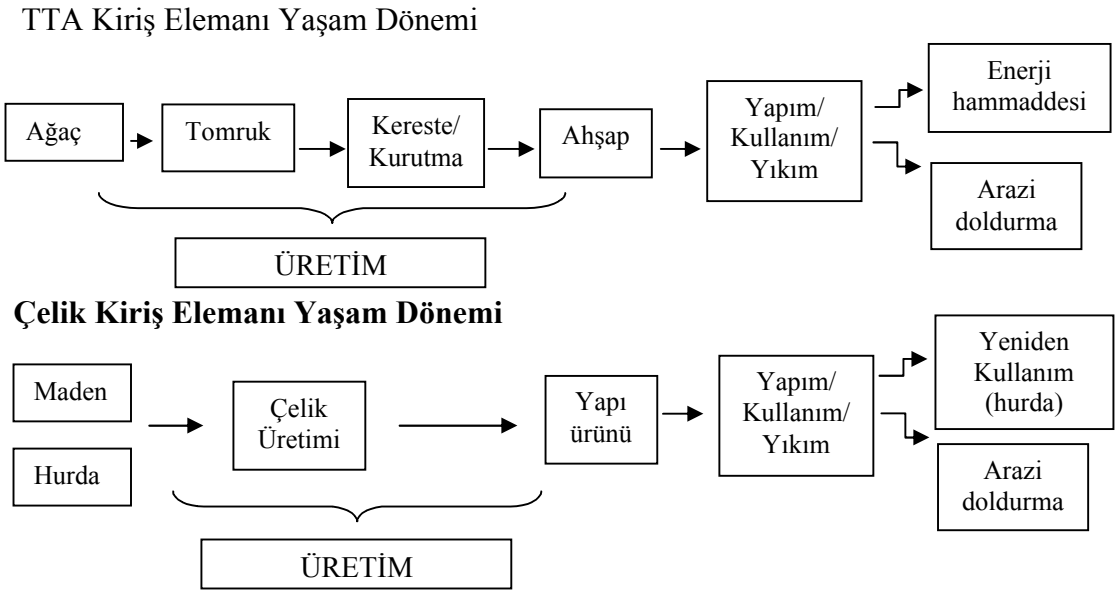
Ancak, bu modellerin bağımsız kurumlar tarafından kurulmuş ve yönetiliyor olmalarına karşın, her ülkenin kendi şartlarına bağlı olarak öncelikle kendi ülkelerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş olmalarından dolayı yeterince açık ve karşılaştırılabilir olmadıkları gibi görüşler de bulunmaktadır. Buna karşılık Rio Zirvesi sonucunda ISO tarafından 1996'dan itibaren yürürlüğe konan bir dizi standart sayesinde bu konu güncel konular arasına girmiştir. Örneğin, ISO 14000 serisi "Çevre Yönetimi" konularını kapsamakta ve ISO 9000 "Kalite Sistemleri" ile birlikte kullanılmaktadır [42]. Yapılarda sürdürülebilirlik konusu ise ISO 15392, ISO 21929-32 standartlarında ele alınmaktadır. Türkiye' de de 9 Ağustos 1983 tarihinde Çevre Kanunu yürürlüğe girmiştir. Kanunun amacı, "bütün vatandaşların ortak varlığı olan çevrenin korunması, iyileştirilmesi; kırsal ve kentsel alanda arazinin ve doğal kaynakların en uygun şekilde kullanılması ve korunması; su, toprak ve hava kirlenmesinin önlenmesi; ülkenin bitki ve hayvan varlığı ile doğal ve tarihsel zenginliklerinin korunarak, bugünkü ve gelecek kuşakların sağlık, uygarlık ve yaşam düzeyinin geliştirilmesi ve güvence altına alınması için yapılacak düzenlemeleri ve alınacak önlemleri, ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak belirli hukuki ve teknik esaslara göre düzenlemektir" olarak belirtilmektedir [93]. Kanunda; çevrenin korunması, çevresel etki değerlendirmesi, zararlı kimyasal maddeler, çevre kirliliğinin önlenmesi ve denetime ilişkin genel ilkeler belirlenmiştir. Günümüzde doğal çevre ile bire bir etkileşimde olan mimarlık ve inşaat sektörünün de bu kanuna uygun yapma çevreler oluşturması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında bir sonraki bölümde sağlık, çevre ve enerjiden tasarruf konuları göz önüne alınarak, geniş açıklıklı yapılarda kullanılan tutkallı tabakalı ahşap, çelik ve prefabrike BA kirişler yaşam dönemi değerlendirmesi açısından karşılaştırılmaktadır.

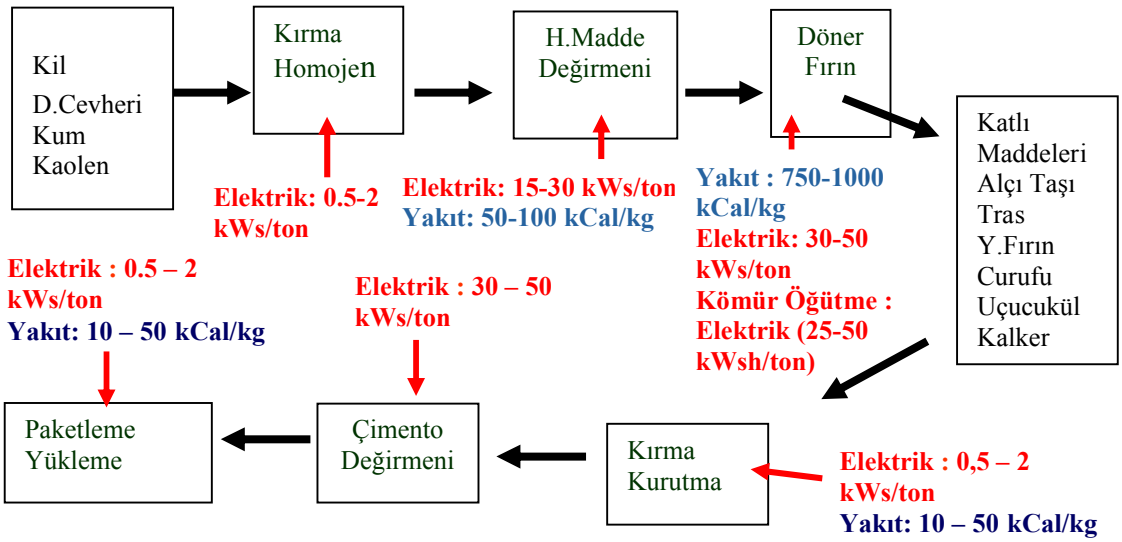
5.2 Geniş Açıklıklı Yapılarda Kullanılan Kirişlerin Yaşam Dönemi Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması

Prefabrike BA, çelik ve TTA kiriş elemanların yaşam dönemi değerlendirmelerinin karşılıştırılması amacıyla yaşam dönemleri Şekil 5.2'de, ayrıca beton üretimi

sırasında kullanılan çimentonun, betonarme kirişlerin yaşam dönemini doğrudan etkilediği için üretimi sırasında harcanan enerji ve gaz salımları şekil 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Prefabrike BA, Çelik ve TTA kirişlerin yaşam dönemleri



Şekil 5.3: Çimento üretim süreci [94]

Çalışma kapsamında, malzemelerin üretiminden- geri dönüşümüne kadar olan süreçlerinin (beşikten-mezara) çevreye etkileri ve gaz salımları, tüketilen enerji ve hammadde başlıkları altında ele alınmaktadır. 2002 Norveç Üniversitesi Orman Bilimleri Bölümünün yaptığı araştırmada taşıyıcı sistem incelendiğinde ve aynı projede farklı sistemler için aynı dış kabuk kabulu yapıldığında yapının oluşumu ve yıkımı arasındaki harcanan enerji ve gaz salımları birbirine yakın belirlendiği için göz ardı edilerek bu çalışmada yalnız yapı ürününün üretilmesi ve yıkım sonrası süreçteki değerlendirmeler karşılaştırılmıştır [95]. Ayrıca, hammaddenin ve işlenmiş malzemelerin taşınması önemli miktarda enerji ve kaynak tüketimine ve gaz salımına neden olabilmektedir. Taşımada tüketilen tüm enerji miktarının belirlenmesi, malzemenin ağırlığı, taşındığı mesafeler ve taşıma tipi gibi kriterlere bağlı olduğundan hesaplanması güçtür. Ancak, ağaç malzemenin birim hacimdeki ağırlığı diğer malzemelerden daha düşük olduğundan (Sarıçamda 0.52 g/cm³, Çelikte 7.8 g/cm³), bu bakımdan ağaç malzemenin tercih edilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır [90].

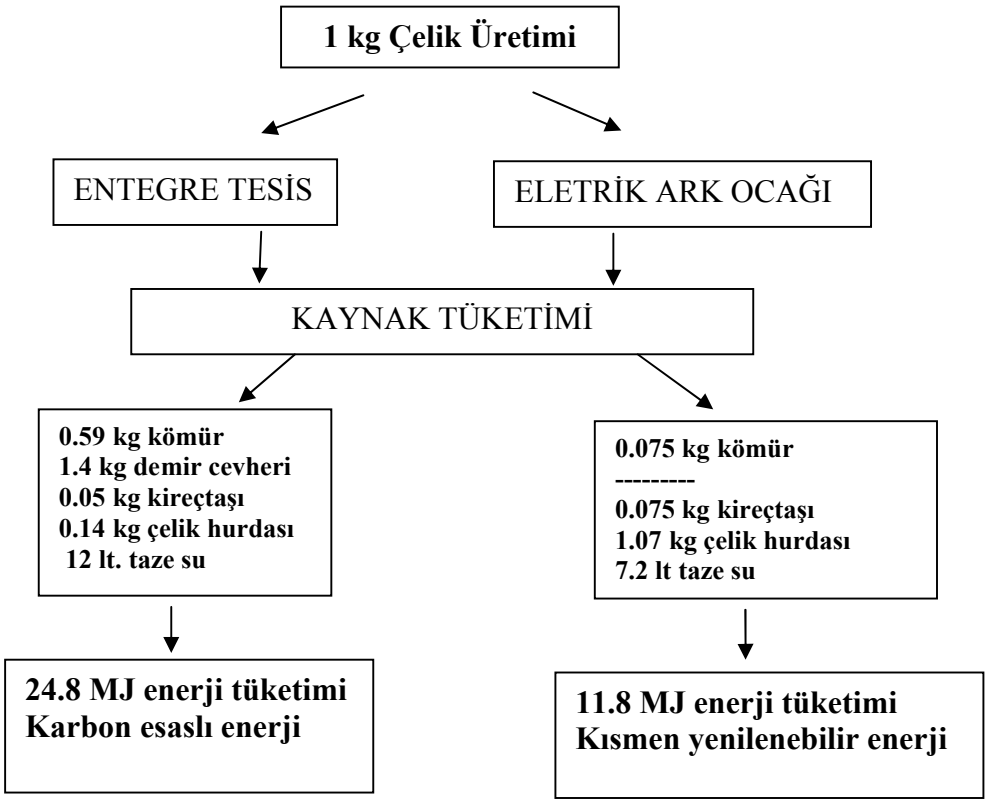
Literatürde taşımada farklı kilometre başına enerji tüketimi için farklı değerler verilmektedir. Bunların farklı olması genel toplam yükteki (aracın büyüklüğü/ ağırlığı, motor tipi, yakıt tipi, içindeki yakıtın ağırlığı, yolcuların ağırlığı gibi) değerlerin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak, Kanada 1.18 MJ/ton/km (Trusty 1993), Danimarka 1.44 MJ/ton/km (Krogh 1994), İsveç (Uzun mesafe) 1.0 MJ/ton/km, İsveç (Kısa mesafe) 2.7 MJ/ton/km, İngiltere 4.5 MJ/ton/km (West 1994), Amerika 2.13 MJ/ton/km (Malin 1996) olarak gösterilmektedir [96].

5.2.1 Enerji Tüketimi

Çelikler içerdikleri krom, demir, nikel gibi elementlerin eldesiyle başlayarak enerji tüketiminde rol oynarlar. Bitmiş çelik ürünün eldesi sırasında harcanan enerjinin %60'lık kısmı madenlerde gerçekleşmektedir. Yaklaşık %10'luk dilimlerde çelik üretimi, elektrik üretimi ve hammaddeler için tüketimi söz konusudur. İşlem aşamaları sırasında, elektrik ark ocağında en yüksek enerji harcanmaktadır. Bunun yanı sıra sürekli hadde mili, soğuk haddeleme mili ve yardımcı uygulamalar için de enerji kullanımları gerçekleşmektedir. Bunların dışında üretim sırasında kullanılacak yakıt türü ve nakliye sırasındaki enerji kullanımı da tüketime etki eden faktörlerdendir [97]. Ark ocaklı tesislerde, enerji tüketiminin % 60-65'i elektrik, %

30-35'i doğalgaz ve % 1-5'i motorin, entegre tesislerde, enerji tüketiminin % 65-75'i kömür, % 5-6'sı elektrik, % 5'i petrol ve % 10-15'i doğal gazdan oluşmaktadır [98].

Entegre çelik üretim tesislerinde, açık ocak (AO), elektrik ark fırını (EAF), temel oksijen fırını (BOF) gibi fırınlarda demir-çelik üretimi yapılmaktadır. Bir ton çelik için AO fırınlarında 0.4 ton, EAF de 1 ton ve BOF de 0.2 ton hurda çelik kullanılır [98]. Çelik üretiminde, madeni ana hammadde olarak kullanıldığı zaman kok fabrikası, yüksek fırın, çelikhanelerde işlem görür. Bu şekilde, 1 ton çeliğin redüklenmesi 7.400 MJ enerji harcanır [42]. Elektrik ark ocaklarında hurda ile çelik üretiminde ise, 1 ton çelik hurdasının ergitilmesi için 1.350 MJ enerji gerekmektedir. Üretimde cevherin alternatifi olarak hurda kullanmanın gerekli enerji miktarının %74'e yakın azalttığı görülmektedir. Şekil 5.4'te 1 kg çelik üretimi sırasında gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi görülmektedir [42, 45, 98, 99].

