İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZENSİZ TALEP KOŞULLARINDA MELEZ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN AKSİYOMLARLA TASARIMI

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Şule Itır SATOĞLU

Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZENSİZ TALEP KOŞULLARINDA MELEZ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN AKSİYOMLARLA TASARIMI

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Şule Itır SATOĞLU
507022104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Temmuz 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Ocak 2008

Tez Danışmanı :	**Prof.Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. Murat DİNÇMEN (Emekli)**
	Prof.Dr. Gündüz ULUSOY (Sabancı Ü.)
	Prof.Dr. Semra TUNALI (D.E.Ü)
	Yrd. Doç.Dr. Murat BASKAK (İTÜ)

ŞUBAT 2008

ÖNSÖZ

Günümüzde ürün çeşitliliğinin çok artması ve firmaların dünya pazarlarının açılması sonucunda rekabet artmış ve ürün talepleri düzensiz hale gelmiştir. Bu durum, ülkemizdeki üretici firmalar için de geçerlidir. Bu nedenle firmaların talebe zamanında yanıt verebilmesi için temin sürelerini kısaltacak şekilde sistemlerini yeniden tasarlamaları gerekmektedir. Temin sürelerini kısaltmanın yollarından biri de tek parça akışını sağlamaktır. Bunun yanında her firmanın ürün yelpazesinin genişlemesi, aynı fabrika içerisinde hem imalat hücrelerinin hem de fonksiyonel alanın bulunmasına neden olmaktadır. Bu sistemlere de melez üretim sistemleri denir.

Yukarıda kısaca açıklanan nedenlerle "Düzensiz Talep Koşullarında Melez Üretim Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı" konulu bir tez çalışması yapılmıştır. Çalışmayı özgün kılan bir özelliği tek parça akışını sağlamaya yönelik sistematik bir yaklaşım getirmesidir. Tasarıma getirilen bu sistematik anlayış Aksiyomlarla Tasarım yönteminden kaynaklanmaktadır. Çalışmamızın hem uygulama hem de akademik açıdan önemli katkılar sağlayacağına inanmaktayım.

Tez çalışmalarım sırasında sağladıkları maddi destek nedeniyle üniversiteme; uygulama çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Akkardan A.Ş. çalışanlarına; tezimde beni yönlendiren tez izleme komitesi üyesi hocalarıma, bana yol gösteren ve her zaman gülen yüzü ile beni motive eden değerli hocam sayın Prof. Dr. M. Bülent Durmuşoğlu'na ve sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2008 Şule Itır SATOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
ÖZET **x**
SUMMARY **xii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. İmalat Sistemi Tasarımlarının Sınıflandırılması 2
1.2. Tek Parça Akışı 6
1.3. Melez Üretim Sistemleri 9

2. YAYIN TARAMASI **12**

3. AKSİYOMLARLA TASARIM METODOLOJİSİ **24**
3.1. Aksiyomlarla Tasarımın Diğer Tasarım Yöntemlerine Göre Avantajları 24
3.2. Aksiyomlarla Tasarım Prensipleri 25
3.2.1. Aksiyomlarla Tasarım Terimleri 25
3.2.2. Tasarımın Fonksiyonel Gereksinimleri 26
3.2.3. Tasarımın Kısıtları 27
3.2.4. Bilgi Sahaları ve Haritalandırma 27
3.2.5. Tasarım Aksiyomları 27
3.2.6. Tasarımın Zikzak ile Ayrıştırılması 29

4. MELEZ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN AKSİYOMLARLA TASARIM MODELİ **31**

5. TEK PARÇA AKIŞI ALGORİTMASI **49**

6. ÖRNEK KULLANILARAK YÖNTEMİN UYGULANMASI **59**
6.1. Kullanılan Kümelendirme Yöntemi 59
6.2. Tek Parça Akışı Sezgiseli ve Örnek Üzerinde Uygulama 61
6.3. Birinci Hücre için Çok Ürünlü Akış Hattı Yerleşim Algoritması 67
6.4. İkinci Hücre için Çok Ürünlü Akış Hattı Yerleşim Algoritması 69
6.5. Üçüncü Hücre için Çok Ürünlü Akış Hattı Yerleşim Algoritması 71
6.6. Normal Dağılan İşlem Süreleri 73
6.7. Örnek Sistemin Benzetim Modelleri 75

6.7.1. Kümelendirme Sonrası Model 76
6.7.2. Tek Parça Akışı Sonrası Model 81
6.7.3. Kümelendirme Sonrası ve Tek Parça Akışı Sonrası Sistemlerin Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması 86
6.7.4. Örneğin Kullanılması Sayesinde Yönteme İlişkin Kazanımlar 88

7. MELEZ ÜRETİM SİSTEMİ TASARIMINA AİT GERÇEK BİR UYGULAMA 89
7.1. Kümelendirme Sonuçları 90
7.2. İstisnai Operasyonların Yok Edilmesi 92
7.3. Açık Adaptör Hücresi için Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı 94
7.4. Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı 97
7.5. ZF Hücresi için Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı 99
7.6. Fabrikadaki Sistem için İşlem Süreleri 101
7.7. Uygulama için Kurulan Benzetim Modelleri 101
7.7.1. Kümelendirme Sonrası Sistem 101
7.7.2. Tek Parça Akışı Sonrası Sistem 103
7.7.3. Benzetim Sonuçları 105
7.8. Tek Parça Akışı Sonrası Sistemdeki Darboğaz Kaynakların Benzetim Yardımıyla Belirlenmesi (FR261-DP261) 107
7.9. Benzetim Modellerinin Gerçek Durumla Karşılaştırılması 108

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 111

KAYNAKLAR 114

EKLER 118

ÖZGEÇMİŞ 128

KISALTMALAR

TPA	: Tek Parça Akışı
HÜS	: Hücresel Üretim Sistemi
MÜS	: Melez Üretim Sistemi
ÜS	: Üretim Sistemi
AD	: Aksiyomlarla Tasarım
FR	: Fonksiyonel Gereksinim
DP	: Tasarım Parametresi
TBD	: Parça Çıkışları Arası Süre
B	: Bloklama Oranı

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 6.1	Birinci Hücrede Üretilecek Parçaların Rotaları ve Bağıl Talepleri..	67
Tablo 6.2	Birinci Hücre için Dolaşım Şeması……..	67
Tablo 6.3	Birinci Hücre için Akış Hattı Türetme Tablosu……..	68
Tablo 6.4	Birinci Hücre için Geriye Dönüşsüz Tasarımı…….	69
Tablo 6.5	İkinci Hücrede Üretilecek Parçaların Rotaları ve Bağıl Talepleri ..	69
Tablo 6.6	İkinci Hücre için Dolaşım Şeması……... …	70
Tablo 6.7	İkinci Hücre için Akış Türetme Tablosu …….	70
Tablo 6.8	İkinci Hücre için Geriye Dönüşsüz Tasarım……	71
Tablo 6.9	Üçüncü Hücrede Üretilecek Parçaların Rotaları ve Bağıl Talepleri	71
Tablo 6.10	Üçüncü Hücre için Dolaşım Şeması…….	71
Tablo 6.11	Üçüncü Hücre için Akış Türetme Tablosu……...	72
Tablo 6.12	Üçüncü Hücre için Geriye Dönüşsüz Tasarım…….	72
Tablo 6.13	Normal Dağılmış İşlem Süreleri Tablosu…….	75
Tablo 6.14	Kümelendirme Sonrası Sisteme Ait Gelişler Arası Süre Bilgileri...	76
Tablo 6.15	Örnek Model için Kümelendirme Sonrası Sistemin Benzetim Sonuçları……...	80
Tablo 6.16	Çok Ürünlü Akış Hatlarının Tasarımı Sonucunda Hücrelere Eklenen Makine Sayıları……..	82
Tablo 6.17	Örnek Sistemin Benzetim Modelinin Tek Parça Akışı Sonrası Temin Süreleri……..	86
Tablo 6.18	Kümelendirme Sonrası Sistem ile Tek Parça Akışı Sonrası Sistemin Temin Süresi Ortalamalarının Karşılaştırması……..	87
Tablo 7.1	Açık Adaptör Hücresinde Üretilen Parçalar için Rota ve Bağıl Talep Bilgileri……...	95
Tablo 7.2	Açık Adaptör Hücresine Ait Dolaşım Şeması……..	96
Tablo 7.3	Açık Adaptör Hücresi için Akış Türetme Tablosu……...	96
Tablo 7.4	Açık Adaptör Hücresi için Parçaların Tek Yönlü Akışını Gösteren Parça-Makine Matrisi……...	97
Tablo 7.5	Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Rota ve Bağıl Talep Bilgileri……..	98
Tablo 7.6	Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Dolaşım Şeması...	98
Tablo 7.7	Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Akış Türetme Tablosu…….	98
Tablo 7.8	Fren Diski-Aks Yatak Muylusu Hücresi için Parçaların Tek Yönlü Akışını Gösteren Parça-Makine Matrisi……...	99
Tablo 7.9	ZF Hücresi için Rota ve Bağıl Talep Bilgileri…….	99
Tablo 7.10	ZF Hücresi için Dolaşım Şeması…….	100
Tablo 7.11	ZF Hücresi için Akış Türetme Tablosu……	100
Tablo 7.12	ZF Hücresi için Parçaların Tek Yönlü Akışını Gösteren Matris…..	101
Tablo 7.13	Uygulama için Kurulan Kümelendirme Sonrası Sistemin Benzetim Sonuçları……..	105

Tablo 7.14 Uygulama için Kurulan Tek Parça Akışı Sonrası Sistemin Benzetim Sonuçları…….. 106
Tablo 7.15 Tek Parça Akışı Algoritması Sonucu Hücrelerin Temin Sürelerindeki Düşüş Yüzdeleri……. 106
118
Tablo A-1 Uygulamada İncelenen Parçaların Talep Verileri……

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 **:** Atölye Tipi Üretim Sistemi için Bir Örnek…….. 3
Şekil 1.2 **:** U-Şeklinde Düzenlenmiş Bir Hücre Örneği……. 5
Şekil 1.3 **:** Üç Hücreli Bir Hücresel Üretim Sistemi…… 6
Şekil 1.4 **:** Parti Tipi Akış ile Tek Parça Akışının Karşılaştırılması…… 7
Şekil 1.5 **:** Bir Melez Üretim Sistemi Örneği…… 9
Şekil 2.1 **:** Tez Çalışması Kapsamında İncelenen Makalelerin Özeti…… 13
Şekil 3.1 : Tasarım için Bilgi Sahaları…… 27
Şekil 3.2 : Tasarımın Zikzak ile Ayrıştırılması…..…… 28
Şekil 4.1 : AD Modelinin Birinci Düzeyi..... 30
Şekil 4.2 : FR2'nin Ayrıştırılması……..... 31
Şekil 4.3 : Hücre Oluşturma Prosedürü(DP24)'ne ait Akış Şeması……... 35
Şekil 4.4 : FR25'in Ayrıştırılması ……..…… 36
Şekil 4.5 : FR26'nın Ayrıştırılması…… 38
Şekil 4.6 : FR261'in Ayrıştırılması…… 39
Şekil 4.7 : FR2611'in Ayrıştırılması……. 41
Şekil 4.8 : FR262'nin Ayrıştırılması……. 42
Şekil 4.9 : FR2625'in Ayrıştırılması…….…. 44
Şekil 4.10 : FR3'ün Ayrıştırılması……... 47
Şekil 4.11 : Melez Üretim Sistemi'nin AD ile Tasarımının Ayrıştırılması..… 54
Şekil 5.1 : Tek Parça Akışı Algoritması için Özet Akış Şeması…… 51
Şekil 5.2 : Tek Parça Akışı Algoritmasındaki 1.SeçimKuralı…… 52
Şekil 5.3 : Tek Parça Akışı Algoritmasındaki 2.Seçim Kuralı……... 53
Şekil 5.4 : Tek Parça Akışı Algoritmasındaki 3. Seçim Kuralı…….. 54
Şekil 5.5 : Ele Alınmayan İstisnai Operasyonlar Listesinin Güncellenmesi.. 54
Şekil 5.6 : Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarım Algoritması…… 56
Şekil 5.7 : Algoritmadaki Eklenen Makineleri Azaltma Prosedürü……..…. 58
Şekil 6.1 : Düşünsel Örnek'e ait Kümelendirilecek Matris…… 60
Şekil 6.2 : Düşünsel Örnek'e Ait Kümelendirme Sonrası Dendogram…….. 60
Şekil 6.3 : Kümelendirme Sonrası Oluşan Makine-Parça Matrisi…….. 61
Şekil 6.4 : Kümelendirme Sonrası Elde Edilen Başlangıç Çözümü……... 62
Şekil 6.5 : Başlangıç Çözümünün Spagetti Şeması…..……... 64
Şekil 6.6 : Örnek'te Bazı İstisnai Operasyonların Alternatiflere Atanması... 65
Şekil 6.7 : Alternatif Makinelere Atama Sonucunda Elde Edilen Çözüm…. 66
Şekil 6.8 : Alternatiflere Atama ve Hat Tasarımı Sonrası Spagetti Şeması... 74
Şekil 6.9 : Algoritma Uygulandıktan Sonra Örnek Sistemdeki Akış……... 75
Şekil 6.10 : Kümelendirme Sonrası Sistemin 300 Gün için Temin Süreleri… 80
Şekil 6.11 : "Match-Seperate" Modül Çiftinin Arena Ortamında Kullanılışı.. 85
Şekil 6.12 : Modellenen Sistemlerin Temin Sürelerinin Karşılaştırılması….... 88
Şekil 7.1 : Açık Adaptör ve Fren Diski Parçaları……... 89

Şekil 7.2 : Uygulama Verilerinin Kümelendirilmesi ile Oluşan Dendogram. 91
Şekil 7.3 : Kümelendirme Sonrası Elde Edilen 0-1 Makine-Parça Matrisi… 92
Şekil 7.4 : Kümelendirme Sonrası Geliştirilmiş Makine-Parça Matrisi……. 93
Şekil 7.5 : Firmanın Benzetim Modelinin 300 gün için Temin Süreleri…… 103
Şekil 7.6 : Firmadaki Başlangıç Aşamasındaki Yerleşim Plânı……. 109
Şekil 7.7 : Firmada TPA Algoritması Uygulandıktan Sonraki Yerleşim Plânı……... 110
Şekil B-1 : Melez Üretim Sistemi'nin AD ile Tasarımı için Genişletilmiş Tasarım Matrisi…….. 120
Şekil B-2 : Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin Açık Adaptör Parçalarını İçeren Kısmı…….. 121
Şekil B-3 : Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin Fren Diski Parçalarını İçeren Kısmı……... 122
Şekil B-4 : Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin Aks Yatak Muylusu Parçalarını İçeren Kısmı…… 123
Şekil B-5 : Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin ZF Parçalarını İçeren Kısmı…… 123
Şekil B-6 : Açık Adaptör Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi……... 124
Şekil B-7 : Fren Diski Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi…… 125
Şekil B-8 : Muylu Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi……..…… 126
Şekil B-9 : ZF Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi…… 127

DÜZENSİZ TALEP KOŞULLARINDA MELEZ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN AKSİYOMLARLA TASARIMI

ÖZET

Günümüzde ürün çeşitliliğinin ve rekabetin artması vb. nedenler ile ürün talepleri oldukça düzensiz hale gelmiştir. Sistemin bu şartlara ayak uydurabilmesi için, talebe hızlı yanıt verecek şekilde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Hızlı yanıt vermek için üretim sisteminin temin süresinin düşürülmesi gerekir. Bunun için tez çalışmamızda tek parça akışının gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.

Bunun yanında her firmanın ürün yelpazesinin genişlemesi sonucunda çeşitli ürünler yaşam çevrimlerinin farklı aşamalarında bulunabilmektedir. Örneğin başlangıç aşamasındaki ürünler fonksiyonel alanda üretilir. Numune parçalar bu tür parçalara örnek gösterilebilir. Ürün tasarımı standart hale gelen ve talebi daha yüksek olan parçalar için imalat hücreleri kurulabilir. Bu da aynı fabrika içerisinde hem imalat hücrelerinin hem de fonksiyonel alanın bulunmasına neden olmaktadır. Bu sistemlere de melez üretim sistemleri denir. Melez üretim sistemleri pratik hayatta sıkça karşılaşılan yapılardır. Ancak bu konuda az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca düzensiz talep koşullarına odaklanan ve bu duruma özgü değişen hızlarda üretim yapmaya olanak tanıyan çözümler sınırlıdır.

Bu nedenle tez çalışmamızda düzensiz talep koşullarında kısmî tek parça akışının uygulandığı *melez üretim sistemlerinin* tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım(AD) metodolojisini kullanan bir yol haritası önerilmiştir. Tek parça akışının uygulanabilmesi için parçaların hücreler arası hareketlerine neden olan istisnai operasyonlar yok edilmelidir. Bu amaçla alternatif makinelerden yararlanılacaktır. Teknolojinin gelişmesi sayesinde bilgisayar kontrollü makineler birbirlerinin işlevlerini yerine getirebilir hale gelmiştir. Bu durumdan yararlanarak istisnai operasyonların alternatiflere atanmasına çalışılacaktır. Alternatif makineler incelenerek, geliştirilen kurallar çerçevesinde istisnai operasyonlar sistematik biçimde alternatiflere atanmaya çalışılır.

Tek parça akışına yönelik tasarım algoritması tez çalışmasının *özgün* yönlerinden biridir. Çünkü istisnai operasyonları yok etmek için alternatif makineleri kullanan, fonksiyonel alandan da yararlanmaya olanak tanıyan sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. İstisnai operasyonların yok edilmesinin ardından hücre içerisinde tek yönlü akışın sağlanması hücrelerde tek parça akışını mümkün hale getirir. Bu sayede ürünlerin temin süreleri düşer, temin süresi değişkenliği azalır.

Benzetim tekniği ile tasarlanan sistemin kapasite yeterliliği kontrol edilir ve benzetim sonuçlarına dayanarak darboğazlar belirlenir. Darboğaz belirleme aşamasında da kurallara bağlı sistematik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Daha sonra belirlenen darboğazlar yok edilir. Bu amaçla darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedür de AD'yi temel alan sistematik bir yaklaşımdır.

Darboğazlar belirlenirken hücredeki hangi iş merkezinin veya iş merkezlerinin darboğaz olduğu kurallar yardımıyla belirlenir. Daha sonra iş merkezinde hangi kaynağın buna neden olduğu sistematik biçimde araştırılır.

Belirlenen darboğazların yok edilmesi için de AD kullanılarak bir dizi çözüm önerilmiştir. Çözümler basitten zora doğru uygulanarak darboğazlar yok edilmeye çalışılır. Bu çözümlerden en sonuncusu üretim kaynağının satın alınmasıdır. En uygun üretim kaynağının seçimi için de AD'yi kullanan bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Yukarıda açıklanan yaklaşım, önce küçük bir düşünsel örnek üzerinde uygulanmıştır. Bu sayede, oluşabilecek her türlü durum örnek üzerinde sergilenmiştir. Önce küçük örneğin makine parça matrisi Ortalama Bağlantı Yöntemi ile kümelendirilmiş ve sonucunda bir takım istisnai operasyonlar bulunmuştur. Çalışmamızda kümelendirme yönteminin seçimi öncelikli bir konu değildir. Çünkü geliştirilen yaklaşım kümelendirme sonucu oluşan istisnaları yok etmeye yönelik çözümler önermektedir. Tüm operasyonlar için alternatif makineleri içeren geliştirilmiş makine-parça matrisi oluşturulmuştur. İstisnai operasyonlar bu matriste görülen alternatif makinelere AD'ye dayanarak geliştirilen kurallara uyularak yok edilmeye çalışılır. İstisnai operasyon için ilgili parçanın ana hücresinde alternatif bir makinenin varlığı araştırılır. Varsa öncelikle ana hücredeki alternatife, ilgili operasyon atanır. Aksi halde fonksiyonel alanda bir alternatifin varlığı araştırılır. Ancak bu operasyonun son operasyon olması istenir. Son operasyon değilse, bu ve bundan sonraki operasyonların da fonksiyonel alana atanmasına çalışılır. Çünkü parçaların hücreden çıkıp fonksiyonel alana gittikten sonra tekrar geri dönmesi istenmez. Sonuncu yöntem ise parçanın ana hücresini değiştirip, son operasyonu veya operasyonları fonksiyonel alana atamaktır. Böylece örnekteki tüm istisnai operasyonlar yok edilmiştir.

Daha sonra tek parça akışının hücrelerde gerçekleşebilmesi için hücre içi tek yönlü akış sağlanmalıdır. Bunun için de Aneke ve Carrie'nin geliştirdiği bir sezgisel yöntemden yararlanılmıştır. Elde edilen sistem, hücrelerde tek parça akışının olduğu ve fonksiyonel alanda parti tipi akışın olduğu istisnaların olmadığı bir yapıdır. Ancak bu sistemin kapasite yeterliliği kontrol edilmelidir. Bu amaçla benzetim tekniği kullanılarak tasarlanan sistem Arena 10.0 yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Darboğazlar, benzetim sonuçlarındaki parça temin süreleri ve kuyruk uzunlukları incelenerek belirlenir. Gerekli ise ek makine satın alındığında temin sürelerinin değişimine bakılır.

Ayrıca tez çalışmasında tek parça akışı algoritması uygulanmadan önceki sistem ile uygulandıktan sonraki sistemin modelleri kurularak, her iki sistemin ürettiği parçaların temin süreleri karşılaştırılmıştır. Geliştirilen tek parça akışı algoritmasının parça temin sürelerini belirgin biçimde iyileştirdiği görülmüştür.

Yukarıda açıklanan aşamaların tamamı, Akkardan A.Ş.'ye ait fabrikanın bir biriminde de uygulanmaya çalışılmıştır. Tez çerçevesinde uygulanabilecek tüm aşamalar bu sistem için gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın bu firmanın da sistem performansını iyileştirdiği benzetim tekniği ile elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır.

DESIGN OF HYBRID CELLULAR MANUFACTURING SYSTEMS IN ERRATIC DEMAND CONDITIONS USING AXIOMATIC DESIGN

SUMMARY

Today, product demands have become erratic due to increase in product variaty, and competitiveness among companies, recently. Manuacturing systems must be redesigned in order to adapt to these chanceg, and respond quickly to erratic demand. Lead time of the manufacturing system should be decrased in order to achieve these goals. Therefore, one-piece flow was tried to be implemented during design, at this study.

Moreover, as the companies produce wide range of products, these products should be in different stages of their life cycle. For instance, products that are at their beginning or birth phase, must be produced in functional layout. Sample parts or prototypes are examples to these part types. However, parts with relatively stable design and high demand must be produced in cells. This results in coexistance of both cells and functional layout at the same factory. These systems are called hybrid cellular manufacturing systems(HMS). These systems are met frequently in real world. However, solution approaches that focus on erratic demand conditions and providing oppurtunities to manufacture in varying cycle times are very limited.

For these reasons, a road map for the design of HMS in erratic demand conditions using Axiomatic Design(AD) was proposed at this study. Exceptional operations causing intercell traffic should be eliminated, so as to implement one-piece flow. For this purpose, alternative machines will be utilized. As technology improved, machines have become able to carry out operations of other machines, and this caused them become alternative for each other. At our one-piece flow algorithm, alternative machines are evaluated, and exceptional operations are tried to be eliminated by reassigning them to these alternatives systematically.

This algorithm is one of the *unique* components of our study, because it utilizes alternative machines both in cells and in functional layout in order to eliminate exceptional operations. After the elimination of exceptions, uni-directional flow must be established in each cell. This enhances one-piece flow in cells, and decrases lead time of the parts.

Simulation technique is used so as to check sufficiency of system capacity, and bottlenecks are identified on the basis of simulation results. Bottleneck identification is also a tule-based approach using AD principles.

While identification of the bottlenecks, workcenters causing delays and the resources causing these bottleneck work centers are searched and identified based on rules.

Afterwards, bottlenecks must be eliminated. For this purpose, a systematic procedure was developed and pursued. In order to eliminate bottleneceks, some sequenial solutions were proposed using AD. Solutions must be implemented starting from the simplest to the hardest. The hardest and the last solution is purchasing resources, especially machines.

This approach was implemented on a small hypothetical example, to reflect all possible situations. First, part-machines matrix of the problem was clustered using Averga Linkage

Method, and some exceptional operations were found. The selection of the clustering method is negligible, since the proposed algorithm attempts to eliminate exceptions.

The improved machine-part matrix was established, including alternative machines for each operation. Exceptional operations are tried to be eliminated by reassigning them to alternative machines based on the rules.

First, existance of any alternative at the parent cell of the part is searched. If it exists, the operation is assigned to this machine. Otherwise, existance of alternatives in functional layout are searched. Even if there exist any alternative, the exceptional operation must either be the last operation or the following should be also assigned to the functional layout, because parts' travelling from cells to functional layout and then back to cells is not desired. The last solution is changing the parent cell of the part and reassigning some operations in order to eliminate some exceptions. By pursuing these rules, all exceptional operations were eliminated in the problem.

Afterwards, uni-directional flow in each cell was achieved by using the heuristic method of Aneke and Carrie. The resulting system consists of cells witn one-piece flow and functional layout with batch flow, without exceptions. The sufficiency of the resources were checked by using the simulation technique. Arena 10.0 was the simulation software for system modeling. Bottlenecks were identified by evaluating the lead time and queue length results.Addition of new machines were also tried to remove the bottlenecks.

Moreover, the system before the implementation of the proposed algorithm was modeled using Arena software, and the two models were compared in terms of their lead times.It was clear that the proposed one-piece flow algorithm decreased the lead time of the parts produced by the system.

Most of the steps mentioned above were implemented in a real manufacturer called Akkardan. It was concluded that the proposed algorithm improved manufacturing system's performance, considerably.

1. GİRİŞ

Modern dünyada sistem tasarımı konusunda önemli değişimler meydana gelmektedir. Çok sayıda şirketin küresel pazarlara açılması dünyanın farklı bölgelerinden müşterilere ürün veya hizmet üretmelerine neden olmaktadır. Üretilen ürünlerin çeşitliliği arttıkça, bunların her birinden üretilen miktarlar ve dolayısıyla parti büyüklükleri de düşmektedir. Ayrıca ürün tasarımında kavramsal aşamadan ürünün üretimine başlanan aşamaya kadar geçen süre kısalmıştır. İşte bu eğilimler, imalât sisteminin aşağıda açıklanan biçimde yanıt vermesini gerektirmektedir:

İmalât sistemlerinde yeniden tasarım ve sürekli gelişim sonu olmayan bir yol ve amaç haline gelmiştir. Sistemler, müşteri taleplerine yanıt verebilmek için daha iyi ürünleri daha düşük maliyetlerle üretip, tam zamanında müşteriye teslim edebilmelidir. Ayrıca sistemler, esnek ve güvenilir olmalıdır. Diğer bir deyişle, müşteri talep miktarı, ürün karışımı ve tasarımı konusundaki değişimlere hızla ayak uydurabilmelidir. Bunun yanında ürünleri, arızalar ve kalite hataları olmaksızın üretebilmelidir. Sistemin, imalât hücreleri halinde yeniden tasarlandığı durumlarda ürün tasarımı, yeni ürün tasarımlarının kolayca adapte edilebileceği biçimde düzenlenmelidir.

Burada sistem, ölçülebilir parametreler ile özellik kazanan, belli bir amaç için fiziksel bileşenlerin bir araya geldiği yapıyı tanımlamaktadır (Hyer ve Wemmerlöv, 2002). Bu tanım, imalât sistemleri için uygundur. Önemli fiziksel bileşenler, insanlar, makineler, malzeme depolama ve taşıma araçlarıdır. Hammaddeler ve yarı mamuller süreçlerin girdileri; ürünler ise çıktılarıdır. İmalât sistemleri için sıkça kullanılan parametreler ise temin süresi ve çevrim süresidir. Çevrim süresi, imalât sisteminden iki ardışık parçanın çıkışları arasında geçen süredir. Eğer bir sistem dakikada bir araç üretiyorsa, çevrim süresi bir dakika/araç'tır. Temin süresi ise ürünün veya parçanın fabrikaya girdiği zaman ile çıktığı zaman arasında geçen süredir. Süreç içi stok (WIP) ise fabrika içinde çeşitli aşamalarda işlenmeyi bekleyen parçaların miktarıdır. WIP arttıkça, temin süresi de artar.

Bir sistemi modellemek ve kontrol etmek için sistemin sınırları ve kısıtları belli olmalıdır. Ayrıca dışarıdan gelen bozucu etkilere karşı sistemin vereceği yanıt, sistem parametreleri yolu ile tahmin edilebilmelidir.

Üretim sistemi, imalât sistemi ile buna destek olan faaliyetlerin bir bütünüdür. Örneğin kalbin vücuda kan pompalaması bir tür malzeme akışıdır. Üretim sisteminde ise kana, gerekli besinler ve oksijen sağlanır; kan miktarı (WIP) ve nabız (çevrim süresi) kontrol edilir. Malzeme kontrol fonksiyonları, imalât sistemi için büyük önem taşır. Örneğin hücrelerin birbirine bağlı olduğu hücresel üretim sistemi, kontrol işlevlerinin bütünleşik biçimde yönetilmesine gerek duyar (Black ve Hunter, 2003).

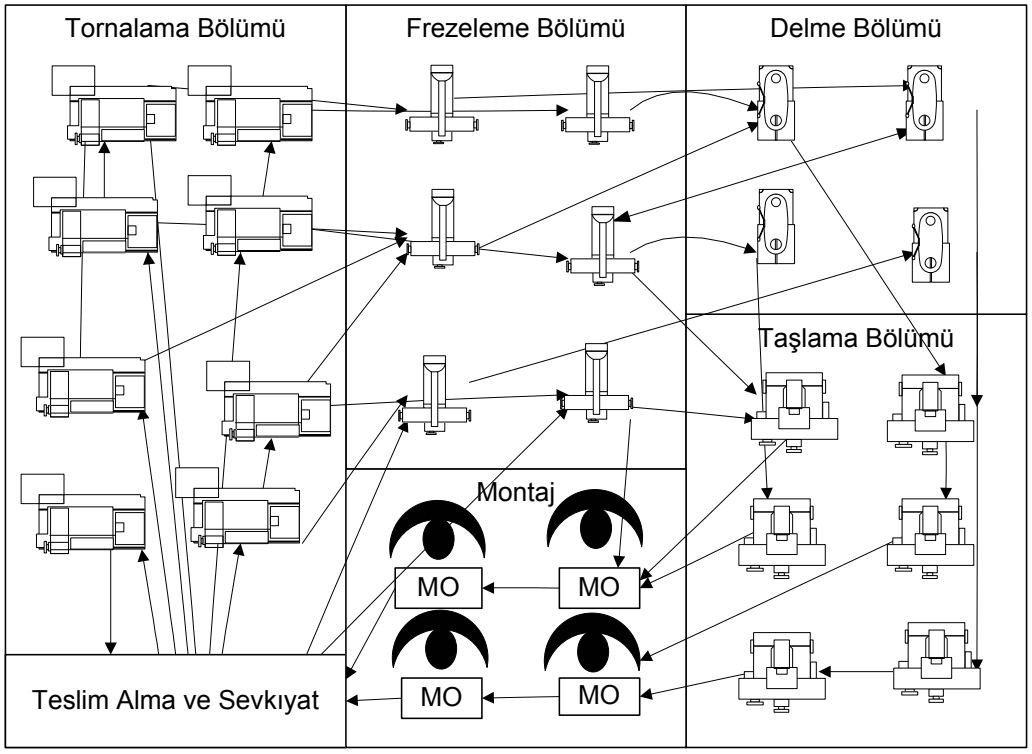
1.1 İmalât Sistemi Tasarımlarının Sınıflandırılması

Beş çeşit imalât sistemi tasarımı vardır. Bunlar: atölye tipi, proje tipi, sürekli proses tipi, akış tipi ve hücresel imalât sistemi.

Sürekli proses tipi üretim, sıvılar, gazlar veya toz şeklindeki malzemelerin üretiminin yapıldığı sistemdir. Diğer dört sistemde, kesikli üretim olmaktadır.

Sürekli proses tipi üretimde ürün, fiziksel olarak akar. Belli ürünlerden veya sadece bir üründen yüksek hacimlerde üretim yapılır. Petrol rafinerileri ve kimyasal proses fabrikaları buna örnektir. Verimleri çok yüksek olmakla birlikte, esnekliğin en az olduğu imalât sistemi türüdür.

Atölye tipi imalât sistemi, kesikli üretimde dünyada en yaygın olan yapıdır (Black, ve Hunter, 2003). Çok çeşitli parçaların üretilebildiği, çok amaçlı makinelerin bulunduğu ve makinelerin türlerine göre bir araya getirilip, fonksiyonel olarak yerleştirildiği sistemdir. Bu sistemin iyi yönü çok çeşitli ürünleri üretebilmesidir. Ancak parçalar veya ürünler makinelerden oluşan bölümler arasında büyük partiler halinde dolaşır. Bu nedenle temin süreleri ve WIP miktarları yüksektir. Belli bir makinede bir öncekinden farklı türden bir parça üretilecekse, makine hazırlığı yapılmalıdır. Şekil 1.1'de atölye tipi üretim sistemi için bir örnek görülmektedir.



Şekil 1.1 Atölye Tipi Üretim Sistemi için Bir Örnek

Proje tipi imalât sistemi, üretilecek ürünün ağırlık, boyut vb. nedenlerle hareketsiz olduğu sistemdir. Ürünün üretimi için insanlar, makineler ve malzemeler üretimin yapılacağı yere taşınır. Uçaklar, gemiler ve takım tezgahları gibi ürünler bu tür sistemlerde üretilir.

Akış (hat) tipi imalât sistemi, ürün odaklı yerleşime sahiptir. Ürünlerin standart ve taleplerinin çok yüksek olduğu durumlarda ekonomiktir. Üretim hacmi büyüdüğünde, özellikle montaj hatlarında, kitle tipi üretim olarak da adlandırılır. Bu sistemler, örneğin otomotiv endüstrisinde yılda 200.000 adet veya daha fazla üretim yapabilmektedir. Ürünü üretmek için özel araç-gereç ve makineler imalât hattına atanmıştır. Özel makineler nedeniyle yatırım maliyeti çok yüksektir. İşgörenlerin (operatörlerin) çok sayıda beceriye sahip olması gerekmez. Parçalar iş istasyonları arasında konveyör, bant vb. araçlar ile taşınır. Parçalar bir istasyondan geçtikten sonra tekrar aynı yere geri dönmez. Yani akış tek yönlüdür. Ayrıca parçalar teker teker hareket eder. Ancak bu imalât sistemi esnek değildir. Yani farklı bir ürünün aynı hat üzerinde üretimi güçtür.

Akış tipi sistemin farklı bir durumunda ise parçalar, hat üzerindeki istasyonlar arasında partiler halinde ilerlemektedir. Buna parti tipi akış denir.

Günümüzde fabrikaların çoğu atölye tipi imalât sistemi ile akış tipi sistemi bir arada bulundurur (Black ve Hunter, 2003).

Hücresel üretim sistemi (HÜS) grup teknolojisinin bir uygulamasıdır. Grup teknolojisi; benzer işleri, aileler oluşturacak şekilde bir araya getirmeyi gerektirir. Bu felsefe, gerek imalât işlevlerine ve gerekse yönetimsel işlevlere uygulanabilir (Hyer ve Wemmerlöv, 2002).

Atölye tipi üretim sisteminden bu sisteme geçişteki amaç, bir yandan atölye tipi sistemin esnekliğini kaybetmemek, diğer taraftan akış tipi sistemdeki gibi kısa temin süreleri ile üretim yapabilmektir.

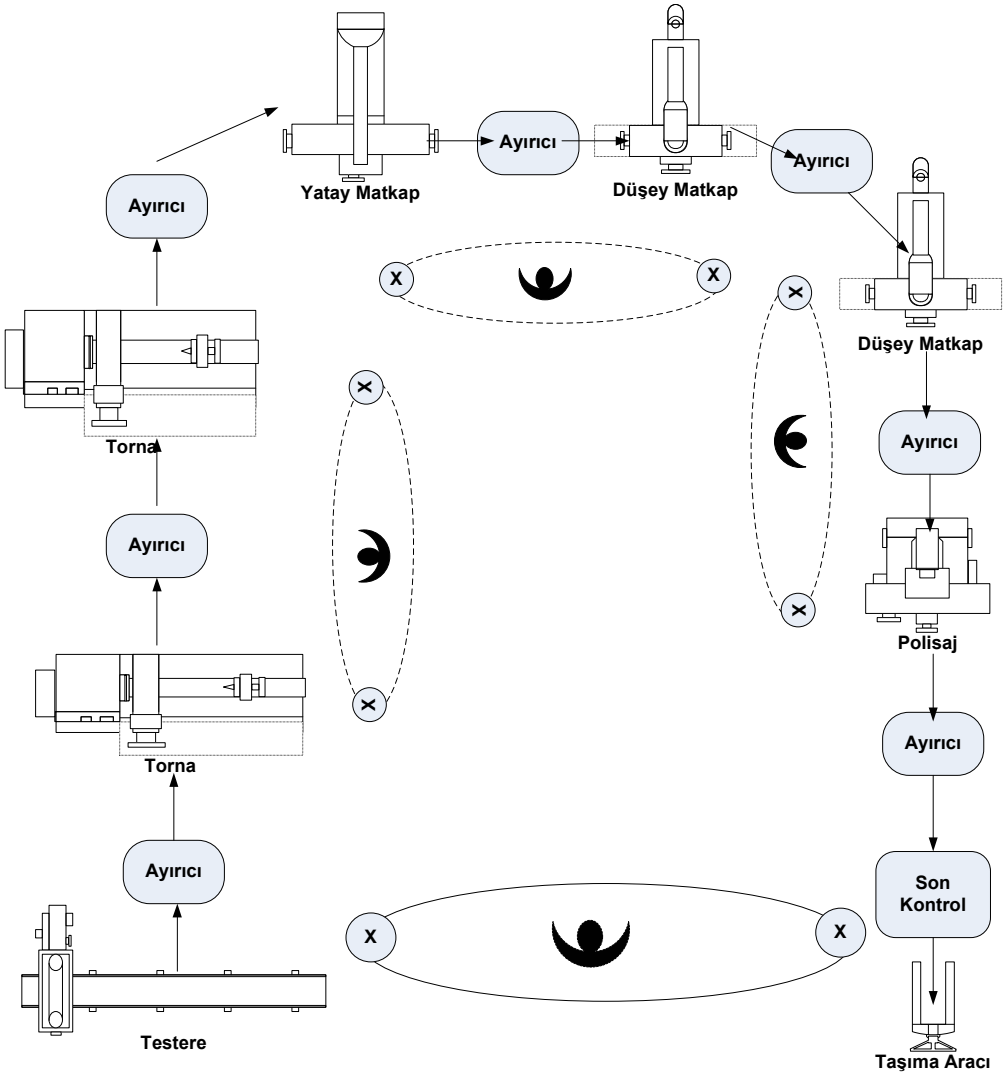
HÜS, hücrelerden oluşmaktadır. Hücreler, bir ürün grubunun veya ürün ailesinin işlem benzerliklerinden yararlanmak amacıyla kurulan küçük imalât birimidir (Hyer ve Wemmerlöv, 2002). Benzer ürünlerden oluşan ürün ailesini işlemek için gereken insan ve donanımların birbirine yakın biçimde yerleştirilmesiyle oluşur. Hücrede, parçaların işlenmesi için gereken kaynakların tümü veya çoğu bulunmaktadır. Bu ürün odaklı yerleşim, malzemenin ve bilginin hızlı akmasını sağlar. Hücreler genellikle U-şeklinde düzenlenmiştir. Böylece makineler arası malzeme taşımaları azaltılmış olur.

Bazı durumlarda montaj hücreleri ve buna bağlı çalışan imalât hücreleri de hücresel üretim sisteminde yer alır. Bu durumda imalât ve montaj hücreleri arasındaki iletişim Kanban çekme üretim kontrol sistemi ile sağlanmaktadır. Kanban, Japonca'da kart anlamına gelmekte ve bilgi akışını sağlamaktadır (Monden, 1993).

Ayrıca hücre işgörenlerinin becerileri, çapraz eğitimler ile arttırılarak, çok sayıda makineyi kullanabilmeleri sağlanır. Günümüzde hücrelerdeki makineler genelde otomatik olduğu için makine işlemini gerçekleştirirken, işgören de başka işlerle ilgilenebilir. İşlemi bitmiş parçayı makineden söker, parçayı kontrol eder ve yeni parçayı bağlar (Black ve Hunter, 2003). Şekil 1.2'de U-şeklinde düzenlenmiş, dört işgören tarafından idare edilen bir imalât hücresi görülmektedir (Black ve Hunter, 2003). Burada makineler arasında ayırıcı adı verilen stok noktaları bulunmaktadır. Ayırıcı, Aksiyomlarla Tasarımın bağımsızlık aksiyomuna dayanan bir uygulamadır.

Bunlar sayesinde makineler veya süreçler birbirinden ayrılarak, değer akışında bir miktar gecikmeye izin verilir ve hücreye esneklik sağlanır.

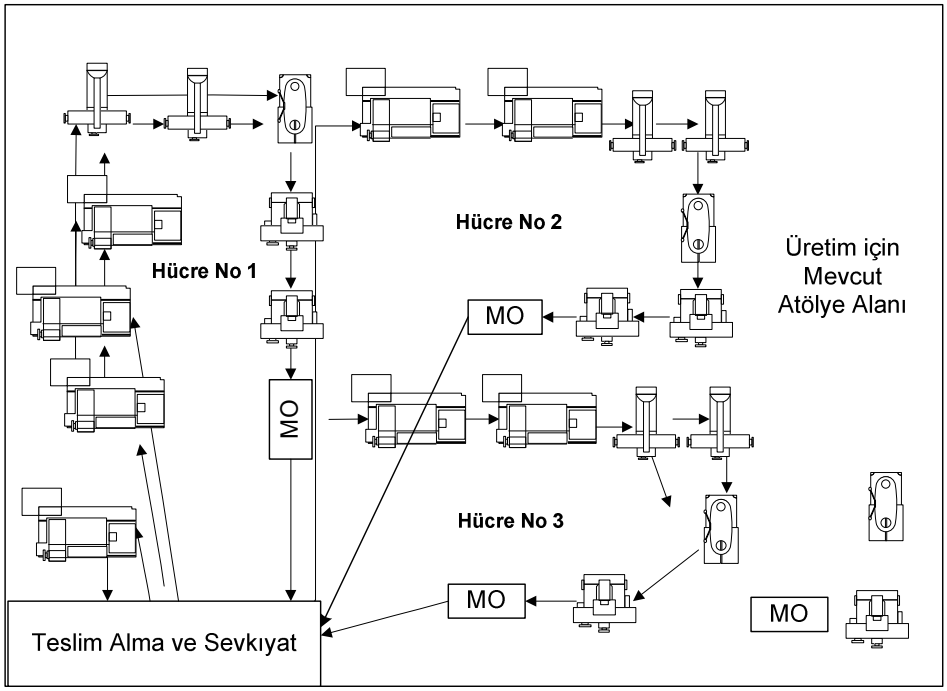
Ayırıcıların diğer bir işlevi ise işgören hareketine esneklik sağlamasıdır. Genelde işgören hareketi parça yönündedir. Bir makineden diğerine parça teslimi için makineler arasına ayırıcı yerleştirilmesi ile işgören parça akışına zıt yönde de hareket edebilir. Bunun yanında ayırıcılar, parçaların soğuması, boyanın kuruması vb. için gereken süreç gecikmesini sağlar (Durmuşoğlu, 1988).



Şekil 1.2 U-Şeklinde Düzenlenmiş Bir Hücre Örneği

Hücrelerde standart iş uygulaması önemli bir konudur. Bu uygulama, yapılması gereken işlemlerin hedeflenen takt süresinde gerçekleştirilmesini sağlar. Takt süresi, müşterinin talep ettiği çevrim süresi olarak tanımlanır. Montaj hattının, müşterinin beklediği zamanda ürünü sağlayabilmesi için gereken çevrim süresine takt süresi

denir. Standart iş tanımlanırken, işi en iyi şekilde gerçekleştirmeyi sağlayan işlem sırası tanımlanmış olur. Standart iş için standart süreç içi stoğun da belirlenmesi gerekir. Hücre içinde düzgün bir akış için gereken en az sayıdaki iş parçası sayısı standart süreç içi stoğu tanımlar. Standart iş üzerinde Kaizen adı verilen sürekli iyileştirmeler yapılarak, işin daha etkin biçimde gerçekleşmesi sağlanır (Black ve Hunter, 2003). Şekil 1.3'te, Şekil 1.1'deki atölye tipi üretim sisteminin hücresel üretim sistemine dönüştürüldüğü durum görülmektedir.



Şekil 1.3 Üç Hücreli Bir Hücresel Üretim Sistemi

Anlatılanlara ek olarak hücrelerde tek parça akışının uygulanması önemli bir avantaj sağlar.

1.2 Tek Parça Akışı

Bir ürünün yaşam çevriminde farklı üretim sistemleri kullanılır. Ürünün oluşum aşamasında atölye tipi imalât sistemi uygundur. Gelişim aşamasında üretim hacmi artar ve parti tipi üretime geçilir. Ürün tasarımı sabit olduğunda ve talep hacmi bir hat tahsis etmeye yetecek büyüklüğe ulaştığında hat (akış) tipi üretime geçilir. Geçmişte parti tipi üretim bir geçiş aşamasıyken, günümüzde parçaların yaşam çevrim süresinin kısalması ve ürün çeşitliliğinin artması nedeniyle hat kurulması

yerine parti tipi üretim kalıcı hale gelmektedir. Parti tipi üretimin gerçekleştiği imalât sistemlerinde, performansı arttırmak için tek parça akışı uygulanabilir (Miltenburg, 2001).

