

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜTÜNLEŞİK İMALAT ORTAMLARINDA ÜRÜN  
AĞACI YAPISININ İMALAT PERFORMANSI  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Endüstri Yük. Müh. İhsan Hakan SELVİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İ. Hakkı CEDİMOĞLU**

**Haziran 2011**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜTÜNLEŞİK İMALAT ORTAMLARINDA ÜRÜN  
AĞACI YAPISININ İMALAT PERFORMANSI  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

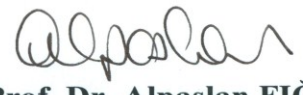
**Endüstri Yük. Müh. İhsan Hakan SELVİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 13/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

  
**Prof. Dr. Güneş GENÇYILMAZ**  
Jüri Başkanı

  
**Prof. Dr. Örfan TORKUL**  
Üye

  
**Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI**  
Üye

  
**Prof. Dr. Ümit KOCABIÇAK**  
Üye

  
**Prof. Dr. İsmail Hakkı CEDİMOĞLU**  
Üye

## ÖNSÖZ

Öncelikle çalışmalarımnda her türlü katkıyı sağlayan, tezin oluşmasında ve sonuçlandırılmasında beni yönlendiren, sıkıntılı anlarımda destek olan ve beni cesaretlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı CEDİMOĞLU'na ne kadar teşekkür etsem azdır.

Tez çalışmam sürecinde engin bilgi ve deneyimleriyle çalışmanın şekillenmesinde önemli katkılar sağlayan tez izleme hocalarım, Sayın Prof. Dr. Orhan TORKUL ve Prof. Dr. Ümit KOCABIÇAK'a da çok teşekkür ederim.

Çalışmam süresince bana her türlü desteği veren Sayın Yrd. Doç. Dr. Tijen ÖVER ÖZÇELİK, Yrd. Doç. Dr. Alper GÖKSU ve Yrd. Doç. Dr. Tuğba TUNACAN başta olmak üzere, bütün mesai arkadaşlarıma çalışma boyunca sağladıkları sabırlı ve anlamlı destekleri için, çalışmanın benzetim programının kodlanması aşamasında benimle birlikte gece gündüz demeden çalışan Baran KAYNAK'a ve burada adını sayamadığım desteklerini hep hissettiğim tüm sevdiklerime de teşekkür ederim.

Son olarak uzun ve zahmetli doktora süreci boyunca desteklerini ve güvenini benden esirgemeyen başta bütün aileme teşekkür eder ve saygılarımı sunarım. Ayrıca sıkıntılı anlarımda sabırlı bir şekilde yanımda duran, her türlü desteğini esirgemeyen, moral ve motivasyon sağlayan sevgili eşim Gülsüm Didem'e özellikle teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	2
1.2.1. Akış tipi / Kitlesele üretim.....	3
1.2.2. Sürekli yada süreç tipi üretim sistemi.....	4
1.2.3. Proje tipi üretim.....	4
1.2.4. Atölye tipi üretim.....	5
1.2.5. Hücresele üretim veya karma Üretim.....	6
1.3. Üretim Sistem Tasarımı ve Uygun Üretim Sistemi Seçimi.....	8
1.4. Üretim Planlama ve Kontrol.....	8
1.5. Üretim Planlama ve Kontrol Faaliyetlerinde Malzeme Yönetimi.....	10
1.6. Malzeme Yönetimi ve Üretim Kontrol Mekanizmaları.....	10
1.6.1. İtme sistemleri.....	11
1.6.2. Çekme sistemleri.....	18
1.6.3. Melez sistemler.....	21
1.7. Üretim Tipleri.....	24
1.8. Tezin Amacı.....	25

1.9. Tezin Düzenlenmesi .....	26
<b>BÖLÜM 2.</b>	
<b>LİTERATÜR TARAMASI .....</b>	<b>27</b>
2.1. Giriş .....	27
2.2. MİP ve Sınırlı Kapasite Çizelgeleme .....	29
2.3. Çizelgeleme .....	35
2.3.1. Üretim çizelgeleme ve çizelgeleme problemi .....	37
2.3.2. Genel atölye tipi çizelgeleme .....	39
2.3.3. Sınırlı kapasite çizelgeleme çalışmaları .....	40
2.3.4. Gerçek zamanlı çizelgeleme .....	45
2.4. Sonuç .....	51
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>GERÇEK ZAMANLI SINIRLI KAPASİTE ÜRETİM PLANLAMA ve</b>	
<b>KONTROL YAKLAŞIMI .....</b>	<b>53</b>
3.1. Önerilen Modelin Tanımlanması .....	54
3.2. Gerçek Zamanlı Sınırlı Kapasite Üretim Planlama ve Kontrol	
Yapısı .....	54
3.2.1. Sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme .....	54
3.2.2. İleri doğru çizelgeleme ve teslim tarihi tespiti .....	61
3.2.3. Gerçek zamanlı çizelgeleme .....	67
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>BENZETİM VE YAPAY SINIR AĞI İLE MODELLEME .....</b>	<b>69</b>
4.1. Giriş .....	69
4.2. Benzetim .....	69
4.2.1. Benzetimin faydaları .....	70
4.2.2. Benzetimin dezavantajları .....	71
4.2.3. Benzetim modelleri .....	72
4.3.4. Benzetim elemanları .....	73
4.3.5. Benzetimin uygulama alanları .....	74
4.3. Düşünsel Atölye Sistemi .....	75

4.3.1. Düşünsel atölye sistemi benzetim modeli .....	75
4.3.2. Benzetim modelinde kullanılan varsayımlar .....	76
4.4. Benzetim Modelinin İşleyişi .....	76
4.4.1. Ürün ağaçlarının oluşturulması .....	76
4.4.2. Rotaların oluşturulması .....	77
4.4.3. Hazırlık zamanları ve operasyon zamanlarının belirlenmesi .....	78
4.4.4. Nihai ürün siparişlerinin oluşturulması .....	78
4.4.5. Teslim tarihinin tespit edilmesi .....	80
4.4.6. Siparişin planlanması ve çizelgelenmesi .....	81
4.4.7. Öncelik kuralları .....	82
4.4.8. İş emri kontrol sıklığı .....	83
4.5. Deneysel Tasarım .....	83
4.6. Performans Ölçütleri .....	83

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR .....	85
5.1. Giriş .....	85
5.2. Benzetim Çalışmaları Sonucunda Elde Edilen Başarı Ölçütlerinin Değerlendirilmesi .....	86
5.2.1. Ürün ağacı yapıları açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi .....	86
5.2.2. Öncelik kuralları açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi .....	92
5.2.3. k sabiti değeri açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi .....	96
5.2.4. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi .....	101
5.2.5. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi .....	107
5.2.6. Ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi .....	112
5.3. İstatistiksel Analizler .....	123

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	132
6.1. Giriş.....	132
6.2. Bulgular.....	137
6.3. Katkılar.....	138
6.4. Gelecek Çalışması.....	139
KAYNAKLAR.....	141
EKLER.....	149
ÖZGEÇMİŞ.....	181

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AÜÇ	Ana üretim çizelgesi
AZk	K. Siparişe ait akış zamanı
AZort	Ortalama akış zamanı
BN	Benzetim numarası
$d_i$	Teslim zamanı
EETZ	En erken teslim zamanı
$e_i$	Rassal sayı
EİS	Esnek imalat sistemi
EKİS	En kısa işlem süresi
EUİS	En uzun işlem süresi
GT	Grup teknolojisi
H	Hammadde
İ	İmal edilen ürün
İGİS	İlk gelen ilk servis alır
İKP	İmalat kaynakları planlaması
k	Teslim tarihi belirlemede kullanılan sabit değer
K	Toplam sipariş sayısı
KİP	Kapasite ihtiyaç planlaması
KKP	Kurumsal kaynak planlaması
KKS	Kanban kontrol sistemi
MGC	Melez gerşye doğru çizelgeleme
MİP	Malzeme iktiyaç planlaması
N.Ü <sub>i</sub>	Nihai ürün
OAZ	Ortalama sipariş akış zamanı
OKU	Ortalama kuyruk uzunluğu
OSİS	Ortamala süreç içi stok



OSKO	Ortalama sipariş karşılama oranı
OTKO	Ortalama tezgah kullanım oranı
OTZ	Ortalama sipariş tedarik zamanı
$p_i$	İşin toplam işlem süresi
PM	Üretilecek parça miktarı
RAS	Rassal
$r_i$	İşin geldiği zaman
SAB	Sabit
SGİS	Son gelen ilk servis alır
$SİS_t$	t zamanındaki toplam süreç içi stok miktarı
$SKO_{ort}$	Ortalama sipariş karşılama oranı
t	Benzetimin t. Zamanı
T	Toplam benzetim zamanı
$TBS_K$	t anında i. Tezgahta işlenmekte olan veya kuyruğunda beklemekte olan k. Siparişin tamamlanması için gerekli süre
$T_{ha}$	Hazırlık zamanı
$TİS_{ik}$	t anında i. Tezgahta işlenmekte olan k. Siparişe ait işlerin tamamlanması için kalan süre
TİY	Toplam iş yükü
$TKS_{ik}$	t anında i. Tezgahın kuyruğunda beklemekte olan k. Siparişe ait işlerin süresi
$T_{op}$	Operasyon süresi
$T_s$	Dinamik tedarik süresi
TSS	Teslim edilen sipariş sayısı
$TZ_K$	K. Siparişe ait tedarik zamanı
$TZ_{ort}$	Ortalama tedarik zamanı
TZÜ	Tam zamanında üretim
ÜPK	Üretim planlama ve kontrol
Y.Ü	Yarı ürün
YSA	Yapay sinir ağları

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Akış tipi üretim sisteminin şematik görünüşü.....	3
Şekil 1.2.	Sürekli veya süreç tipi üretim sistemi.....	4
Şekil 1.3.	Proje tipi üretim sistemi.....	4
Şekil 1.4.	Atölye tipi üretim sisteminin şematik görünüşü.....	5
Şekil 1.5.	Atölye tipi üretimde işlem süresi bileşenleri.....	6
Şekil 1.6.	Hücreyel imalat yerleşimi.....	6
Şekil 1.7.	Üretim sistemi tipleri.....	7
Şekil 1.8.	(A) İtme ve (B) Çekmek Sistemi Yapısı.....	11
Şekil 1.9	Kapalı döngü MRP Sistemi.....	14
Şekil 1.10	İmalat Kaynakları Planlaması Yapısı.....	17
Şekil 1.11	Conwip yapısının işleyişi.....	22
Şekil 1.12	POLCA Kartı Örneği.....	23
Şekil 1.13	POLCA Sisteminin İşleyişi.....	23
Şekil 2.1.	İleri doğru çizelgeleme.....	28
Şekil 2.2.	Geriye doğru çizelgeleme.....	29
Şekil 2.3.	Bir üretim sistemindeki bilgi akışı.....	36
Şekil 3.1.	Örnek Ürün Ağacı.....	56
Şekil 3.2.	Örnek ürün geriye doğru çizelgeleme.....	58
Şekil 3.3.	Sınırlı Kapasite Geriye doğru Çizelgeleme Algoritması Akış Şeması.....	60
Şekil 3.4.	İleri Doğru Çizelgeleme Algoritması Akış Şeması.....	66
Şekil 3.5.	Gerçek Zamanlı Planlama ve Çizelgeleme Akış Şeması.....	68
Şekil 4.1.	Düz, uzun ve karışık ürün yapı örnekleri.....	77
Şekil 4.2.	Teslim tarihi atama yöntemleri.....	79
Şekil 4.3.	Örnek ürün ağacı (2).....	81
Şekil 5.1.	Ürün ağacı yapıları açısından sipariş karşılama oranları.....	88

Şekil 5.2.	Ürün ağacı yapıları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları .....	88
Şekil 5.3.	Ürün ağacı yapıları açısından ortalama sipariş akış zamanları ..	89
Şekil 5.4.	Ürün ağacı yapıları açısından ortalama süreç içi stok .....	89
Şekil 5.5.	Ürün ağacı yapıları açısından ortalama kuyruk uzunlukları .....	90
Şekil 5.6.	Ürün ağacı yapıları açısından ortalama tezgah kullanım oranları .....	90
Şekil 5.7.	Öncelik kuralları açısından sipariş karşılama oranları .....	92
Şekil 5.8.	Öncelik kuralları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları ..	93
Şekil 5.9.	Öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanları .....	93
Şekil 5.10.	Öncelik kuralları açısından ortalama süreç içi stok .....	94
Şekil 5.11.	Öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunlukları .....	94
Şekil 5.12.	Öncelik kuralları açısından ortalama tezgah kullanım oranları ..	95
Şekil 5.13.	k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları .....	97
Şekil 5.14.	k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları .....	97
Şekil 5.15.	k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları .....	98
Şekil 5.16.	k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok .....	98
Şekil 5.17.	k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunlukları .....	99
Şekil 5.18.	k sabiti değeri açısından ortalama tezgah kullanım oranları .....	99
Şekil 5.19.	Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından sipariş karşılama oranları .....	101
Şekil 5.20.	Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları .....	102
Şekil 5.21.	Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanları .....	102
Şekil 5.22.	Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama anlık süreç içi stok .....	103
Şekil 5.23.	Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunlukları .....	103
Şekil 5.24.	Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama tezgah kullanım oranları .....	104

Şekil 5.25. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları.....	107
Şekil 5.26. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları.....	108
Şekil 5.27. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanları.....	108
Şekil 5.28. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok.....	109
Şekil 5.29. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunlukları.....	109
Şekil 5.30. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama tezgah kullanım oranları.....	110
Şekil 5.31. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları.....	112
Şekil 5.32. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları.....	113
Şekil 5.33. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları.....	113
Şekil 5.34. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları.....	114
Şekil 5.35. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları.....	115
Şekil 5.36. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları.....	115
Şekil 5.37. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları.....	116
Şekil 5.38. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları.....	117
Şekil 5.39. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları.....	117
Şekil 5.40. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok.....	118

Şekil 5.41.	Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok.....	118
Şekil 5.42.	Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok.....	119
Şekil 5.43.	Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk adedi.....	120
Şekil 5.44.	Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk adedi.....	120
Şekil 5.45.	Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk adedi.....	121
Şekil 5.46.	Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları.....	121
Şekil 5.47.	Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları.....	122
Şekil 5.48.	Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları.....	122

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Ürün ağacı özellikleri.....	76
Tablo 4.2.	Operasyon süreleri dağılımı.....	78
Tablo 4.3.	Sipariş bilgileri.....	80
Tablo 5.1.	Benzetim çalışmalarında kullanılan sipariş sayıları.....	85
Tablo 5.2.	Düz Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları.....	86
Tablo 5.3.	Ürün Ağacı yapılarına göre ortalama başarı ölçütleri.....	91
Tablo 5.4.	Ürün Ağacı yapılarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri.....	91
Tablo 5.5.	Ürün Ağacı yapılarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	92
Tablo 5.6.	Öncelik kurallarına göre ortalama performans değerleri.....	95
Tablo 5.7.	Öncelik Kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri.....	95
Tablo 5.8.	Öncelik Kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	96
Tablo 5.9.	k Sabiti değerine göre ortalama performans değerleri.....	100
Tablo 5.10.	k Sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri.....	100
Tablo 5.11.	k Sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	101
Tablo 5.12.	Ürün ağacı yapıları ve öncelik kurallarına göre ortalama performans değerleri.....	105
Tablo 5.13.	Ürün ağacı yapısı * öncelik kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri.....	106

Tablo 5.14.	Ürün ağacı yapısı * öncelik kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	106
Tablo 5.15.	Ürün ağacı yapısı * k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri.....	110
Tablo 5.16.	Ürün ağacı yapısı * k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	111
Tablo 5.17.	Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	111
Tablo 5.18.	Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri.....	124
Tablo 5.19.	Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri.....	125
Tablo 5.20.	Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri.....	126
Tablo 5.21.	Ürün ağacı yapısı * öncelik kuralları * k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri.....	127
Tablo 5.22.	Ürün ağacı yapısı * öncelik kuralları * k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri.....	127
Tablo 5.23.	Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ürün ağacı yapılarının karşılaştırılması.....	128
Tablo 5.24.	Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre öncelik kurallarının karşılaştırılması.....	129
Tablo 5.26.	Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre k sabiti değişken değerlerinin karşılaştırılması.....	130

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: malzeme ihtiyaç planlaması, sınırlı kapasite çizelgeleme, gerçek zamanlı planlama ve çizelgeleme, bütünleşik imalat, ileri doğru çizelgeleme, geriye doğru çizelgeleme

Küresel rekabet nedeniyle, ürünlerin yaşam döngüsü kısalmış, müşteri istek ve beklentileri artmış, düşük maliyetli ve zengin ürün çeşitliliği arzu edilmeye başlanılmıştır. Bu nedenlerden dolayı geleneksel olarak fazla üretilip stoklanarak müşteri isteklerinin karşılanması fikrinden uzaklaşmaktadır.

Malzeme ihtiyaç planlaması kullanılmaya başlandığı 70'lerden günümüze kadar üretim işletmeleri için öncelikler değişmiştir. Önceleri üretmek önemliken şimdilerde istenilen zamanda, istenilen fiyatta, istenilen kalitede ürün üretimi önem kazanmıştır. Bu nedenle müşteri beklenti ve isteklerini karşılayabilmek için işletmeler yeni arayışlara ve modern üretim planlama ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur.

Çok aşamalı ve çok çeşitli ürün üreten işletmelerin küresel rekabet ortamında rakipleri ile rekabet edebilmesi için gerçek zamanlı bir üretim planlama ve çizelgeleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle işletmelerin sahip olacağı sağlıklı bir üretim planlama ve kontrol yapısı sayesinde, maliyetlerin düşmesine, müşteri siparişlerinin karşılanma oranının yükselmesine, gerçekçi bir teslim tarihi elde edilmesine, gelecek planlamalarının etkin bir şekilde yapılmasına imkan sağlayacak gerçek zamanlı sınırlı kapasite üretim planlama ve kontrol yapısı önerilmiş ve önerilen sistem üç farklı ürün ağacı yapısı, beş farklı öncelik kuralı ve teslim tarihinin belirlenmesi için kullanılan üç farklı k sabiti değeri kullanılarak geliştirilen benzetim ortamında test edilmiştir.

Geliştirilen benzetim modelinde üç bağımsız değişken girdi olarak kullanılmış ve altı farklı performans ölçütünün sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlar, çok değişkenli varyans analizi ile test edilmiştir. Yapılan test ve değerlendirme sonucunda ürün ağacı yapısı bağımsız değişkeninin tek başına ve diğer bağımsız değişkenlerle beraber imalat performansı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Geliştirilen yapının siparişe üretim yapan, çok seviyeli montaj ve imalat işlemlerinin beraber yürütüldüğü bütünleşik imalat ortamlarında başarı ile uygulanabileceği düşünülmektedir.



# **BILL OF MATERIALS EFFECT ON MANUFACTURING PERFORMANCE IN AN INTEGRATED MANUFACTURING ENVIRONMENT**

## **SUMMARY**

Keywords: material requirements planning, finite capacity scheduling, real time planning and scheduling, integrated manufacturing, forward scheduling, backward scheduling

Due to global competitiveness, life cycle of products have been shortened, low costed and rich product varieties have been demanded. For this reason, the idea of production to make stock for customer demand has been eliminated.

Material requirement planning has been using since 1970's. Nowadays, priorities of companies have been changed dramatically. Previously production was an important subject, whereas production on-time, on-demand, good quality and low priced products have been ground. For this reason, to satisfy customer needs and demands, companies investigated new methods and production control systems.

Companies which produced multi stage and multi variety products need real time production planning and scheduling system. For this reason, companies which have good production planning and control systems, proceed low cost, satisfaction of customer demand, realistic due dates, and finite capacity planning and control systems. In this thesis, 3 different product structures, 5 different priority rules, and 3 different k constants for determining due dates have been developed to use in simulation software systems.

In the developed simulation model, 3 independent variables has been used as input and evaluated with results of 6 different performance criteria. Results obtained have been tested with multiple variable variance analysis. After testing and evaluating, independent variables of product structures has an effect on manufacturing performance as single and other dependent variables.

Structure developed for this work has been considered as a successful environment. Experimental results have been obtained in make-to-order environment and multi stage assembly and manufacturing operations in integrated manufacturing environment.

# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Giriş**

Üretim en genel ifadeyle; mal, hizmetlerinin oluşturulması ve gerçekleştirilmesidir. Bir diğer ifadeyle ekonomik bir anlam taşıyan her hangi bir şeyi oluşturmak için gerçekleştirilen faaliyete “üretim” adı verilmektedir (Soba, 2006).

“Mühendisler üretimi, belirli bir fiziksel varlık üzerinde onun değerini artıracak bir değişiklik yapmayı ya da hammadde ve yarı ürün niteliğindeki maddeleri, bir ürün haline dönüştürme olarak tanımlamaktadırlar” (Tekin, 2005).

Üretim; insanoğlunun gereksinimlerini karşılayan mal ve hizmetlerin sağlanmasını, gerçekleştirilmesini ifade eden ekonomik bir kavramdır. Aynı zamanda üretim fikirsel ve bedensel faaliyetlerin sonucunda katma değer oluşturulmasıdır. Üretimsel işlemler; üretim sistemini ve bileşenlerinde hammadde, işgücü, enerji, bilgi, makina ve sermayedir. Bu bileşenlerin kullanılmasıyla müşterilerin gereksinimleri karşılanmaktadır (Groover, 1987, Özkırım, 2006).

“Sistem; belirli parçalardan (alt birimlerden, alt sistemlerden) oluşan, bu parçalar arasında belirli ilişkiler olan ve bu parçalarla dış çevre ilişkisi bulunan bir bütün olarak tanımlanır.” Bir başka ifadeyle; bir bütün oluşturacak şekilde bir araya gelen, aralarında düzenli ilişkiler bulunan öğelerdir (Tekin, 2005).

Üretim sistemi; işgücü, hammadde, bilgi, enerji, sermaye gibi girdilerin belirli bir dönüştürme sürecinden geçirilerek mal veya hizmetin üretildiği sistemdir (Tekin, 2005).

Teknolojik gelişimler tarih boyunca birçok şeyin değişmesine neden olmuştur. 1764 yılında James Watt, buhar makinesini icat ettiğinde, bu döneme kadar ki en önemli teknolojik gelişim ve devrim gerçekleştirilmiştir. Buhar makinesinin icadı 1. Endüstri Devrimini simgelerken aynı zamanda da insan gücüyle buhar gücü yer değiştirmiştir. Üretim, insanoğlunun sınırlı iş kapasitesinin üstüne çıkmış, kalite de bununla doğru orantılı olarak gelişmiştir. Bu dönemde, ilk defa buhar enerjisi ile çalışan makineler kullanılmış ve ilk atölye tipi üretim kavramı ortaya çıkmıştır (Soba, 2006, Çelebi, 2004).

Endüstri devriminden günümüze kadar üretim sistemleri üç önemli aşama geçirmiştir. Bunlardan birincisi, endüstri devrimi sonrasında işgücünün yoğun ve ustalık yetkinliğine dayalı olduğu, makineleşmenin az ve siparişe dayalı üretimin ağırlıklı olduğu sistemdir. İkincisi ise, 20. Yüzyıl başlarında yüksek adetli üretimi mümkün kılan seri üretim dönemidir. Son olarak 3. Aşama, 1970'li yıllardan sonra geliştirilen ürün çeşitliliğinin geniş olduğu, çeşitlendirilmiş üretim, esnek üretim, tam zamanında üretim (TZÜ) vb. isimlerle ifade edilen gelişmiş veya ileri üretim sistemleridir. Özellikle son yıllarda, bilişim teknolojileri sayesinde artan küresel rekabet nedeniyle gelişmiş ülkelerde, parti tipi (yığın) üretim gerçekleştiren pek çok firma rekabet yeteneğini güçlendirmek için üretim sistemlerini yenilemekte ve ileri imalat teknolojilerini kendi üretim sistemlerine uygulamaya gayret sarf etmektedir (Soba, 2006, Özkırım, 2006).

## **1.2. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması**

Üretim sistemlerinin sınıflandırılması; süreç seçimi açısından oldukça önemli olduğu ve üretim stratejilerini belirlerken, işletmenin genel anlamda atölye tipi üretim sistemine mi, parti tipi üretim sistemine mi, tekrarlı üretim sistemine mi yoksa sürekli üretim sistemine mi sahip olması gerektiği belirtilmiştir (Öztürk, 2006).

Üretim sistemleri; farklı bakış açılarından farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Koku (2008) üretim sistemlerini üç sınıfa ayırmıştır (Koku, 2008). Bunlar;

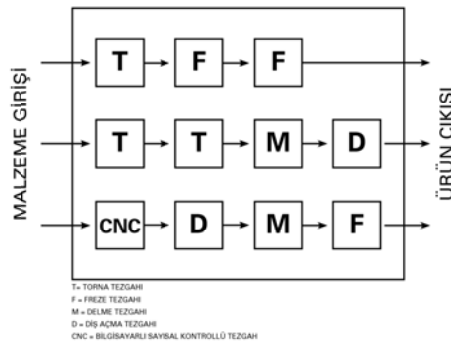
- Üretim Akışı
- Ürün Cinsi
- Ürün Miktarına veya Akışına göredir.

Literatürde farklı kaynaklara göre; makine ve donanımın işletmenin fiziksel yerleşimine göre beş temel üretim sistemi belirlenmiştir. Bu nedenle; üretim sistemleri beş farklı sınıfta ele alınmaktadır (Soba, 2006, Özkırım, 2006).

- Akış tipi üretim veya kitlesel üretim,
- Sürekli veya süreç tipi üretim sistemi,
- Proje tipi üretim,
- Atölye tipi üretim,
- Hücresel veya karma üretimdir.

### 1.2.1. Akış tipi / kitlesel üretim

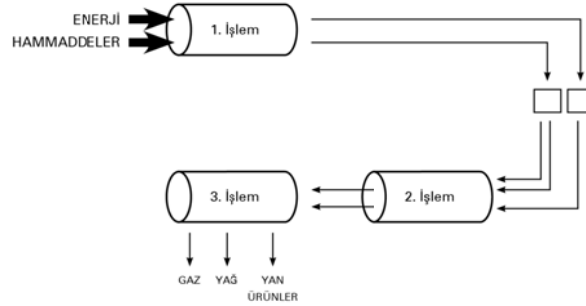
Akış tipi üretimde, üretilecek tek ya da az sayıdaki benzer ürünün üretimi için farklı özelliklere sahip makinalar belirli bir hat boyunca yerleştirilir. Akış tipi üretimde, yüksek üretim oranlarına ve düşük maliyete sahip ürünler üretilir. Müşteri tarafından istenilen ürünü üretmek ve yüksek üretim hacimlerini elde etmek amacıyla, özel makinalar kullanılır. Genellikle bu tür makinalar pahalı olduğu için, yatırım maliyetlerini dengelemek amacıyla yüksek hacimde ürün üretilmelidir. Şekil 1.1'de akış tipi üretim şematik olarak görülmektedir. Bu tip üretimde, makinalar tek hat boyunca sıralandığı için ürünlerin geri dönüşüne izin verilmez. Bu yüzden, iş akışı basit ve süreç içi envanter seviyesi düşüktür (Özkırım, 2006, Çelebi, 2004).



Şekil 1.1. Akış tipi üretim sisteminin şematik görünüşü

### 1.2.2. Sürekli yada süreç tipi üretim sistemi

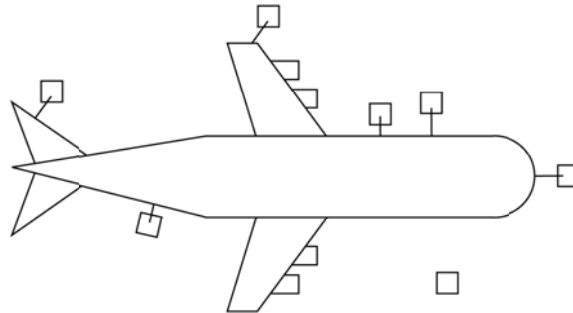
Bu tip üretimde ürünler Şekil 1.2 'de görüldüğü gibi çeşitli işlemlerden geçerek ve üretim sistemi içinde akışı ile üretilir. Sürekli/Süreç tipi üretim özellikle kimyasal üretim gerçekleştiren tesislerde ve petrol rafinerinde görülmektedir (Özkırım, 2006).



Şekil 1.2. Sürekli veya süreç tipi üretim sistemi

### 1.2.3. Proje tipi üretim

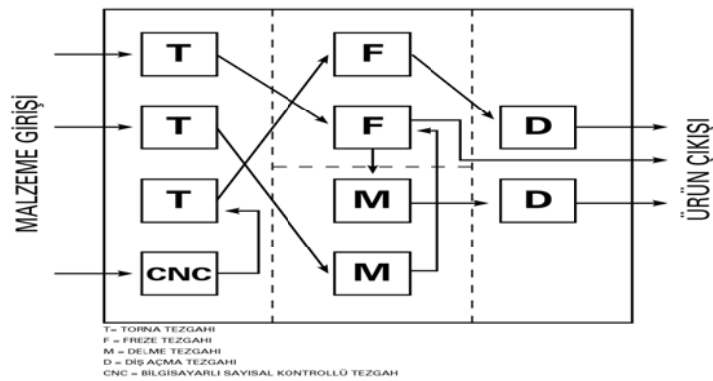
Proje tipi üretim; genellikle uçak, baraj ve gemi gibi çok büyük ürünlerin üretiminde uygulanır. Üretim işlemlerini yerine getirebilmek için parçaların makinalar arasında hareket ettiği diğer üretim sistemlerinden farklı olarak proje tipi üretimde, ürün sabittir fakat malzeme, donanım ve işgücü ürünün çevresine getirilerek üretim gerçekleştirilir. Şekil 1.3'de proje tipi üretim şematik olarak görülmektedir. Proje tipi üretim sisteminde, üretim işlemleri projeden projeye farklılık arz eder. Bu nedenle, tek seferlik üretim olarak da bilinmektedir (Özkırım, 2006, Çelebi, 2004).