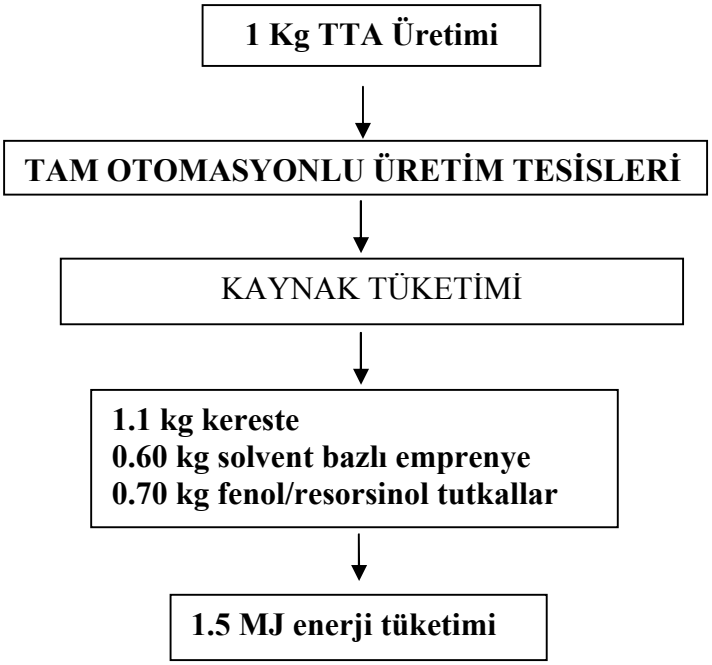


Şekil 5.4: 1 kg çelik üretimi için gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi [42, 45, 98, 99]

1950 yıllarından itibaren, çelik üretiminde enerji tasarrufu sağlayan büyük gelişmeler olmuştur. Bunlardan başlıcaları, yüksek fırınlarda pelet (talaş tozu) kullanımı ve yeni teknolojilerin kullanımı neticesinde ton sıcak maden başına yakıt tüketiminin azaltılması, çelik üretim aşamasında "Siemens Martin" ocaklarının oksijen

konvörtörlerine (BOF) dönüştürülmesi, sürekli döküm teknolojisinin yaygınlaştırılması, elektrik ark ocağı sektörünün gelişmesi ve sıcak maden aşamasına alternatif olarak yaygınlaşmasıdır [98].

1 kg. TTA üretimi için ülkemizde üretimi sırasında 1.5 MJ enerji harcanmaktadır (Şekil 5.5). Bu enerjinin 1 MJ'ü fosil yakıt, 0.5 MJ'ü elektrik enerjisidir. Ahşap kiriş üretimi sırasındaki üretim aşamaları, ağaçların kesimi, fabrikaya taşınması, kerestelerin hazırlanması, kurutulması ve TTA'nın üretimi sırasında görülen diğer aşamalardan oluşmaktadır. Ülkemizdeki ağaçlar strüktürel ahşap olarak kullanılmadığı ve yurt dışından ihraç edildiği için, tez kapsamında bu bölümde İngiltere Brighton Üniversitesinin yapmış olduğu bir araştırma kaynak olarak kullanılmıştır [96]. Çizelge 5.1'de TTA üretimi sırasında harcanan enerjiler detaylı olarak gösterilmektedir. Çizelgedeki enerji katsayıları kullanılan araçların saatteki harcadıkları enerjiye göre hesaplanmaktadır. Kullanılan araçların değişiklik göstermesi ile tüketilen enerjide de farklılıklar görülmektedir. Bu araştırmada 2100 kg TTA kiriş üretimi için gerekli enerji hesaplanmıştır ve buna göre 1 kg için 1.43 MJ enerji gerekmektedir ki, bu veriler diğer literatür araştırmalarında hesaplanan enerjilere hemen hemen yakındır. Bu enerjinin %75'ine ahşabın kurutulması aşamasında ihtiyaç duyulurken, kurutma enerjisinin %85'i de kereste üretimi sırasında ortaya çıkan atık ahşaptan elde edilmektedir [100].



Şekil 5.5: 1 kg TTA üretimi için gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi [90, 95, 85, 100, 101]

Eğer ahşap geri dönüşümünde doğalgaz veya kömüre alternatif yakıt (pelet) olarak kullanılırsa üretimde tüketilen enerjiden daha fazla kazanç sağlanabilmektedir, alan dolumu yapıldığında ise tekrar bir miktar enerji harcanmaktadır [90, 95].

Çizelge 5.1: 2100 kg TTA kiriş üretimi için gereken toplam enerji çizelgesi [96]

İşlem	**Yorum**	**Enerji**
Ağaç Kesim (elektrikli testere)	Her biri 3 metrelik toplam 300 metrelik kütük Bir kişi 8 saatte / 4.6×8=36.8 kWs	132.84 MJ
Taşıma (Yükleme ve boşaltma)	Her yüklemede 10 kütük, toplam 100 kütük. Bir yükleme 10 dakika toplam 100 dakika= 1.67s 48.5×1.67=80.99 kWs	291.56 MJ(yükleme) 291.56 MJ(boşaltma)
Kereste Üretimi	Dakikada 1 metre / 3 metrelik 100 kütük 300 dakika = 5 saat / 7.5 × 3= 22.5 kWs	81 MJ
Kurutma	10 saat / 41.5 × 10=415	1494 MJ
Fırından taşıma	1 saat / 17.5 kWs	63 MJ
Birleşim	14 saat / 1.25×14=17.5 kWs	63 MJ
Laminasyon	1 metre tutkallama 2 dakika / 1200 metre için 40s 3.7 × 40 = 148 kWs	532.8 MJ
Kiriş Üretimi	7 metrelik 34 kiriş / 1 kiriş 10 dakika Toplam= 5.67 saat / 2.7×5.67=15.31 kWs	55.11 MJ
TOPLAM		3004.15 MJ

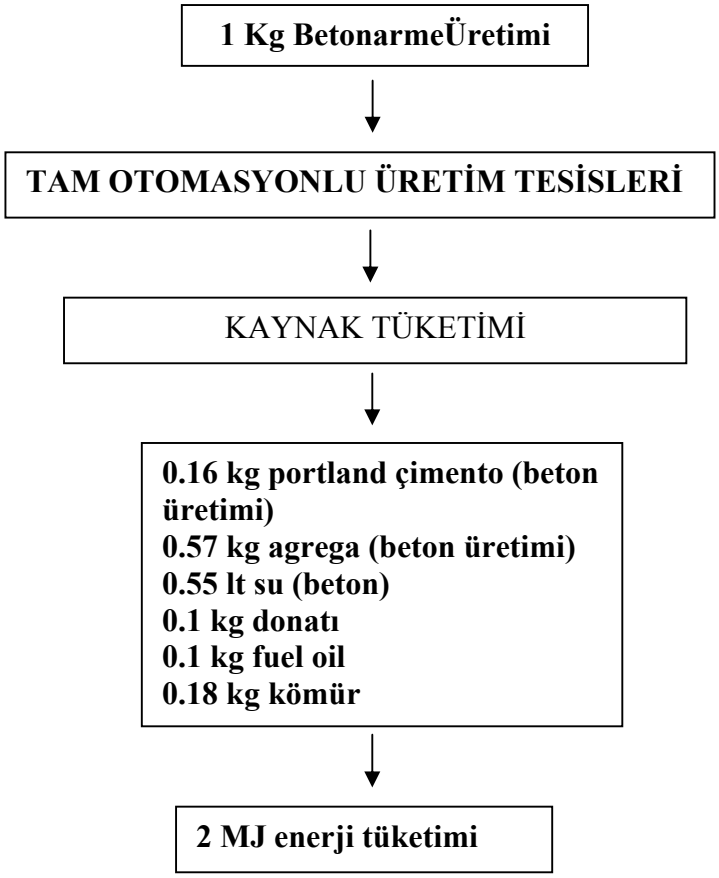
Betonarme üretiminde en önemli enerji tüketimi, betonun ana maddesi olan çimento üretiminde ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde 2006 yılı değerlerine göre 47.400.159 ton/yıl üretim miktarıyla çimento sektörü önemli miktarda enerji (90-120 Kws/ton enerji, 100kg/ton fuel-oil, 185 kg/ton kömür) tüketmektedir [29, 102, 103]. Çimento üretimindeki enerji tüketimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Çimento üretiminde kullanılan elektrik enerjsinin %40'ının öğütme sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu

nedenle, elektrik enerjisinden tasarruf sağlanması amacı üreticileri daha az enerji kullanan öğütme metodları aramaya sevketmiştir. Dolayısıyla yeni eziciler, kırıcılar, öğütücüler, separatörler ve değirmenler geliştirilmiştir. Çarpmalı kırıcılar, şakuli tipli valsli değirmenler veya yüksek basınçlı merdaneli öğütücüler, klinker, kömür veya hammadde öğütmede %15-20 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yüksek randımanlı ayırıcılar kurulması suretiyle %15-20 enerji tasarrufu sağlananabilmektedir. Yeni uygulanan yoğun-faz pnömatik taşıma sistemleri enerji tüketiminde önemli tasarruf sağlamaktadır [29].

Enerji tasarrufunun önemli bir yolu da çimentoda katkı maddeleri kullanılmasıdır ve bu yöntem dünyanın birçok bölgesinde gittikçe büyük önem kazanmaktadır. Dünya üretiminin yaklaşık 1/3'ü katkılı çimento'dur. Dünyada çimento üretiminde kullanılan uçucu kül miktarı, 40 milyon ton'dan fazladır. Birçok ülkede ve özellikle Akdeniz ülkelerinde tabii puzzolanlar artan ölçüde kullanılmaktadır. Ülkemiz doğal puzzolan açısından zengin kaynaklara sahiptir. Bu nedenle üretilen çimentoların yaklaşık %84'ü puzzolan katkılı çimentolardan oluşmaktadır. Bazı ülkelerde enerji tasarrufu amacıyla çimentoya silika tozu, kalker tozu ve atıl dolgu maddeleri katılmaktadır [29]. Beton üretiminde projede belirtilen özellikleri sağlamak esas olduğundan bu özellikleri sağlayan her türlü çimentonun kullanılabilmesinde sakınca bulunmamaktadır. Ayrıca bu ifade TS 11222 Hazır Beton Standartları ile TS 500 Betonarme Standardında da yer almıştır.

Prefabrike BA elemanların üretiminde donatı ve kalıp malzemesi olarak kullanılan çeliğin de enerji yoğun bir malzeme olması ekolojik yönden olumsuz olarak değerlendirilmektedir. Metaller, yapı malzemeleri arasında, hammaddelerinin çıkarılışı, üretimi ve taşınmalarıyla ilgili olarak tükettikleri enerji (embodied energy) açısından en yüksek çevresel etkiye sahiptir [104]. Bir kg betonun üretimi için yaklaşık 1 MJ enerji tüketilirken, bir kg çeliğin üretimi için ise yaklaşık 25 MJ enerji tüketildiği belirtilmektedir [104]. Yapı elemanı üretim tesisinin her biriminde genellikle ayrı bir beton üretim tesisi bulunmaktadır. Bu durum, malzemenin taşınması için gerekli enerjiyi ortadan kaldırmakla birlikte yeterli çevresel önlemler alınmamış beton üretim tesislerinin çevreye olumsuz etkilerine yol açabilmektedir [105]. Prefabrike eleman üretiminde olumsuzluğa neden olan etken ise enerji tüketimi, buna bağlı olarak emisyon oluşumu ve gürültü oluşumudur. Prefabrike yapı elemanı üreten bir tesisten alınan bilgilere göre; yapı elemanı üretiminde tüketilen

elektrik enerjisinin yaklaşık 18 Kws/m³, yakıtın ise 23 Kws/m³ (doğalgaz) olduğu ifade edilmiştir [14]. Geri dönüştürmek bazı malzemeler için uygun olsa da hazır beton atıklarının geri dönüştürülerek yeniden kullanılması için gereken sistemin pahalı olması nedeniyle, geri dönüşüm yerine betonun başka bir amaçla (uygun bir beton eleman üretimi, yol yapımı vb.) kullanımı da uygun bir çözüm olmaktadır. Ayrıca geri dönüşüm için de enerji kullanımı gerekmektedir. Betonun geri dönüşüm işlemi için tüketilen enerji, beton üretimi için tüketilen ilk enerjiden %5 daha fazladır [106].



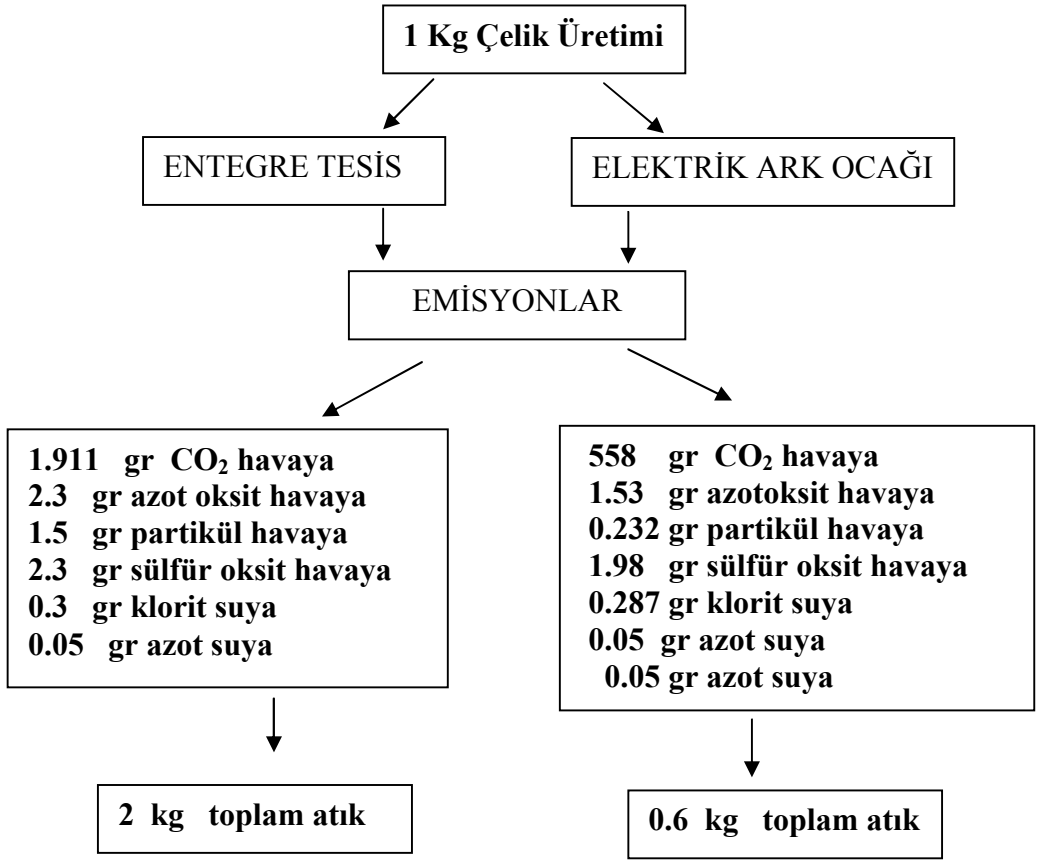
Şekil 5.6: 1 kg betonarme üretimi için gereken enerji miktarı ve kaynak tüketimi [14, 29, 99, 102, 104, 105, 106]

5.2.2 Gaz Salımları

Ahşap, BA ve çelik üretimi sırasında kullanılan enerji kaynağı önemli rol oynamaktadır. Günümüzde üretim sırasında kullanılan, doğalgaz en temiz enerji kaynağı iken, kömürden elde edilen elektriğin, doğalgaza oranla 5 kat daha fazla çevre kirliliğine yol açtığı görülmektedir. Yenilenebilir kaynakların ise çevre etkileri yok denilebilecek kadar az kabul edilmektedir [107].