Tek parça akışı (TPA), parti tipi akışa göre temin süresi bakımından önemli avantajlar sunar. Parti tipi akış sırasında belli büyüklükteki partinin, bir makineden diğerine geçmesi için partideki tüm parçaların ilgili işleminin tamamlanması gereklidir. Şekil 1.4'te bu durum gösterilmiştir.

Şeklin üst kısmında parti tipi akış; alt kısmında ise tek parça akış durumu görülmektedir. On adet parçadan oluşan bir partinin üç farklı iş merkezinden, her birinde birer dakika işlenmesi gerekmektedir. Parti tipi akışta, partinin birinci parçası bir dakika işlendikten sonra geri kalan parçaların da işlenmesi için en az dokuz dakika bekler. Sonra ikinci ve üçüncü iş merkezinde benzer şekilde partinin tüm parçaları işlenir.

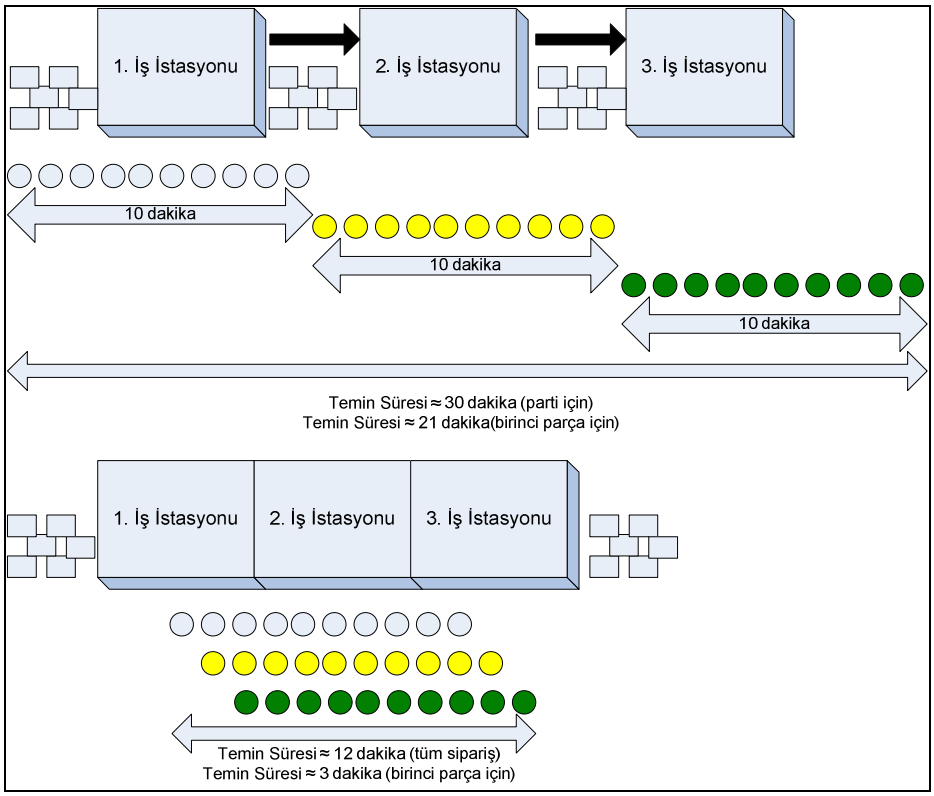
Fakat tek parça akışında parçalar, 1. iş merkezinde işlendikten sonra takip eden merkeze gider; ondan sonra gelen parçaları beklemez. Parti tipi akışta ilk parçanın temin süresi 21 dakika ve partinin tamamının temin süresi 30 dakikadır. Tek parça akışında ise ilk parçanın temin süresi 3 dakika, partinin temin süresi ise 12 dakikadır.

TPA'nda parti tipi akışa göre daha kısa sürede üretimin tamamlanmasının nedeni, parçaların ardışık iş merkezlerinde birbirlerine paralel olarak işlenmesidir. Böylece beklemeler azaltılır.

Miltenburg'un çalışmasında (2001) tek parça akışında uygulanması gereken adımlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Tek parça akışının (TPA) sağladığı yararlara rağmen firmaların bu konuda başarısız oldukları veya büyük zorluklarla karşılaştıkları belirtilmektedir (Miller, 2007). Bu zorluklardan bazıları ve çözüm önerileri şunlardır:

- Gereken zamanda gerekli miktarda parçanın temin edilememesi ve makinelerin sıkça arızalanmasına çözüm olarak TPA'nı uygulayıp, hattın durmasını ve sorunun açıkça ortaya çıkmasını sağlamak denenebilir. Böylece konuya gereken ilgi gösterilecektir.



Şekil 1.4 Parti Tipi Akış ile Tek Parça Akışının Karşılaştırılması

- Çalışanlar tarafından değişime karşı direnç gösterilmesi, çalışanların eğitilmesi ile çözülmeye çalışılmalıdır.

- Uzun hazırlık süreleri ve makine çevrim sürelerindeki değişkenliği azaltmak için TPA'nın mümkün olan her yerde uygulanmaya çalışılması ve hazırlık sürelerinin sürekli düşürülmesi gereklidir. Çevrim sürelerindeki değişkenliği yok etmek için işlerin küçük parçalara ayrılıp, katma değeri olmayan işlerin yok edilmesi yararlı olacaktır.

- Makineler arası uzaklıklar, makinelerin birbirlerine yaklaştırılması ile azaltılır. Bu da TPA'nın uygulanmasını kolaylaştırır.

- Makinelerin tek parça akışına uygun tasarlanmamasına çözüm olarak TPA'na uygun donanımlar geliştirilmelidir.

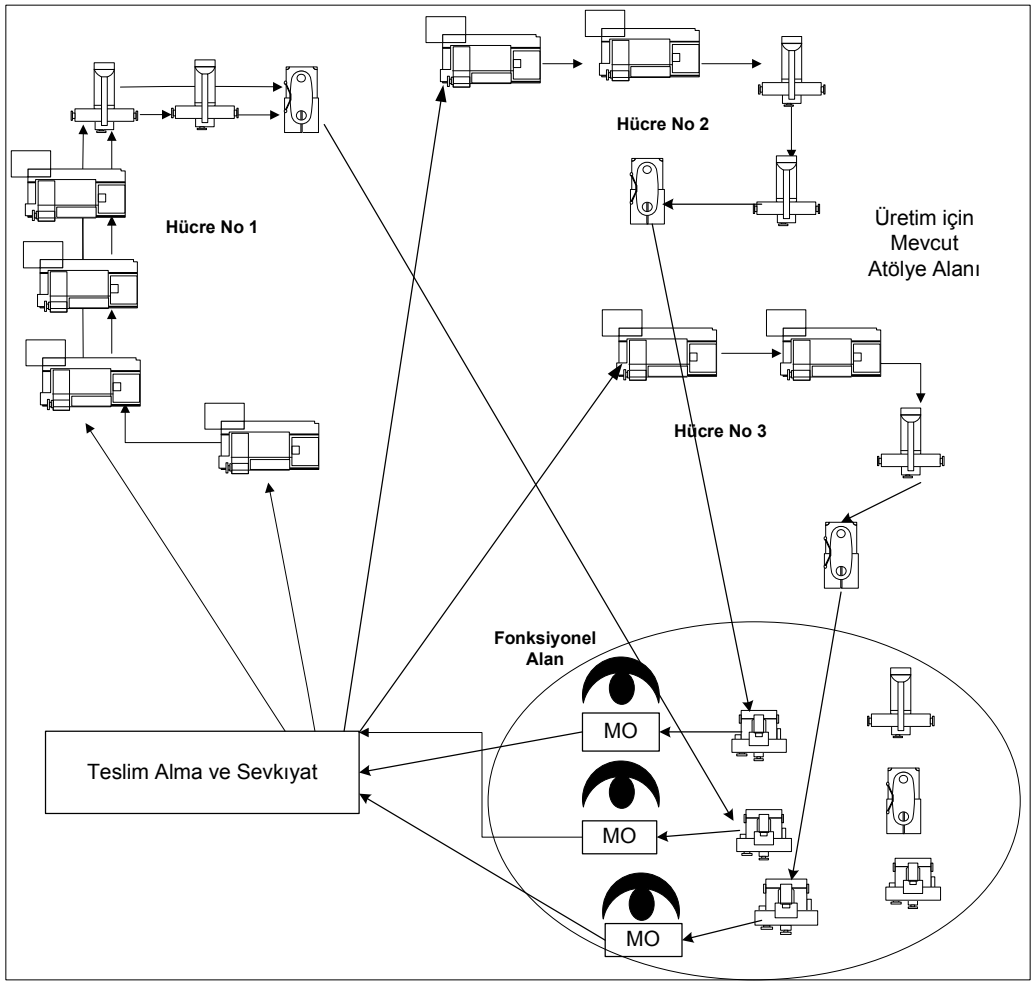
- Ara sıra yapılan bazı işlerin akışı bozmaması için joker elemanların bu tip işleri gerçekleştirmesi yararlı olur.

1.3 Melez Üretim Sistemleri

Melez üretim sistemleri hücresel yerleşim ile fonksiyonel yerleşimin bir arada bulunduğu sistemdir (Shambu ve Suresh, 2000). Bu nedenle sisteme "melez" adı verilmiştir.

Miltenburg'un da belirttiği gibi bir üretim sisteminde üretilen çeşitli ürünler, yaşam çevrimlerinin farklı aşamalarında olabilirler. Yani, bazı ürünler henüz oluşum aşamasında olduklarından fonksiyonel olarak yerleştirilmiş makinelerde üretilir. Bunlar arasında numune parçalar da bulunmaktadır. Bununla birlikte düşük talepli ve talebi değişken olan parçalar da fonksiyonel alanda üretilebilir. Talep düzeyi daha yüksek olan ürünler ise hücrelerde veya hatlarda üretilebilir (Miltenburg, 2001). Bu nedenle gerçek hayatta melez üretim sistemleri ile sıkça karşılaşılmaktadır. Şekil 1.5'te böyle bir sisteme örnek gösterilmiştir. Fonksiyonel alandaki makineler hücrelere dağıtılırsa yine Şekil 1.3'teki hücresel yapı elde edilir. Ayrıca literatürdeki pek çok çalışmada atölye tipi üretim sisteminden hücresel üretime bir kerede geçmek yerine belli ürünler için, aşamalı olarak hücrelerin kurulduğu ve bu dönüşümün tavsiye edildiği belirtilmektedir (Shafer ve Bradford, 1995; Venkataramanaiah ve Krishnaiah, 2002; Mahesh ve Srinivasan, 2002, 2003; Mahdavi ve diğerleri, 2006).

Günümüzde ürün çeşitliliğinin artması, her üründen üretilen adetlerin azalması vb. nedenler ile ürün talepleri oldukça düzensiz hale gelmiştir. Bu da üretim sistemlerinin tasarımını zorlaştırmaktadır. Sistemin bu şartlara ayak uydurabilmesi için, talebe hızlı yanıt verecek şekilde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden tez çalışmamızda üretim sisteminin melez üretim sistemi şeklinde düzenlenmesine çalışılmaktadır. Düşük ve düzensiz talepli parçaların fonksiyonel alanda ve yüksek talepli parçaların da hücrelerde üretilmesi gereklidir. Ayrıca hücrelerde üretimine başlanan bazı parçaların son işlemleri fonksiyonel alanda tamamlanabilir. Bu gibi durumlarla gerçek hayatta karşılaşılmaktadır. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi hücrelerdeki işlemler bittikten sonra taşlama ve montaj işlemleri için parçalar, fonksiyonel alana gönderilmektedir. Sistemdeki hücrelerde tek parça akışının ve fonksiyonel alanda ise parti tipi akışın uygulanması amaçlanmıştır. Buna kısmî tek parça akışı adı verilmiştir.



Şekil 1.5 Bir Melez Üretim Sistemi Örneği

Tez çalışmamızda kısmî tek parça akışının uygulandığı *melez üretim sistemlerinin* tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım (AD) metodolojisini kullanan bir yol haritası önerilmiştir. AD yöntemi, müşteri beklentileri ışığında, tasarımın işlevlerini belirleyip bu işlevler için gereken tasarım değişkenlerinin bulunmasını gerektirir. Böylece, deneme yanılma türü çalışmalar ortadan kaldırılmış olur. Bu yanıyla, diğer tasarım yöntemlerinden daha avantajlıdır.

Geliştirilen tasarımda, tek parça akışının uygulanabilmesi için parçaların hücreler arası hareketlerine neden olan istisnai operasyonlar yok edilmelidir. Bu amaçla alternatif makinelerden yararlanılmıştır. Teknolojinin gelişmesi sayesinde bilgisayar kontrollü makineler birbirlerinin işlevlerini yerine getirebilir hale gelmiştir. Bu durumdan yararlanarak istisnai operasyonların alternatiflere atanmasına

çalışılacaktır. Alternatif makineler incelenerek, geliştirilen kurallar çerçevesinde istisnai operasyonlar sistematik biçimde alternatiflere atanmaya çalışılır.

Tek parça akışına yönelik tasarım algoritması, tez çalışmasının *özgün* yönlerinden biridir. Çünkü istisnai operasyonları yok etmek için alternatif makineleri kullanan, fonksiyonel alandan da yararlanmaya olanak tanıyan sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. İstisnai operasyonların yok edilmesinin ardından hücre içerisinde tek yönlü akışın sağlanması, hücrelerde tek parça akışını mümkün hale getirir. Bu sayede ürünlerin temin süreleri düşer, temin süresi değişkenliği azalır.

Benzetim tekniği ile tasarlanan sistemin kapasite yeterliliği kontrol edilir. Daha sonra belirlenen darboğazlar yok edilir. Bu amaçla darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedür de AD'yi temel alan sistematik bir yaklaşımdır.

Darboğazlar belirlenirken hücredeki hangi iş merkezinin veya iş merkezlerinin darboğaz olduğu, kurallar yardımıyla belirlenir. Daha sonra iş merkezinde hangi kaynağın buna neden olduğu sistematik biçimde araştırılır.

Belirlenen darboğazların yok edilmesi için de AD kullanılarak bir dizi çözüm önerilmiştir. Çözümler basitten zora doğru uygulanarak darboğazlar yok edilmeye çalışılır. Bu çözümlerden en sonuncusu üretim kaynağının satın alınmasıdır. Bu amaçla da AD'yi kullanan bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bundan sonraki bölümler şu şekilde sıralanmıştır: Önce tez konusu hakkında bir yayın taraması yapılmıştır. Sonrasında AD hakkında genel tanıtıcı bilgi verilmiştir. 4. bölümde AD ilkelerini kullanarak geliştirilen melez üretim sistemi tasarım modeli açıklanmıştır. 5. bölümde geliştirilen Tek Parça Akışı Algoritması ayrıntılı olarak anlatılmıştır. 6. ve 7. bölümlerde sırasıyla bir düşünsel örnekte ve gerçek bir firmada, önerilen yöntemin uygulamaları açıklanmıştır. Son olarak tez çalışmasının sonuçları tartışılmıştır.

2. YAYIN TARAMASI

Melez üretim sistemleri (ÜS), hücresel üretim sistemi (HÜS) ile fonksiyonel yerleşimin bir arada bulunduğu sistemdir (Shambu ve Suresh, 2000). Bu nedenle söz konusu sistem, *melez* olarak nitelendirilmektedir.

Literatür taraması sırasında öncelikle doktora tez konusu olan 'Düzensiz Talep Koşullarında Üretim Sistemlerinin Tasarımı' için gereken melez üretim sistemleri hakkında yapılan çalışmalar araştırılıp, değerlendirilmiştir. Ardından aynı çeşitte birden fazla makine kullanılarak hücre oluşturma çalışmaları, istisnai elemanların yok edilmesi, tek parça akışı hakkındaki bazı çalışmalar, operasyonların makinelere yeniden atanabildiği sezgisel yöntemler, hücre içi geri dönüşleri enküçükleyen hücre yerleşimi algoritması ve hücresel üretim sistemleri ile atölye tipi üretim sistemlerini değişken talep durumunda karşılaştıran çalışmalar incelenmiştir.

Bunlara ek olarak konu ile ilgili Aksiyomlarla Tasarım (AD) makaleleri ele alınmıştır. Şekil 2.1'de melez üretim sistemleri, hücresel üretim sistemleri, üretim sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarımı ve AD ile performans inceleme ve karşılaştırma çalışmaları; kullanılan yöntem, amaç, incelenen veya tasarlanan üretim sistemi türü ve bazı tasarım parametreleri bakımından sınıflandırılmıştır.

Melez üretim sistemleri hakkındaki çalışmaların bir kısmında sistem parametreleri değiştirilerek performansları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Özellikle (Shambu ve Suresh, 2000), (Suresh, 1991) ve (Kher ve Jensen, 2002) bu tür çalışmalardır. Belirtilen ilk iki araştırmada hücre sayısı farklı melez üretim sistemlerinin, hazırlık düşürme oranı (hazırlık süresi düşürme yüzdesi) ve parti büyüklükleri değiştikçe nasıl davranış gösterdiği incelenmiştir.

Bazı çalışmalarda da melez üretim sistemleri ile hücresel üretim sitemleri (HÜS) kıyaslanmıştır (Needy ve diğerleri, 1998;). (Needy ve diğerleri, 1998)'nde çeşitli sayılarda hücrelerden oluşan sistemler, toplam maliyet bakımından karşılaştırılmıştır.

(Shafer ve Bradford, 1995) ise değişik yapıdaki melez ve saf hücresel sistemlerin verimliliğini veri zarflama tekniğini kullanarak değerlendirmiştir. (Burgess ve diğerleri,1993)'nde de melez bir sistem ile atölye tipi üretim sistemi akış süreleri bakımından kıyaslanmıştır.

		Amaç		Sistem Parametreleri												Yöntem									
		Tasarım	Performans Analizi / Karşılaştırma	Tek Parça Akışı	Parti Tipi Akış	Rassal Talep	Deterministik Talep	Hücre Sayısı	Hazırlık Düşürme	Alternatif Makineler	Makine Kapasitesi	Tasarımın Bilgi İçeriği	Talep Değişkenliği	Esnek İşgörenler	Benzetim	Aksiyomlarla Tasarım	Sezgisel Yöntem	Doğrusal Programlama	Doğrusal Olmayan	Veri Zarflama	Meta-Sezgisel	Grafik Yöntem	Gerçek Uygulama
Venkataramanaiah ve Krishnaiah, 2002	**Melez Üretim Sistemleri**	X						X									X						
Murthy ve Srinivasan, 1995		X						X											X		X		
Harhalakis, Minis ve Nagi, 1996		X			X			X			X						X				X		
Gravel, Price ve Gagne, 2000		X					X	X			X						X						
Shambu ve Suresh, 2000			X		X	X		X	X				X		X								
Kher ve Jensen, 2002			X					X							X								
Suresh 1991			X		X	X		X	X				X		X								
Burgess, Morgan ve Vollman, 1993			X		X		X	X			X				X								
Needy, Billo ve Warner, 1998.			X					X									X				X		
Ioannou, 2006		X			X		X	X			X						X		X				X
Viguer and Pierreval, 2004		X			X		X	X			X								X		X		
Irani and Huang, 2000		X			X		X	X			X						X		X				X
Shafer ve Bradford, 1995			X					X							X					X			
Shafer, Kern ve Wei,1992	**Hücresel Üretim Sistemleri**	X			X		X	X			X							X					
Wu ve Salvendy, 1999		X					X				X											X	
Miltenburg, 2001		X		X			X	X			X						X	X					
Kang ve Wemmerlöv, 1993		X					X			X	X						X						
Aneke ve Carrie, 1986		X		X			X	X		X							X						
Kulak, Durmuşoğlu, Tüfekçi, 2005		X						X	X					X		X							X
Chen, Chen, Lin, 2001			X					X			X				X	X							
Miltenburg ve Montazemi, 1993			X	X	X		X	X					X				X						
Djassemi, 2005			X				X						X	X	X								
Seifoddini ve Djassemi, 1997			X				X						X		X								
Babic, 1999.	**Esnek Üretim Sistemleri**	X								X		X			X	X							
Cochran, Arinez, Duda, Linck, 2001/2002	**Genel Üretim Sistemi**	X														X							
Cochran, Eversheim, Gerd, Sesterhenn, 2000		X					X									X							
Suh ve diğerleri, 1998		X														X							
Cochran, Dobbs, 2001/2002			X													X							X
Kulak ve Kahraman, 2005.			X									X				X							

Şekil 2.1 Tez Çalışması Kapsamında İncelenen Makalelerin Özeti

Melez üretim sistemlerinin analizi ve tasarımı konusundaki çalışmalarda benzetimin en sık kullanılan yöntem olduğu görülmektedir. Çünkü bunlar, karmaşık sistemler olup, performans ölçütlerinin matematik modelleme, kuyruk modelleri gibi yöntemlerle ölçülmesi güçtür. Şekil 2.1'de özetlenen çalışmalar aşağıda detaylı biçimde açıklanmıştır.

Shambu ve Suresh (2000) tarafından yapılan bir araştırmada fonksiyonel yerleşimden melez hücresel yerleşime geçiş sonucunda performanstaki değişim incelenmiştir (Shambu ve Suresh, 2000). Hücreleşme dereceleri farklı beş adet Melez Hücresel Üretim Sisteminin çeşitli hazırlık düşürme oranları, iş sıralama kuralları ve farklı parti büyüklüklerinde nasıl davranış gösterdiği benzetim deneyleri ile incelenmiş olup, bunların performansları fonksiyonel sistem ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Fonksiyonel alanın performansı hücreleşme oranı arttıkça düşer. Çünkü fonksiyonel olarak yerleştirilmiş makinelerin sinerji etkisi, makineler hücrelere atandıkça azalmaktadır.
- Grup (parça ailesi) çizelgeleme kurallarının uygulandığı fonksiyonel sistem, klasik çizelgeleme yapılan fonksiyonel sisteme göre özellikle yüksek hazırlık düşürme oranları için daha iyi performans gösterir.
- Hazırlık düşürme oranının düşük olduğu durumlarda, belli bir çizelgeleme kuralı için, melez ÜS'leri arasında akış süresi farkı sınırlıdır. Hazırlık süreleri daha çok düşürüldüğünde ise sistemler arası fark daha belirgin hale gelmektedir.
- Yüksek parti büyüklüğü, hücre sayısı arttıkça hücrelerdeki performansı belirgin biçimde düşürmektedir.

Kher ve Jensen'in (2002) yaptıkları çalışmada, hücreler, kısmi hücreler ve geri kalan fonksiyonel alandan kurulmuş çeşitli hücreleşme oranlarına sahip sistemlerin performansları benzetim tekniği ile ölçülmüştür. Burada kısmi hücre ile kastedilen, bir ürün ailesinin gereksinim duyduğu makinelerin sadece bir kısmının hücreye atandığı durumdur. Fonksiyonel alan ise hücrelere atanmış makineler dışında kalan makinelerden oluşmaktadır. Sonuç olarak;

- Hücreleşme oranı arttıkça geri kalan hücrenin ortalama akış süresi ve gecikme performansları kötüleşmektedir.
- Modellenen 18 durumdan 15'inde ürün aileleri tamamen hücrelerde üretildikleri taktirde bu ürün ailelerinin üretimi için performans, fonksiyonel yerleşimdeki performanstan daha iyidir.

- Ayrıca 15 durumdan 13'ünde ürün ailesinin bir hücrede üretimi için gereken makineler oluşturulmadan kısmi hücrelerde üretimi, fonksiyonel yerleşimde üretiminden daha iyi performans sağlamıştır.
- Hücre performansı, işyükü dengesizliği durumlarına daha duyarlıdır. Hazırlık sürelerinin her makine türünde aynı derecede düşürülememesi gibi durumlarda kısmi hücreler ürün ailelerinin üretiminde daha iyi performans sağlar.

Suresh (1991) tarafından yapılan çalışmada, makinelerin hücrelere aşamalı olarak atanması durumunda hücrelerin performansı, geri kalan makinelerin performansı ve de yeni elde edilen sistemin bütününün performansı; öncelikle Kuyruk Teorisi kullanılarak belli varsayımlarla modellenmiş olup, daha sonra benzetim yöntemi ile gerçek sistemin performansı belirlenmiştir. Bunlar ile Kuyruk Teorisi ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyon modellerinden elde edilen sonuçlar ANOVA yöntemi ile analiz edilmiş olup, tasarım parametrelerinin performans ölçütleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Başlıca sonuçlar şu şekildedir:

- Makinelerin hücrelere atanması, geri kalan fonksiyonel alanda performans düşüşüne neden olur.
- Hücrelerdeki hazırlık sürelerinin düşürüldüğü sistemin performansı, hazırlık süreleri düşürülmeden makine atanmış sistemin bütününün performansından daha iyi olabilmektedir.
- Hazırlık sürelerinin hücrelerde düşürüldüğü durumda, oluşturulan hücrelerin boyutu büyüdükçe sistemin bütününün performansı da iyileşmektedir.
- %5 hata düzeyinde akış süresi için anlamlı olan faktörler şunlardır: Sistemin yapısı, hazırlık düşürme (hd), parti büyüklüğü (q), çizelgeleme kuralı (çk), çk*hd, sistem*q, çk*q'dır. Burada "*", faktörlerin birlikte etkilerini göstermektedir.

Melez sistemlerin tasarımı hakkında yedi adet çalışmaya rastlanılmıştır. Bunlardan (Venkataramanaiah ve Krishniah, 2002), (Harhalakis ve diğerleri, 1996), (Gravel ve diğerleri, 2000) ve (Viguier ve Pierreval**,** 2004) sistem tasarımı için sezgisel yöntem geliştirmiştir. Murthy ve Srinivasan (1995) ise doğrusal olmayan programlama ile

tasarım yapmış, ancak modelin çözümü için bir meta-sezgisel yöntem kullanmıştır. (Harhalakis ve diğerleri, 1996)'de de sezgiselin çözüm aşamasında meta-sezgisel kullanılmıştır.

Ioannou (2006) ise hücrelerin yerleşim planının tasarımı, hücrelerin ve fonksiyonel alanın fabrika alanındaki yerleşim planını hazırlanması ve bunların zamana yayılmış olan uygulama planını, yer değiştirme maliyetlerini en küçükleyecek şekilde belirlemeyi amaçlayan bir matematik model geliştirmiştir.

Venkataramanaiah ve Krishnaiah (2002)'ın bir çalışmasında, melez üretim sistemini kurmak amacıyla bir sezgisel algoritma geliştirilmiş olup, bu algoritmanın performansı diğer bazı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Ürün ailesine atanmış hücre ile geri kalan hücre arasındaki hareketler, taşıma olarak kabul edilmemiştir. Hücreler arası hareket bakımından, önerilen sezgisel yöntem, 26 durumun 10'unda diğer yönteme göre daha iyi, kalan durumlarda da eşit performans göstermiştir.

Ayrıca Murthy ve Srinivasan (1995)'in gerçekleştirdiği araştırmada melez üretim sistemini kurmak amacıyla doğrusal olmayan programlama modeli kurulmuş olup, hücreler arası taşımaların enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Bu model, tavlama benzetimi yöntemi ile çözülmüştür. Ayrıca büyük boyutlu problemler için bir algoritma önerilmiştir. Bu çalışmada da hücre ile fonksiyonel alan arasındaki hareketler, taşıma olarak kabul edilmemektedir. Bu çalışmanın sonucunda tavlama benzetimi, problemlerin çoğu için sezgisel yönteme göre istisnai parçalar bakımından daha iyi performans vermiştir. Önerilen sezgisel yöntemin performansı diğerine göre daha düşük olmasına rağmen, daha kısa hesaplama süresi içerisinde kabul edilebilir sonuçlar vermiştir.

Harhalakis ve diğerleri (1996), diğer çalışmalardan farklı olarak, Melez Hücresel Üretim Sistemi tasarımı ve makinelerin hücre içinde ve fonksiyonel alandaki yerleşimini belirlemek amacıyla bir yöntem önermiştir. Amaç, imalat sisteminin bütününde malzeme taşıma hareketlerinin enküçüklenmesi ve hücrelerin içerisinde de toplam trafiğin enküçüklenmesidir. Metodun üretim hacimlerinde ve ürün karışımında gerçekleşebilecek değişikliklere dayanıklılığı, grup teknolojisi etkinlik ölçütü cinsinden ölçülmüş ve bu ölçütün yukarıda belirtilen değişimlerden etkilenmediği belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak Gravel ve diğerleri (2000), operasyon sıra ve sürelerini göz önüne alan bir hücresel üretim sistemi tasarımı sezgiseli geliştirmiştir. Bu yöntem, melez ÜS'lerinin de tasarımına izin vermektedir. Bu sezgiselin aşamaları sırasıyla şu şekildedir: 1) Sıklıkla tekrarlanan makine sıralamaları belirlenir. 2) Hücrelerin kurulmasını gerektiren makine sıralamaları seçilir. Bu aşama kullanıcı ile etkileşimlidir. 3) Darboğaz operasyonlar yok edilir. 4) Hücreler oluşturulur ve operasyon sıralamaları hücrelere atanır. 5) Kapasite kısıtını sağlayacak biçimde tasarımı düzeltmek için makineler diğer hücreler veya fonksiyonel alan ile paylaşılır. Ayrıca bu sezgisel yöntem, bir örnek üzerinde uygulanmıştır.

Burgess ve diğerlerinin (1993) yaptığı çalışmada fonksiyonel olarak düzenlenmiş bir fabrika ile aynı fabrikanın bir üretim hücresini kapsayacak şekilde Melez Hücresel olarak düzenlenmiş hali karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada hücre ile fabrikanın geri kalan fonksiyonel kısmının farklı kapasite düzeyleri ve bu alt birimlere yapılan farklı yükleme düzeyleri temel alınmıştır. Akış süreleri ve gecikmeler, melez sistem ve klasik fonksiyonel yerleşim düzeni için ölçülmüştür. Başlıca sonuçlar şu şekildedir:

- HÜ'den elde edilen üretkenlik kazançları (işgücü ve hazırlık düşürme), hücre ve fonksiyonel alana uygun kaynak aktarılması ile birleştirildiğinde melez fabrika, atölye tipi üs'den daha iyi performans göstermiştir.
- Melez fabrikada hücre, iş merkezlerinden daha yüksek yükleme düzeylerinde çalıştığında gerçekleşen/optimum akış süresi oranı daha düşük olmaktadır.
- Hücrelere atama yapılırken ürün seçimi, kapasite ataması, talep koşulları ve hücrelerin geri kalan kısma etkisi göz önüne alınmalıdır.
- Parça taleplerinin çok değişken olduğu durumlarda hücrede üretilecek parçaların talebinin gerektirdiğinden daha düşük bir kapasite hücrelere atanmalıdır.
- Hücrelere atanan kaynakların yüzdesi, beklenen hazırlık düşürmelerinin ve hücre parçalarının talebinin bir fonksiyonudur.

Bunlara ek olarak, Needy ve diğerleri (1998), atölye tipi üretim sisteminden saf hücresel üretim sistemine kadar değişen farklı sistem düzenlemelerini, toplam makine yatırımı, hazırlık ve malzeme taşıma maliyetlerinin toplamı bakımından bir örnek uygulama

yaparak karşılaştırmıştır. Toplam maliyet, pratik analitik hesaplamalar ile elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda,

- En düşük toplam maliyet tüm parçaların hücrelerde üretildiği ve fonksiyonel alanın yok edildiği durumda elde edilmiştir.
- Hücre sayısı arttıkça, toplam yatırım maliyeti artış, toplam taşıma ve hazırlık maliyetleri düşüş eğilimi göstermiştir.
- Toplam maliyetin makine yatırım maliyetine duyarlılığı analiz edilmiş olup, makine başına yatırım maliyeti 1300 doların altındaysa 25 hücreli sistem, 1300 doların üzerindeyse 9 hücreli durumun en iyi çözüm olduğu belirlenmiştir.

Shafer ve Bradford, Veri Zarflama yönteminin farklı hücreleşme oranlarına sahip alternatif sistemlerin verimliliğini ölçmede kullanılabileceğini göstermiştir (Shafer ve Bradford, 1995). Bu çalışmanın sonucunda,

- Alternatif sistemlerin (karar birimi) 47'sinden 4'ü verimlidir. Bunlardan 3'ü saf HÜS'dir. Biri ise melez ÜS'dir. Dolayısıyla, belli şartlar altında Melez ÜS'nin de verimli olabileceği

görülmüştür.

Hücresel üretim sistemleri hakkında yapılan çalışmalardan özellikle istisnai elemanları yok etmeye yönelik çalışmalar tez konusu ile ilgilidir. Shafer ve diğerlerinin yaptığı çalışmada (Shafer ve diğerleri, 1992), elde bulunan bir çözümün istisnai elemanlarını yok etmek amacıyla dışarıda üretme maliyeti, hücreler arası taşıma maliyeti ve ek makine satın alma maliyetlerinin toplamını en küçükleyen bir matematik model önerilmiştir. Optimum çözümde istisnai parçalardan birinin dışarıda üretilmesi ve bazı istisnai parçalar için ek makine satın alma yoluyla hücreler arası malzeme taşıma hareketleri azaltılmıştır. Böylece birden fazla strateji kullanılarak, yalnızca makine satın almak, dışarıda üretmek veya hücrelerarası taşımalara izin verme stratejilerinin her birinin neden olacağı maliyetten daha düşük maliyet elde edilmiştir.

Wu ve Salvendy, aynı makine türünden olan makinelerin eş (İng.:identical) olduğu kabulüne dayanarak, grafik yöntem ile operasyon sıralarını ve makine türlerinin kapasite kısıtlarını göz önüne alarak bir hücre oluşturma sezgiseli geliştirmiştir (Wu ve

Salvendy, 1999). Makine türleri birer düğüm noktası olarak kabul edilip, bu düğümler arasındaki akışı ortadan kaldıracak şekilde düğüm noktalarında bulunan makineler birbirleri ile birleştirilmiş, yani hücreye benzer makine grupları kurulmuştur.

Tek parça akışının sağlanmasıyla melez üretim sistemlerinin hücrelerinde temin süresinin önemli ölçüde kısaltılabileceği bilinmektedir. Bu nedenle tek parça akışını da çalışmamızdaki modelde uygulamayı hedeflemekteyiz. Bu konuda Miltenburg'un hazırladığı makalede tek parça akışının hangi koşullarda uygulanmasının avantaj sağladığı ve tek parça akışının bileşenleri hakkında şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiştir (Miltenburg, 2001). Tek parça akışının uygulanması gereken bileşenleri hakkında yapılan analitik hesaplamalar (Takt süresi hesabı vb.), standart iş tanımları (çevrim süresi hesapları, çevrim süresi-takt süresi karşılaştırması, makine-işgören atamaları, işgören rotaları), U-tipi üretim hatlarının tasarımında işlemlerin iş merkezlerine atanması ve bunların öncelik ilişkileri düşünülerek istasyonlar üzerinde organizasyonu, U-tipi hatların yeniden dengelenmesi konularındaki matematik modeller, dinamik programlama modeli ve Markov zinciri modeli incelenmiştir.

Miltenburg ve Montazemi, hücresel üretim sistemi tasarlanmadan önce bu sistemde üretilmeye uygun parçaların belirlenmesi gerektiğini belirtmektedir (Miltenburg ve Montazemi, 1993). Aksi taktirde problemin boyutları çok büyümekte ve çözümü zorlaşmakta; ayrıca bazı hücrelere atanan parçaların taleplerinin çok düşük olması nedeniyle olurlu çözüme ulaşılamamaktadır. Bu nedenlerle parçaların çeşitli üretim sistemlerine atanması için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde, her parçanın toplam işlem süresi, en büyük ve ortalama işlem süreleri, belli dönem için talep büyüklükleri ve belli dönemde üretim yapılabilecek toplam süreye dayanarak hesaplanan hacim ölçütleri kullanılarak parçanın atölye tipi üretim sistemi, sürekli akış hattı, makine veya operatör odaklı akış hattı veya parti tipi akış hattından birine atanmasına karar verilmektedir. Operatör odaklı hat ile parti tipi akış hattı hücresel üretim sistemi olarak kabul edilmektedir. Yöntemin en başında talep değişkenliği yüksek olan parçalar, atölye tipi üretim sistemine atanmaktadır. Daha sonra parçaların hacim ölçütü değerlerinin büyük, küçük veya orta değerde olmasına göre parçalar, yukarıda belirtilen üretim sistemlerine

atanmaktadır. Ayrıca gerçek bir işletmedeki veriler kullanılarak, yöntem uygulamalı olarak açıklanmıştır.

Melez ÜS tasarlandıktan sonra istisnai operasyonların ortadan kaldırılması için yeniden atamalar yapılması yararlı olacaktır. Kang ve Wemmerlöv, operasyonların alternatif makinelere yeniden atanabilmesine dayanan ve aynı zamanda kapasite gereksinimlerini de göz önüne alan bir sezgisel yöntem önermiştir ve sayısal bir örnek üzerinde uygulama yapmıştır (Kang ve Wemmerlöv, 1993). Yöntem, kullanıcı ile etkileşim içerisindedir. Yani karar verici çözüme ulaşılamayan durumlarda makine satın alma kararlarında ve parça ailelerini oluştururken benzerlik için sınır değerin belirlenmesinde sürece müdahale edebilmektedir. Rotalar hem işlemler hem de makineler cinsinden tanımlanmıştır. Yeniden atamayı gerektiren operasyonların özel operasyonlar olduğu varsayılmaktadır. Çünkü bu işlemlerin makinelerinin az sayıda olduğu ve özel makineler (Burbidge, 1989) oldukları düşünülmektedir. Bu algoritmada kullanılan işlem süresinin ceza değeri olarak kullanılması fikrinden tez çalışmasında yararlanılmıştır.

Melez ÜS'nin tasarlanmasının yanında hücrelerdeki yerleşimin belirlenmesi de önemli bir konudur. Aneke ve Carrie'nin geliştirdiği, geri dönüşleri ortadan kaldıran ve hücre içi makine yerleşimini belirleyen bir algoritma incelenmiştir (Aneke ve Carrie, 1986). Bu algoritma, temel olarak şu şekilde çalışmaktadır: Bir hücreye atanan her iş parçasının izlediği rota yani işlem gördüğü makine türleri, işlem sırası ve parçaların bağıl talebi belirlenir. Ardından hücrede bulunan makine türleri (makineler) arasındaki akış, dolaşım şeması oluşturularak hesaplanır. Bu şemada her makineye gelen (TT) ve makineden çıkan (TF) toplam parça adedi gösterilir. Ardından akış hattı türetme tablosu oluşturularak, her makinenin TT ve TF başlangıç değerleri tabloya yazılır. Hat (hücre) başı ve hat sonu aday makineler belirlenir. Hat başı için en küçük TT değerine sahip makine seçilir ve atanır. Ardından hat sonu için en küçük TF değerine sahip makine atanır. Atamalar yapıldıktan sonra atanan bu makineler, hat başı veya sonunda yer alıyorsa sırasıyla ilgili TT veya TF değerleri güncellenir. Atanmış olan bu makineler, hat başına veya sonuna atanan makinelerin (sırasıyla) ilk veya son makine olduğu iş parçalarının rotalarından silinir. Yapılan atamalar sonucunda hattın yani hücrenin makine yerleşim sırası belirlenmiş olur.

Djassemi'nin çalışmasında (Djassemi, 2005) ürün karışımının ve dolayısıyla hacminin değişken olduğu durumlarda Hücresel Üretim Sistemi (HÜS)'nin performansının çok sayıda beceriye sahip (esnek) işgücünün birden fazla hücreye atanabilmesi yoluyla iyileştirilip iyileştirilemeyeceği sorusuna yanıt aranmıştır. Sonuç olarak esnek işgücünün birden fazla hücreye atanabilmesi, HÜS'nin performansını olumlu etkilemektedir. Ürün karışımındaki değişim yüzdesi arttıkça her iki sistemin de performansı düşmekte olup, HÜS'nin bu değişimlere karşı daha hassas olduğu belirlenmiştir.

Seifoddini ve Djassemi, üretim sisteminin ürün karışımındaki değişikliklere karşı duyarlılığını ve yanıt verebilme becerisini araştırmak için çeşitli ürün karışımı değişim düzeylerinde HÜS ile atölye tipi ü.s.'nin performansları karşılaştırmıştır. HÜS'nin atölye tipi ü.s.'den daha iyi performans gösterdiği ürün karışımı değişimi aralığı (esneklik aralığı) tespit edilmiştir (Seifoddini ve Djassemi, 1997).

Bunlara ek olarak Aksiyomlarla Tasarım metodolojisi ile üretim sistemi tasarımı ve performans analizi konulu başlıca yayınlar incelenmiştir. Aksiyomlarla Tasarım konusundaki temel kaynak, yöntemi geliştiren Suh'un yazdığı kitaptır (Suh, 2001). Aksiyomlarla Tasarım'ın temelleri, tek ve çok fonksiyonel gereksinimli sistem tasarımının ayrıntıları ve söz konusu metodolojinin çeşitli uygulamaları bu kitapta ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Osman Kulak (2003) tarafından yapılmış olan doktora tez çalışmasında Hücresel Üretim Sistemlerinin tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım (AD) prensiplerine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Bu tez çalışmasıyla bağlantılı olan Kulak ve diğerlerinin makalesinde, fonksiyonel yerleşimden hücresel yerleşime geçiş için AD prensiplerini temel alan bir yaklaşım ve yol haritası önerilmiş; tasarlanan hücresel üretim sisteminin performansını belirlenen kıstaslar bakımından değerlendirmek ve geliştirmek için döngüsel bir sürekli gelişim mekanizması geliştirilmiştir (Kulak ve diğerleri, 2005). Ayrıca merdiven ve rampa üreten bir firmanın fonksiyonel yerleşimden hücresel yerleşime dönüşüm süreci, önerilen yol haritası çerçevesinde adım adım açıklanmıştır. Hücresel üretime geçiş için sistematik bir yol önermesi, bu çalışmayı geçmişteki çalışmalardan farklı kılmaktadır.

Cochran ve diğerlerinin bir çalışmasında, üst düzey sistem hedefleri ile alt düzey tasarım kararları arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını sağlayan, sistem bileşenleri arasındaki

bağlantıları, birbirlerine bağımlılıklarını ve öncelik ilişkilerini ortaya koyan bir imalat sistemi tasarım yaklaşımı ortaya konmuştur (Cochran ve diğerleri, 2001-2002). Bu çalışmada uzun dönemde yatırımın geri dönüş oranını enbüyüklemek, en üst düzeydeki fonksiyonel gereksinim (FR)'dir. Bunun için sırası ile kalite, problem çözme, tahmin edilebilir çıktı, gecikmelerin azaltılması ve operasyon maliyetleri konuları göz önüne alınmalıdır.

Başka bir çalışmada Cochran ve diğerlerinin yukarıda açıklanan çalışmalarında geliştirdikleri üretim sistemi tasarım metodolojisi temel alınarak, kitle tipi üretim yapan bir otomotiv firması ile yalın üretim prensiplerini uygulayan bir otomotiv firmasının FR'leri ne kadar gerçekleştirdikleri tespit edilmiş ve performans kriterleri cinsinden başarıları karşılaştırılmıştır (Cochran ve Dobbs, 2001-2002). Yalın üretim prensiplerini uygulayan fabrikanın hem performans ölçütleri hem de daha fazla FR'yi gerçekleştirmesi nedeniyle daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır.

Ayrıca Cochran ve diğerleri, üretim sistemi tasarımı için Yalın Üretim prensiplerini temel alan ve karmaşık üretim sistemini küçük, esnek ve merkezi olmayan üretim segmentlerine ayırmayı temel alan bir AD metodolojisi önermiştir (Cochran ve diğerleri, 2000). Dikey segmentasyon sırasında talep hacmi, geliş sıklığı, tahmin edilebilirliği ve takt süresi gibi parametreler göz önüne alınmıştır.

Buna ek olarak firma yöneticilerinin bakış açısına göre yatırımın geri dönüş oranını en büyük kılacak üretim sisteminin AD metodolojisi ile tasarımını amaçlayan bir yaklaşım sunulmuştur (Suh ve diğerleri, 1998).

Chen ve diğerleri ise AD'yi kullanarak imalat hücrelerinin performansını iyileştirmek için simülasyon yöntemini de kullanan bilgi tabanlı sistematik bir karar destek sistemi geliştirmiştir (Chen ve diğerleri, 2001). Yöntemde benzetim kullanılarak hücrelerin performansının gözlemlenmesi önerilmiştir. Hücredeki darboğaz kaynakları belirleme sırasında, geliştirilen kurallar, AD metodolojisi kullanılarak sıra ile uygulanır. AD'nin sağladığı sistematik tasarım anlayışını performans geliştirmeye uygulaması bakımından ilgi çekici bir çalışmadır.

Babic (1999), Esnek Üretim Sistemlerinin (EÜS) AD kullanılarak tasarımı için bir yaklaşım önermiştir. Tasarım süreci operasyonlarının tanımlanması, imalat süreçleri için

makinelerin FR'lerinin tanımlanması (işleme türü, tolerans, yüzey pürüzlülüğü, güç gereksinimi gibi), sistem bileşenlerinin belirlendiği ve yerleşimin tasarlandığı EÜS'nin tasarımı aşaması ve tasarlanan sistemin benzetim ile performans analizi aşamalarından oluşmaktadır. Makalede özellikle EÜS tasarımı için gereken bilgi içeriği hesaplamaları üzerinde durulmuştur. Tanımlanan FR'lerin tasarım aralığı ile sistem aralığının kesişimine göre bilgi içeriği hesaplanmaktadır. Ayrıca örnek olarak cıvata üretimi için gereken makinelerin alternatifler arasından bilgi içeriğine göre seçimi açıklanmıştır.