Şekil 1.3. Proje tipi üretim sistemi

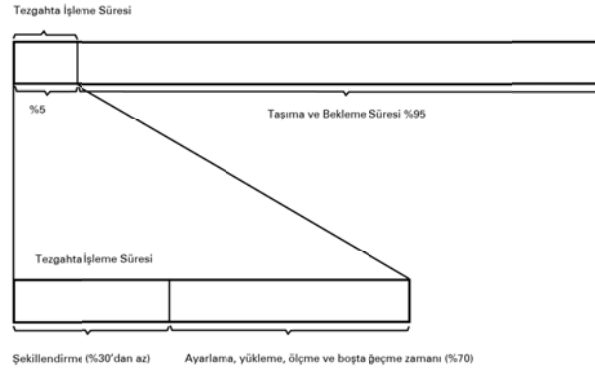
### 1.2.4. Atölye tipi üretim

Bu sistemlerde küçük partiler (yığınlar) halinde, çok çeşitli sayıda ürün üretilir. Ürün çeşitliliği geniş olduğu için oldukça esnek bir üretim tipidir. Atölye tipi üretimde makineler gerçekleştirdikleri işlemlere göre gruplar halinde düzenlenir. Bu düzende; torna tezgahları, freze tezgahları, taşlama tezgahları gibi tezgahlar ayrı ayrı gruplar halinde toplanır. Şekil 1.4’de Atölye tipi üretim sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu düzenleme şekli fonksiyonel/işlevsel düzenleme olarak da bilinmektedir. Atölye tipi üretimin bir alt grubu olarak bilinen üretim atölyeleri ise elli (50) ile ikiyüz (200) parçadan oluşan yüksek hacimli partileri düzenli aralıklarla üretilir. Büyük atölye tipi üretim sistemlerini yönetmek oldukça zorlaştığı için iş akış süreleri uzar ve üretim içi envanter düzeyi yükselir (Özkırım, 2006).



Şekil 1.4. Atölye tipi üretim sisteminin şematik görünüşü

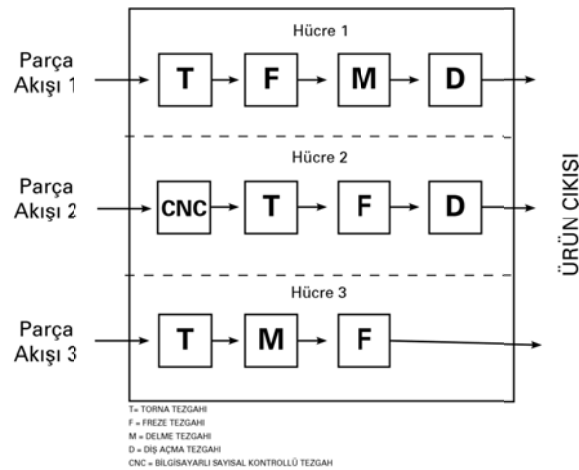
Atölye tipi üretimde; Şekil 1.5’ de görüldüğü gibi, parça akış sürelerinin %95 gibi oldukça önemli bir kısmı kuyrukta bekleme ile tezgahlar arası taşıma süreleri olarak, geri kalan zamanın %5 gibi küçük bir kısmı ise makine üzerindeki işlem süreleri için harcanır. Ayrıca, parçanın makine üzerinde işlenmesi sırasında geçen %5 düzeyindeki akış süresinin % 30 ile % 40 gibi bir kısmı gerçek üretim için kullanılır ve geri kalan sürenin %60 ile %70 gibi bir bölümü de yükleme, boşaltma, kontrol, ayar, hazırlık gibi faaliyetleri için harcanır. Dolayısı ile atölye tipi üretimde verimli olarak kullanılabilen süre akış süresinin %1,5 ile %2 düzeyindeki bir kısımdır (Özkırım, 2006, Çelebi, 2004, Askin, 1993).



Şekil 1.5. Atölye tipi üretimde işlem süresi bileşenleri

### 1.2.5. Hücresel üretim veya karma üretim

Hücresel üretim; çoğu zaman grup teknolojisi kavramı ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Grup teknolojisi (GT); parçaların, tasarım ve imalat benzerliklerine göre parça aileleri biçiminde gruplanması esasına dayanır. Hücresel imalat ise oluşturulan parça ailelerinin imalat işlemlerini gerçekleştirecek makinaların hücreler biçiminde gruplandırılarak yığın tipi üretimi, küçük partiler halinde üreten, üretim aşamalarını kolaylaştırarak modernleştirmeye çalışan yeni bir yaklaşımdır. Bu sistemler, daha büyük endüstrilerin kurulmasına imkan sağlamıştır. Şekil 1.6' da Hücresel imalat sistemi şematik olarak gösterilmiştir (Çelebi, 2004, Aktürk, 2000).



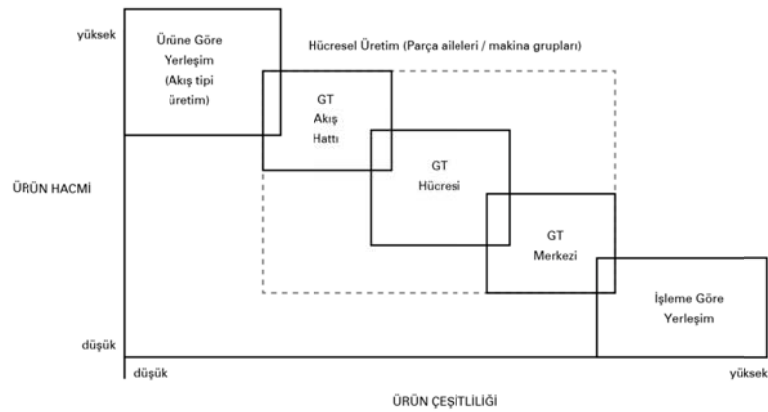
Şekil 1.6. Hücresel imalat yerleşimi

Herhangi bir imalat ya da hizmet işletmesi açıklanan sınıflardan birine ya da bir kaçına dahil olabilir. İşletmelerin pek çoğunda yukarıda bahsedilen birkaç üretim tipinin yer alması mümkündür. Mevcut üretim sistemlerinin birçoğu literatürde

bahsedilen beş farklı sınıflandırma kapsamında birbiri ile etkileşimli alt sistemler şeklinde bir araya getirilerek oluşan karma/melez sistemlerdir (Özkırım, 2006, Kobu, 2008).

Bir işletmenin üretim tipinin belirlenmesi isteniyorsa, toplam katkısı en fazla olan üretim tipinin seçilmesi yerinde olmaktadır. İşletme büyüklüğü; üretim tipi ve Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK) faaliyetlerini etkilemesi üzerinde durmakta fayda vardır. Ancak, öncelikle işletme büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılacak ölçütler belirlenmelidir. Bir işletmenin büyüklüğü; çalıştırdığı personeli, yatırımlarının değeri, üretilen malın miktarı, yıllık gelir gibi ölçütlerden biri veya birkaçının birlikte ele alınması ile saptanır. İşletme büyüdükçe üretim planlama ve kontrol üst fonksiyonlarda yerine getirilir ve ileri düzeyde planlama teknikleri ve iletişim teknolojilerinin kullanılması zorunlu hale gelir. Bütün bu farklılaşmaya rağmen, işletme büyüklüğünün üretim tipini doğrudan etkilediği söylenememektedir. Küçük işletmelerin daha çok siparişe yönelik üretim gerçekleştirmeleri söz konusu olmakla birlikte, kitlesel ve akış tipi üretim yapan küçük işletmelerde yadsınamayacak kadar çoktur (Kobu, 2008).

Üretim hacmi ve ürün çeşitliliğine bağlı olarak seçilebilecek üretim sistemi tipleri Şekil 1.7’de görülmektedir (Özkırım, 2006).



Şekil 1.7. Üretim sistemi tipleri



### 1.3. Üretim Sistem Tasarımı ve Uygun Üretim Sistemi Seçimi

Üretim sistem tasarımı ve geliştirilmesi birçok faktörün birlikte ele alınmasını gerektiren karmaşık bir süreçtir. Üretim sistemi seçiminde, üretilecek ürün için gerekli işlemler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, bilgisayar sistemlerinde olduğu gibi üretim sistemi teknolojisini de donanım ve yazılım olarak iki kısımda ele almak gerekmektedir. Dolayısıyla üretim sistem tasarımı ile ilgili kararlar aşağıdaki verildiği gibi iki genel karar grubunda ele alınabilir (Özkırım, 2006):

- Makina yükleme, parti hacmi belirleme ve iş sıralama gibi kontrol yapısının tasarımı ile ilgili kararlar: bu kararlar sistemin yazılım kısmını oluşturur ve tam zamanında üretim, malzeme ihtiyaç planlaması, parti periyod kontrolü, optimum üretim tekniği, işe göre yük gönderme ile toplam kalite yönetimi gibi üretim yönetimi tekniklerini kapsamaktadır.
- Donanım seçimi ile fiziksel yerleşimin tasarımı için gerekli kararlar; bu kararlar sistemin yapılandırılması için gerekli malzeme taşıma donanımı, makine donanımı ve iletişim donanımı gibi elemanların belirlenmesi ile fonksiyonel (işlevsel) düzenleme, ürüne göre düzenleme ve karma düzenleme gibi sistem donanımı yerleşim şekilleri ile ilgilidir.

### 1.4. Üretim Planlama ve Kontrol

Planlama, yönetim fonksiyonlarında önceliklidir. Bir işletmede planlama olmadan ne uygulama ne de kontrol faaliyetleri yerine getirilebilir. Planlama faaliyetleri sayesinde belirlenen zaman dilimlerinde nereye ulaşılacak istendiği ve oraya nasıl ulaşılabileceğinin önceden belirlenmesi amaçlanmaktadır. Kısaca planlama herhangi bir konu ile ilgili olarak ne, ne zaman, nasıl, nerede, kim tarafından, neden hangi kaynak ve maliyetle ve hangi sürede sorularına cevap vermeye yönelik çalışmaları kapsar (Koçel, 2007).

Planlama sürecinde rekabet durumu, hükümet politikaları, ekonomik düzenlemeler, talep, hammaddelerin bulunabilirliği, fason üreticilerin kapasitesi gibi dış faktörler kontrol altında tutulamazken, mühendislik çalışmaları, finansal durumlar, iş gücü,

verimlilik, tesis kapasitesi, pazarlama faaliyetleri, malzeme yönetimi gibi iç faktörler belirli bir oranda kontrol altında tutulabilir. Örneğin, malzeme yönetiminde etkin yöntemler kullanılarak stoklar kontrol altına alınabilir (Koçak, 2007).

Üretim kontrolü, üretim planlarının gerçekleştirilmesi için plansal faaliyetler üzerinde gerçekleştirilir. Atölye düzeyinde kontrol faaliyetleri; programlama, uygulama ve kontrol olmak üzere üç grupta toplanabilir (Sevinç, 2002).

Programlama; siparişlerin zamanında tamamlanmalarını sağlayacak şekilde iş merkezleri arasındaki akışın planlamasını sağlar. Bu amaçla yerine getirilmesi gerekli faaliyetler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Üretim için malzeme, takım/teçhizat, işgücü ve bilgi gibi girdilere gerektiği anda ulaşılmasını sağlanması,
- Üretilmesi planlanan her bir siparişin, her iş merkezi için başlama ve tamamlanma zamanlarının programlanmasıdır.

Uygulama; üretim programları hazırlandıktan sonra, bu programların uygulanabilmesi için atölyelere iletilmeleri gerekir. Bunun gerçekleştirilmesi de genellikle iş emirleri aracılığı ile sağlanır. Belli bir siparişin üretilmesi için, gerekli kapasite ve gerekli malzemenin mevcut olması veya gerektiğinde temin edilebilir olmasıdır. Aynı zamanda da bu siparişin üretilmek üzere atölyeye aktırılması gerekir. Bu nedenle üretim kontrolde malzeme yönetimi büyük öneme sahiptir.

Kontrol; programların hazırlanması ve iş emirlerinin atölyeye iletilmesinden sonra, üretim sırasında da sürecin izlenmesi gerekir. Düzeltici ve önleyici bir faaliyet gerekip gerekmediğinin belirlenmesi için bu aşamada elde edilen verilerin planlanan programlarla karşılaştırılmalıdır. Bu aşamada, gerçekleştirilecek faaliyetler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Siparişlerin izlenerek hazırlanan programlarla karşılaştırılması ve hazırlanan programlardan sapmalar söz konusuysa düzeltici önlemler alınması,

- Yarı mamul stoklarının, temin sürelerinin ve iş merkezlerinde oluşan beklemlerin izlenerek denetlenmesi,
- İş merkezlerinden elde edilen, verimlilik düzeyleri, işlem süreleri ve hatalı üretim bilgilerinin derlenmesidir.

Özetle; üretim planlama ve kontrol, üretim programı ve planının saptanıp uygulamaya konulması için gerekli iş emirlerinin çıkarıldığı ve üretimin plana göre kontrolünün sağlanması amacıyla verilerin toplanıp, kaydedilmesidir. Üretim planlama ve kontrol olmaksızın işletmeler yüksek verimlilik düzeyine ulaşamazlar. İyi bir planlama ve kontrolün sağlanması için, işyerinde yapılan işlerin planlanması, işlerin ne kadar zaman alacağı, yapılacak işlere ne zaman başlanıp, ne zaman bitirileceğinin saptanması gerekir. Ayrıca, makine ve donanım kapasitelerinin, işler için gerekli malzeme ihtiyaçlarının belirlenmesi, toplam kalite yönetimi uygulanması ve gerçekleştirilen işlerin her zaman kontrol edilerek planlarla karşılaştırılması gerekmektedir (Koçak, 2007).

### **1.5. Üretim Planlama ve Kontrol Faaliyetlerinde Malzeme Yönetimi**

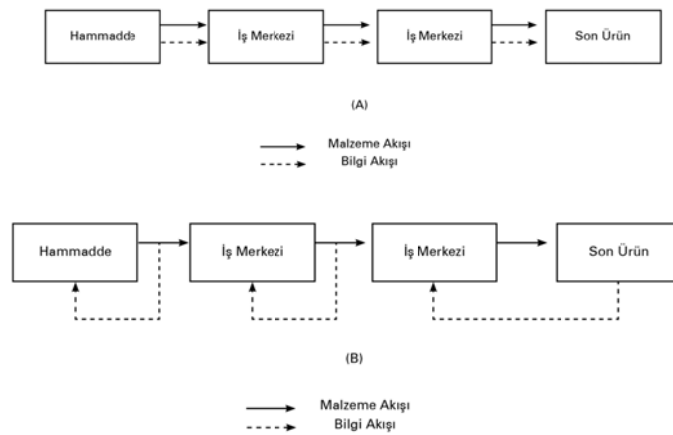
İşletme amaçlarına ulaşmada önemli bir yere sahip olan üretim planlama ve kontrol sürecinin başarısı, ilk olarak üretim sürecinin gerçekleştirilmesi için gerekli hammadde, yarı mamul ve parça gibi malzemelerin sağlanmasına bağlıdır. Dolayısıyla, üretim planlama ve kontrol faaliyetlerinde malzeme yönetimi önemli bir gerçektir. Malzeme yönetimi; üretimde kullanılacak malzemelerin elde edilmesiyle atölye düzeyinde planlama ve kontrol arasındaki çevrimde yerine getirilen faaliyetler bütünü olarak tanımlanabilir. Ayrıca, malzeme yönetimi, nihai ürünün depolanması, taşınması ve dağıtılması gibi faaliyetleri de içermektedir. İşletmelerde malzeme yönetimi; üretim planlama/kontrol, satın alma ve fiziksel dağıtım olmak üzere üç temel fonksiyondan oluşmaktadır (Koçak, 2007).

### **1.6. Malzeme Yönetimi ve Üretim Kontrol Mekanizmaları**

Üretim sistemlerinde malzeme yönetimi; itme ve çekme olmak üzere iki temel kontrol stratejisinden hareketle yerine getirilir. Malzeme planlama ve kontrol

stratejileri ise; itme, çekme ve itme/çekme sistemlerinin değişik özelliklerini birleştirerek çalışan melez sistemler olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. İtme ve çekme sistemleri arasındaki fark iş emirlerinin iş istasyonlarına ulaştırılması şeklinden kaynaklanmaktadır (Koçak, 2007, Ağlan, 2009).

İtme ve çekme sistemlerinin, malzeme yönetiminde kullanılan ilkeleri, malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) ve kanban sistemlerinin stok kontrol teknikleri olduğu unutulmamalıdır. Başka bir ifadeyle, itme ilkesine göre çalışan bir üretim sisteminde malzeme ihtiyaç planlaması sistemi kullanılacağı anlamına gelmemektedir. Şekil 1.8 'de itme ve çekme sistemlerinin temel çalışma prensipleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.8. (A) İtme ve (B) Çekmek Sistemi Yapısı

### 1.6.1. İtme sistemleri

İtme sistemleri; malzeme ihtiyaç planlaması veya daha gelişmiş olan imalat kaynakları planlaması özdeşleşmiş sistemlerdir (Ağlan, 2009, Grosfeld-Nır, 2000).

İtme sistemlerinde üretim süreçleri daima bir sonraki sürecin ihtiyacını karşılayacak şekilde üretim gerçekleştirir. Bu tip sistemlerde, üretim süreçlerinden birinde oluşan bir sorun ya da talep dalgalanmalarından kaynaklanan bir değişikliğe hızlı uyum sağlamak kolay olmaz. İtme sistemlerinde ancak süreçler arasında stok bulundurarak değişikliklere uyum sağlanır. Bu nedenle, itme sistemlerinde yüksek ara stoklarından

kaçmak mümkün değildir. İtme sistemlerinde üretim için gerekli olan ham madde ve malzemeler nihai ürün tamamlanana kadar üretim süreci içerisinde itilir (Koçak, 2007, Acar, 1997).

İtme sistemi talep tahminlerine dayanan bir sistemdir. Gelecekteki talep için yapılan tahminlerden ve müşteri siparişlerinden yola çıkılarak genellikle haftalık bazda hazırlanan ana üretim çizelgesine, ürün ağacında yer alan bileşenlere göre iş emirleri veya satın alma emirleri üretilir. İş emirleri atölyeye verilirken, iş parçaları sonraki işlemin durumuna bakmadan atölye boyunca itilir (Göksu, 2006).

### **Malzeme ihtiyaç planlaması**

Malzeme İhtiyaç Planlaması, son ürün için hazırlanmış Ana Üretim Çizelgesi (AÜÇ) ya da müşteri siparişlerini, kullanılan hammadde ve parçaların temini için ayrıntılı bir programa dönüştürmeye yönelik işlemsel teknikler topluluğudur. Satış, ana üretim çizelgesi, ürün ağacı, satın alma siparişleri, süreç içi stok ve temin süreleri arasında fonksiyonel bir denge oluşturmaktadır. Bu denge, üretim ile ilgili üret ya da satın alma, gönderme ya da depolama, kapasitenin azaltılması ya da artırılması ile ilgili konularda karar vermeye yardımcı olmaktadır (Ağlan, 2009, Aydın, 2009).

Malzeme ihtiyaç planlaması; temin sürelerinin sabit ve iş istasyonlarının sonsuz kapasitede olduğunu kabul etmektedir. Malzeme temin süreleri mevcut iş yükünün bir fonksiyonu olduğu için gerçekçi olmayan bir kabuldür. Bu durumda uygulanması mümkün olmayan çizelgeleri oluşturmakta, malzeme ihtiyaç planlaması için önemli bir olumsuzluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Malzeme ihtiyaç planlamasının ya da itme sistemlerinin güçlü tarafı, sadece yakın gelecekte talep edilecek olan ürünlerin malzeme edinimi ve üretim emirlerinin çizelgelenmesini sağlamaktadır. MİP sisteminde atölye düzeyinde parti büyüklükleri, imalat süreleri, hazırlık zamanları, israf oranları gibi parametreler belirlenerek sabit kabul edilir. Ancak atölye düzeyinde bütün parametreler her zaman sabit değildir. Sürekli değişken bir ortamda parametrelerin doğru tahmin edilmesi oldukça güçtür (Koçak, 2007, Ağlan, 2009).

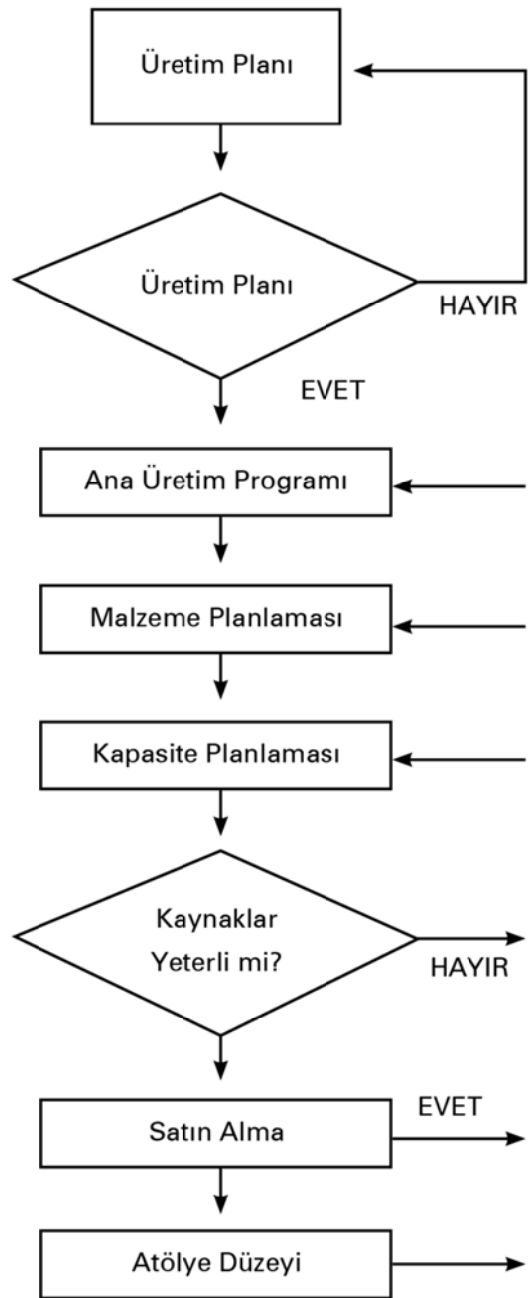
### **Malzeme ihtiyaç planlama sistemin işleyişi**

İşletmelerde bağımsız talebe sahip son ürün ihtiyacının ortaya çıkmasından sonra, onu oluşturan parça ve unsur ihtiyaçlarının miktar ve zaman olarak programlanması mümkündür. Bu amacı karşılamak için ilk olarak son ürün ihtiyacının, hammadde, parça, alt montaj ve montaj gruplarına olan ihtiyaca dönüştürülmesi gerekir. Sonra stokta bulunan ve siparişi verilmiş, ancak teslim alınmamış malzemeler, bu ihtiyaç rakamlarından düşülür. Net ihtiyaçların belirlenmesinden sonra ihtiyaçların olduğu tarihten geriye gidilerek gerekli miktarda parça ve unsurları satın almak veya üretmek için harekete geçme zamanları kolaylıkla belirlenebilir. Bu süreç, geriye doğru çizelgeleme olarak da adlandırılmaktadır. Geriye doğru çizelgeleme, atölyelerde bulunan her bir iş istasyonunda bir operasyonun en geç başlama zamanını hesaplamaktadır. Her bir operasyonun en geç başlama zamanı bir sonraki operasyonun sabit tahmini temin süresinin dengelenmesi ile elde edilmektedir. Geri çizelgeleme oluşturulduktan sonra parçalar için üretim emri verilmektedir. İlgili parçanın operasyonu tamamlanınca bu parçalar bir sonraki aşamaya itilir. Geri çizelge oluşturulduktan sonra üretim emirleri parçalara doğru itilir. Operasyonlar tamamlandıktan sonra parçalar diğer iş istasyonlarına doğru itilir. Bu işlemden sonra her iş istasyonu geri çizelgeden gelen öncelik kuralına göre önündeki parçaları işlemeye başlar (Koçak, 2007, Ağlan, 2009).

Bir MİP sisteminin işletilmesiyle temelde iki çıktı meydana gelmektedir. Bunlar; üretim için ihtiyaç duyulan malzemelerin satın alma siparişleri ve üretim için iş emirleridir. Planlama düzeyinde çeşitli avantajlara sahip olan MİP sisteminin atölye düzeyinde kontrolde çeşitli araçları olmasına rağmen MİP'nın atölye düzeyinde yine de yetersiz kaldığı görülmektedir. MİP sisteminde değişken bir ortamda atölye düzeyinde programlama yapılırken en kötü durum göz önüne alınarak imalat süreleri uzun tutulmaktadır. Bu durum imalat süresinin uzamasına, imalatın erken bitmesi durumunda ise son ürün stoklarının artmasına neden olmaktadır (Koçak, 2007).

MİP sistemi; kapalı döngü şeklinde çalışan bir planlama sistemidir. Şekil 1.9'da kapalı döngü MİP sistemi açıklanmıştır. Buna göre, uzun vadeli olarak yapılan satış ve işlemler planlamasının gerçekleştirilmesi için üretim planı, ana üretim programı

ve kapasite planlaması yapılır. Daha sonra, malzeme ihtiyacı belirlenerek satın alma ve atölye düzeyinde faaliyetler gerçekleştirilir. Kapalı döngü MIP sisteminde tüm bu faaliyetler gerçekleştirilirken kontrol sağlamak için bir geri besleme mekanizması bulunmaktadır. Buradaki planlama ve uygulama fonksiyonları birleştirilerek kontrol sağlanır. Başka bir deyişle, uygulamadan planlamaya bir geri besleme ortamı sağlanmaktadır (Koçak, 2007).



Şekil 1.9 Kapalı döngü MRP Sistemi

Kapalı döngü çalışan MİP sisteminin işleyişi, atölye düzeyinde meydana gelen aksaklıkların oluşumundan daha yavaş meydana gelmektedir. Atölye düzeyinde bu problemlerin çözümü için MİP sistemi haftalık ya da günlük olarak işletilmelidir (Koçak, 2007).

### **MİP kısıt ve eleştirileri**

MİP sisteminin uygulanabilmesi için, öncelikle varsayımlarının gerçekleştirilmesi gerekir (Ağlan, 2009, Kabadurmuş, 2008, Watson, 1993, Asal, 2009)

- MİP yaklaşımı, başlıca son ürün-parça ilişkisine dayalı üretim sistemlerine uygulanabilir. Son ürünler ana üretim planında ifade edilebiliyorsa, MİP sistemi verimli bir şekilde uygulanabilir.
- MİP sisteminde bilgisayar kullanımı bir gerekliliktir; ürün yapısı montaj bazlı olduğundan, ürün ağacı ve stok durumu verilerinin hazırlanarak yazılıma girilmelidir.
- Doğru ve geçerli bir ana üretim planının olması MİP'nin sağlıklı çalışabilmesi için mutlak bir zorunluluktur.
- Veri bütünlüğü ve doğruluğu sağlanmalıdır. Güvenilir olmayan stok ve işlem verileri, iyi planlanmış bir MİP sisteminin çalışmasını etkilemektedir.
- MİP, bilgi yoğunudur ve bir yönetim bilişim sistemi veya merkezi planlama bölümünün idaresini gerektirir. Planlamacılar, MİP verisine güvenmek yerine, yerel bilgiye daha fazla güvenmektedir.
- Doğru kayıtların tutulabilmesi için, personelin eğitilmesi gereklidir.
- MİP, üretim ortamının sabit olduğunu, temin sürelerinin sabit olduğunu varsayar. Atölyelerde temin süresi rassaldır ve sistem tıkanıklığına veya yükleme derecesine dayalı olarak değişir.
- Bütün değişkenlikleri kapsayacak şekilde şişirilmiş temin sürelerinin dikkate alındığı durumda, MİP geriye doğru bir çizelgeleme yaklaşımı olduğundan, işler daha önce üretilmek üzere imalat sistemine gönderilir. Erken gönderme sonucunda da, imalat sisteminde iş yükü ve süreç içi stok artar, hammadde gereğinden önce sipariş edilmektedir. Aynı



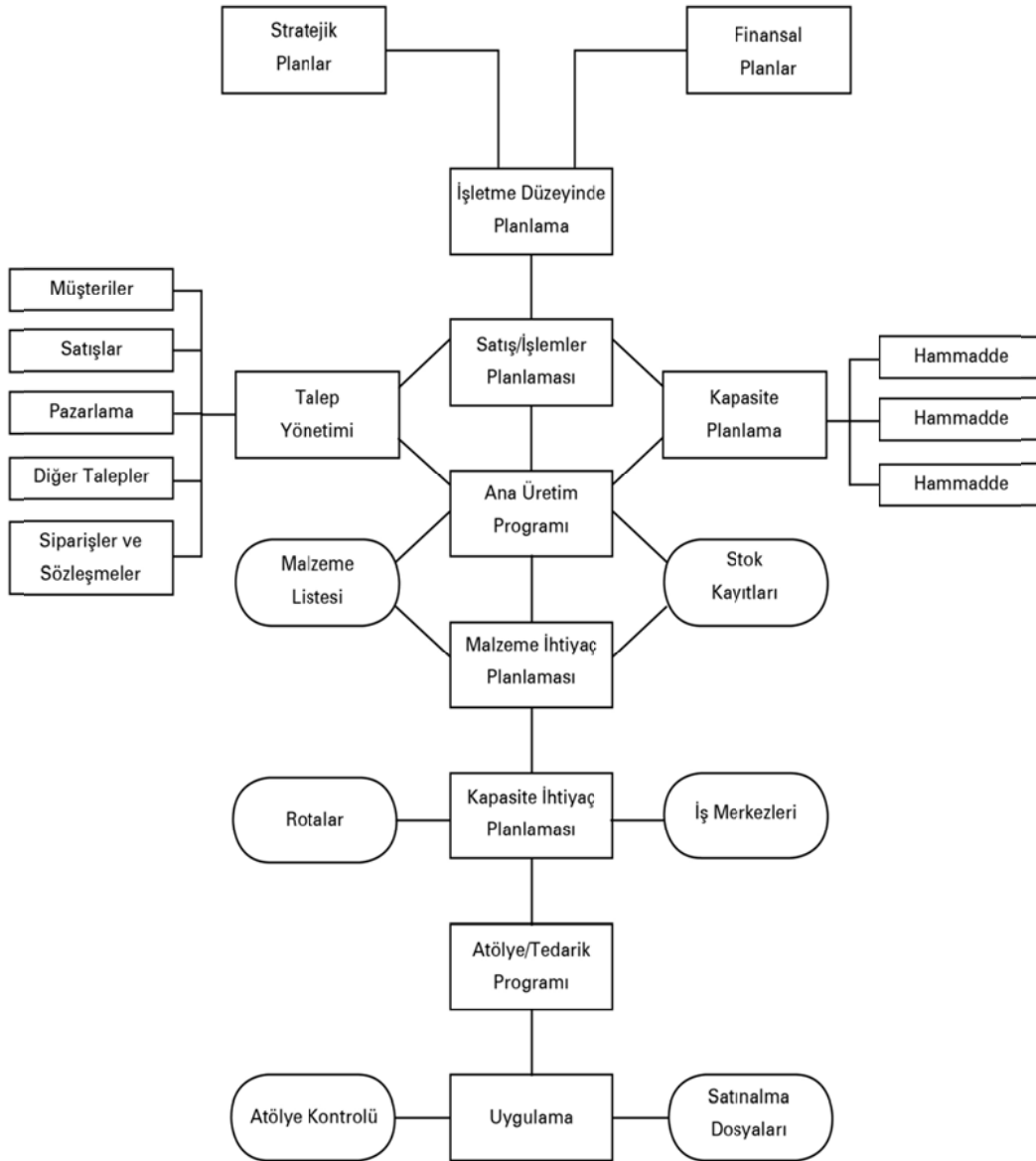
zamanda temin süreleri uzayıp, temin süresi değişkenlikleri artar. Sonuçta; teslim sürelerinde gecikmeler ve üretim maliyetlerinde artışlar olmaktadır.