Çelik kiriş üretimi sırasında atıkların bir kısmı havaya bırakılırken bir miktarı da suya atılmaktadır. Havaya bırakılan maddeler Karbondioksit, karbon monoksit, nitrojen oksitler, sülfür oksitler, krom, molibden, nikel, dioksin ve çeşitli partiküllerdir. CO_2, CO ve nitrojen oksitler sera gazı etkisi göstererek küresel ısınmaya neden olurken, krom nikel ve dioksin ise zehirli kimyasallardır. Sülfür oksitler ve nitrojen oksitler havadaki su ile birleşerek asit yağmurlarına neden olabilmektedir. Amonyak, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, mangan ve nikel hem toksin hem de zararlı maddelerdir. Nitrat ve flüoritte zararlı maddeler arasında sayılmaktadır [107].

1 ton çeliğin redüklenmesi ile 2200 kg CO_2 üretilmektedir. Elektrik ark ocaklarında hurda ile çelik üretiminde ise, 1 ton çelik hurdasının ergitilmesi sırasında 280 kg CO_2 üretilmektedir. Üretimde cevherin alternatifi olarak hurda kullanmanın üretilen CO_2 miktarını azalttığı görülmektedir. Şekil 5.7'de 1 kg çelik üretimi sırasında üretilen atık miktarı görülmektedir [42, 45].



Şekil 5.7: 1 kg çelik üretimi sırasında üretilen atık miktarı [42, 45, 90, 98, 99]

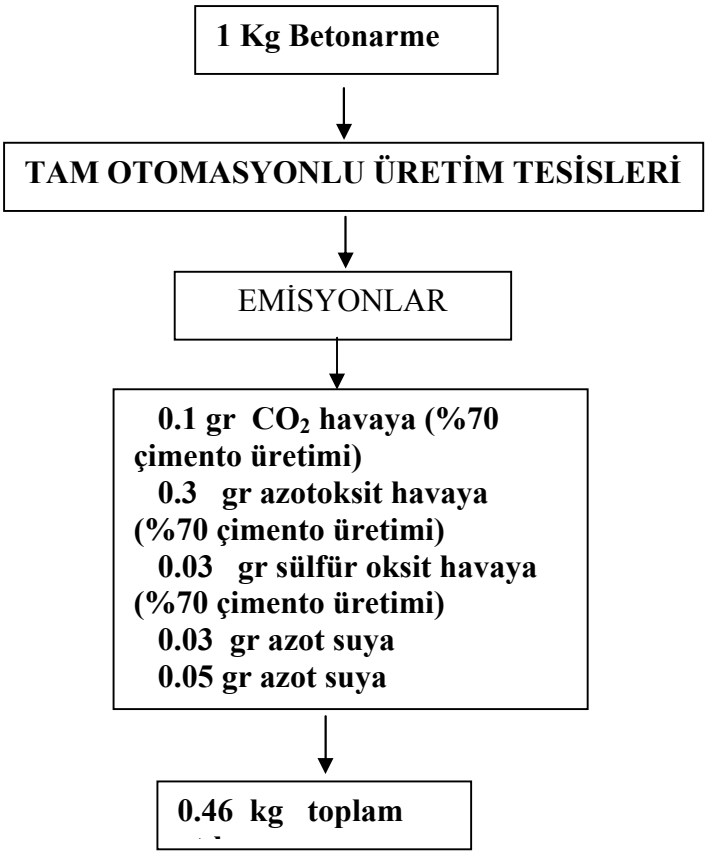
Ayrıca her 1 kg çeliğin üretimi sırasında hidrokarbonlar ile diğer organik bileşikler, sülfitler, fenoller, nişadır, metaller, siyanür, sıvı ve katı yağlar içeren yaklaşık 150 litre su bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır [90]. Kullanılmış çelik çöpe atılmayıp geri kazanıldığında ve kullanılmış çelikten çelik üretildiğinde atık su kirlenmesinde %76, hava kirlenmesinde %86 azalma olduğu görülmektedir.

Çeliğin üretimi sırasında dolaylı ya da dolaysız olarak gerçekleştirilen nakliyatlar sırasında da (hammaddenin çıkarıldığı yerden taşınması, üretilen çeliğin şantiyeye getirilmesi...) çevreye etki eden gaz salımları yapılmaktadır. Burada da deniz yolu ya da demiryolunun çevreye daha az zarar verdiği görülmektedir [107].

Betonarme üretiminde, ilk aşama olan betonun içerdiği malzemelerden 1 kg çimento üretimi sırasında yaklaşık 2 kg CO_2 üretilmektedir [108]. Bu sürece kireçtaşının hazırlanması da dahildir. Aynı şekilde 1 kg çimento üretiminde, 240 gr SO_2 ve 6 kg.dan fazla azot oksit üretilmektedir [90]. Özellikle fosil kaynaklı enerji kullanımı nedeniyle sera gazı denilen zararlı emisyonlar oluşmaktadır. Çimento üretiminde enerji gereksinimi için fosil kaynaklar yanında doğal gaz, kullanılmış makine yağları ve araba lastikleri gibi atıkların kullanılması, bunların azalmasına katkıda bulunsa bile, yanmadan dolayı yine zararlı emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Çimento üretimi sırasında, sera gazları yanında ağır metaller, hidrokarbonlar ve karbon monoksit gibi atmosferi kirletici diğer kimyasallar da yayılmaktadır [105, 109].

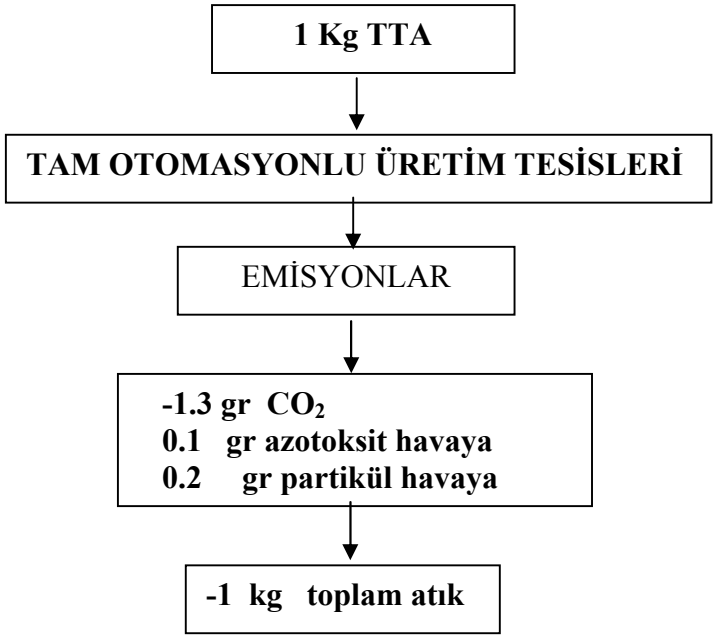
Hazır beton üretiminde hammaddelerin taşınması, depolanması, üretim yerine aktarılması sırasında oluşan toz emisyonları hava kirliliğine neden olmaktadır. Kullanım fazlası beton nedeniyle oluşan katı atık ve transmikserlerin yıkanması ile kimyasal madde ve yakıt depolarından oluşabilecek sızıntılar da toprak kirliliğinin, dolayısıyla da su kirliliğinin kaynağı olmaktadır. Hazır beton üretim alanlarında yıkama suyunun alkalinite düzeyi 12 pH'a kadar çıkabilmektedir [108].

Çeliğin yaşam döngüsünün ilk aşaması olan madencilik aktiviteleri sırasında oluşan toprak ve habitat kaybı ile üretiminden kaynaklanan hava ve su kalitesi bozulması gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır [110]. Donatı ve kalıp malzemesi olarak kullanıldığında çelikle ilgili bu özellikler betonarme elemanlara da yansımaktadır. Şekil 5.8'de 1 kg betonarme üretimi sırasında ortaya çıkan gaz emisyonları gösterilmektedir.



Şekil 5.8: 1 kg betonarme üretimi sırasında üretilen atık miktarı [90, 105,108, 109, 110]

Ağaçlar aktif büyüme periyotları süresince fotosentez işleminin bir parçası olarak havadan CO_2 absorbe ederek, karbonu odunsu dokuya bağlar. Tam kuru yoğunluğu 0.50 g/cm³ olan 1 m³ odun hammaddesi 0.25 ton karbon, 0.935 ton karbondioksit depolamaktadır [5]. Odunsu dokuda depolanan karbonun doğaya dönmesinin engellendiği sürece, yani ağaç malzemenin yanmasına ya da çürümesine izin verilmediği sürece, doğadaki sera etkisi azalacaktır. Karbon depolama, ekosistemde sürekli devam edebilir. Ancak, dikkatlerden kaçan bir konu, yaşlanan ağaçların CO_2 soluyup, C depolama kabiliyetlerinin giderek azalmasıdır. Bu gerçek gözlerden kaçtığı için, sadece ağaçlar ve karbondioksit arasındaki ilişki nedeniyle, bazı mimarlar ve inşaat mühendisleri, ağaçların kesilerek kereste üretilmesinin, sera etkisini önemli derecede artırdığını düşünmektedirler. Oysa bu tamamen yanlış bir görüştür. Keresteden üretilen çeşitli malzemelerin (strüktürel TTA gibi) çürütülmeden uzun yıllar kullanılması, karbonun bu süre içersinde ağaç malzemede saklanmış vaziyette kalmasını sağlamaktadır [90]. Şekil 5.9'da 1 kg TTA üretimi sırasında ortaya çıkan gaz salımı gösterilmektedir.



Şekil 5.9: 1 kg TTA üretimi sırasında üretilen atık miktarı [5, 90, 100, 105]

5.2.3 Hammadde Tüketimi

Çelik üretiminde girdiler, hammaddeler, hurda harcanışı ve su kullanımıdır. Günümüzde gelişmiş ülkelerde, üretimde kullanılan hammaddeler dışında üretim büyük oranda hurda kullanımına dayanmaktadır (%60-70 oranda). Ayrıca üretim sırasında fire olarak tanımlanan çelikler de daha sonra toplanarak tekrar çelik üretim döngüsüne dahil olur.

Çelik üretimi sırasında çevre açısından bakıldığında kullanılan önemli diğer bir tüketim malzemesi sudur. Suyun büyük bir kısmı elektrikli ark ocağında, sıcak haddeleme ve bitiş elemanının sağlanması sırasında az bir oranda da soğuk haddeleme ve yardımcı uygulamalar esnasında kullanılmaktadır [97]. Şekil 5.4'te 1 kg çelik üretimi sırasındaki kaynak tüketimi gösterilmiştir. Kullanılmış çelik çöpe atılmayıp geri kazanıldığında ve kullanılmış çelikten çelik üretildiğinde hammaddenin %90 korunduğu, su tüketiminin % 40 azaldığı görülmektedir.

TTA kiriş üretiminde yaklaşık 1.2 kg kütükten, 1 kg'lık TTA elemanı ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte kütüğün keresteye dönüştürülmesi esnasında ortaya çıkan talaş ve odun parçaları gibi atıklar da ahşabın kurutulması esnasında yakıt olarak kullanılırlar. TTA elemanının üretimi sırasında kullanılan diğer kaynaklar olan emprenye ve tutkalların miktarları Şekil 5.5'te gösterilmektedir.

Betonarmede, enerji tüketimi bölümünde bahsedildiği gibi, bileşenleri bazında incelendiğinde çimento üretiminde 100kg/ton fuel-oil, 185 kg/ton kömür tüketilmektedir [29, 102]. Hazır beton üretim aşamalarında en büyük çevresel kaygı su tüketimi ve su kirliliğidir. Edinilen bilgilerden; betonarme hazır yapı elemanı üretimi için tesisteki beton santralinde üretilen betona yaklaşık 165 lt/m^3 su harcandığı belirlenmiştir [19]. Transmikserlerin ve tesis alanının yıkanması ile oluşan atık suların denetimi tüketimin ve kirliliğin azaltılması açısından önemlidir [105]. Yıkama alanlarında her gün bir aracın yıkanması için yaklaşık 2.273.000 lt su tüketilmektedir [111]. Üretim sürecinde oluşan atık su, tesis zemini yıkama suyu ve yağmur suları tesisin zemininde oluşturulan eğim ve kanallar yoluyla çökeltme havuzlarında toplanarak çeşitli işlemlerden sonra yeniden üretime katılabilmektedir. Edinilen bilgilerden; 1 m^3 betonarme hazır yapı elemanı üretiminde tüketilen su miktarının yaklaşık 0.55 m^3 olduğu anlaşılmaktadır [19, 105]. Şekil 5.6'da 1 kg betonarme üretimi sırasındaki tüm kaynak tüketimleri gösterilmiştir.

5.3 Genel Karşılaştırma Sonuçları

Önceki bölümlerde çelik, prefabrike betonarme ve TTA kirişlerin üretiminin yaşam dönemleri incelenmiştir. Bu incelemelerin sonuçlarına bakıldığı zaman odun hammaddesi yenilenebilen kaynaklar olan ağaçlardan elde edildiğinden, üretim ve tüketim arasındaki dengelerin iyi kurulduğu bir ormancılık politikası izlenmesi halinde, hammadde çıkarılmasıyla çevreye zarar verilmesi pek fazla söz konusu olmayacaktır. Oysa alternatif malzemeler için aynı şeyleri söylemek mümkün değildir. Örneğin; çelik, yenilenemeyen kaynaklar olan demir cevheri, metal alaşım cevherleri, kömür ve kireç taşından üretilmektedir. Bu kaynakların yüzlerce yıl yeteceği garanti edilmekle beraber, çeliğe bazı özellikleri veren alaşımları oluşturmak için ihtiyaç duyulan krom, nikel, kobalt ve vanadium gibi maden kaynakları için bu süre gerçekçi görülmemektedir [90]. Bu nedenle son yıllarda çelik üretiminde geri dönüştürülmüş çelik hurdaları kullanılarak, demir cevheri kullanımı azaltılmaktadır.