Kulak ve Kahraman (2005), modern üretim sistemlerini AD prensiplerine dayanarak çok ölçütlü olarak karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sırasında ölçütlerin sayısal olarak ölçülebildiği durumlar ile bulanık olduğu durumlar için AD'nin bilgi aksiyomu ile bağlantılı olan bilgi içeriği kavramı kullanılmıştır. Her iki durum birer örnek ile açıklanmıştır. Bu çalışmada bulanık bilgi içeriği kavramı önerilmiştir. Yani ölçütlerin bulanık olarak, sözel terimlerle ifade edilebildiği durumlarda kriterler, bulanık sayılara; ardından da sayısal büyüklüklere dönüştürülmektedir.

Sonuç olarak, melez üretim sistemlerini AD metodolojisini kullanarak sistematik bir biçimde tasarlayan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca geçmiş tasarım çalışmalarında tek parça akışına yer verilmediği, bunun avantajlarından yararlanılmadığı ve gerçek bir uygulama ile test edilmediği görülmüştür.

Tez çalışmamızın melez sistemlerin tasarımına sistematik bir yaklaşım getirmesi, tasarlanan sistemin performansının benzetim tekniği ile değerlendirilip geliştirilmesi için bir yol haritası önermesi; bunun için alternatif makineleri de kullanarak kısmi tek parça açışını sağlaması ve gerçek bir üretim ortamındaki uygulama sonuçlarının incelenmesi, hem uygulamaya hem de literatüre katkı sağlayacaktır.

3. AKSİYOMLARLA TASARIM METODOLOJİSİ

Aksiyomlarla tasarımın en temel amacı tasarıma bilimsel bir altyapı oluşturup, tasarımcıyı mantıklı ve akıllı düşünce süreçleri ve araçları ile destekleyerek tasarım faaliyetlerini geliştirmektir. Aksiyomlarla tasarımın çok sayıda amacından bazıları tasarım yapan insanları daha yaratıcı yapmak, rastsal araştırma süreçlerini azaltmak, tekrarlayan deneme-yanılma faaliyetlerini en aza indirmek, önerilen tasarımlar arasından en iyisini seçmek ve tasarım dünyası için bilimsel bir alt yapı oluşturarak bilgisayardan mümkün olduğu kadar fazla yararlanmayı sağlamaktır (Suh, 2001).

Bu yöntem, müşteri isteklerine göre fonksiyonel gereksinimler ile kısıtları belirler ve tasarım amaçlarının açık bir şekilde ortaya konulmasını sağlar. Bu yöntem tasarımcının tasarımda istenilmeyen özellikleri mümkün olduğu kadar erken yok etmesini, hedeflenen fikirlere odaklanmasını ve iyi ve kötü tasarım kararlarının verilmesinde kullanılan kriterleri belirlemesini sağlar. Ayrıca, kavramların oluşturulmasından ayrıntılı tasarımlara kadar sistematik bir akış sağlayan ayrıştırma süreci de bu yöntemle oluşturulur.

Tasarım alanında entelektüel bir yenilenme devam etmektedir. Eskiden tasarımın geçmiş tecrübelere dayanarak yapılabileceğine inanılırken şimdi tasarım faaliyetlerinde sistematik ve bilimsel bir yol izlenerek daha yenilikçi tasarımlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Aksiyomlarla tasarım bir sistemin basit, güvenilir ve bozucu etkilere karşı dayanıklılık kontrolünü yapmakta da kullanılabilir. Donanım, yazılım ve sistemler; kontrol edilebilir, güvenilir, üretilebilir ve hedeflerini gerçekleştirebilir şekilde tasarlanmalıdır. Kötü tasarlanan donanımın, yazılımın ve sistemlerin performansı sonradan yapılacak düzeltici faaliyetlerle nadiren ve kısıtlı olarak iyileştirilebilir.

3.1 Aksiyomlarla Tasarımın Diğer Tasarım Yöntemlerine Göre Avantajları

Aksiyomlarla Tasarım, öncelikle müşteri beklentilerinin tanımlanması ve bu bilgi ışığında tasarımın yerine getirmesi gereken işlevlerin belirlenmesini gerektirir. Bu

işlevlerin nasıl gerçekleştirileceği de tespit edilecek tasarım parametreleri ile ortaya konur. Bu sayede, deneme yanılma türü çalışmalar ortadan kaldırılır ve etkin bir tasarım gerçekleştirilir.

Ayrıca tez konusu olan MÜS'lerinin tasarımı, birden fazla problemin çözümünü gerektirmektedir. Her problemin çözümü bir kilometre taşı olarak görülebilir ve bu yüzden AD yöntemi kullanılarak her problemin çözümü için birer öneri getirilerek, bir yol haritası oluşturulur. Böylece bütünsel bir tasarım elde edilir.Oysa ki matematiksel modeller, sezgisel yaklaşımlar ve diğer tasarım yöntemleri, pek çok fonksiyonel gereksinimi veya çeşitli problemlerin çözümünü tasarım sürecinde aynı anda gerçekleştirememekte ve bütünsel bir yaklaşım sağlayamamaktadır.

Bunların yanında, AD'nin sunduğu aksiyomlar ve ilkeler, fiziksel sistemlerin ve ürünlerin tasarımına önemli bir bilgi altyapısı sağlamaktadır. Zaten, 2. Bölüm'de de açıklandığı gibi AD kullanılarak hücresel üretim sistemleri, esnek üretim sistemleri, yalın üretim ilkelerine dayanan üretim sistemlerinin tasarımı yapılabilmiştir. Bu da AD'nin üretim sistemlerinin tasarımı için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

3.2 Aksiyomlarla Tasarım Prensipleri

Aksiyomlarla tasarım yönteminin, sistemlerin, organizasyonların ve ürünlerin tasarımı için bilimsel bir esas oluşturmayı hedeflediği belirtilmişti. Bu hedef, deneysel ve sezgisel yaklaşımlar ile oluşturulan geleneksel tasarım sürecinden önemli bir farktır. Bilimsel kurallar olmadan, tasarım sahası hiç bir zaman sistematik hale getirilemez. Sistematik yaklaşım, tasarımların anlaşılması, kodlanması, öğrenilmesi ve uygulamaya geçirilmesinde kolaylaştırıcı bir etkiye sahiptir. Bu kısımda aksiyomlarla tasarım prensipleri açıklanacaktır (Suh,1990).

3.2.1 Aksiyomlarla Tasarım Terimleri

Aksiyom: Karşıt örneği veya istisnası olmayan, her zaman geçerli olarak gözlenen temel gerçeklerdir. Aksiyomlar, olayların çok sayıda gözlemi ile hipotez haline getirilirler; türetilemez ya da ispat edilemez, ancak karşıt örnek veya istisnalar ile geçersiz kılınabilirler.

Teorem: Kendi kendine ispatlanamayan ancak, kabul edilen aksiyomlarla ispat edilebilen önerilerdir. Bu nedenle teorem, bir kural veya prensibe eşdeğerdir. Bir teorem, teoremi ortaya çıkaran aksiyom geçerli ise geçerlidir.

Sonuçlar: Aksiyomları veya diğer ispat edilmiş önerileri takip eden önerilerdir. Sonuçlar da, aynı mantık içerisinde geçerlidir veya değildir.

Fonksiyonel gereksinimler (FR): Fonksiyonel bilgi sahasında ilgili tasarımın bütün gereksinimlerini tanımlayan bağımsız gereksinimlerin minimum toplamı olarak tanımlanır. Tanım gereği, her bir fonksiyonel gereksinim diğerlerinden bağımsızdır.

Tasarım Parametresi (DP): Fonksiyonel gereksinim ile tanımlanan, tasarım süreçleri ile oluşturulan, fiziksel kavramı nitelendiren anahtar değişkenlerdir.

3.2.2 Tasarımın Fonksiyonel Gereksinimleri

Bir ürün veya proses için belirlenen istekler, bağımsız gereksinimler (FR) setine indirgenir. Fonksiyonel gereksinimler ve bağımsızlık terimleri aksiyomlarla tasarım yaklaşımında özel bir yere sahiptir. Fonksiyonel gereksinimler, tamamen tasarım amacını belirleyen müşteri istekleri için oluşturulan en az sayıdaki bağımsız gereksinimler kümesidir. Tanıma göre, her bir fonksiyonel gereksinim diğerlerinden bağımsızdır.

Fonksiyonel gereksinimler (FRs) "Tasarım vasıtasıyla **neyi** başarmak istediğimizi" belirtirken, Tasarım parametreleri (DPs) "Fonksiyonel gereksinimleri **nasıl** başarabileceğimizi" belirtmektedir. Aksiyomlarla tasarım yaklaşımında fonksiyonel gereksinimlerin tarafsız olarak belirlenmesi anlamlı bir öneme sahiptir. Bunların tarafsız olarak tanımlanmasındaki en iyi yöntem tarafsız bir çevredir. Tarafsızlık sağlanamazsa, yeni tanımlanan fonksiyonel gereksinimler kümesi, tasarımcının kafasındaki çözümleri ya da mevcut olan sistemin niteliklerini taşır (Suh,1990).

Bir tasarım için kabul edilebilir fonksiyonel gereksinimler kümesi tek değildir. Belirlenen müşteri istekleriyle ilgili, tasarımcının yargılarına göre farklı tasarımcılar, farklı fonksiyonel gereksinimler kümesini seçebilirler. Seçilen farklı fonksiyonel gereksinimler kümesine göre tasarım parametreleri yani fiziksel çözüm de farklı olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir ölçüt, fonksiyonel gereksinimlerin en az sayıda olmasıdır.

3.2.3 Tasarımın Kısıtları

Bir tasarım için kısıt, kabul edilebilir çözümler için gerekli sınırlama olarak tanımlanır. Kısıtlar, tasarım özelliklerini sınırlandıran girdi kısıtları ve üretim sistemini sınırlandıran sistem kısıtları olmak üzere sınıflandırılabilirler. Girdi kısıtları; genellikle beden, ağırlık, malzeme ve maliyet ile ilgili sınırlamalar olarak ifade edilebilirler. Sistem kısıtları ise; makinelerin kapasitesi, üretim için mevcut yetenek ve hatta doğa kanunları ile yapılan sınırlandırmalardır. Bir market için tipik tasarım kısıtı, marketin büyüklüğü veya kasiyer sayısıdır. Girdi kısıtına örnek olarak markette kullanılan taşıyıcı el arabası verilebilir.

Tanıma göre, bir kısıt bir fonksiyonel gereksinimden farklıdır. Fonksiyonel gereksinimlerin aksine bir kısıt, tasarımın diğer kısıtlarından ve gereksinimlerinden bağımsız olmak zorunda değildir. Oysa ki, her bir fonksiyonel gereksinim diğerlerinden bağımsız olmak zorundadır. Market örneğini düşündüğümüzde kârlılık ve ürünlerin kolay bulunabilirliği fonksiyonel gereksinimler olup birbirinden bağımsız olmak zorundadırlar. Bunların aksine zaman kısıtı, fonksiyonel ihtiyaçlardaki herhangi bir değişiklikten etkilenebilir.

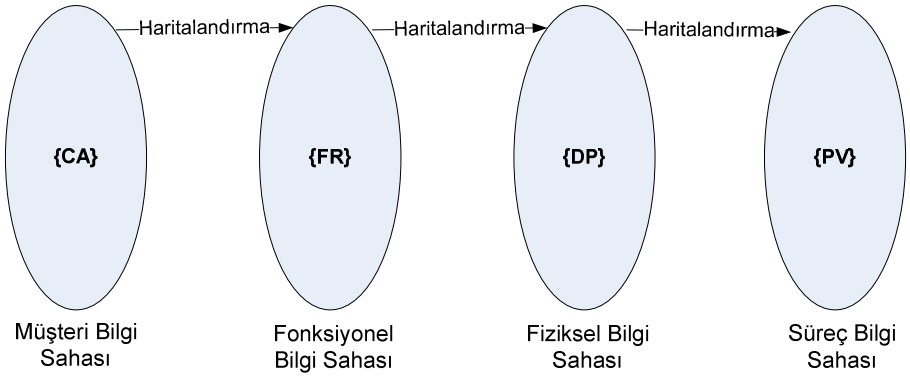
3.2.4 Bilgi Sahaları ve Haritalandırma

Bilgi sahaları; müşteri bilgi sahası, fiziksel bilgi sahası, fonksiyonel bilgi sahası ve süreç bilgi sahası olarak tanımlanmıştır. Her bir bilgi sahası değişik tasarım elemanlarını kapsamaktadır. Sırasıyla; müşteri ihtiyaçları (CAs), fonksiyonel ihtiyaçlar (FRs), tasarım parametreleri (DPs) ve süreç değişkenleri (PVs) ilgili bilgi sahasının birer elemanıdır. Bilgi saha yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.1 incelendiğinde, sağ taraftaki bilgi sahası ile bağlantılı olan soldaki bilgi sahası "Başarmak istediğimiz nedir ?" sorusunu ifade etmektedir. Soldaki bilgi sahasında belirlenmiş olan ihtiyaçları "nasıl başarabiliriz" şeklindeki tasarım çözümü, sağdaki bilgi sahası tarafından sunulur. Bu şekilde "Ne"den, "Nasıl"a gidişler "haritalandırma" olarak adlandırılır.

3.2.5 Tasarım Aksiyomları

Aksiyomlarla tasarım yaklaşımına göre iyi bir tasarım, iki aksiyom tarafından yönlendirilir. 1. aksiyom, fonksiyonel ve fiziksel değişkenler arasındaki ilişki ile

ilgilenir. 2. aksiyom ise, tasarımın karmaşıklığı ile ilgilenir. Bu aksiyomlar şu şekilde ifade edilirler (Suh,1990),



Şekil 3.1. Tasarım için Bilgi Sahaları (Suh, 2001)

1. Aksiyom: Bağımsızlık aksiyomu. Fonksiyonel gereksinimlerin bağımsızlığını sağla.

2. Aksiyom: Bilgi aksiyomu. Tasarımın bilgi içeriğini en aza indir.

Birinci aksiyoma göre tasarımın iki ya da daha fazla sayıda fonksiyonel gereksinimi (FR) olduğunda, FR'lerin her biri diğerlerini etkilemeden gerçekleşebilmelidir. Yani, FR'leri gerçekleştirebilmek ve bağımsızlıklarını sağlayabilmek için doğru tasarım parametreleri (DP) seçilmelidir (Suh, 2001).

Tasarım hiyerarşisi içerisinde belirli bir seviyedeki FR'ler bir FR vektörü oluşturur. Benzer şekilde FR'lerin gerçekleştirilmesini sağlayan DP'ler de bir DP vektörü meydana getirir. Bu vektörler arasındaki ilişki aşağıdaki (3.1)'de yazılmıştır:

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \tag{3.1}$$

Bu eşitlikte [*A*] tasarım matrisi olarak adlandırılır ve tasarımın niteliğini gösterir. Üç FR ve üç DP'den oluşan bir tasarımın tasarım matrisi (3.2)'de yazılmıştır.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

Doğrusal bir tasarımda A_{ij}'ler sabit değerlerdir. Tasarım matrisi için iki özel durum söz konusudur:

Birinci durum, köşegen matrisi durumudur. Öyle ki $i=j$ olduğu durumlar dışında $A_{ij}=0$. Diğer bir deyişle, köşegen dışı A_{ij}'ler sıfır değeri alırken köşegen üzerindeki

A_{ij}'ler sıfırdan farklı değer alırlar. Bu durum (3.3)'de gösterilmiştir. Herhangi bir tasarım bir köşegen matrisi ile temsil ediliyorsa, o tasarım ayrık (İng.: uncoupled) tasarımdır ve Bağımsızlık Aksiyomu'nu sağlar.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

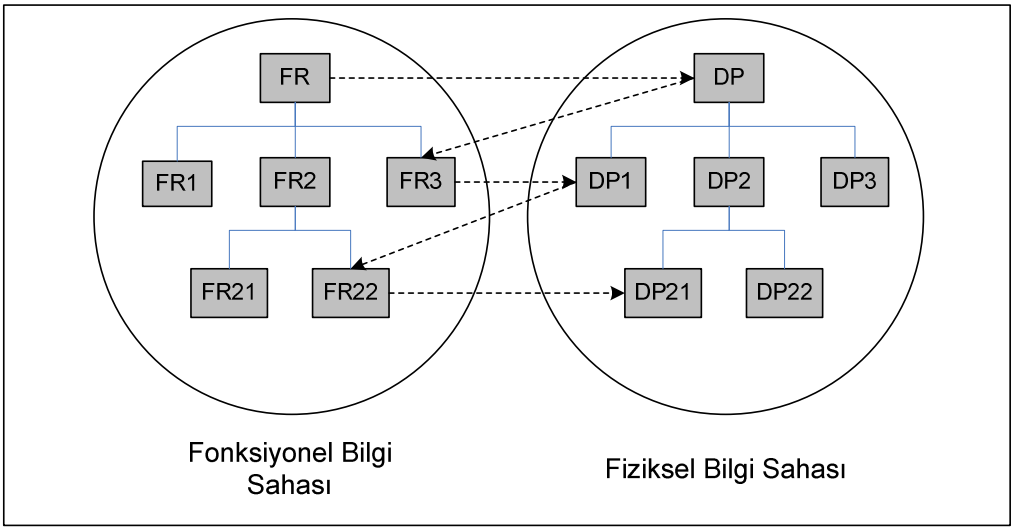
İkinci durum ise üçgen matris durumudur. Alt üçgen matrisi (İng.: lower triangular matrix)'nde köşegen'in sağındaki değerler sıfıra eşittir. Üst üçgen matrisi durumunda da köşegenin sol tarafındaki değerler sıfıra eşittir. Alt üçgen matrisi, (3.4)'de gösterilmiştir. Üçgen matris ile temsil eden bir tasarım ayrılmış (İng.: decoupled) tasarım olup, yalnızca DP'ler uygun sırada gerçekleştirildiği taktirde Bağımsızlık Aksiyomu'nu sağlar.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

Diğer durumlarda ise tasarım bağlı (İng.: coupled) tasarımdır. İkinci aksiyoma göre gerçekleşme olasılığı en yüksek olan tasarım en iyi tasarımdır. Bu da en az bilgi içeriğini gerektiren tasarımdır (Suh, 2001).

3.2.6 Tasarımın Zikzak ile Ayrıştırılması

Bir tasarımı tamamlayabilmek için en üst seviyedeki FR ve DP'lerin ayrıştırılması gerekir. Bu ayrıştırma süreci katmanlar halinde devam ederek tasarımın uygulanabilir hale geldiği en son seviyeye kadar ayrıştırma işlemi sürdürülür. Bu ayrıştırma sürecinde FR, DP ve proses değişkenleri (PV)'lere ait hiyerarşiler oluşur. İşte, FR ve DP'leri ayrıştırabilmek için bilgi sahaları arasında gidip gelmek yani zikzak yapılması gerekmektedir. Örneğin fonksiyonel bilgi sahasında ayrıştırma yapabilmek için fiziksel bilgi sahasına zikzak yapılır ve ilgili FR'leri gerçekleştirecek DP'ler belirlenir. Sonra tekrar fonksiyonel bilgi sahasına dönülerek bir alt seviyedeki FR'ler belirlenir. Diğer bir deyişle ayrıştırma yapılır. Bu ayrıştırma süreci en alt seviyedeki FR'nin daha fazla ayrıştırılmasına gerek kalmayana kadar sürdürülür. Şekil 3.2'de zikzak ile ayrıştırma süreci gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tasarımın Zikzak ile Ayrıştırılması (Suh, 2001)

4. MELEZ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN AKSİYOMLARLA TASARIM MODELİ

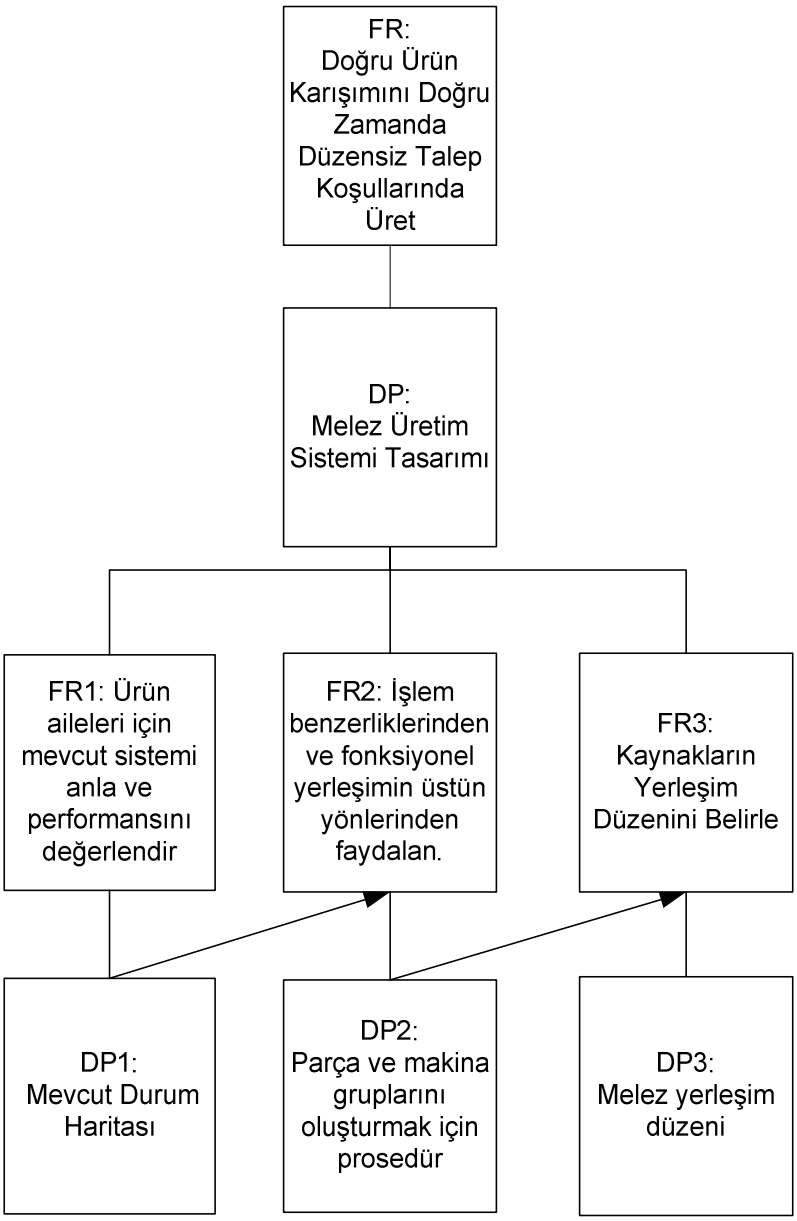
Bu bölümde Düzensiz Talep Koşullarında Melez Üretim Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarım (AD) prensiplerine göre hazırlanan model açıklanacaktır. Öncelikle tasarımın en üst düzey fonksiyonel gereksinimi belirlenmelidir. Tasarımın 'Doğru Ürün Karışımını, Doğru Zamanda, Düzensiz Talep Koşullarında Üretmesi'(FR) gerekmektedir. Bunun için uygulanması gereken tasarım parametresi Melez Üretim Sistemi Tasarımı (DP)'dır.

Melez Üretim Sistemi Tasarımı (DP)'nın uygulanabilmesi için daha ileri düzeyde ayrıştırma gerektiğinden fonksiyonel sahaya geri dönülüp ilgili fonksiyonel gereksinimin (FR) daha alt düzeyde FR'lere ayrıştırılması gerekmektedir (Suh, 2001). Şekil 4.1'de bu ayrıştırma gösterilmiştir. Buna göre, öncelikle ürün aileleri için mevcut sistemi anlamak ve performansı değerlendirmek (FR1) gerekmektedir. Ardından işlem benzerliklerinden ve fonksiyonel alanın üstün yönlerinden faydalanmak (FR2) ve kaynakların yerleşim düzenini belirlemek (FR3) gereklidir. Bu FR'leri gerçekleştirmek için uygulanması gereken tasarım parametreleri (DP), sırasıyla mevcut durum haritası (DP1), parça ve makine gruplarını oluşturmak için prosedür (DP2) ve melez yerleşim düzeni (DP3)'dir. Şekilde oklarla gösterildiği gibi DP1, FR2'yi ve DP2, FR3'ü etkiler. Bu nedenle tasarım parametreleri DP1, DP2 ve DP3 sırasıyla uygulanmalıdır. AD modelinin birinci düzeyi için tasarım eşitliği (4.1)'de görülmektedir. Bu tasarım, ayrılmış (İng.: decoupled) tasarımdır. Yani AD metodolojisinin bağımsızlık aksiyomunu sağlar.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ & X & X \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Hangi ürün ailelerinin ve süreçlerin performansının iyileştirileceğine ve tasarım aşamasına alınacağına karar verilmesi için mevcut durum (değer akış) haritası (DP1), çizilmelidir. Bu nedenle bu tasarım parametresi, oluşturulacak makine ve parça

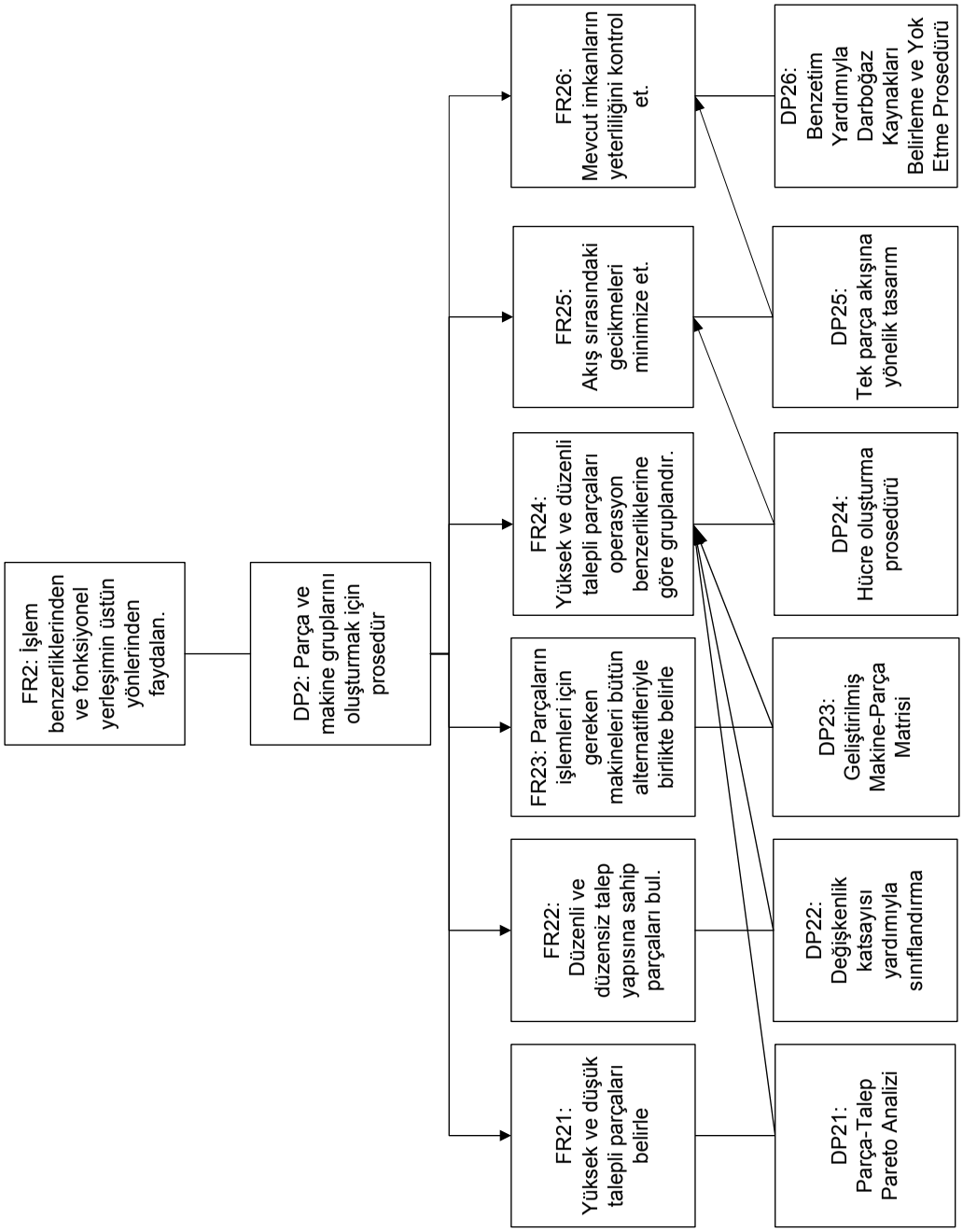
gruplarını da etkiler. Diğer bir deyişle DP1, FR2'yi etkiler. Mevcut durum haritası (DP1) hakkında daha fazla ayrıştırma yapılmamıştır. Bunun detayları (Tapping ve diğerleri, 2001)'de bulunabilir.



Şekil 4.1 AD Modelinin Birinci Düzeyi

Aşağıda, Şekil 4.2'de FR2, İşlem Benzerliklerinden ve 'Fonksiyonel Alanın Üstünlüklerinden Faydalanma (FR2) gereksinimine ait ayrıştırma görülmektedir. Bu ayrıştırmada öncelikle yüksek ve düşük talepli parçalar belirlenir (FR21). Bunun için Pareto Analizi (DP21) kullanılır. Pareto Prensibi'ne göre ortaya çıkan sonuçların

%80'i, faktörlerin %20'si nedeniyle meydana gelir. Metodolojide, bu ilke kullanılarak talebin %80'ini oluşturan yüksek talepli parçalar öncelikle bulunur.



Şekil 4.2: FR2'nin Ayrıştırılması

Ardından parça taleplerinin düzensiz olup olmadığı incelenir (FR22). Parçaların talep düzensizliğini ölçmek için bilinen talep verilerine dayanarak talebin standart sapmasının talebin ortalamasına oranı ile bulunan değişkenlik katsayısı (CV) hesaplanmıştır (DP22). Eldeki veriler ne kadar uzun döneme ait ise talebin

karakteristiği o kadar iyi anlaşılır. Havacılıkta gereksinim duyulan, uçak yedek parçalarına ait stok yönetimini inceleyen bir çalışmada parça taleplerinin düzensizliği CV ile ölçülmüştür (Friend ve diğerleri, 2001). Bu çalışmada CV=0,02 düzgün bir talep yapısını gösterirken, CV=1,20 talebin sıfır olduğu dönemlerin sıkça görüldüğü, oldukça düzensiz bir talep yapısını gösterir. Düzensizlik arttıkça CV değeri de artar.

Melez üretim sistemi tasarlamak için parçaların hangi makinelerde işlenmesi gerektiği belirlenmelidir. Gelişen teknoloji sayesinde bilgisayar kontrollü tezgahların çok çeşitli işlemleri gerçekleştirebilmeleri, makinelerin birbirlerine alternatif olmalarını sağlamıştır. Bu alternatif makineler sayesinde istisnai operasyonlar azaltılabilir.

Bu aşamadan sonra, odaklanılan parçalar operasyon benzerliklerine göre gruplandırılır (FR24). Bunun için hücre oluşturma prosedürü uygulanır (DP24). Bu prosedürde yüksek ve düzenli talepli parçalar için hücreler tasarlanırken, geri kalan düşük veya düzensiz talepli parçalar için fonksiyonel alanın kullanılması uygun görülmektedir.

Parça aileleri ve makine grupları oluşturulduktan sonra meydana gelen sistemin akışındaki gecikmelerin minimize edilmesi gerekir (FR25). Bu gecikmeler, tek parça akışının uygulanmaması, yani parti tipi akış nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25) uygulanır.

Son olarak mevcut imkanların yeterliliği kontrol edilir (FR26). Bu amaçla "benzetim yardımıyla darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü" (DP26) geliştirilmiştir. Bu prosedürde, mevcut üretim kaynaklarının talebi karşılamakta yeterli olup olmadığı, sistemin temin süresinin ölçümü ve kuyruk uzunluklarının incelenmesi ile gerçekleştirilir. Mevcut durum haritasında hesaplanan temin süresi ile karşılaştırılarak melez sistem tasarımının performansı değerlendirilir. Ayrıca varsa darboğazları yok edecek çözümlerin bulunması amaçlanmıştır.

Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi Parça-Talep Pareto Analizi (DP21), Değişkenlik Katsayısı yardımıyla sınıflandırma (DP22) ve Geliştirilmiş Makine-Parça Matrisi (DP23) FR24'ü yani Yüksek ve Düzenli Talepli Parçaları Operasyonel Benzerliklerine göre Gruplandırmayı etkiler. Ayrıca DP24, FR25'i; DP25, FR26'yı etkiler. İlgili tasarım eşitliği aşağıda (4.2)'de gösterilmiştir. Bu tasarım da bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır.

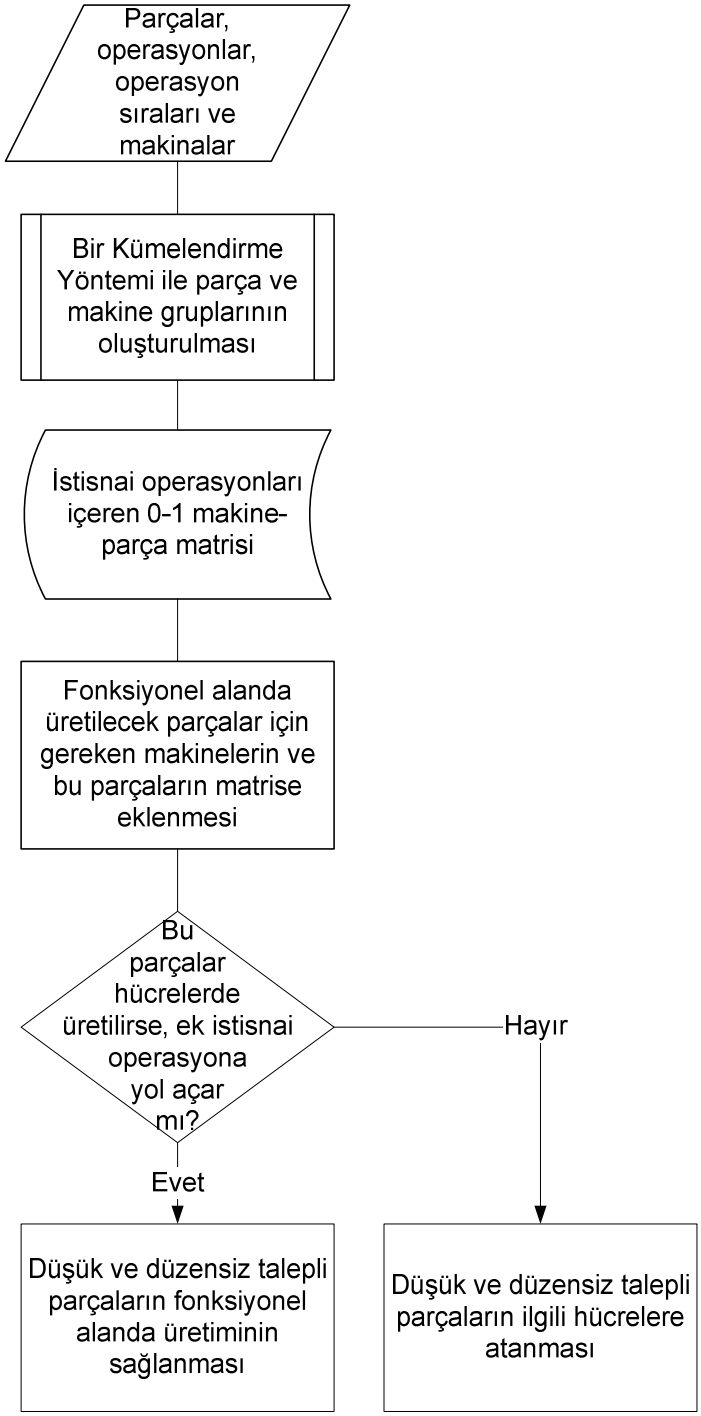
$$\begin{bmatrix} FR21 \\ FR22 \\ FR23 \\ FR24 \\ FR25 \\ FR26 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & & \\ & X & & & & \\ & & X & & & \\ X & X & X & X & & \\ & & & X & X & \\ & & & & X & X \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} DP21 \\ DP22 \\ DP23 \\ DP24 \\ DP25 \\ DP26 \end{bmatrix} \quad \textbf{(4.2)}$$

Hücre oluşturma prosedürü (DP24) ise şu adımları içermektedir:

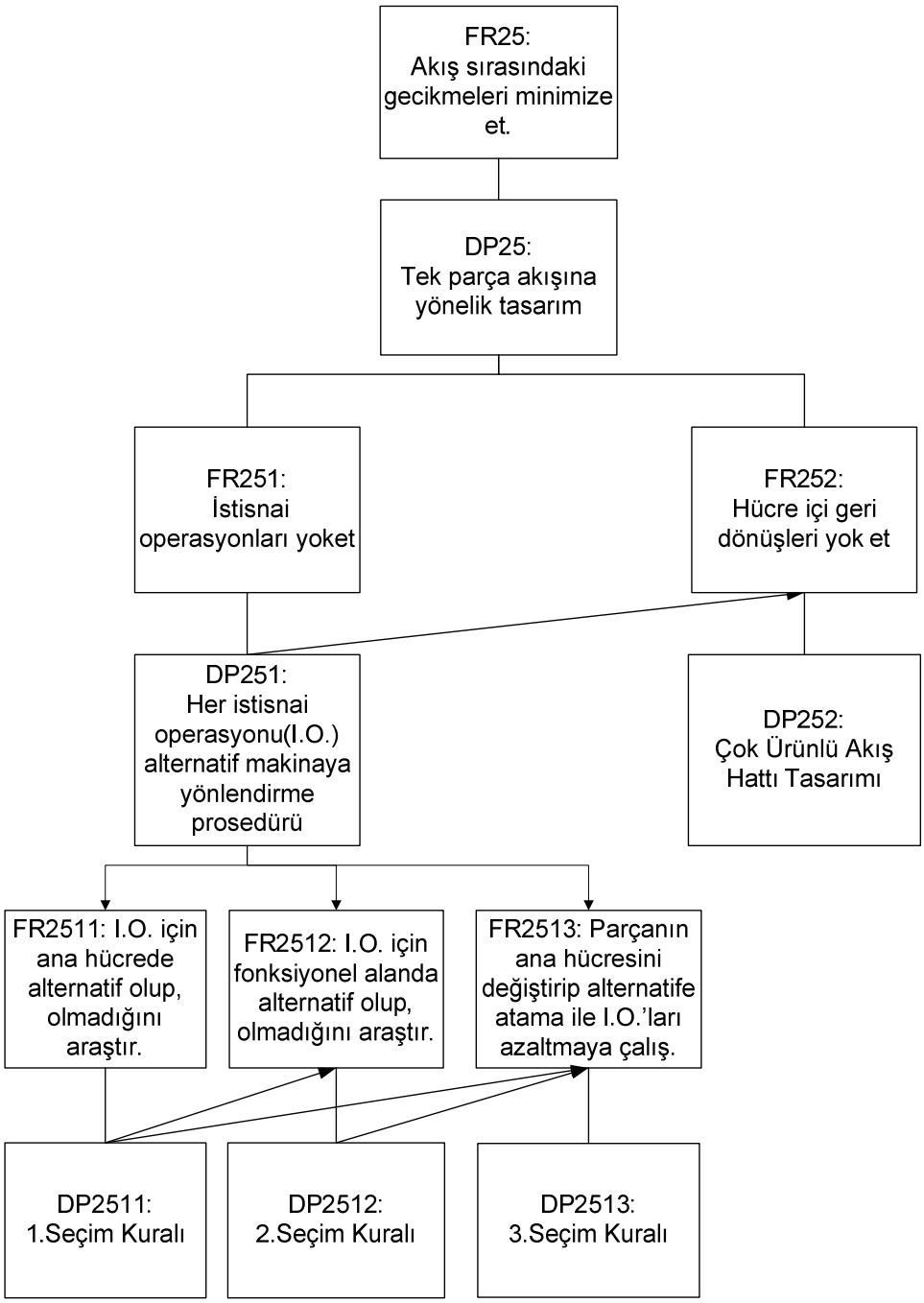
Öncelikle bir kümelendirme yöntemi, yüksek ve düzenli talepli parçalar için oluşturulan 0-1 tipi makine-parça matrisine uygulanır. Kümelendirme sonucunda bazı istisnai operasyonlar meydana gelebilir. Daha sonra, oluşan matris genişletilerek, düşük ve düzensiz talepli parçaları üretmek için gereken makineleri içeren fonksiyonel alan da matriste işaretlenir. Bu sayede fonksiyonel alanın tasarımı da yönteme dahil edilmiş olur. Fonksiyonel alanda üretilmesi düşünülen parçaların, hücrelerde üretildiği taktirde yeni istisnai operasyonlara yol açıp açmadığı kontrol edilir. Yani, hücreler arası hareketin gerçekleşmediği makine çiftleri arasında bu tür bir akışa neden olunmamalıdır. Eğer bu durum meydana gelmiyorsa, düzensiz talepli parçalar da hücrelerde üretilir. Bu sayede ek makine satın alınmasına gerek kalmaz. Eğer yeni istisnai operasyonlar ortaya çıkıyorsa, hücrelerdeki akışı bozmamak amacıyla fonksiyonel alanda üretim yapılmalıdır. Bu adımları içeren akış şeması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

'Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25)'ın ayrıştırması Şekil 4.4'te görülmektedir. Bu tasarıma ait algoritma, tez çalışmasının *özgün* yönlerinden biridir. Çünkü istisnai operasyonları yok etmek için alternatif makineleri kullanan, fonksiyonel alandan da yararlanmaya olanak tanıyan sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. İstisnai operasyonların yok edilmesinin ardından hücre içerisinde tek yönlü akışın sağlanması hücrelerde tek parça akışını mümkün hale getirir. Bu sayede sistemin temin süresi düşer.

Şimdiye kadar TPA'na yönelik bir tasarım yapılmış olup, henüz mevcut sistemin kapasitesinin yeterliliği kontrol edilmemiştir. Bu amaçla FR26'da da belirtildiği gibi sistemdeki mevcut imkanların yeterliliği kontrol edilir (FR26). Bu amaçla benzetim yardımıyla darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü (DP26) uygulanır.



Şekil 4.3 Hücre Oluşturma Prosedürü (DP24)'ne ait Akış Şeması



Şekil 4.4 FR25'in Ayrıştırılması

Tek parça akışını sağlamak için istisnai operasyonların yok edilmesi (FR251) gerektiği gibi hücre içinde geriye dönüşleri engelleyecek bir tasarım yapılmalıdır (FR252).

İstisnai operasyonları yok etmek için öncelikle parçanın ana hücresindeki alternatif makineye (FR2511) yeniden atama yapılmaya çalışılır. Bu mümkün değilse,

fonksiyonel alandaki alternatife (FR2512) operasyonların yeniden atanmasına çalışılmaktadır. Her ikisi de mümkün değilse parçanın ana hücresi değiştirilip,istisnai operasyon alternatife atanarak istisnai sayısı azaltılmaya (FR2513) çalışılmaktadır. İstisnai operasyonun yeniden ataması için en uygun alternatifin seçimi, bu üç durum için sırasıyla 1, 2 ve 3 no.'lu seçim kurallarının uygulanmasıyla gerçekleştirilir (DP2511, DP2512, DP2513). Daha sonra da hücre içi geri dönüşleri yok etmek (FR252) gereklidir. Bunu gerçekleştirmek için çok ürünlü akış hattı tasarımı (DP252) yapılmalıdır.

FR25'in ayrıştırılmasına ait tasarım eşitliği (4.3)'te yazılmıştır. Eşitlik, bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR251 \\ FR252 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ X\,X \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} DP251 \\ DP252 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.3)}$$

FR251'e ait ayrıştırma için tasarım eşitliği de (4.4)'te sunulmuştur.Bu eşitlik de bağımsızlık aksiyomunu gerçeklemektedir.