- Farklı evreler arasındaki stok dengesizliği malzeme yokluğuna ya da aşırı stoka sebep olmaktadır.
- Üreticinin kapasite üzerinde donanım ya da iş gücü alımına sebep olmaktadır MİP sistemlerinin uygulamaya alınması ve geçerliliğinin sürdürülmesi, karmaşık ve pahalı olmaktadır. MİP' nın kurma maliyeti, bilgisayar donanımı ve yazılımının maliyetinin yanı sıra, eğitim ve uygulamaya alınması maliyetlerini içermektedir. Geçerliliğini sürdürme maliyeti, bilgi tabanının bakımı olduğu kadar, raporların üretimi ve dağıtımını da kapsar.
- MİP sistemleri tarafından; malzeme ihtiyaçları, iş ve satın alma emirlerini üretirken, fabrika kapasitesinin bu üretimi gerçekleştirmek için yeterli olup olmadığını ya da kritik kaynakların mevcut olup olmadığını incelenmemektedir.
- Malzeme ihtiyaç planlama sisteminin endüstrideki uygulamaları incelendiğinde, birbirinden farklı özellikler, yöntemler ve işlevlerin söz konusu olduğu, farklı uygulama yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir.

### **İmalat kaynakları planlaması**

1980 'lerin ilk yıllarında MİP, şirketlerin kaynaklarını planlama ve çizelgeleme için çok daha geniş ve kapsamlı bir yaklaşıma geçiş sağlamıştır. Bu genişletilmiş yaklaşım İmalat Kaynakları Planlaması (İKP) olarak adlandırılmıştır. İPK daha ziyade üretim kaynaklarını faaliyet alanlarını genişletme ve işlemlerin diğer fonksiyonel alanlarını planlama sürecine dâhil etmek için planlanmış bir girişimdir (Ayluçtarhan, 2008).

Şekil 1.10'de bir İKP sisteminin işleyişi ayrıntılı olarak gösterilmektedir (Koçak, 2007).



Şekil 1.10. İmalat Kaynakları Planlaması Yapısı

### Kurumsal kaynak planlaması sistemleri

İKP sistemindeki gelişmeler müşterileri ve tedarikçileri de içine alan Kurumsal Kaynak Planlaması (KKP) sisteminin geliştirilmesi sonucunu doğurmuştur. KKP, ortak bir veri tabanı altında tüm işletme süreçlerini bütünleştiren ve otomasyon alt yapısı ile bilgiye gerçek zamanlı olarak ulaşılmasını sağlayan bir bilgi sistemidir (Heizer, 2008).

### 1.6.2. Çekme sistemleri

Çekme tipi kontrol sistemleri; talepteki değişimlere hızlı cevap vermeyi amaçlayan basitleştirilmiş sistemlerdir. Bu sistem en az derecede veri tutmayı ve basit yöntemleri gerektirmektedir. En yalın tanımı, üretimin ileriki aşamasındaki makine taleplerine bağlı olarak geri aşamadaki makinelerin çıktı tamponlarında üretilen ürünlerin çekilmesidir (Ağlan, 2009).

İtme sistemlerinden farklı olarak çekme sistemleri, sonraki süreçlerin önceki süreçlerden sadece tükettikleri miktarda ve zamanda parça talep eden ve çeken sistemlerdir. Bu nedenle, talebin çektiği sistemler olarak da adlandırılırlar. Çekme sistemlerinde üretim çizelgesi sadece nihai üretim sürecine gönderilir. İtme tipi bir üretim kontrol stratejisinin başlatılması talep tahmini ile gerçekleşirken çekme tipi üretim kontrol stratejisinin başlatılması, talebin gerçekleşmesi ile başlatılmaktadır. Çekme sistemlerinde talep değişikliklerine karşı üretim hacimlerinde oluşması gereken tepki hızlı ve etkilidir. Bu nedenle, stok seviyeleri minimum denecek düzeylerde dir. Ama asıl arzu edilen sistemin sıfır stok ile çalışması ve güçlü bir tedarik yönetimi sistemini gerektirir (Koçak, 2007, Ağlan, 2009).

Çekme sistemlerinde üretim işlemi, ana üretim çizelgesinden elde edilen son montaj çizelgesine göre başlatılır. Son montaj çizelgesinde, günlük olarak üretilecek ürünler karma olarak sıralanır. Son montaj istasyonuna tek bir iş emri verilir. Bu iş emrine göre gerekli malzemeler talep edilir veya çekilir. Tekrarlı üretime sahip firmalarda son montaj çizelgesi sürekli olarak her gün tekrarlanır. Böylece, her gün aynı ürünlerin aynı miktarlarda üretimi gerçekleştirilir. Bu nedenle, her istasyon kendinden çekilen malzemelerin aynı miktarını yeniden üretecektir. Bunun anlamı, üretim tahminlere göre değil talebe göre başlatılmasıdır. Böylece, bir taraftan bilgi akışı sağlanırken, diğer taraftan üretim kontrolü yerine getirilmektedir (Göksu, 2006).

Ürün talebine olan hassasiyet nedeniyle çekme tipi üretim sistemi, itme tipi üretim sistemine göre daha çok tercih edilmektedir. Çekme tipi kontrol sisteminde ana üretim çizelgesi farklı iş istasyonlarının kaynak ihtiyaçlarını kabataslak belirlemek

için kullanılmaktadır. İtme tipi kontrol sistemi ile çekme tipi kontrol sistemi arasındaki en büyük fark itme sisteminde ana üretim çizelgesinin her bir iş istasyonunun üretim hızını belirlemesi, çekme sisteminde ise bu çizelgenin kaba taslak bir ihtiyaç planlaması için kullanılmasıdır (Ağlan, 2009).

En popüler çekme sistemi Kanban Kontrol Sistemidir (KKS). Kanban sistemi ilk olarak Japon Toyota firması tarafından kullanılmıştır. Kanban kelimesi Japonca'da kart anlamına gelmektedir. Bu kartlar üretim sistemi içerisindeki malzeme akışını yönetmede kullanılan görsel araçlardır. Bütün kanban sistemleri stok üzerinde sıkı bir kontrol uygulamaktadır. Pratik olarak çekme sistemleri kart döngüleri ve yetkilendirme sinyalleri kullanarak üretim sisteminin farklı istasyonlarında iş akışını düzenlemektedir. Kanban ilk uygulandığı yer olan Toyota fabrikasında, iki kart sistemi olarak uygulanmıştır. İki kart sisteminde, üretme Kanbanı ve çekme Kanbanı birlikte çalıştırılır. Bunun dışında tek Kanban sistemi de sıkça kullanılan bir uygulamadır (Ağlan, 2009, Kabadurmuş, 2008).

Kanban sisteminde, planlama yapmak amacıyla tasarlanmış bir sistem değildir. Kanban sisteminin temel amacı; TZÜ sisteminin önemli özellikleri olan dengeli bir üretim süreci sağlama, stokları minimize etme, imalat sürelerini kısaltma, parti büyüklüklerini azaltma gibi unsurları sağlayarak üretim sürecindeki malzeme yönetimini gerçekleştirmektir.

Fiziksel mesafelerin uzun olması, tedarik sürelerinin değişken ve uzun olduğu ortamlarda böyle bir planlama geçerliliğini yitirmektedir. Bu nedenle TZÜ sistemlerini uygulayan birçok üretim sistemlerinde planlama amacıyla MİP sisteminin kullanıldığı görülmektedir. Kanban sisteminde de diğer üretim sistemlerinde olduğu gibi toplam üretim planlaması yapılır (Koçak, 2007).

Ancak MİP sisteminin TZÜ ortamında uygulanabilmesi için bir takım değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Arnold, 2004):

- MİP sisteminde kullanılan haftalık zaman dilimleri, TZÜ sisteminde günlük dilimlere dönüştürülür. Tedarik süreleri kısa olduğundan malzeme akışı günlük olarak gerçekleştirilebilmektedir.
- MİP sisteminde net ihtiyaçlar, brüt ihtiyaçların eldeki stoklardan çıkarılması ile bulunur. Fakat TZÜ ortamında tedarik sürelerinin kısa olması ve gerektiği zamanda gerektiği kadar sipariş verilebilmesi sonucu stok bulunmadığından, brüt ihtiyaçlardan net ihtiyaçlara ulaşmak söz konusu değildir.
- TZÜ ortamında malzeme listeleri düz bir şekilde tasarlanmaktadır. Başka bir ifadeyle ürün ağacında sadece hammadde ve satın alınan parçaların bulunduğu kademeler yer almakta ara kademeler bulunmamaktadır.

Bu iki sistem arasındaki farklılıklar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Koçak, 2007):

- İki sistem arasındaki temel farklılık, çekme sisteminin üretimi mevcut talebe göre, itme sisteminin ise üretimi gelecekteki talep tahminlerine göre yönlendiriliyor olmasıdır.
- Talepteki önemli değişiklikler, çekme sistemlerinde sonraki süreçten öncesine artarak geçmesine karşın, itme sistemlerinde her süreç için üretim çizelgesini yenilemek çok zor hatta imkânsız olacağından bu değişiklikler aşırı stoğa neden olmaktadır.
- Çekme sistemleri, süreç içi stokun istenmeyen birikimini problemler ve hatalar ortaya çıkmadan önleyerek hatalı parça üretilmesini engellemektedir. İtme sistemlerinde ise üretim hızı ve stok düzeyini tüm durumlar için incelemek ve takip etmek zor olduğundan, süreçler arasında güvenlik stokları bulundurulmakta ve üretim çizelgesi bu stokları da içerecek şekilde hazırlanmaktadır.
- İtme sistemlerinde üretim kontrolü bir merkezden gerçekleştirilmekte ve üretim planlama ve kontrol (ÜPK) bölümünden iş emirleri dağıtılmaktadır. Çekme sistemlerinde ise merkezden sadece son montaj hücresine iş emri gönderilmekte, önceki hücreler ya da süreçler üretimlerini bu son montaj hücresine göre gerçekleştirmektedir. Özetle, üretim kontrolü merkezi değil ve süreçler arası bilgi akışı hızlıdır.

### 1.6.3. Melez sistemler

İşletmelerde malzeme yönetiminde temel olarak MİP ve Kanban sistemleri kullanıldıktan sonra her iki sistemin de beraber çalışabileceği daha etkin üretim sistemleri arayışına gidilmiştir. Bu nedenle melez sistemler geliştirilmiştir.

#### CONWIP Sistemi

CONWIP sistemi itme ve çekme sistemlerinin çeşitli yönlerinin birleştirildiği melez bir sistemdir. 1990 yılında Spearman, Woodruff ve Hopp tarafından ortaya atılan CONWIP (CONstant Work In Process) sistemi hem Kanban sistemine alternatif bir çekme sistemi hem de itme ve çekme sistemlerinin bütünleşik olarak çalışabileceği bir melez sistem olarak tasarlanmıştır. Geleneksel olarak bilinen Kanban sisteminin özel bir durumu olarak da düşünülen bu sistem, her çekme sistemi gibi üretim için stoğu kontrol altında tutarken çıktıyı takip etmektedir (Koçak, 2007, Kabadurmuş, 2008, Hopp, 2008).

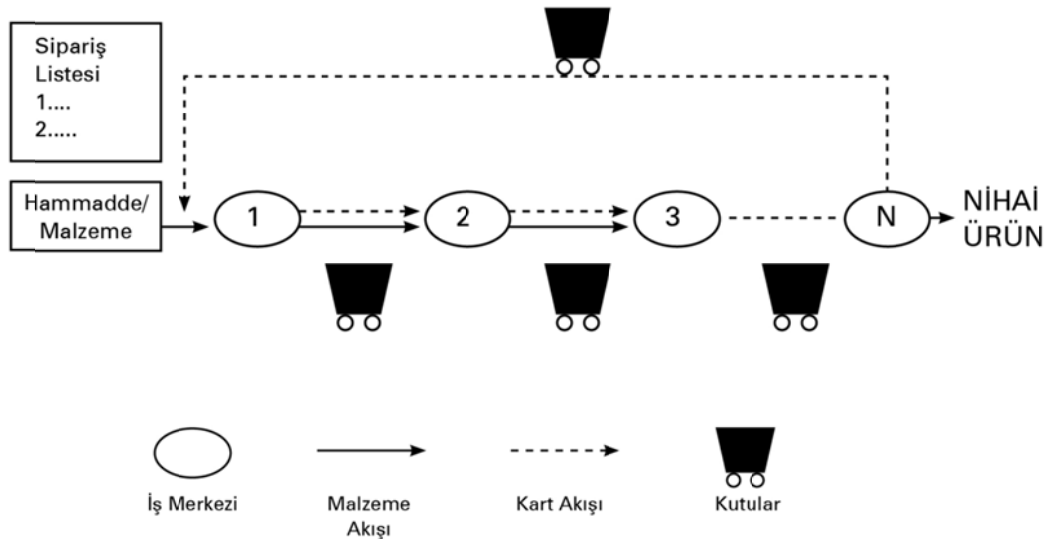
Bir CONWIP sisteminin kullanılabilmesi için uygun durumlar aşağıda verilmiştir (Kabadurmuş, 2008, Hopp, 2008):

- Sabit rotalar,
- Benzer işlem zamanları,
- Kısa hazırlık süreleridir.

#### CONWIP sistem yapısı ve işleyişi

CONWIP üretim sisteminin temelini sabit miktarda ara stokların bulundurulması prensibi oluşturmaktadır. Ara stoklar kontrol edilerek hem çıktı miktarı, hem de süreç içindeki envanter kontrol edilebilmektedir. CONWIP sisteminde üretim kartları Kanban sisteminde olduğu gibi her bir parça için değil, üretim hattı için belirlenir. Parçalar üretim hattının başında kartlara tahsis edilir. Üretim hattının başında her bir parça miktarı, sipariş listesi temel alınarak kartlar ile karşılaştırılır. İş, üretim hattındaki ilk iş merkezine gideceği zaman kart sıradan alınarak kutuya iliştilir. Kart kutuya iliştilirken, sisteme giriş zamanı da yazılır. Böylece üretim sürecinin

başlangıç zamanı belirlenecektir. Söz konusu kartta, o iş için gerekli olan malzeme ve miktarları bulunmaktadır. İş için gerekli olan parça ve/veya hammadde miktarları kutuya konarak üretim ilk iş istasyonundan başlar. Böylece kutu üretim hattının sonuna geldiğinde bitmiş ürün kutudan alınarak kutu üretim hattının başına gönderilmiş olur. Üretim süreci, burada itme prensiplerine göre çalışmaktadır. CONWIP sisteminde iş merkezleri arasında ara mamuller için ilk giren ilk çıkar prensibine göre hareket etmektedir. CONWIP sisteminde darboğaz olan iş merkezi tüm sistemin üretim hızını etkilemektedir. CONWIP; hattı darboğaz olan kaynağa göre düzenlenmektedir. Bu yüzden hattaki kart sayısı da bu darboğaza göre belirlenir (Koçak, 2007). Şekil 1.11’de CONWIP sisteminin işleyişi açıklanmaktadır.



Şekil 1.11. Conwip yapısının işleyişi

### POLCA sistemi

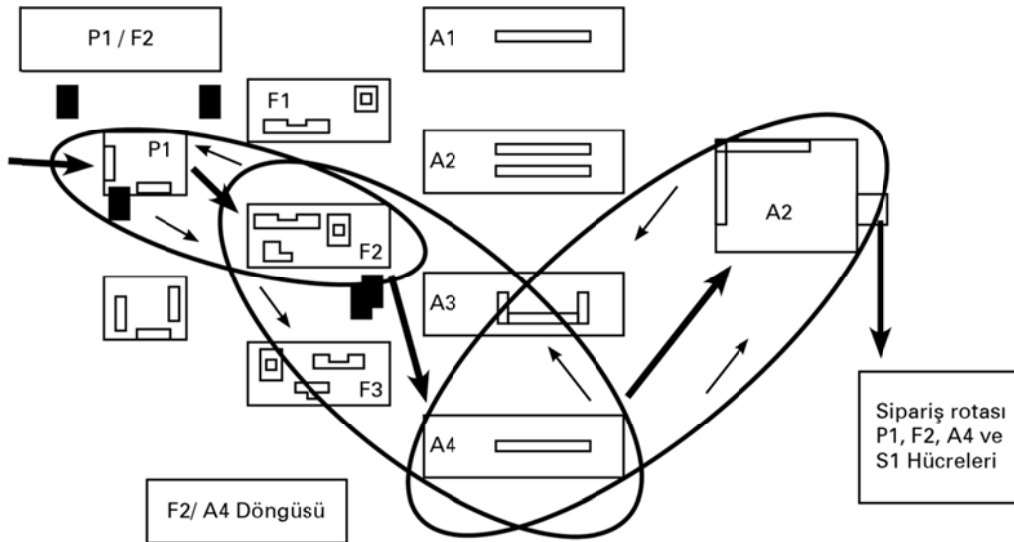
POLCA ilk olarak Suri tarafından 1998 yılında önerilmiştir. Yüksek değişkenlik gösteren veya önceden tanımlı olmayan ürünlerin üretildiği imalat ortamlarında etkin malzeme kontrolü sağlamak için itme ve çekme/kanban sistemlerinin bazı özelliklerinin birlikte kullanılmasının faydalı olacağını temelinde geliştirilmiştir. POLCA, Kanban ve itme sistemlerinin en iyi özelliklerini birleştirmek iddiasıyla oluşturulmuştur (Suri, 2003a, 2003b).

Şekil 1.12’de bir POLCA kartı görülmektedir. Kart üzerinde yazan P1/F2 hücreleri başlangıç ve bitiş hücrelerini yani POLCA döngüsünün hangi hücreleri kapsadığını göstermektedir. Şekil 1.12’de görüldüğü gibi kart üzerinde hücre bilgilerinden başka herhangi bir bilgi (parça kodu, miktarı gibi) yer almamaktadır.



Şekil 1.12. POLCA Kartı Örneği

POLCA kartları, hücre içinde değil, hücreler arasında malzeme kontrolü sağlamaktadır. Bu nedenle hücre içinde herhangi bir kontrol sistemi de uygulanabilir. Özetle; POLCA kartları parçaya değil iki hücreye atanmıştır. Bundan dolayı, POLCA döngüsü iki hücre arasında gerçekleşmektedir.



Şekil 1.13. POLCA Sisteminin İşleyişi



POLCA sistemlerinde hücreler arası siparişlerin akışı bir çekme/üretim kartları karışımı olan POLCA kartı ile sağlanır. Bu sistemin çalışabilmesi için yüksek düzey malzeme ihtiyaç planlaması gerekmektedir.

POLCA kartlarının, kanban kartlarından başka bir farkı da; kartın, parçanın işlenmesi devam ederken parçadan ayrılmamasıdır. Örneğin, P1/F2 döngüsünde P1/F2 kartı parça P1 hücresine işlenmek üzere geldiğinde işlenecek parçaya iliştilir. Parça F2 hücresine geçtiğinde kart da F2 hücresine parça ile birlikte geçer. Parça F2 hücresinde işlenirken kart da parçayla beraberdir. Kartın F2 hücresinden ayrılması ve P1 hücresine dönmesi parçanın F2 hücresinde artık işinin bittiği ve F2 hücresinden ayrılması gerektiği ile ilgilidir.

### 1.7. Üretim Tipleri

Mevcut imalat sistemleri için, buldukları üretim ortamlarına göre dört farklı üretim tipi tanımlanmıştır (Aydın, 2009).

Bunlar:

- Stoğa üretim,
- Siparişe göre montaj üretimi,
- Siparişe göre üretim,
- Siparişe göre mühendislik üretimi,

Yapan üretim tipleridir.

Stoğa üretim; tahmin edilen talep doğrultusunda nihai ürün üretilerek depolanır ve sipariş geldiğinde bu depolardan talep karşılanır. Bu duruma bağlı olarak, yani ürünler önceden üretildiği için müşteriye teslim zamanı kısadır. Ancak envanter elde bulundurma maliyetleri yüksektir. Ürünün tasarım aşamasında müşterinin tercihleri belirleyici değildir.

Siparişe göre montaj üretiminde, son ürünün en önemli ya da en kritik yarı mamülleri üretilerek stoklanır. Sipariş geldiğinde, diğer parçalar ile montajlanarak tamamlanır. Bu tip üretim yapan işletmeler melez bir üretim planlama ve kontrol yaklaşımına sahiptir. Bu yaklaşım, rekabet edebilme ve modası değişen ürünlerin planlamasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir yaklaşımdır.

Siparişe göre üretim yapan bir sistemde ise, ürün imalatı müşteri siparişi gerçekleştiğinde başlar. Bu üretim tipinde teslimat süreleri uzundur, dolayısıyla müşteriye söz verilebilecek miktar en önemli konulardan birisidir.

Son üretim tipi siparişe göre mühendislik üretiminde ise, ürünün tasarımı tamamen müşteri isteklerine bağlı olarak üretilir. Siparişe göre üretimin, müşteriler ile ilişkiler artırılarak genişletilmiş halidir.

### **1.8. Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı, siparişe üretim yapan montaj ve atölye işlemlerinin bir arada olduğu bütünleşik imalat ortamları için, gerçek zamanlı sınırlı kapasite üretim planlama ve kontrol yapısının önerilerek, önerilen yaklaşımın farklı ürün yapılarında ki davranışını incelemektir. Bu amaçla siparişin işletmeye gelişi ile çalışmaya başlayan geriye doğru çizelgeleme ve ileri doğru çizelgeleme yöntemlerini gerçek zamanlı ve sınırlı kapasiteli olarak kullanan ve malzeme ihtiyaç planlaması sistemi ile eş zamanlı olarak yapan bir yaklaşım önerilmiştir.

Önerilen yaklaşımla işletmeye her hangi bir anda gelen sipariş için geriye doğru çizelgeleme ve/veya ileri doğru çizelgeleme işlemleri sonucunda elde edilen çizelge sonucunda müşteriye daha gerçekçi bir teslim tarihi belirlenebileceği düşünülmektedir.

Önerilen yaklaşımın test edilmesi için zaman artımlı benzetim yönteminin kullanıldığı nesne tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım için hipotetik bir atölye ortamında düz, uzun ve karışık olmak üzere üç tip ürün yapısı için test edilerek performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

## 1.9. Tezin Düzenlenmesi

Yapılan bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır:

Bölüm 1’de üretim, üretim sistemleri, üretim planlama ve kontrol, itme ve çekme tipi üretim kontrol mekanizmaları ve teknikleri ile tez içeriği ve amacı hakkında bilgi vermektedir.

Bölüm 2’de sınırlı (kısıtlı) kapasite malzeme ihtiyaç planlaması, çizelgeleme ve gerçek zamanlı çizelgeleme kavramları ile ilgili literatür taramasını içermektedir.

Bölüm 3’de literatür incelemesi sonucunda elde edilen bulgular neticesinde önerilmekte olan “gerçek zamanlı sınırlı kapasite üretim planlama ve kontrol” yapısı hakkında detaylı bilgiler vermektedir. Geliştirilen yaklaşıma ait algoritma yapıları verilerek detaylı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 4’de benzetim kavramı, modelleri, avantajları, dezavantajları, elemanları ve kullanım alanları hakkında genel bilgi verilmektedir. Bölüm 3’de önerilen yaklaşımın test edilmesi için geliştirilen yazılımın varsayımları, kullanılan atölye yapısı, benzetim parametreleri, deneysel tasarım ile benzetimin işleyişi detaylı olarak açıklanmıştır. Önerilen yaklaşımın karşılaştırılmasında kullanılacak olan performans ölçütlerinin matematiksel formülasyonları da bu bölümde açıklanmıştır.

Bölüm 5’de deneysel sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistik testleri ile birlikte ele alınarak yorumlanmıştır.

Bölüm 6’da sonuçlar yorumlanmış, çalışmanın ve bulguların özeti verilmiştir. Çalışmanın katkısı ve çalışma alanları hakkında bilgi verilmiştir.

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI**

### **2.1. Giriş**

Malzeme İhtiyaç Planlama; temel anlamda üretimde bir planlama yöntemidir. MİP'nin temel amacı, üretilen veya satın alınan parçaların bir sonraki üretim aşamasından önce hazır hale getirilmesini sağlamaktır (Asal, 2009). Üretilen ve satın alınacak malzemelerin planlaması yapılırken fabrika düzeyi, tedarikçi kapasitesi ve planlanmış üretim için kritik kaynaklar dikkate alınmamaktadır. Bunları karşılamak için MİP' ya ayrıca kapasite ihtiyaç planlama (KİP) sistemi ilave edilmiştir (Göktaş, 2001).

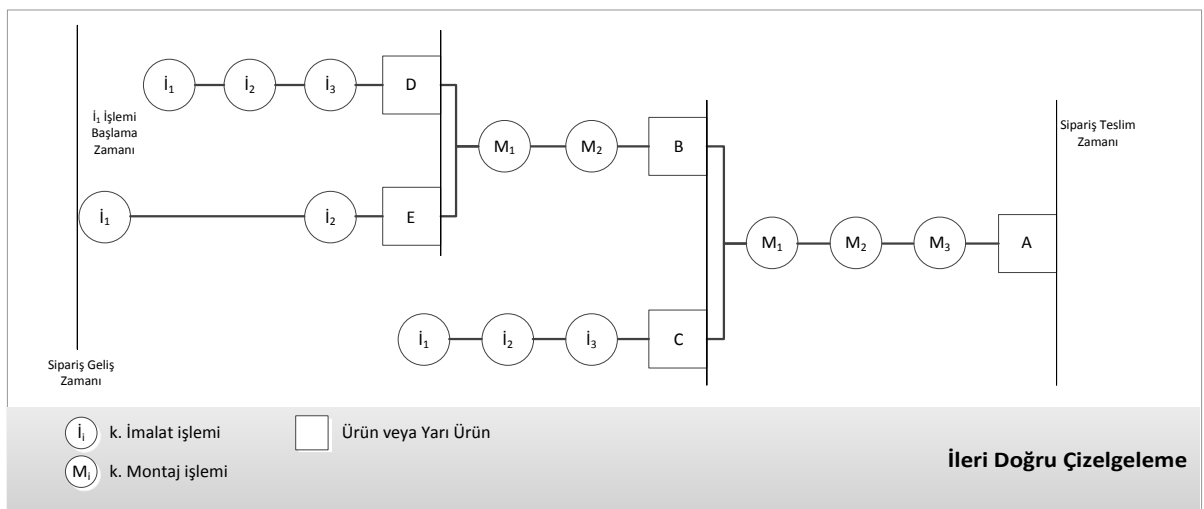
KİP; üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek için ne kadar iş gücü ve makine ihtiyacı gerektiğine karar verme süreci olup, MİP sistemindeki siparişleri iş merkezi ve zaman bazında saatlere dönüştürmektedir. Bu şekilde planlama dönemi içinde verilen tüm siparişler için yeterli kapasite olup olmadığı denetlenerek kontrol edilmektedir.

Kapasite ihtiyaç planlama süreci; planlanan ve açık siparişler için yapıldığından, bu sürecin en önemli girdileri, MİP çıktıları, açık siparişler ve stok durum dosyasıdır. KİP sonucunda iş merkezleri bazında yük durumları hesaplanması için rota bilgileri de KİP sürecinin temel girdisidir. Bu girdi verileri sonucunda da iş merkezleri bazında yük durum raporları oluşturulmaktadır.

Kapasite ihtiyaç planlama sistemi planlamacıya çözüm değil sadece bilgi sağlamaktadır. Bir kapasite problemi ile karşılaşıldığında planlayıcı çok zaman alıcı olan elle çözüm yerine başka yöntemlerle değerlendirmesi gerekmektedir (Wuttipornpun, 2004).

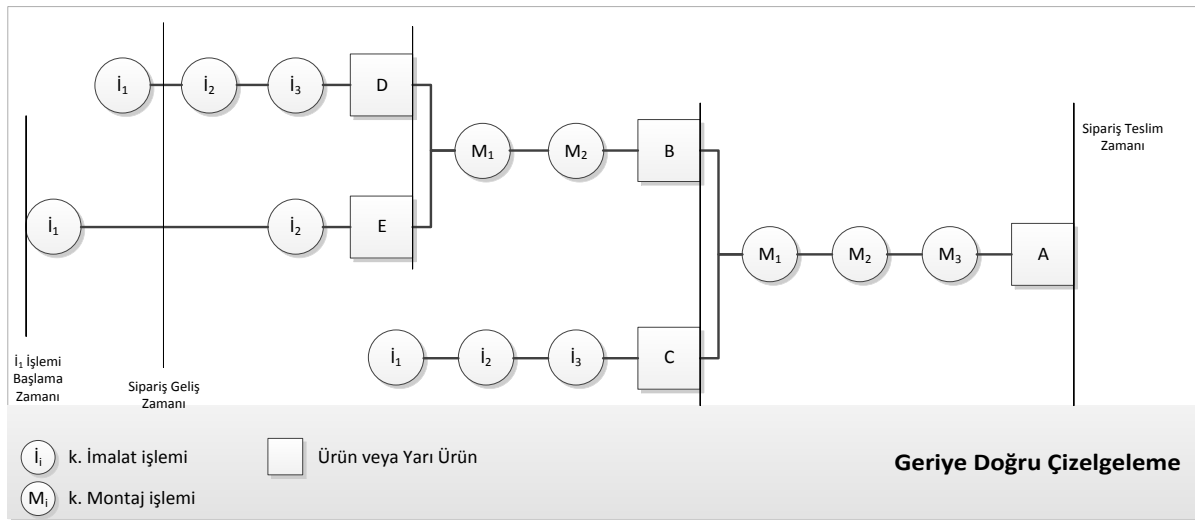
Sonlu çizelgeleme sistemleri; her bir sipariş ve her bir iş merkezi için uygun, detaylandırılmış iş çizelgesini üretmek için gerçek siparişi başlatır ve durdurur. Başka bir şekilde ifade edilirse, sonlu çizelgeleme tüm işleri planlama süresinin uzunluğu açısından tüm gerekli iş merkezlerine yüklemektedir. Sonlu çizelgelemenin nihai sonucu, iş merkezi kapasiteleri ve diğer çizelgelenmiş işleri temel alan her bir iş merkezinde her bir operasyon için başlama ve durdurma tarihleri ve sürelerine ait bir veri kümesi elde edilir. Sonlu çizelgelemenin çıktılarında biri, her bir iş merkezinin planlanmış zaman dilimi için dakika dakika nasıl işlem yapacağını gösteren bir plandır (Dumond, 2005).