Ağaç malzemeye alternatif olan yapı malzemelerinin yani çelik, alüminyum ve betonun atmosfere karbondioksit yaymadıkları ifade edilmektedir. Oysaki ağaç malzeme yerine kullanılması önerilen bu malzemelerin üretimi aşamasında atmosfere büyük miktarda CO_2 ve diğer gazlar salındığı bilinmektedir. Bu bakımdan bir

karşılaştırma yapıldığında; çelik yapımında yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen fosil yakıtlar kullanılmakta ve 1 ton çelik üretiminde atmosfere yaklaşık 2 ton CO_2 salınmaktadır [5]. 1 ton çimento üretiminde 240 gram kadar SO_2 ve 6 kg'ın üzerinde azot oksitlerin atmosfere salındığı görülmektedir. Tomruktan kereste üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksitin 15 katından daha fazlası, kereste tarafından depolanmakta, çelik ve betonarmenin depoladığı miktar ise sıfır olarak kabul edilmektedir [90].

Ayrıca, enerji kullanımlarında ahşap üretim aşamasında ihtiyacı olan enerjinin yaklaşık %80'ini kendi atıkları ile sağlayabilirken, çeliğin üretim atıkları ile enerji tüketimini %74'ünün ve betonarmenin geliştirilmiş üretim teknolojiler ile enerji tüketiminin %14'ünün azaltılabileceği görülmektedir. Çizelge 5.2'de de görüldüğü gibi ahşap eleman üretiminde enerji üretimi ve gaz salımı diğer elemanlarınkine göre çok daha azdır.

Çizelge 5.2: 1 kg Çelik, Prefabrike BA, TTA kiriş üretiminde tüketilen enerji ve CO_2 salım miktarları

* 1 kg yapı ürününün üretimi	ÇELİK	Prefabrike BA	TTA
Enerji Tüketimi	11.8 MJ	2 MJ	1.5 MJ
Gaz Salımı	0.6 kg (0.55 kg CO_2)	0.45 kg (0.1 kg CO_2)	-1 kg (-1.3 kg CO_2)

6. TÜRKİYE'DEN TTA KİRİŞLİ BÜYÜK AÇIKLIKLI BİR UYGULAMA ÖRNEĞİNİN ALTERNATİF KİRİŞLERLE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

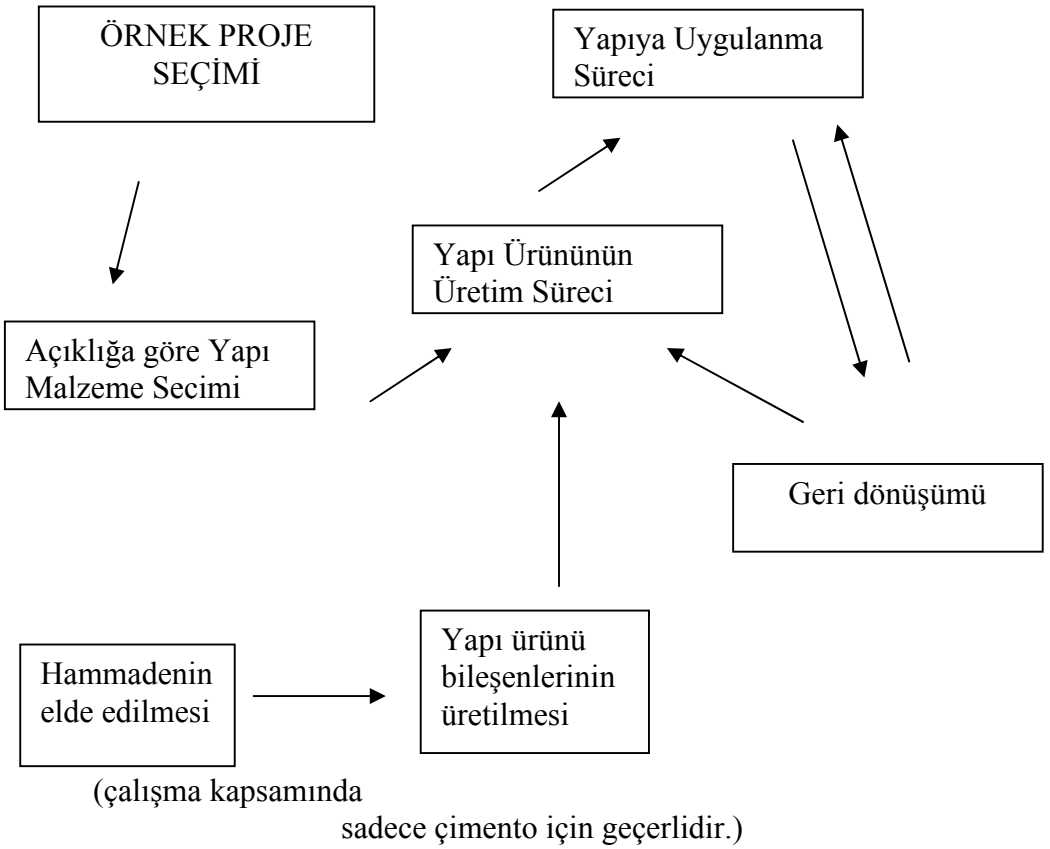
Büyük açıklıklı yapılarda kullanılan strüktürler yapı malzemesi bazında incelenen, mimarın tasarımındaki açıklığa göre seçebileceği sistemler performansları ve bu sistemlerin birim ölçülerinin yaşam dönemi değerlendirmeleri karşılaştırılmış ve bu bölümde Türkiye'den örnek bir proje ele alınarak bu süreç değerlendirilecektir.

Çalışma kapsamında, örnek proje olarak ülkemizde uygulanmasına sık rastlanmayan tutkallı tabakalı ahşap kirişlerle uygulanan Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu ve derslikleri seçilmiştir. Bu bölümde ele alınan örnek uygulama üzerinde sistemin ve malzemenin nasıl ve ne şekilde kullanıldığı incelenmekte ve bu yapının prefabrike betonarme ya da çelik kirişlerle yapılması durumunda avantaj ve dezavantajları irdelenmektedir. Bu üç ayrı durum, beşinci bölümde verilen yaşam süreçleri bilgileri doğrultusunda karşılaştırma yapılarak örnek uygulama üzerinde en uygun kiriş sistemin seçilmesine çalışılmıştır. Açıklığa bağlı olarak en uygun kiriş sistemlerin seçiminde izlenen karşılaştırma süreci Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Burada süreci başlatan aşama olan uygulanacak açıklığa göre uygun yapı malzemesinin seçimini, yapı ürünün üretilmesi ve uygulanması aşamaları takip eden mimari proje süreci göstermektedir. Bu süreçte yaklaşık olarak ürünün üretimi, uygulanması ve geri dönüşümü de yaşam dönemi analizi bakımından değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında, Şekil 6.1'deki süreç doğrultusunda proje Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu ve derslikleri olarak belirlenmiştir. Mevcut uygulama bazında, proje ve uygulama mimarları ile yapılan görüşmeler sonucu, seçilen malzeme, uygulama süreci ile ilgili veriler alınmıştır. Bu bilgiler ve çalışma kapsamında önceki bölümlerde elde edinilen verilere dayalı olarak genel bir YDD çalışması yapılmıştır. Projenin prefabrike BA ve çelik ile model uygulama aşamalarında örnek firmalardan malzeme seçimi, üretim ve uygulama süreçleri hakkında bilgiler alınmıştır. Bu konuda ülkemizde örnek bir çalışma olmadığı için, yapılan YDD çalışmaları daha

önce yapılan benzer, yerli ve yabancı literatür çalışmaları ile de karşılaştırılarak sonuçların doğruluğu üzerinde tartışılmıştır.

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi YDD sürecini oluşturan yapı ürününün hammadde halden, geri dönüşümüne kadar geçen sürecin ilk aşaması açıklığa göre malzeme seçimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada rol oynayan kişi/kuruluş mimar olduğu için YDD sürecin mimarın önemi bir kez daha anlaşılmaktadır.



Şekil 6.1: Örnek uygulamanın karşılaştırma süreci

Çalışma kapsamında, önceki bölümlerde elde edilen veriler doğrultusunda dolu gövdeli kirişlerin örnek uygulama için en uygun kiriş sistemi olduğu görülmektedir. Malzemelerin, YDD süreçleri boyunca yapıya uygulanma sürecinde enerji ve hammadde tüketimi ve gaz salımı miktarları arasında çok fazla fark olmadığı kabul edilerek göz ardı edildiği daha önceki bölümlerde belirtilmektedir. Ancak, yapıya uygulanma ve montaj bileşimleri yapının performansını doğrudan etkilemektedir. Prefabrike sistemlerin en önemli konusu olan birleşim noktaları, elemanların cinsine ve birleşim yöntemlerine göre çok çeşitli olabilmektedirler. Yatay ve düşey yüklere karşı güvenli olma bu noktaların önemini artırmaktadır. Çizelge 6.1'de prefabrike

BA, çelik ve ahşap dolu gövdeli kiriş sistemlerin uygulama örnek ve yöntemleri gösterilmektedir. Çelik ve TTA kirişler kuru (açık) birleşim ile prefabrike BA ise ıslak (kapalı) birleşim ile uygulanmaktadırlar. Islak birleşimlerde doğru hava şartlarında yapılması zaman faktörünü etkilerken, deprem gibi etkenlere karşı da işçilik faktörünü ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle çelik ve TTA kirişlerin montajındaki kuru birleşim yöntemi daha uygun olmaktadır. Ayrıca prefabrike BA ve TTA'nın birleşimi sırasında ana malzemeden farklı olarak çelik bulonların kullanımı deprem esnasında, montaj noktalarından kırılma ya da çatlama riskleri çelik kiriş uygulamalarına göre daha yüksek olmaktadır [10].

6.1 Özel Irmak Lisesi Kapalı Spor Salonu ve Derslikleri

Bu çalışmanın yazımı sırasında, Türkiye çapında TTA kirişlerin kullanıldığı en büyük ölçekli proje olması nedeniyle bu proje çalışma için örnek olarak seçilmiştir. Özel Irmak Lisesi, İstanbul'un Kadıköy yakasındaki Caddebostan semtinde Cemil Topuzlu Caddesi üzerinde yeşil bir araziye sahip, deniz gören bir alandadır. Projenin mimarı olan Nevzat Sayın, 1200 m²'lik alanı düz ve eğrisel tabakalı kirişlerle geçerek projeyi 1999 yılında tamamlamıştır. Açıklığı 20 m olan spor salonunun tonoz formu, eğrisel kirişlerle oluşturulmuştur. Şekil 6.2'de Özel Irmak Lisesi'nden bazı resimler gösterilmektedir.

Bu çalışma, örnek proje kapsamında bahsi geçen 20 metre açıklığı geçmekte olan ana taşıyıcı düz TTA kirişler ve bu kirişlerin prefabrike BA ve çelik sistemlerle oluşturulan modellerinin YDD açısından karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır [112].



Şekil 6.2: Irmak Lisesinden genel görünüşler [112]

6.1.1 Mevcut Sistemin Yapım Süreci

Mevcut sistemde tonozun aşıkları eğrisel kirişlere, bu eğrisel kirişler ise 20 cm × 80 cm kesitinde, 20 m uzunluğunda düz profilli kirişlere taşıtılmaktadır. Bu düz kirişler, son akslarda, hem tonozu hem de kitaplık döşemesini taşımaktadır (Şekil 6.3-6.4). Sistem aksları 600 cm toplam alan ise 1200 m²'dir. Yapı derslikler ve spor salonu olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır ve derslikler zemin, 1 ve 2. katlardan, spor salonu ise bu 3 kat boyunca yükselen tek kattan ibarettir (Şekil 6.5). Buraya kadar olan kısım 1998 yılında tamamlanmıştır. Yapının formu girinti ve çıkıntılardan uzak sade yapısı, tek bir kesitte uzayan plan şeması, tekrar eden aksları ile prefabrike yapım sistemine oldukça elverişli bir mimari kütledir. Bu nedenle derslikleri oluşturan binanın taşıyıcı sistemi prefabrike betonarme iskelet sistemle kurulmuş ve büyük açıklık olarak geçilen spor salonu bölümü ise yukarıda da belirtildiği gibi 20 cm × 80 cm ebatlarında ve 20 m uzunluğundaki 11 adet TTA düz profilli kirişlere oturan eğrisel formdaki (kemer) TTA kirişlerle geçilmektedir.



Şekil 6.3-6.4: TTA düz profilli kirişler



Şekil 6.5: Yapının kesiti

Tabakalı ahşap yapı elemanlarını üreten Holzbau firmasının bu konuda uzmanlaşmış yapı mühendisleri, proje mimarı ve Yapı Merkezi Statik Bürosu'nun birlikte çalışmaları sonucu projelendirilen tasarımın, uygulama projesi yaklaşık 30 gün sürmüştür. Yapı Merkezi ve mimar tarafından onaylanan projede, bu aşamadan sonra, yapının diğer tamamlayıcı ayrıntıları bu temele göre şekillendirilmiştir. Ayrıca, bağlantı ankrajları vb. mekanik birleşimler bu aşamada kesin olarak

saptanmıştır. Ölçüleri kesinleşen ahşap yapı elemanlarının kesit ölçüleri, yapının temel taşı olan yapı blok ölçülerinin 20 cm. modülüne göre uyarlanmıştır [112].

Projede kullanılacak kirişler için istenilen özelliklerden TTA kiriş elemanlarının Türkiye'de yerli üretimi olmaması nedeniyle İtalya'dan Holzbau firması ile anlaşılmış ve Türkiye temsilcisi olan Vedat Tokyay'ın danışmanlığında taşıyıcı sistemi projelendirilmiştir. TTA kirişlerin imalatından şantiyedeki montajına kadar olan işleyiş sırası ile şu şekildedir. Yapı temel aşamasındayken TTA kirişlerin imalatına karar verilen İtalyan Holzbau firması tarafından eleman üretimi başlatılmıştır. Yapının ön yapım kolon ve kirişlerinin monte edilmesi ve yapı blok duvarlarının kısmen örtülmesiyle birlikte tabakalı ahşap kiriş ve makaslar İtalya'dan deniz yolu ile İstanbul limanına oradan da kara yolu ile şantiyeye getirilmiştir. Kiriş ebatlarının çok büyük olmaması nedeni ile nakliye aşamasında özel kamyonların kullanımına gerek kalmamıştır. Tüm kirişlerin limandan şantiye alanına getirilmesi navlun ve gümrükleme işlemleri için geçen süre ile birlikte 9 gün sürmüştür. Şantiyede kirişlerin montajı da belli aralıklarla 9 gün sürerek, kirişlerin projeye uygulanması toplamda 18 günde bitirildiği görülmektedir (uygulama aşamasında diğer yapı elemanlarının hazır olması ve ara verilmeden montajı yapıldığı kabul edilmiştir). Çizelge 6.1 ile montaj süresince kullanılan malzeme ve ekipmanlar gösterilmektedir.