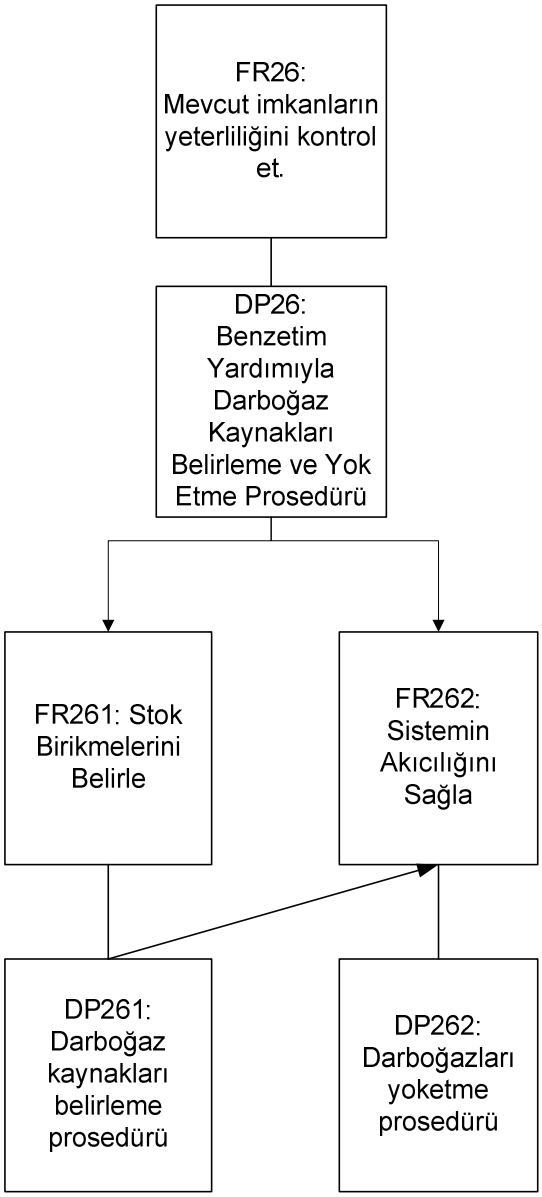
$$\begin{bmatrix} FR2511 \\ FR2512 \\ FR2513 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} DP2511 \\ DP2512 \\ DP2513 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Mevcut imkanların yeterliliğini kontrol etmek ve tek parça akışını sağlamak için önce stok birikmelerini belirlemek (FR261), ardından sistemin akıcılığını sağlamak (FR262) gerekir. Bu gereksinimleri yerine getirmek için sırasıyla darboğaz kaynakları belirleme (DP261) ve yok etme (DP262) prosedürleri gerçekleştirilmelidir. Şekil 4.5'te, sözü edilen ayrıştırma görülmektedir.

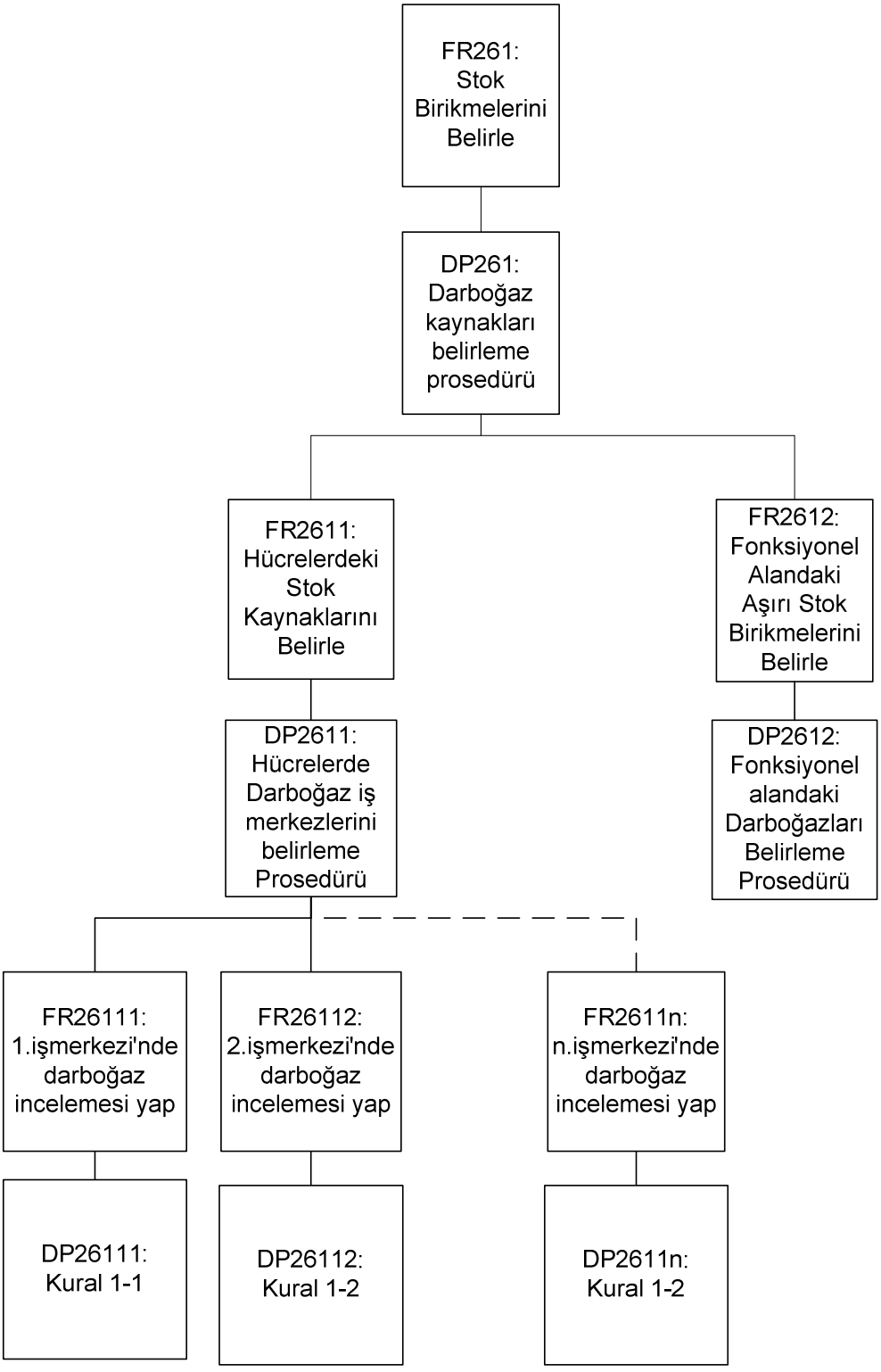
Bu ayrıştırmaya ait tasarım eşitliği (4.5)'te verilmiştir. Tasarım, ayrılmış tasarımdır ve bağımsızlık aksiyomunu sağlar.

$$\begin{bmatrix} FR261 \\ FR262 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} DP261 \\ DP262 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.5)}$$

Darboğaz kaynakları belirleme prosedürü, hücrelerdeki (FR2611) ve fonksiyonel alandaki stok kaynaklarını belirlemeyi (FR2612) içerir. Bu ayrıştırma Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. FR26'nın Ayrıştırılması



Şekil 4.6 FR261'in Ayrıştırılması

DP2611'deki prosedürü geliştirirken Chen ve diğerleri (2001)'nin yaptığı çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışmada, hücrede bulunabilecek darboğazları belirlemek için

AD yöntemine dayanan, sistematik, bilgi tabanlı bir yapı geliştirilmiştir. Simülasyon ortamında hücrelerin tüm bileşenleri modellenip, bunların performansları ölçülerek, hedeflenen performans ölçütleri cinsinden değerlendirme yapılır. AD ilkeleri çerçevesinde önce hücredeki stok kaynakları (iş merkezleri) belirlenir. Sonra bu iş merkezindeki darboğaz kaynak, çalışmada geliştirilen kurallar izlenerek belirlenir.

Bu mantık kullanılarak tez çalışmamızda da her hücredeki iş merkezleri incelenerek, kurallar yardımıyla her iş merkezinin darboğaz kaynağı (makine, işgören-işçi, robot veya diğer kaynaklar) belirlenir (FR26111- FR2611n). FR2611'in ayrıştırılması Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Burada Kural 1-1 hücrenin ilk iş merkezine uygulanır. Bunu takip eden merkezler için Kural 1-2 uygulanmalıdır. Öncelikle her iş merkezinden ardışık parçaların çıkışları arasında geçen sürelerin (*TBD*) ortalaması bulunmalıdır (Chen ve diğerleri, 2001). Diğer taraftan, ilk iş merkezi dışındaki herhangi biri, öncekini bloke edebilir. İş merkezinin bloke olduğu sürenin toplam benzetim süresine oranı da bloklama oranı (*B*) olarak isimlendirilir ve bu oranın da hesaplanması gereklidir. W_i, hücredeki *i.* iş merkezini, TBD_i *i*. İş merkezinin *TBD* değerini, B_i ise *i.* iş merkezinin bloklama oranı (*B*) değerini gösterir. Aşağıda, *n* adet iş merkezinden oluşan bir hücrenin iş merkezleri için darboğaz incelemesi yapan QBasic kodları yazılmıştır.

For i=1 to n

If $W_i = W_1$ and $TBD_{hedef} < TBD_1$, then W_i darboğaz istasyondur. (Kural 1-1)

Else if $W_i \neq W_1$ and $TBD_i > TBD_{i-1}$ ve $B_{i-1} > B_i$, then W_i darboğazdır. (Kural 1-2)

$i = i + 1$

Next i

End.

Kural 1-1'e göre 1.iş merkezinin *TBD* değeri hedeflenen değerden büyük ise darboğaz bu istasyondur. Burada, ilk istasyona yeterince işin geldiği varsayılmaktadır. Bu varsayım yapılmadığı taktirde, yeterince iş gelmediği durumlarda ilk istasyon parça bekler ve bu nedenle TBD değeri büyür ve bu da yanıltıcı sonuçlar doğurur.

Kural 1-2'ye göre incelenen merkez hücrede birinci sırada olmamak koşuluyla, bu ve bundan bir önceki merkez için, sonrakinin *TBD* ve bloklama oranı değerleri öncekinden büyük ise W_i yani sonraki merkez darboğazdır.

Bu aşamadan sonra darboğaz iş merkezinin hangi kaynağının buna yol açtığı belirlenmelidir. Bu konudaki ayrıştırma Şekil 4.7'de verilmiştir. Darboğaz kaynak makine, işgören (operatör) veya diğer kaynaklar olabilir. Diğer kaynaklar robot, malzeme taşıma aracı, kalite kontrol cihazı vb. olabilir. Makineleri, operatörü ve diğer kaynakları inceleme kuralları ile darboğaz kaynak bulunabilir. Her iş istasyonunda makine, operatör ve diğer kaynaklar aşağıda yazılan kurallar kullanılarak incelenir:

Makineleri İnceleme Kuralı:

Eğer TBD_{hedef} * *ENK*(*kullanım oranı*) < *ortalama makine işlem süresi* ise; darboğaz, iş istasyonundaki makinedir.

İşgöreni İnceleme Kuralı:

Bu kural parça yüklemeyi işgörenin yaptığı veya başka bir kaynağın (Örn.: robot kolu) gerçekleştirdiği duruma göre ikiye ayrılır:

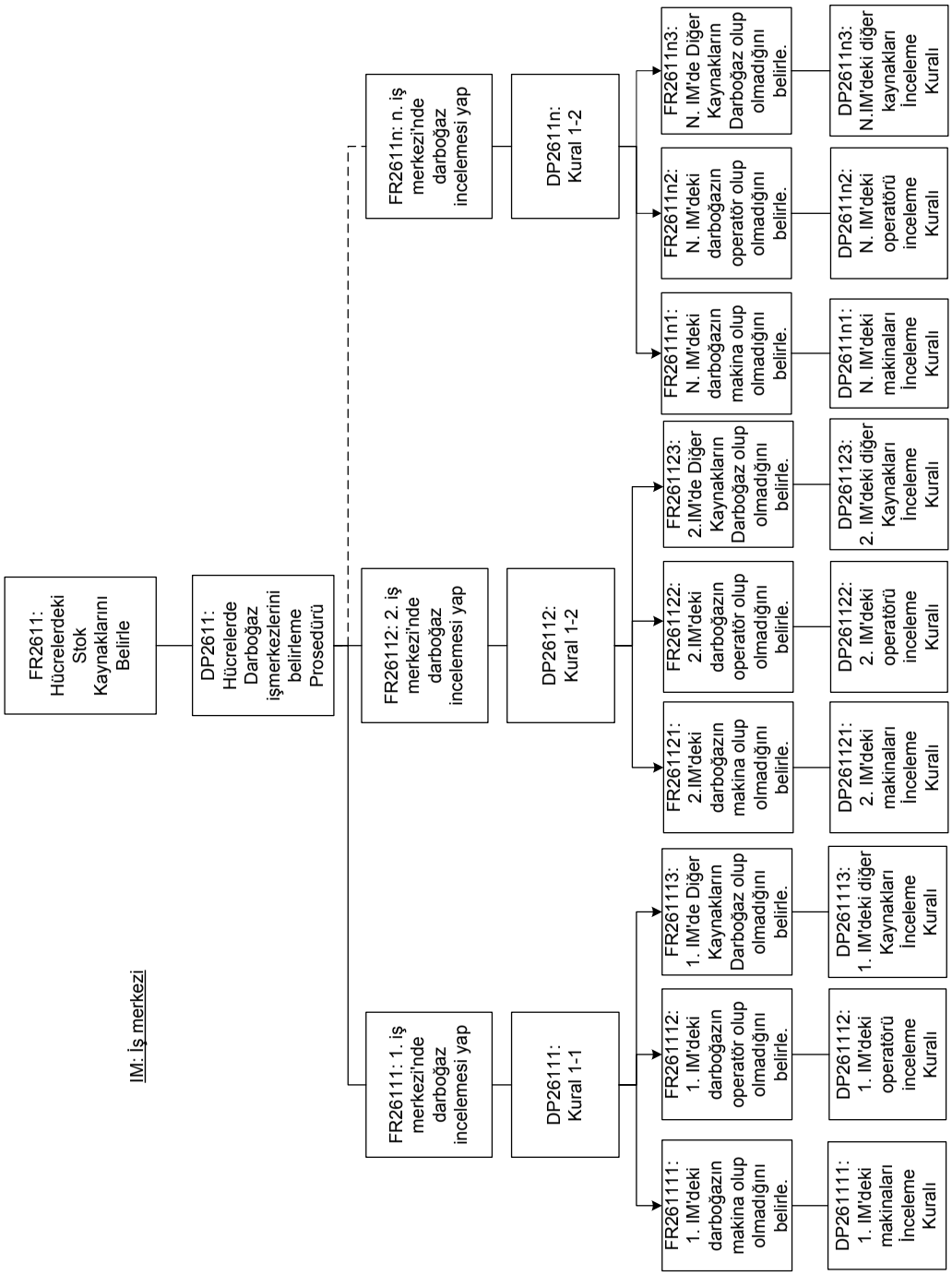
Eğer TBD_{hedef} * *ENK*(*kullanım oranı*) ≥ *ortalama makine işlem süresi* VE makine kullanım oranı< *ENK*(*kullanım oranı*) VE parça yüklemeyi işgören yapıyorsa VE operatör kullanım oranı ≥ *ENB*(*kullanım oranı*) ise; darboğaz, iş istasyonundaki operatördür.

Eğer yüklemeyi işgören yapmıyorsa VE TBD_{hedef} * *ENK*(*kullanım oranı*) < *ortalama operatör işlem süresi* ise; darboğaz, iş istasyonundaki operatördür.

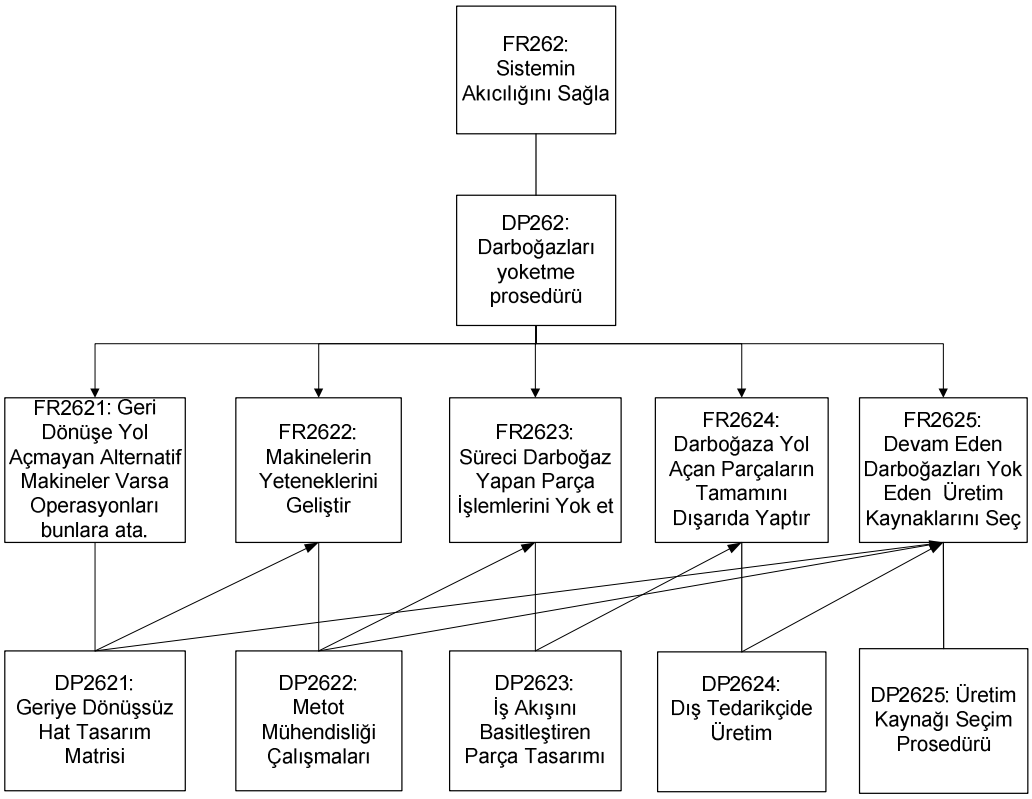
Diğer Kaynakları İnceleme Kuralı: Eğer makine veya işgören darboğaz değil ise diğer kaynaklardan biri darboğazdır.

Belirlenen, sadece makinelere ait darboğazları yok etmek amacıyla çeşitli yollar denenebilir. Bunlar, Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Birincisi geriye dönüşe yol açmayan alternatif makineleri araştırmak (FR2621)'tır. İstisnai operasyonları yok etmek için yapılan alternatiflere atama işlemi ile burada yapılan karıştırılmamalıdır. Çünkü bu aşamada kapasite yetersizliği durumunda yeniden atama yapılmaktadır. Daha sonra makinelerin yeteneklerini geliştirmek yoluyla farklı işlemlerin aynı makinede yapılabilmesine çalışılmalıdır (FR2622). Bunlardan sonra parça tasarımında değişiklikler yapılarak süreci darboğaz yapan işlemleri yok etmek (FR2623) de izlenebilecek diğer bir yoldur. darboğaza yol açan parçaların tamamını dışarıda yaptırtmak (FR2624) da daha sonra düşünülebilecek bir seçenektir. Yapılan tüm bu

çalışmalara rağmen bazı darboğazlar yok edilemediyse, “devam eden darboğazları yok eden üretim kaynaklarını seçmek” (FR2625) gerekir.



Şekil 4.7 FR2611’in Ayrıştırılması



Şekil 4.8 FR262'nin Ayrıştırılması

Şekil 4.8'deki ayrıştırmaya ait tasarım eşitliği (4.6)'da yazılmıştır. Tasarım, bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR2621 \\ FR2622 \\ FR2623 \\ FR2624 \\ FR2625 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & \\ X & X & & & \\ & X & X & & \\ & & X & X & \\ X & X & & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} FR2621 \\ FR2622 \\ FR2623 \\ FR2624 \\ FR2625 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.6)}$$

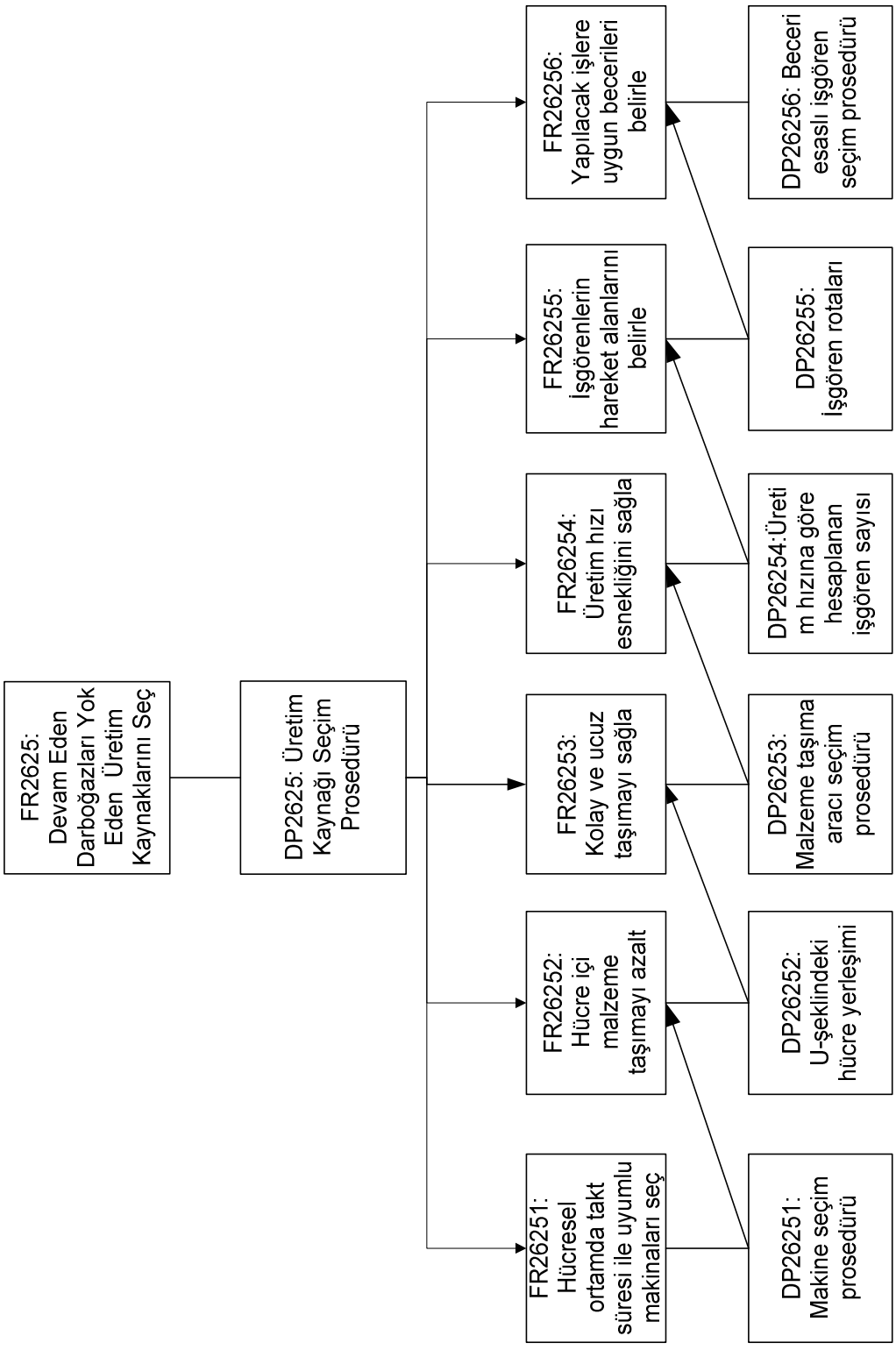
Devam eden darboğazları yok etmek için gerçekleştirilecek gereksinimler sırasıyla "hücresel ortamda takt süresi ile uyumlu üretim kaynakları"nı seçmek (FR26251), hücre içi malzeme taşımayı azaltmak (FR26252), kolay ve ucuz taşımayı sağlamak (FR26253), üretim hızı esnekliğini sağlamak (FR26254), işgörenlerin hareket alanlarını belirlemek (FR26255) ve yapılacak işlere uygun becerileri belirlemek (FR26255) gerekmektedir. Bunlar için sırayla uygun makineleri seçmemizi sağlayacak makine seçim prosedürü (DP26251), hücre içi taşımayı azaltan u-şeklindeki hücre yerleşimi (DP26252), kolay ve ucuz taşımayı sağlayan malzeme taşıma aracı seçim prosedürü (DP26253), üretim hızına göre hesaplanan işgören

sayısı (DP26254), çalışanların hareket alanlarını gösteren işgören rotaları (DP26255) ve yapılacak işlere uygun beceri esaslı işgören seçim prosedürü (DP26256) hayata geçirilerek darboğazlar ortadan kaldırılmaya çalışılır. Bu ayrıştırma, Şekil 4.9'de gösterilmiştir. Bu ayrıştırmaya ait tasarım eşitliği ise (4.7)'de gösterilmiştir. Burada da bağımsızlık aksiyomu gerçekleştirilmiştir.

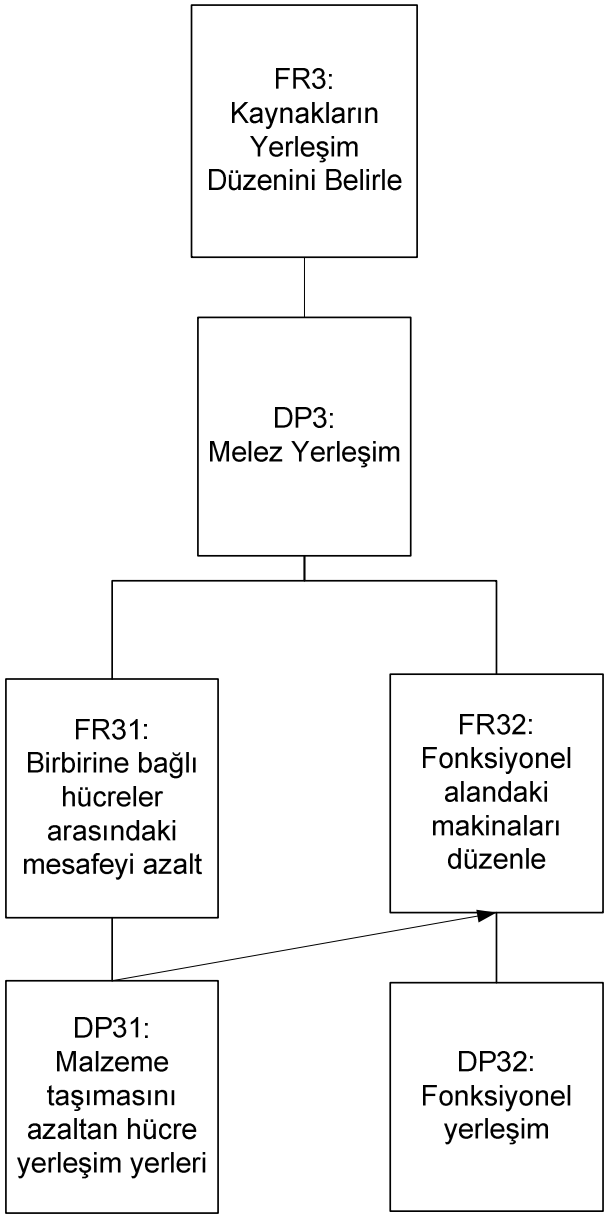
$$\begin{bmatrix} FR26251 \\ FR26252 \\ FR26253 \\ FR26254 \\ FR26255 \\ FR26256 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & & \\ X & X & & & & \\ & X & X & & & \\ & & X & X & & \\ & & & X & X & \\ & & & & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP26251 \\ DP26252 \\ DP26253 \\ DP26254 \\ DP26255 \\ DP26256 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.7)}$$

Kaynakların yerleşim düzeninin belirlenmesi sistem tasarımındaki son gereksinimdir. Bu amaçla birbirine bağlı hücreler arası mesafeyi azaltmak (FR31) ve fonksiyonel alandaki makineleri düzenlemek (FR32) gereklidir. Şekil 4.10, bu ayrıştırmaya aittir. Birbirine bağlı hücreler için "malzeme taşımasını azaltan hücre yerleşim yerleri" (DP31) sağlanmalıdır. Ayrıca fonksiyonel alandaki makineler de "fonksiyonel yerleşim" (DP32)'ye uygun biçimde yerleştirilmelidir. Bu tasarımın bağımsızlık aksiyomunu sağladığı (4.8) no.'lu eşitlikte gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR31 \\ FR32 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP31 \\ DP32 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(4.8)}$$



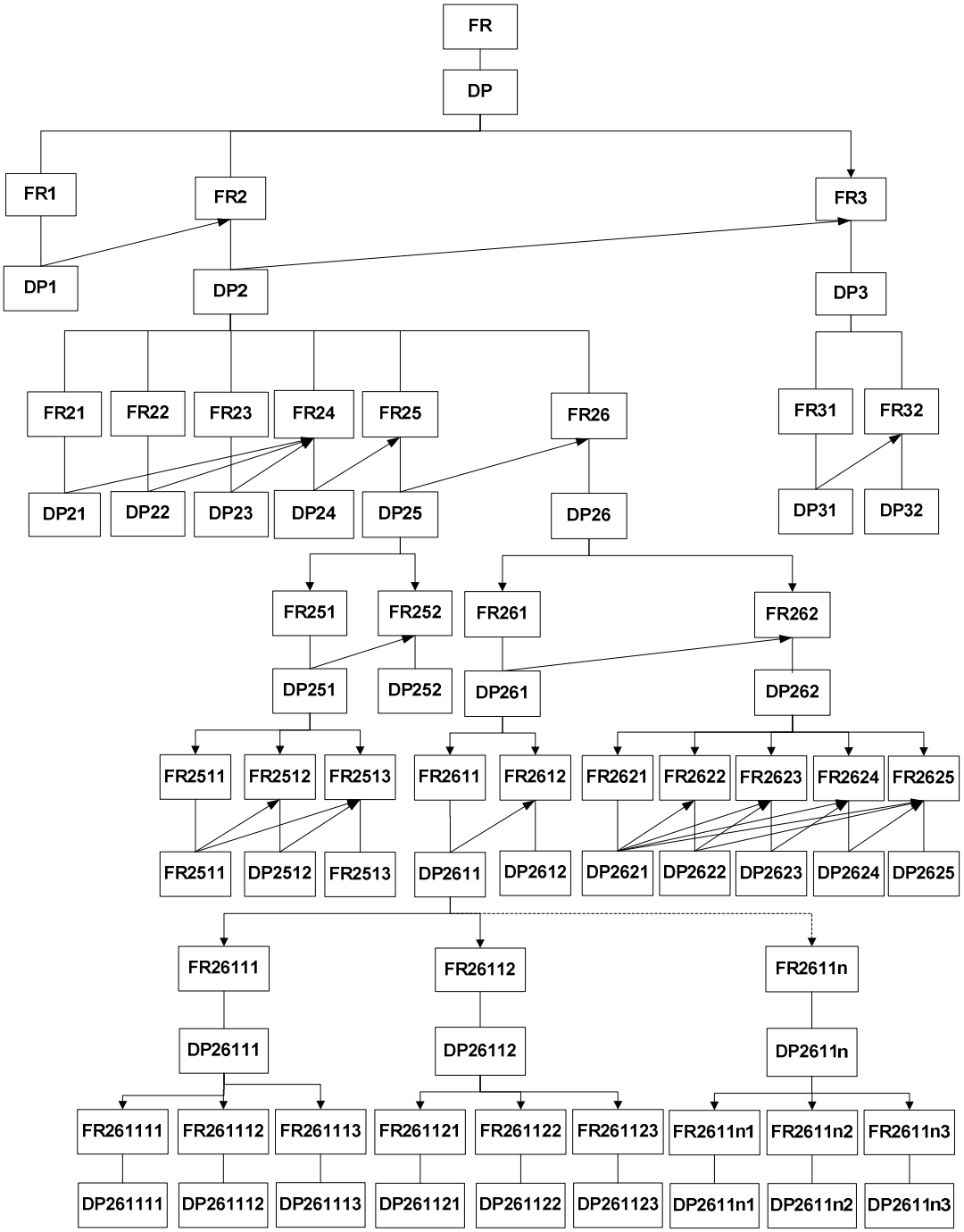
Şekil 4.9 FR2625'in Ayrıştırılması



Şekil 4.10 FR3'ün Ayrıştırılması

Melez Üretim Sistemi'nin AD ile tasarımının ayrıştırılmasına ait genel şema Şekil 4.11'de çizilmiştir.

Ayrıca çalışmamızda anlatılan AD modelinin bütünsel tasarım matrisinin oluşturulması gereklidir. Bu sayede olası bağlı tasarım durumları görülebilir. Söz konusu matris, büyük bir şekil olduğu için Ekler'de Şekil B-1'de verilmiştir. Tasarımın bütünü, AD'nin bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır.



Şekil 4.11 Melez Üretim Sistemi'nin AD ile Tasarımının Ayrıştırılması

5. TEK PARÇA AKIŞI ALGORİTMASI

Bu başlık altında Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25)'te belirtilen Tek Parça Akışı Algoritması açıklanmaktadır. Şekil 5.1'de, sezgisel yöntemin özet akış şeması görülmektedir. 1., 2., 3. seçim kuralları, Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritması, Eklenen Makineleri Azaltma Prosedürü ve Ele Alınmayan istisnai operasyon (I.O.)'lar listesinin güncellenmesi kutucukları ayrı akış diyagramlarında açıklanmıştır.

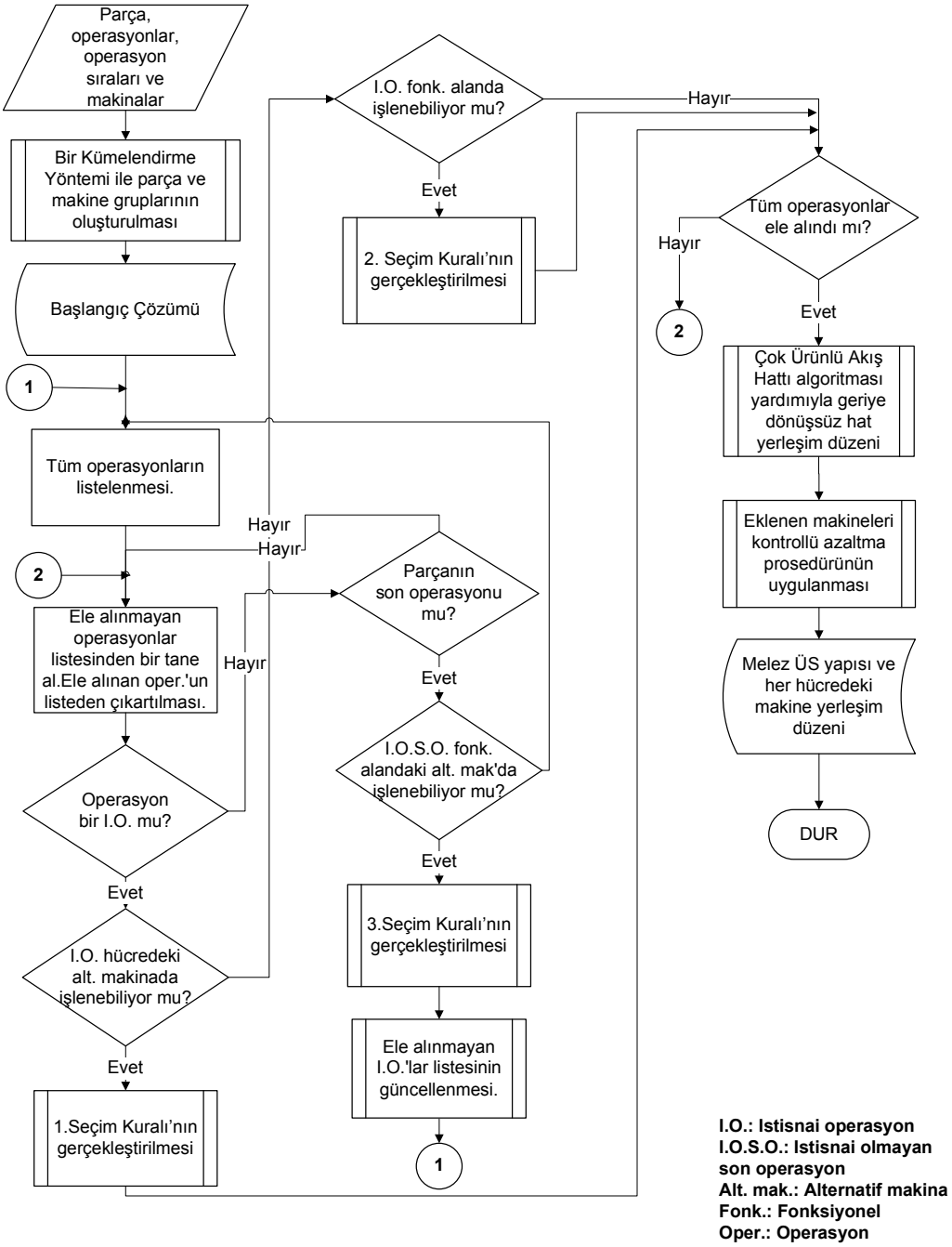
Sezgisel yöntem, şu şekilde çalışmaktadır: Öncelikle parçalar, operasyonlar, operasyon sıraları ve makineleri içeren veriler toplanır. Bir kümelendirme yöntemi ile parça-makine grupları oluşturularak, başlangıç çözümü elde edilir. Burada, seçilen kümelendirme yönteminin performansına çok önem verilmemektedir. Çünkü başlangıç çözümündeki istisnai operasyonlar (istisnai elemanlar), geliştirilen algoritma ile azaltılmaktadır.

Daha sonra tüm operasyonlar listelenir ve bir adet operasyon ele alınıp, bu listeden çıkarılır. Operasyonun istisnai operasyon (İ.O.) olup, olmadığına bakılır. Eğer İ.O. ise parçanın ana hücresindeki bir alternatif makinede işlenip işlenemeyeceği kontrol edilir. Eğer işlenebiliyorsa 1. Seçim Kuralı'nın adımları uygulanır ve operasyon, en uygun alternatif makineye atanır. Eğer parçanın ana hücresinde işlenemiyorsa, fonksiyonel alandaki bir alternatif makinede işlenip, işlenemeyeceği araştırılır. Eğer işlenebiliyorsa, 2. Seçim Kuralı'nın adımları uygulanarak, gerekli şartlar sağlandığı taktirde fonksiyonel alandaki uygun alternatife yeniden atama yapılır.

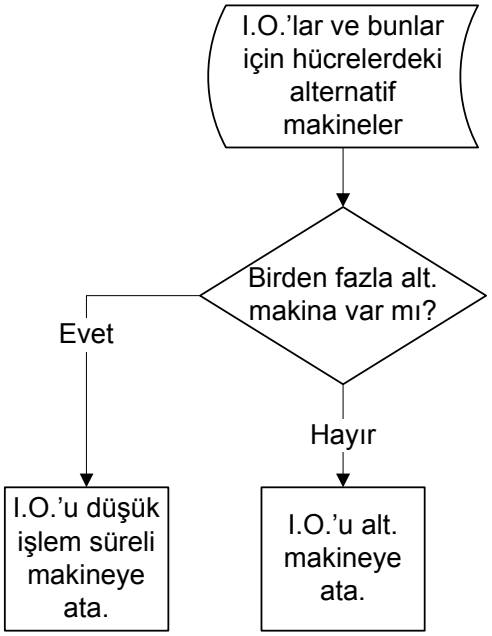
Eğer operasyon bir İ.O. değilse, ilgili parçanın son operasyonu olup, olmadığına bakılır. Son operasyon ise fonksiyonel alandaki bir alternatif makinede işlenip işlenemeyeceği incelenir. İşlenebiliyorsa 3. Seçim Kuralı uygulanarak İ.O. sayısı azaltılmaya çalışılır. Eğer bu kuraldaki gerekli koşullar sağlanıyorsa ele alınmayan İ.O.'lar listesi, bu operasyon çıkartılarak güncellenir ve Şekil 5.1'de görülen (1) noktasına dönülüp tüm operasyonlar listelenir. Çünkü bazı operasyonlar istisnai olmaktan çıkıp diğerleri istisnai hale gelebilir.

1., 2. ve 3. kurallar uygulandıktan sonra tüm operasyonların ele alınıp alınmadığı kontrol edilir. Ele alındıysa Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritması kullanılarak her hücre, geri dönüşsüz hat yerleşim düzenine uygun biçimde tasarlanır. Çok ürünlü akış hattı algoritması, Aneke ve Carrie tarafından geliştirilen yöntemi (1986) temel almaktadır. Bu algoritmada eklenen makineler, Eklenen Makineleri Azaltma Prosedürü kullanılarak hücre içi alternatiflere atama yoluyla akış yönünü bozmayacak şekilde azaltılır. Son olarak Melez Hücresel Üretim Sistemi yapısı ve her hücredeki yerleşim düzeni elde edilir.

Şekil 5.2'de 1.Seçim Kuralı'nın detaylı akış şeması çizilmiştir. Bu şema, Şekil 4.4'te görülen DP2511'in açıklamasını içermektedir. Burada İ.O.'u yok etmek için ilgili parçanın ana hücresinde alternatif bir makine olup olmadığı incelenmektedir. Eğer varsa, birden fazla alternatifin var olup olmadığına bakılır. Birden fazla alternatif bulunması durumunda İ.O., en düşük işlem süreli makineye atanır.



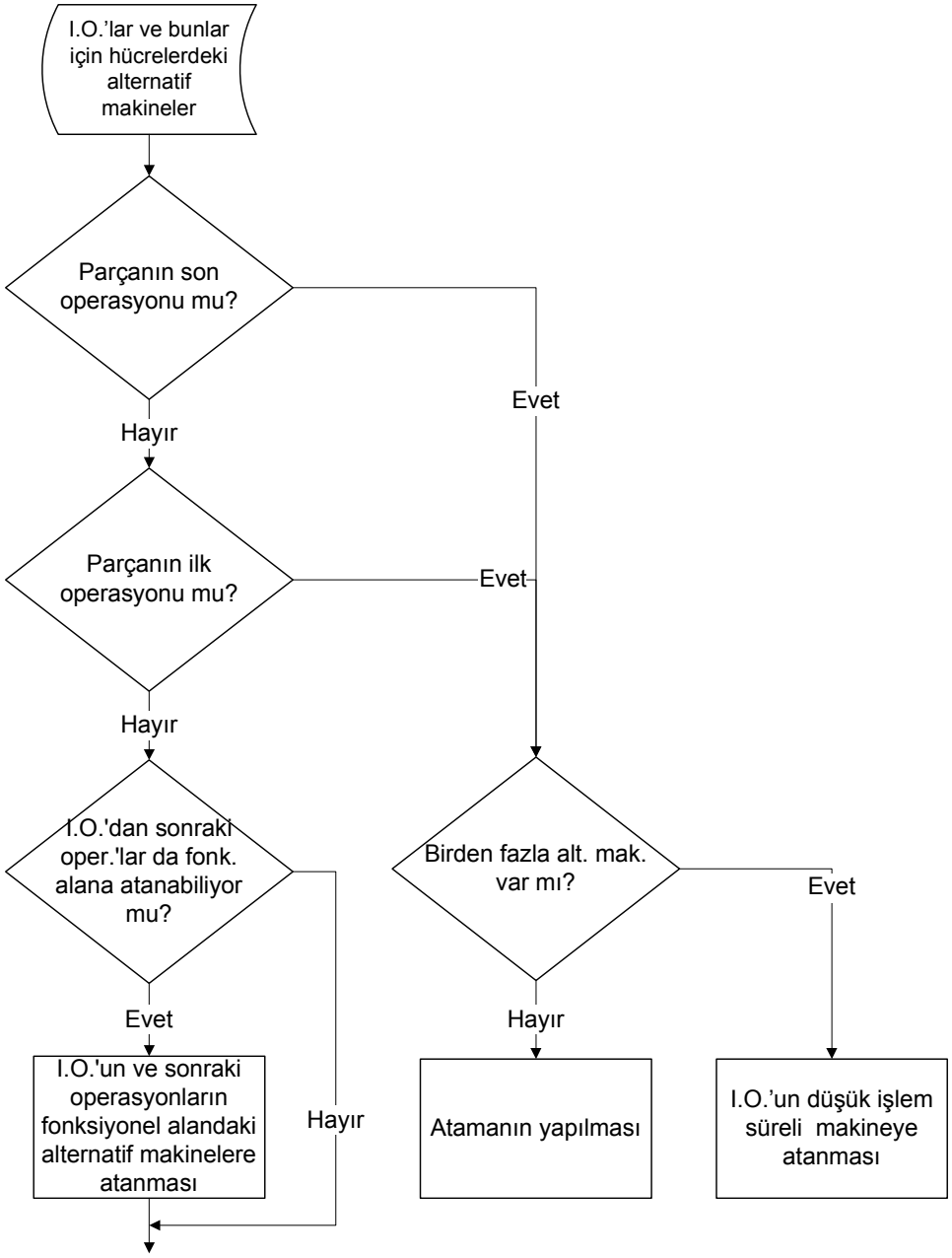
Şekil 5.1 Tek Parça Akışı Algoritması için Özet Akış Şeması



Şekil 5.2 Tek Parça Akışı Algoritmasındaki 1.Seçim Kuralı

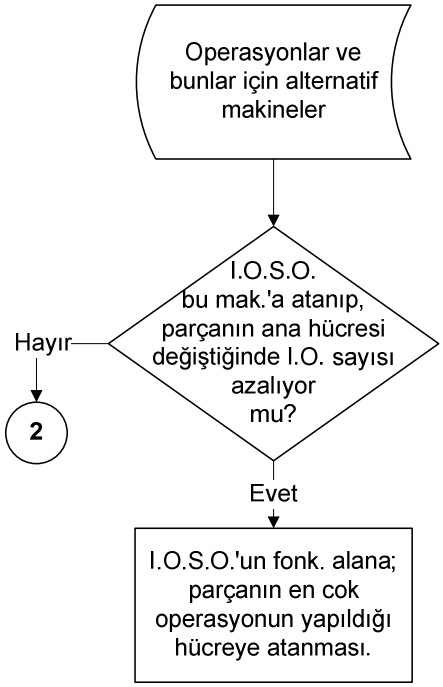
Şekil 5.3'te görülen 2.Seçim Kuralı'nda İ.O. için fonksiyonel alanda, alternatif makineler araştırılır. Öncelikle İ.O.'un parçanın son operasyonu olup, olmadığı sorgulanır. Eğer son operasyon ise ve birden fazla alternatif varsa düşük işlem süreli makineye atama yapılır. Tek alternatif varsa, operasyon buna atanır.