Sınırlı (sonlu) kapasite planlama yaklaşımı her bir iş için belirli bir dönemde tanımlanan kapasite kısıtlarına göre, ileri veya geriye doğru çizelgeleme tekniklerini kullanarak işlerin yüklenmesi olarak tanımlanmaktadır. İleri doğru çizelgeleme tekniğinde mevcut veya belirli bir zamandan başlanarak iş veya işlerin rotasını takip edilerek, mevcut kapasite sınırına göre iş için gereken süre ve daha önceden yüklenen işlerin kontrol edilerek uygun kapasite değerlerine göre yüklenmesidir. Başka bir ifadeyle, ileri çizelgeleme, her bir işin mümkün olduğu kadar erken tamamlanması gerektiği için tüm işleri şimdi bulunulan zamandan geleceğe doğru çizelgelenmesidir. İleri doğru çizelgeleme müşteri siparişinin en erken tamamlanma süresinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Dumond, 2005).



Şekil 2.1. İleri doğru çizelgeleme

Geriye doğru çizelgeleme tekniğinde ise; işin tamamlanma (teslim) zamanından, ürün ağacı ve rotalar vasıtasıyla nihai üründen geriye doğru gelerek işlerin başlaması gereken zaman tespit edilmeye çalışılmaktadır. İşlerin yüklenmesi sırasında kapasite ve daha önceden yüklenmiş olan işlere dikkat edilmektedir. Başka bir ifadeyle, geriye doğru çizelgeleme, işlere ait tamamlanma tarihinden itibaren gerekenden daha erken olmayacak şekilde işin zamanında tamamlanmasını deneyerek tüm iş operasyonlarını geriye doğru çizelgelenmesidir (Dumond, 2005).



Şekil 2.2. Geriye doğru çizelgeleme

## 2.2. Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Sınırlı Kapasite Çizelgeleme ile İlgili Çalışmalar

Billington ve arkadaşları çok aşamalı üretim çizelgeleme problemleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada karma tam sayılı doğrusal programlama formülasyonu geliştirmiştir. Bu formülasyonlar, kapasite kısıtlarına göre üretim teslim sürelerinin hesaplanması ve süreç içi stoğun azaltılmasında kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kapasite/ sipariş büyüklüğü/ teslim süresinin belirleme problemi, talepler, kazançlar üzerine çalışılmıştır (Billington, 1983).

Yang ve Harhalakis tedarik sürelerinin uzun olduğu ve siparişe göre üretim yapılan bir yapıda MİP veya ağ analizi sistemlerinin tek başına çözüm sağlamadığını belirterek bütünleşik bir MİP/Ağ analizi sisteminin geleneksel sistemlere göre

faydasını göstererek tanımlamaya çalışmıştır. Önerilen yaklaşım; sadece malzeme bileşen ihtiyaçlarına bakmadan tüm faaliyetleri yönetmeyi amaçlayan bir temel sağlamayı amaçlamıştır. Sistem müşteri siparişinden başlanarak tüm faaliyetler için, zaman, mevcut kaynaklar ve planlanmış üretim çizelgeleri ile ağ çizelgelerini (CPM) temel alarak imalat çevriminin içindeki ve dışındaki tüm faaliyetleri kapsayacak şekilde düşünülmüştür (Yang ve Harhalakis, 1988).

Malzeme ihtiyaç planlama metodolojisi dikkate alınarak atölyelerde planlanan ve çizelgelenen operasyonların, teslim zamanlarının sürdürülmesi problemi ile ilgili olarak Wemmerlöv ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; sabit ve dinamik tamamlanma süresi yaklaşımı olarak adlandırılan iki yaklaşımla, atölyede bulunan açık siparişlerin tamamlanma zamanları tespiti edilmeye çalışılmıştır. Birinci teknikte atölyelere verilen işlerin planlama zamanlarının ilk olarak atölyelere gönderilirken belirlenen teslim zamanlarının değiştirilmemesi gerektiği, ikinci teknik ise tamamlanma sürelerinin gerekli olan şartlardan dolayı güncellenmesi görüşü ile hareket edilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda dinamik tamamlanma süresi tekniğinin daha etkili olduğu ve çalışma koşullarının iki teknik arasındaki fark için çok önemli olduğu belirtilmiştir (Wemmerlöv, 1988).

Torkul (1997, 2004); geleneksel malzeme ihtiyaç planlama sisteminin bir takım zayıflıklarının üstesinden gelmek üzere gerçek zamanlı malzeme ihtiyaç planlaması sistemini geliştirmiş ve geliştirdiği sistemi montaj atölyesinde kullanmıştır. Geliştirilen sistem yerleşim düzenleri olarak hem atölye yerleşiminde hem de grup teknolojisi yerleşimleri üzerinde 3 tip ürün ağacı yapısı, 3 farklı operasyon süresinin hazırlık zamanına oranı ve 2 farklı yük durumuna göre test edilmiştir.

Taal ve Wortmann; kapasite problemlerinden sakınmak için sınırlı kapasiteyi ve MİP'yi bütünleştirmek için eş zamanlı kapasite ve malzeme planlama için bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde geliştirilen algoritma iki çizelgeleme tekniğini temel almakta ve bütünleşik bilgiyi kullanmaktadır. Böylece hız ve doğruluk birleştirilmekte ve algoritma esnekliği kullanmak için; alternatif rotalama, güvenlik stoğu ve üretim siparişleri ve ihtiyaçlarını yeniden planlamak için tasarlanmaktadır (Taal ve Wortmann, 1997).

Nagendra; MİP/SFX adını verdikleri MİP ile TZÜ arasındaki sinerjiden yararlanan bir teknik önermiştir. Önerilen MİP/SFX sisteminde, malzeme ihtiyaç planlamanın planlama kabiliyetine kanban tabanlı atölye kontrol sistemi eklenmiştir. Önerilen modelde; atölye kontrolde TZÜ/kanban, planlamada MİP kullanılmaktadır. Geliştirilen modelde kanban kart kontrolörü, kanban öncelik sıralayıcı, dinamik tedarik süresi tahmin edici ve malzeme gönderici modülleri bulunmakta ve bu modüller sayesinde; MİP'nin şişirilmiş ve sabit tedarik zamanı sorunu ortadan kaldırılmıştır. MİP/SFX yazılımlarının İKP yazılımları ile birlikte çalışabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Nagendra, 1999).

Pandey ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; kapasite tabanlı İKP'nin gelişim durumunun, MİP kullanıcılarının karşılaştıkları problemlere kapsamlı bir çözüm sağlamadığı için tatmin edici olmadığı belirtilmiştir. Bu nedenden yola çıkarak sonlu kapasiteyi dikkate alan MİP algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmayı temel alan bir yazılımda geliştirilmiştir. Bu yazılımda; parti (yığın) iptali, yeni sipariş eklenmesi, taşeronla verilecek miktarı belirleme, fazla mesai yapma gibi kararları da belirleme özelliklerine sahiptir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda mantıklı sonuçlar görülmekle beraber büyük sanayi problemlerinin var olduğu bazı sistemler üzerinde çalıştırılmaya ihtiyaç olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Pandey, 2000).

Nagendra ve Das; MİP ürün ağacı yayılımı süreci ile eş zamanlı olarak işleyen bir sınırlı kapasite planlama ve parti büyüklüğü analiz prosedürü geliştirmişlerdir. Geliştirilen analiz prosedürü; bir ana üretim çizelgesine ihtiyaç duymamakta ve teslim zamanı açısından üretimin doğru bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır. İleri ve geri doğru çizelgeleme sonucunda oluşturulan kısmi partileri taşıyarak yeni üretim partileri oluşturmak için birleştirir. Böylece elde bulundurma maliyet artışını en küçükmeyi amaçlar (Nagendra ve Das, 2001).

Fallah ve Shoyen; malzeme planlama ve sınırlı operasyon çizelgeleme için bütünleşik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda teslim tarihlerini içeren önceden belirlenmiş faktör bileşenleri temelinde müşteri siparişleri için gerekli bir sistemin varlığını varsaymaktadırlar. Geliştirilen yaklaşımda ürün ağacı ve rotalama bütünleşik üretim yapısıyla birlikte ele alınmaktadır. Gerçekleştirilen deneysel



çalışmalar sonucunda; üretim teslim süresi, süreç içi envanter ve kaynak kullanımı açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Fallah ve Shoyen,2002).

Mevcut malzeme ihtiyaç planlaması sistemlerinin mühendisliğe üretim yapısı için, performansın iyi olmamasından dolayı, Thomson ve Jin tarafından mühendisliğe üretim yapısında öncü olmak amacıyla üretim planlama fonksiyonu için yeni bir model geliştirilerek malzeme ihtiyaç planlama kullanılmıştır. Geliştirilen sistem mühendislik faaliyetlerinin, malzeme temin ve tesliminde daha iyi koordinasyona izin vermektedir. Bu yapı da özellikle kesin olmayan bilgi karakteristiğinden dolayı problem olarak belirtilen mühendisliğe üretimin planlama sistemine odaklanılmıştır (Thomson ve Jin, 2003).

Clark tarafından, çok seviyeli sistemlerde; malzeme ihtiyaç planlaması sistemlerinin kapasite kısıdı kullanımının modellenmesi ve optimizasyonu ile ilgili benzer araştırmaları raporlamak amacıyla yapılan çalışmada, malzeme ihtiyaç planlaması sistemleri için kapasiteye uygun ana üretim çizelgesi belirlenmesinde, karışık tam sayılı programlama ile çözüm metodu geliştirilmiştir. Birinci yaklaşımda; geniş ürün yapısı, periyot temelli hazırlık zamanları ve partiler (yığınlar) için uygun olmayan çizelgeleri, doğrusal yerine tam sayılı değişkenlerin kullanılmasıyla, gelecekteki hazırlıklar için kapasite kullanımın hesapları kullanılmaktadır. İkinci yaklaşım ise ilk yaklaşım temel alınarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, her bir periyot için hazırlıkların sıralanmasının hesaplanma zamanını hızlandırmasına rağmen yine de tam en uygun sonuç değildir (Clark, 2003).

Wuttipornpun ve Yenradea tarafından önerilen sınırlı kapasite malzeme ihtiyaç planlaması sistemi; çoklu ürün, çok seviyeli ürün yapısı, alternatif rotalama ve darboğaz iş merkezlerinin bulunduğu gerçek imalat işletmeleri göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde üç ana özellik bulunmaktadır. Bunlar; çizelgeleme, yeniden düzenleme ve ayarlama özellikleridir. Yeniden düzenleme özelliğinin performans üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. İşlerin teslim tarihinden daha önce bitirilmesine izin verilmesi durumunda geliştirilen sistemin fazla mesai ihtiyacını azaltabileceği belirlenmiştir. Ayrıca işlerin teslim tarihlerinden geç bitirilerek teslim edilmesine de izin verilmesi durumunda, fazla

mesai gereksiniminin azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. İstatistiksel sonuçlara göre yeniden düzenleme seçeneği dışındaki tüm seçeneklerin performans ölçütleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir (Wuttipornpun ve Yenradea, 2004).

Koh tarafından gerçekleştirilen çalışmada; çoklu ürün ve çok seviyeli bağımlı talep ortamında malzeme ihtiyaç planlaması kontrolünde parti (yığın) imalatı için teslimat performansı üzerindeki belirsizliklerin etkisinin modellenmesi amaçlanmıştır. MİP'nin planlama ve yığın imalat sistemi kontrol mimarisinde; MİP'nin ürün ağacı yayılım metodolojisi kullanılarak bir benzetim geliştirilmiştir. Benzetim ve deneysel tasarım, gerçek bir örnek işletmeyi temel alarak hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sekiz adet belirsizlik faktörünün parça tesliminde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu faktörler; tedarikçilerden geç teslim, planlanan hazırlık veya değişim zamanlarının uzaması, emniyetsiz depolama, tezgah bozulmaları, işçi bekleme, araç-gereç bekleme, yığın miktarındaki artış, müşteri dizayn değişiklikleridir. Belirsizliğin önem derecesi arttıkça geç teslimatında seviyesinin arttığı belirlenmiştir. Buna ek olarak bazı önemli ikili ve üçlü etkileşimler de bulunmuştur. Ancak bunların etkisinin belirlenmesinin zor olduğu belirtilmiştir (Koh, 2004).

Grubbström ve Huynh tarafından; belirli talep durumunda ve tedarik sürelerinin sıfırdan farklı olduğu durumlar için kesikli zaman çevresinde metodoloji geliştirilmiştir. Yapılan çalışma; Grubbström ve Wang tarafından 2003 de yapılan sipariş büyüklüğü problemleri ile ilişkili bir modeli ele alan çalışmanın devamı şeklindedir. Buradaki ana problem çok seviyeli / çok aşamalı kapasite kısıtlı üretim envanter sisteminin her bir adımındaki üretimi için gerekli üretim miktarlarını bulmaktır. Bu problem kolaylıkla formüle edilebilir. Ancak, en iyi çözümü bulmak zordur. Çalışma sonucunda parti büyüklüğü problemlerinin sıfırdan farklı tedarik süreciyle ilişkilendirildiğinde model karmaşıklığının önemli ölçüde büyüdüğü belirtilmiştir. Bu çalışmanın koşullarının arttırılarak yeniden yapılmasına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Özellikle; fazla kapasite ve pozitif envanter durumlarında çalışmanın gerekli olduğu belirtilmiştir. İkinci aşamada ise; stokastik talep durumunda da sistemin değerlendirilmesi gerekmektedir (Grubbström ve Huynh, 2006).

Yenradee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Tayland'da bulunan otomotiv parça imalatçılarınin ihtiyaçlarını temel olarak geliştirilen pratik bir sınırlı kapasite malzeme ihtiyaç planlaması sistemi geliştirilmiştir. Önerilen sistemin öncelik kuralları ve ceza ağırlıkları kullanması önemli bir değişikliktir. Önerilen modelde her bir operasyonun başlama ve bitiş zamanlarının tespiti, erken teslim, geç teslim ve ortalama akış zamanları kullanılarak hesaplanan toplam ceza maliyetini en küçükmeyi hedefleyen doğrusal amaç programlama modeli kurulmuştur (Yenradee, 2005).

Habla ve arkadaşları sonlu kapasiteli imalat sistemini ele alan bir üretim planlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Önerilen sistemde sadece darboğaz adımları ele alınarak partilerin (yığınların) tamamlanma zamanlarının tahmin edilmesi için karma tam sayılı programlama modeli kurulmuştur. Önerilen model; lagrange formülasyonu çözümü ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda önerilen yaklaşım; her bir test örneği için %47 oranında bir iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir (Habla, 2007).

Dolgui ve Prodhon, MİP çevresindeki belirsizlikler altında tedarik zinciri yaklaşımını ele almışlardır. Talep veya tedarik süresindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmak için yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Özellikle montaj sistemlerindeki belirsiz tedarik zamanları ile ilişki özellikle incelenmiş ve modelin asıl zorluğunun bileşen envanterlerinin birbirlerine bağımlı olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. İncelenen diğer bir konu ise tedarikçi planlama ile talep ve tedarik zamanlarını belirsizlik altında eş zamanlı olarak belirlemek şeklinde ifade edilmiştir. MİP sistemlerinin belirsiz talep altındaki problemlerini azaltmak için yapılan çalışmalar detaylı olarak araştırıldığı ve çok seviyeli ürün veya montaj sistemleri ile ilgili henüz yeterli çalışma olmadığı belirtilmiştir (Dolgui ve Prodhon, 2007).

MİP sistemlerinin, sonsuz kapasiteli bir planlama modeli kullanarak yalnız malzeme ihtiyaçlarına odaklanması ve bu gerçek zamanlı olmamasından dolayı Na ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; mevcut piyasa şartlarında gerçek zamanda üretim süreçlerini planlamaya ve yönetmeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Bu noktadan hareketle; MİP'yi daha pratik hale getirmek için, kapalı döngüye sahip bir planlama sistemi içinde MİP ve kapasite planlamanın birleştirilmesi için çalışmalar

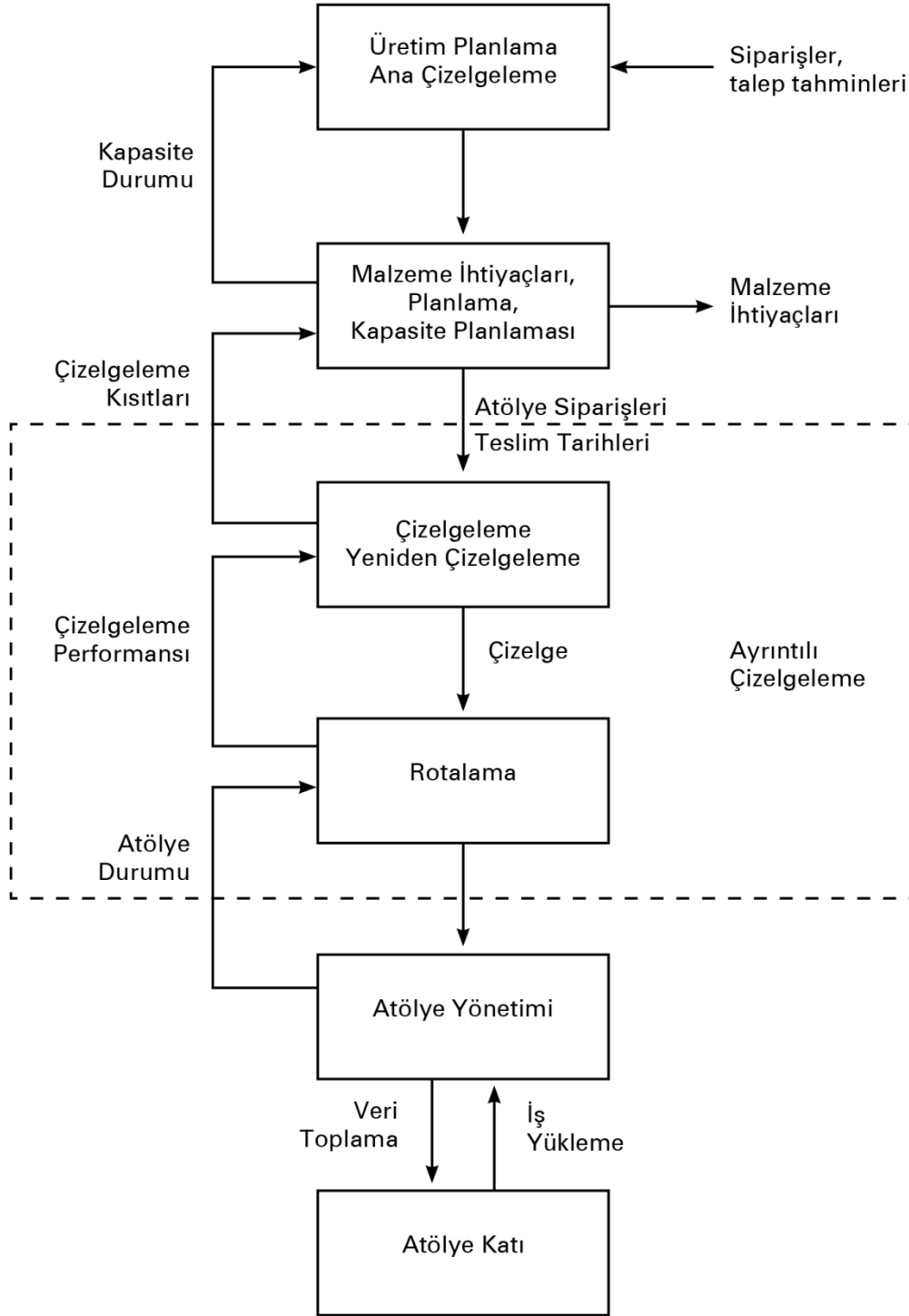
yapıldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmaların; matematiksel olarak kapasite duyarlı sipariş miktarı problemini çözme, sonsuz kapasiteli MIP tarafından üretilen üretim planlarını ayarlama olmak üzere iki gruba ayrıldığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada, kapasite ayarlama süreci yapılandırılmış, kapasite ayarlama, kaynakların gruplanması ve çizelge ayarlama şeklinde üç adımda incelenmiştir (Na, 2008).

Sun ve arkadaşları; çok adımlı malzeme ihtiyaç planlaması benzetim modeli geliştirerek, tahmin hataları, süreç değişkenliği, güncelleme frekansının sıklığı gibi faktörlerin etkisini incelemişlerdir. Süreç değişkenliği; dengede ve dengesiz olarak ele alınmış, güncelleme sıklığı da haftada bir veya her iki haftada bir kez şeklinde ele alınmış, tahmin sapması üç farklı durumda ve talep belirsizliği de iki farklı durum olmak üzere toplam yirmidört (24) farklı senaryo irdelenmiştir. Sonuçta tüm faktörlerin ve etkileşimlerinin bir çoğunun MIP performansını anlamlı bir şekilde etkilediği görülmüştür (Sun, 2009).

### 2.3. Çizelgeleme

Son yıllarda endüstriyel teknolojideki gelişmeler sonucunda; üretim ortamındaki birçok faktörün etkisinin azaltılması amaçlanmaktadır. Üretim öncesi, aynı zamanda üretim süresince, kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasında planlama süreci önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle talep ve kapasitenin yönetilmesini gerektiren birçok etmen bulunmaktadır. Üretim sistemleri; tüm bu süreçlerde mevcut şartları karşılayabilecek, sürekli iyileştirme yapısına sahip bir esneklikte olmak durumundadır. İmalat üzerine çalışan uzmanlar, an be an detaylandırılmış operasyon çizelgeleme problemleri ile karşılaşmaktadırlar (Aydemir, 2009, Chung-Hsing, 1997). Bu amacın yerine getirilmesine yönelik çok sayıda teknik ve yöntem kullanılmaktadır.

Üretim sistemlerindeki bilgi akışı süreci şekil 2.3’de verilmiştir (Pinedo, 2002).



Şekil 2.3. Bir üretim sistemindeki bilgi akışı (Pinedo, 2002)

### 2.3.1. Üretim çizelgeleme ve çizelgeleme problemi

Üretim çizelgeleme; “bir ürünü oluşturan iş parçalarının eldeki tek veya çok sayıda tezgahlarda hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin saptanmasıdır” (Taşgetiren, 1996), farklı bir tanımı ise; “ bir zaman düzlemi boyunca yapılması gereken görevler için bir veya daha fazla amacı iyileştirecek şekilde kıt kaynakların atanması ve bu kaynakların atama etkinliği ile ilgilidir” (Pinedo, 2002) şeklinde açıklanmaktadır.

Çizelgeleme problemleri; iş istasyonu/tezgâh kapasitesi ve teknolojik kısıtlar olmak üzere iki tür kısıdı vardır. Çizelgeleme probleminin çözümünde bu kısıtların birlikte çözülmesi amaçlanmaktadır (Aydemir, 2009).

Üretim çizelgeleme problemleri, üretim tipine göre çok farklı biçimlerde olabilmektedir. Literatür araştırmalarında, üretim çizelgeleme problemleri için bir çok sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmaların amacı; problem sınıflarının anlaşılmasını sağlamak ve her bir sınıfın farklı özelliklerini belirlenmesidir. Graves tarafından üretim çizelgeleme problemlerinin beş boyutlu bir sınıflandırması yapılmıştır (İpek, 2007).

Birinci boyut ihtiyaçları üretilmesidir. İhtiyaçlar açık ve kapalı sistem atölyelerde oluştururlar. Açık atölyelerde gereksinimler doğrudan doğruya müşteri siparişleriyle oluşturulurken kapalı sistem atölyelerde ise gereksinimler stoktan karşılanır ve üretim görevleri sadece mevcut stoktan sipariş kararı vermektir.

İkinci boyutu, işlem karmaşıklığı boyutudur. Üretim faaliyetlerinin işlem kademelerinin sayısı ile ilgilidir. İşlem karmaşıklığı boyutu, kademe sayısına göre dört farklı kısımda incelenmektedir:

- Tek-kademe tek-tezgah,
- Tek-kademe paralel-tezgah,
- Çok kademe - Akış tipi,
- Çok kademe - Atölye tipi.

Üçüncü boyut çizelgeleme ölçütü boyutudur. Çizelgeleme ölçütü, çizelgenin nasıl değerlendirileceğini göstermektedir. Çizelge değerlendirilmesinde genel olarak iki ölçüt kullanılmaktadır. İlk ölçüt, çizelge maliyetidir. Çizelge maliyeti; üretim hazırlıkları ile ilgili sabit maliyetler, değişken ve fazla mesai maliyetlerini, stok bulundurma ile siparişleri karşılayamama maliyetlerini kapsamaktadır. İkinci değerlendirme ölçütü ise çizelge performansının ölçülmesidir.

Sınıflandırmadaki dördüncü boyut ihtiyaç tanımlanmasıdır. İhtiyaç tanımlama, problemin parametrelerinin önceden bilinip bilinmemesi ile ilgilidir. Bütün parametreler miktar olarak önceden biliniyor ve sabit ise, problem deterministik olarak tanımlanmaktadır. Aksi halde problem stokastik olarak tanımlanır.

Beşinci boyut çizelgeleme ortamıdır ve üretilecek gereksinimler için gerekli girdilerin varsayımlarıyla ilgilidir. Çizelgeleme periyodu boyunca üretilecek gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarının önceden belirlendiği, atölye ortamına sonradan ek iş girişi yapılmadığı ve de atölye ortamında hiçbir belirsizlik durumunun söz konusu olmadığı çizelgeleme ortamları statik çizelgeleme ortamları olarak tanımlanır. Diğer yanda ise, çizelgeleme periyodu boyunca üretilecek gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarının belirli olmadığı, çizelgeleme periyodu boyunca atölye ortamına herhangi bir anda yeni iş girişlerinin olabildiği atölye ortamları dinamik atölye ortamı olarak tanımlanır. Gerçek imalat ortamlarında, çizelgeleme problemleri stokastik ve dinamiktir. Ancak, çoğu problem, statik ve deterministik olarak ele alınmaktadır. Bunun en önemli nedeni, çeşitli varsayımlarla basitleştirilen statik ve deterministik modellerin iyice anlaşılması, gerçek-zamanlı modellerin ortaya konmasının ilk adımı olmaktadır. Ayrıca, mikroişlemcilerin ve robotların üretim hatlarında kullanılması sebebiyle işlem zamanlarının belirliliği de sağlanmaktadır.

### 2.3.2. Genel atölye tipi çizelgeleme

Genel atölye çizelgeleme problemi sabit kaynaklar kümesi içerisinde işlenmesi gerekli işler kümesiyle karakterize edilmektedir.  $M$  tane tezgahda işlenmek üzere  $n$  tane iş bulunmaktadır. Her bir işin her bir tezgahda sadece bir kez işlem gördüğü varsayılmaktadır. İşler, tezgahlarda belli bir sıra dâhilinde işlenir. Bu sıra, teknolojik kısıt, iş seyri veya üretim rotası olarak adlandırılır. Genel atölye tipi üretim için teknolojik kısıtların oluşumu ile ilgili hiçbir sınırlama yoktur. Tezgahda işin işlenmesine operasyon denir. Her operasyonun yürütülmesi belirli bir zaman alır. Bu zaman uzunluğu, operasyon süresi (işlem zamanı) olarak adlandırılır. Basitleştirmek amacıyla, işi yürütmek üzere gereken tezgahı ayarlama veya hazırlama için gerekli olan zamanın, yani, hazırlık zamanının, işlem zamanı içinde bulunduğu varsayılmaktadır. İş tezgaha taşımak amacıyla geçen zamanın da işlem zamanının içinde bulunduğu varsayılmaktadır. Her bir iş kendi operasyon sırasına sahiptir ve diğer işlerin operasyon sıralarından bağımsızdır. Bu işler için operasyon sayısı, operasyon süreleri ve rotaların hepsi birbirinden bağımsızdır. Hiyerarşik bir montaj olmadığı kabul edilir. Operasyon sırasında ekstra hazırlıklara maruz kalınacağı için normal olarak öne almaya izin verilmez. Hedef bazı performans ölçütlerini maksimize eden operasyon çizelgesi ya da çizelgeleme kuralını belirlemektir. Endüstriyel uygulamalarda problem dinamiktir. Bu problem; siparişe göre üretim sistemini ifade eden stokastik iş gelişler arası süreleri olduğu varsayılmaktadır.

Bununla birlikte bütün işlerin, aynı işlem sırasına sahip olduğunda özel bir durum ortaya çıkmaktadır. Böyle durumlar; akış tipi çizelgeleme problemi olarak adlandırılır.

Atölye çizelgeleme problemi statik ya da dinamik olarak karakterize edilebilir. Çizelgeleme problemlerinin büyük bir kısmı deterministik ve statik olarak kabul edilmiştir (Sabuncuoğlu ve Kızılıışık, 2003).

Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde bazı varsayımlar bulunmaktadır (Aydemir, 2009):



- Bir operasyon işlem anında kesilemez ve bölünemez.
- Her bir iş (sipariş) tamamlanıncaya kadar bütün operasyonları tamamlanmalıdır.
- Bütün siparişler, işlem süreleri ve iş istasyonları bilgileri tam olarak bilinmeli ve sıfır anından çalışmaya hazır olmalıdır.
- İşlem süreleri süreç sırasından bağımsızdır.
- Hazırlık ve taşıma süreleri işlem sürelerine dahil edilmiştir.
- İş istasyonları çizelgeleme başlarken boştur, asla bozulmazlar, bakım istemezler ve personel yokluğu çekmezler.
- Her iş istasyonu tipinden sadece bir tane vardır.
- Bütün işler eşit öneme sahiptir, öncelik sırası yoktur.

Eğer bir çizelgeleme problemini en iyi çözecek polinomsal bir zaman algoritması yoksa bu problemler np-zor olarak sınıflandırılmaktadır. Atölye tipi çizelgeleme problemi bu sınıfa girmektedir (Aydemir, 2009).

### 2.3.3. Sınırlı kapasite çizelgeleme çalışmaları

Chan ve arkadaşları, kullanıcılarına arzu edilen çizelgeleri türeterek yardımcı olan etkileşimli bir çizelgeleme aracı geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem, MIP' ya bağlantı gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede gerçek zamanlı olarak kullanılabilceği ifade edilmiştir (Chan, 1994).