6.1.2 Örnek Yapı Sisteminin Çelik Kirişlerle Yapım Süreci

Özel Irmak Lisesi'nin çatı kirişlerini oluşturan büyük açıklıklı sistemin çelik kirişlerle uygulanması halinde, 20 metreyi tek açıklıkta geçebilecek en uygun sistem daha önceki bölümlerde görüldüğü gibi dolu gövdeli IPE profilli kirişlerdir. Bu kirişler çalışmanın çelik kiriş üretimi sürecinde de anlatıldığı gibi 30'm den az açıklıklar için uygun olan bir sıcak hadde ürünüdür ve standart üretime sahiptir.

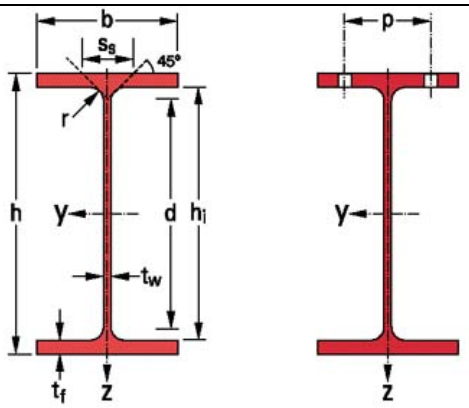
Sistemin diğer verilerine bakıldığında, 20 m × 60 m'lik bir alanı geçmek için çelik kiriş sistemler ile 10 m. aks aralıklarının ekonomik olduğu görülmektedir. Bu şekilde 7 adet dolu gövdeli I profilli kirişler ile sistemin çatısı taşınabilmektedir.

Çelik kiriş üretimi ve çeşitleri konusunda firmalarla yapılan görüşmelerde kirişlerin ebatları ve üretim süreçleri hakkında bilgi alınmıştır. Buna göre, 20 metre açıklığı 10'ar metre aks aralıkları ile geçebilecek I profilli kirişlerin boyutlarının 22 cm × 60 cm × 2000 cm olabileceği ön görülmüştür (Çizelge 6.1). Ayrıca, fabrikaya

siparişinden itibaren 15 gün içinde üretimi ve taşınması ile beraber 5-7 gün içinde montaj süresi hesaplanmıştır. Burada, montaj konusunda, sistemin diğer elemanlarının montaja hazır ve çevre şartlarının montaja uygun olduğu kabul edilerek hesaplama yapılmaktadır.

Genel olarak, 1200 m²'lik alan 7 adet dolu gövdeli I profilli kiriş ile geçilmektedir. 22 cm × 60 cm × 2000 cm ebatlarındaki kirişlerin 15 gün üretim ve 7 gün montajı ile birlikte toplam 22 gün içinde yapı sistemine uygulanabileceği ön görülmektedir ve bu süre 18 gün olan TTA 'nın uygulama süresinden pek de fazla değildir.

Çizelge 6.1: IPE 600 kesitli profil boyutları (Euronorm 19-57)



G kg/m	h mm	b mm	t_w mm	t_f mm	r mm	A cm^2
122	600	220	12	19	24	156

6.1.3 Örnek Yapı Sisteminin Betonarme Kirişlerle Yapım Süreci

Özel Irmak Lisesi'nin çatı kirişlerini oluşturan büyük açıklıklı sistemin prefabrike betonarme kirişlerle uygulanması halinde, 20 metreyi tek açıklıkta geçebilecek en uygun sistem daha önceki bölümlerde de görüldüğü gibi paralel başlıklı kirişlerdir. Bu kirişler, çalışmanın prefabrike BA kiriş üretimi bölümünde de anlatıldığı gibi, çok katlı bir yapıya uygulanacağı için ve deprem yüklerine dayanımının yüksek olması beklendiği için Ard- germeli C50 standardına göre üretilmesi uygun görülmektedir.

Sistemin diğer verilerine bakıldığında, 20 m × 60 m'lik bir alanı geçmek için BA kiriş sistemlerle 6 m aks aralıklarının ekonomik olduğu görülmektedir. Bu şekilde, 11 adet paralel başlıklı BA kirişler ile sistemin çatısı taşınabilmektedir.

Prefabrike BA kiriş üretimi ve çeşitleri konusunda firmalarla yapılan görüşmelerde BA kirişlerin ebatları ve üretim süreçleri hakkında bilgi alınmıştır. Bu veriler doğrultusunda TS500'e uygun olarak, 20 metre açıklığı 6'şar metre aks aralıkları ile

geçebilecek paralel başlıklı kirişlerin boyutlarının 60 cm × 100 cm × 2000 cm olabileceği ön görülmüştür. Ayrıca, fabrikaya siparişinden itibaren 30 gün içerisinde üretimi ve taşınması ile beraber 30 gün içinde montaj süresi hesaplanmıştır. Burada, montaj konusunda, sistemin diğer elemanlarının montaja hazır ve çevre şartlarının montaja uygun olduğu kabul edilerek hesaplama yapılmaktadır.

Genel olarak, 1200 m²'lik alan 11 adet paralel gövdeli kiriş ile geçilmektedir. 60 cm × 100 cm × 2000 cm ebatlarındaki kirişlerin 30 gün üretim ve 30 gün montajı ile birlikte toplam olarak yaklaşık 60 gün içerisinde yapı sistemine uygulanabileceği ön görülmektedir ve bu sürenin hem TTA hem de çelik kirişlerin uygulama süresinden en az 2-3 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

6.2 Diğer Sistemlerle Tekrar Projelendirilen Örnek Yapı Sisteminin Farklı Üretim Süreçlerinin Karşılaştırılması

Önceki bölümde de belirtildiği gibi Özel Irmak Lisesi dersliklerinin ve kapalı spor salonunun çatısının büyük açıklıklı sistemle geçilmesinde mevcut sistemde 11 adet 20 cm × 80 cm × 2000 cm boyutlarında TTA kullanılmış, karşılaştırılan sistemlerde ise 7 adet 22 cm × 60 cm × 2000 cm'lik IPE 600 çelik ve 11 adet 60 cm × 100 cm × 2000 cm'lik prefabrike BA kirişler önerilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde bu kirişlerin toplam ağırlıkları kg cinsinden hesaplanarak üretimlerinden şantiye alanına getirilmeleri sürecindeki (beşikten-kapıya) yaşam dönemi değerlendirilerek karşılaştırılmaktadır.

Yapı elemanlarının ağırlıklarını hesaplamak için yoğunluklarına bakıldığında, TTA kirişlerin 600 kg/m^3, ve çeliğin ise 7900-8030 kg/m^3 arasında olduğu görülmektedir [6]. Bir metreküp betonarmenin ağırlık hesabında ise 1 metreküp hazır betonun ağırlığı yaklaşık 2300-2400 kg arasında olup agreganın cinsine bağlı olarak değişebilmektedir ve yaklaşık 215 kg çelik donatı kullanılmaktadır [14]. Standart olarak 1 metreküp beton için ±100 kg'lık agrega toleransı bırakılmaktadır [23]. Buna göre, betonarmenin yoğunluğu yaklaşık olarak 2400 kg/m^3 olarak kabul edilebilir. Sistemin girdilerine bakıldığında, üretilecek olan TTA kirişler 35.2 m^3, çelik kirişler 21.8 m^3 ve prefabrike BA kirişler ise 132 m^3 olarak hesaplandığı görülür. Bu veriler kilogram bazına çevirildiğinde, TTA'nın 21120 kg, çeliğin 172530 kg (çelik 7900 kg/m^3 olarak alınmıştır) ve prefabrike BA'nin ise 316800 kg'a denk geldiği

görülmektedir. Çizelge 6.2'de örnek uygulamada kullanılan TTA, çelik ve prefabrike BA kiriş elemanlarının toplam kütleleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.2'de görüldüğü gibi, aynı sistemi ahşap elemanlar çok daha hafif bir şekilde taşımaktadır ki, bu da yaşam dönemi değerlendirmesine olumlu bir şekilde yansımaktadır. Tez çalışması kapsamında bundan sonraki bölümlerde, 21120 kg TTA, 172530 kg çelik ve 316800 kg prefabrike betonarme kirişin yaşam döneminin üretimden şantiye alanına getirilmesi sürecinin değerlendirmesi yapılmaktadır.

Çizelge 6.2: Örnek uygulamada kullanılan TTA, Çelik ve Prefabrike BA kütleleri

	Yoğunluk ($kg/m^{3)}$	Toplam Hacim ($m^{3)}$	Toplam Ağırlık (kg)
TTA	600 [6]	35.2	21120
Çelik	7900 [6]	21.8	172530
Prefabrike BA	2400 [6]	132	316800

6.2.1 Enerji Tüketimi

TTA kiriş üretimi sırasında enerji tüketimi, ahşabın hammadde olarak doğadan kesilmesi, kütük haline getirilmesi, kurutulması ve yapı ürününün üretilmesi sürecinde gerçekleşmektedir. Bunun haricinde kesilen ağacın fabrikaya taşınması ve bitmiş yapı ürününün şantiye alanına taşınması sırasında da belli bir miktar enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Çalışma kapsamında ülkemizde TTA kiriş üretiminin henüz tam anlamıyla gerçekleşmediğini, özellikle büyük açıklıklı yapılar için kiriş elemanı üreten bir firmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, TTA sistemlerle uygulama yapan firma ile yapılan görüşmeler doğrultusunda üretim yurt dışı standartlarına göre ele alınmaktadır.

Çizelge 6.3'te örnek projede kullanılan miktarda TTA kirişler için gereken enerji miktarları verilmektedir. Bu çizelge Brighton üniversitesinin yaptığı TTA kiriş üretiminde tüketilen (embodied) enerjiler araştırmasından yararlanılarak hazırlanmıştır. Örnek uygulama kapsamında, TTA kirişler İsviçre'de bir firmada hazırlandığı ve deniz yolu ile ülkemize geldiği belirtilmiştir. Burada, 21000 kg TTA üretimi için, daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, yaklaşık 23000 kg hammaddenin fabrikaya taşınması ve fabrikadan da üretilen TTA kirişlerin önce deniz yolu ile ülkemize, oradan da kara yolu ile şantiye alanına taşınması söz

konusudur. Taşıma mesafeleri yaklaşık olarak ele alınarak ve harcanan enerjiler literatür kaynaklarına dayanarak hesaplanmaktadır. Buna göre, TTA kiriş üretimi sırasında kabul edilen taşıma mesafeleri, üretim yapan İsviçre firmasına ağacın kara yolu ile 33.5 km (20 mil), kiriş üretimi yapıldıktan sonra Cenova limanına kara yolu ile 306 km, kirişlerin İstanbul'a deniz yolu ile 2600 km, İstanbul Limanı'ndan Caddebostan şantiye alanına ise 5 km olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.3: 21000 kg TTA kiriş üretimi için gereken toplam enerji çizelgesi [96]

İşlem	**Yorum**	**Enerji**
Ağaç Kesim (elektrikli testere)	Her biri 3 metrelik toplam 300 metrelik kütük Bir kişi 8 saatte / 4.6×8=36.8 kWs	1328.4 MJ
Taşıma (Yükleme ve boşaltma)	Her yüklemede 10 kütük, toplam 100 kütük. Bir yükleme 10 dakika toplam 100 dakika= 1.67 saat 48.5×1.67=80.99 kWs	2915.6 MJ(yükleme) 2915.6 MJ(boşaltma)
Kereste Üretimi	Dakikada 1 metre / 3 metrelik 100 kütük 300 dakika = 5 saat / 7.5 × 3= 22.5 kWs	810 MJ
Kurutma	10 saat / 41.5 × 10=415	14940 MJ
Fırından taşıma (forklift)	1 saat / 17.5 kWs	630 MJ
Birleşim yerlerinin oluşturulması	14 saat / 1.25×14=17.5 kWs	630 MJ
Laminasyon	1 metre tutkallama 2 dakika / 1200 metre için 40 saat 3.7 × 40 = 148 kWs	5328 MJ
Kiriş Üretimi	7 metrelik 34 kiriş / 1 kiriş 10 dakika Toplam= 5.67 saat / 2.7×5.67=15.31 kWs	551.1 MJ
Taşıma	33.5 km'yi (20 mil) 2.3 ton ahşap 2.4 × 2.3 × 33.5 = 184.92	1849.2 MJ
TOPLAM		31890.7 MJ

Çizelge 6.3'te TTA üretimi için yaklaşık toplam enerji 31900 MJ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Çizelge 6.4'te de görüldüğü gibi, yapı ürününün şantiyeye taşınması için yaklaşık 52000 MJ enerji harcandığı ve beşikten kapıya kadar olan yaşam dönemi sonucunda 21000 kg'lık TTA kiriş için toplam 83900 MJ enerji tüketildiği görülmektedir.