Eğer parçanın son operasyonu değilse, İ.O.'dan önceki operasyonların da fonksiyonel alanda işlenip, işlenemeyeceği sorgulanır. Çünkü bir parça belli bir hücreden fonksiyonel alana atanıyorsa, fonksiyonel alanda tamamlanması amaçlanmaktadır. Tekrar hücreye dönmesi üretim ortamında karışıklık yaratır ve parçanın takibini güçleştirir. Malzeme taşımalarını arttırarak, temin sürelerinin uzamasına ve ek maliyetlerin oluşmasına yol açar.



Şekil 5.3 Tek Parça Akışı Algoritmasındaki 2.Seçim Kuralı

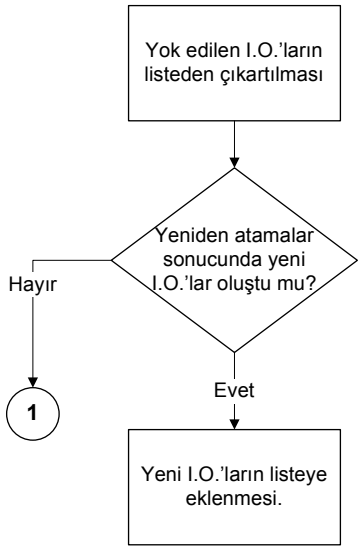
Şekil 5.4'te görülen 3. Seçim Kuralı İstisnai olmayan son operasyonun (I.O.S.O) fonksiyonel alandaki alternatife atanması ve ardından ilgili parçanın ana hücresinin değiştirilmesi yoluyla İ.O. sayısını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu atamalar yapıldığında, parçanın ana hücresi değiştirildiğinden istisnai olanlar bu durumdan kurtarılır, daha önce İ.O. olmayanlar istisnai hale gelebilir. Bu nedenle tüm bu atamalar sonucunda ele alınmayan İ.O.'lar listesi güncellenir.



I.O.S.O.: İstisnai olmayan son operasyon

Şekil 5.4 Tek Parça Akışı Algoritmasındaki 3. Seçim Kuralı

Şekil 5.5'te ise ele alınmayan İ.O.'ların listesinin güncellenmesi hakkındaki prosedür gösterilmiştir. Bu prosedür I.O.S.O'un fonksiyonel alana atanması ve parçanın ana hücresinin değiştirilmesi (3. Seçim Kuralı)'nden sonraki süreçtir. Bu kural sonucunda yok edilen İ.O.'lar listeden çıkartılır. Yeniden atamalar sonucunda yeni İ.O.'lar oluştuysa bunlar listeye eklenir.

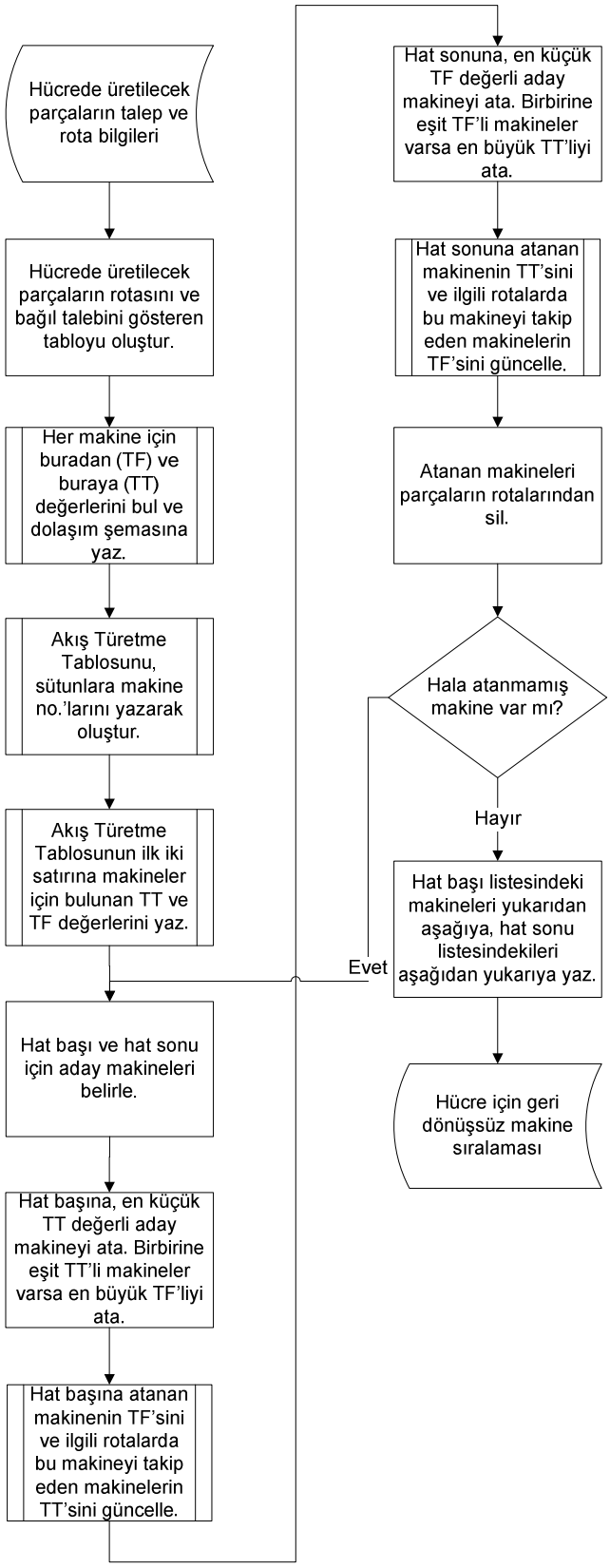


Şekil 5.5 Ele Alınmayan İstisnai Operasyonlar Listesinin Güncellenmesi

Tüm operasyonlar ele alındıktan sonra Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritması (Aneke ve Carrie, 1986) yardımıyla geriye dönüşsüz hücreler tasarlanır. Bu yönteme ait akış şeması Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Öncelikle hücrede üretilecek parçaların makine rotaları ve bağıl talepleri belirlenir.

Bu talep değerleri belirlerken, belli dönem için talep değerlerinden en küçük değer bulunur. Tüm talep değerleri en küçük talep değerine bölünür. Küsuratlı sonuçlar, yukarı yuvarlanır. Bağıl talep kullanılmasının nedeni daha küçük sayılar ile işlem yapabilmektir.

Sonrasında dolaşım şeması oluşturularak her makineye gelen (TT) ve her makineden çıkan parça adedi (TF) bu şemada hesaplanır. Akış türetme tablosu sütunlara makineler yazılarak oluşturulur. Satırlar ise TT ve TF değerleri için boş bırakılır. Her makine için hesaplanan TT ve TF değerleri akış türetme tablosunun ilk iki satırına yazılır. Ardından hat başı ve hat sonu için aday makineler, parça rotalarına bakılarak belirlenir. Adaylar arasından en küçük TT'li makine hat başına atanır. Bu makinenin TF değeri, sözü edilen makinenin birinci sırada olduğu parçaların talebinin toplamı kadar azaltılır. Parça rotalarında atanan bu makineden hemen sonra yer alan makinelerin TT'si parça talebi kadar düşürülür.



Şekil 5.6 Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarım Algoritması

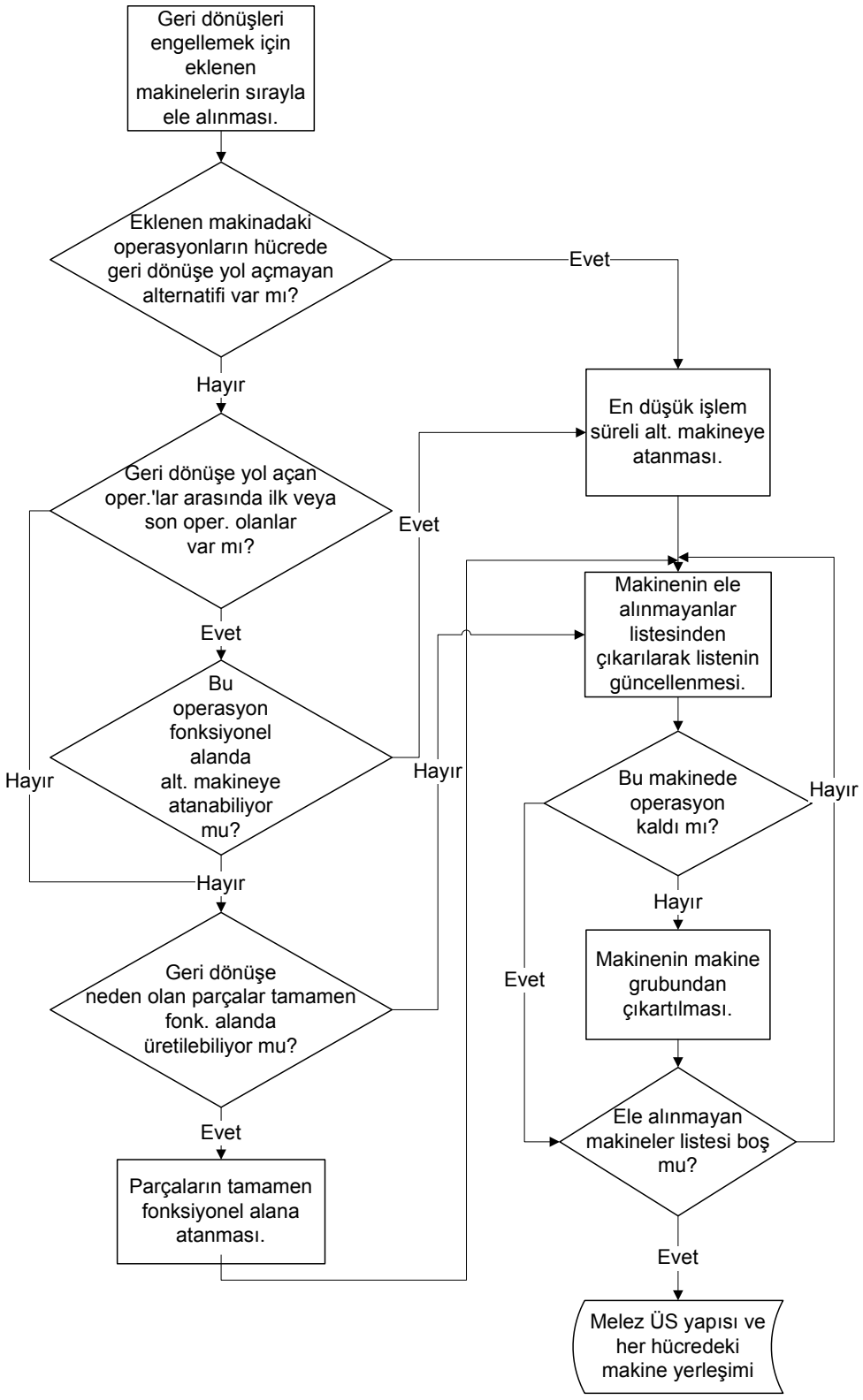
Daha sonra, hat sonu için aday makineler arasından en küçük TF'li makine seçilir. Bu makinenin TF değeri, son makine olduğu parçaların toplam talebi kadar azaltılır. Parça rotalarında sözü edilen makineden hemen önce yer alanların TT değeri ise ilgili parça talebi kadar düşürülür.

Hat başına ve sonuna atanan makineler parça rotalarından silinir. Ayrıca TT ve TF değerleri yukarıda açıklanan güncellemeler sonucunda sıfıra eşitlenen makinelerin sütunları kapatılır. Yani bu makineler hatta bir kez daha atanamaz.

Tüm makinelerin TT ve TF değerleri sıfırlanmışsa hücrenin geriye dönüşsüz makine sıralaması elde edilmiş olur. Akış türetme tablosunda en üst hat başı makinesinden başlanarak makineler art arda sıralanarak, söz konusu sıralama elde edilir.

Şekil 5.7'de ise Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı sonucunda hücreye eklenen makinelerin hücre içi alternatiflere atama yoluyla azaltıp, azaltılamayacağı sorgulanır.

Geriye dönüşsüz hat tasarlanırken makine eklemekten kaçınılmaz. Çünkü amaç öncelikle hücre içinde tek yönlü bir akışı sağlamaktır. Ancak daha sonra eklenen makinelerdeki operasyonların, hücredeki akış yönünü bozmayacak şekilde hücre içi alternatiflere atanmasına çalışılır. İlgili operasyon parça rotasında ilk veya son sırada ise ve fonksiyonel alana atanabiliyorsa en düşük işlem süreli alternatife atanır. Söz konusu makine ele alınmayan makineler listesinden çıkarılır. İlgili makinede operasyon kalmadıysa makine, oluşturulan makine sırasından çıkarılır. Ancak hâlâ bazı operasyonlar burada işleniyorsa söz konusu makine oluşturulan sıralamadan çıkarılmaz. Ele alınmayan makineler listesi tamamlanana kadar bu süreç sürdürülür. Tüm makineler ele alındıktan sonra melez üretim sistemi yapısı ve hücrelerdeki makine yerleşimi elde edilir.



Şekil 5.7 Algoritmadaki Eklenen Makineleri Azaltma Prosedürü

6. ÖRNEK KULLANILARAK YÖNTEMİN UYGULANMASI

Bir düşünsel örnek üzerinde çalışmanın amacı, gerçekte oluşabilecek her durumu sergileyebilmektir. Gerçek bir uygulama yapılsa da söz konusu üretim ortamında oraya özgü şartlar söz konusudur. Ancak bizim çalışmamızda, öngörülen her durumu kapsayan bir yöntem geliştirilmeye çalışılmaktadır ve düşünsel örnek üzerinde bu gibi durumları oluşturmak çok daha kolaydır. Ayrıca bir düşünsel örnek üzerinde çalışmak, olası yanlışlıkları görmede kolaylık sağlayacaktır.

Bu bölümdeki yapılan uygulama, sırasıyla, şu adımlardan oluşmaktadır:

- Ele alınan düşünsel örneğe ait 0-1 makine-parça matrisinin kümelendirilmesi ve başlangıç çözümünün elde edilmesi..
- Kümelendirilen matrisin, ilgili hücrelerine operasyon sıra no.'larının ve parantez içinde alternatif makinelerin yazılarak, geliştirilmiş matrisin elde edilmesi.
- Geliştirilen Tek parça Akışı Algoritması kullanılarak başlangıç çözümündeki istisnai operasyonların yok edilmesi.
- Hücrelerdeki geriye dönüşsüz makine sıralamasının , çok ürünlü akış hatları tasarımı yoluyla elde edilmesi.
- Kümelendirme sonrası elde edilen sistem ile Tek Parça Akışı Algoritmeası sonrası elde edilen sistemin benzetim modellerinin kurularak, geliştirilen algoritmanın sistemin temin süresi performansına etkisinin incelenmesi.

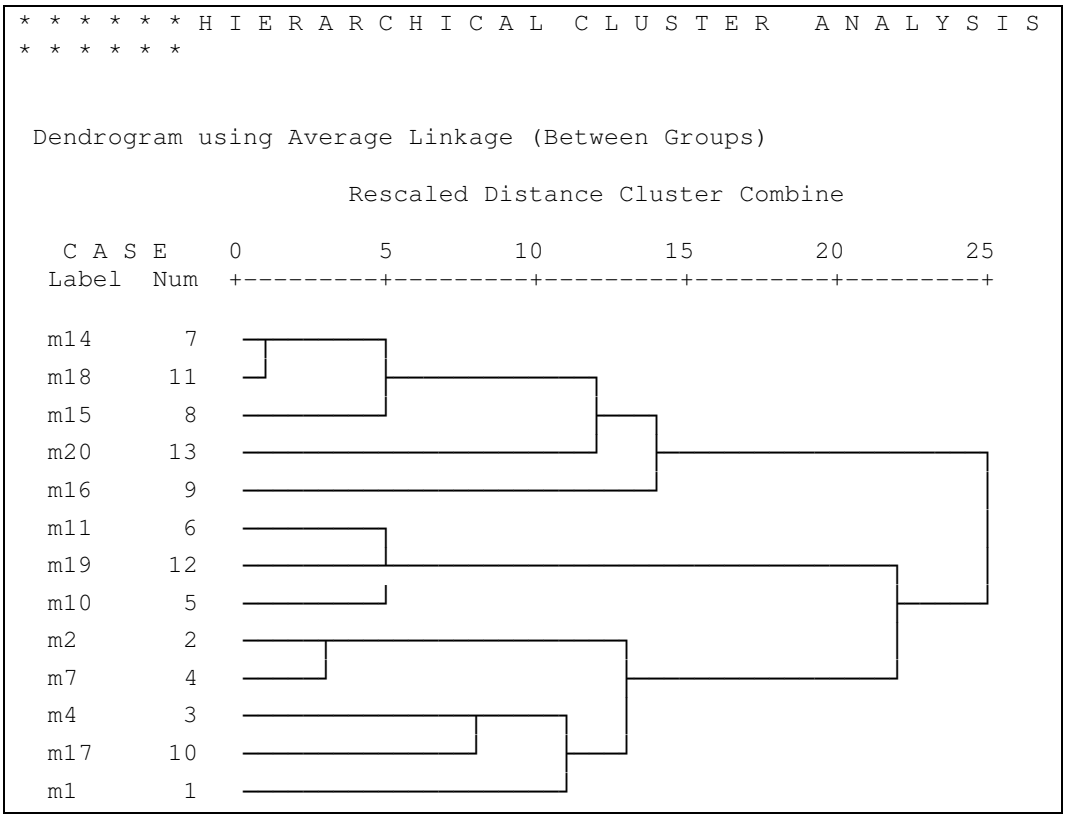
6.1 Kullanılan Kümelendirme Yöntemi

Melez ÜS'nin hücrelerini tasarlamak amacıyla düzenli ve yüksek talepli parçalar için oluşturulan makine-parça matrisine bir kümelendirme yöntemi uygulamak gerekmektedir. Bu amaçla Ortalama Bağlantı Yöntemi (Seifoddini, 1989) kullanılmıştır. Şekil 6.1'de kümelendirilecek 0-1 tipi karışık matris verilmiştir. SPSS yazılımı kullanılarak karışık matrise kümelendirme uygulanmıştır.

Şekil 6.2'de ise kümelendirme sonucu oluşan dendogram verilmiştir. Tasarımcı makineler arası benzerlik katsayısının eşik değerini belirleyerek kaç hücre kurulacağına karar verir. Burada üç hücre kurulmasına karar verilmiştir. Şekil 6.2'de m14-m1, örnekte kullanılan makine numaralarını göstermektedir. Buna göre 1. hücrede 14, 15, 16, 18, 20 no.'lu makineler; 2. hücrede 1, 2, 4, 7, 17 no.'lu makineler ve 3. hücrede 10, 11, 19 no.'lu makineler bulunmalıdır. Kümelendirme sonrası oluşan makine-parça matrisi Şekil 6.3'te görülmektedir.

		Parça No																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	22
Makine no	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	2	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	4	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	10	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	11	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0
	15	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
	16	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
	17	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0
	19	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	20	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0

Şekil 6.1. Düşünsel Örnek'e Ait Kümelendirilecek Matris



Şekil 6.2. Düşünsel Örnek'e Ait Kümelendirme Sonrası Dendogram

	3	11	18	7	15	16	14	2	4	8	13	22	10	17	6	5	20	19	9
18	1	1	1		1	1	1												
14	1	1	1		1	1	1												
15	1	1	1	1		1	1												
20	1	1	1	1	1									1			1		
16	1	1		1	1		1							1		1		1	
17						1			1	1			1						
7								1	1		1	1	1	1					
2								1	1			1	1	1					
1								1		1	1	1	1						1
4										1	1		1						
19				1											1	1	1	1	1
10															1	1	1		1
11															1	1		1	1

Şekil 6.3. Kümelendirme Sonrası Oluşan Makine-Parça Matrisi

6.2 Tek Parça Akışı Sezgiseli ve Örnek Üzerinde Uygulama

Bu bölümde 4. bölümde açıklanan Tek Parça Akışı Sezgisel algoritmasının bir örnek veri kümesi üzerindeki uygulaması açıklanacaktır. Yukarıda, seçilen kümelendirme yöntemi uygulanarak elde edilen başlangıç çözümü açıklanmıştır. Bu matriste görülen operasyonların sıraları belirlenip, ilgili hücrelere yazılmış olup; istisnai olan operasyonlar ve kendi hücresinde işlenebilen operasyonların bazıları için alternatif makineler parantez içerisinde belirtilerek Şekil 6.4'teki matris elde edilmiştir.

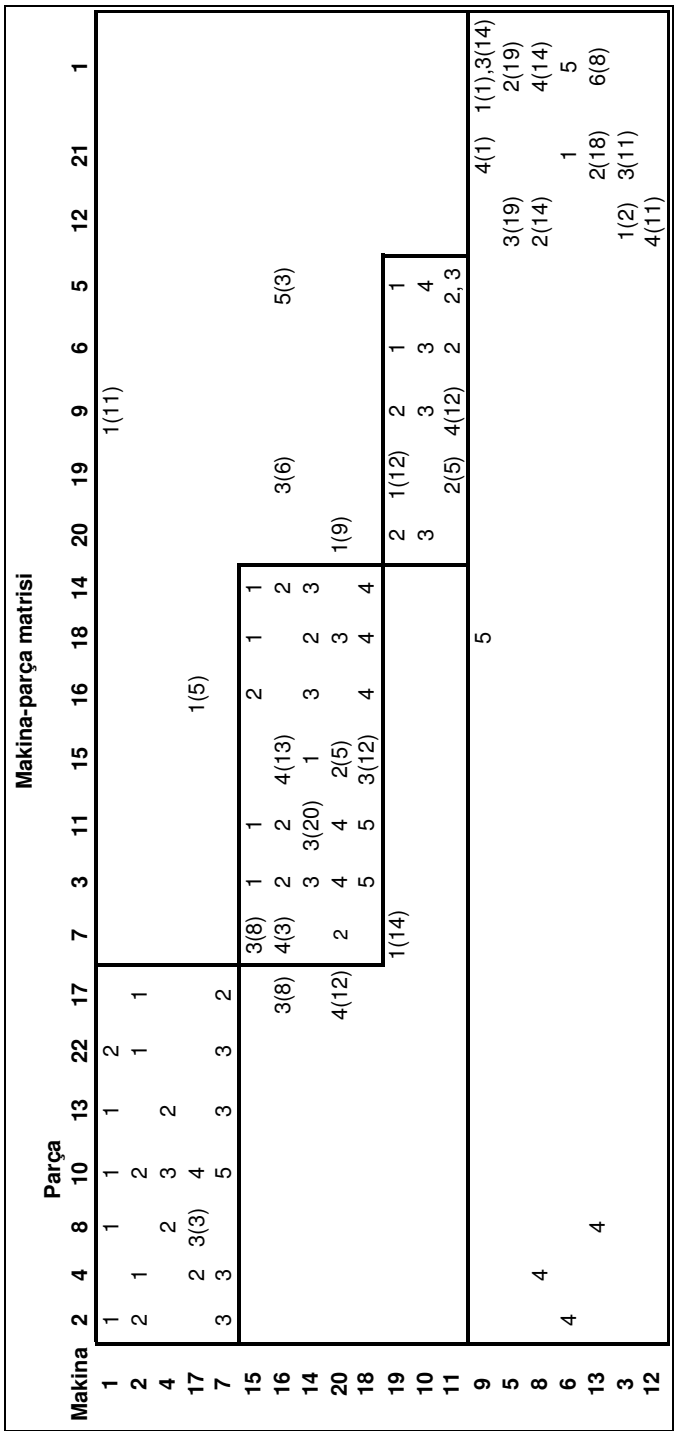
Şekilde görülen sistem üç adet hücre ve bir adet fonksiyonel alandan oluşmaktadır. Birinci hücrede 1, 2, 4, 7, ve 17 no.'lu makineler; ikinci hücrede 14, 15, 16, 18 ve 20 no.'lu makineler; üçüncü hücrede ise 10, 11 ve 19 no.'lu makineler bulunmaktadır. Fonksiyonel alanda ise 3, 5, 6, 8, 9, 12 ve 13 no.'lu makineler yer almaktadır.

1, 12 ve 21 no.'lu parçaların sadece fonksiyonel alanda üretildiği varsayılmıştır. Bu parçalar düşük ve düzensiz talepli parçalar olarak düşünülmüştür. 2, 4, 8 ve 18 no.'lu parçaların son operasyonları ise fonksiyonel alanda gerçekleştirilmelidir.

Kümelendirme yöntemi ile bulunan başlangıç çözümündeki akışı incelemek için Spagetti Diyagramı Şekil 6.5'te çizilmiştir. Diyagramda hücre içi ve hücreler arası gidiş-gelişler malzeme akışının ne kadar karmaşık olduğunu göstermektedir. Bu durumda, tek parça akışının sağlanması mümkün değildir.

Başlangıç çözümü sonucunda sekiz adet istisnai operasyon ortaya çıkmıştır. İstisnai operasyonları yok etmek amacıyla ilgili operasyonlar için alternatif makineler araştırılır ve FR251-DP251'de anlatıldığı şekilde bu operasyonlar öncelikle mümkünse ilgili parçanın ana hücresine, değilse fonksiyonel alandaki alternatife

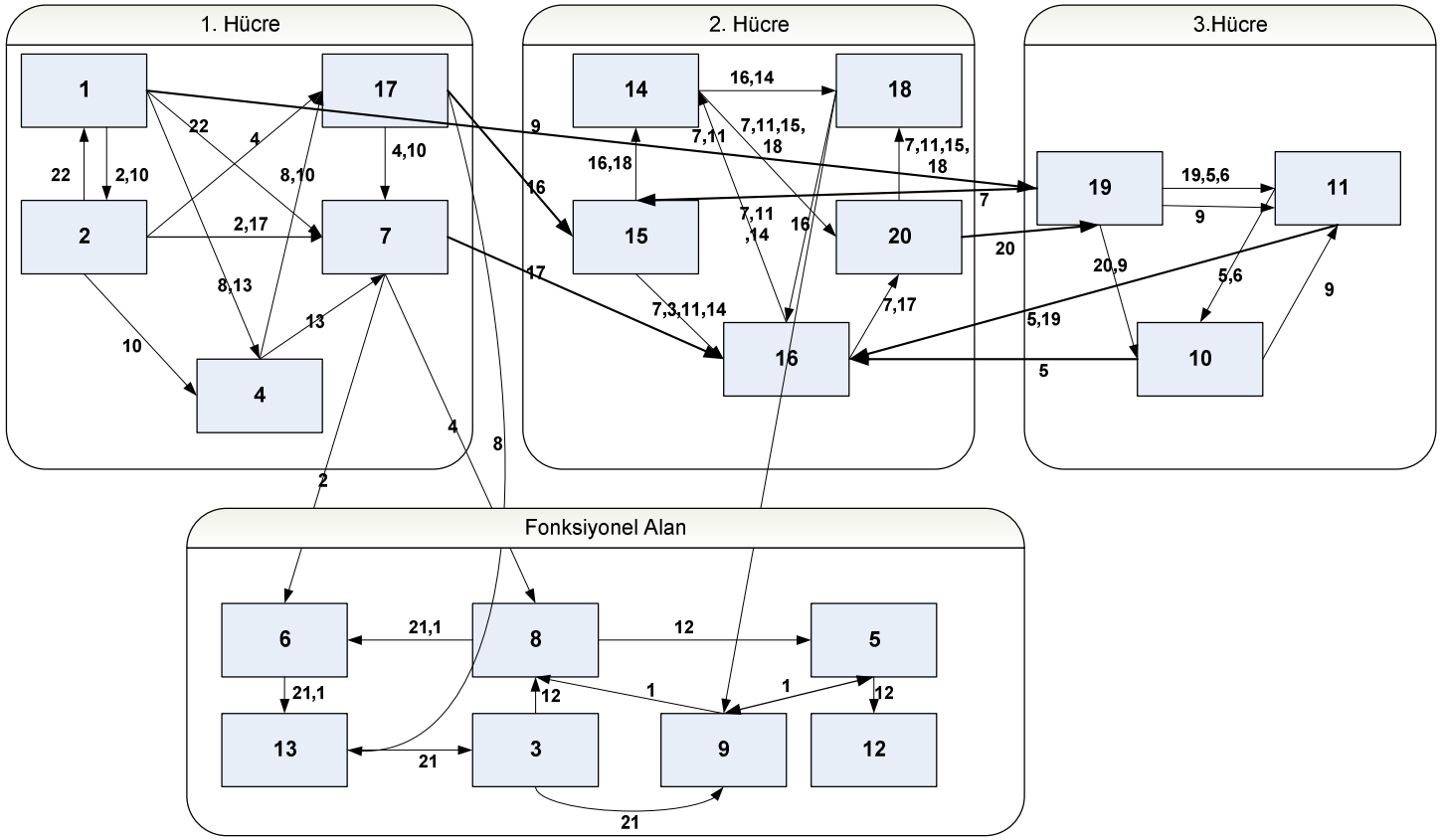
atama yolu ile yok edilmeye çalışılır Bu konu ile ilgili ayrıştırma, FR25-DP25'in ayrıştırıldığı Şekil 4.4'te açıklanmıştır.



Şekil. 6.4 Kümelendirme Sonrası Elde Edilen Başlangıç Çözümü

Başlangıç matrisine Tek Parça Akışı Sezgiseli uygulanarak bulunan bir ara sonuç Şekil 6.6'da görülmektedir.'X' ile işaretlenen hücreler, alternatif makineye atama yapılarak yok edilen istisnai operasyonları göstermektedir. Bu ara çözümde 5 adet

istisnai operasyon, mümkünse öncelikle ana hücredeki alternatif makineye, değilse fonksiyonel alandaki en uygun alternatife atama yoluyla yok edilmiştir. Bu matriste 7 no.'lu parçanın 1 no.'lu operasyonu, parçanın ana hücresinde bulunan 14 no.'lu alternatif makineye atanmış, böylece bir istisnai operasyon yok edilmiştir (Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25), 1. Seçim Kuralı (DP251)). 17 no.'lu parçanın son operasyonu fonksiyonel alandaki alternatife atanmış olup, parça 2.hücreden 1.hücreye atanınca istisnai operasyon sayısı bir azaltılmıştır (Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25), 3. Seçim Kuralı (DP253)). 19 no.'lu parçanın son operasyonu fonksiyonel alandaki 6 no.'lu makineye atanarak, istisna olmaktan kurtarılmıştır (Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25), 2. Seçim Kuralı (DP252)). Diğer 'X' işaretleri de benzer şekilde açıklanabilir.



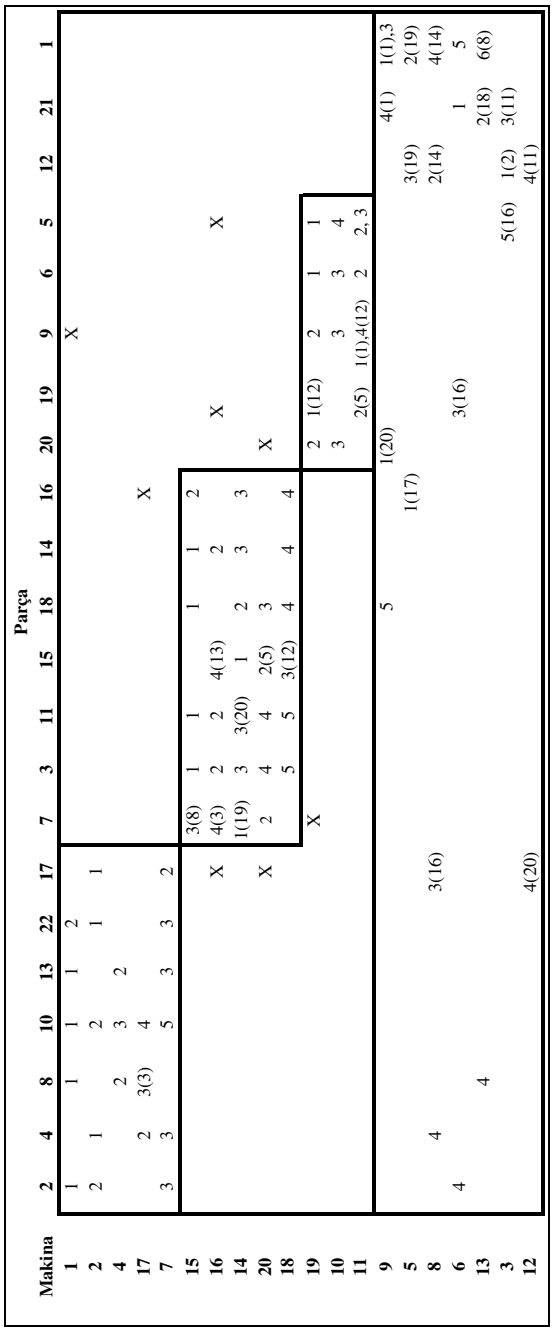
Şekil 6.5. Başlangıç Çözümünün Spagetti Şeması

Makina \ Parça	2	4	8	10	13	22	17	7	3	11	15	16	18	14	20	19	9	6	5	12	21	1
1	1		1	1	1	2											X					
2	2	1		2		1	1															
4			2	3	2																	
17		2	3(3)	4								1(5)										
7	3	3		5	3	3	2															
15								3(8)	1	1		2	1	1								
16							3(8)	4(3)	2	2	4(13)			2		X			X			
14								1(19)	3	3(20)	1	3	2	3								
20							X	2	4	4	2(5)		3		1(9)							
18									5	5	3(12)	4	4	4								
19								X							2	1(12)	2	1	1			
10															3		3	3	4			
11																2(5)	1(1),4(12)	2	2, 3			
9													5								4(1)	1(1),3
5																				3(19)		2(19)
8		4																		2(14)		4(14)
6	4															3(16)					1	5
13			4																		2(18)	6(8)
3																			5(16)	1(2)	3(11)	
12							4(20)													4(11)		

Şekil 6.6. Alınan Örnek için Bazı İstisnai Operasyonların Alternatif Makineler Atandığı Durum

Şekil 6.7'de tüm istisnai operasyonların yok edildiği gör ktedir. Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25)'da İstisna Operasyonların Yok Edilmesi (FR251) için yapılan ayrıştırmada anlatılan yöntem izlenerek bu istisnalar ortadan kaldırılmıştır.

Bu yönteme göre parçanın fonksiyonel alana yalnızca bir defa gitmesine veya tam tersi fonksiyonel alandan hücreye bir kez geçişe izin verilir. Yani, önce hücrede sonra fonksiyonel alanda işlenip, ardından tekrar hücreye gelmesine izin verilmez. Tam tersi duruma da engel olunmalıdır. Çünkü bu gibi durumlar hücrelerdeki akışı bozar; sistemin işletilmesini güçleştirir ve temin süresini arttırır.



Şekil 6.7. Alternatif Makinelere Yeniden Atama Sonucunda Elde Edilen Çözüm

6.3 Birinci Hücre için Çok Ürünlü Akış Hattı Yerleşim Algoritması

Aneke ve Carrie tarafından 1986 yılında yayınlanan çalışmada açıklanan algoritma bizim örnek sistemimize de uygun olduğundan, kullanılmıştır (Aneke ve Carrie, 1986). Bu yöntemin amacı parçaların hücrelerde TPA'na uygun, makinelere geri dönüş olmadan üretilebileceği makine sıralamasını bulmaktır.

Öncelikle birinci hücrede üretilecek parçaların her biri için izlenen makine rotası ve parçaların bağıl talepleri belirlenmelidir. Aşağıdaki Tablo 6.1'de bu bilgiler verilmiştir.

Tablo 6.1 Birinci Hücrede Üretilecek Parçaların Rotaları ve Bağıl Talepleri

Parça No	Makine Rotası	Bağıl Talep
2	1-2-7	12
4	2-17-7	14
8	1-4-17	44
10	1-2-4-17-7	11
13	1-4-7	5
22	2-1-7	7
17	2-7	20

Ardından hücrede bulunması gereken her makineye gelen toplam parça adedi (TT) ile her makineden çıkan toplam parça adedi (TF) *Dolaşım Şeması*'nda hesaplanır. Birinci hücre için bu şema Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2 Birinci Hücre için Dolaşım Şeması

	1	**2**	**4**	**17**	**7**	**TF**
1	X	23	49	0	7	79
2	7	X	11	14	32	64
4	0	0	X	55	5	60
17	0	0	0	X	25	25
7	0	0	0	0	X	0
TT	7	23	60	69	69	228

Dolaşım şemasındaki veriler algoritmanın ilk adımında kullanılır. Burada bulunan TT ve TF değerleri, dolaşım şemasının ilk aşamasında ilgili satırlara yazılır ve bu bilgiler ışığında hesaplamalara başlanır.

Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritmasının (Aneke ve Carrie, 1986) kuralları çerçevesinde birbirini takip eden adımlarda hattın bir başına bir sonuna tezgah yerleştirilir. Hat başına yerleştirilecek makine belirlenirken makinenin parçaların rotalarında ilk makine olmasına dikkat edilir. Bu aday makineler arasında en küçük TT'li makine seçilir. Algoritmada ayrıntılı olarak açıklanan biçimde, hat başına atanan makinenin TF değeri ve bu makinenin rotalarda ilk makine olduğu parçalarda bu makineyi takip eden makinenin TT değeri güncellenir. Hat sonuna makine atanırken ise makinenin rotalarda son sırada yer almasına dikkat edilerek, en küçük TF'li makine seçilir. Hat sonuna atanan makinenin TT değeri ve bu makinenin rotalarda son makine olduğu parçalarda bu makineyi takip eden makinenin TF değeri güncellenir. Kısaca açıklanan bu adımlar, birinci hücre için uygulandığında, Tablo 6.3'te elde edilmiştir.

Tablo 6.3 Birinci Hücre için Akış Hattı Türetme Tablosu

Tezgah	**1**	**2**	**4**	**17**	**7**	**Hat Başı**	**Hat Sonu**
TT	7	23	60	69	69	**1**	**-**
TF	79	64	60	25	0		
TT	7	0	11	69	69	**2**	**7**
TF	7	64	60	25	0		
TT	0	-	0	55	-	**4**	**17**
TF	7	-	60	0	-		
TT	0	-	-	-	-	**1**	**-**
TF	7	-	-	-	-		

Hattaki makine sırası: 1-2-4-1-17-7 olarak bulunmuştur.

Tablo 6.4'te her parçanın hat üzerinde uğradığı tezgâhlar görülmektedir. Üretim hattında (hücrede) *geri dönüş meydana gelmemekte*, yani parçalar *tek bir yönde* ilerlemektedir. Ulaşılmak istenen de budur. Tablo 6.4'te 1, 2, 3, 4, 5 operasyon sırasını göstermektedir.

Tablo 6.4 Birinci Hücre için Geriye Dönüşsüz Tasarımı

	Parçalar						
Makineler	**2**	**4**	**8**	**10**	**13**	**22**	**17**
1	**1**		**1**	**1**	**1**		
2	**2**	**1**		**2**		**1**	**1**
4			**2**	**3**	**2**		
1						**2**	
17		**2**		**4**			
7	**3**	**3**	**3**	**5**	**3**	**3**	**2**

6.4 İkinci Hücre için Çok Ürünlü Akış Hattı Yerleşim Algoritması

Birinci hücre için izlenen adımlar, ikinci hücre için de gerçekleştirilmelidir. Bu hücrede üretilecek parçaların her biri için izlenen makine rotası ve parçaların bağıl talepleri belirlenmelidir. Tablo 6.5'te bu bilgiler verilmiştir.

Tablo 6.5 İkinci Hücrede Üretilecek Parçaların Rotaları ve Bağıl Talepleri

Parça No	**Makine Rotası**	**Bağıl Talep**
7	14-20-15-16	8
3	15-16-14-20-18	50
11	15-16-14-20-18	21
15	14-20-18-16	12
16	15-14-18	24
18	15-14-20-18	22
14	15-16-14-18	14

Tablo 6.5'teki bilgilere dayanarak her makineye gelen ve makineden çıkan toplam parça sayısı Tablo 6.6'da hesaplanmıştır. Dolaşım şemasındaki TT ve TF değerleri Tablo 6.7'nin ilk iki satırına yazılmıştır. Gerekli hesaplamalar yukarıda açıklandığı biçimde yapılarak Tablo 6.7'ye yazılmıştır.

Tablo 6.6 İkinci Hücre için Dolaşım Şeması

	14	**15**	**16**	**18**	**20**	**TF**
14	X	0	0	38	113	151
15	46	X	93	0	0	139
16	85	0	X	0	0	85
18	0	0	12	X	0	12
20	0	8	0	105	X	113
TT	131	8	105	143	113	500

Tablo 6.7 İkinci Hücre için Akış Türetme Tablosu

Tezgâh	**14**	**15**	**16**	**18**	**20**	**Hat Başı**	**Hat Sonu**
TT	131	8	105	143	113	**15**	**-**
TF	151	139	85	12	113		
TT	85	8	20	143	113	**-**	**18**
TF	151	8	85	12	113		
TT	85	8	20	12	113	**16**	**-**
TF	113	8	85	12	20		
TT	0	8	20	12	113	**14**	**16**
TF	113	8	0	12	20		
TT	-	8	-	12	0	**20**	**18**
TF	-	0	-	0	20		
TT	-	0	-	-	-	**15**	**-**
TF	-	0	-	-	-		

Sezgisel algoritma yardımıyla bulunan tezgah sırası: 15-16-14-20-15-18-16-18'dır.

Ancak hat sonundaki 18 no.'lu makineye parça uğramadığı görülmüştür. Bu nedenle uygulanması gereken makine yerleşim sırası şu şekildedir:
15-16-14-20-15-18-16.

Tablo 6.8'deki hattın yerleşim sırasına göre dizilmiş makineler, her makineye uğrayan parçalar ve bunların operasyon sıraları görülmektedir. Hat üzerinde herhangi bir geri dönüş meydana gelmemektedir.

Tablo 6.8 İkinci Hücre için Geriye Dönüşsüz Tasarım

	Parçalar						
Makineler	**7**	**3**	**11**	**15**	**16**	**18**	**14**
15		**1**	**1**		**1**	**1**	**1**
16		**2**	**2**				**2**
14	**1**	**3**	**3**	**1**	**2**	**2**	**3**
20	**2**	**4**	**4**	**2**		**3**	
15	**3**						
18		**5**	**5**	**3**	**3**	**4**	**4**
16	**4**			**4**			

6.5 Üçüncü Hücre için Çok Ürünlü Akış Hattı Yerleşim Algoritması

Bu hücrede üretilecek parçaların her biri için izlenen makine rotası ve parçaların bağıl talepleri Tablo 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6.9 Üçüncü Hücrede Üretilecek Parçaların Rotaları ve Bağıl Talepleri

Parça No	Makine Rotası	Bağıl Talep
20	19-10	18
19	19-11	10
9	11-19-10-11	17
6	19-11-10	5
5	19-11-10	7

Hücrede yer alan makineler arası parça dolaşımına ait şema Tablo 6.10'da görülmektedir. Burada her parça için hesaplanan TT ve TF değerleri Tablo 6.11'deki akış türetme tablosuna yazılmıştır.

Tablo 6.10 Üçüncü Hücre için Dolaşım Şeması

	14	**10**	**11**	**TF**
19	X	35	22	57
10	0	X	17	17
11	17	12	X	29
TT	17	47	39	103

Akış türetme tablosundaki hesaplamalarda daha önce açıklanan adımlar izlenmiştir.

Tablo 6.11 Üçüncü Hücre için Akış Türetme Tablosu

Tezgah	14	15	16	Hat Başı	Hat Sonu
TT	17	47	39	**19**	**-**
TF	57	17	29		
TT	17	29	17	**-**	**10**
TF	17	17	29		
TT	17	-1	17	**11**	**-**
TF	17	17	17		
TT	0	-1	17	**-**	**11**
TF	17	17	-12		
TT	0	-1	-	**19**	**10**
TF	17	0	-		

Elde edilen tezgah yerleşim sırası 19-11-19-10-11-10'dur. Ancak son tezgah olan 10 no.'lu tezgaha parça uğramadığından bu tezgah, hattan çıkarılmıştır. Bu hücredeki tezgah sırası: *19–11-19-10-11* olarak bulunmuştur.

Tablo 6.12'de yerleşim sırasına göre dizilmiş tezgâhlar ve bu tezgâhlarda işlenen parçalar ile operasyon sıraları gösterilmiştir. Elde edilen bu yerleşim sırasının uygun olduğu ve hat üzerinde geri dönüş meydana gelmediği doğrulanmıştır.

Tablo 6.12 Üçüncü Hücre için Geriye Dönüşsüz Tasarım

	Parçalar				
Makineler	**20**	**19**	**9**	**6**	**5**
19	**1**	**1**		**1**	**1**
11		**2**	**1**	**2**	**2**
19			**2**		
10	**2**		**3**	**3**	**3**
11			**4**		

Ele alınan örnekteki istisnai elemanlar yok edilip, imalat hücreleri yukarıda açıklandığı gibi tek parça akışına uygun biçimde tasarlandıktan sonra ortaya çıkan üretim sisteminin Spagetti Diyagramı Şekil 6.8'de çizilmiştir. Parçalar, hücrelerde tek yönde akmakta, bu da hücrelerde tek parça akışını kolaylaştırmaktadır. İstisnai

operasyonları yok etmek amacıyla mümkünse öncelikle ilgili parçanın ana hücresindeki alternatif makineye, değilse ikinci öncelikle fonksiyonel alandaki alternatiflere yeniden atamalar yapılmıştır.

Fonksiyonel alandaki makinelere yeniden atamalar sırasında istisnai operasyonun ilgili parçanın ilk veya son operasyonu olmasına dikkat edilir. Bu sayede fonksiyonel alanda (hücrede) üretilmeye başlanan parça hücrede (fonksiyonel alanda) tamamlanabilir. Hücre ile fonksiyonel alan arasında birden fazla hareket gerçekleşmez. Eğer istisnai operasyon ilk veya son operasyon değilse, bundan sonraki operasyonların da fonksiyonel alandaki uygun alternatiflere atanması gerekir. Bunlar, 2.Seçim Kuralı'nda açıklanmıştır.