Weintraub; nesne yönelimli ayrık olay benzetimi kullanarak sınırlı kapasite çizelgeleme metodolojisi sunmuştur. Yaptıkları çalışmada mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için dört aydan altı aya kadar bir planlama ufku için hangi ürünlerin üretileceği ve mobilyadaki her bir parçada ne kadar üretileceği problemi ele alınmıştır. Geliştirilen nesne yönelimli benzetim modeli ile “ne-eğer” senaryoların kullanılabilirliği artırılarak hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamıştır (Weintraub, 1997).

Akkan çalışmasında, iş çizelgelerinin doluluğundan dolayı reddedilen siparişlere ait maliyetin şimdiki değeri ve erken tamamlanması nedeniyle ortaya çıkan envanter tutma maliyetini en küçüklemek için deneyler tasarlamıştır. Birçok sınırlı kapasite çizelgeleyicisi, var olan siparişlerin çizelgelerini ekleme sırasında değiştirmez. Bu işlem olası bir planlama dönemine etki oluşturacağı için bir karmaşıklık sağlayacaktır. Genel problem çevresi tamamlanarak yeniden çizelgelemenin yapılması veya fazla mesai kararlarının alınması için sayısal yöntemler geliştirilmiştir. Böylece, iş siparişleri çizelgelere eklenmese bile reddedilmesinin gerekmeceği belirtilmiştir (Akkan, 1997).

Yeh tarafından yapılan çalışmada; iş yönelimli çizelgeleme tekniği kullanılarak paralel makinalarda kapasite kısıtlı olarak ileri ve geriye doğru çizelgelemesi için hızlı yüklenmesini sağlayan bir algoritma geliştirilmiştir. İşin tüm operasyonları, başarılı bir şekilde çizelgeleme kadar tezgahlara tek tek yüklenir. İş yönetimine bağlı çizelgeleme tekniği; Gantt diyagramı temelli çizelgelemeye göre daha başarılı olduğu ispatlanmıştır (Yeh, 1997).

Liu tarafından, stokastik sonlu kapasite planlaması sistemlerinin performansının öncelik kuralları tarafından nasıl etkilendiği incelenmiştir. En etkili kuralın seçilmesiyle ilgili çizelgeciye rehberlik sağlamak için gecikme kriterleri ve işlerin gecikme oranı üzerinde kapsamlı benzetim deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, teslim tarihi performansı açısından operasyon tabanlı sevk kurallarının iş tabanlı kurallara göre daha iyi performans sağladığı belirlenmiştir. Burada kullanılan kurallar ileri doğru çizelgeleme için kullanılmıştır (Liu, 1998).

İş yükü kontrol tekniği; üretim planlama ve kontrol kavramı içerisinde yeni tekniklerden biri olarak ele alınmaktadır. İş yükü kontrol tekniğinde ana prensip atölyelerdeki iş istasyonu veya makinelerin önündeki kuyruk uzunluklarının kontrol altında tutulmasıdır. Kuyruk uzunlukları kısaltılırsa imalat tedarik zamanı ve bekleme zamanları kontrol altında tutulabilmektedir (Kingsman, 2000).

Kingsman çalışmasında; girdi/çıkış kontrolünün uygulanmasında prosedürler belirlenmesine yardım etmek için matematiksel olarak iş yükü kontrolünde teorik bir

yapı sağlanmasını amaçlamıştır. Bu teori siparişe üretim yapan üretim işletmeleri için, müşteri araştırma ve sipariş kabulü esnasında dinamik kapasite planlamayı mümkün kılmaktadır. Teori zaman içinde birikimli girdi çıktı arasındaki farkların kontrol edilmesine yoğunlaşmaktadır. Tek tek girdi ve çıktı periyodu dikkate alınmaz. Her ne kadar siparişe üretim yapan işletmeler hedef alınmış olsada genel bir kapasite planlama metodu verilmiştir (Kingsman, 2000).

Kolisch; siparişe göre montaj üretimi yapan ve büyük ölçekli montaj işlemlerinin çizelgelenmesi konusunda araştırma yapmıştır. Çalışmada toplam ağırlıklı gecikmenin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla karma tam sayılı formülasyon ve basit liste çizelgeleme sezgiseli geliştirilmiştir. Hem kaynak hem de parça uygunluğu kısıtları bir arada ele alınmaya çalışılmıştır. Öncelikle uygun çizelge oluşturulduktan sonra kaynakların ve işlemlerin atanması yapılmaktadır. Çalışmasının pratik uygulamasını ise kimya ve gıda endüstrisi için özel paletli taşıma sistemleri üreten bir Alman işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda tekli öncelik kuralları, çoklu öncelik kuralları ve rastgele örneklem yaklaşımı kullanılmıştır. Tekli öncelik kurallarının tatmin edici, çoklu öncelik kurallarının ise iyi performans verdiği tespit edilmiştir. Rastgele örneklem yönteminin ise büyük boyutlu problem setleri için performans ölçütünü bozduğu tespit edilmiştir (Kolisch, 2000).

Dinamik atölye ortamlarında çizelgeleme problemi, öncelik kuralları kullanılarak tezgahlar için geliştirilen çizelgelerle çözülmek istenmektedir. Öncelik kuralının seçimi çizelgelemenin amacına bağlıdır. Çizelgelemenin birden fazla amacı bulunmakta ve zaman temelinde olmaktadır. Bunlardan bazıları; ortalamanın en küçüklenmesi, iş akış zamanındaki değişim, ortalama geç kalan iş yüzdesi, geç kalan işe ait ortalama ve değişim ve benzerleri. sayılabilir. Holthaus ve Rajendran çalışmalarında yine kendileri tarafından 1997 yılında geliştirilen iki öncelik kuralını iyileştirmişlerdir. İyileştirilen kurallardan 2PT + WINQ + NPT için ortalama akış zamanını en küçüklemede en iyi sonucu vermiş, PT + WINQ + NPT + WSL ise en fazla iş gecikmesini ve gecikmiş işlerin değişimini en küçüklemiştir (Holthaus ve Rajendran, 2000).

Song ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; çok seviyeli imalat ve montaj işlemleri ile karmaşık ürünler üreten imalat sistemleri için dinamik üretim çizelgeleme ele alınmıştır. Artımlı çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme olmak üzere iki tür dinamik problem tespit edilmiştir; artımlı çizelgeleme, daha önceden çizelgelenmiş olan siparişleri etkilemeksizin, gelen siparişler için çizelgeyi tasarlamayı amaçlamaktadır. Yeniden çizelgeleme de ise mevcut siparişlerin yanı sıra yeni siparişler için bir yeniden çizelgeleme amaçlanmaktadır. Çalışma, yeniden çizelgeleme problemi üzerine odaklanmıştır. Sezgisel ve evrimsel optimizasyon yöntemleri ile yeniden çizelgeleme ile ilgili problemlerin üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Çalışmada siparişlerin geliş zamanlarının rassal, operasyon sürelerinin ise deterministik olduğu kabul edilmiştir (Song, 2002).

Lehtonen ve arkadaşları; dünyanın en büyük kağıt kaplama mekanizmaları üreten firması olan Albany International için benzetim tabanlı çizelgeleme uygulaması sunmuşlardır. Geliştirilen sistem, Mart 2003 yılının ortalarında işletmeye kurulmuştur. Mart sonuna kadar test edilmiştir. Test sonucunda iş tamamlama zamanı %50 ve malzeme hurda oranı %3 düşürülmüştür (Lehtonen, 2003).

White ve Martin tarafından yapılan çalışmalarda; sınırlı kapasite çizelgeleme konusunda bir seri halinde üç (3) adet çalışma yapılmıştır. Çalışmalar kısaca “atama sıralama çalışması”, “aparat ve makine çalışması” ve son olarakta “doldurulmuş atama sırası” olarak adlandırılmıştır (White ve Martin, 2003, 2004 ve 2005).

Birinci çalışmada; White ve Martin tarafından ana yaklaşım ve optimizasyon metodu olarak Proje Yönetimi: Yönetimsel yaklaşım (2000) kitabının dokuzuncu (9.) bölümünde Meredith ve Mantel tarafından özetlenen ve proje yönetimini esas alan sezgisel bir sınırlı kapasite çizelgeleme algoritması önerilmiştir. Bu çalışmada atama sıralaması, sınırlı kapasite çizelgeleme ile sınırsız kapasite çizelgeleme arasında bir ilişki olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada proje açısından sınırlı kapasite çizelgelemenin nasıl yapılacağı da açıklanmaktadır.

İkinci çalışmada ise, imalat ortamında çoklu ve alternatif makine ve ekipmanlarının bulunduğu durumlar için sınırlı kapasite çizelgelemenin nasıl olacağı gösterilmektedir.

Serinin üçüncü çalışmasında ise doldurulmuş atama sırası'nın (packed placement sequence) nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Makinalar ve atama sıralama kısıtlarının seçiminde iki aşamalı bir uygulama kullanılmıştır. Birinci aşama, sınırsız kapasite geriye doğru çizelgeleme işlemidir. İkinci aşama ise birinci aşamanın ve makine yükleri göz önüne alınarak yapılan sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme işlemidir.

Lee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; bütünleşik lojik devrelerin son test operasyonunun sınırlı kapasite çizelgelenmesi için darboğaz yönetiminin kullanılması sunulmuştur. Geniş ürün çeşitliliği, değişken parti büyüklükleri, uzun ve değişken hazırlık süreleri ve test cihazlarının sınırlı kapasiteleri bütünleşik lojik devrelerin son test işleminin karakteristikleri olarak sayılabilir. Bu çalışmada, farklı operasyon şartlarında geliştirilen algoritmanın test edilmesi için e-M-Plant<sup>TM</sup> yazılımı aracılığı ile benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim çalışması sonunda İlk Giren İlk Çıkar ve En Erken Teslim Zamanı kurallarının kombinasyonu ile siparişlerin çizelgelenmesi için ayrıca En Küçük Hazırlık Zamanı, En Kısa İşlem Süresi ve En Küçük Hazırlık Zamanı Artı Operasyon Zamanı kuralları ile de test ekipmanlarının sıralanması işlemleri için karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Lee, 2004).

Ierapetritou ve Wu, üretim planlama ve çizelgeleme problemine eşzamanlı genel bir yapı (çerçeve) önermişlerdir. Planlama modelinde belirsizlik hesabını kullanan çok aşamalı programlama kullanılmıştır. Önerilen modelde malzeme dengesi ile zaman ufku kısıtları yer almaktadır (Ierapetritou ve Wu, 2007).

Chang ve arkadaşlar; teslim zamanını en küçükleme amacıyla farklı sipariş salım zamanları ve eşit olmayan iş büyüklükleri ile tek yığın çizelgeleme problemini dikkate alan çalışmasında problemin karmaşıklığını tanımlayabilmek için karışık tam sayılı programlama ile bir model geliştirmiştir. Sonraki aşamalarda mevcut

çizelgenin çözüm kalitesinin artırılmasında başlangıç çizelgesindeki iş çizelgelerinin taşınması için melez ileri/geri çizelgeleme algoritması geliştirmiştir. Başlangıç çizelgesi her bir iterasyon sonunda değişmektedir. Melez ileri/geri çizelgeleme algoritması son çalışmada bu değişen çizelgede etkiyi azaltarak en iyi etkin çözüm aranmaktadır. Kapsamlı çalışmalar sonucunda melez ileri/geri çizelgeleme algoritmasının en iyi küçük boyutlu problemlerde en iyi çözümü ve iyi bir performans verdiği tespit edilmiştir (Chang, 2007).

Debels ve Vanhoucke araştırmasında; bütünleşik çelik üretim şirketinde sınırlı kapasite üretim çizelgeleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada orta dönem planlama süresinde çok amaçlı sınırlı kapasite üretim çizelgeleme algoritması sunulmuştur. Önerilen algoritmada iki aşama bulunmaktadır. Birinci aşama; siparişlerin rotalarının belirlenmesi için gereken makinaların atanması, ikincisinde ise siparişe ait her bir operasyonun başlama ve bitiş zamanlarını tespit edildiği çizelgeleme aşamasıdır (Debels ve Vanhoucke, 2009).

Chryssolouris ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Melez Geriye Doğru Çizelgeleme (MGÇ) olarak kısaltılan ve genelde kesikli imalat ortamına uygun bir hibrid geriye doğru çizelgeleme yöntemi önerilmektedir. Model, hiyerarşik sonlu kapasiteli atölye modelleme ile kesikli zamanlı benzetim yapısında çalışmaktadır. MGÇ modeli, sonlu kapasite ileriye doğru çizelgeleme yönteminin benzeri geriye doğru modellerde farklı atama politikaları yapabilecek şekilde dönüştürebilecek bir dönüşüm ilişkileri seti uygular. Bu politikalar hem tek kriterli geleneksel dağıtım kurallarını hem de akış zamanı, imalat maliyeti, gecikme gibi birbiri ile çelişebilecek kriterleri hesaba katan bir düzenlenebilir çok-amaçlı karar verme tekniğini içermektedir. MGÇ modelinin performansı tipik bir tekstil sektöründe ele alınmış ve değerlendirme birkaç ilgili performans göstergesi kullanılarak bir dizi benzetim çalışması ile yapılmıştır (Chryssolouris, 2006).

#### **2.3.4. Gerçek zamanlı çizelgeleme**

İmalat sistemlerinin bütün yönetim kademelerinde çeşitli kararlara ihtiyaç duyulmaktadır. Planlama seviyesindeki kararlar çizelgeleme prosesini direkt olarak

etkileyebilmektedirler (Pinedo, 1999). Klasik çizelgeleme yaklaşımları, çizelgeleme problemini genellikle en uygun veya uygunlardan biri ile çözmektedir (Xiang, 2007).

Statik çizelgelemenin kullanışsız olabildiği dinamik ve stokastik imalat çevrelerinde gerçek zamanlı çizelgeleme yaklaşımının gerekliliği ile karşılaşmıştır (Xiang, 2007).

Sabuncuoğlu ve Hommetzheim, tarafında gerçek zamanlı çizelgeleme, “sistemin mevcut durumunu ve sistemin tüm gereksinimlerine göre çizelge üreten ve güncelleyen kısa vadeli bir karar verme süreci” olarak tanımlanmıştır (Sabuncuoğlu ve Hommetzheim, 1982).

Çok sayıda gerçek zamanlı çizelgeleme yaklaşımı tek tezgahlı sistemler, paralel tezgahlı sistemler, akış tipi sistemler, atölye sistemleri ve esnek imalat sistemleri gibi imalat sistemleri için geliştirilmiştir. Çizelgeleme yaklaşımlarının uygulamasındaki belirsizlikler nedeniyle problem formülasyonu; tamamen reaktif, durağan çizelgeleme, kestirimci ve reaktif olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. (Araz, 2007).

Nouman ve Gu tarafından yapılan çalışmada, geliştirilen çizelgeleme yöntemi ve kontrol yapısı ile imalat çevresindeki karışıklığı gidermeye çalışılmıştır. Yapı, içerisinde çizelgeleyici ve denetleyici olmak üzere iki modül bulunmaktadır. Çizelgeleme modülü bulanık mantık çizelgeleme algoritması ile çalışmaktadır. Kontrol yapısı ise parça taşıma, parça yükleme, makine arızalanmaları ile baş etmeye, etkin bir şekilde üstesinden gelmeye çalışmaktadır (Nouman ve Gu, 1995).

Akkan; tarafından gerçekleştirilen çalışmada; fazla mesai çizelgeleme adı verilen ve iş merkezleri için en uygun maliyetle ne zaman ve ne kadar fazla mesai ihtiyacını tanımlayan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntem sınırlı kapasite gerçek zamanlı çizelgeleme ve planlama sisteminin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, muhtemelen üretim planlama ve çizelgeleme pratiğinde ortaya çıkan paradigma değişimi ile ilgili ilk tedarik yaklaşım olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar ile uygulayıcılar arasındaki işbirliği ile fazla mesai çizelgeleme gibi çok ilginç

problemlerin tespit edilebileceği ve bu problemlere uygulayıcıların görüşlerini alarak yöneylem araştırması tekniklerinin uygulamaya çalışılabileceği belirtilmiştir (Akkan, 1996).

Du ve Wolfe, çalışmalarında; geleneksel MİP sistemlerinin periyottan periyoda çalışma kısıdını ortadan kaldırmaya yönelik aktif, kısa dönem planlarına uygun ve gerçek zamanlı bir MİP sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan bu sistemde; nesne yönelimli veri tabanı, bulanık mantık denetleyicileri ve yapay sinir ağlarını içeren bir melez mimari kurulmuştur. Bu sistemde bulanık mantık denetleyicileri ile dinamik ve statik bilginin nesne yönelimli veri tabanlarında birleştirilmesi, sonrasında eğerise kurallarını elde etmek, hata toleransı ve adaptasyon öncelikleri nedeniyle bulanık üyelik fonksiyonlarını belirlemek için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Son olarak envanter sınıflandırma işlemi için yapay sinir ağları ile bulanık mantık denetleyicileri birleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kısa dönemli aktif ve gerçek zamanlı bir MİP geliştirilmiştir (Du ve Wolfe, 2000).

Dini ve Rossi yaptıkları çalışmada Esnek İmalat Sistemlerinde (EİS) en iyilenen üretim planlarının genetik algoritmalar ile yapılabilirliğini göstermişlerdir. Sistemin kabiliyeti dinamik çizelgeden ve parça akışlarındaki değişikliklerden dolayı alternatif planlar geliştirebilmesidir. Sistem optimal çözümü elde etmek için iş odaklı genetik algoritma kullanarak gerçek zamanlı olarak tepki vermektedir (Dini ve Rossi, 2000).

Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu dinamik ve stokastik imalat ortamları için tekrarlı benzetim tabanlı çizelgeleme mekanizması önermişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda önerilen çoklu sonuç veya tekrarlı algoritmanın daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir (Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu, 2001).

Kaschel ve arkadaşları; atölye çizelgeleme için evrimsel arama algoritmalarının kullanılmasını ve fabrika veri toplama sistemleri ile çift yönlü olarak bütünleştirilmesi konusunda çalışmışlardır. Evrimsel algoritmalar, karmaşık çizelgeleme problemleri için olası çözümler önermesine rağmen son on yıl içerisinde gerçek hayatta bir çok başarısız örnekleri bulunmaktadır. Geliştirilen sistem iki adet



Alman yazılım şirketi işbirliği ile mühendislik işletmeleri için geliştirilmeye devam edilmektedir (Kaschel, 2002).

Petrans ve Rizzi; atölye öncelik kurallarını sıralamak için çoklu performans kriteri altında bulanık mantık tabanlı grup karar verme aracı geliştirmiştir. Bu çalışmada, beş farklı öncelik sıralama kuralı üç karar verici tarafından beş farklı performans ölçüsüne göre sözel (kötü, zayıf, orta, iyi, çok iyi) olarak değerlendirilmiştir (Petrans ve Rizzi, 2002).

Chong ve arkadaşları tarafından etkin olan imalat koşullarına uyum sağlayacak bir benzetim tabanlı gerçek zamanlı çizelgeleme mekanizması önerilmiştir. Bu çizelgeleme mekanizması hem çevrim dışı hem de çevrim içi benzetimi kullanmaktadır. Çevrim dışı benzetim ile düzeltilmiş ortalama akış zamanı performanslarına göre farklı çizelgeleri karşılaştırarak referans endeksler oluşturmak için kullanılmaktadır. Çevrim içi çizelgeleme ise, en iyi çizelgeleme yaklaşımını seçmek için çevrim dışı çizelgeleme tarafından oluşturulan referans endeksleri kullanılmaktadır (Chong, 2003).

Chan ve arkadaşları esnek imalat sistemlerinde parçaların rotasının belirlenmesi, hangi işlemlerden geçeceğini belirlemek için gerçek zamanlı bulanık bir uzman sistem tanımlamışlardır. Bu çalışmalarda, bulanık mantığı iki farklı yoldan uygulamışlardır. Birinci durumda rota seçimindeki farklı sezgisel kurallarla bulanık öncelik kurallarını birleştirmek için ikinci durumda ise sonraki işlenecek operasyonu tanımlaması için en kısa operasyon zamanı ve işlem başına kalan aylak zaman kuralları birleştirilerek bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır (Chan, 2002 ve 2003).

Canbolat, Gündoğar, Bilkay ve arkadaşları atölye çizelgelemede bulanık mantık temelli uygulama geliştirmişlerdir. Canbolat ve Gündoğar tarafından önerilen ortalama gecikme, proses içi envanter ve çıktı zamanlarında önemli bir gelişme gösterilmiştir. Bilkay ve arkadaşlarının çalışmaları sonucunda sistemin etkinliği artırılmıştır (Canbolat ve Gündoğar, 2004, Bilkay, 2004).

Wuttiornpun ve Yanradee; geleneksel MİP sürecinin tezgahları sınırsız kapasiteli olarak düşünmesinden dolayı MİP sistemi tarafından hazırlanan planlar için kapasite problemini planlamacıların elle çözmeye çalıştıklarını belirtmiştir. Kapasite probleminin elle çözümlenmeye çalışılmasının üstesinden gelmek için sonlu kapasite MİP sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem direksiyon simidi üreten bir fabrikadan elde edilen verilerle test edilmiştir. Yapılan çalışmada işlerin teslim tarihinden önce tamamlanmasına izin verilmesi durumunda gerekli olan fazla mesai ihtiyacının azaltılacağı tespit edilmiştir (Wuttiornpun ve Yanradee, 2004).

Kunnathur ve arkadaşları; dinamik atölye çizelgeleme için kural tabanlı bir uzman sistem önermişlerdir. Klasik öncelik kuralları ile karşılaştırmıştır. Ortalama akış zamanı, ortalama gecikme ve geciken iş yüzdesi performans ölçütlerine göre önerilen yaklaşımın daha iyi sonuçlar verdiğini belirtilmiştir (Kunnathur, 2004).

Stanits ve Sinreich; Esnek imalat sistemleri için iki aşamalı çok kriterli bir metodoloji ile baskın karar kriteri geliştirilmiştir. İlk aşamada kural tabanı algoritması ile baskın karar kriteri ve ilgili çizelge kurallarının seçiminin üstesinden gelinmiştir. İkinci aşamada ise seçilen kritere göre en iyi çizelgeleme kuralını diğerleri ile karşılaştırarak belirlenmiştir. Sonuçlar önerilen yaklaşımın hesaplama zamanı bakımından iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Genellikle yapay sinir ağları (YSA) gerçek zamanlı çizelgeleme sistemlerinde iki ana amaçla kullanılırlar.

1. Her bir yeniden çizelgeleme noktasındaki alternatif çizelgelerin performansının meta data modelinin tanınmasında belirlenmesi
2. Çizelgeleme YSA ile yapılmaktadır (Stanits ve Sinreich, 2006).

Ram ve arkadaşları; ürün ağacının sabit olmadığı durumlarda MİP sisteminin kullanılmasından dolayı karşılaşılan beklenmedik eksikliklerin üstesinden gelmek için bağımlı talep parçalarının ihtiyaçlarını nasıl planlayacağını tanımlamıştır. Ana üretim çizelgesinde belirtilen ihtiyaçlarda bir eksikliğin var olduğu durumda bir başka parça ile değişimine izin vererek eksikliğin üstesinden gelmeye çalışılmaktadır. Çalışma yemek sektöründe çevresinde örneklendirilerek açıklanmıştır (Ram, 2006).

Tang ve Xuan; atölye seviyesi için gerçek zamanlı dağıtık imalat çizelgeleme problemleri için bir yapı önermişlerdir. Atölye çoklu iş hücresi şeklinde modellenmiştir. Önerilen yapı, dağıtık atölye kontrol, dinamik dağıtık çizelgeleme algoritması, iş hücrelerinin modellenmesinde çoklu etmen ve atölye için servis yönelimli bütünleşmeyi içermektedir (Tang ve Xuan, 2006).

Yoon ve Shen tarafından yapılan çalışmada; benzetim tabanlı gerçek zamanlı çizelgeleme sisteminin genellikle dört bileşeni olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar; atölye ortamından veri toplama ve izleme sistemi, benzetim modeli oluşturan, çalıştıran ve sonuçları analiz eden benzetimci, çizelge ve öncelik kurallarını belirleyen karar verme sistemi ve atölyeyi kontrol eden yönetme sistemidir (Yoon ve Shen, 2006).

Gerçek zamanlı çizelgeleme ile ilgili ilk çalışmalardan biri Davis ve Jones tarafından stokastik çevrede Esnek imalat sistemlerinin gerçek zamanlı çizelgenmesi için geliştirilen benzetim tabanlı karar destek sistemi olduğu belirtilmiştir (Uraz, 2007).

Singh ve arkadaşları tarafından işlenmek için bir işi seçmek için eş zamanlı olarak birkaç öncelik kuralını dikkate alan çoklu geçişli gerçek zamanlı bir metodoloji önermiştir. Önerilen metodoloji: önerilen yöntem performans değerlerinin sürekli olarak izlenmesini sağlamaktadır (Singh, 2007).

Benzetim ve öncelik kurallarına dayalı çalışmaların sonuçları önerilen metodolojilerin sabit planlama yöntemlerinden daha iyi olduğunu göstermiştir. Ancak tüm çalışmalar, her bir yeniden çizelgeleme noktasında birkaç defa benzetim çalışmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle benzetim tabanlı gerçek zamanlı çizelge yaklaşımlarını kullanmak zaman alabilir. Gerçek zamanlı çizelgeleme ile ilgili bir kısım çalışma ise Yapay Zeka tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağları (YSA) uzman sistemler, bilgi tabanlı, olay tabanlı çıkarım ve bulanık mantık teknikleri ile her bir yeniden çizelgeleme noktasında öncelik kurallarının seçimi daha çabuk yapılabilmektedir (Uraz, 2007).

Sabuncuoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; veri madenciliği, benzetim ve istatistiksel proses kontrol şemalarını kullanan gerçek zamanlı sıralama kurallarını seçen bir çizelgeleme sistemi geliştirilmiştir. Önerilen sistem, atölyede ortalama gecikme zamanını en küçükmek için uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, çok etkili olduğu bilinen benzetim tabanlı çoklu geçiş yaklaşımı ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmanın asıl anahtar noktaları ise izlemeye olanak vermesi, doğru kuralları seçebilmesi, karar ağaçlarını oluştururken geçmiş tüm verileri kullanması ve imalat ortamındaki değişikliklerin algılanması ve düzenlemenin ilgi çekici ve maliyetin etkin bir metot olmasıdır (Sabuncuoğlu, 2010).

Shiue ve arkadaşları; gerçek zamanlı çizelgeleme sistemlerinin kullanıldığı zeki çoklu kontrolör geliştirmek amacıyla gerçek zamanlı çoklu sıralama kuralları seçim mekanizmasında kendi kendini düzenleyen haritaları temel alan bir çalışma yapmışlardır. Geliştirilen zeki çoklu kontrolörlerde, benzetim temelli eğitim örnekleri üretim mekanizması, veri ön işleme mekanizması ve öz düzenleyici harita temelli gerçek zamanlı çoklu sıralama kuralı seçme mekanizmaları bulunmaktadır (Shiue, 2010).

## 2.4. Sonuç

Malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) sisteminin kullanılmaya başlandığı 70'lerden günümüze kadar üretim işletmeler için öncelikler değişmiştir. Önceleri üretmek önemliyken şimdilerde istenilen zamanda, istenilen fiyatta, istenilen kalitede ürün üretimi önem kazanmıştır. Bu nedenle müşteri beklenti ve isteklerini karşılayabilmek için işletmeler yeni arayışlara ve modern üretim planlama ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duymuşlardır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda,

- Mevcut kullanımdaki malzeme ihtiyaç planlaması yazılımlarının sadece malzeme ihtiyaçlarına odaklanması ve sonsuz kapasite ile planlama

yapmalarından, gerçek zamanlı ve piyasa şartlarına uygun üretim planlarının oluşturulması ve yönetilmesine ihtiyaç duyulduğu,

- Malzeme ihtiyaç planlaması sistemlerinin çıktılarını kullanarak planlamacılara raporlar üreterek kapasite probleminin planlamacı tarafından çözülmesi isteyen kapasite ihtiyaç planlaması sistemleri yerine malzeme ihtiyaçlarının mevcut kapasite yüklerine bakarak hesaplayan planlama sistemlerine ihtiyaç olduğu,
- Ürün yapısının çok seviyeli olması, bağımlı talepler arasındaki etkileşimden dolayı imalat ve montaj işlemlerinin gerçekleştirildiği karmaşık atölye ortamlarında planlama ve kontrol faaliyetlerinin güçleşmesi,
- Ürün yapılarının müşteri isteklerine göre değişiklik göstermesinden dolayı işletmeler sabit ürün yerine çeşitli ürün üretme ihtiyacı duymaya başlamış ve bu ürünlere olan belirsiz talep nedeniyle ana üretim çizelgelerindeki talep tahmini hataları,
- Literatürdeki çizelgeleme ile ilgili bir çok çalışmanın belirsiz talep ve dinamik atölye ortamları yerine deterministik ve statik atölye ortamları ile ilgili olması,
- Atölye çizelgeleme ile ilgili çalışmaların malzeme ihtiyaç planlaması süreçlerinden bağımsız yapılması, malzeme ihtiyaç planlaması sistemleri tarafından üretilen sonuçlar için atölye kontrol sistemleri tarafından çizelgeleme ile ayrıca çalışıldığı belirtilmiştir.

İlgili literatür incelemesinde görülen bulgular neticesinde, çok seviyeli montaj ve üretim süreçlerine sahip, çoklu ürün üreten bütünleşik imalat ortamları için mevcut kapasite durumlarını gerçek zamanlı olarak kontrol edebilen, yeni gelen siparişleri planlayarak uygun bir teslim tarihi oluşturan, müşteri siparişlerini karşılamayı amaçlayan bütünleşik bir üretim planlama ve kontrol yapısına ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır. Bu bulgulardan yola çıkarak siparişe üretim yapan imalat ortamları için gerçek zamanlı ve sınırlı kapasiteli bir üretim planlama ve kontrol yapısına ihtiyaç bulunmakta olduğu tespit edilmiştir.

### **BÖLÜM 3. GERÇEK ZAMANLI SINIRLI KAPASİTE ÜRETİM PLANLAMA ve KONTROL YAKLAŞIMI**

Bu bölümde ikinci bölümde tartışılan literatür araştırmasına göre günümüz imalat ortamlarının problemlerini çözebilecek, çok aşamalı, çok çeşitli ürün üreten imalat işletmelerinin üretim planlama ve kontrol yapısı için geliştirilen gerçek zamanlı sınırlı kapasite malzeme ihtiyaç planlaması ve çizelgeleme yaklaşımı önerilmiş ve modelin işleyişi tartışılmıştır.

Üretim planlama ve kontrol faaliyetlerinde amaç, imalat süreci içinde hammaddenin işletmeye girişinden nihai ürüne dönüşene kadar olan akışını düzenlemektir. Bir başka ifadeyle üretim planlama ve kontrol sürecinde ürüne ait bileşenlerin, ne kadar ve ne zaman üretileceği belirlenir.