Çizelge 6.4: TTA, Çelik ve Prefabrike BA kirişin taşınması için harcanan enerji [96]

		Enerji Tüketimi MJ/ t km [100, 101]	Kg Başına Enerji Tüketimi MJ/km		Toplam Enerji Tüketimi MJ	
			Üretim	Sahaya	Üretim	Sahaya
TTA	Deniz aşırı	1.4	-	3.22	-	36400
	Karadan (Tır)	2.4	5.52	5.04	1849.2	15542.4
Çelik	Karadan (Tır)	2.4	44.30	41.40	5316.4	22773.9
Prefabrike BA	Karadan (Tır)	2.4	12.16* 43.3**	76.03	36270	144460
* Çimento taşınması ** Agrega taşınması						

Çelik kiriş üretimi sırasında enerji tüketimi ise, yapı ürününün üretilmesi sürecinde gerçekleşmektedir. Bunun haricinde çelik hurdasının fabrikaya getirilmesi ve yapı ürününün şantiye alanına taşınması sırasında da belli bir miktar enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Tez çalışması kapsamında, görüşülen fabrikadaki üretim baz alınmış, ayrıca ticari yasa nedeniyle ulaşılamayan veriler için de Demir Çelik Üreticileri Derneği ve üyelerinin yayımladığı ve diğer yerli ve yabancı literatür kaynaklı bilgilerden yararlanılmıştır. Çelik kirişlerin üretimi için %100 yerli çelik hurdasının kullanımı kabul edildiği takdirde, daha önce çelik kiriş üretiminde de gösterildiği gibi 1 kg çelik kiriş üretimi için gereken enerjinin 11.8 MJ olacağı var sayılabilir. Örnek alınan uygulamada kullanılan çelik kirişlerin toplam kütlesi Çizelge 6.2'de de görüldüğü gibi yaklaşık 172530 kg'dır. Bu da, çelik kirişlerin üretimi için toplamda yaklaşık 2035854 MJ gibi yüksek bir enerjiye gereksinim olduğunu göstermektedir. Bunun dışında, Tuzla tersanesinde ayrıştırılan çelik hurdaların fabrikaya taşınması ve fabrikada üretimi tamamlanan kirişlerin şantiye alanına getirilmesi için belirli bir miktarda daha enerji tüketimi söz konusu olacaktır. Çelik hurdaların fabrikaya getirilmesi için 12 km'lik kara yolu ve fabrikada üretimi

bitmiş kirişlerin şantiye alanına getirilmesi için de 55 km'lik kara yolu mesafesi bulunmaktadır. Çizelge 6.4'te de görüldüğü gibi, bu taşıma işlemindeki toplam enerji tüketimi yaklaşık 28090 MJ olarak hesaplanmaktadır. Genel olarak, örnek proje kapsamında 172530 kg çelik kiriş kullanıldığı ve taşıması sırasında gerekli enerji toplam olarak yaklaşık 2063844 MJ'dür, ki bu da TTA kirişlerle karşılaştırıldığında yaklaşık 19 katına denk gelmektedir.

Prefabrike BA kiriş üretimi sırasında enerji tüketiminde ise, süreç biraz daha farklı şekilde işlemektedir. Bunun nedeni betonarme üretimi sırasında girdilerin farklılığı ve aynı zamanda çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Prefabrike BA kiriş üretimi, yaşam döngüsünde de görüldüğü gibi, madenlerden agreganın çıkartılması, çimentonun üretimi, bunların birleşimi ile başlayan süreçte hazır betonun üretilmesi ve betonarmenin içeriği olan donatı çeliğinin üretimi ve son olarak da betonarme elemanın üretilmesi süreçlerinden oluşmaktadır. Bunların dışında, üretimde yer alan her bir bileşenin en son üretimin yapılacağı fabrikaya taşınması ve üretimi bitmiş prefabrike BA kirişlerin fabrikadan şantiyeye taşınması süreçleri de enerji tüketiminde önemli rol oynamaktadır. Tez çalışması kapsamında, görüşülen fabrikadaki hazır beton ve prefabrike BA kiriş üretimi baz alınmış, ayrıca ticari yasa nedeniyle ulaşılamayan veriler içinde Türkiye Prefabrik Birliği, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği ve üyelerinin yayımladığı ve diğer yerli ve yabancı literatür kaynaklı bilgilerden yararlanılmıştır .

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, 1 kg betonarme üretiminde 2 MJ enerji tüketimi gerekmektedir. Çalışma kapsamında Çizelge 6.2'de de görüldüğü üzere, örnek uygulamada yaklaşık 316800 kg betonarme üretimi söz konusudur. Toplam prefabrike kiriş üretiminde tüketilecek enerji de yaklaşık 633600 MJ olmaktadır. Görüşülen fabrikada hazır beton ve prefabrike BA kiriş aynı fabrikada üretilmektedir. Fakat çimento fabrikanın bulunduğu il olan Tekirdağ dolaylarındaki diğer bir fabrikadan getirilmektedir. Agregalar da Tekirdağ Safaalanı yöresinde bulunan taş ocaklarından çıkartılarak önce ilgili firmaya daha sonra da prefabrike BA üretecek olan fabrikaya getirilmektedir. Bu taşımalar serisi sırasında, agreganın fabrikaya getirilmesi sırasında 50 km, çimentonun taşınması sırasında 120 km, ve üretimi bitmiş prefabrike BA kirişlerin şantiyeye taşınması sırasında da yaklaşık 190 km karayolu taşınması gerçekleştirilmektedir. Bu verilere göre ortaya çıkan enerjiler Çizelge 6.5'te de görüleceği gibi, taşıma sırasında agrega için 21670 MJ, çimento

için14600 MJ ve bitmiş yapı ürünü olan prefabrike BA kirişlerin şantiyeye nakliyesi için de 144460 MJ olarak ortaya çıkmaktadır. 180730 MJ taşıma esnasında ve 633600 MJ üretimi esnasında tüketilen enerji olmak üzere toplamda harcanan enerji 814430 MJ olmaktadır.

Çizelge 6.5: Çelik, TTA ve Prefabrike BA kiriş üretiminde enerji tüketimi

	Taşıma (MJ)	Üretim (MJ)	Toplam (MJ)
Çelik	28100	2035850	2063950
TTA	52000	31900	83900
Prefabrike BA	180730	633600	814430

Bu veriler karşılaştırıldığında, (Çizelge 6.5) tasarlanan kirişlerin üretiminde en çok enerji gereksiniminin çelik kirişler için olduğu, en az enerji gereksinimin ise TTA kirişler için olduğu görülmektedir. Çelik kirişlerin TTA kirişlerden yaklaşık 24, prefabrike BA kirişlerin ise yine TTA kirişlerden yaklaşık 9 kat daha fazla enerjiye gereksinimi olduğu görülmektedir. Buna, TTA kiriş üretiminin yurtdışında olduğu ve tüketilen enerjinin yarısından çoğunun taşıma esnasında gerçekleştiği düşünülürse, üretimin ülke içinde yapılması durumunda enerji tüketiminin çok daha az olacağı ve bunun sonucunda yapı malzemesi seçiminde çevreye duyarlılığı açısından ön plana çıkması gerektiği açıkça görülmektedir.

Ancak, çelik, beton, ve özellikle betonun katkı maddelerinin üretimi sırasında son yıllarda yapılan iyileştirme çalışmaları ve geri dönüşümleri ile tüketilen enerjilerinin azaltılabileceği görülmüştür [113] ve bununla ilgili bilgiler yaşam dönemi değerlendirmesinin anlatıldığı bölümde yer verilmiştir. Günümüz teknolojisi ile yine de TTA'nın yaşam dönemi sürecindeki tüketim verimliliğine ulaşılamadığı da ayrıca gözlemlenebilmektedir.

6.2.2 Gaz Salımı

TTA kiriş üretimi sırasında ortaya çıkan gaz salımı 5. Bölümde anlatılmaktadır. Bu bölümde üretim sırasında açığa çıkan gazlar dışında ayrıca taşıma ile de büyük ölçüde ortaya zehirli gaz salımı yapıldığı vurgulanmaktadır. Uygulanan örnek proje kapsamında TTA kirişlerin üretimi sırasında 27300 kg CO_2 izole edilmekte ve 2100 kg azotoksit ve 4200 kg diğer gazların salımı gerçekleşmektedir. Üretimde CO_2

salımı gerçekleşmesine rağmen, hammadde olarak seçilen ağaçlar CO_2 depolama kabiliyetini yitirmiş (yaşam dönemi sona ermiş), ve maksimum depolamış olduğu için genel olarak bu bir kazanç olarak karşımıza sayılabilmekltedir. Ahşabın CO_2 depolama kabiliyeti konusu TTA'nın yaşam dönemi bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Çizelge 6.6'da kara ve deniz yolu ile yapılan taşıma sırasında kilometre ton başına salımı yapılan gazlar ve miktarları verilmektedir. Bu çizelgeye göre düzenlenen Çizelge 6.7'de TTA, çelik ve prefabrike BA kirişin yaşam dönemi boyunca gerçekleşen taşınmaları sırasında açığa çıkan zehirli gazlar verilmektedir.

TTA kirişler örnek proje kapsamında 345 km karayolu ve 2600 km denizyolu ile taşınmaktadır. Bu verilere göre, kullanım aşamasına kadar geçen toplam yaşam dönemleri boyunca TTA kirişler yaklaşık 3100 kg CO_2 salımı yapmaktadır. TTA kirişlerde 24200 kg. CO_2'nin doğadan alındığı ve yapılan gaz salımının zarar yerine daha yararlı etkileri olduğu söylenebilir. TTA kirişlerin taşınması sırasında açığa çıkan diğer gazlar Çizelge 6.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.6: Ulaşım kaynaklı açığa çıkan gaz salımları [88, 114, 115, 116]

Gaz salımı (g/t/km)	Denizyolu	Karayolu	Demiryolu
CO_2	30	207	41
CH_4	0.04	0.3	0.06
NO_x	0.4	3.6	0.2
CO	0.12	2.4	0.05
VOC	0.1	1.1	0.08

Örnek proje kapsamında tasarlanan çelik kirişlerin üretimi sırasında yaklaşık 96 ton CO_2, 263 kg azotoksit, 40 kg partikül, 341 kg. sülfüroksitin havaya, ve 49.58 kg klorit ve 8.6 kg azotun suya karışacağı tahmin edilmektedir. Üretim haricinde çelik elemanların taşınması sırasında da 2390 ton kg gibi büyük bir CO_2 salımı ortaya çıkmaktadır (Çizelge 6.7). Çelik kirişlerin kullanım aşamasına kadar olan yaşam dönemi süreçlerinde yaklaşık 2500 ton CO_2 salımı yapılmaktadır ki burada taşıma sırasında açığa çıkan zehirli gazların miktarının büyüklüğü, alternatif yollarla taşıma yapılmasının önemini göstermektedir. Çelik kirişlerin taşınması sırasında salımı yapılan diğer zehirli gazlar yine Çizelge 6.8'de verilmektedir.

Çizelge 6.7: Örnek uygulamada tasarlanan TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin taşınması sırasında ortaya çıkan olası gaz salımları

Gaz salımı (kg/t/km)	TTA		Çelik	Prefabrike BA
	2600 km Denizyolu	345 km Karayolu	67 km Karayolu	360 km Karayolu
CO_2	1638	1499	2392818.5	15590000
CH_4	02.2	02.2	3467.8	23191.8
NO_x	22	26	41614.2	271101.6
CO	7	17	27742.8	180734.4
VOC	5	8	12715.4	82836.6

Örnek proje kapsamında tasarlanan prefabrike betonarme kirişlerin üretimi sırasında 31 ton CO_2, 95 ton azotoksit, 9.5 ton sülfüroksitin havaya ve 9.5 ton azotun suya karışacağı tahmin edilmektedir. Prefabrike BA kirişlerin üretimi ve şantiye alanına getirilmesi aşamalarında; çimento taşınırken 1260 ton, agrega taşınırken 1870 ton ve bitmiş prefabrike BA kirişler taşınırken de 12460 ton CO_2 havaya karışmaktadır. Çizelge 6.7'de prefabrike BA kirişlerin kullanım aşamasına kadar olan yaşam dönemi süresince taşınması sırasında açığa çıkan diğer gazlar da verilmektedir. Prefabrike BA kirişlerin üretimi ve taşınması süreçlerinde toplam yaklaşık 12500 ton CO_2 ortaya çıktığı ve çelikte olduğu gibi bu gaz salımının çoğunun taşıma sürecinde oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 6.8'de TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemi süreçlerince yaptığı CO_2 gazı salımlarına bakıldığı zaman, tüketilen enerji ile doğru orantılı olarak, TTA'nın yine çok az ve betonarmenin en çok salım yaptığı görülmektedir. Betonarme ve çelikte bu salımın çok olmasının asıl nedeni taşımanın karayolu ile yapılmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 6.6'da de görüldüğü gibi karayolu yerine demiryolunun ya da denizyolunun seçilmesi ile 5-7 kat arasında daha az salım yapılabileceği görülmektedir. Bunun dışında, taşıma sırasında kullanılan yakıt türüne bağlı olarak da kısmen azaltılabileceği söylenebilir. Her ne kadar taşıma yolu için alternatif çözümler bulunsa da, TTA kirişlerin hafifliğinden ve CO_2 gazını absorbe

eden yapısal özelliklerinden dolayı, bu malzemenin yapısal strüktürde kullanımının çevreci bir karar olduğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 6.8: TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemi sürecinde CO_2 salımı

	TTA	Çelik	Prefabrike BA
CO_2 (t/t/km)	-24	2500	12500

6.2.3 Hammadde Tüketimi

Yapı ürünlerinin üretimi sırasında tüketilen kaynaklar konusuna 5. Bölümde yer verilmiştir. Bu bölümde yer verilen bilgilere dayanarak, uygulanan örnek proje kapsamında tasarlanan (21000 kg.'lık) TTA kirişlerin üretimi sırasında 23100 kg ham kereste (sarı çam), 12600 kg solvent bazlı emprenye ve 14700 kg tutkal kullanımı söz konusudur.

Örnek proje kapsamında tasarlanan (172530 kg.'lık) çelik kiriş üretiminde ise, 184607 kg çelik hurdası, 12939.7 kg kömür, 12939.7 kg kireçtaşı, 1242216 lt taze su kullanımına gereksinim olduğu hesaplanmıştır.

Yine, proje kapsamında tasarlanan (316800 kg'lık) prefabrike betonarme kirişlerin üretiminde 50688 kg çimento, 180576 kg agrega, 31680 kg çelik donatı, 174240 lt su, 31680 kg fuel oil ve 57024 kg kömür tüketimi ön görülmektedir.

Çelik üretiminde atık olarak ortaya çıkan çelik hurdası bir sonraki üretimde tekrar kullanıldığı için bu bakımdan diğer malzemelerle karşılaştırıldığında öne çıkmaktadır. Ancak ahşap ta geri dönüşümü sırasında talaş halinde (pelit) doğalgaza ve kömüre alternatif yakıt olarak ya da arazi düzenlemelerinde dolgu (peyzaj mimarisinde) olarak kullanımı ile ön plana çıkmaktadır. Betonarmenin geri dönüşümü ise, hem maliyet hem de enerji tüketimi açısından üretiminden daha verimsiz olduğu için sadece arazi doldurma da kullanılabilmektedir. Ayrıca prefabrike BA ve çelik üretimi süresince harcanan su miktarlarının da çok fazla olması günümüzde önemli bir sorun olan su sıkıntısı açısından önemli rol oynamaktadır. Her ne kadar bu suyun belli bir miktarı tekrar kullanılsa bile, büyük bir miktarı her iki yapı elemanının üretiminde de tekrar kullanılamamaktadır.