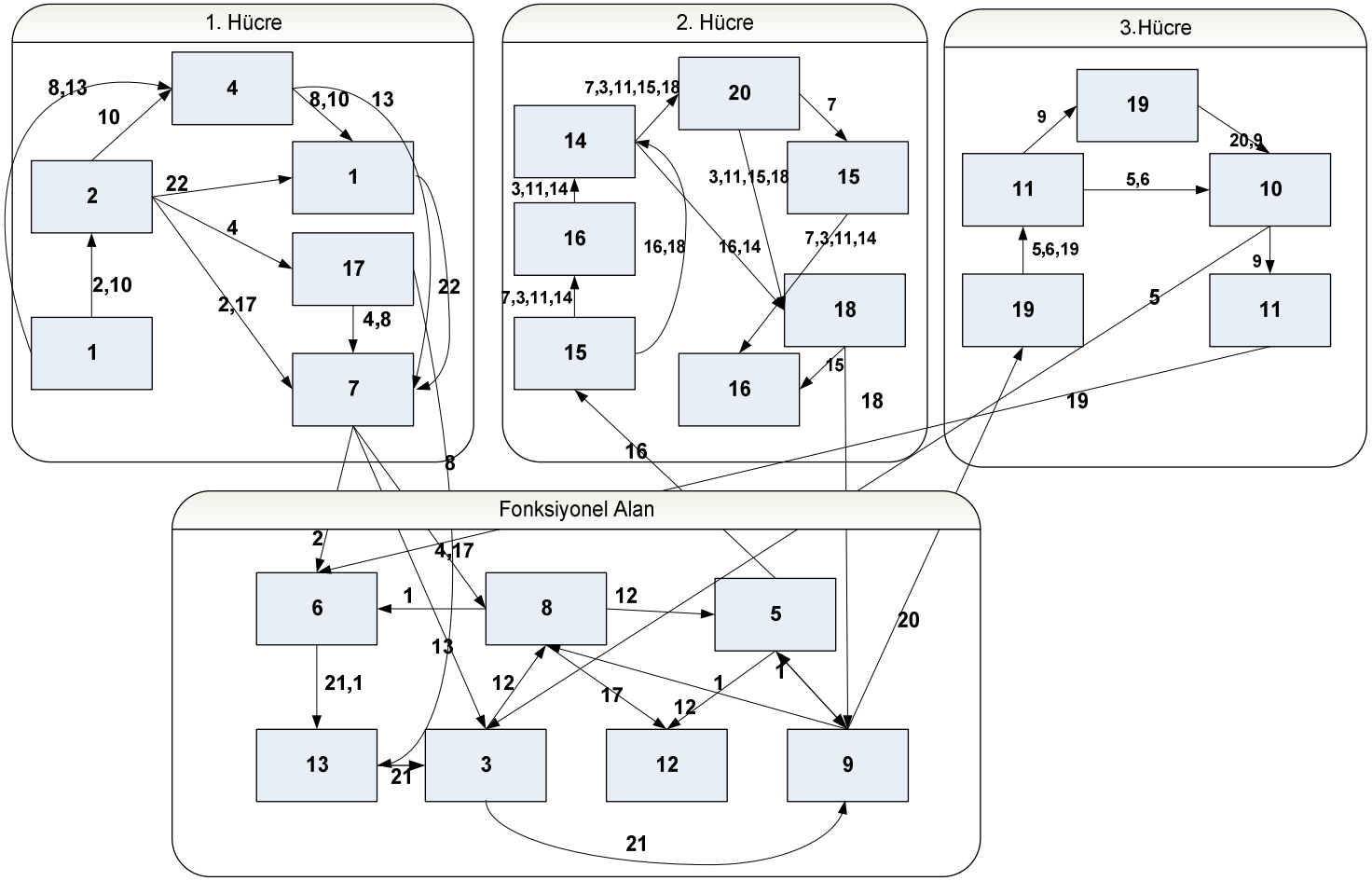
Şekil 6.8'deki spagetti diyagramına bakılırsa, fonksiyonel alandaki alternatiflere atamalar nedeniyle buradaki akış, başlangıç çözümündekine kıyasla biraz daha karmaşık hale gelmiştir. Ancak hücreler arası hareketler ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca hücre içi akış tek yönlüdür. Bunlar, TPA'nın uygulanmasını sağlamaktadır.

Şekil 6.9, Şekil 6.8'deki diyagramın daha basitleştirilmiş halidir. Hücrelerdeki akışın tek yönde olduğu ve bazı parçaların fonksiyonel alana da uğrayarak sistemi terk ettiği Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

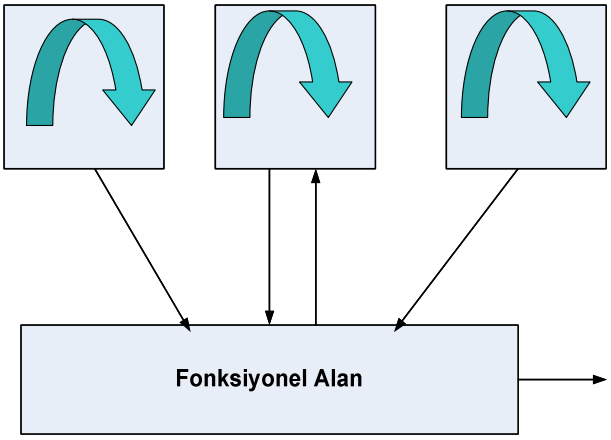
6.6 Normal Dağılan İşlem Süreleri

Hücreler tek parça akışına uygun biçimde tasarlandıktan sonra benzetim modelleri kurularak, mevcut kapasitenin yeterliliği incelenecektir (FR26-DP26). Bu nedenle modellerde kullanılacak işlem süreleri normal dağılıma uygun olarak türetilmiştir. İşlem sürelerinin ortalaması 10 dakika, standart sapması ise 4 dakika olarak kabul edilmiştir. Negatif değerler budanmıştır.

Normal sayı türetmek için (Sayı= $\mu + \Delta^*\sigma$) eşitliği kullanılmıştır. Burada μ dağılımın ortalaması, σ standart sapma, Δ ise tablodan bakılarak bulunan katsayıdır. Bu normal sayılar, (-) veya (+) katsayıların tabloda soldan sağa veya yukarıdan aşağıya sırayla okunması ile hesaplanır. Yani, katsayılar rastgele seçilmez. Tablo 6.13'te, türetilen normal dağılmış işlem süreleri yazılmıştır.



Şekil 6.8. Alternatiflere Atamalar ve Akış Hattı Tasarımından Sonraki Spagetti Şeması



Şekil 6.9 Algoritma Uygulandıktan Sonra Örnek Sistemdeki Akış

Tablo 6.13 Normal Dağılmış İşlem Süreleri Tablosu

14,4	**5,1**	**4,656**	**5,428**
10,6	**7,7**	**5,32**	**9,772**
19,5	**11,1**	**7,404**	**11,69**
9,4	**6,2**	**11,92**	**4,172**
10,4	**15,0**	**18,23**	**12,31**
15,7	**6,3**	**13,42**	**9,132**
10,3	**10,5**	**12,23**	**14,26**
13,2	**9,4**	**13,92**	**5,052**
8,4	**12,2**	**6,252**	**10,42**
6,5	**10,1**	**11,86**	**9,3**
10,5	**10,1**	**2,584**	**10,1**
5,6	**9,2**	**8,668**	**8,596**
19,2	**10,5**	**16,44**	**3,344**
6,2	**10,1**	**6,96**	
6,9	**15,6**	**7,624**	
11,9	**10,7**	**8,0**	
8,8	**4,2**	**4,908**	
17,3	**17,07**	**7,768**	
11,0	**10,4**	**16,18**	
10,6	**13,8**	**12,24**	
5,7	**6,224**	**10,96**	
14,3	**5,52**	**5,82**	
12,5	**15,41**	**5,356**	
10,7	**11,86**	**2,868**	
8,0	**12,93**	**8,012**	
11,4	**2,588**	**10,15**	
13,1	**8,356**	**9,344**	
13,3	**11,95**	**21,24**	

6.7 Örnek Sistemin Benzetim Modelleri

Örnek sistem için tek parça akışına uygun olarak tasarlanan hücrelerin ve fonksiyonel alanın kapasitesinin yeterliliği ve bunların temin süreleri, kurulan

benzetim modelleri ile incelenmiştir. Ayrıca iki sistemin temin süreleri karşılaştırılarak kısmi TPA'nın sistemin performansında anlamlı bir fark oluşturup oluşturmadığı sorgulanmıştır.

Örnek sistem için iki farklı model kurulmuştur. Bunlardan birincisi Kümelendirme Sonrası Sistem, diğeri ise Tek Parça Akışı Sonrası Sistem'dir.

6.7.1 Kümelendirme Sonrası Model

Kümelendirme Sonrası Sistem'de tek parça akışı yoktur. Parçalar tüm sistemde partiler halinde akar. Ayrıca istisna operasyonlar da bulunmaktadır. Hücre içerisinde parçalar tek yönlü akmaz. Örneğin ikinci hücredeki 7 no.'lu parça, hücredeki diğer parçaların akışının tam tersi yönde ilerlemektedir. Bu da hücre içerisindeki akışı bozar ve temin süresini uzatır. Ayrıca partiler halinde akış ve hücreler arası hareketler de sistemin temin süresini olumsuz etkiler.

İlk önce Kümelendirme Sonrası Sistem için benzetim modeli kurulmuştur.

6.7.1.1 İş Parçalarının Sisteme Gelişi

Parçalar "Create" modülünde türetilir. Tablo 6.14'te hücrelere ve fonksiyonel alana parçaların gelişleri arasındaki süreler ile ilgili bilgiler özetlenmiştir. Hücrelerde gelişler arası sürenin ortalaması 650 dakika olup, üstel dağılıma uygundur. Her gelişte 50 adet parça sisteme ulaşmaktadır. Ardından "Batch" modülünde parti büyüklüğü kadar parça biriktirilip, parti haline getirilir. "Batch" modülünde geçici yani "Temporary" seçeneği işaretlenir. Çünkü sürekli (permanent) parti çözüldüğünde partideki gezici nesnelere ait istatistikler kaybedilmektedir. Bu da bizim modelimiz için hatalı sonuçlar doğurur.

Tablo 6.14 Kümelendirme Sonrası Sisteme Ait Gelişler Arası Süre Bilgileri

	Ortalama Gelişler Arası Süre	**Dağılım**	**Gelen Parça Sayısı**
1.Hücre, 2.Hücre, 3.Hücre	650	Üstel	50
Fonksiyonel Alan	700	Üstel	50

Daha sonra "Assign" modülünde, partideki nesnelerin sisteme giriş zamanı kaydedilir ve parça türü özellikleri atanır. Parça türü özelliği kesikli bir olasılık dağılımı tanımlanarak nesnelere atanır. Parça olasılıkları, parçaların taleplerinin toplam talebe oranlanması ile elde edilmiştir.

Bu işlemlerden sonra bir karar modülü yardımıyla parçaların türlerine göre sistem dallara ayrılır. Her bir dalda birer "Assign" modülü bulunup, burada parçanın türüne göre işlem süreleri ve parça rotaları atanır. Yalnız parça rotalarının atanması işlemi, sistemdeki tüm istasyonların model içerisinde kurulması ve rotaların bu istasyonlar cinsinden tanımlanması sonrasında gerçekleştirilmelidir. Çünkü rota tanımlama işleminde yanlış istasyon ismi tanımlamadan kaynaklanan hatalar meydana gelebilir.

Assign modüllerinden sonra hücreye giriş istasyonu "Station" modülü eklenerek oluşturulur. Parçaların sistemde, rotalara bağlı olarak ilerleyebilmesi için "Station" modülünün ardından bir "Route" modülü eklenmiştir. Bu modüldeki "destination type" adlı kısımda sıraya bağlı, yani "by sequence" seçeneği seçilir.

Bu modelde parçalar partiler halinde akmaktadır. Parti büyüklüğü 50 olarak kabul edilmiştir. Bu parametre, bir değişken olarak tanımlanmıştır. Ayrıca her makineye farklı parça gelmesi durumunda bir makine hazırlığı yapıldığı kabul edilmiştir. Gerçek hayattaki uygulama da böyledir.

6.7.1.2 Sistemdeki Makinelere Ait Modüller

Bu aşamalardan sonra sistemde çalışacak makinelere ait modüller eklenmelidir. Öncelikle her makine için bir istasyon modülü ve bir de "Process" modülü eklenmiştir.

"Process" modülünde makinenin çalışma mantığı "Logic" adlı kısımda belirlenir. Bu kısımda "Delay-Release" seçeneği seçilmiştir. Yani makineye ait kaynak, başta "Seize" modülünde tutulacağından ve meşgul olduğundan makineye işlem süresi kadar bir gecikme verilip, sonrasında serbest bırakılır. "Seize" modülü ve hazırlık modülü aşağıda açıklanacaktır.

Bu proses modülünde, "Resources" kısmında "Add" tuşu kullanılarak makineye ait kaynak eklenmeli ve adı tanımlanmalıdır. "Delay type" kısmında ise işlem süresi tanımlanır. Bizim modelimize makine işlem süreleri normal dağılıma uygun ve dakika cinsinden kabul edilmiştir. "Allocation" adlı kısımda bu sürenin katma değerli olup olmadığı da tanımlanabilir. Bu sayede parça üzerinde yapılan katma değerli ve katma değeri olmayan işlem sürelerine ait istatistikler tutulabilir. Bu modüldeki işlem katma değerli bir işlemdir. İşlem süresinin ortalaması, her nesneye modelin en başında tanımlanan işlem süresi ile parti büyüklüğünün çarpımı ile elde edilmiştir. Örneğin 14 no.'lu makinenin ortalama işlem süresi (parti*süre14) şeklinde

tanımlanmıştır. Standart sapmanın ise ortalamanın %5'ine eşit olduğu varsayılmıştır. Süre14, parçaya assign modülünde tanımlanan işlem süresidir.

Yukarıda belirtilen hazırlık işleminin yapılıp yapılmayacağına karar verebilmek amacıyla makineye gelen ve makineden en son çıkan parçanın türü birer "Assign" modülü eklenerek bir değişkene kaydedilir. Makineye gelen parçanın türünü kaydeden "assign" modülü "Station" modülünün arkasına bağlanır. Sözü geçen diğer "assign" modülü ise "Process" makinenin modülünün hemen ardında yer almalıdır.

Makineye gelen parçanın türü kaydedildikten hemen sonra bir "Seize" modülü ile makine kaynağı tutulur. Çünkü makine ya hazırlık işlemi görecek ya da gelen parçayı işlemeye başlayacaktır. "Seize" modülünden sonra makineye gelen ve makineden en son çıkan parça türleri bir karar (Decide) modülünde karşılaştırılır. Bunlar aynı ise bu modülün "True" adı verilen kolu, "Process" modülüne bağlanır ve makine hazırlık işlemine gerek duyulmaksızın parçaları işemeye devam eder. Aksi halde "False" adlı kol, oluşturulan bir "Process" modülüne bağlanarak hazırlık işlemi gerçekleştirilir. Hazırlık sürelerinin, ortalaması 10 dakika ve standart sapması 1 dakika olan normal dağılıma göre dağıldığı varsayılmıştır. Bu süreler, "Process" modülünde katma değeri olmayan süreler olarak tanımlanmıştır. Hazırlık işleminin yapıldığı "Process" modülü, makinenin işleminin gerçekleştirdiği "process" modülüne bağlanır.

Makine işleminin yapıldığı modülün ardında daha önce de belirtildiği gibi "Assign" modülü yer almaktadır. Son olarak da bir "Route" modülü eklenmiştir. Burada da parçaların sıraya bağlı ilerlemesi sağlanmıştır.

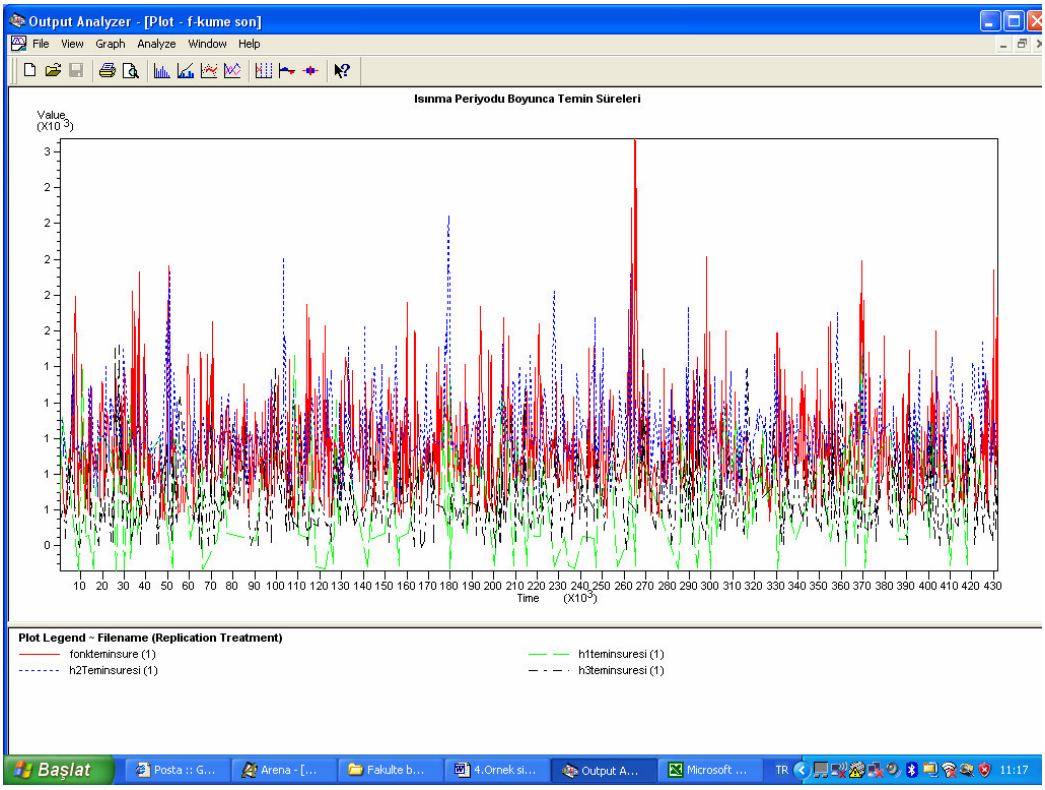
Hücrelerdeki ve fonksiyonel alandaki her makine için yukarıda açılanan adımlar izlenerek, gerekli modüller sisteme kurulur.

Sonrasında her hücre ve fonksiyonel alan için parçaların çıkış yaptığı istasyon tanımlanmalıdır. Parçalar sistemden çıkmadan önce sistemde harcadıkları süre yani temin süreleri hesaplanmalıdır. Bu amaçla bir Record modülü eklenir ve türü "Time Interval" olarak seçilir. "Attribute name" adlı kısımda ise parçanın sisteme giriş zamanını kaydeden özelliğin adı tanımlanır. Sisteme giriş zamanı ile "Record" modülüne geliş zamanı arasında geçen süre parçanın temin süresini vermektedir. Bu süreye her hücre için bir ad verilir ve "Record" modülündeki "Tally Name" kısmına yazılır.

Daha sonra başlangıçta oluşturulan partiler “Seperate” modülü kullanılarak çözülür. Burada tür olarak “Split Existing Batches” yani “mevcut partileri çöz” seçeneği; “member attributes” kısmına ise “Take All Representative Values” yani “parçaları temsil eden değerleri alan” seçenek seçilmelidir. Bahsedilen ikinci seçenek işaretlenmezse, parçanın sisteme ilk giriş anındaki özellikleri dikkate alınır ve parçalara sonradan atanan özelliklere ait değerler göz önüne alınmaz. Bu da yanıltıcı sonuçlar verebilir.

Kümelendirme sonrası model, yukarıda açıklandığı şekilde kurulduktan sonra benzetim koşumları için gereken parametreler tanımlanmalıdır. Öncelikle ısınma süresi (periyodu) tanımlanmalıdır. Bu sürenin, söz konusu sistemin denge haline ulaştığından emin olmak amacıyla tanımlanması gerekir. Bu nedenle ısınma süresi sıfır, koşum süresi 300 gün kabul edilerek kurulan üç hücre ve fonksiyonel alan için temin süreleri birer dat dosyasına kaydedilmiştir. Arena yazılımının “Advanced Process” panelindeki “Statistics” kısmında, her temin süresi için söz konusu dosyaların isimleri ve sabit disk üzerindeki adresleri tanımlanmıştır. Koşum yapıldıktan sonra bu dosyalara kaydedilen veriler, Arena ayrı bir yazılım olan “Output Analyzer” ile incelenmiş olup, temin sürelerinin grafiği aşağıda çizilmiştir. Grafikte temel alınan zaman birimi dakikadır. Şekil 6.10’da görüldüğü gibi sistem çok kısa sürede kararlı hale geçmektedir. Temin süreleri sürekli artmamakta veya azalmamaktadır ve bu yüzden sistemin kararlı bir davranış sergilediği anlaşılmaktadır. O halde 30 gün uzunluğundaki ısınma süresi yeterlidir. Aşağıdaki şekilde zaman birimi dakika olup, 300 gün için birinci sistemin davranışı çizilmiştir.

Koşum uzunluğu ise 1200 gün, bir gün 24 saat kabul edilmiştir. 10 defa koşum yapılmıştır. Eğer koşum uzunluğu yeterli değilse koşum sonucu oluşturulan raporda veri kümelerinin birbirine bağımlı olduğu “correlated” şeklinde; verilerin yetersiz olduğu ise “insufficient” şeklinde belirtilir. Bu gibi durumları ortadan kaldırmak için koşum uzunluğunu veya koşum sayısını arttırmak gereklidir. Önceki denemelerde çok uzun süreli tek bir koşum yapmak istenmiştir. Ancak, örneğin 4000 günlük tek bir koşum yapılmasına rağmen, temin süresi istatistiklerinin korelasyonlu çıkması yüzünden bu yöntemden vazgeçilmiştir. Bizim modelimizin koşumları sonucunda toplanması istenen tüm istatistikler toplanabilmiştir. Bu nedenle 1200 gün uzunluğundaki on koşum yeterli olmuştur.



Şekil 6.10 Kümelendirme Sonrası Sistemin 300 Gün için Temin Süresi Grafiği

6.7.1.3 Kümelendirme Sonrası Durum için Benzetim Sonuçları

Koşum sonucu sistemden 507.470 adet parça çıkmıştır. Bulunmak istenen temel performans ölçütleri, hücrelerin ve fonksiyonel alanın temin süreleridir. Bunlara ait ortalama, güven aralığı genişliği, en küçük ve en büyük değerler Tablo 6.15'te toplanmıştır.

Tablo 6.15 Örnek Kümelendirme Sonrası Sistemin Benzetim Modelinin Temin Süresi Sonuçları

Parça Rotaları	Ortalama (dk.)	Güven Aralığı Uzunluğu	En Küçük Değer	En Büyük Değer	Ortalama En Küçük	Ortalama En Büyük
Sadece Fonksiyonel Alanla İlişkili Olanlar	1042,72	12,05	524,75	4483,63	1019,02	1069,34
1. Hücre ile İlişkili Olanlar	836,80	5,07	234,66	2128,96	825,72	846,98
2. Hücre ile İlişkili Olanlar	1161,68	4,92	809,57	2968,53	1152,46	1173,10
3. Hücre ile İlişkili Olanlar	730,90	4,34	356,13	2344,42	721,43	740,10

Tablo 6.15'te 2. hücrenin ve fonksiyonel alanın temin sürelerinin yaklaşık 17 saat olduğu görülmektedir. Sisteme parçalar 650 dakikada yani yaklaşık 11 saatte bir 50'şer parçalık partiler halinde gelmektedir. Ancak parçalar, belirtilen bu iki alt

sistemde gelişler arası süreden daha uzun bir süre zaman harcamaktadır. Yani parçalar sistemde birikmekte ve süreç içi stoklar koşum süresi uzadıkça artmaktadır.

1. ve 3. hücrelerde ise durum farklıdır. Sisteme gelen bir parça grubu, yeni bir partinin gelişinden kısa bir süre sonra sistemi terk edebilmektedir. Bu yüzden süreç içi stoklar diğer iki alt sistem kadar yüksek olmayacaktır.

Kümelendirme sonrası sistemde tek parça akışı söz konusu değildir. Ayrıca sistemde, hücreler arası hareketler de meydana gelmektedir. Yukarıda açıklanan performans düşüşü hücreler arası gidiş-gelişe yol açan istisna operasyonların yok edilmesi ve sistemde kısmî tek parça akışının sağlanması sayesinde giderilir. İkinci modelde, tezde önerilen "Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım" sistematiği uygulanarak alt sistemlerin performansları iyileştirilecektir.

6.7.2 Tek Parça Akışı Sonrası Model

Tek parça akışı sonrası model, sistemde kısmi tek parça akışının gerçekleştiği bir yapıdır. Diğer bir deyişle, hücreler içerisinde parçalar teker teker hareket etmektedir. Bunun için hücreler arası harekete yol açan istisnai operasyonlar, alternatif makinelere yeniden atama yolu ile yok edilmelidir. Buna dair sistematik AD ayrıştırması FR251-DP251 ile ilgili açıklamalarda ve yukarıdaki tablolarda anlatılmıştır. Örnek sistemdeki tüm istisnalar ortadan kaldırılmıştır. Bu sayede hücreler arası hareket gerçekleşmemektedir.

Ayrıca parçaların hücrelerde tek yönde akması, çok ürünlü akış hatlarının tasarımı (FR252, DP252) ile sağlanmaktadır. Bununla ilgili hesaplamalar da yukarıda açıklanmıştır. Bu amaçla hücrelere makineler eklenmiştir.

Tüm bu iyileştirmelerden sonra, örnek sistemin performansı, benzetim modeli kurularak incelenmiştir. Ayrıca hâlâ darboğaz makineler olup olmadığı da kontrol edilmiş olacaktır.

6.7.2.1 Tek Parça Akışı Sonrası Modelin Kümelendirme Sonrası Modelden Farkları

Tek parça akışı sonrası modelde, bir önceki modeldeki birinci hücreye 1 no.'lu makineden bir tane, 2. hücreye 15 ve 16 no.'lu makinelerden birer adet, 3. hücreye ise 19 ve 11 no.'lu makinelerden birer tane daha eklenmiştir. Bu makinelerin eklenmesi sayesinde parçaların hücreler arası hareketleri engellenmiştir. Parçaların

rotalarında istisnai operasyonların alternatif makinelere atanması nedeniyle çeşitli değişiklikler yapılmıştır.

Rotalarda meydana gelen değişiklikler, işlem süresi tanımlamalarında da düzenlemeleri gerektirmiştir. Bir önceki sistemde parçanın işlendiği makinedeki işlem sürelerinin alternatif makinede de geçerli olduğu varsayılmıştır. Yalnızca işlem süresi isimleri değiştirilmiştir.

Ayrıca hücreden çıkan işler fonksiyonel alanda da işenecekse parti haline getirilir ve daha sonra fonksiyonel alana gönderilir. Aradaki mesafe tek parça akışını engeller.

Diğer fark ise hücrelerdeki makinelerde makine hazırlığı yerine hücre hazırlığı işlemi yapılmasıdır. Hücre hazırlığı sırasında hücredeki tüm makineler aynı anda hazırlık işleminden geçer.

Bu modelin diğer modelden önemli farklılıklardan biri de hücreye giren bir parti hücreden çıkmadan yeni bir partinin girişine izin verilmemesidir. Aksi halde hücrede çeşitli türlerde parçalar bağımsız halde dolaşarak, karmaşaya neden olur. Ayrıca makinelerin de yeni bir tür parçayı işlemesi için hücre hazırlığından geçmesi gerektiğinden farklı parça türlerinin aynı anda hücredeki makinelerde işlenmesi doğru değildir.

Şekil 6.7'de kaydırılan operasyonların eski konumları "X" ile gösterilmiştir. Operasyonun atandığı yeni kutucukta operasyon sırasının yanında parantez içinde eski makine numarası da belirtilmiştir. Buradan operasyonun eskiden hangi makinede işlendiği anlaşılabilir.

Ayrıca hücrelere eklenen makine numaraları, makine sayıları ve bu makinelere yeniden atanan parçalar ve operasyon numaraları Tablo 6.16'da özetlenmiştir.

Tablo 6.16 Çok Ürünlü Akış Hatlarının Tasarımı Sonucunda Hücrelere Eklenen Makine Sayıları

Hücre	Eklenen Makine Numarası	Eklenen Makine Numarası ve Sayısı (Sırasıyla)	Eklenen Makinelere Atanan Parçalar ve Operasyon Numaraları (Sırayla)
1	1	1	22 no.'lu parça, 2.operasyon
2	15, 16	1;1	7. parça 3.operasyon; 7. parça 4. operasyon-15.parça 4.operasyon
3	11, 19	1;1	9.parça 4. operasyon; 9.parça 2.operasyon

6.7.2.2 Sistemdeki Makinelere Ait Modüller

Hücreye giriş istasyonundan hemen sonra bir "Assign" modülü eklenmiştir. Böylece hücreye giren parça türü kaydedilir. Hücre çıkış istasyonunun ardına da bir "Assign" modülü eklenerek çıkan parça türü kaydedilmeli ve bu iki parça türü karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırma işlemi için girişteki "Assign" modülünden hemen sonra bir karar modülü eklenmiştir. Giren ve çıkan parça türleri aynı ise hazırlık işlemi gerçekleşmeden parçalar "Match" modülüne ulaşır. Diğer durumda ise hücre hazırlığı yapılır. Bu amaçla bir proses modülü eklenmiştir. Burada hücredeki tüm makinelerin kaynakları seçilerek, ortalaması 30 dakika, standart sapması ise 3 dakika olan normal dağılımlı bir hazırlık işleminden geçmeleri sağlanmıştır. Hazırlık işlemi bittikten sonra makinelerin kaynakları serbest bırakılır.

Hazırlık proses modülünün ardından bir "Match" modülü eklenmiştir. Parti girişlerini kontrol etmek için "Match" ve "Seperate" modülleri kullanılmıştır.

"Match" modülünde eşleştirilecek parçalar için bir tür kısıtlaması yapılmamıştır. Parçaların hücreden çıktığı makinenin proses modülünün ardına ve hücre çıkış istasyonunun arkasına birer adet "Seperate" eklenerek, sistemden çıkan partinin sanal bir kopyası oluşturulur ve "Match"e gönderilir. Bu, hücrenin başına gönderilen bir sinyaldir ve yeni bir partinin salıverilmesini sağlar.

Benzetim modeli koşulmaya başlandığında sistemde herhangi bir parça grubu işlenmediği için "Match" modülüne başka bir kaynaktan bir adet sanal parça göndermek gerekir. Aksi halde "Match" modülü gelen parçaları serbest bırakmaz. Bu nedenle "Match"in sol üst giriş noktasına bir "Create" modülü bağlanır ve buradan yalnızca 1 adet parça "Match"e gönderilir. Böylece gelen ilk partinin sisteme girebilmesi sağlanır. Sistemde akan parçalar hücreyi terk ederken "Seperate" modülünde bir kopya parça türetilir ve "Match"in sol üst girişine bağlanır. Böylece hücrenin boş olduğu hücre girişine haber verilir. Türetilen bu kopya parçaların yok edilmesi için "Match"in sağ üst çıkışına bir "Dispose" modülü eklenmiştir.

Daha sonra, bir karar modülü eklenerek 20 no.'lu parça dışındaki parça partilerinin, eklenen "Seperate" modülü ile çözülmesi sağlanır. Ardından yeni bir "Route" modülü kullanılarak parça grubu rotasına uygun biçimde hücreye gönderilir. 20 no.'lu parça ise ilk işlemini fonksiyonel alanda yapacağı için ilgili parti çözülmeden gönderilir.

Bu sistemin hücrelerinde hücre hazırlığı dışında ayrıca bir makine hazırlığı yapılmaz. Bu nedenle her makine türü için birer istasyon, proses ve "Route" modülü yeterlidir.

Ancak fonksiyonel alana gidecek parçalar belli bir makineden sonra hücreden fonksiyonel alana gittiği için ilgili makinenin proses modülünden sonra parça türü sorgulanır ve aynı tür parçalar parti haline getirilir. Örneğin 2, 4 ve 17 no.'lu parçalar 7 no.'lu makinede işlendikten sonra 1. hücreyi terk ederek fonksiyonel alana gitmektedir. Benzer şekilde 8 no.'lu parça da 17 no.'lu makineden 1. hücreyi terk etmektedir. Bu nedenle bu makineden çıkmadan önce "Decide" modülünde, gelen parça türü sorgulanır ve yukarıda belirtilen türden parçalar parti haline getirilir. Aksi halde parti haline getirilmezler. Oluşturulan parti, hücreyi terk edeceği için "Seperate" modülünde bir kopya parça türetilerek "Match" modülüne sinyal gönderilir. Buna ait bir örnek Şekil 6.11'de Makine 17 için gösterilmiştir.

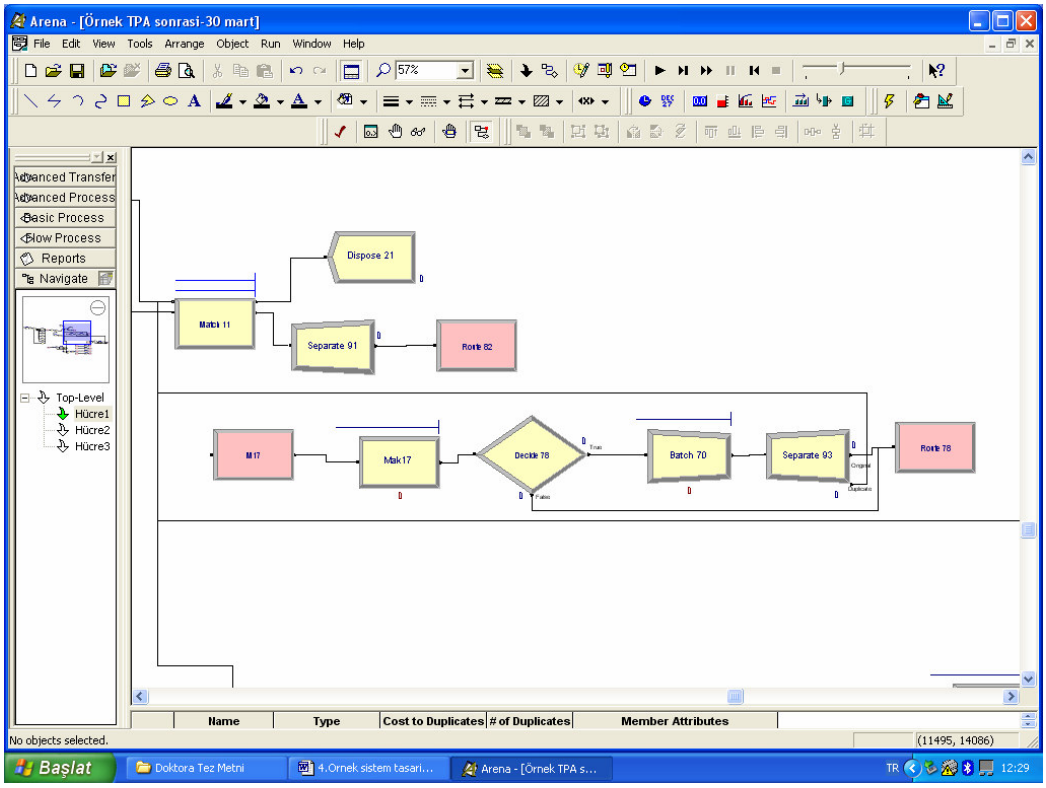
Ardından parça, "Route" modülünden geçerek, bir sonraki istasyona gider. Eğer söz konusu makineye gelen parça fonksiyonel alana gitmeyecekse karar modülünün "False" adlı kolundan çıkarak "Route" modülüne bağlanır ve sonraki istasyona yönlenir.

Bazı parçalar, Makine 7, 11, 17 ve 18'den çıkarak ilgili hücreyi terk ettikleri için yukarıda söz edilen düzenlemeler bu makineler için gerçekleştirilmiştir.

Hücrede işlenen parçalar teker teker aktıkları için bunların parti haline getirilmeleri gerekmektedir. Bunun için gelen parçanın türüne "Decide" modülünde bakılır ve hücrede üretilen parçalar ise parti haline getirilir. Çünkü çıkan parti için yalnızca bir adet kopya parça üretilip, "Match" modülüne gönderilir ve yeni partinin hücreye gelişine izin verilir. Parti haline getirme işlemi "Batch" modülü ile yapılmıştır. Bundan sonra çıkan parçanın türü "Assign" modülü kullanılarak bir değişkene atanır. Fonksiyonel alanda işlenen parçalar ise zaten parti halinde ilerlediği için "Match" modülüne uğramadan çıkan parça türünün kaydedildiği "Assign" modülüne ulaşır. Eklenen bir" Seperate" modülünde parti için bir kopya parça oluşturulur. Bu modül "Duplicate Original" türündedir. "Seperate" modülünden çıkan kopya parçaya ait dal Match modülünün sol üst girişine; gerçek parçaya ait dal ise partinin temin süresini kaydetmek amacıyla eklenen "Record" modülüne bağlanır. Daha sonra parti "Seperate" modülü ile çözülür. Buradaki "Seperate" modülü ise "Split Existing Batch" türündedir. Daha sonra parçaların yok edildiği "Dispose" modülü sisteme eklenir ve hücrenin benzetim modeli tamamlanmış olur.

Fonksiyonel alanın Arena ortamındaki işleyiş mantığı ve dolayısıyla modülleri Kümelendirme Sonrası Sistemdeki işleyiş ile aynıdır. Yani burada da parti tipi akış ve makine hazırlıkları söz konusudur. Bu nedenle tekrar açıklamaya gerek duyulmamıştır.

Isınma süresi yukarıda açıklanan nedenlerle 30 gün seçilmiştir. Koşum süresi ise 1200 gündür. Bir gün 24 saat olarak tanımlanmıştır. Model on kez koşulmuştur.



Şekil 6.11 "Match-Seperate" Modül Çiftinin Arena Ortamında Kullanılışı

6.7.2.3 Tek Parça Akışı Sonrası Surum için Benzetim Sonuçları

Sistemden toplam 468.701 adet parça çıkmıştır. Kümelendirme Sonrası sisteme kıyasla sistemden daha az parça çıkmasının nedeni hücreden bir parti çıkmadan diğerinin girişine izin verilmemesi olabilir. İncelenen ikinci sistemde, aynı koşum süresinde daha az parça daha kısa temin süresi ile üretilmektedir. Diğer koşum sonuçları aşağıdaki Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.17'da ayrıca ilgili parça rotası gruplarına ait ortalama temin süresi, güven aralığı uzunluğunun yarısı, en küçük ve en büyük değerler ile ortalama en küçük ve ortalama en büyük değerler yazılmıştır. Zaman birimi dakikadır.

Tablo 6.17 Örnek Sistemin Benzetim Modelinin Tek Parça Akışı Sonrası Temin Süreleri

Parça Rotaları	Ortalama (dk.)	Güven Aralığı Uzunluğunun Yarısı (dk.)	En Küçük Değer (dk.)	En Büyük Değer (dk.)	Ortalama En Küçük (dk.)	Ortalama En Büyük (dk.)
Sadece Fonksiyonel alanla İlişkili Olanlar	1108,41	19,24	525,42	4021,44	1062,23	1143,78
1. Hücre ile İlişkili Olanlar	681,35	5,12	241,32	2490,99	670,95	696,40
2. Hücre ile İlişkili Olanlar	701,62	11,43	252,71	3621,38	680,41	729,63
3. Hücre ile İlişkili Olanlar	536,84	8,44	248,93	3840,92	515,73	549,14

Ortalama en büyük ve ortalama en küçük değerler yapılan on adet koşumda belirlenen, sırasıyla, en büyük ve en küçük değerlerin ortalamalarıdır. Ortalama en küçük ve en büyük değerler, belli parça rotası için birbirinden çok farklı değildir. Buna ek olarak, karşılaşılan en büyük değer, diğer gözlem değerlerine kıyasla oldukça büyüktür.

6.7.3 Kümelendirme Sonrası ve Tek Parça Akışı Sonrası Sistemlerin Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 6.18'de Kümelendirme Sonrası Sistem ile Tek Parça Akışı Sonrası Sistemin hücrelerinin ve fonksiyonel alanının temin süreleri özetlenmiştir. Her üç hücrenin temin süresi, ikinci sistemde çarpıcı biçimde azalmıştır. Bu düşüşlerin birinci nedeni ikinci sistemin hücrelerinde tek parça akışının sağlanmış olmasıdır. Bu amaçla bazı parçaların birtakım operasyonları ana hücredeki alternatife, bu mümkün değil ise fonksiyonel alandaki alternatife atanmıştır. Fonksiyonel alanda parti tipi akış olmasına rağmen hücrelerde TPA'nın sağlanması, tüm sistemin temin süresinin parti tipi akışın uygulandığı diğer sisteme kıyasla daha düşük olmasını sağlamıştır. TPA'nın sağladığı yararlar önceki bölümlerde açıklanmıştır. İkinci neden ise hücreler arası hareketlerin yok edilmesi sayesinde hücredeki makinelerin sadece tahsis edildikleri parçaları işlemek için kullanılmalarıdır.

Ayrıca birinci sistemin fonksiyonel alanında, sadece bu kısımda işlenen parçalar işlenmektedir. Ancak ikinci sistemde istisna operasyonlar, fonksiyonel alandaki alternatif makinelere yeniden atanmıştır. Bu nedenle fonksiyonel alandaki makinelerin iş yükü artmıştır. Bu sistemin fonksiyonel alanının temin süresindeki artış da bu durumdan kaynaklanmaktadır. Temin süresi yaklaşık 66 dakika artmıştır.

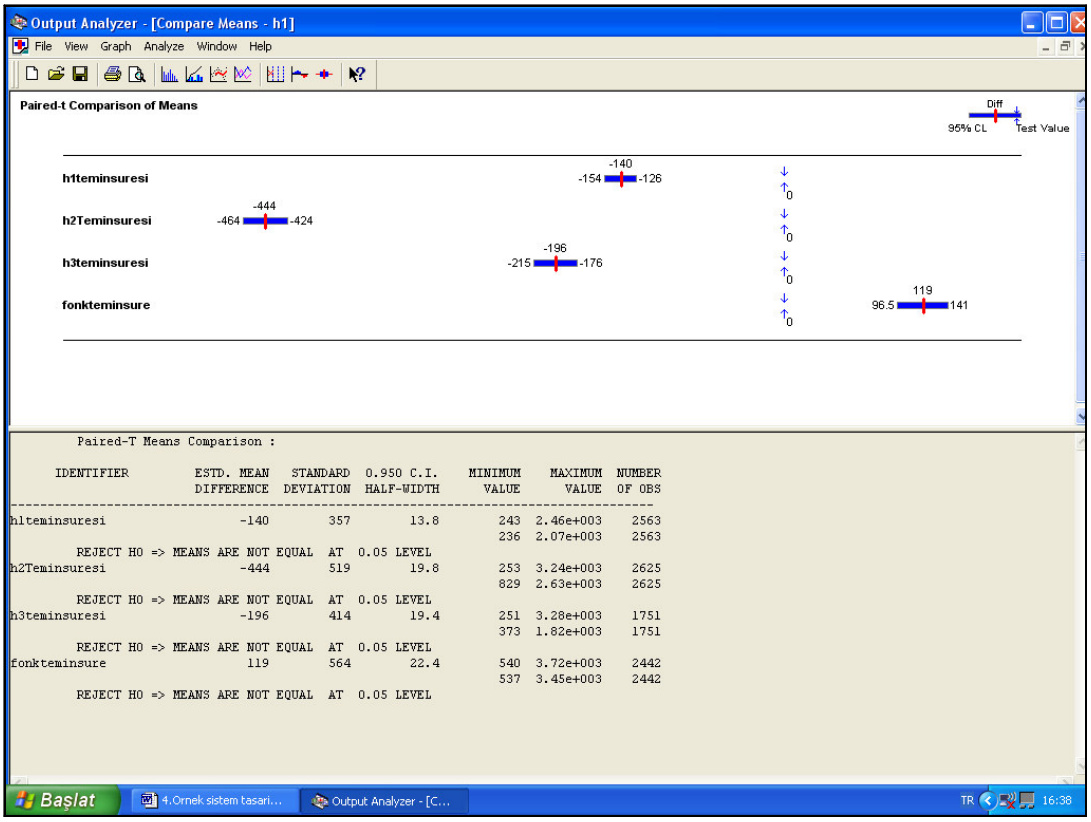
Ancak bu artışa rağmen sistemin bütününün temin süresi azalmıştır. Çünkü kısmi TPA'nın uygulandığı sistem, parti tipi akışın olduğu sisteme göre daha düşük temin süresi ile üretim yapmaktadır.