Küresel rekabet nedeniyle, ürünlerin yaşam döngüsü kısalmış, müşteri istek ve beklentileri artmış, düşük maliyetli ve zengin ürün çeşitliliği arzu edilmeye başlanılmıştır. Bu nedenlerden dolayı geleneksel olarak fazla üretilip stoklanarak müşteri isteklerinin karşılanması fikrinden uzaklaşmaktadır.

Çok aşamalı ve çok çeşitli ürün üreten işletmelerin küresel rekabet ortamında rakipleri ile rekabet edebilmesi için gerçek zamanlı bir üretim planlama ve çizelgeleme sistemine ihtiyacı bulunmaktadır. Bu işletmelerin sahip olacağı sağlıklı bir üretim planlama ve kontrol yapısı sayesinde, maliyetlerin düşmesine, müşteri siparişlerinin karşılanma oranının yükselmesine, gerçekçi bir teslim tarihi elde edilmesine, gelecek planlamalarının etkin bir şekilde yapılmasına imkan sağlanacaktır.

### 3.1. Önerilen Modelin Tanımlanması

Çok aşamalı ürün yapısında dolayı günümüz işletmeleri sadece montaj veya imalat atölyelerinden değil bu iki ortamın bir arada yer aldığı ve bütünleşik olarak çalıştığı yapılar haline gelmişlerdir. Önerilen sistemde montaj ve imalat atölyeleri tek bir yapı olarak düşünülerek planlama ve kontrol işlemleri tek bir noktadan yapılması düşünülmüştür.

### 3.2. Gerçek Zamanlı Sınırlı Kapasite Üretim Planlama ve Kontrol Yapısı

Bu kısımda önerilen gerçek zamanlı sınırlı kapasite üretim planlama ve kontrol yapısı tanımlanacaktır.

Önerilen yapıda siparişe üretim yapısı temel alınmıştır. Yapının ilk tetikleme noktası nihai ürüne ait bir siparişin gelmesi ile başlamaktadır. Nihai ürüne ait her hangi bir zamanda gelen sipariş için, sipariş işleme sürecinin amacı üretilecek siparişe ait ihtiyaç planlarını belirlemek ve gerçekçi bir montaj ve üretim çizelgesi oluşturarak siparişler için uygun teslim tarihinin belirlenmesidir. Sonrasında ise montajı yapılacak ve üretilecek olan tüm işler için gerekli olan kaynakların kapasite kısıdının göz önüne alınarak atanmasını sağlamaktır.

Müşteri siparişlerinin kabul edilmesi ve işlenmesi üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar:

1. Sınırlı Kapasite Geriye doğru çizelgeleme:
2. İleri doğru çizelgeleme ve teslim tarihi atama
3. Gerçek zamanlı çizelgeleme

#### 3.2.1. Sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme

Geriye doğru çizelgeleme aşamasında müşteri tarafından siparişin teslim edilmesi istenilen zamandan ürün ağacı, rota bilgileri ve daha önceden tezgahlara gönderilmiş olan iş yüklerine bakarak, ürün ağacının bütün dallarının en alt seviyesinde bulunan hammadde ve/veya satınalma parçalarına kadar olan bütün seviyelerde yer alan

parçalara ait ihtiyaç planlarının, imalat ve montaj işlemleri için gerekli olan başlama ve bitiş zamanlarının belirlendiği safhadır.

Sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme süreci geleneksel malzeme ihtiyaç planlama (MİP) prosedürüne benzemekte olup MİP prosedüründen en önemli farkı tezgahlara daha önceden atanmış olan işlerin oluşturmuş olduğu kapasite durumunu göz önüne almasıdır. Başka bir ifade ile eş zamanlı malzeme ihtiyaç planlamasına benzemekte olup işlem yapılacak olan tezgahlara daha önceden atanmış olan işlemlerin göz önüne alınmasıdır.

Diğer bir fark ise geleneksel malzeme ihtiyaç planlamasında mamul ve yarı mamullerin imal edilmesi için sabit tedarik zamanları kullanılmakta iken önerilen sistemde imal edilecek mamul ve yarı mamuller için dinamik tedarik zamanları kullanılmaktadır. Dinamik tedarik zamanlarını hesaplama formülü aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. :

$$T_s = T_{haz} + PM \times T_{op} \quad (3.1)$$

$T_s$  = Dinamik tedarik süresi

$T_{haz}$  = Hazırlık zamanı

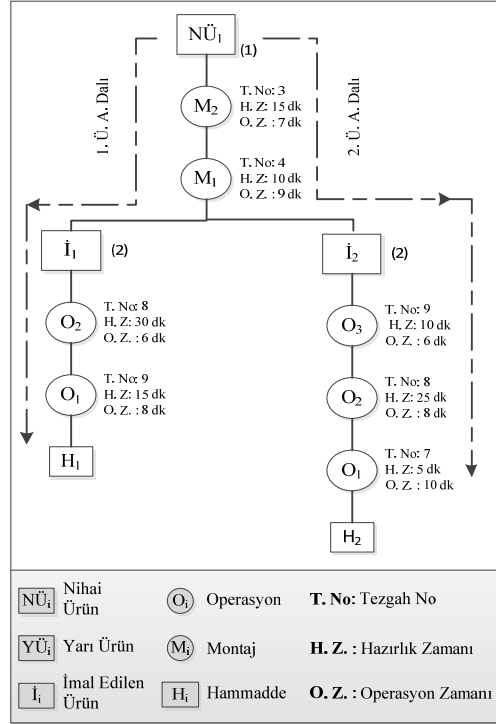
PM = üretilecek parça miktarı

$T_{op}$  = operasyon süresi

Geriye doğru çizelgeleme süreci aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır.

1. Geriye doğru çizelgelenecek olan siparişe ait ürün ağacı ve rota bilgileri yardımıyla; nihai ürünün oluşması için, ürün ağacının her bir dalında bulunan operasyonlar, en son işlenecek işlemde ilk işlenecek işleme kadar olan bütün işlemler tespit edilir.





Şekil 3.1. Örnek Ürün Ağacı

Şekil 3.1’de verilen örnek ürün ağacının 2 adet dalı vardır. Örnek ürün ağacının 1. dalına ait işlemler sondan başa doğru  $M_2$  (montaj 2),  $M_1$ ,  $O_2$  (operasyon 2),  $O_1$  işlemleridir. Örnek ürün ağacının 2. dalı için ise  $M_2$ ,  $M_1$ ,  $O_3$ ,  $O_2$ ,  $O_1$  sırasıyla işlemleridir.

2. Tespit edilen dalların hangi sıra ile geriye doğru çizelgeleneceği ürüne ait bütün işlemlerin (işlenmeye başlama ve bitiş zamanlarının tespit edilmesinde etkili olduğundan) ürün ağacı dallarının olası tüm sıralamaları oluşturulur.

Şekil 3.1.’de verilen ürün ağacına ait geriye doğru çizelgeleme işlemi sırasıyla önce 1. dalın ardından 2. dalın çizelgelenmesi veya önce 2. dalın ardından 1. dalın çizelgelenmesi olmak üzere iki farklı sıralama şeklinde yapılabilecektir.

3. Oluşturulan sıralamaların her biri; siparişin işleneceği tezgahlar boş olarak kabul edilerek siparişin teslim edilmesi istenilen tarihten başlanılarak geriye doğru çizelgelenecektir. Siparişe ait müşteriden gelen teslim tarihinden başlanarak nihai ürünü üretmek için gerekli olan son işlem/operasyon belirlenir.

4. Belirlenen işlem için gerekli olan süre (hazırlık zamanı + parça miktarı x operasyon süresi) formülüyle hesaplanır.

Örnek ürün ağacından beş (5) adet sipariş geldiği kabul edilerek, işlemlerin dinamik tedarik zamanları hesaplanarak tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Örnek ürün ağacı için hesaplanan dinamik tedarik zamanları

Parça	İhtiyaç	Tezgah No	İşlem	Hesaplama İşlemi $T_s = T_{haz} + M \times T_{op}$	Dinamik Tedarik Zamanı
<b>NÜ<sub>1</sub></b>	5				
		3	M <sub>2</sub>	15 + 7*5	50 dk.
		4	M <sub>1</sub>	10 + 9*5	55 dk.
<b>İ<sub>1</sub></b>	10				
		8	O <sub>2</sub>	30 + 6*10	90 dk.
		9	O <sub>1</sub>	15 + 8*10	95 dk.
<b>İ<sub>2</sub></b>	10				
		9	O <sub>3</sub>	10 + 6*10	70 dk.
		8	O <sub>2</sub>	25 + 8*10	105 dk.
		7	O <sub>1</sub>	5 + 10*10	105 dk.

5. Hesaplanan süre teslim tarihinde çıkarılarak işlem/operasyon için başlama zamanı, bir önceki işlem içinse teslim zamanı belirlenir. En alttaki işlemin başlama ve bitiş zamanları tespit edilene kadar tekrarlanarak geriye doğru çizelgeleme tamamlanır.

Tezgaah No		Ürün ağacına ait önce 1 numaralı ardından 2 numaralı dalın çizelgelemesi			
3					M <sub>2</sub> İşlemi 50 dk
4					M <sub>1</sub> İşlemi 55 dk
7		I <sub>2</sub> parçasına ait O <sub>1</sub> İşlemi 105 dk			
8			I <sub>2</sub> parçasına ait O <sub>2</sub> İşlemi 105 dk		I <sub>1</sub> parçasına ait O <sub>2</sub> İşlemi 90 dk
9			I <sub>1</sub> parçasına ait O <sub>1</sub> İşlemi 95 dk		I <sub>2</sub> parçasına ait O <sub>3</sub> İşlemi 70 dk
	10:45		12:40	14:15	14:35
			12:30		15:45
					16:40
					17:30

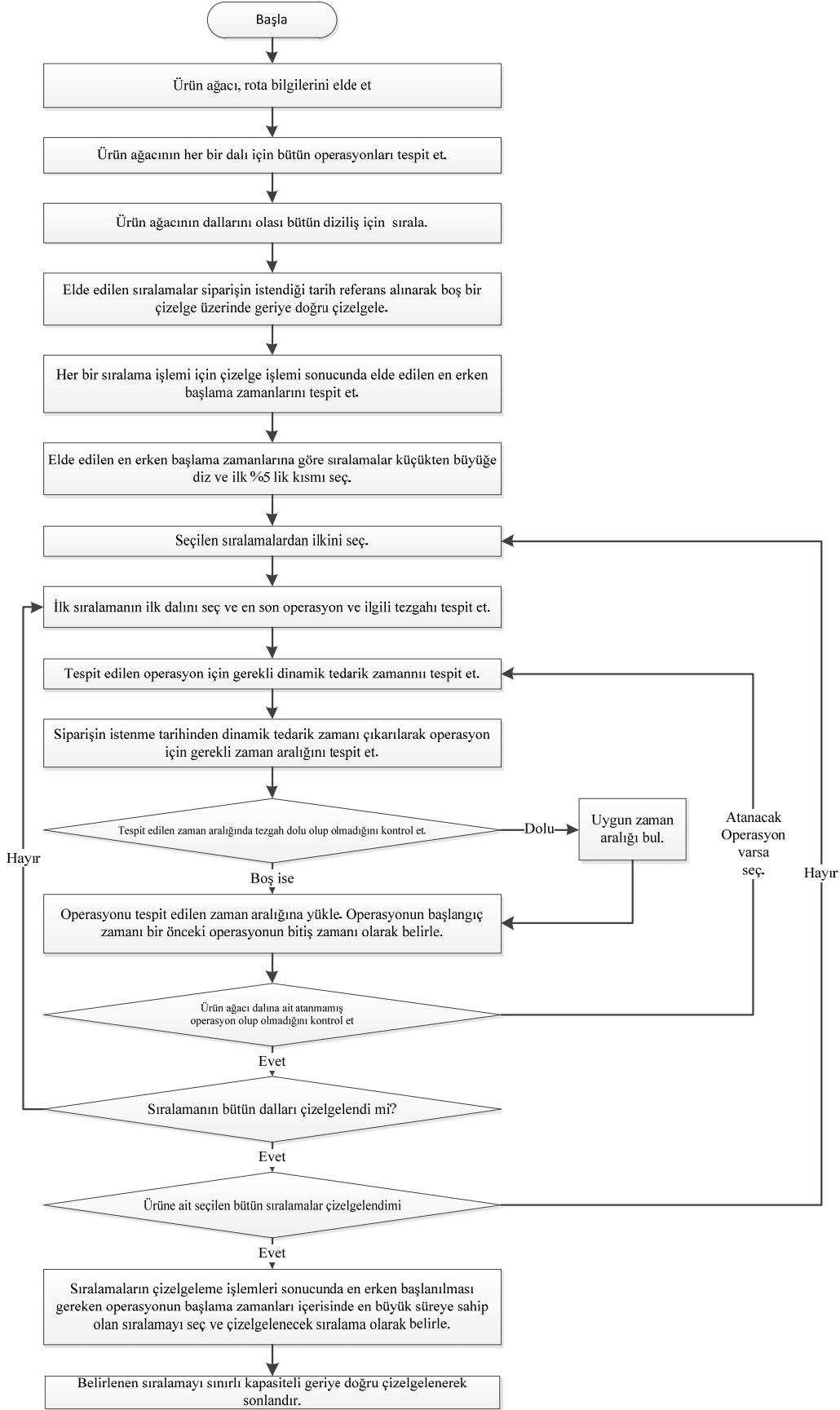
Tezgaah No		Ürün ağacına ait önce 2 numaralı ardından 1 numaralı dalın çizelgelemesi			
3					M <sub>2</sub> İşlemi 50 dk
4					M <sub>1</sub> İşlemi 55 dk
7		I <sub>2</sub> parçasına ait O <sub>1</sub> İşlemi 105 dk			
8			I <sub>1</sub> parçasına ait O <sub>2</sub> İşlemi 90 dk		I <sub>2</sub> parçasına ait O <sub>3</sub> İşlemi 70 dk
9		I <sub>1</sub> parçasına ait O <sub>1</sub> İşlemi 95 dk			I <sub>2</sub> parçasına ait O <sub>3</sub> İşlemi 70 dk
	09:45		11:20	12:50	14:35
			11:10		15:45
					16:40
					17:30

Şekil 3.2. Örnek ürün geriye doğru çizelgeleme

6. Her bir sıralamanın geriye doğru çizelgelenmesi sonucunda elde edilen tüm işlemlere ait başlama ve bitiş zamanları içinde en erken başlanılması gereken işlem ve başlama zamanı tespit edilir.

Geriye doğru çizelgeleme işlemleri sonucunda önce bir numaralı dalın ardından iki numaralı dalın çizelgelenmesi sonucunda en erken işleme başlanma zamanı 10:45, önce iki numaralı ardından bir numaralı dalın geriye doğru çizelgelenmesi sonucunda ise en erken işleme başlanma zamanı 09:45 olarak tespit edilmiştir.

7. Tüm sıralamalar için tespit edilen başlama zamanları göz önünde bulundurularak büyükten küçüğe doğru sıralanır.
8. Sıralama işleminin yapılmasından sonra tüm sıralamaların ilk yüzde beşlik (%5) kısmı seçilir.
9. Seçilen sıralamalara göre sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme işleminin yapılmasına başlanılır.
10. Bu aşamada yapılan işlem daha önceden yapılan geriye doğru çizelgeleme ile aynı adımları kullanmaktadır. Sadece çizelgelenecek işlem için belirlenen başlama zamanı ile bitiş zamanı arasında ilgili tezgahın boş olup olmadığı kontrol edilerek işlem yüklenmeye çalışılır. İlgili tezgah belirlenen zaman diliminde boş ise, işlem tezgaha atanır, tezgah boş değil ise işlemin yapılabileceği ilk uygun zaman dilimine atanır.
11. Belirlenen işlem atanmasından sonra ilgili iş parçasından önce tamamlanması gereken işlem tespit edilerek aynı işlem onlar içinde uygulanarak atamaları yapılır.
12. Bütün işlemlerin atanması işleminin tamamlanmasından sonra tüm sıralamalara ait işlemler için; çizelgeleme sonucunda elde edilen başlama zamanlarından en erken başlama zamanı tespit edilerek büyükten küçüğe doğru sıralanır ve en büyük zamanın sahibi olan sıralama seçilir.
13. Seçilen sıralamaya ait tüm işlemler sınırlı kapasite geriye doğru çizelgelenecek şekilde sonlandırılır.



Şekil 3.3. Sınırlı Kapasite Geriye doğru Çizelgeleme Algoritması Akış Şeması

### **En erken işe başlama zamanı ile sipariş geliş tarihini karşılaştırma:**

Sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme sonucu elde edilen imalat ve montaj işlemleri için belirlenen işe başlanma zamanları içerisinde en erken başlama zamanı tespit edilerek müşteri siparişinin geldiği zaman ile karşılaştırılır. Eğer en erken iş başlama zamanı sipariş geliş tarihinden daha sonraki bir zamana denk geliyor ise hazırlanan çizelge sonlandırılır. Eğer en erken iş başlama zamanı sipariş geliş tarihinden önceki bir zamana denk geliyor ise geriye doğru çizelgeleme aşaması sonucunda elde edilen siparişe ait tüm işlemler çizelgeden çıkartılır ve sipariş ileri doğru çizelgeleme yapılır.

### **3.2.2. İleri doğru çizelgeleme ve teslim tarihi tespit etme**

Müşteri siparişinin geldiği zaman ile siparişin istendiği teslim tarihi arasındaki farkın tezgahlarda önceden belirlenen işlerden dolayı yetersiz kalması durumunda siparişin üretilebilmesi için siparişin geldiği zamandan başlamak üzere en erken başlanması gereken işlemde başlayarak ürün ağacı ve rota bilgilerinde de faydalanılarak en son işleme doğru çizelgenmesi işlemidir.

İleri doğru çizelgeleme süreci aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır.

1. Çizelgelenecek siparişe ait ürün ağacı ve rota bilgileri yardımıyla; nihai ürünün oluşması için, ürün ağacının her bir dalında bulunan tüm işlemler en son işlenecek işlemde ilk işlenecek işleme kadar tespit edilir.
2. Ürün ağacının her bir dalı için dinamik tedarik zamanlarının toplamından oluşan imalat tedarik zamanları elde edilir.

Şekil 3.1.'deki örnek ürün ağacının dallarına ait imalat tedarik zamanları birinci dal için  $M_2$ ,  $M_1$ ,  $O_2$  ve  $O_1$  işlemlerinin dinamik tedarik zamanlarının (50+55+90+95) toplamı olan 290 dakika ikinci dal içinse  $M_2$ ,  $M_1$ ,  $O_3$ ,  $O_2$  ve  $O_1$  işlemlerinin dinamik tedarik zamanlarının (50+55+70+105+105) toplamı olan 385 dakika olarak hesaplanır.

3. Belirlenen imalat tedarik zamanlarından en büyük süre siparişe ait tedarik zamanı olarak belirlenir. En büyük süreye sahip dal sipariş için ana dal olmaktadır. En büyük süreye sahip olan ürün ağacı dalının ürünün üretilmesi için gerekli olan kritik yol olarak düşünülmüştür.

İkinci dala ait imalat tedarik zamanının birinci dala ait imalat tedarik zamanından büyük olmasından dolayı ikinci dal sipariş tedarik zamanı olarak belirlenir. Şekil 3.1.'deki örnek ürün için sipariş tedarik zamanı, ürün ağacı dallarına ait operasyon sürelerinin toplamları içerinden en büyük süre olan 385 dakika olarak belirlenir.

4. Sipariş tedarik zamanının elde edildiği ürün ağacı dalının (ana dalın) en alt seviyesinde bulunan operasyon ve operasyonun gerçekleştirileceği tezgah tespit edilir.

Sipariş tedarik zamanının elde edildiği ikinci dalın en alt seviyesinde bulunan işlem  $I_2$  parçasının imal edilmesi için gerçekleştirilmesi gereken  $O_1$  işlemidir.  $O_1$  işlemi 7 numaralı tezgahta işlenecektir.

5. Tespit edilen operasyon için gereken iş yükü dinamik iş yükü formülüyle hesaplanır.
6. Operasyonun atanacağı tezgaha ait daha önceden atanmış olan operasyonlar belirlenir.
7. Operasyon eğer ürün ağacının en altında bulunan operasyon ise başlama zamanı olarak sipariş geliş zamanı atanır. Sipariş geliş zamanına dinamik iş yükünün eklenmesiyle operasyonun bitiş zamanı elde edilir. Eğer operasyon ilk operasyondan sonra gelen herhangi bir operasyon ise, sipariş başlama zamanı bir önceki operasyonun bitiş zamanı olacaktır.

Şekil 3.1.'deki örnek ürüne ait 5 adet siparişin 10 Ocak 2010 tarihinde saat 10:30 geldiği ve geriye doğru sınırlı kapasite çizelgeleme işlemi neticesinde çizelgeleme işleminin başarısız olduğu varsayılarak  $O_1$  işleminin ileri doğru yüklenmesi için işlem için başlama ve bitiş zamanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Siparişin geliş zamanı olan 10 Ocak 2010 saat 10:30  $O_1$  işleminin başlama zamanı olarak belirlenir.

Bitiş zamanı ise başlama zamanına işlem süresi olan 105 dakikanın eklenmesi sonucunda 10 Ocak 2010 saat 12:15 olarak hesaplanır.

8. Başlama ve bitiş zamanları arasındaki zaman dilimi için, tezgaha daha önceden atanmış olan işler göz önünde bulundurularak tespit edilen zaman aralığı için tezgahın dolu mu boş mu olduğu kontrol edilir.

O<sub>1</sub> işlemi için 10 Ocak 2010 saat 10:30 ile 12:15 saatleri arasında 7 numaralı tezgaha daha önceden atanmış herhangi bir iş olup olmadığı kontrol edilir.

9. Eğer tezgah belirlenen zaman aralığı için daha önceden atanan operasyonlardan dolayı dolu ise, ataması yapılacak olan operasyon süresi için ilk uygun zaman aralığı belirlenir ve operasyon bu zaman dilimine atanır. Başlangıç ve bitiş zamanları güncellenir.

10. Kontrol edilen zaman aralığında tezgah boş ise operasyon ilgili zaman aralığına atanır.

11. Ataması yapılan operasyondan sonra başka bir operasyon mu yoksa bir parça/yarı mamul mü olduğunu kontrol edilir.

Örnek ürün ağacının ikinci dalında bulunan O<sub>1</sub> işleminden sonra O<sub>2</sub> numaralı işlem bulunmaktadır.

12. Eğer operasyondan sonra başka bir operasyon varsa, operasyonun işleneceği tezgah tespit edilir. Bir önceki operasyonun bitiş zamanı tespit edilen operasyonun başlangıç zamanı olarak belirlenir ve operasyon için 5. adımdan itibaren yapılanlar tekrarlanır.

O<sub>1</sub> işleminin bitiş zamanı olan 10 Ocak 2010 saat 12:15 O<sub>2</sub> işleminin başlama zamanı olarak atanır.

13. Eğer operasyondan sonra herhangi bir parça/yarı mamul mevcut ise, bu parça/yarı mamul'ün gireceği operasyon tespit edilir.



Örnek ürün ağacının  $O_3$  işleminden sonra  $I_1$  parçası oluşmakta ve oluşan parça  $M_1$  işlemine girmektedir.  $O_3$  işleminin ileri doğru yüklenmesi sonucunda  $O$  işleminin tamamlanma zamanı olarak saat 15:10 olarak hesaplanır.

14. Tespit edilen operasyonun başlangıç zamanı bir önceki operasyonun bitiş zamanına eşitlenir. Tespit edilen operasyona işlenmek üzere giren parça/yarı mamuller tespit edilir.

$O_3$  işleminin bitiş zamanı  $M_1$  işleminin başlangıç zamanı olarak belirlenir.  $M_1$  işleminin başlangıç zamanı 15:10 olarak atanır.  $M_1$  işlemine  $I_2$  parçasıyla birleşmek üzere  $I_1$  parçası da girmektedir.

15. Tespit edilen parça/yarı mamullerin her birisi için bitiş zamanları operasyon başlangıç zamanı olarak atanır. Atanan bitiş zamanlarından başlanarak geri doğru çizelgeleme işlemleri uygulanır.

$I_2$  ve  $I_1$  parçalarının aynı anda  $M_1$  işlemi için hazır hale gelmesini sağlamak amacıyla  $I_1$  parçasının bitiş zamanı olarak  $M_1$  işleminin başlama zamanı atanır.  $I_1$  parçasının oluşması için gerçekleştirilmesi gereken  $O_2$  işleminin bitiş zamanı olarak 15:10 zamanı atanır. Bitiş zamanının atanmasından sonra  $I_1$  parçası için bitiş zamanından sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme adımları uygulanır.

16. Her bir parça/yarı mamul için uygulanan geriye doğru çizelgeleme adımları sonucunda elde edilen çizelge içerisinde en erken başlanması gereken operasyona ait zaman tespit edilir, mevcut siparişin geliş zamanından daha öncesinde bir zamana karşılık gelmiyor ise parça/yarı mamul için çizelge onaylanır.

Şekil 3.1.'deki örnek ürün için siparişin 10 Ocak 2010 saat 10:30 da geldiği kabul edilmişti.  $I_1$  parçasının sınırlı kapasite geriye doğru çizelgelenmesi sonucunda elde edilen çizelge neticesinde  $O_1$  işleminin başlama zamanı 10 Ocak 2010 saat 10:30'dan daha sonraki bir zamana denk geliyorsa çizelge onaylanacaktır.

17. Eğer her hangi bir parça/yarı mamulün en erken başlaması gereken operasyon sipariş geliş tarihinden önceki bir zamana denk geliyorsa o parça/yarı mamul için 1. adımdan itibaren tekrarlanır.

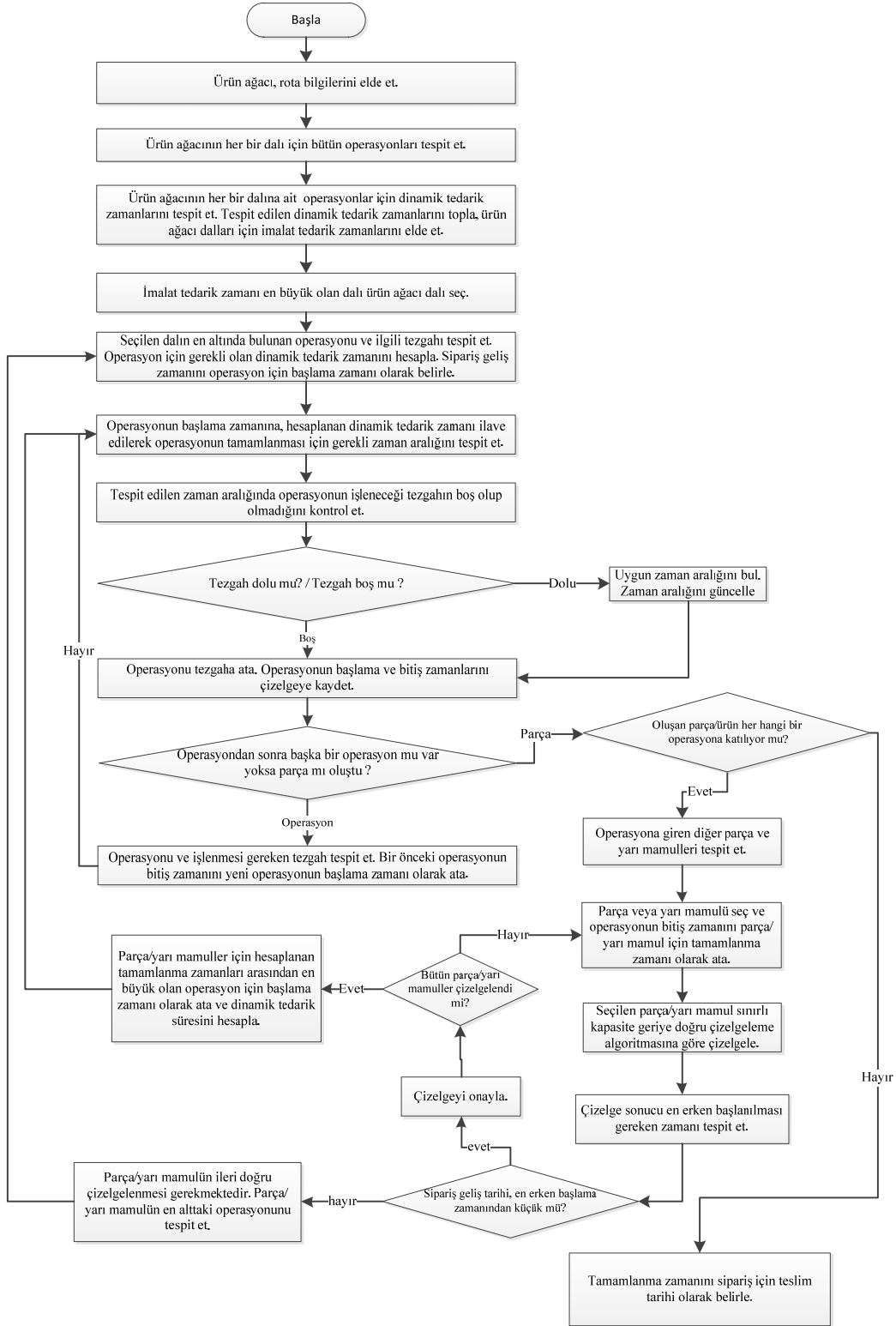
Eğer  $I_1$  parçasının sınırlı kapasite geriye doğru çizelgelenmesi sonucunda  $O_1$  işleminin başlama zamanı olarak 10 Ocak 2010 saat 10:30'dan daha önceki bir zamana denk geliyorsa çizelgeleme işlemi iptal edilecektir ve  $I_1$  parçasının meydana gelmesi için gerekli olan  $O_1$  ve  $O_2$  işlemleri ileri doğru yüklenecektir.

18. İleri doğru yükleme işlemi sonucunda en son operasyona ait bitiş zamanı, parça/yarı mamul için daha önceden belirlenmiş olan bitiş zamanından daha sonraki bir zamana denk geliyorsa parça/yarı mamulün işlenmek üzere gireceği operasyonun başlama zamanına atanır.

İleri doğru yükleme sonucunda  $I_1$  parçasının hazır hale gelme zamanını belirleyen  $O_2$  işleminin bitiş zamanı  $M_1$  işleminin başlama zamanından daha sonraki bir zamana denk geliyor ise  $M_1$  işleminin başlama zamanı olarak güncellenir.