Çizelge 6.9'da yapı malzemelerinin yaşam dönemleri sırasında yapılan taşıma ile tüketilen yenilenemeyen hammadde (yakıt) miktarları gösterilmektedir. Burada,

prefabrike BA kirişlerin taşınması süresince tüketilen kaynakların en fazla ve çelikte ise en az olduğu görülmektedir. Taşıma sırasında CO_2 salımı karayolunda her ne kadar fazla olsa bile, demiryolu katsayısının fazla olması bu şekilde taşımada en fazla kaynağın harcanacağını göstermektedir. Çizelge 6.10'da TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemi değerlendirmeleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.9: TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemleri süresince taşınmaları sırasında tüketilen yenilenemeyen kaynaklar (yakıt hammaddesi miktarları)

	kg/t km	TTA (kg)	Çelik (kg)	Prefabrike BA (kg)
Denizyolu	0.12	6552	-	
Karayolu	0.23	1679.3	2658.6	17320.3
Demiryolu	0.54		-	
Toplam		8231.3	2658.6	17320.3

Çizelge 6.10: TTA, çelik ve prefabrike BA kirişlerin yaşam dönemi değerlendirmesi

	TTA	Çelik	Betonarme
Enerji Tüketimi (MJ) -üretim	83900	2063950	814430
CO_2 Salımı (t/t/km) - taşıma	-24	2500	12500
Hammadde Tüketimi (kg) (Taşıma)	8231.3	2658.6	17320.3

Çizelge 6.11'de yapı malzemelerinin yaşam dönemleri boyunca enerji tüketimi ve gaz salımı yaptıkları süreçler gösterilmektedir. Çizelge 6.11' de görüldüğü gibi aşamalarda farklılıklar olması ile birlikte, çelik ve ahşabın her aşamasında belirli girdilerin, çıktıların ve taşımanın olduğu görülmektedir. Sadece prefabrike BA malzeme yapısından dolayı yenileme gerektirmediği için kullanım aşamasında girdiye ihtiyaç duymamaktadır.

Çizelge 6.11: Yapı malzemelerinin yaşam dönemlerindeki enerji tüketimi ve gaz salımları

	Prefabrike BA		Çelik		Ahşap	
	Enerji Tüketimi	Gaz Salımı	Enerji Tüketimi	Gaz Salımı	Enerji Tüketimi	Gaz Salımı
Hammadde Edinimi	++	+++	+	+	+	-
Yapı Malzemesi Üretimi	X	X	XX	++	+	-
Yapıya uygulanması [80]	+	+	+	+	+	+
Yıkım/Geri Dönüşüm	X	+++	+	+	+	-

+ Tüketimin ve salımın yapıldığını (en az girdiden yaklaşık katlarını göstermektedir ×2,×3, …)
X Tüketimin ve salımın yapıldığını (en az girdinin yaklaşık katlarını göstermektedir ×10,×20,…)
- Tüketim ya da salımın yapılmadığını gösterir. Diğer malzemelerle oranlanmaz

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Büyük açıklıklı yapıların taşıyıcı sistemlerinin bileşenlerinin ve malzemelerinin ele alındığı bu çalışmada, taşıyıcı sistem tasarım sürecindeki performans gereksinimlerine bağlı olarak ve çevresel açıdan dikkate alınması gereken kriterler belirlenerek tasarımcıya yol gösterilmesi, ve böylece sürdürülebilir yapı ve yapımın teşvik edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç kapsamında uygulaması en yoğun olan 10-25 metre açıklık geçebilen dolu gövdeli kiriş sistemleri üzerine yoğunlaşılmış ve bir örnek proje üzerinden, prefabrike betonarme, çelik ve yurtdışında çok yaygın kullanılmasına rağmen, ülkemizin henüz yeni tanıştığı, tutkallı tabakalanmış ahşap (TTA) yapı elemanlarının karşılaştırılmalı yaşam dönemi değerlendirmesi yapılmıştır.

Karşılaştırmalara TTA, çelik ve prefabrike betonarme yapı malzemeleri kullanılarak 10-25 metre açıklığı geçebilecek taşıyıcı sistemlerin belirlenmesi ile başlanmıştır. Malzemelerin performans dayanımları karşılaştırılmış, günümüzde yapı tasarımında önemli bir yaklaşım konusu olan çevre-ekolojik malzeme açısından dolu gövdeli kiriş elemanların yaşam dönemleri irdelenmiş ve analiz edilmiştir. Türkiye'deki TTA kirişler ile uygulanmış nadir büyük açıklıklı yapılardan biri olan Özel Irmak Lisesi kapalı spor salonu ve derslikleri örnek olarak ele alınarak, mevcut projenin TTA kiriş uygulaması ile prefabrike BA ve çelik yapı malzemeleri ile oluşturulan alternatif tasarımların yaşam dönemi süreçleri karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, her malzeme ile ilgili firma, fabrika görüşülmüş ve uygulama ve şantiyeler yerlerinde görüşülerek yetkili kişilerden bilgielr alınmıştır. Ayrıca, elde edilen bu verilerin dışında, yerli ve yabancı kaynaklardan yararlanılarak ve firma mimarları ile de görüşülerek yapılan çalışmalar ve sonuçları tartışılmıştır.

Bu süreçte, büyük açıklıklı yapıların yapı malzeme sistemleri geçebildikleri açıklıklara göre ayırılarak (Şekil 4.1), tasarımcının 10-25 metre açıklıklarda seçebileceği sistemler verilmektedir (Çizelge 4.3). Ayrıca tez kapsamı içerisinde yapı malzemelerinin yaşam döngüleri incelenerek, yapı malzemelerinin birim kütlelerinin çevreyi etkilediği dönemler ve bu dönemlerdeki enerji ve hammadde tüketimleri ve gaz salımları gösterilmektedir (Çizelge 5.2). En son bölümde alınan örnek uygulamanın her üç malzeme için de yapı süreçleri, tasarım (yapı malzeme seçimi, yapıya uygulama süreci) ve çevreye etkileri (yaşam dönemi değerlendirmesi bakımından enerji ve kaynak tüketimi ve gaz salımı) bakımından incelenmiştir.

Mevcut yapı 20 metre açıklığı geçmektedir ve mevcut TTA kirişler 20cm × 80cm × 2000cm, üretici firmalar tarafından da boyutları onaylanan diğer sistemler için seçilen kirişler ise prefabrike BA için 60cm × 100cm × 2000cm ve çelik kirişler için 22cm × 60cm × 2000cm olarak belirlenmiştir. Boyutları belirlenen yapı elemanlarının ağırlıkları bazından ele alınarak üretim süreçleri çevre açısından incelenmiştir. Bu incelemeler doğrultusunda, ahşabın üretimi ülkemizde olmamasına rağmen diğer malzemelerden daha hızlı bir şekilde yapıya uygulandığı ortaya çıkmıştır (TTA 18 gün, Çelik 27 gün, Prefabrike BA 2 ay).

Firmalar ile yapılan görüşmeler soncunda sürenin farketmesinin sebebinin, TTA elemanlarının hazır olarak bulunması ve sipariş üzerine teslim işlemlerinin başlamasından kaynaklandığı görülmüştür. Yaşam dönemi karşılaştırmalarına bakıldığı zaman da TTA kiriş sistemli örnek uygulamada yapı malzemesi olarak seçildiği zaman, enerji ve hammadde tüketiminde ve gaz salımında da daha iyi ve ekolojik bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada, TTA malzemenin, çelik ve betonarme ile yaklaşık, hatta betonarmeden daha ince kesitlerle aynı açıklığı geçebilmesi büyük rol oynamaktadır. TTA'nın diğer yapı malzemeleri ile aynı kesitlerde kullanılması, birim kütlelerinin oranınca, daha hafif olacağını göstermektedir. Bunun sonucunda da, tüketilen hammaddenin, enerjinin ve bu süreç içerisinde oluşan çevreye zararlı gazların da daha az olması beklenmelidir. Ayrıca ahşabın üretimi sırasında girdisinin az olması, üretimi sırasında açığa çıkan karbondan daha fazla bünyesinde barındırarak çevreye salımını engellemesi, yangın dayanımının diğer malzemelere denk olması dab u malzemeyi tasarım sürecinde üst sıraya çıkarmaktadır. Yine TTA'dan daha verimli olarak yararlanılması, çevreye zararının daha da azaltılması için, yıkımı sonrasında diğer yenilenemeyen enerji

kaynaklarına alternative olarak kullanılmasıda öngörülmektedir. TTA'nın örnek uygulama üzerinde en çok tüketilen hammaddenin taşınması sırasında ortaya çıkması, bu sistemlerin ülkemizde üretilmesi ile ilgili çalışmalara verilmesi gereken önemi göstermektedir.

Çelik ise yoğunluğu en fazla malzeme olarak karşımıza çıkmasına rağmen, yüksek dayanımı sayesinde tali akslarda daha büyük açıklık geçerek, daha az sayıda kiriş ile geçilebilmesine, dolayısı ile toplam ağırlığın betonarmeden daha az olması ile sonuçlanmıştır. Fakat çelik üretimi sırasında yüksek sıcaklıkta çalışan fırınlar nedeniyle, bu süreçteki enerji kullanımı çok yüksektir, buna rağmen bütün yaşam dönemi süresince yaptığı salınım ortalama değerlerdedir. Ayrıca üretim sırasında açığa atık olarak karşımıza çıkan ve yaşam dönemi sonucunda ki çelik tekrar üretime katılarak, üretimi sırasındaki enerjinin büyük miktarını geri kazanabilmekte, hatta geri dönüşümünde yapıda tekrar uyguladığı zaman bu enerji tüketimini en aza indirdiği görülmektedir.

Prefabrike BA kirişler ise büyük kütleleri nedeniyle, ve çelik gibi yüksek miktarda enerji tüketimine neden olmaktadır. Fakat çalışma kapsamında, bu enerjinin büyük bir miktarı beton üretimi sırasında ihtiyaç duyulan yan ürünlerin, çimentonun üretimi ve agreganın taş ocaklarından çıkartılması sırasında tüketildiği gösterilmektedir. Geri dönüşüm olarak ta çalışma kapsamında belirtildiği üzere üretiminden fazla tüketim ve gaz salımı olduğu için geri dönüşümü yok sayılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında ahşap ile ilgili yerli kaynakların sınırlı sayıda ve yetersiz olması, yapılan görüşmeler sırasında ilgili kuruluş ve yetkililerin henüz yeterli seviyede olmaması nedeniyle bu yapı malzemesi ile bilgiler için genelde yabancı literature kaynaklarına yönelinmiştir. Çelik ve prefabrike betonarme taşıyıcı eleman üretimleri sırasında ise firmalar ve yetkililerin yapılan gizlilik anlaşması nedeniyle bazı verilerine ulaşılamamasına, ya da tekrar yerli ve yabancı literature bilgilerine bağlı kalınmasına neden olmuştur. Ayrıca tez çalışması aşamasında, yaşam dönemi analizi açısından yerli örnek çalışmalara rastalanmaması da bu konuda daha gerçekçi karşılaştırma yapılamamasına neden olmuştur.

Sonuç olarak, örnek proje üzerinde tasarım-üretim-yapım performansları ve YDD açısından karşılıştırılmalı değerlendirmesi sonucunda da görüldüğü gibi çevre açısından TTA kirişler ön plana çıkarken, çelik kirişler ise daha yüksek performans

değerleri neticesi ile depreme daha dayanıklı bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Betonarme ise yangına karşı yüksek dayanımı ile seçilme nedeni olabilmektedir. Çevre konusun ön plana çıktığı günümüzde, TTA sistemler ile üretilen yapıların performans özellikleri karşılaştırıldığında, TTA'nın olumlu özellikleri göze çarpmaktadır. Çevresel etmenler açısından sağladığı özellikler dışında, tasarımda sağladığı olanaklar, elastikiyet, basınca ve çekmeye dayanımı büyük açıklıklı yapılara uyumunu da göstermektedir. Elastiklik özelliğinin yüksek olması gerilmelere karşı uzun süre dayanımını sağlarken, özgül ağırlığının düşük olması ise hafif ve ekonomik uygulamalara imkan vermektedir. Basınca dayanımı çelik ve prefabrike betonarmeden sayısal olarak düşük olmasına karşın, betonarme ve çelikteki gibi anında kopma olmaz, kullanıcıların kaçmasına imkan tanır ki, bu bakımdan diğer sistemlerden daha güvenlidir. Deprem kuşağında olan ülkemizde, yapı malzemesinin hafifliği ve montaj süresinin kısa olması dab u malzemenin olumlu diğer bir yönüdür. Çalışma sonucunda, TTA sistemlerin tüm bu olumlu özelliklerine rağmen kullanımının yaygın olmaması, ülkemizde henüz yeterince tanınmamasına, hakkında yeterli kaynak ve kullanımı için gerekli yönetmeliklerin bulunmamasından kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca TTA sistemlerin kullanımının yaygınlaşması için ülkemizde ormancılığın gelişmesi ve TTA üretimini denetim altında tutacak ve destekleyecek sistemlere ihtiyaç olacaktır.

Bu nedenle tasarımcının yapı malzemesini pratik, ekonomik ve bilinçli bir şekilde seçerek projeyi tasarlamasının gerektiği ve bu bilincin kazanılmasında da malzemelerin performans analiz incelenmesinin önemli bir rol alacağı anlaşılmaktadır. Çalışma kapsamındaki karşılaştırmaların, özellikle yaşam dönemi analizlerinin ve yapı malzemelerinin performans değerlendirmelerinin öneminin vurgulandığı bu tür çalışmaların günümüz mimarisinde ön plana çıktığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın, malzemelerin performans analizlerini yapan çalışmalara yardımcı olması, bu beklentiye cevap verecek daha fazla çalışma yapılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **İskelet Sistemler**, (2006), www.insaatofisi.com

[2] **International Organization for Standardization,** (2000), "Buildings and Constructed Assets - Service Life Planning - Part 1: General Principles, ISO 15686-1

[3] **International Organization for Standardization,** (2000), "Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning - Part 3: Performance Audits and Reviews, ISO 15686-3

[4] **T.C. Resmi Gazete**, (2001), Yapı Denetimi Hakkında Kanun, *Madde 3*, 12.07.2001

[5] **Erdin, N.,** (2003), Ağaç Malzeme Kullanımı ve Çevreyle Etkisi, Ulusal Ahşap Birliği, Ahşap Seminerleri, İstanbul, Şubat 20-22

[6] **Zylkowski, S.,** (2001), Introduction to Wood as an Engineering Material

[7] **Demirel, F. ve Ulukavak, G.,** (1998), "Endüstri Yapıları Üretiminde Kullanılan Prefabrike Betonarme İskelet Sistemler ve Ankara'dan Bir Örnek; ANKAPVC", *Beton Prefabrikasyon*, No 48, 12-16

[8] **İnce, E.,** (2004), Lamine Ahşap Teknolojisi, http://www.erkanince.com

[9] **Ayaydın, Y.,** (1981), Büyük Açıklıklı Prefabrike Betonarme Yapılar, Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul

[10] **Yesügey, C. S.,** (2002), "Büyük Açıklıkları Geçebilen Çağdaş ve Estetik Bir Strüktür Sistemi", *YAPI 249*

[11] **Ayaydın, Y.,** (1987), Taşıyıcı Duvar Perdeli Prefabrike Yapılar, Yılmaz Ofset Matbaası, İstanbul

[12] **Ayaydın, Y.,** (1992), Betonarme Çok Katlı Prefabrike İskelet Sistemler, Kurtiş Matbaası, İstanbul

[13] **Sanayi Yapılarının Sınıflandırılması**, (2006), www.yapidanismani.com

[14] **Doyranlı, B.,** (2008), Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., www.alacali.com.tr

[15] **Serki, (**2005), Betonarme Nedir? (Reinforced Concrete), www.serki.com

[16] **Benko Ltd.,** (2006), Betonarme Eleman Davranışı, www.benkoltd.com

[17] **Ching, F., D.,** (1995), Overhead Plane, Architecture: Form, Space and Order, Wiley Pub

[18] **Knocz, T.,** Manual of Precast Concrete Construction with Large Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Components : Design, Analysis and Construction: System Building with Large Panels, Wiesbaden: Bauverlag, 1968-1971, s.32.