Tablo 6.18 Kümelendirme Sonrası Sistem ile Tek Parça Akışı Sonrası Sistemin Temin Süresi Ortalamalarının Karşılaştırması

Parça Rotaları	Kümelendirme Sonrası Ortalama Temin Süresi (dk.)	TPA Sonrası Ortalama Temin Süresi (dk.)	Temin Süresi Düşüş Yüzdesi
Sadece Fonksiyonel Alanla İlişkili Olanlar	1042,72	1108,41	- % 6,3
1. Hücre ile İlişkili Olanlar	836,80	681,35	% 18,5
2. Hücre ile İlişkili Olanlar	1161,68	701,62	% 39,6
3. Hücre ile İlişkili Olanlar	730,90	536,84	% 26,5

Her iki sistemin ilgili hücrelerinin ve fonksiyonel alanının ortalama temin süreleri t-testi ile karşılaştırılmıştır. Bunun için Arena yazılımının paketinde yer alan "Output Analyzer" yazılımı kullanılmıştır. 1. ve 2. sistemin 1., 2. ve 3.hücresi ile fonksiyonel alanının temin süreleri birer "dat" uzantılı dosyaya kaydedilmiştir. Output Analyzer'da ilgili dosya isimleri seçilerek t-testi gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlara göre sistemlerin ilgili hücreleri ve fonksiyonel alanın performansları, % 95 güvenle birbirinden farklıdır. Elde edilen "Output Analyzer" ekranı Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

Bu şekilde verilen bilgiye göre 1.hücrenin temin süresine dair 2563, 2. hücre için 2625, 3.hücre için 1751 ve fonksiyonel alan için 2442 gözlem toplanmıştır. Ayrıca hesaplanan farkın ortalaması, standart sapması ve %95 güvenle güven aralığı uzunluğunun yarısı da bu şekilde görülmektedir. İki sistemin alt birimlerinin performans farkının ortalaması hücreler için negatif, fonksiyonel alan için pozitiftir. Yani, hücrelerdeki performans iyileşmiş, fonksiyonel alandaki performans ise bir miktar bozulmuştur.



Şekil 6.12 Modellenen Sistemlerin Temin Sürelerinin Karşılaştırılması

6.7.4 Örneğin Kullanılması Sayesinde Yönteme İlişkin Kazanımlar

Örnekte aynı hücrede işlenen parça türlerinin makine rotaları birbirlerinden önemli farklılıklar göstermektedir. Aslında, gerçek hayatta bu kadar farklı rotaların aynı hücrede işlenmesine nadiren rastlanabilir. Böylece, önerilen algoritmanın karmaşık durumlarda da uygulanabilmesi sağlanmıştır. Herhangi bir işletmede yapılan bir uygulamada ise sadece oraya özgü durumlarla sınırlı kalınacağından yöntemin geliştirilmesinde düşünsel örneğin kullanılması daha yararlı olmuştur.

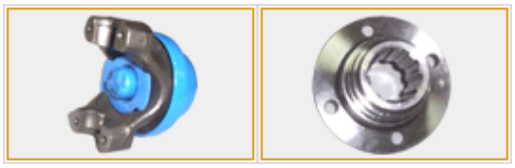
Bunun yanında küçük örneğin özellikle benzetim modellerinde oluşan hatalar kolayca fark edilebilmiştir. Büyük bir modelde bunun çok daha güç olacağı açıktır. Bu sayede edinilen deneyimlerle, uygulama çalışmasındaki benzetim modelleri çok daha kolayca ve kısa sürede tamamlanabilmiştir.

Ayrıca örnekteki yukarıda belirtilen karmaşık durumlar sayesinde 3. Kural geliştirilmiştir. Yani, parçanın ana hücresinin değiştirilmesi, son operasyonunun fonksiyonel alana atanmasına karar vermek böyle güç durumlara çözüm olarak önerilmiştir. Bu da düşünsel örneğin kullanılması sayesinde elde edilen diğer bir kazanımdır.

7. MELEZ ÜRETİM SİSTEMİ TASARIMINA AİT GERÇEK BİR UYGULAMA

Doktora tezinde geliştirilen modelin olası eksikliklerinin veya göz ardı edilebilecek durumların görülebilmesi amacıyla gerçek bir işletmede, geliştirilen modelin her adımı mümkün olabildiği kadar uygulanmaya çalışılmıştır. Diğer bir deyişle işletmedeki problem alınarak, geliştirilen metodoloji uygulanarak bir çözüm önerilmiştir.

Uygulama Akkardan A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir. Şirkete ait Çayırova'daki fabrikada daha iyi performans sağlanması amaçlanan dört ürün ailesinin üretildiği kısım ele alınmıştır. Söz konusu ürün aileleri açık adaptör çatal, fren diski, aks yatak muylusu ve ZF parçalarıdır. Bu parçalar için mevcut üretim sistemi analiz edilmiştir. Bu parçalardan açık adaptör ve fren diski parçalarının fotoğrafları Şekil 7.1'de sunulmuştur. ZF parçası işletme için kritik bir parça olduğundan buna ait resim burada gösterilmemiştir. Muylu parçasının fotoğrafı firmanın internet sayfasında bulunmamaktadır.



Şekil 7.1 Açık Adaptör ve Fren Diski Parçaları

Öncelikle parça talepleri incelenmiş ve parça talep-Pareto Analizi yapılmıştır. Bu incelemede parçaların taleplerinin bilindiği yıllar için ortalama değerler hesaplanmıştır. Ortalama talebe göre parçalar büyükten küçüğe sıralanmıştır. Ayrıca her parçanın talebinin standart sapması ve değişkenlik katsayısı da hesaplanmıştır. Ekteki Tablo A-1'de bu veriler gösterilmiştir.

İlk 32 parça toplam talebin %95'ini oluşturmaktadır. Ayrıca üretimine yeni başlanacak olan 23 adet ZF parçası da incelemeye alınacaktır. Yani toplam 55 parça için hücresel üretim çalışması yapılacaktır.

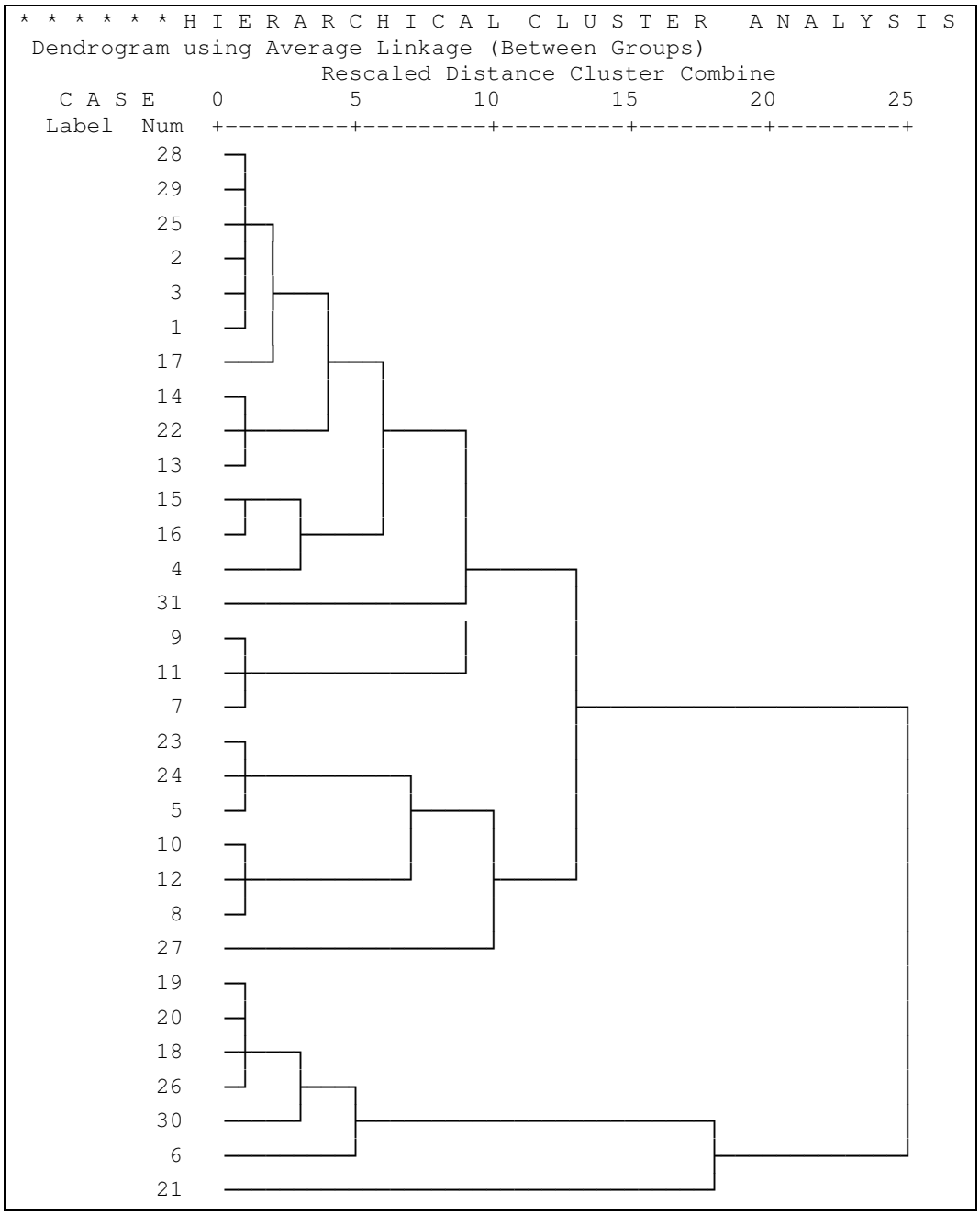
Hücrelerde, Pareto Analizi ile bulunan yüksek talepli parçalar ile ZF parçaları, talepleri düzensiz olsa da hücrelerde üretileceklerdir. Çünkü ZF parçalarının firma için stratejik öneme sahip olduğu belirtilmiştir.

Makine-parça matrisi 31 makine, 106 parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar arasında yukarıda belirtilen yüksek taleplilerin yanında düşük talepli parçalar da bulunmaktadır. Öncelikle operasyonlar için alternatif makineleri de içeren, geliştirilmiş makine-parça matrisi hazırlanmıştır. Geliştirilmiş matris her parça ailesi için parçalar halinde ekler bölümündeki Şekil B2-B5'te sunulmuştur. Ardından bu matris, 0-1 matrisine dönüştürülmüştür. 0-1 matrisi, SPSS adlı istatistik yazılımında Ortalama Bağlantı Yöntemi (Seifoddini, 1989) kullanılarak kümelendirilmiştir. Kümelendirme aşamasında makineler, parçalar bakımından benzerliklerine göre kümelendirilmiştir. Diğer bir deyişle 28 adet makineye kümelendirme uygulanmış ve Şekil 7.2'deki dendogram elde edilmiştir.

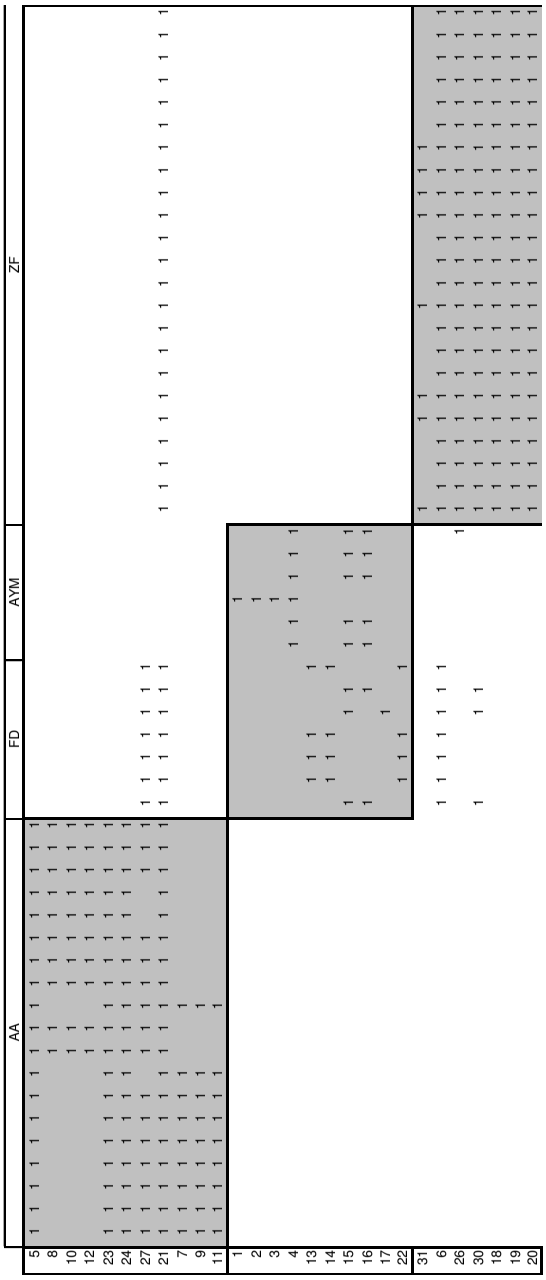
7.1 Kümelendirme Sonuçları

28, 29 ve 25 no.'lu makineler, kümelendirilen parçalarda herhangi bir işlem gerçekleştirmemektedir. Bu nedenle herhangi bir hücreye atanabilir. Burada, 1. hücreye atanmıştır.

Kümelendirme sonrası elde edilen başlangıç çözümüne ait 0-1 makine-parça matrisi Şekil 7.3'de sunulmuştur. Bu matriste fonksiyonel alanda üretilecek parçalar yer almamaktadır. Başlangıç çözümünde yalnızca Açık Adaptör, Fren diski-Aks Yatak Muylusu Hücreleri ile ZF hücresi bulunmaktadır. Şekilden, 48 adet istisna operasyon olduğu belirlenmiştir. 1. hücrede 5, 8, 10, 12, 23, 24, 27, 21, 7, 9, 11 no.'lu makineler; 2. hücrede 1, 2, 3, 4, 13, 14, 15, 16, 17, 22 no.'lu makineler ve 3. hücrede 31, 6, 26, 30, 18, 19 ve 20 no.'lu makineler bulunmaktadır.



Şekil 7.2. Uygulama Verilerinin Kümelendirilmesi ile Oluşan Dendogram



Şekil 7.3. Kümelendirme Sonrası Elde Edilen 0-1 Makine-Parça Matrisi

7.2 İstisnai Operasyonların Yok Edilmesi

Elde edilen 0-1 matrisinde 1 yazılı kutulara parçaların operasyon sıraları ve varsa alternatif makineler yazılarak, aşağıdaki geliştirilmiş makine-parça matrisi elde edilmiştir. Bu matris de Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Şekilde istisna operasyonları yok etmek için alternatif makinelerin var olduğu görülmektedir.

Şekil 7.4 Kümelendirme Sonrası Geliştirilmiş Makine-Parça Matrisi

Ancak geri kalan parçaların üretilmesi için fonksiyonel alana yerleştirilecek 20 adet makineye daha gerek duyulduğu görülmüştür. Pratik hayatta 20 makinenin alınamayacağı açıktır. Bu nedenle düşük talepli, başlangıçta fonksiyonel alanda üretilmesi planlanan parçalardan ek istisna operasyona yol açmayanlar hücrelere atanmıştır. Fonksiyonel alanda üretilmesi planlanan parçalar, ek istisnai operasyona yol açmamıştır. Bu nedenle bu çözüm, başlangıç çözümü olarak kabul edilmiştir.

Şimdi istisnai operasyonları yok etmek için TPA algoritmasındaki alternatif makinelere yeniden atama kurallarından yararlanılacaktır. Öncelikle istisnalar için hücrelerde alternatif makine olup olmadığına bakılır.

Fren diski adlı ürün ailesine ait bazı parçaların 50 no.'lu operasyonu, hücrede yer alan 22 no.'lu makinede yapılabileceğinden, buraya atama yapılarak söz konusu istisnalar yok edilebilir. Ayrıca Fren Diski parçalarının tamamının 60 no.'lu operasyonunun işletmede başka bir binada bulunan 5 no.'lu makinede işlenmesi yolu ile bu istisna ortadan kaldırılmış olur.

Bunlara ek olarak Fren Diski parçalarının 30 ve 40 no.'lu operasyonları da istisna oluşturduğu için bu parçalar için gereken sırasıyla 27 ve 21 no.'lu makinelerden, yukarıda söz edilen makinelerin de bulunduğu binada birer adet mevcuttur. Böylece fren diski parçalarının 30, 40, 50 ve 60 no.'lu işlemleri işletmede hazır bulunan makinelerde 10 ve 20 no.'lu operasyonları ise hücrede işlenerek tamamlanabilecektir. Böylece hücreler arası gidiş geliş ortadan kaldırılacaktır.

ZF parçalarının 21 no.'lu makinedeki operasyonları istisna oluşturmaktadır. Bu nedenle ilgili makineden bir adet satın alındığı taktirde bu parça ailesi hücrede üretilip, bitirilebilecektir.

Son olarak Aks Yatak Muylusu ailesine ait bir parçanın 20 no.'lu makinedeki bir operasyonu istisna durumundadır ve hücreler arası gidiş gelişe yol açmaktadır. Aynı parçanın son işlemi de fonksiyonel alanda gerçekleştirilmektedir.

Tezde önerilen TPA'na Yönelik Tasarım Yöntemi'nin uygulanması yolu ile bulunan hücrelerde Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı yapılarak her hücre içerisinde tek yönde akış sağlanacaktır.

7.3 Açık Adaptör Hücresi için Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı

Aneke ve Carrie tarafından 1986 yılında yayınlanan çalışmada (Aneke ve Carrie, 1986) açıklanan algoritma incelenen işletme için uygulanmıştır.

Öncelikle hücrede üretilecek parçaların her biri için izlenen makine rotası ve parçaların bağıl talepleri belirlenmelidir. Tablo 7.1'de bu bilgiler verilmiştir. Gerçek talep yerine bağıl talep verilerinin kullanılmasının nedeni daha küçük sayılarla uğraşarak, işlem yükünü hafifletmektir.

Ardından hücrede bulunması gereken her makineye gelen toplam parça adedi (TT) ile her makineden çıkan toplam parça adedi (TF), rota ve talep bilgilerine dayanarak *Dolaşım Şeması*'nda hesaplanır. Birinci hücre için bu şema Tablo 7.2'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Açık Adaptör Hücresinde Üretilen Parçalar için Rota ve Talep Bilgileri

Parça	Rota	Bağıl Talep
1	9-11-27-21-7-23-24-5	1059
2	9-11-27-21-7-23-24-5	1201
6	9-11-21-7-23-24-5	2647
7	9-11-27-21-7-23-24-5	12051
5	9-11-27-21-7-23-24-5	31465
10	9-11-27-21-7-23-24-5	5738
12	9-11-27-21-7-23-24-5	1033
4	9-11-27-21-7-23-24-5	1180
16	9-11-27-21-7-23-24-5	3787
19	10-12-27-21-8-23-24-5	12069
13	10-12-27-21-8-23-24-5	3086
15	10-12-27-21-8-23-24-5	10679
22	10-12-27-21-8-23-24-5	2051
24	10-12-27-21-8-23-24-5	2568
26	10-12-27-21-8-23-24-5	5552
27	10-12-27-21-8-23-24-5	2892
23	10-12-27-21-8-23-24-5	5979
17	10-12-27-21-8-23-24-5	26380
14	10-12-27-21-8-23-24-5	2569

Dolaşım şemasında TT, makineye gelen toplam parça miktarını, TF ise makineden çıkan toplam parça miktarını belirtmektedir. Şemadaki veriler, algoritmanın ilk adımında kullanılır. Algoritmanın kuralları çerçevesinde birbirini takip eden adımlarda hattın bir başına, bir de sonuna tezgah yerleştirilir. Hat başına

yerleştirilecek makine belirlenirken makinenin, parçaların rotalarında ilk makine olmasına dikkat edilir. Bu aday makineler arasında en küçük TT'li makine seçilir.

Tablo 7.2. Açık Adaptör Hücresine Ait Dolaşım Şeması

	5	**8**	**10**	**12**	**23**	**24**	**27**	**21**	**7**	**9**	**11**	**TF**
5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	-	0	0	73822	0	0	0	0	0	0	73822
10	0	0	-	73822	0	0	0	0	0	0	0	73822
12	0	0	0	-	0	0	73822	0	0	0	0	73822
23	0	0	0	0	-	133983	0	0	0	0	0	133983
24	133983	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	133983
27	0	0	0	0	0	0	-	131335	0	0	0	131335
21	0	73822	0	0	0	0	0	-	60161	0	0	133983
7	0	0	0	0	60161	0	0	0	-	0	0	60161
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	60161	60161
11	0	0	0	0	0	0	57513	2647	0	0	-	60161
TT	133983	73822	0	73822	133983	133983	131335	133983	60161	0	60161	

Algoritmada ayrıntılı olarak açıklanan biçimde, hat başına atanan makinenin TF değeri bu makinenin ilk makine olduğu parçaların toplam talebi kadar azaltılır. Bu makinenin ilk makine olduğu parçalarda, makineyi takip eden makine türlerinin TT değeri de ilgili parçaların toplam bağıl talebi kadar düşürülür. Hat sonuna makine atanırken ise makinenin rotalarda son sırada yer almasına dikkat edilerek, en küçük TF'li makine seçilir. Bu makinenin rotalarda son makine olduğu parçaların toplam talepleri bulunarak, hat sonuna atanan makinenin TT değerinden ve bu makineyi takip eden makinenin TF değerinden çıkarılır. Kısaca açıklanan bu adımlar, Açık Adaptör Hücresi için uygulandığında, Tablo 7.3'teki akış türetme tablosu elde edilmiştir.

Tablo 7.3. Açık Adaptör Hücresi için Akış Türetme Tablosu

	5	**8**	**10**	**12**	**23**	**24**	**27**	**21**	**7**	**9**	**11**	**Hat Başı**	**Hat sonu**
TT	133983	73822	0	73822	133983	133983	131335	133983	60161	0	60161	**9**	**5**
TF	0	73822	73822	73822	133983	133983	131335	133983	60161	60161	60161		
TT	-	73822	0	73822	133983	133983	131335	133983	60161	-	0	**11**	**24**
TF	-	73822	73822	73822	133983	0	131335	133983	60161	-	60161		
TT	-	71175	0	73822	133983	-	73822	133983	60161	-	-	**10**	**23**
TF	-	73822	73822	73822	0	-	131335	133983	60161	-	-		
TT	-	71175	-	0	-	-	32232	133983	60161	-	-	**12**	**7**
TF	-	0	-	73822	-	-	131335	133983	0	-	-		
TT	-	71175	-	-	-	-	-41590	133983	-	-	-	**27**	**-**
TF	-	0	-	-	-	-	131335	73822	-	-	-		
TT	-	71175	-	-	-	-	-	-2647	-	-	-	**-**	**8**
TF	-	0	-	-	-	-	-	73822	-	-	-		
TT	-	-	-	-	-	-	-	-2647	-	-	-	**21**	**-**
TF	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-		

Akış Türetme Tablosu'ndan makine sırası şu şekilde okunur: Hat başı sütununun ilk satırından son satırına kadar makine numaraları yazılır. Ardından hat sonu sütununun son satırından ilk satırına kadar makine numaraları peş peşe kaydedilir. Açık Adaptör Hücresi için bulunan makine sıralaması şu şekildedir:

9-11-10-12-27-21-8-7-23-24-5

Aşağıdaki tabloda hat tasarımı sonucunda oluşan makine-parça matrisi Tablo 7.4'te çizilmiştir. Hücredeki makineler, matriste belirtilen sırada yerleştirilmelidir. Böylece parçaların, hücrede tek yönde akması sağlanmıştır.

Açık adaptör hücresi için yapılan hesaplamaların birer benzeri diğer iki hücre için de tekrarlanmıştır. Bu nedenle diğer hücreler için bu hesaplamalar detaylı biçimde açıklanmamıştır.

Tablo 7.4. Açık Adaptör Hücresi için Parçaların Tek Yönlü Akışını Gösteren Parça-Makine Matrisi

		Parça																		
		1	**2**	**6**	**7**	**5**	**10**	**12**	**4**	**16**	**19**	**13**	**15**	**22**	**24**	**26**	**27**	**23**	**17**	**14**
Makine	**9**	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
	11	2	2	2	2	2	2	2	2	2										
	10										1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	12										2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	27	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	21	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	8										5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	7	5	5	4	5	5	5	5	5	5										
	23	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	24	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	5	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

7.4 Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı

Hücrede üretilecek parçaların her biri için izlenen makine rotası ve parçaların bağıl talepleri Tablo 7.5'te verilmiştir.

Hücrede bulunan her makineye gelen ve her makineden çıkan toplam parça sayısı Tablo 7.6'daki Dolaşım Şemasına yazılmıştır.

Tablo 7.5. Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Rota ve Bağıl Talep Bilgileri

Parça	Rota	Bağıl Talep
44	15-16	773
33	13-14	4387
31	13-14	6598
47	13-14	4236
51	17-15	8860
61	15-16	2652
63	13-14	8854
73	15-16-4	1418
74	15-16-4	28194
75	1-2-3-4	79567
76	15-16-4	6690
77	15-16-4	1313
80	15-16-4	878

Tablo 7.6. Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Dolaşım Şeması

	1	**2**	**3**	**4**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**TF**
1		79567	0	0	0	0	0	0	0	79567
2	0		79567	0	0	0	0	0	0	79567
3	0	0		79567	0	0	0	0	0	79567
4	0	0	0		0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0		24075	0	0	0	24075
14	0	0	0	0	0		0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0		41918	0	41918
16	0	0	0	38493	0	0			0	38493
17	0	0	0	0	0	0	8860	0		8860
TT	0	79567	79567	118060	0	24075	8860	41918	0	

Söz konusu hücre için Akış Türetme Tablosu da Tablo 7.7'de görülmektedir.

Tablo 7.7. Fren Diski ve Aks Yatak Muylusu Hücresi için Akış Türetme Tablosu

	1	**2**	**3**	**4**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**Hat başı**	**Hat sonu**
TT	0	79567	79567	118060	0	24075	8860	41918	0	**1**	**4**
TF	79567	79567	79567	0	24075	0	41918	38493	8860		
TT	-	0	79567	-	0	24075	8860	41918	0	**2**	**3**
TF	-	79567	0	-	24075	0	41918	0	8860		
TT	-	-	-	-	0	24075	8860	41918	0	**13**	**16**
TF	-	-	-	-	24075	0	41918	0	8860		
TT	-	-	-	-	-	24075	8860	-	0	**17**	**14**
TF	-	-	-	-	-	0	0	-	8860		
TT						-	0	-	-	**-**	**15**
TF						-	0	-	-		

Akış Türetme Tablosu hesaplamalarına göre hücredeki makine sıralaması şu şekilde bulunmuştur: *1-2-13-17-15-14-16-3-4*

TPA için hücrede makinelerin yerleşim sırası ise Tablo 7.8'de gösterilmiştir. Parçaların hücre içerisinde tek yönde aktığı görülmektedir.

Tablo 7.8. Fren Diski-Aks Yatak Muylusu Hücresi için Parçaların Tek Yönlü Akışını Gösteren Parça-Makine Matrisi

		Parça												
		44	**33**	**31**	**47**	**51**	**61**	**63**	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**80**
Makine	**1**										1			
	2										2			
	13		1	1	1			1						
	17					1								
	15	1				2	1		1	1		1	1	1
	14		2	2	2			2						
	16	2					2		2	2		2	2	2
	3										3			
	4								3	3	4	3	3	3

7.5 ZF Hücresi için Çok Ürünlü Akış Hattı Tasarımı

Hücrede üretilecek parçaların her biri için izlenen makine rotası ve parçaların bağıl talepleri Tablo 7.9'da verilmiştir.

Tablo 7.9. ZF Hücresi için Rota ve Bağıl Talep Bilgileri

Parça	**Rota**	**Bağıl Talep**
84	18-26-21-19-20-31-30-6	10
85	18-26-21-19-20-30-6	56
86	18-26-21-19-20-30-6	309
87	18-26-21-19-20-30-6	8
88	18-26-21-19-20-31-30-6	981
89	18-26-21-19-20-31-30-6	161
90	18-26-21-19-20-30-6	5
91	18-26-21-19-20-30-6	3
92	18-26-21-19-20-30-6	64
93	18-26-21-19-20-31-30-6	13
94	18-26-21-19-20-30-6	701
95	18-26-21-19-20-30-6	67
96	18-26-21-19-20-30-6	9
97	18-26-21-19-20-31-30-6	10
98	18-26-21-19-20-31-30-6	8
99	18-26-21-19-20-31-30-6	6
100	18-26-21-19-20-31-30-6	53
101	18-26-21-19-20-30-6	19
102	18-26-21-19-20-30-6	5
103	18-26-21-19-20-30-6	4
104	18-26-21-19-20-30-6	4
105	18-26-21-19-20-30-6	36
106	30-6	134

Hücredeki makineler arası dolaşan toplam parça sayıları, rota ve bağıl talep bilgileri kullanılarak Tablo 7.10'da hesaplanmıştır.

Tablo 7.10. ZF Hücresi için Dolaşım Şeması

	31	**6**	**26**	**30**	**18**	**19**	**20**	**21**	**TF**
31		0	0	1231	0	0	0	0	1231
6	0		0	0	0	0	0	0	0
26	0	0		0	0	2664	0	2530	2664
30	0	2664	0		0	0	0	0	2664
18	0	0	2664	0		0	0	0	2664
19	0	0	0	0	0		2664	0	2664
20	1241	0	0	1423	0	0			2664
21	0	0	0	0	0	2530	0	0	2530
TT	1241	2664	2664	2654	0	2664	2664	2530	

Tablo 7.11'de görülen Akış Türetme Tablosu'nda ise Dolaşım Şeması'ndaki veriler ilk adımda kullanılarak, hücredeki makinelerin sıralaması elde edilmiştir.

Tablo 7.11. ZF Hücresi için Akış Türetme Tablosu

	31	**6**	**26**	**30**	**18**	**19**	**20**	**21**	**Hat Başı**	**Hat Sonu**
TT	1241	2664	2664	2654	0	2664	2664	2530	18	6
TF	1231	0	2664	2664	2664	2664	2664	2530		
TT	1241	-	0	2654	-	2664	2664	2530	26	30
TF	1231	-	2664	0	-	2664	2664	2530		
TT	1241	-	-	-	-	2664	2664	0	21	-
TF	-10	-	-	-	-	2664	2664	2530		
TT	1241	-	-	-	-	134	2664	-	-	31
TF	-10	-	-	-	-	2664	2664	-		
TT	-	-	-	-	-	134	2664	-	19	-
TF	-	-	-	-	-	2664	2629	-		
TT	-	-	-	-	-	-	134	-	-	20
TF	-	-	-	-	-	-	134	-		

Buna göre makine sıralaması şu şekildedir:

18-26-21-19-20-31-30-6

Bu makine sıralaması sayesinde parçaların tek yönde aktığı, Tablo 7.12'de görülmektedir.

Tablo 7.12. ZF Hücresi için Parçaların Tek Yönlü Akışını Gösteren Matris

		Parça																						
		84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
Makine	**18**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	26	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	19	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	31	6				6	6				6				6	6	6	6						
	30	7	6	6	6	7	7	6	6	6	7	6	6	6	7	7	7	7	6	6	6	6	6	1
	6	8	7	7	7	8	8	7	7	7	8	7	7	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	2

7.6 Fabrikadaki Sistem için İşlem Süreleri

İncelenen üretim ortamında ele alınan parçaların işlem sürelerine ait veriler benzetim modelleri için gereklidir. Bu nedenle firmanın veri tabanında bulunan veriler yetkili mühendis tarafından toplanmıştır. Bunlar, işlem sürelerinin ortalama değerleri olduğu kabul edilmiştir. İşlem sürelerinin Normal Dağılım'a uygun olup, standart sapmasının ortalamanın %10'una eşit olduğu varsayılmıştır. İşletmede zaman etüdü yaparak işlem sürelerini ölçmek, işlem ve parça çeşitliliğinin çok olması nedeniyle zor olacağından süreler ile ilgili belirtilen varsayımlarda bulunulmuştur. İşlem süreleri matrisi ekteki Şekil B-6, B-7, B-8 ve B-9'da verilmiştir.

7.7 Uygulama için Kurulan Benzetim Modelleri

Kümelendirme sonrası sistem ile Tek Parça Akışı sonrası sistem için birer benzetim modeli kurulmuştur. Modeller, Arena yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Modelin kuruluş aşamasında Düşünsel Örneğe ait modellerin kuruluşunda izlenen adımlar benzer şekilde uygulanmıştır. Bu modellerde benimsenen prensipler şu şekilde açıklanabilir:

7.7.1 Kümelendirme Sonrası Sistem

Kümelendirme Sonrası modelde Açık Adaptör, Fren Diski-Muylu ve ZF parçaları için birer hücre kurulmuştur. Parçalar tüm sistemde partiler halinde akmaktadır. Diğer bir deyişle Tek Parça Akışı yoktur. Parti büyüklüğü 50 olarak kabul edilmiştir. Hücreler arası ve hücreler ile fonksiyonel alan arasında gidiş gelişler meydana gelmektedir. Sistemdeki tüm makinelerde bir öncekinden farklı bir parça işlenecekse

normal dağılıma uygun, ortalama süresi 10 dakika standart sapması 1 dakika olan makine hazırlığı yapılır. Sisteme giren parça türü sayısı Düşünsel Örnek'tekinden çok daha fazladır. Bu nedenle parçaların türlerinin atandığı kesikli olasılık dağılım fonksiyonunda daha çok sayıda parça yer almaktadır.

Çok sayıda parçanın ele alınması nedeniyle aynı rotalı ve aynı işlem süreli parçaların talepleri toplanmıştır. Diğer bir deyişle bu parçaların aynı türden oldukları varsayılmıştır. Aksi halde benzetim modellerinde parça türü sayısı (106 tür) kadar dallanma yapılarak parçalara ayrı ayrı rota ve işlem sürelerinin atanması gerekecektir. Ayrıca olasılık dağılım fonksiyonunda da çok düşük olasılıklı pek çok parça olacağından, fonksiyonun tanımlanması da güç olacaktır.

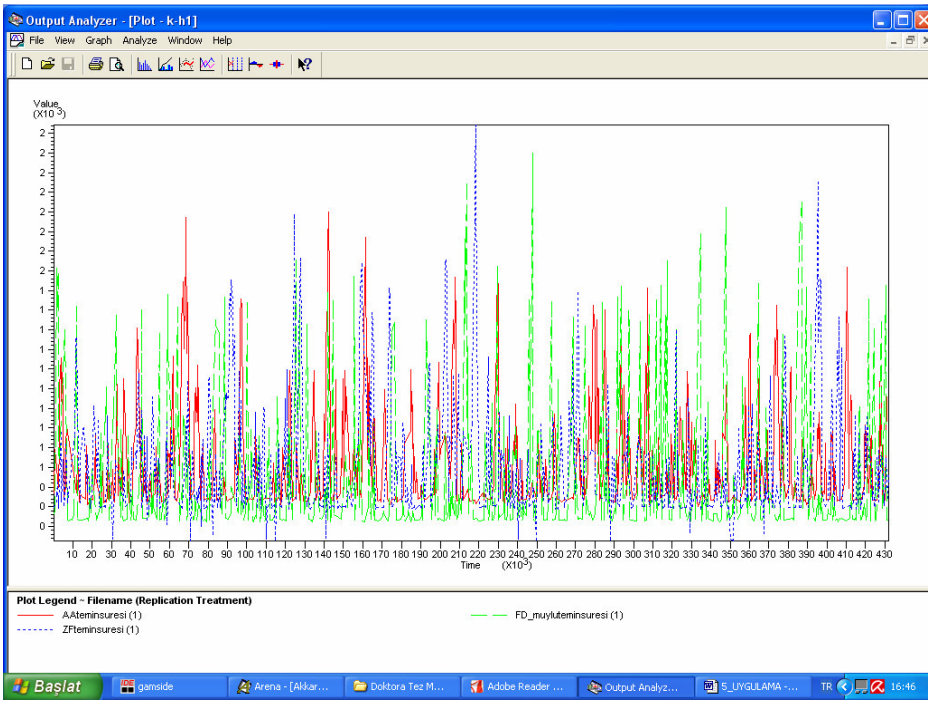
Yukarıda belirtildiği gibi parçaların türleri atandıktan sonra parça rotaları ve işlem süreleri atanmalıdır. Rotalar şu şekilde tanımlanmıştır: Her hücrede bulunması gereken makineler için gerekli istasyon ve proses modülleri eklenir. Daha sonra rotalar istasyon isimleri kullanılarak tanımlanır. İşlem sürelerinin tek tek Assign modülünde atama yoluyla tanımlanması, parça türü sayısının çok olması nedeniyle güç olacaktır. Bu nedenle "süreler" isimli bir "Expression" tanımlanmıştır. Bu modül, Advanced Process panelinde yer almaktadır. Expression'ın boyutu 31x106'dır. Firmadan alınan, Excel ortamındaki işlem süreleri matrisi kopyalanarak, buraya kopyalanmıştır. Parçaların işlem süreleri tanımlanırken bu modülün ilgili hücrelerinden veri çekilmiştir. Örneğin 80 no.'lu Fren Diski parçası için 15 no.'lu makinedeki işlem süresi, ilgili Assign modülünde "sureler (15,80)" şeklinde belirtilmiştir. Tüm parçalar için benzer tanımlamalar yapılmıştır.

Bunlara ek olarak sisteme gelen parçanın sisteme giriş zamanı kaydedilir. Sistemden çıkarken de çıkış anı ile giriş anı arasında geçen süre bir Record modülünde "Tally" adı verilen değişkene atanır. Örneğin Kümelendirme Sonrası modelde Açık Adaptör parçası için kurulan hücrede bu değişkene "AA_teminsüre" adı verilmiştir. Burada ölçülen büyüklük parçaların temin süreleridir. Benzer şekilde, kurulan Fren Diski-Muylu hücresi ile ZF hücresinde de parçaların temin süreleri ölçülmektedir.

Koşum uzunluğu 3000 gün kabul edilmiştir. Sonuç bilgilerine bakıldığında yeterli verilerin toplanması ve güven aralığının geniş olmaması nedeniyle belirtilen uzunlukta bir koşumun yeterli olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca çok koşum

yapıldığı durumlarda her koşumda ısınma süresi kadar veri atılmaktadır. Bu nedenle yeterince uzun tek bir koşum yapmak bu bakımdan tercih edilmiştir.

Buna ek olarak, ısınma süresini belirlemek amacıyla Kümelendirme sonrası model ısınma süresi sıfır kabul edilip, 300 gün koşturulmuştur. Sonuçta oluşan temin süresi grafiği Output Analyzer ortamında çizdirilerek, sistemin davranışının koşum başlangıcından çok kısa süre sonra kararlı hale geldiği anlaşılmıştır. Aşağıdaki Şekil 7.5'te grafik görülmektedir. Grafikte ve Arena modellerinde zaman birimi dakika kabul edildiğinden, grafik de buna uygun şekilde çizilmiştir. O halde, 100 gün koşum süresi yeterlidir ve uygulama için yapılan koşumlarda ısınma süresi 100 gün kabul edilmiştir.



Şekil 7.5 Firmanın Benzetim Modelinin 300 gün süresince Temin Süresi Grafiği

7.7.2 Tek Parça Akışı Sonrası Sistem

Tek Parça Akışı (TPA) Sonrası Sistem'e ait model açık adaptör hücresi, fren diski-muylu hücresi ve ZF hücresi ile bir de fonksiyonel alandan oluşmaktadır. Yukarıda hücreler arası gidiş-gelişleri yok etmek amacıyla fonksiyonel alana yerleştirilmek üzere bazı makinelerin satın alınması öngörülmüştür. Bu amaçla 5, 21, 22 ve 27 no.'lu makinelerden birer adet fonksiyonel alana eklenmiştir. Zaten fonksiyonel alanda bunlardan başka makine bulunmamaktadır. Bu makineler özellikle Fren Diski-Muylu Hücresi için eklenmiştir. Ayrıca ZF hücresinde 30 no.'lu işlemin

hücreler arası harekete yol açmaması için 21 no.'lu makineden bir adet satın alınması önerilmiş ve model buna uygun tasarlanmıştır.

Ayrıca istisna operasyonların yok edilmesi için alternatif makinelere yeniden atamalar yapılması nedeniyle parçaların rotalarında gerekli değişiklikler yapılmıştır.

TPA Sonrası modelde herhangi bir parti hücreye girdiğinde hücreden çıkıncaya kadar başka bir partinin hücreye girmesine izin verilmez. Hücreye giren parti, Seperate modülü kullanılarak çözülür ve hücre içerisinde bir parçalık partiler halinde yani TPA'na uygun şekilde ilerler. Partinin birinci parçası bir sonraki makineye gidebilmek için tüm partinin işlenmesini beklemez ve bu sayede de partinin temin süresi kısalır. TPA'nın temin süresini kısaltmasının esas nedeni budur.

Parti çözüldükten sonra parçaların sisteme giriş zamanı "Giriş Zamanı" adlı parçaya özgü değişkene (İng.: attribute) bir Assign modülünde atanır. Ayrıca aynı modülde parçanın türü de olasılık dağılım fonksiyonuna uygun biçimde belirlenir.

Bunlara ek olarak, hücrelerdeki makinelerde Kümelendirme Sonrası modeldeki durumun tersine makine hazırlığı gerçekleştirilmez. Hücredeki partinin işlemleri tamamlandıktan sonra farklı bir parça türü işlenecekse hücre hazırlığı yapılır. Hazırlık süresi ortalaması 30, standart sapması 3 dakika olan normal dağılımlı bir rassal değişken olup, tüm makineler bu hazırlık işleminden aynı anda geçer.

Bunlara ek olarak bu modelde bazı parçalar fonksiyonel alanda da işlenmektedir. Bu parçalar hücredeki son işlemin yapıldığı makineden çıkınca parti haline getirilir ve hücrenin girişine bu partinin sistemi terk ettiği haber verilir. Bu sayede yeni bir partinin sisteme girmesine izin verilir.

Tüm işlemleri hücrede tamamlanan parçalar, çıkış istasyonundan sistemi terk etmeden önce parti haline getirilir. Parti haline getirme işlemi "Batch" modülünde gerçekleştirilir ve geçici bir parti oluşturulur. Parti büyüklüğü bu modelde de 50 kabul edilmiştir. Parti haline getirilen parçaların temin süreleri hesaplanır ve "Record" modülünde kaydedilir. Sonrasında yapay bir parça türetilerek bu partinin sistemi terk ettiği hücrenin girişine haber verilir. Son olarak geçici parti çözülür ve sistemi terk eder. Parti haline getirme işlemi, söz edilen sanal parçanın türetilmesi için gerçekleştirilir.

Fonksiyonel alanda parti tipi akış söz konusudur. Tıpkı Kümelendirme Sonrası modelde olduğu gibi parçalar partiler halinde akar. Ayrıca makineler de farklı parça

türleri işlemeden önce makine hazırlığı gerçekleştirilir. Hazırlık süresi, Kümelendirme Sonrası modeldeki süre ile aynı dağılım özelliklerine sahiptir.

Koşum süresi 3000 gün ve ısınma süresi ise 100 gün varsayılmıştır. Bir adet koşum gerçekleştirilmiştir.

7.7.3 Benzetim Sonuçları

Kümelendirme Sonrası sistem için benzetim sonuçları Tablo 7.13'te verilmiştir. Birinci hücre için ortalama temin süresi yaklaşık 12,5 saat; Fren diski-muylu hücresi için 9,5 saat ve ZF hücresi için 22 saat olarak bulunmuştur. Güven aralığı uzunluğu %95 güven ile üç hücre için 11 dakika ile 38 dakika arası değişmektedir. Tabloda en büyük ve en küçük temin süresi değerleri de görülmektedir.

Tablo 7.13. Uygulama için Kurulan Kümelendirme Sonrası Sistemin Benzetim Sonuçları

	Ortalama (dakika)	**Güven Aralığı Uzunluğunun Yarısı**	**En Küçük Değer**	**En Büyük Değer**
Açık Adaptör Temin Süresi	759,79	5,77	550,07	1.850,01
Fren Diski-Muylu Temin Süresi	579,03	13,26	298,34	2.764,88
ZF Temin Süresi	1.341,99	19,01	171,09	2.878,59

Tek parça akışı sonrası sistemin benzetim sonuçları ise Tablo 7.14'te görülmektedir. Sonuçlar, bu sistemin Kümelendirme sonrası sisteme göre çok daha iyi performansla çalıştığını göstermektedir. Temin süresi Açık adaptör hücresi için yaklaşık 200 dakika, Fren diski-muylu hücresi için 90 dakika ve ZF hücresi için yaklaşık 700 dakika iyileşmiştir. Son hücre için bu kadar çarpıcı iyileşmenin nedeni istisna operasyonları ek makine satın alınması ile yok edilmesi ve hücre içerisinde tek parça akışının sağlanması ile açıklanabilir. Diğer hücrelerdeki düşüş ise yine tek parça akışının sağlanması ve hücreler arası gidiş-gelişlere yol açan işlemlerin fonksiyonel alandaki alternatiflere atanarak yok edilmesi ile açıklanabilir. Ayrıca güven aralığı uzunlukları da %95 güven ile hesaplanmıştır ve 36 dakika ile 50 dakika arasında değişmektedir. Güven aralıkları, kabul edilebilir uzunluktadır. Tabloda ayrıca en küçük ve en büyük temin süresi gözlemleri de yazılmıştır.