19. On dördüncü adımda tespit edilen tüm parça/yarı mamuller tamamlanıncaya kadar 14. ile 18. adımlar arasındaki işlemler tekrarlanır. Tüm parça ve yarı mamullerin çizelgelenme işlemleri tamamlandıktan sonra parça/yarı mamullerin işlenmek üzere girdiği operasyon ve tezgah tespit bilgileri elde edilerek 5. adımdan itibaren tekrarlanır.

20. Eğer operasyondan sonrasında nihai ürün oluşmuş ise operasyonun teslim zamanı siparişin teslim zamanı olarak belirlenir ve ileri doğru çizelgeleme bitirilir. Son işlemin tamamlanma zamanı sipariş için teslim zamanı olarak belirlenir.

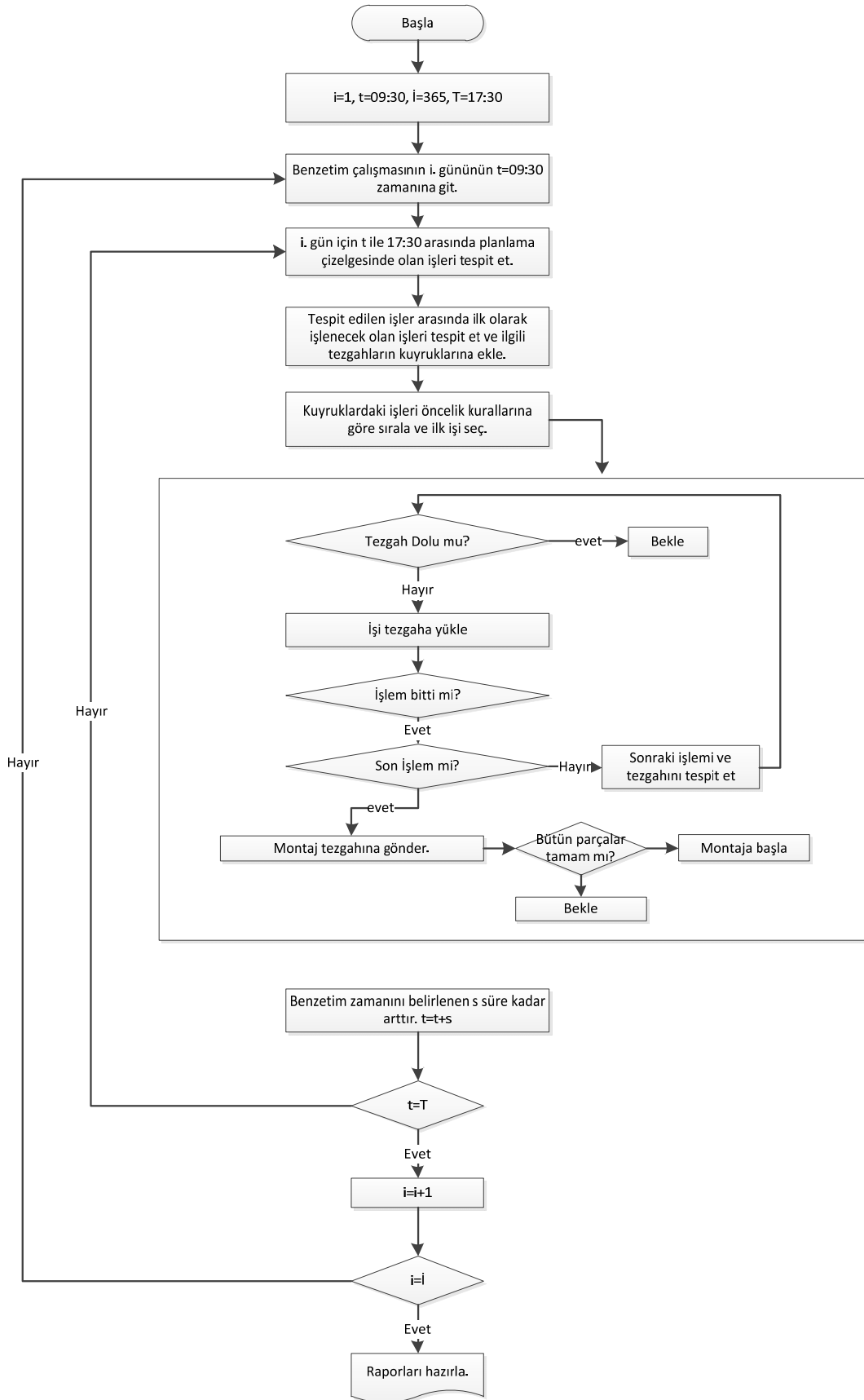


Şekil 3.4. İleri Doğru Çizelgeleme Algoritması Akış Şeması

### 3.2.3. Gerçek zamanlı planlama ve çizelgeleme

Müşteriden gelen siparişin geriye doğru ve/veya ileri doğru sınırlı kapasite çizelgelenmesi sonucunda, siparişlere ait operasyonlar için başlama ve bitiş zamanlarından oluşan üretim planları elde edilmiştir. Dördüncü aşama olan gerçek zamanlı çizelgeleme aşamasında tezgâhlara ait işler gerçek zamanlı olarak aşağıdaki adımlara göre üretilir:

1. Her bir tezgah için başlangıç tarih ve saatinden başlanarak belirlenen zaman dilimi için ilk olarak işlenecek olan işler belirlenerek tezgahların kuyruklarına eklenir.
2. Tezgahın kuyruğundaki operasyonlar öncelik kurallarına göre sıralanarak tezgahta işlenmek üzere tezgaha yüklenir.
3. Tezgahta işlenmeye başlayan operasyon planlamaya ait çizelgeden çıkarılır.
4. Tezgahta işlenmesi biten operasyon kendisinden sonra gelen operasyon işlenmek için ilgili tezgahın giriş kuyruğuna gönderilir.
5. İmalat atölyesindeki tezgahlardaki tüm operasyonları biten parçalar montaj tezgahlarının kuyruğuna gönderilir.
6. Montajı yapılacak ürün/yarı ürün için montaj tezgahlarının önündeki kuyruklarda tüm alt bileşenleri hazır olan ürün/yarı ürün öncelik kuralına göre sıralanır ve işlenmek üzere göre montaj tezgahına alınır.
7. Gerekli olan tüm montaj işlemleri için aynı işlemler tekrarlanarak nihai ürün elde edilir. Elde edilen ürün müşteriye gönderilir.



Şekil 3.5. Gerçek Zamanlı Planlama ve Çizelgeleme Akış Şeması

## **BÖLÜM 4. BENZETİM MODELİ ve DENEY TASARIMI**

### **4.1. Giriş**

Bu bölümde Bölüm 3’de önerilen gerçek zamanlı sınırlı kapasite üretim planlama ve kontrol yapısının incelenmesinde kullanılan dinamik atölye yapısı, benzetim modeli ve benzetim yazılımı, hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

Bu çalışmada önerilen modelin nasıl çalıştığının gösterilmesi amacıyla tasarlanan düşünsel atölye yapısı, ürün yapısı, nihai ürün siparişleri, benzetim modeli ile modelde kullanılan öncelik kuralları açıklanmış ve önerilen modelin farklı koşullar altında karşılaştırılabilmesi için belirlenen performans ölçütleri açıklanmıştır.

Hem benzetim yazılımı geliştirilirken geleneksel değişken tanımlamalarından farklı bir yapı olan dinamik değişken tanımlamaları kullanılmıştır. Her iki yazılımda da çalışma sırasında bilginin hafızada saklanması için kısıtlı kullanım sunan dizi değişkenler yerine dinamik değişkenler kullanılmıştır. Bunun sağladığı avantaj, programlama dilinin izin verdiği hafıza alanının dışına çıkarak bilgisayar hafızasının tamamının kullanılabilmesidir.

### **4.2. Benzetim**

Günümüz işletmelerinin yönetimi, işletme bileşenleri arasındaki etkileşimin çok karmaşık olmasından dolayı gittikçe zorlaşmaktadır. Sistemin bir bileşeni üzerindeki değişikliğin tüm sistemi etkilemesi nedeniyle sistem yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Yöneticiler, sistem yaklaşımını kullanırlarken karmaşık sistemlerin analiz ve tasarımında en önemli araçlardan birisi olarak da benzetimi kullanmaktadırlar.

Benzetim, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin işlemesi için sistemin davranışlarını anlamak veya değişik stratejileri değerlemek amacı ile bu model üzerinde denemeler yapmaktır [Halaç, 1998].

Simülasyon, gerçek hayat kaynaklarının ve süreçlerinin farklı şekillerdeki operasyonlarının bilgisayar ortamında modellenmesi ve benzetilmesi tekniğidir. [Law ve Kelton, 1991].

Benzetim gerçek dünya ile ilgili birçok problemin çözülmesi için geliştirilmiş vazgeçilmez bir problem çözme yöntemidir. Sistem davranışının tarif ve analiz edilmesi için kullanılan bu yöntem, gerçek sisteme koşulsal sorular sorarak sistem tasarımında yardımcı olur. Hem gerçek sistemler hem de kavramsal sistemlerin benzetim ile modellenmesi mümkündür [Banks, 1998].

Shannon tarafından; aşağıda belirtilen koşullardan bir veya birkaçının bulunduğu durumlarda benzetime başvurulması gerektiğini belirtmiştir[Shannon, 1975]:

- Problemin tam bir matematik formülasyonunun olmadığı veya modelin analitik yöntemlerle çözümü henüz bulunamadığı,
- Analitik yöntemlerin çözüm için elverişli olmasına rağmen, matematik yöntemlerin çok karmaşık olduğu,
- Analitik çözümlerin mevcut ve kullanılabilir olduğu ancak, problem üzerinde çalışanlarda bu bilgilerin olmadığı,
- Belirli parametrelerin tahmin edilmesi için,
- Deneme yapma açısından benzetimin tek yol olabildiği,
- Sistemlerin veya süreçlerin davranış karakteristiklerinin ortaya koyulmak istenildiğinde zamana ihtiyaç duyulduğu durumlarda,

#### **4.2.1. Benzetimin faydaları**

Benzetimin faydalarından bazıları aşağıdaki gibidir [Bank ve Norman, 1995, Kalabek,2006 ]:

- Benzetim modelinin geliştirilip kullanılması, sistem üzerinde değişiklikler yapılmasına izin vermektedir. Bu ise, sistemin ve sistem sorunlarının kavranılmasında ve uygun çözümler üretilmesinde son derece önemli olmaktadır.
- Sistem analizcilerini, daha genel ve daha geniş düşünmeye zorlamaktadır.
- Sistem parametrelerinin değişimi karşısında, sistem performansının hassasiyetini belirlemek için kullanılabilir.
- Benzetim ile “Eğer böyle olursa ne olur?” türü senaryoların modellenmesiyle, yeni politikalarının, yeni üretim teknikleri ve yöntemlerinin, gerçek sistem üzerinde test edilmesinden doğacak zararlar oluşmadan gerçekleştirilebilmektedir.
- Benzetimin yardımı ile aksaklıkların nedenleri ortaya çıkarılabilmektedir.
- Benzetim, zamanı daraltarak veya genişleterek olayları hızlandırmaya ya da yavaşlatmaya imkân vermektedir. Bu nedenle onları etraflıca inceleme fırsatı sunmaktadır. İstenildiği takdirde bütün bir değişim kısa bir süre içerisinde incelenebilmektedir.
- Karar verme konumundaki personel, işin başında olmadan ucuz, az zarar verici ve den etkili bir şekilde benzetimle eğitilebilir.
- Sistem içindeki süreçlerde darboğaz yaratan noktaların belirlenmesini ve bunların süreçleri ne kadar geciktirdiğinin görülmesini sağlayarak hangi darboğaza nasıl müdahale edilmesi gerektiğini belirler.
- Sistemin gerçekte nasıl çalıştığını, bazı kişilerin kişisel fikirlerine veya tecrübelerine dayanarak yaptığı tahminlere göre değil, matematiksel analize dayalı olarak gösteren, sonuçları bilgisayar çıktıları ve raporlarla ispatlayan bilimsel bir anlayış sunar.
- Yapılan tasarımın farklı açılardan ve farklı ölçeklere göre görülmesini sağlar.

#### **4.2.2. Benzetimin dezavantajları**

Benzetimin faydalarının yanı sıra bir takım sakıncaları da bulunmaktadır. Benzetimin sakıncalarından bazıları [Halaç, 1998, Kalabek, 2006];

- Bir sistemin bilgisayar benzetimini kurmak ve geçerli olduğunu ispatlamak oldukça maliyetlidir. Genel olarak her bir sistem için ayrı bir program



yazmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Benzetim dilleri bu mahsurları bir dereceye kadar ortadan kaldırmıştır.

- Kurulan bir benzetim programının bilgisayarda çalıştırılması çok uzun süre alabilmekte, bunun ise maliyeti yüksektir.
- Araştırmacılar benzetim tekniğini öğrendikten sonra, analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimindedirler.
- Geçerli ve etkili bir benzetim modelinin kurulması zaman ve tecrübe ile öğrenilen zor bir iştir.
- Sistemin girdileri rastsal değişkenlerden oluştuğu için çıktıları rastsal değişkenler olacaktır. Bu nedenle, bir gözlemin sistem içi ilişkilerin mi yoksa rastsallığın mı bir sonucu olduğunu belirlemek zordur.
- Stokastik benzetim modeli her çalıştırılışında belirli bir grup veriye karşılık gelen model unsurlarının tahmini değerini verir. Bu nedenle, modelin her bir veri grubu için ayrı olarak çalıştırılması gerekir.

#### 4.2.3. Benzetim modelleri

Sistemlerin benzetimi için geliştirilen modeller modelin yapısına ve kullandıkları değişkenlerin özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Law ve Kelton tarafından benzetim modelleri üç farklı sınıf altında toplanmaktadır: Sınıflandırma aşağıdaki gibidir [Law ve Kelton, 1991]

- Sürekli/Kesikli modeller: sürekli modeller; davranışları zamanla birlikte devamlı değişim gösteren sistemlerle ilgilenmektedir. Kesikli modeller; sistemlerin davranışlarındaki değişimleri sadece verilmiş olan bir anda izleyen modellerdir.
- Statik/Dinamik modeller: statik modeller; sistemin belirli bir zamandaki gösterimidir. Süreç, zaman içerisinde yayılamaz (Monte Carlo benzetimi gibi). Dinamik modeller; zaman içinde yayılan sistemin bir gösterimidir. İmalat sistemi benzetimi örnek olarak verilebilir.
- Stokastik/Deterministik modeller: Deterministik modeller; benzetim modeli sistem parametresi olarak hiçbir rastgele değişken içermez. Bir girdi kümesi verildiğinde bir dizi sistem cevabı üretecektir. Stokastik modeller; sistem

parametrelerinin bir ya da daha fazlası tahmin edilemez, belli bir olasılık dağılımından elde edilebilir.

#### 4.2.4. Benzetim elemanları

Tüm benzetim modellerinin Aşağıdaki elemanlardan oluştuğunu söylemek mümkündür [Erkut, 1992]:

- Bileşenler: Bir araya getirildiklerinde sistemi oluşturan parçalardır. Bunlar alt sistem olarak da adlandırılırlar. Bağımsız olarak belirlenirler ve bunların ortak performansı sistemin çıktısını oluşturur.
- Değişkenler: Sistemin özellikleridir. Bunlar dört kategori içinde sınıflandırılabilirler:
  - Bağımlı - Bağımsız değişkenler,
  - Denetlenebilir - Denetlenemez değişkenler,
  - İçsel - Dışsal değişkenler,
  - Girdi - Çıktı değişkenleri
- Parametreler: Sistem analizcinin keyfi değerler verebildiği miktarlardır. Bunlar analiz boyunca değiştirilemezler, sabit kalırlar.
- İlişkiler: Sistemin bileşenleri, değişkenleri ve parametreleri arasındaki bağlantılar olup; sistemin durumundaki değişimleri denetlerler. İlişkiler;
  - yapısal,
  - işlevsel,
  - sırasal,
  - mekansal,
  - zamansal,
  - neden-sonuç,
  - enerjinin korunumu,
  - mantıksal,
  - matematiksel olabilir.
- Varsayımlar: Modeli gerçek durumdan soyutlayan kabullerdir.

- Kısıtlar: Değişkenlerin değerleri veya kaynakların nasıl tahsis edileceği üzerindeki sınırlandırmalardır. Kısıtlar, tasarımcı tarafından konabilir veya sistemin doğasında vardır.
- Ölçütler: Ölçüt fonksiyonu, sistemin hedeflerinin veya amaçlarının ve bunların nasıl değerlendirileceğinin bir durumudur. Modelin tasarımı ve işletilmesi üzerinde büyük etkisi vardır.

#### **4.2.5. Benzetimin uygulama alanları**

Benzetim uygulamalarına, üretim sistemlerinden, askeri ve kamusal sistemlere, sağlık sistemlerinden ulaşım ve iletişim sistemlerine kadar oldukça geniş bir alanda rastlamak mümkündür. [Law ve Kelton, 1991].

#### **Üretim sistemlerinde benzetim uygulamaları**

Benzetim, üretim sistemlerinin tasarımı ve analizinde bir çok alanda kullanılmaktadır. Benzetimin üretim sistemlerinde kullanım alanlarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir [Simon, 1983, Kalabek, 2006] :

- Üretim seviyesinin belirlenmesi,
- Darboğaz belirleme,
- Üretim planlaması,
- Malzeme taşıma sistemlerinin tasarımı,
- Yeni sistemlerin tasarımı,
- Kapasite planlaması,
- İşgücü planlaması
- Montaj hattı dengeleme
- Personel eğitimi
- Çizelgeleme kurallarının ve yöntemlerinin analizi
- Üretim maliyetlerinin hesaplanması ve maliyet merkezlerinin performansının incelenmesi

- Makine, malzeme taşıyıcılar ve teçhizatlar gibi üretim elemanları ve paletler, yükleme istasyonları ve ölçme merkezleri gibi üretime yardımcı elemanların sayı ve özelliklerinin belirlenmesi
- Üretim içindeki ana ve yardımcı elemanların birbirlerine göre konumlarının belirlenmesi

### **4.3. Düşünel Atölye Sistemi**

Önerilen modelin test edilebilmesi ve performanslarının karşılaştırılabilmesi için; oniki (12) adet imalat işlemleri tezgahı, altı (6) adet de montaj tezgahı bulunan; montaj ve imalat ortamının bütünleşik olarak bulunduğu atölye ortamı düşünülmüştür. Literatür araştırmalarında atölye büyüklüğünün önemli bir etken olmadığını gösterilmiştir [İpek, 2007 Watson, 1993]. Tezgahlardaki işlem zamanları hazırlık ve taşıma zamanlarını da içermektedir. Makinaların önündeki kuyrukların sonsuz kapasiteli olduğu varsayılmıştır. Makina bozulmalarına izin verilmemektedir.

Atölye ortamında düz, uzun ve karışık olmak üzere üç farklı ürün yapısına sahip yirmi farklı ürün üretileceği varsayılmıştır. Üretilecek ürünler; imalat tezgahlarında işlenerek imal edilmiş parçalar ile imal edilmiş parçaların montaj tezgahlarında birleştirilmesi ile elde edilmiş olan yarı mamullerin, yine montaj tezgahlarında birleştirilmesi ile elde edilmektedir. İmalat ortamında çok seviyeli montaj yapılmaktadır. Tasarlanan imalat ortamı siparişe üretim yapmaktadır

#### **4.3.1. Düşünel atölye sistemi benzetim modeli**

Bu çalışmada Visual Studio 2010.NET dili ile bir zaman artımlı benzetim yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen benzetim yazılımı aracılığı ile; altı (6) adet montaj ve oniki (12) adet imalat tezgahından oluşan bütünleşik imalat ortamında üretilen üç farklı (düz, uzun ve karışık) ürün yapısına sahip yirmi (20) farklı ürünün bulunduğu bir üretim ortamının performanslarının ölçülerek karşılaştırılmasına çalışılmıştır.

### 4.3.2. Benzetim modelinde kullanılan varsayımlar

1. İş Bölme Yoktur: Her bir operasyon, başladığı zaman, diğer operasyon o tezgahta başlatılmadan önce tamamlanmalıdır.
2. İş iptali söz konusu değildir: Her bir iş tamamlanıncaya dek işlenmelidir.
3. Tezgahlar boş kalabilir.
4. Hiçbir tezgah, bir kerede birden fazla operasyonu işleyemez.
5. Tezgahlar asla bozulmaz ve çizelgeleme periyodu boyunca elverişlidir.
6. Teknolojik kısıtlar önceden bilinir ve sabittir.
7. Üretilcek ürünlere ait parti büyüklüğü metodu olarak Lot-for-Lot kullanılmıştır.
8. Bir tezgah günde 8 saat çalışmaktadır.

### 4.4. Benzetim Modelinin İşleyişi

Benzetim modeli bir yıl süresince çalıştırılmıştır. İlk sekiz (8) haftalık kısım benzetim modelinin ısınma zamanı olarak kabul edilmiş ve performans ölçütlerinin hesaplanmasında kullanılmamıştır. Benzetim modelinin çalışması aşama aşama belirtilmiştir:

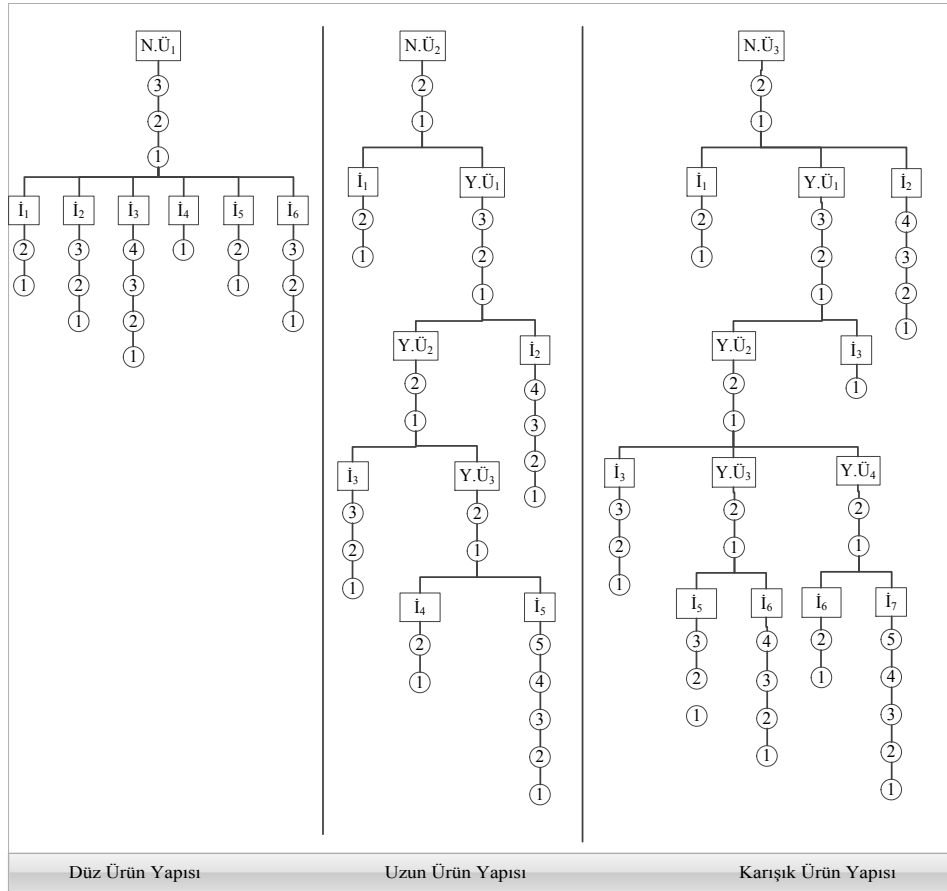
#### 4.4.1. Ürün ağaçlarının oluşturulması

Tasarlanan düşensel imalat ortamında düz, uzun ve karmaşık ürün ağacı (ÜA) yapısına sahip yirmi (20) farklı ürün yapısına sahip ürünler üretileceği varsayımından hareketle ürünler Tablo 4.1’de belirtilen kriterlere göre rastgele türetilmiştir.

Tablo 4.1. Ürün ağacı özellikleri

Ürün Ağacı Tipi	Düz	Uzun	Karışık
Ürün Ağacı Seviyesi	2	5	7
Her bir montaj seviyesinde kullanılan imal edilen parça sayısı	Kesikli Düzgün Dağılım (4,7)	1	Kesikli Düzgün Dağılım (1,2)
Her bir montaj seviyesinde kullanılan montaj edilen yarı mamul sayısı	0	1	Kesikli Düzgün Dağılım (1,2)
Bileşen miktarı (imal edilen parçalar için)	Kesikli Düzgün Dağılım (2,4)		

Şekil 4.2.'de düz, uzun ve karışık ürün yapısına ait örnek ürün yapıları verilmiştir. Düz ürün yapısında, 4 ila 7 arasında imal edilen parçanın montaj edilmesiyle elde edilir. Uzun ürün yapısında, her bir montaj seviyesinde 1 adet imal edilen parça ile 1 adet yarı mamulün montaj edilmesiyle elde edilmektedir. Karışık ürün yapısında ise her bir montaj aşamasında 1 veya 2 imal edilen parça ile 1 veya 2 yarı mamulün montaj edilmesiyle oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Düz, uzun ve karışık ürün yapı örnekleri

#### 4.4.2. Rotaların oluşturulması

Ürün ağaçları türetilen ürünlere ait rotalar belirlenirken her bir seviyedeki montaj işlemleri için, en az iki (2) en fazla üç (3) adet operasyon olacak şekilde kesikli düzgün dağılıma uygun olarak rastgele üretilmiştir. Kesikli düzgün dağılım fonksiyonu ile üretilen montaj işlemleri, imalat ortamında bulunan altı (6) adet

montaj tezgahına rastgele atanması yapılır. Tezgahlara atama işlemi sırasında geri dönüşlere izin verilmemektedir.

Ürünlerde kullanılan imal edilen parçalar için, en az iki (2) en fazla dört (4) adet operasyon olacak şekilde kesikli düzgün dağılıma kullanılarak rastgele üretilmiştir. Kesikli düzgün dağılım fonksiyonu ile üretilen imalat işlemleri, imalat ortamında bulunan oniki (12) adet imalat tezgahına rastgele olarak atanır. Tezgahlar arasında geri dönüşlere izin verilmemektedir.

#### 4.4.3. Hazırlık zamanları ve operasyon zamanlarının belirlenmesi

Benzetim modelinde, ürün ağacı ve rotanın belirlenmesinden sonra operasyonların sürelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Benzetim modelinde, hazırlık zamanı ve taşıma zamanlarının operasyon sürelerinin içerisinde olduğu varsayılmıştır. Operasyon süreleri, imalat tezgahlarında her bir operasyon için en az beş (5) en fazla on (10) montaj tezgahlarında ise en az beş (5) en fazla on (10) dakika olacak şekilde kesikli düzgün dağılıma göre rastgele üretilmiştir.

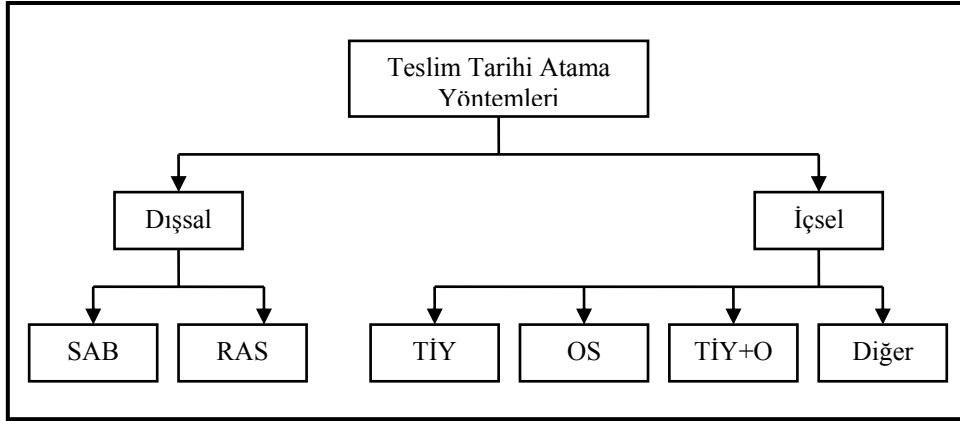
Tablo 4.2. Operasyon süreleri dağılımı

Operasyon	Dağılım
Montaj	Kesikli Düzgün Dağılım (5,10)
İmalat	Kesikli Düzgün Dağılım (5,10)

#### 4.4.4. Nihai ürün siparişlerinin oluşturulması

Benzetim modelinde siparişlerin, gerçek hayatta da ne zaman sipariş geleceğinin belirli olmamasında dolayı rastgele olarak üretilmesi gerektiğinden yola çıkılarak üretilmiştir. Benzetim çalışmasında her bir gün için en az bir (1) sipariş gelmesi durumu ile en fazla iki (2) siparişin geldiği durum varsayılmıştır. Siparişler arası geçen sürenin rastgele olduğu varsayılmıştır. Gün içerisinde gelen siparişlerin üretilmekte olan yirmi (20) farklı üründen herhangi birisine rastgele gelebilmektedir. Her bir siparişte, istenilen üründen için en az beş (5) en fazla on (10) adet sipariş verilmektedir.

Siparişlerin teslim tarihlerinin belirlenmesinde şekil 4.2.'de gösterilen teslim tarihi belirleme yöntemlerinden içsel teslim tarihi atama sınıfına giren “toplam iş yükü (TİY)” yöntemi kullanılmıştır. TİY yönteminde kullanılmakta olan k sabiti değeri 2 ile 8 arasında bir değer alabilmektedir (İpek, 2007).



Şekil 4.2. Teslim tarihi atama yöntemleri

(1) Dışsal: Bu durumda teslim tarihleri iş geldiğinde bağımsız dış bir kaynak tarafından belirlenir. Sabittirler ve işin verilen bir özelliğidir. Bu kategoride iki tip teslim tarihi atama yöntemi vardır:

- Sabit (SAB): Bütün işlere tamamen aynı akış tahsisatı verilir.
- Rasgele (RAS): İşin akış tahsisatı rasgele belirlenir.

Bu iki kural şu şekilde formüle edilebilir:

$$\text{SAB: } d_i = r_i + k,$$

$$\text{RAS: } d_i = r_i + e_i,$$

k bir sabit ve  $e_i$  bir rassal sayı..

Bu iki metod iş varışları, sistemdeki işler, gelecek olan işler veya atölye karakteristikleri bilgilerini yok sayar.



(2) İşsel: Bu durumda teslim tarihleri, işler atölyeye vardıklarında iş karakteristikleri, atölye bilgisi iş akış zamanı tahminine bağlı olarak çizelgelemeci tarafından belirlenir. Bu kategoride olan bazı teslim tarihi metodları şunlardır:

- TİY: Teslim tarihleri toplam iş yüküne bağlıdır.
- OS: Teslim tarihleri işin operasyon sayısına bağlı olarak belirlenir..
- TİY+OS: Teslim tarihleri toplam iş yükü ve işin operasyon sayısına bağlı olarak belirlenir.