[19] **Sayan, F.,** (2008), Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., www.alacali.com.tr

[20] **Akbay, F.,** (2000), Prefabrikasyon, www.fatihakbay.fateback.com

[21] **Bayülke, N.,** (2000), 27 Haziran 1998 Adana- Ceyhan Depreminde Yapısal Hasar

[22] **TMMOB**, (2000), "17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 Doğu Marmara Depremleri ve Türkiye Gerçeği", Ankara

[23] **Uçar, A.,** (2008), Türkiye Prefabrik Birliği., www.prefab.org.tr/

[24] **Boğaçhan, B.,** (2006), Hazır Prefabrik Elemanların Üretimi, www.insaatofisi.com

[25] **Şimşek, O.,** (1997), Beton Teknolojisi, Ankara

[26] **Batı Beton,** (2001), Hazır Beton El Kitabı, İzmir

[27] **United Nations**, (1991), "Classifiation of Commodities by Industrial Origin", New York

[28] **Lea, M.F.**, (1970), "The Chemistry of Cement and Concrete", Edward Arnold Lt. Glaskow, Sayfa: 1

[29] **Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu,** (2000), Çimento Ve Hazır Beton Raporu, Ankara, ekutup.dpt.gov.tr

[30] **Devlet İstatistik Enstitüsü**, (2008), İstatistik Pozisyonlarına Bölünmüş Gümrük Tarife Cetveli, Yayın No: 589

[31] **Kaplan, S., A.,** (1998), Prefabrike Yapıların Hesap Metotları, Bilbeyki Yayınları, No.3, s.1-6, 82-88

[32] **Hacıkamiloğlu, M.,** (2008), ÇimSA Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş., www.cimsa.com.tr

[33] **Schmitt, H.,** (1977), Hochbau Konstruktion, Braunschweig: Vieweg

[34] **Gürer, C.,** (2008), Yapı Teknolojileri II, *Prefabrik Yapılar*, Afyonkarahisar,

[35] **Barry, R.,** (1993), The Construction of Buildings, 4th edition, Blackwell Scientific Publications

[36] **Bahadır, Ş., S.,** (1997), Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

[37] **Işık, B.,** (2001), Hafif Çelik Yapıların Geleneksel Yapılar ile Benzerlikleri, www.tucsa.org.tr

[38] **Abacı, K. B.,** (2007), Paslanmaz Çelik Sanayicileri ve İş Adamları Derneği Yönetim Kurulu Üyesi (PASIAD)

[39] **İnşaat Platformu,** (2008), "Çelik Yapıların Tarihçesi", http://www.yapiteklif.com

[40] **Anbarlı, L.**, (2008), Kroman Çelik Sanayi A.Ş., www.kromancelik.com.tr

[41] **Aktaş, M.,** (2002), "Çelik Yapı Ders Notları", Kocaeli Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Kocaeli

[42] **Demirel F.,Özkan E.**, 2003, Çelik Yapı Bileşenleri Ve Yangın Güvenlik Önlemleri, G.Ü.Müh.Mim.Fak. Dergisi, Cilt:18, Sayı:4 S:89-107, Ankara

[43] **Ekonomik Araştırmalar Müdürlüğü Sektör Araştırmaları**, 1999, "Demir-Çelik Sanayi", İnşaat & Malzeme, Sayı:145, s.50-59, İstanbul

[44] **Demir Çelik Üreticileri Derneği,** (2008), Türkiye Çelik Haritası, www.dcud.org.tr

[45] **Çetinkaya, İ.,** (2008), *Protechnic Çelik Yapı Sistemleri Ltd*., www.protechnic.com

[46] **Arun, G.,** (2001), Çelik İskelet Yapıların Mimari Tasarımı, www.tucsa.org

[47] **Kutanis, M.,** (2008), "*Kafes Sistemler I*", Yapı Statiği 1

[48] **Asce, M. & Kan, M., P.,** (1953), Steel Rigid Frames, Michigan, America: Published by J.W. Edwards

[49] **Arda, T.S.,** (2001), Neden Çelik Malzeme, www.tucsa.org.tr

[50] **Cowan, H.,J.,** (1991), Handbook of Architectural Technology

[51] **Miller, B., R.,** (1999), *"Structure Of Wood",* Woodhandbook

[52] **Güller, B.,** (2001), "Odun Kompozitleri"*, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2*

[53] **Tokyay, V.,** (1997), *TTA Teknolojileri*, www.oranmimarlik.com.tr/

[54] **Miller, B. R.,** (1999), **"**Characteristics and Availability of Commercially Important Woods", *Wood Handbook*

[55] **TS EN 386**, (2006), Tutkallanmış Lamine Kereste- Performans Özellikleri ve Asgari İmalat Şartları

[56] **Mengeloglu, F. & Kurt, R.,** (2004), "Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeleri", *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*

[57] **Temperate Forest Foundation**, (2001), "Engineered Wood Products", *Eco-Link Volume 11, Number 4*

[58] **Demirel, A.,** (2006), *Ahmet Demirel - Orman Ürünleri Emprenye İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti. Hakkında*, www.ahmetdemirel.com/

[59] **Simpson, W. & Wolde, A. T.**, (1999), "Physical Properties and Moisture Relations of Wood", *Wood Handbook*

[60] **Vick, B. C.,** (1999) "Adhesive Bonding of Wood Materials", *Wood Handbook*

[61] **Cengizler, V.**, (2007), Endüstriyel Yapışkan-Tutkal Üretimi, Barkey Kimya Sanayi ve Tic. A.Ş

[62] **Balcıoğlu, A.**, (2007), Balıcıoğlu Orman Ürünleri, www.balcioglu.com.tr

[63] **AITC- American Institute of Timber Construction,** (2001), Laminated Timber Design Guide

[64] **Eriç, M.,** (1994), Yapı Fiziği ve Malzemesi, ISBN: 975-7860-01-8, Literatür Yayıncılık, İstanbul

[65] **Duman, N.,** (1964), Tutkallı Ahşap Yapılar, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yenilik Basımevi, İstanbul

[66] **Svenskt Limtra AB.**, (2001), *Glulam Handbook*, www.svensklimtra.se

[67] **Goetz, K. H.,** (1989), Timber design & construction sourcebook

[68] **Canadian Wood Council**, (1995), Wood Structural Systems, www.cwc.ca/design/structural/

[69] **Holzbau,** (2008), Sistemi Statici, www.holzbau.com

[70] **T.C. Resmi Gazete,** (2002), Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 08.09.2002

[71] **T.C. Resmi Gazete,** (2006), Yapı Malzemeleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 01.01.2006

[72] **Sarja, A.,** (2000), "lntegrated life design as a key tool for sustainable construction", Integrated Life-Cycle Design of Materials and Structures ILCDES 2000, Proceeding of the RILEM/CIB/ISO

[73] **The Construction Products Directive**, (1989), 89/106/EEC, OJ L 40, 11.2.1989, p.12

[74] **Birön, C., Arıoğlu, E.,** (1981), Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı

[75] **Ulusal Ahşap Birliği**, (2005), *Neden Ahşap?*, http://www.ahsap.org/

[76] **Benko Ltd.**, (2009), "Betonarme Eleman Davranışı", http://www.benkoltd.com/

[77] **Bozkurt, Y., Göker, Y.,** (1987), Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fak., Yay., No:388, İstanbul

[78] **Özçelik, N.,** (1975), İnşaat Bilgisi, İ.Ü. Orman Fak., Yay., No: 211, İstanbul.

[79] **Şenol, D.,** (2001), Büyük Açıklıklı Mekanların Tutkallı Tabakalı Ahşap Sistemler İle Geçilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ

[80] **AKDEMiR Metal Sanayi İnşaat ve Ticaret A.Ş.,** (2009), "Neden Çelik?", Çelik Yapılar Departmanı, http://www.akdemirmetal.com

[81] **Simpson, W., Tenwolde, A.,** (1999), "*Physical Properties and Moisture Relations of Wood*", Woodhanbook

[82] **Berkel, A.,** (1970), *Ağaç Malzeme Teknolojisi*, İ.Ü. Orman Fak., Yay., No. 147, İstanbul

[83] **Hoyle, R. J., And Woeste, F. E.,** (1989) Wood Technology In The Design Of Structure, Lowa State University Press, USA

[84] **Şenay, A.,** (1996), Lamine Edilmiş Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi

[85] **Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik,** (2007), 2007/12937

[86] **Özkan, E.,** (2002), Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri ve Bir Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

[87] **Demirel, F., Özkan, E.,** (2003), Çelik Yapı Bileşenleri ve Yangın Güvenlik Önlemleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 18, No 4, 89-107, 2003

[88] **ANON.,** (1993), International Fire Engineering Design for Steel Structures: State Of the Art. International Iron and Steel Institute, Brussels

[89] **Taygun, G., T.,** (2005), *Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Yapı Ürünü- Çevre Etkileşimi*, Y.T.U. Arch Fac. E-Journal

[90] **Erdin, N.,** (2003), "Ağaç Malzeme Kullanımı ve Çevreye Etkisi", Türkiye Mühendislik Haberleri 427, 2003-5

[91] **Kus, H., Edis, E., Özkan E.,** (2007), Environmental Profiling of Masonry Wall Products Regarding the Manufacture and Construction Phases, SB07HK – Sustainable Building Conference Hong Kong

[92] **Trada**, (2000), *Ahşap ve Çevre*, www.trada.co.uk

[93] **T.C. Resmi Gazete**, (1983), Çevre Kanunu, 11.08.1983

[94] **Omurtay, B.**, (2004), Çimento Sektöründe Benchmarking Çalışması, EIE/UETM

[95] **Petersen, A., K., Solberg, B.,** (2002), Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport

[96] **Miller, A.,** (2008), Case Study Report Embodied Energy of Sweet Chestnut Glulam, Centre for Sustainability of the Built Environment, University of Brighton

[97] **Koundakjian, P.,** EUROFER Stainless Steel LCI study, nrcan-rncan.gc.ca/mms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/enviro/lifecycle/pdf/Hay-StainlessSteelFlatProducts-Presentation.pdf

[98] **Yanmaz, M.,** (2005), İklim Değişikliği ve AB Uyum Yaklaşımının Demir Çelik Sektörüne Etkileri, Erdemir Sürdürülebilir Çelik Grubu

[99] **Metals-AIA Committee on the Environment**, (2008), www.aiacolorado.org/

[100] **Forest & Wood Products Research & Development Corporation**, (2003), Review of the Environmental Impact of Wood Compared with Alternative Products Used in the Production of Furniture, Avusturalya

[101] **Wilson, B., J., Puettmann, E., M.,** (2006), Gate to Gate Life Cycle Inventory of Glued Laminated Timbers Production, Oregon State University

[102] **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği,** (2007), www.tcma.org.tr

[103] **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği**, (2008), Çimento Sektöründe Enerji Yönetimi ve Tasarruf İmkanları, Enerji Verimliliği Konferansı

[104] **Bensahel, J.F., Besnainou, J., Landfield, A.,** (1998), "Life Cycle Assessment Comparison Between Steel And Concrete In Building", The

International Conference on Steel in Green Building Construction, Orlando,USA

[105] **Coşgun, N., Esin, T.,** (2004) "Hazır Beton Üretiminin "Çevresel Etkiler" Açısından Değerlendirilmesi", Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, İstanbul

[106] **Gao, W., Ariyama, T., Ojima, T. and Meier, A.,** (2001), "Energy Impacts of Recycling Disassembly Material in Residential Buildings", Energy and Building 33, 553-562

[107] **Ulugbay, H.,** (2008), Çevre Kirliliği, www.ulugbay.com

[108] **BuildingGreen,** (2008), Cement and Concrete: Environmental Considerations, www.buildinggreen.com/features/cem/cementconc.cfm

[109] **Willis A.M.,** (1998) "Concrete and not so Concrete Impacts" Information Ecology EcoDesign Foundation

[110] **Davison, M., Persmann, J., Reid, J., Stange, J., Weins, T.,** (1999), "Green Building Materials", AWATgreen/ERS 285 study, www.adm.uwaterloo.ca

[111] **BuildingGreen,** (2008), Cement and Concrete: Environmental Considerations EBN Volume 2, No.2, www.buildinggreen.com

[112] Y. Mimar **Sayın, N.,** (2008), NSMH Mimarlık

[113] **Baines, J.T., and Peet, N.J.,** (1995), Input-Output Energy Analysis Coefficients, Commissioned by the CBPR from Taylor Baines and Associates

[114] **E.U.R.O.F.E.R.,** (2003), Transport of Steel in the European Union, E.U.R.O.F.E.R., Brussels

[115] **Collins, Chris,** (1993), Transport Energy Management Policies: Potential in New Zealand, Energy Efficiency and Conservation Authority, Wellington

[116] **Word Steel in Figures International Iron and Steel Institute**, (2003), www.wordsteel.org

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: B. Atilla SAĞLAM

Doğum Yeri ve Tarihi: Amerika, 1981

Adres: Konaklar Mah. İzzet Aksalur Cad. Trt Basın Sitesi K blok A-D:4 Y. Levent-Beşiktaş – İSTANBUL 34330

Lise: 1999 Çankaya Y.D.A.L

Lisans Üniversite: 2005 İstanbul Teknik Üniversitesi Mezunu

Sertifikalar:

- 3d max kursu (Cad sertifikası)