Tablo 7.14. Uygulama için Kurulan Tek Parça Akışı Sonrası Sistemin Benzetim Sonuçları

	Ortalama (dakika)	**Güven Aralığı Uzunluğunun Yarısı**	**En Küçük Değer**	**En Büyük Değer**
Açık Adaptör Temin Süresi	547,66	18,94	297,61	2.522,75
Fren Diski-Muylu Temin Süresi	487,13	16,14	218,92	2.587,70
ZF Temin Süresi	588,80	25,69	124,29	2.949,49

Tek parça akışı algoritması uygulandıktan sonra hücrelerin temin sürelerindeki düşüş yüzdesi Tablo 7.15'te gösterilmiştir. Fren Diski-Muylu parçalarının temin sürelerindeki iyileşmenin düşük olmasının nedeni şöyle açıklanabilir: Bu parçalar kümelendirme sonrası parti tipi akış ile sistemde dolaşmaktaydı. Ancak algoritma sonucunda ilk iki operasyonları hücrede geri kalanı fonksiyonel alanda işlenmektedir. Fonksiyonel alandaki işlemler sırasındaki akış da parti akıştır. Yani bu %16 oranındaki iyileşme, parçaların ilk iki operasyonun hücrede TPA'na uygun gerçekleşmesi sayesinde elde edilmiştir.

ZF parçalarının temin süresindeki önemli düşüşün bir nedeni, 21 no.'lu makineden bir adet satın alınmasıyla hücreler arası hareketlerin ortadan kaldırılmasıdır. Buna ek olarak parçalar da hücrede TPA'na uygun hareket ettiği için temin süresi önemli oranda düşmüştür.

Açık adaptör parçaları, zaten hücreler arası hareket etmemekteydi. Tek parça akışının çok ürünlü akış hattı tasarımı (Aneke ve Carrie, 1989) ile makineler eklenerek sağlanması sonucunda temin süresi %28 düşmüştür.

Tablo 7.15 Tek Parça Akışı Algoritması Sonucu Hücrelerin Temin Sürelerindeki Düşüş Yüzdeleri

	Kümelendirme Sonrası Sistem	**TPA Sonrası Sistem**	**Temin Süresi Düşüş Yüzdesi**
Açık Adaptör Ortalama Temin Süresi	759,79	547,66	% 28
Fren Diski-Muylu Ortalama Temin Süresi	579,03	487,13	% 16
ZF Ortalama Temin Süresi	1.341,99	588,80	% 56

Bu iki sistem arasındaki performans farkı belirgin olduğu için t-testi ile ortalamaların karşılaştırılmasına gerek duyulmamıştır. Diğer bir deyişle, tez çalışmamızda önerdiğimiz yaklaşım sayesinde ele alınan sistemin temin süresi çarpıcı biçimde düşürülmüştür.

Şekil 7.6'da firmanın incelenen bölümüne ait yerleşim planı, Şekil 7.7'de ise tezde önerilen yöntemin uygulanması sonucunda önerilen yerleşim planı görülmektedir.

7.8 Tek Parça Akışı Sonrası Sistemdeki Darboğaz Kaynakların Benzetim Yardımıyla Belirlenmesi (FR261-DP261)

Tek parça akışı sonrası sistemde kurulan hücrelerin iş merkezlerinin sadece makinelerden oluştuğu varsayılmıştır. Diğer bir deyişle işgörenler benzetim modelinde modellenmemiştir. Bu hücredeki makineler için gelişler arası süre (TBD) istatistikleri toplanmıştır.

Açık adaptör hücresinde 9-11-10-12-27-21-8-7-23-24-5 sırasıyla sıralanmış olan makinelerdeki TBD değerleri sırayla, 28,9-28,9-23,9-23,9-17,7-13,1-23,9-28,9-13,1-13,1-13,1 dakikadır. Bu hücredeki parçaların işlem sürelerinin ortalamaları 3 dakikadan düşük olup, sadece bir parçanın iki işlemi ortalama 5 ve 6,5 dakikada işlenmektedir. O halde yukarıda belirtilen TBD değerleri makinelerdeki işlem sürelerine kıyasla çok yüksektir. Bu da makinelere yeterli yoğunlukta iş gelmediğini göstermektedir. Bu nedenle 4.Bölüm'de açıklanan Kural 1-1'e dair "yeterli miktarda işin ilk iş merkezine geldiği" varsayımı gerçekleşmemektedir. Hücredeki makinelere yeterli yoğunlukta iş gelmediği makineler beklemekte ve TBD değerleri uzamaktadır. Bu nedenle, Açık Adaptör hücresindeki makineler darboğaz değildir. Makinelerin katma değerli süreleri ve hazırlık sürelerinin toplamının toplam benzetim süresine oranı yani kullanım oranları da bu sonucu desteklemektedir.

Fren diski - trunnion (aks yatak muylusu) hücresinde 1-2-13-17-15-14-16-3-4 sırası ile dizilmiş olan makineler için TBD değerleri sırayla, 25,9-25,9-155,3-223,9-29,5-155,3-34,8-25,9-16,6 dakikadır. TBD değerlerinin işlem sürelerine göre yüksek olduğu görülmektedir.TBD değeri en düşük olan dört no.'lu makinenin bile bu değeri, bu makinede işlenen işlemlerin ortalama işlem sürelerinin yaklaşık dört katıdır ve makine kullanım oranı da yukarıda açıklandığı biçimde hesaplanarak

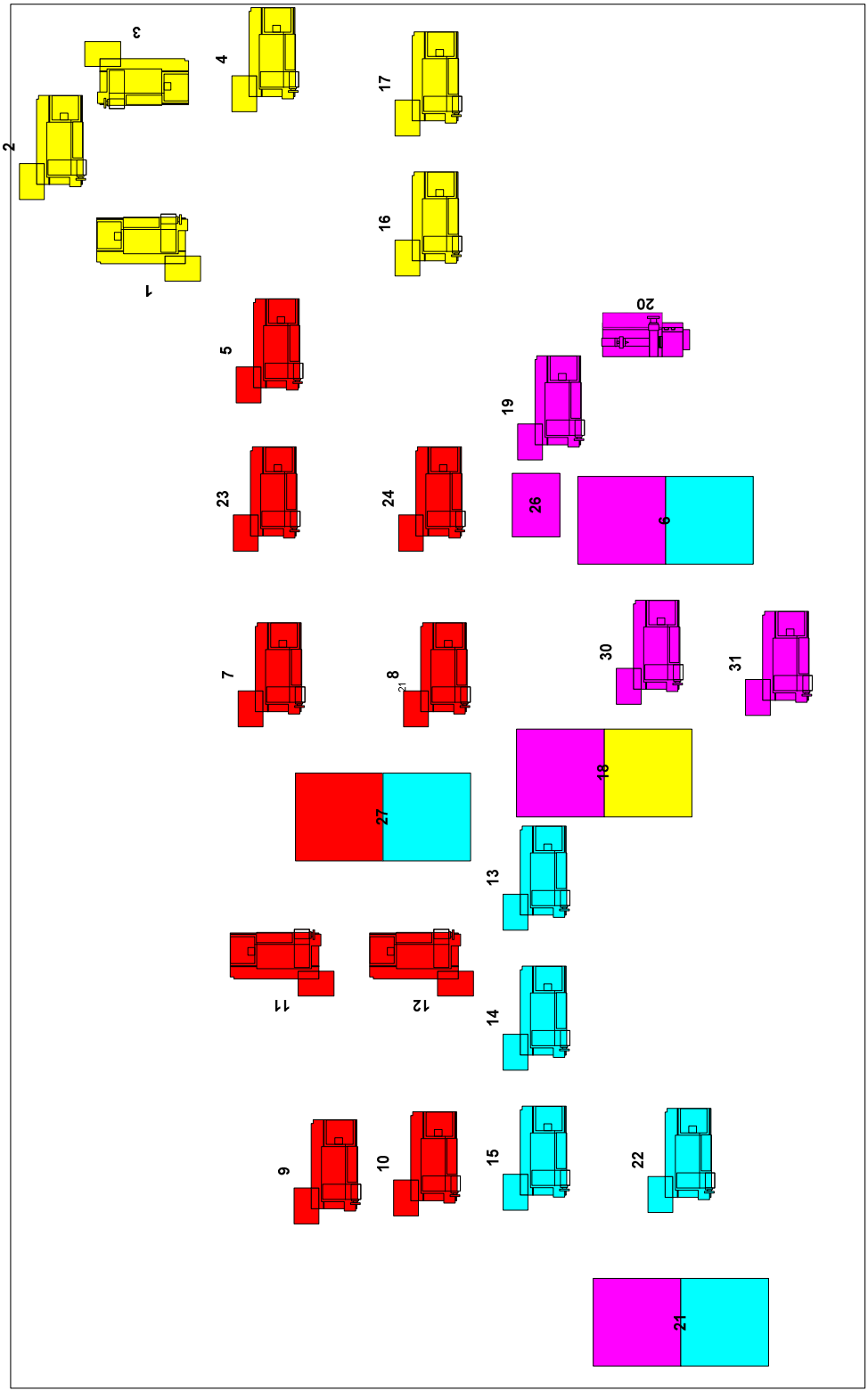
%26,7 bulunmuştur. Bu nedenle makinelere yoğun biçimde iş gelmemektedir ve bu hücrede makineler darboğaz değildir.

Üçüncü hücrede ise 18-26-21-19-20-31-30-6 no.'lu makineler sıralanmış olup, TBD değerleri aynı sırayla 13,7-13,7-13,1-13,7-13,6-20,13-13,2-13,2 dakikadır. Bu hücrede işlenen bazı işlemlerin süreleri uzun olduğu için makinelerin kullanım oranlarına bakılmıştır. 18, 26 ve 30 no.'lu makinelerin katma değerli süreleri ile hazırlık sürelerinin toplamı diğer tüm makinelere göre daha yüksek olup, kullanım oranları sırasıyla %45,8 - %30 - %30'dur. En yüksek kullanım oranı 18 no.'lu makineye ait olmasına rağmen, söz konusu makine iş beklemektedir. Bu nedenle, bu hücredeki makineler de darboğaz değildir.

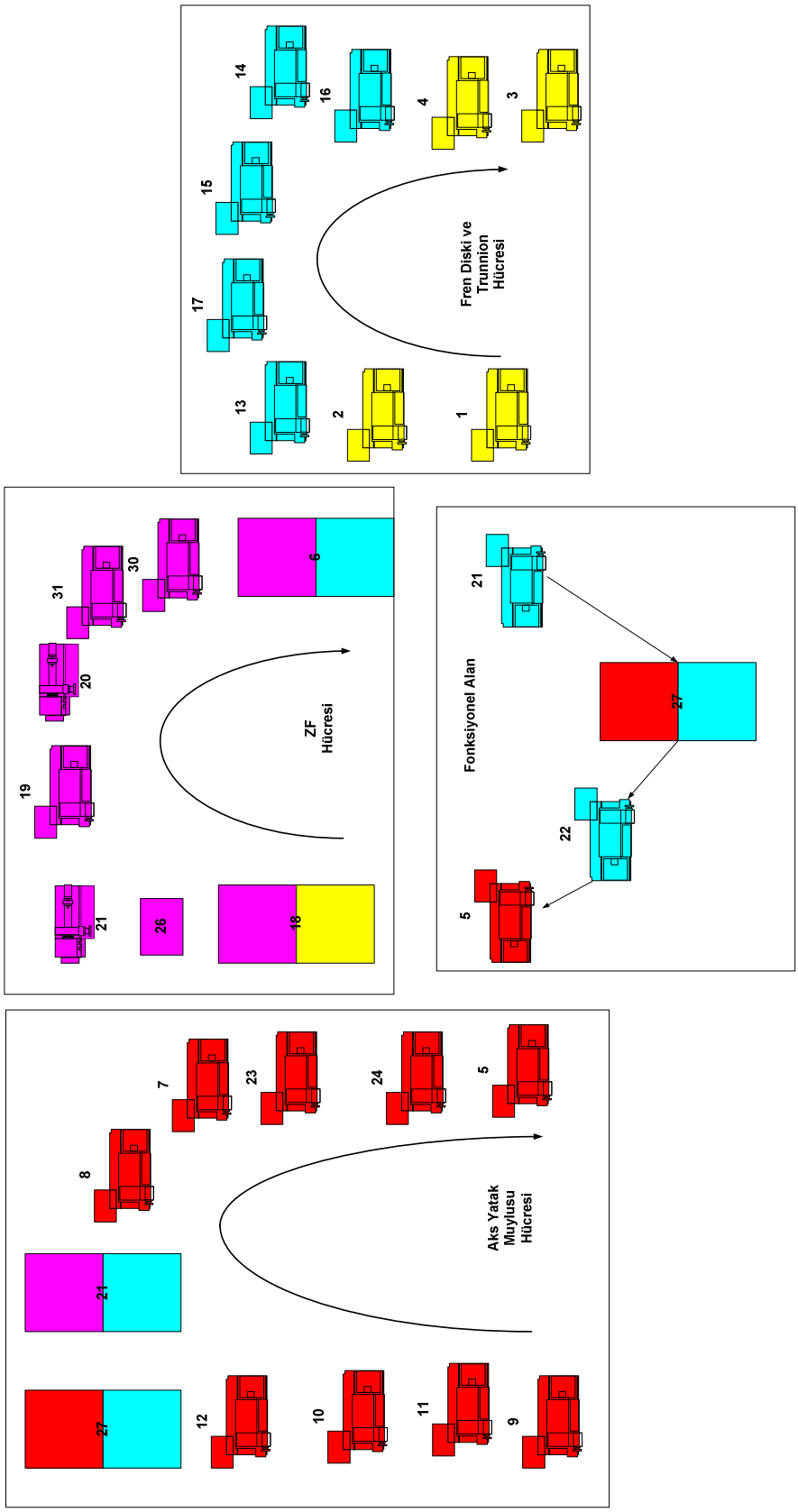
7.9 Benzetim Modellerinin Gerçek Durumla Karşılaştırılması

Son olarak firmada incelenen bölümden sorumlu mühendis ile görüşülerek benzetim modelleri kurulurken yapılan varsayımlar ve sonuçlar ile fonksiyonel alandaki gerçek durum karşılaştırılmıştır. Böylece birinci modelin gerçeğe uygunluğu kontrol edilmiştir.

- İşlem sürelerinin normal dağıldıkları varsayılmıştır. Ortalama değerler, firma tarafından verilen verilerdir ve bu nedenle gerçeği yansıtan değerlerdir. Ayrıca ortalama değerlerden pek fazla sapma olmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle ortalama değerin % 10'una eşit kabul edilen standart sapma değerleri de makul sayılabilir.
- Hazırlık sürelerinin 10 dakika civarında olduğu; ayrıca 5-7 dakika civarında veya 12-13 dakikaya yakın hazırlık sürelerinin gerçekleştiği belirtilmiştir. Benzetim modellerinde hazırlık sürelerinin ortalaması 10 dakika ve standart sapması 1 dakika olup, normal dağıldıkları varsayılmıştır. Söz konusu dağılım yukarıda belirtilen değerleri de kapsadığından hazırlık sürelerine dair varsayımlar da gerçeğe uygun sayılabilir.
- Firmada her zaman sabit bir parti büyüklüğü uygulaması yoktur. Sipariş büyüklüğüne eşit hacimde partilerle üretim yapılmaktadır. Ancak 50 adet parçadan oluşan bir parti için istisnaları içeren 1. benzetim modelinin imalat temin süresi sonuçlarının gerçekleşen temin sürelerine kıyasla oldukça düşük olduğu ifade edilmiştir. Bunun nedenleri, taşıma sürelerinin ihmal edilmesi ve işgörenlere modelde yer verilmemesi olabilir.



Şekil 7.6 Firmadaki Başlangıç Aşamasındaki Yerleşim Plânı



Şekil 7.7 Firmada TPA Algoritması Uygulandıktan Sonraki Yerleşim Plânı

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tez çalışmamızda düzensiz talep koşullarında melez üretim sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı için bir kavramsal model önerilmiştir. Aksiyomlarla tasarım (AD) sayesinde melez üretim sistemi tasarımına sistematik ve yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Öyle ki tasarımın fonksiyonel gereksinimleri tanımlanmış; bunlara yanıt vermek için uygulanması gereken tasarım parametreleri belirlenmiş ve fonksiyonel gereksinimler arasındaki bağımsızlık sağlanmıştır. Böylece tasarımda meydana gelebilecek deneme ve yanılmalarla zaman harcanmayıp, daha hızlı ve etkin bir tasarımın gerçekleştirilmesi için bir yol haritası önerilmiştir.

Ayrıca önerilen modelde düzensiz talebe doğru zamanda ve doğru ürün karışımını üreterek yanıt verebilmek için kısa temin süreleri ile üretim yapılması amaçlanmıştır. Bunun için de sistemin değer akışındaki gecikmelerin ortadan kaldırılarak, hücrelerde tek parça akışının sağlanması amaçlanmıştır. Tek parça akışı, temin sürelerini çarpıcı biçimde düşürmesine rağmen, şimdiye kadar bundan faydalanan bir tasarım yöntemine rastlanılmamıştır.

Tez çalışmamızın özgün diğer bir yönü de tek parça akışı algoritmasıdır. Bu yaklaşımda kümelendirme sonucu ortaya çıkan istisnai operasyonlar, alternatif makinelere yeniden atanarak akış sırasında meydana gelen gecikmeler yok edilmeye çalışılmaktadır. Söz konusu alternatif makineler, sistemde mevcut olan makinelerdir. İstisnai operasyonu alternatif makineye atama sırasında öncelikle ilgili parçanın ana hücresindeki alternatifler araştırılır. Bu nitelikte bir makine bulunamaması durumunda fonksiyonel alandaki makinelerde söz konusu operasyonun işlenip işlenemeyeceğine bakılır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen algoritmada bu alternatiflerin araştırılması ve uygun makinelere atama yapılması çeşitli kurallara bağlanmıştır. Tasarımcı bu kuralları sistematik bir biçimde izleyerek sistemi tasarlar. Ayrıca hücrelerin içerisinde akışın tek yönlü olması da tek parça akışı için gereklidir. Bu amaçla da Aneke ve Carrie'nin (1986) geliştirdiği yaklaşımdan yararlanılmıştır.

Bu aşamaya kadar kapasite göz önüne alınmaz. Sistem tek parça akışına uygun tasarlandıktan sonra kapasite yeterliliği için benzetim tekniğini temel alan bir kapasite kontrolü önerilmiştir. Böylece sistemde darboğazların varlığı araştırılır.

Darboğazları araştırırken hücredeki iş merkezlerinden hangisinin buna neden olduğu araştırılır. Ardından bu iş merkezinde hangi kaynağın gecikmelere yol açtığı belirlenir. İşte, bu aşamalar da AD metodolojisine dayanarak, kurallar çerçevesinde sistematik biçimde yürütülür.

Darboğaz kaynaklar belirlendikten sonra bunları yok etmek amacıyla çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Bunlar, en basitten en zora doğru uygulanarak sistemdeki akıştaki gecikmeler ortadan kaldırılabilir. Darboğaz sürecin alternatif makineye atanması, metot mühendisliği çalışmaları ile makine yeteneklerinin geliştirilmesi ve işi basitleştirecek şekilde parça tasarımında değişiklik yapılması bu önerilerden birkaçıdır. Bu önerilerin de AD prensiplerine dayanarak, öncelik sırasına göre uygulanması gereklidir. Bu öncelik ilişkisini çözümün basit veya zor olması belirler. En son çözüm olarak darboğazı yok etmek için üretim kaynağının seçilerek temin edilmesi gerekir. Bunu için de AD prensiplerini temel alan bir üretim kaynağı seçim prosedürü geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu metodoloji önce küçük bir örnek üzerinde denenmiştir. Ardından Akkardan A.Ş.'ne ait fabrikanın belirlenen bir biriminde yöntem uygulanmıştır. Uygulamanın yanında küçük örnek üzerinde çalışılmasının nedeni, oluşabilecek her türlü durumu bu örnek üzerinde sergilemektir. Oysa ki gerçek imalat ortamının kendine has şartları olduğundan çalışmamızda öngörülen her durumun bu ortamda meydana gelmemesi doğaldır.

Küçük örnek üzerinde kümelendirme, istisnai operasyonların önerilen yöntem ile yok edilmesi ve hücrelerde tek parça akışının sağlanması gibi aşamalar uygulanmıştır. Ayrıca benzetim ortamında tasarlanan sistemin temin süreleri ölçülmüş ve kapasite yeterliliği kontrol edilmiştir. Tasarlanan tek parça akışına uygun melez sistem ile parti tipi akışın olduğu melez yapı benzetim ortamında temin süresi bakımından kıyaslanmıştır. Sonuçta, tek parça akışının olduğu sistem çok daha iyi performans göstermiştir.

Akkardan'da yapılan uygulamada ise istisnai operasyonlar ortadan kaldırılmış ve hücrelerde tek parça akışının sağlandığı bir melez üretim sistemi tasarlanmıştır.

Ayrıca benzetim ortamında parti tipi akışın söz konusu olduğu melez sistem ile tek parça akışının uygulandığı melez sistem modellenmiştir. Tek parça akışı uygulanan sistemin temin süresinin diğer sisteminkinden çarpıcı bir biçimde düşük olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar, tez çalışmamızda önerdiğimiz yöntemin, sistemin temin süresini belirgin biçimde azalttığını göstermektedir. Bu nedenle, önerilen yönteme dayanarak tasarlanan melez sistemin, düzensiz talep koşullarına çok daha rahat biçimde yanıt verebileceği açıktır. Dolayısıyla tez çalışmamız amacına ulaşmıştır.

Gelecekte yapılabilecek çalışmalardan biri Melez üretim sistemlerinin bilgi içeriği bakımından kıyaslanarak en az bilgiyi gerektiren sistemin belirlenmesidir. Tasarımların sağlaması gereken fonksiyonel gereksinimler, tezde geliştirilen model kullanılarak belirlenir (Örneğin parti temin süresinin 10 saatin altında olması gibi). Tez çalışmasında kurulan tek parça akışına uygun melez sistem ile parti tipi akışın olduğu melez yapının, benzetim modelleri yardımıyla performansları ölçülmüştür. Bu bilgiler kullanılarak sözü edilen karşılaştırma, uygulama yapılan firma için gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşım geliştirilerek benzetim tekniği ile bütünleşik ve bilgi aksiyomunu temel alan melez sistem karşılaştırma ve seçim metodolojisi geliştirilebilir.

Halen önerilen AD ile melez üretim sistemi tasarım modeli, fonksiyonel bilgi sahası (İng.: functional domain) ile fiziksel bilgi sahası arasında haritalandırma ve bu sahalarda ayrıştırma yapmaktadır. Önerilen metodoloji süreç bilgi sahası için genişletilebilir.

Ayrıca tek parça akışı hakkında çok az sayıda çalışma yapıldığı ve bu konuya ağırlık verilmesi gerektiği Miltenburg tarafından da belirtilmiştir (Miltenburg, 2001). Bu ilkenin temin sürelerini azalttığı analitik olarak ispatlanabilir. Ayrıca tek parça akışının hücresel üretim sistemlerinde ve melez sistemlerde çeşitli uygulamaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

Aneke, N.A.G. and Carrie, A.S.,1986. A Design Technique for the Layout of Multi-product Flow Lines, *International Journal of Production Research*, **24(3),** 471-481.

Ang, C.L. and Willey. P.C.T., 1984. A Comparative Study of the Performance of Pure and Hybrid Group Technology Manufacturing Systems Using Computer Simulation Technique, *International Journal of Production Research*, **22(2)**, 193-223.

Babic, B., 1999. Axiomatic design of flexible manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, **37(5)**, 1159-1173.

Black, J.T. and Hunter, S.L., 2003. Lean Manufacturing Systems and Cell Design, Society of Mnufacturing Engineers, Dearborn, Michigan.

Burbidge, J. L., 1992. Change to group technology: process organization is obsolete, *International Journal of Production Research*, **30(5)**, 1209-1219.

Burgess A.G., Morgan, I. and Vollman, T.E., 1993. Cellular manufacturing: its impact on the total factory, *International Journal of Production Research*, **31(9)**, 2059-2077.

Chen, S.J., Chen, L.C. and Lin, L., 2001. Knowledge-based support for simulation analysis of manufacturing cells, *Computers in Industry*, **44,** 33-49.

Cochran, D.S., Arinez, J.F., Duda, J.W. and Linck, J., 2001/2002. A Decomposition Approach for Manufacturing System Design, *Journal of Manufacturing Systems*, **20(6)**, 371-389.

Cochran, D.S.and Dobbs, D.C., 2001/2002. Evaluating Manufacturing System Design and Performance Using the Manufacturing System Design Decomposition, *Journal of Manufacturing Systems*, **20(6)**, 390-404.

Cochran, D.S., Eversheim, W., Gerd, K. and Sesterhenn, M., 2000. The application of axiomatic design and lean management principles in the scope of production system segmentation, *International Journal of Production Research*, **38(6)**, 1377-1396.

Djassemi, M., 2005, A simulation analysis of factors influencing the flexibility of cellular manufacturing, *International Journal of Production Research*, **43(10),** 2101-2111.

Durmuşoğlu, M.B., 1988. Hücresel imalat sistemlerinin çalışma düzeni ve özellikleri, *Üretim Planlama ve Stok Kontrol Sistemleri Semineri***,** 8-9 Aralık, s. 1-25.

Friend, C.H., Swift, A.L. and Ghobbar, A.A., 2001. A Predictive cost model in lot-sizing methodology with specific reference to aircraft parts inventory: an appraisal, *Production and Inventory Management Journal*, **42(¾),** 24-33.

Gravel, M., Price, W. and Gagne, C., 2000. An interactive tool for designing manufacturing cells for an assembly job-shop, *International Journal of Production Research*, **38(2),** 309-322.

Harhalakis G., Minis, T.L. and Nagi, R., 1996. A Practical Method for Design of Hybrid-type Production Facilities, *International Journal of Production Research*, **34(4),** 897-918.

Hyer, N. and Wemmerlöv, U., 2002. Reorganizing the Factory: competing yhtorgh cellular manufacturing, Productivity Press, Portland.

Ioannou, G., 2006. Time-phased creation of hybrid manufacturing systems. International Journal of Production Economics, **102**, 183-198.

Kang. S.L. and Wemmerlov. U., 1993. A workload oriented heuristic methodology for manufacturing cell formation allowing reallocation of operations, *European Journal of Operational Research*, **69**, 292-311

Kher, H.V. and Jensen, J.B., 2002. Shop Performance Implications of Using Cells, Partial Cells, and Remainder Cells, *Decision Sciences*, **33(2),** 161-190.

Kulak, O., 2003. Hücresel Üretim Sistemlerinin Tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerine Dayalı Bütünsel Bir Yöntem, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kulak, O., Durmuşoğlu, M. B. and Tüfekçi, S., 2005. A complete cellular manufacturing system design methodology based on axiomatic design principles, *Computers & Industrial Engineering*, **48**, 765-787.

Kulak, O. and Kahraman, C., 2005. Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach, *International Journal of Production Economics*, **95**, 415-424.

Mahesh, O. and Srinivasan, G., 2003. Pilot cell formation problem to minimize total work content, *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications And Practice*, **10 (3),** 298-307.

Mahesh, O. and Srinivasan, G., 2002. Incremental cell formation considering alternative machines, *International Journal of Production Research,* **40(14)**, 3291-3310.

Mahdavi, I., Rezaeian, J., Shanker, K. and Amiri, Z.R., 2006. A set partitioning based heuristic procedure for incremental cell formation with routing flexibility, *International Journal of Production Research,* **44(24)**: 5343-5361.

Miller, J., 2007. Ten Reasons Why One Piece Flow will not Work, çalışma makalesi.

Miltenburg, J., 2001. One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial, *IIE Transactions*, **33**, 303-321.

Miltenburg, J. and Montazemi, A.R., 1993. Revisiting the cell formation problem: assigning parts to production systems, *International Journal of Production Research*, **31(11),** 2727-2746.

Monden, Y., 1993. Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in Time, Enginering&Management Press, Georgia.

Murthy, V.R. and Srinivasan,G., 1995. Fractional Cell formation in Group Technology, *Internatinal Journal of Production Research*, **33(5)**, 1323-1337.

Nagi, R., Harhalakis, G. and Proth, J.M., 1990. Multiple routeings and capacity considerations in group technology applications, *International Journal of Production Research,* **28(12),** 2243-2257.

Needy, K.L., Billo, R. and Warner, R.C.,1998. A Cost Model for the Evaluation of Alternative Cellular Manufacturing Configurations, *Computers & Industrial Engineering*, **34(1),** 119-134.

Seifoddini, H., 1989. Single Linkage versus Average Linkage Clustering in Machine Cells Formation Applications, *Computers and Industrial Engineering*, **16(3)**, 419-426.

Seifoddini, H. and Djassemi, M., 1997. Determination of a flexibility range for cellular manufacturing systems under product mix variations, *International Journal of Production Research*, **35(12)**, 3349-3366.

Shafer, S.M. and Kern, G.M., Wei, J.C.,1992. A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements in CM, *International Journal of Production Research*, **30(5)**, 1029-1036.

Shafer, S. and Bradford, J.W., 1995. Efficiency Measurement of Alternative Machine Component Grouping Solutions via Data Envelopment Analysis, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **42(2)**, 159-165.

Shambu,G. and Suresh, N.C., 2000. Performance of Hybrid Cellular Manufacturing Systems: A Computer Simulation Investigation, *European Journal of Operational Research*, **120**, 436-458.

Suh, N.P., 1990**.** The Principles of Design, Oxford University Press, New York.

Suh, N. P., 2001. Axiomatic Design: Advances and Applications, Oxford University Press, New York.

Suresh, N.C., 1991. Partitioning Work Centers for Group Technology: Insights from an Analytical Model, *Decision Sciences*, **22**, 772-791.

Tapping, D., Luyster, T. and Shuker, T., 2001. Value stream management : eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements, Productivity Press, New York.

Venkataramanaiah, S. and Krishnaiah, K., 2002. Hybrid Heuristic for Design of Cellular Manufacturing Systems, *Production Planning & Control*, **13(3)**, 274-283.

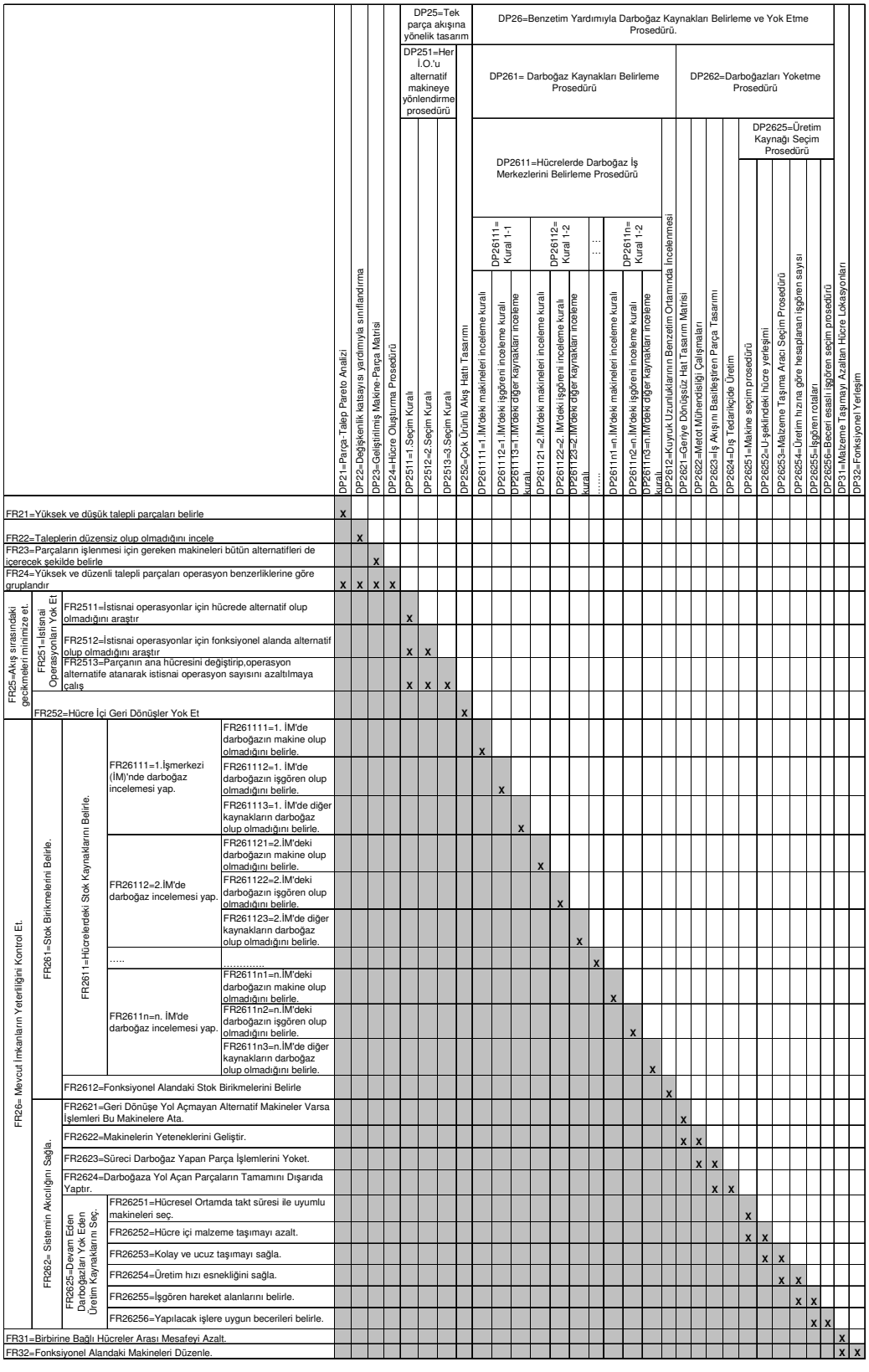
Viguier, F. and Pierreval, H., 2004. An approach to the design of a hybrid organization of workshops into functional layout and group technology cells, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **17(2)**, 108-116.

Wu, N. and Salvendy, G., 1999. An efficient heuristic for the design of cellular manufacturing systems with multiple identical machines, *International Journal of Production Research*, **37(15)**, 3519-3540.

Tablo A-1. Uygulamada İncelenen Parçaların Talep Verileri

Parça No	Ortalama	Standart sapma	Değişkenlik Katsayısı	Talep Yüzdesi	Birikimli Yüzde
75	79,567	33228.24	0.4176	0.2627	0.3665
6	31,465	7713.16	0.2451	0.1039	0.4596
74	28,194	14305.08	0.5074	0.0931	0.5467
26	26,380	10597.63	0.4017	0.0871	0.5865
14	12,069	4609.28	0.3819	0.0398	0.6263
5	12,051	4367.53	0.3624	0.0398	0.6615
16	10,679	12737.11	1.1928	0.0352	0.6908
51	8,860	3401.67	0.3839	0.0292	0.7200
63	8,854	2741.36	0.3096	0.0292	0.7421
76	6,690	3527.38	0.5273	0.0221	0.7639
31	6,598	1269.57	0.1924	0.0218	0.7836
24	5,979	6045.76	1.0112	0.0197	0.8025
7	5,738	1720.56	0.2999	0.0189	0.8209
22	5,552	3718.23	0.6698	0.0183	0.8354
33	4,387	1573.36	0.3586	0.0145	0.8493
47	4,236	4080.88	0.9633	0.0140	0.8618
13	3,787	1890.37	0.4992	0.0125	0.8720
15	3,086	2084.17	0.6754	0.0102	0.8816
23	2,892	1955.61	0.6763	0.0095	0.8903
61	2,652	3344.35	1.2612	0.0088	0.8991
4	2,647	1065.88	0.4026	0.0087	0.9075
27	2,569	917.38	0.3571	0.0085	0.9160
19	2,568	1693.87	0.6597	0.0085	0.9228
17	2,051	1918.38	0.9356	0.0068	0.9275
73	1,418	781.60	0.5511	0.0047	0.9318
77	1,313	735.95	0.5605	0.0043	0.9358
2	1,201	397.93	0.3313	0.0040	0.9397
12	1,180	1601.42	1.3574	0.0039	0.9432
1	1,059	525.71	0.4962	0.0035	0.9466
10	1,033	1642.18	1.5903	0.0034	0.9495
80	878	293.39	0.334	0.0029	0.9520
44	773	499.91	0.647	0.0026	0.9544
8	728	426.85	0.58616	0.0024	0.9568
52	727	725.19	0.9982	0.0024	0.9591
36	703	485.42	0.69065	0.0023	0.9614
37	690	502.29	0.72848	0.0023	0.9636
18	646	166.48	0.25762	0.0021	0.9656
32	620	157.58	0.25399	0.0020	0.9676
34	605	440.70	0.72859	0.0020	0.9695
94	584		0	0.0019	0.9714
40	564	255.44	0.45304	0.0019	0.9731
62	510	508.62	0.9973	0.0017	0.9746
42	461	514.24	1.1167	0.0015	0.9761
35	451	347.56	0.77137	0.0015	0.9775
48	439	436.04	0.994	0.0014	0.9789
45	421	375.81	0.89195	0.0014	0.9802
54	388	99.23	0.25607	0.0013	0.9815
88	385		0	0.0013	0.9827
81	364	157.09	0.43157	0.0012	0.9838
56	346	326.30	0.94216	0.0011	0.9849
86	334		0	0.0011	0.9858
28	273	93.96	0.34365	0.0009	0.9867

29	271	150.59	0.55597	0.0009	0.9876
78	266	176.37	0.66304	0.0009	0.9885
57	262	317.15	1.21282	0.0009	0.9893
79	259	79.53	0.30668	0.0009	0.9901
25	252		0	0.0008	0.9909
65	239		0	0.0008	0.9916
50	212	150.47	0.70978	0.0007	0.9923
95	198		0	0.0007	0.9928
58	172	230.04	1.3394	0.0006	0.9934
38	154	103.77	0.67527	0.0005	0.9938
46	140	173.19	1.23416	0.0005	0.9943
83	135	201.82	1.49223	0.0004	0.9947
43	135	21.21	0.15713	0.0004	0.9951
92	128		0	0.0004	0.9955
39	117	88.55	0.76011	0.0004	0.9959
106	115		0	0.0004	0.9962
30	92	53.88	0.58654	0.0003	0.9965
105	79		0	0.0003	0.9967
101	75		0	0.0002	0.9969
9	70	72.03	1.02907	0.0002	0.9972
3	69	18.15	0.26174	0.0002	0.9974
20	59	56.88	0.97236	0.0002	0.9975
67	55		0	0.0002	0.9977
93	52		0	0.0002	0.9979
72	49	80.00	1.64388	0.0002	0.9980
53	46	29.45	0.64023	0.0002	0.9982
66	42		0	0.0001	0.9983
71	42	37.07	0.88973	0.0001	0.9984
84	40		0	0.0001	0.9986
97	40		0	0.0001	0.9987
96	35		0	0.0001	0.9988
87	32		0	0.0001	0.9989
68	30		0	0.0001	0.9990
69	30		0	0.0001	0.9991
98	30		0	0.0001	0.9992
100	30		0	0.0001	0.9993
89	26		0	0.0001	0.9994
70	26	36.06	1.41421	0.0001	0.9994
99	25		0	0.0001	0.9995
102	21		0	0.0001	0.9996
82	20		0	0.0001	0.9996
90	20		0	0.0001	0.9997
55	17	9.19	0.55711	0.0001	0.9997
49	16	22.72	1.41973	0.0001	0.9998
85	15		0	0.0000	0.9998
103	15		0	0.0000	0.9999
104	15		0	0.0000	0.9999
91	12		0	0.0000	1.0000
11	6	9.38	1.56347	0.0000	1.0000
21	5		0	0.0000	1.0000
59	5	7.07	1.41421	0.0000	1.0000
60	2	2.12	1.41421	0.0000	1.0000
64	0			0.0000	1.0000
41	1	1.41	1.41421	0.0000	1.0000



Şekil B.1. Melez Üretim Sistemi'nin AD ile Tasarımı için Genişletilmiş Tasarım Matrisi

Şekil B-2. Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin Açık Adaptör Parçalarını İçeren Kısmı

Makineler	AÇIK ADAPTÖR																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1																											
2																											
3																											
4																											
5	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
6																											
7	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)	50(8)														
8														50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)	50(7)
9	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)	10(10)														
10														10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)	10(9)
11	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)	20(12)														
12														20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)	20(11)
13																											
14																											
15																											
16																											
17																											
18																											
19																											
20																											
21	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
22																											
23	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
24	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
25																											
26																											
27	30	30	30		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
28																											
29																											
30																											
31																											

Şekil B-3. Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin Fren Diski Parçalarını İçeren Kısmı

| Makineler | FREN DİSKİ | | |

Makineler	AKS YATAK MUYLUSU												
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
1					10								
2					10								
3					20								
4		30	30	30	30	30	30	30	30	40	30		30
5													
6	60(5)												
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15	10(16)	10(16)	10(16)	10(16)		10(16)	10(16)	10(16)	10(16)	10(16)	10(16)	10(16)	10(16)
16	20(15)	20(15)	20(15)	20(15)		20(15)	20(15)	20(15)	20(15)	20(15)	20(15)		20(15)
17													
18													
19													
20												20	
21	40											30	
22													
23													
24													
25													
26										30			
27	30												
28													
29													
30													
31													

Şekil B-4. Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin Aks Yatak Muylusu Parçalarını İçeren Kısmı

Makineler	ZF																						
	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6	80	70	70	70	80	80	70	70	70	80	70	70	70	80	80	80	80	70	70	70	70	80	20
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
19	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
20	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
21	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
22																							
23																							
24																							
25																							
26	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
27																							
28																							
29																							
30	70	60	60	60	70	70	60	60	60	70	60	60	60	70	70	70	70	60	60	60	60	70	10
31	60				60	60				60				60	60	60	60					60	

Şekil B-5. Uygulama için Oluşturulan Geliştirilmiş Makine Parça Matrisi'nin ZF Parçalarını İçeren Kısmı

Makineler \ AÇIK ADAPTÖR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1																											
2																											
3																											
4																											
5	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2	1.2	1.2	1.2	1.2
6																											
7	2.6	2.6	2.6	2.6	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
8														3	3	3	3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	4	2.6	2.6	2.6	2.6
9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.1	3	3	3	3	3	3	3	3														
10														3	3	3	3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	6.5	3.2	3.2	3.2	3.2
11	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1														
12														2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	5	2.1	2.1	2.1	2.1
13																											
14																											
15																											
16																											
17																											
18																											
19																											
20																											
21	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.1	0.5	0.5	1.1	0.5
22																											
23	2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	2.5	2.5	2.5	2.5
24	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
25																											
26																											
27	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5		
28																											
29																											
30																											
31																											

Şekil B-6 Açık Adaptör Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi

Şekil B-7. Fren Diski Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi

| Makineler | FREN DİSKİ | | |

	Akas Yatak Muylusu											
	72	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**	**82**	**83**
	30000106000	30000106100	30000106200	30000106300	30000106400	30000106500	30000106900	30000107800	30000107900	30000108500	31142702300	30000110900
1				4								
2				4								
3				1.5								
4	2.1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	4	4.5	1.5	1.5		1.5
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15	12	4	4.1		4	6	4	4	4	4	6	4.1
16	11	1.5	1.5		1.5	1.5	1.5	3	1.5	1.5		1.5
17												
18												
19												
20											13	
21											3.5	
22												
23												
24												
25												
26									30			
27												
28												
29												
30												
31												

Makineler

Şekil B-8. Aks Yatak Muylusu Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi

Makineler		84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
		30000112900	30000113000	30000113100	30000113200	30000113300	30000113400	30000113500	30000113600	30000113700	30000113800	30000113900	30000114000	30000114100	30000114200	30000114300	30000114400	30000114500	30000114600	30000114700	30000114800	30000114900	30000115000	30000115800
	1																							
	2																							
	3																							
	4																							
	5																							
	6	1.5	2.5	2.5	2	1.5	2.5	2.5	2.5	2	2	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2
	7																							
	8																							
	9																							
	10																							
	11																							
	12																							
	13																							
	14																							
	15																							
	16																							
	17																							
	18	5	10	1	5	5	10	16	10	5	5	16	10	10	5	5	5	5	5	16	16	16	16	
	19	2	3.5	3.5	2	2	3.5	3.5	3.5	2	2	3.5	3.5	3.5	2	2	2	2	2	3.5	3.5	3.5	3.5	
	20	1.8	3	3	2	1.8	3	3	3	2	2	3	3	3	1.8	1.8	2	2	1.8	3	3	3	3	
	21	1.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	3	
	22																							
	23																							
	24																							
	25																							
	26	4	3	6	3	2	3	6	3	3	3	6	3	3	2	2	3	3	2	6	6	6	6	
	27																							
	28																							
	29																							
	30	4.5	3.5	3.5	3	3	1.7	3.5	3.5	3	3	1.8	1.8	1.8	3	1.5	1.5	1.5	1.5	3.5	3.5	3.5	3.5	1.5
	31	2.5				2.5	2.5				2.5				2.5	2.5	2.5	2.5					2.5	

Şekil B-9. ZF Parçaları için İşlem Süreleri Matrisi

ÖZGEÇMİŞ

Şule Itır Satoğlu, 1979 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1996 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2000 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Mühendislik Yönetimi yüksek lisans programına başladı. 2001 yılında bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı.
Yüksek lisans tezinde "Yalın Üretim Olgunluk Düzeyinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi Üzerine bir Saha Analizi" konulu tezini tamamlayarak 2002 yılında yüksek lisans çalışmalarını tamamladı.
2002 yılında aynı bölümde doktora programına başladı. 2004 yılında İTÜ Rektörlüğü Genç Araştırmacıları Destekleme Programı'ndan yararlanarak beş ay süreyle State University of New York, at Buffalo'da melez üretim sistemleri hakkında araştırmalarda bulundu.
Şule Itır Satoğlu özellikle hücresel üretim sistemleri, yalın üretim, faaliyet tabanlı maliyetlendirme, aksiyomlarla tasarım ve benzetim konuları ile ilgilenmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.