Bu metodlar şu şekilde formüle edilebilirler:

$$T_{iy} : d_i = r_i + kp_i,$$

$d_i$  teslim zamanı,  $r_i$  işin geldiği zaman,  $p_i$  işin toplam işlem süresi,  $n_i$  işin operasyon sayısıdır.

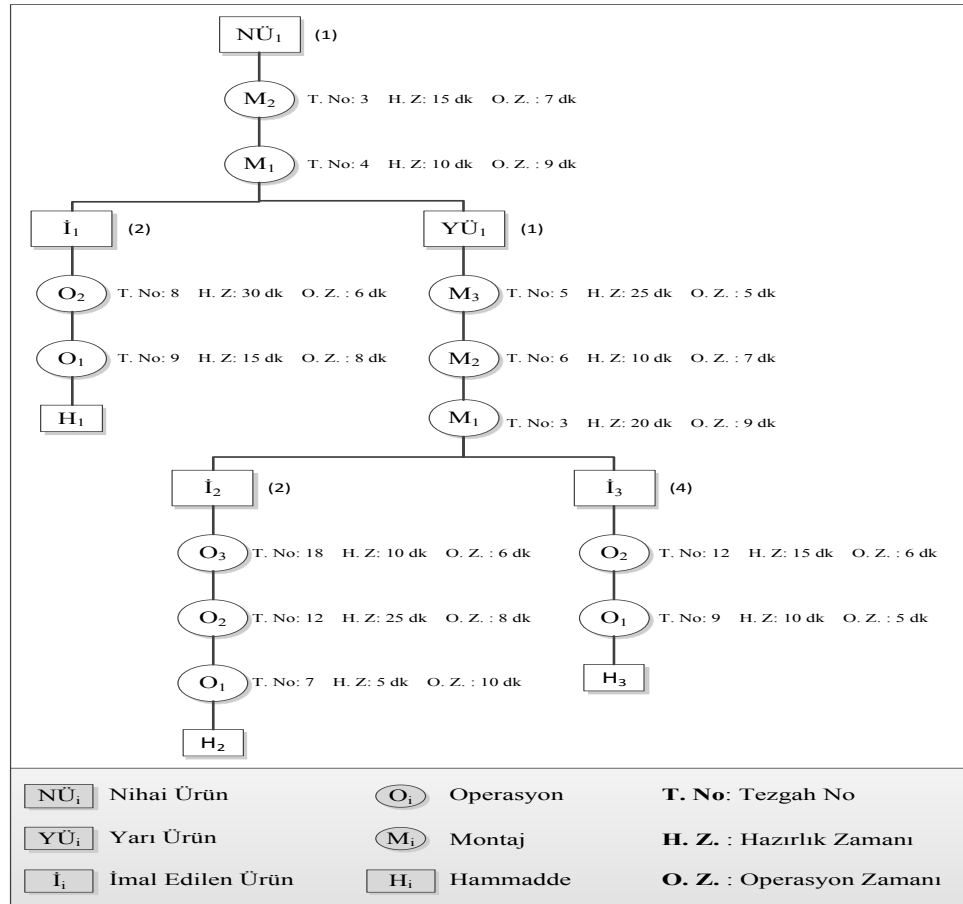
Tablo 4.3. Sipariş bilgileri

Sipariş Bilgileri	Dağılım
Günlük sipariş miktarı (adet)	Kesikli Düzgün Dağılım (1,2)
Siparişler arası geçen süre	Rastgele
Sipariş dağılımı	Rastgele
Sipariş miktarı (adet)	Kesikli Düzgün Dağılım (5,10)
k sabiti	2, 5, 8

#### 4.4.4. Teslim tarihinin tespit edilmesi

Herhangi bir anda sisteme gelen bir siparişin gerçek zamanlı olarak çizelgelenmesi süreci örnek bir ürün için yardımıyla açıklanacaktır. NÜ<sub>1</sub> Örnek ürünü, sırasıyla 9 numaralı ve 8 numaralı imalat tezgahlarında gerçekleştirilen 2 operasyon sonucunda elde edilen 2 adet İ<sub>1</sub> parçasının, 1 adet YÜ<sub>1</sub> yarı ürünü ile sırasıyla 4 numaralı ve 3 numaralı montaj tezgahlarında gerçekleştirilen montaj operasyonları sonucunda elde edilmektedir. YÜ<sub>1</sub> yarı ürünü ise; sırasıyla 7 numaralı, 12 numaralı ve 8 numaralı imalat tezgahlarında gerçekleştirilen 3 operasyon sonucunda elde edilen 2 adet İ<sub>2</sub> parçası ile sırasıyla 9 numaralı ve 12 numaralı imalat tezgahlarında gerçekleştirilen operasyonlar sonucunda elde edilen 4 adet İ<sub>3</sub> parçasının, sırasıyla 3 numaralı, 6 numaralı ve 5 numaralı montaj tezgahlarında gerçekleştirilen operasyonlar

sonucunda elde edilmektedir. Hazırlık ve operasyon süreleri şekil 4.3. de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Örnek ürün ağacı (2)

Örnek ürüne ait 5 adet siparişin, 1 Mart 2010 saat 11:00'de geldiği ve siparişin toplam iş yükünün (TİY)  $(5*7+15) + (5*9+10) + (5*5+25) + (5*7+10) + (5*9+20) + (5*6+10) + (5*8+25) + (5*10+5) = 425$  dakika olduğu tespit edilmiştir.  $k*TİY$  formülü aracılığı ile sipariş için teslim tarihi;  
 $d_i = 01.03.2010\ 11:00 + 5 * 425 = 5.03.2010\ 14:25$  olarak belirlenmiştir.

#### 4.4.6. Siparişin planlanması ve çizelgelenmesi

Siparişlere ilişkin üretim planlarının oluşturulma işlemleri Bölüm 3'de verilmiş olan sınırlı kapasite geriye doğru çizelgeleme, ileri doğru çizelgeleme algoritmaları ile elde edilmektedir. Planlanan işlerin düşünsel atölye sistemi üzerinde gerçekleştirilme

işlemi ise gerçek zamanlı çizelgeleme algoritması ile yapılmaktadır. Düşünsel atölye sisteminde altı farklı öncelik kuralı kullanılmıştır.;

#### 4.4.7. Öncelik kuralları

Tezgah önündeki kuyruklarda bekleyen işlerin tezgahlarda işlenmek üzere atanma işlemi esnasında aşağıda belirtilen öncelik kuralları kullanılmıştır.

- İlk Gelen İlk Servis Alır (İGİS) : Çizelgelemede kuyruğa ilk gelen işin ilk önce çizelgelenmesi öncelik kuralıdır. Böyle bir sıralama, siparişlerin geliş sıralarına göre işlenmeleri anlamına gelir. Siparişler işlenmeye birinci sipariş ile başlar ve son siparişe kadar sırasıyla işlenir.
- Son Gelen İlk Servis Alır (SGİS) : Çizelgelemede kuyruğa son gelen işin ilk önce çizelgelenmesi öncelik kuralıdır. Böyle bir sıralama, siparişlerin geliş sıralarına dikkate alarak son sipariştten başlayarak ilk siparişe kadar işler sırasıyla işlenir.
- En Erken Teslim Zamanı (EETZ) : En Erken Teslim Zamanı (EETZ) Öncelik Kuralı; en erken teslim süresine sahip olan işler önce çizelgelenir. Bu sayede teslim kabiliyeti artmış ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin yükselmesi beklenir.
- En Kısa İşlem Süresi (EKİS) : En kısa işlem süresi olan işlemi seçmeye yönelik öncelik kuralı ile toplam akış süresinin minimum olması amaçlanır. n tane iş/sipariş m tane makinede minimum tamamlanma zamanına göre çizelgelenmek istendiğinde her bir işin/siparişin ilk işlemlerinden en kısa olanı EKİS olarak seçilerek çizelgelemeye başlanır.
- En Uzun İşlem Süresi (EUİS) : En uzun işlem süreli olan işlerin en erken işlenmesine yönelik öncelik kuralı EUİS ile genellikle paralel makinelerde yük dengeleme için yapılan çizelgeleme problemlerinde kullanılır. Toplam tamamlanma süresinin en küçüklenmesi n tane iş/sipariş m tane makinede minimum tamamlanma zamanına göre çizelgelenmek istendiğinde her bir işin/siparişin ilk işlemlerinden en uzun olanı EUİS olarak seçilir.

#### 4.4.8. İş emri kontrol sıklığı

Planlanan siparişlerin tezgahlarda gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi ve iş emirlerinin açılması işlemi için günlük olarak kontrol edilmiştir. Günlük zaman aralığının kontrolü, benzetim saati ile benzetimin çalıştığı günün bitiş zamanı arasındaki planlamaya ait çizelgede her hangi bir değişikliğin olup olmadığı kontrol edilmesi işlemidir. Kontrol edilen zaman aralığında planlanan işlere ait çizelgeye eklenen her hangi bir iş mevcut ise, eklenen iş için gerekli iş emirleri ilgili tezgahlara gönderilmektedir. İş emirleri tezgahlara ulaştığı anda gerekli hammadde ve malzemeler tezgah önündeki kuyruğa eklenir.

#### 4.5. Deneysel Tasarım

Çalışmada benzetim çalışmasında üç tip ürün ağacı, beş farklı öncelik sıralama kuralı ve iki farklı atölye kontrol zamanı olmak üzere  $3 \times 5 \times 3 =$  toplam 45 farklı senaryo değerlendirilmiştir. Her bir senaryo 10 defa çalıştırılmıştır. Toplamda benzetim yazılımı 450 defa çalıştırılmıştır.

#### 4.6. Performans Ölçütleri

Benzetim modelinin çalışma sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için 5 farklı performans ölçütü kullanılmıştır.. Performans ölçütleri;

##### Ortalama Sipariş Karşılama Oranı

$$SKO_{ort} = \frac{TSS}{K}$$

$SKO_{ort}$  = Ortalama sipariş karşılama oranı

TSS = Teslim edilen sipariş sayısı

K= Benzetim süresince gelen sipariş sayısı

##### Sipariş başına ortalama tedarik zamanı

$$TZ_{ort} = \frac{\sum_{k=1}^K TZ_k}{K}$$

$TZ_{ort}$  = Ortalama tedarik zamanı

$TZ_k$  = k. siparişe ait tedarik zamanı

K= Toplam sipariş sayısı

### Sipariş başına ortalama akış zamanı

$$AZ_{ort} = \frac{\sum_{k=1}^K AZ_k}{K}$$

$AZ_{ort}$  = Ortalama akış zamanı  
 $AZ_k$  = k. siparişe ait akış zamanı  
 $K$  = Toplam sipariş sayısı

### Süreç İçi Stok

$$SiS_t = \sum_{i=1}^i TiS_{ik} + \sum_{i=1}^i TKS_{ik} + \sum_{k=1}^K TBS_k +$$

$SiS_t$  = t zamanındaki toplam süreç içi stok miktarı

$TiS_{ik}$  = t anında i. tezgahta işlenmekte olan k. siparişe ait işlerin tamamlanması için kalan süre

$TKS_{ik}$  = t anında i. tezgahın kuyruğunda beklemekte olan k. siparişe ait işlerin süresi

$TBS_k$  = t anında i. tezgahta işlenmekte olan veya kuyruğunda beklemekte olan k. siparişin tamamlanması için gerekli süre

t = Benzetimin t. zamanı

### Ortalama Kuyruk Uzunluğu

$$KU_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^i KPA_{ti}}{T}$$

$KU_{ort}$  = Ortalama Kuyruk Uzunluğu

$KPA_{ti}$  = t anında i. tezgahın kuyruğundaki parçaların toplam operasyon süreleri

t = Benzetimin t. zamanı

T = Toplam benzetim zamanı

### Ortalama Tezgah Kullanım Oranı

$$TKO_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^N TÇS_i}{T}$$

$TKO_{ort}$  = Ortalama tezgah kullanım oranı

$TÇS$  = Benzetim süresinde i. tezgahın çalışma süresi

N = Toplam tezgah sayısı

T = Toplam benzetim zamanı

## BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

### 5.1. Giriş

Bölüm 3’de anlatılmış olan “Gerçek Zamanlı Sınırlı Kapasite Üretim Planlama ve Kontrol” yaklaşımı için Bölüm 4’de belirtilen koşullar altında dinamik atölye benzetimi yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında üç farklı ürün ağacı yapısı (düz, uzun, karma), beş farklı öncelik kuralı (İĞİS, SGİS, EETT, EUİS ve EKİS) ve üç farklı k sabiti değeri (2, 5, 8) girdi olarak kullanılmıştır. Benzetim deneyi çalışmasının girdilerinin farklı durumlarının göz önüne alınabilmesi için  $3 \times 5 \times 3 = 45$  farklı deney oluşturulmuştur. Her bir deneyin olay bağımlılıktan etkilenmemesi için 10 kez çalıştırılmış olup, toplam benzetim programının çalıştırılma sayısı  $10 \times 45 = 450$ ’dir

Bütün benzetim deneyi çalışmalarının her birinin aynı şartlar altında çalıştırılması amacıyla tablo 5.1’de verilen sipariş sayıları bütün benzetim çalışmalarında kullanılmış olan sipariş sayıları gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Benzetim çalışmalarında kullanılan sipariş sayıları

BN	Sipariş Sayısı	BN	Sipariş Sayısı
1	301	6	301
2	311	7	303
3	299	8	326
4	293	9	299
5	304	10	293
Ortalama		303	
Standart Sapma		9,626	

Geliştirilen model için benzetim çalışmalarına ait sonuçlar EK-A da tablolar halinde gösterilmektedir. Tablolarda ilk sütunlarda yapılan benzetim numarası (BN) verilmektedir. İkinci ve diğer sütunlarda hesaplanan başarı ölçütleri olarak ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO), ortalama tedarik zamanı (OTZ), ortalama akış zamanı (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) ve ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) değerleri verilmektedir. Her bir sütunun altında da başarı ölçütlerine ait aritmetik ortalama değerleri ve standart sapma değerleri verilmektedir. Tablo 5.2’de Düz Ürün ağacı yapısında, İGİS Öncelik Kuralı ve  $k=2$  değeri için yapılmış olan 10 adet benzetim çalışmasına ait veriler görülmektedir.

Tablo 5.2. Düz Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve  $k=2$  değeri için benzetim sonuçları

<b>BN</b>	<b>OSKO</b>	<b>OTZ</b>	<b>OAZ</b>	<b>OSİS</b>	<b>OKU</b>	<b>OTKO</b>
1	100	49	190	10611	1498	69,38
2	99,04	104	451	20847	3062	77,35
3	100	38	131	7929	1218	67,93
4	100	43	159	9392	1292	72,26
5	96,38	139	607	33654	4263	81,23
6	100	78	307	17926	2316	80,54
7	100	90	317	23370	2467	81,39
8	99,39	125	490	32191	1826	83,60
9	100	60	218	14100	2437	74,41
10	100	89	340	21214	1498	79,55
Ortalama	99,48	81,5	321	19123,4	2264,33	76,76
St. Sapma	1,14	34,54	155,6	8984,06	969,80	5,465

Benzetim deneyleri sonucunda elde edilen sonuçların ortalamalarının karşılaştırılacak olmasından dolayı varyans analizi ile ortalamalar arasında anlamlı bir değişikliğin olup olmadığı araştırılacaktır.

Benzetim çalışmalarında bağımsız değişken olarak; ürün ağacı tipi, öncelik kuralı ve  $k$  sabiti değeri olmak üzere 3 adet bağımsız değişken ve çıktı sonuçlarının elde edildiği OSKO, OTZ, OAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütlerinden oluşan 6 adet bağımlı değişkenimiz bulunmaktadır.

Varyans analizi iki yada daha fazla ortalama arasında, fark olup olmadığı ile ilgili hipotezi test etmek için kullanılır. Bağımsız değişken ve bağımlı değişkenlerin durumunun incelenmesi çok değişkenli varyans analizi ile incelenebilmesi için iki yönlü MANOVA analizi yapılacaktır. İki yönlü MANOVA analizi ile iki ya da daha fazla bağımsız değişkenin, birden fazla bağımlı değişken üzerindeki etkisi incelenmektedir. İki ve daha fazla bağımlı değişkenin aynı anda analiz edilmesi deneysel hatayı önlemektir.

## **5.2 Benzetim Çalışmaları Sonucunda Elde Edilen Başarı Ölçütlerinin Değerlendirilmesi**

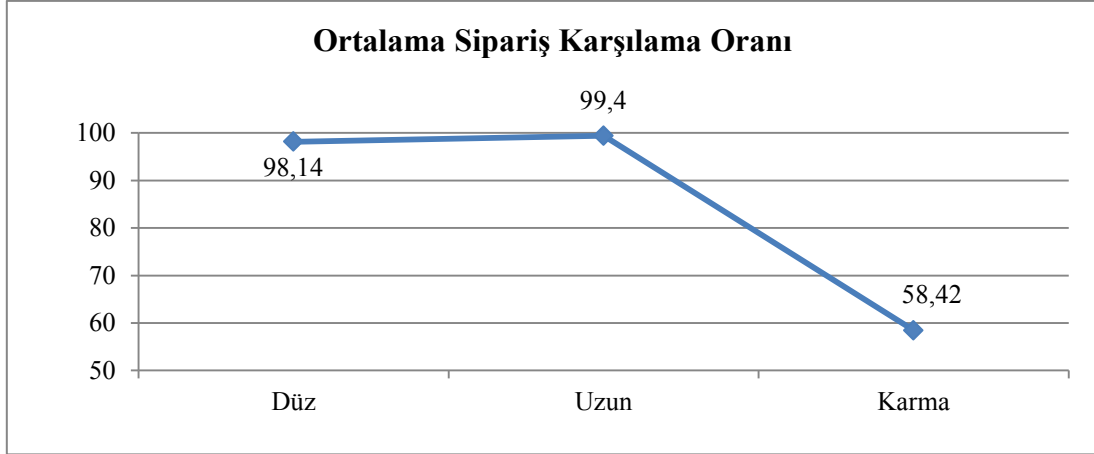
Benzetim çalışması sonucunda elde edilen ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO), ortalama tedarik zamanı (OTZ), ortalama akış zamanı (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) ve ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) başarı ölçütleri, benzetim çalışmasının girdilerini oluşturan Ürün Ağacı Yapısı, Öncelik Kuralları ve k sabiti değeri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

### **5.2.1. Ürün ağacı yapıları açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi**

Benzetim çalışmaları sonucunda, başarı ölçütleri için elde edilen 450 adet sonuç “Düz”, “Uzun” ve “Karma” ürün ağacı yapıları göz önünde bulundurularak ortalamaları hesaplanmıştır.

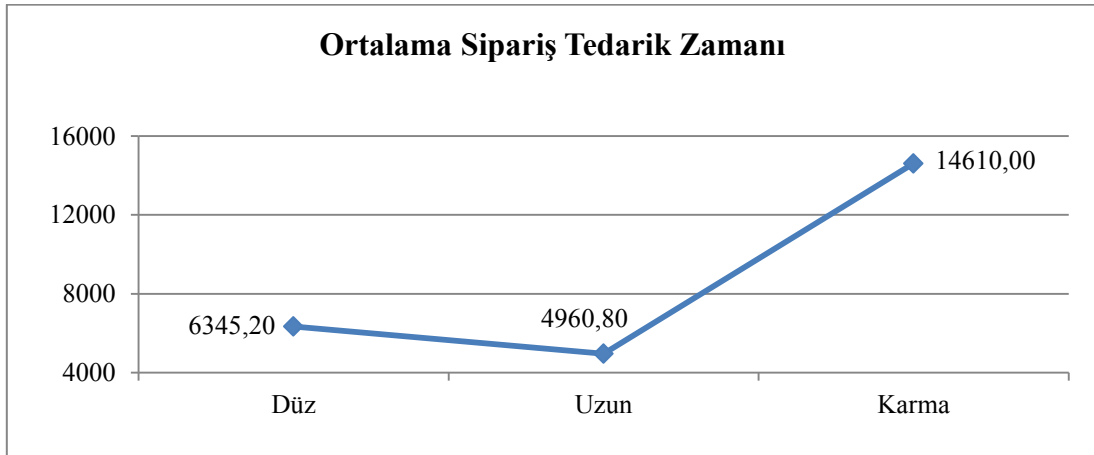
Şekil 5.1’de verilmiş olan Ürün ağacı yapıları açısından sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %99,40 ile “Uzun” ürün ağacı yapısının en kötü sonucun ise %58,42 ile “Karma” ürün ağacı yapısının verdiği elde edilmiştir.





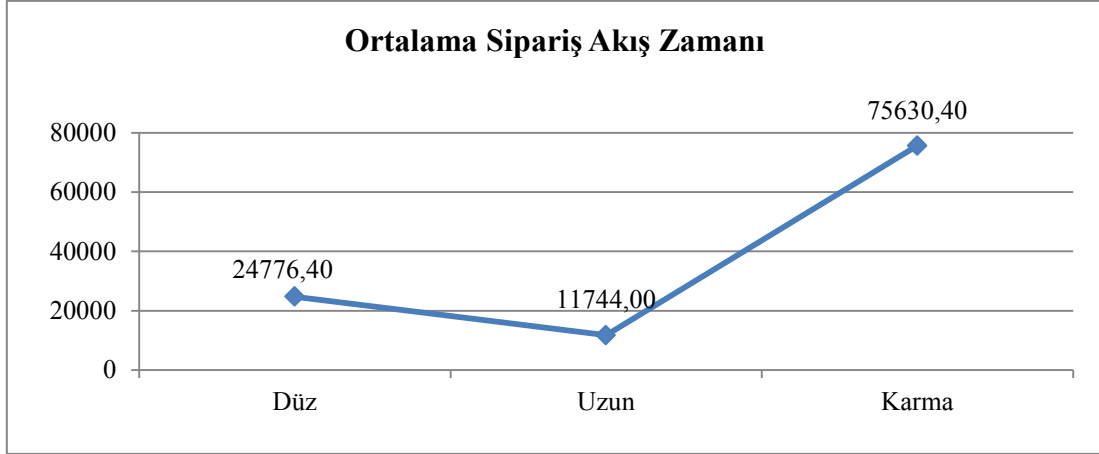
Şekil 5.1. Ürün ağacı yapıları açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.2’de verilmiş olan Ürün ağacı yapıları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 4960,80 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısının en kötü sonucun ise 14610 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısının verdiği elde edilmiştir.



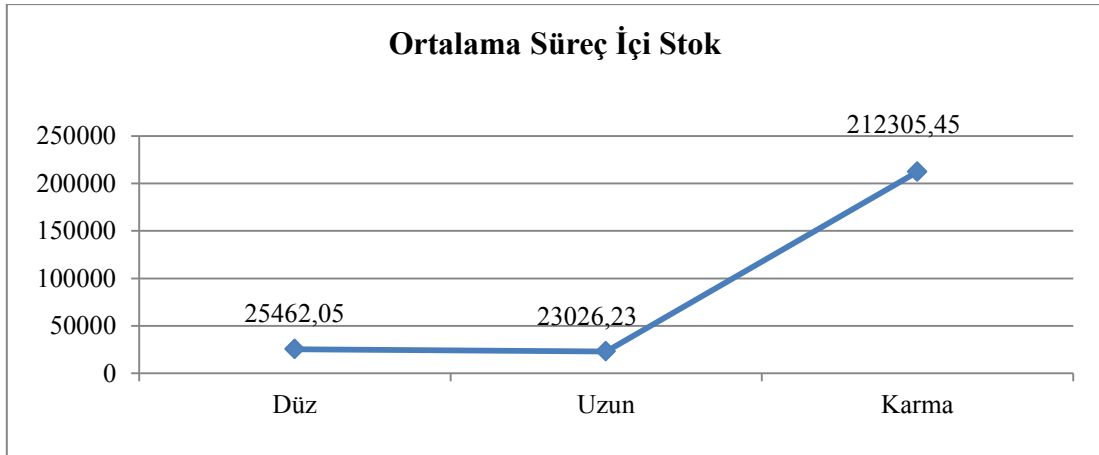
Şekil 5.2. Ürün ağacı yapıları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.3’de verilmiş olan Ürün ağacı yapıları açısından ortalama sipariş akış zamanları (OAZ) incelendiğinde, en iyi akış zamanı sonucunun 11744 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısının en kötü sonucun ise 75630,4 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısının verdiği elde edilmiştir.



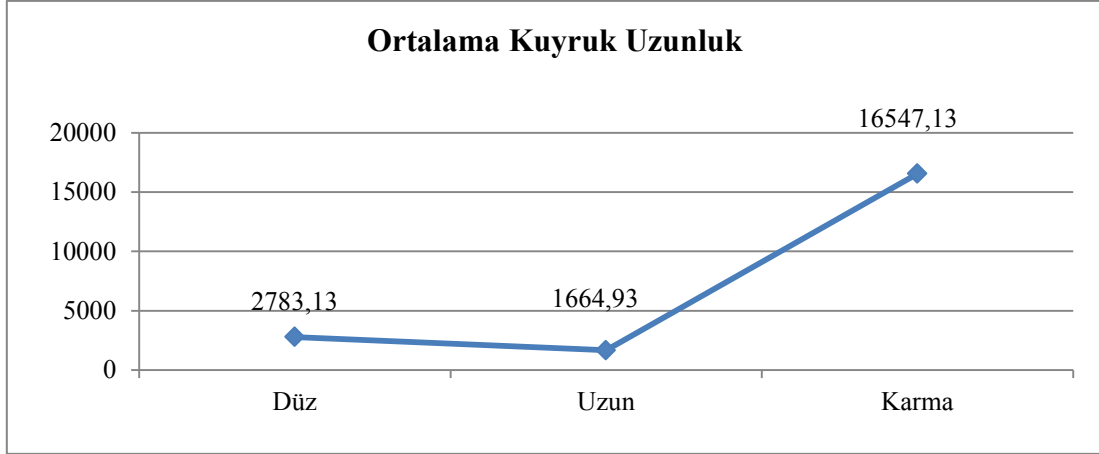
Şekil 5.3. Ürün ağacı yapıları açısından ortalama sipariş akış zamanları

Şekil 5.4’de verilmiş olan ürün ağacı yapıları açısından ortalama süreç içi stok (OSİS) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 23026,23 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısının en kötü sonucun ise 212305,45 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısının verdiği elde edilmiştir.



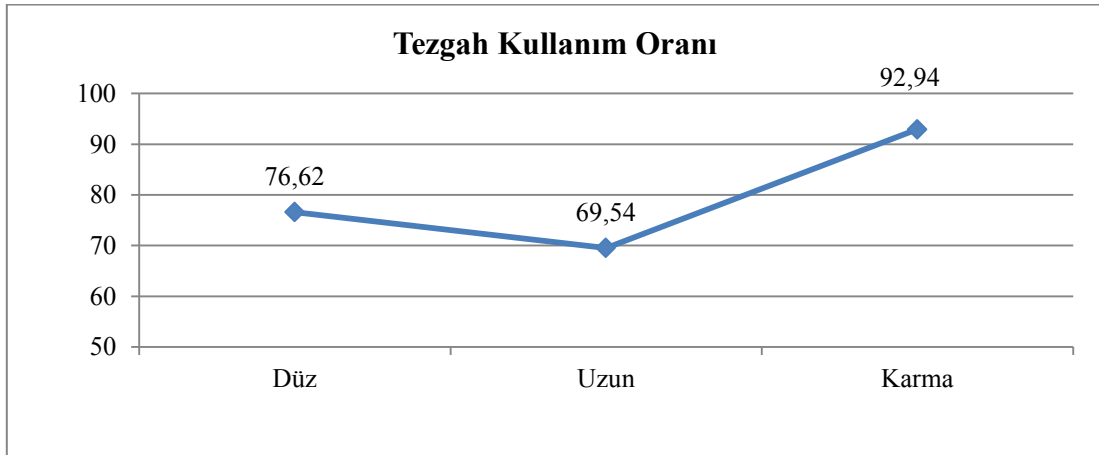
Şekil 5.4. Ürün ağacı yapıları açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.4’de verilmiş olan Ürün ağacı yapıları açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 1664,93 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısının en kötü sonucun ise 16547,13 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısının verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Ürün ağacı yapıları açısından ortalama kuyruk uzunlukları

Şekil 5.5’de verilmiş olan Ürün ağacı yapıları açısından ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi değer %92,94 ile “Karma” ürün ağacı yapısının en kötü sonucun ise %69,54 ile “Uzun” ürün ağacı yapısının verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Ürün ağacı yapıları açısından ortalama tezgah kullanım oranları

Başarı ölçütlerinin ürün ağacı yapılarına göre ortalama değerleri Tablo 5.3’de, istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 de verilmiştir.

Tablo 5.3. Ürün Ağacı yapılarına göre ortalama başarı ölçütleri

	Ürün Ağacı Tipi		
	Düz	Uzun	Karma
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	98,14	99,4	58,42
Tezgah Kullanım Oranı	76,62	69,54	92,94
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	6345,2	4960,8	14610
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	24776,4	11744	75630,4
Ortalama Kuyruk Uzunluk	2783,13	1664,93	16547,13
Ortalama Süreç İçi Stok	25462,05	23026,23	212305,45

Çok değişkenli varyans analizi için yapılan MANOVA Wilks' Lambda testi kullanılmaktadır. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerinin olup olmadığı Wilk's Lambda değeri ile incelenmektedir. Wilk's Lambda değerinin küçük olması bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde etkisinin fazla olduğu anlamını ifade etmektedir. MANOVA analizi ve çoklu karşılaştırma testi (TUKEY HSD) test sonuçları EK-B ve EK-C de verilmiştir.

Ürün ağacı yapısı için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.4 de verilmiş olan ( $\lambda=0,038$ ,  $F(12,800)=275,066$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.4. Ürün Ağacı yapılarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri

Wilks' Lambda Değeri	F Testi Değeri	Serbestlik Derecesi	Hatanın	
			Serbestlik Derecesi	Kabul Olasılığı
0,038	275,066	12	800	,000

Wilk's Lambda testinin kabul olasılığı değeri 0,05 den küçük olduğundan bağımsız değişkenin en az iki grubu arasında bağımlı değişkenlerden en az birisinde anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılır. Tablo 5.5' de verilen bağımlı değişkenlerin çok yönlü izleme analiz sonuçları incelendiğinde OSKO, OSTZ, OSAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütlerine ait kabul olasılığı değerinin 0,05 den küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu saptanmaktadır. Bu durum ürün ağacı

yapısının tüm başarı ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu anlamına gelmektedir.

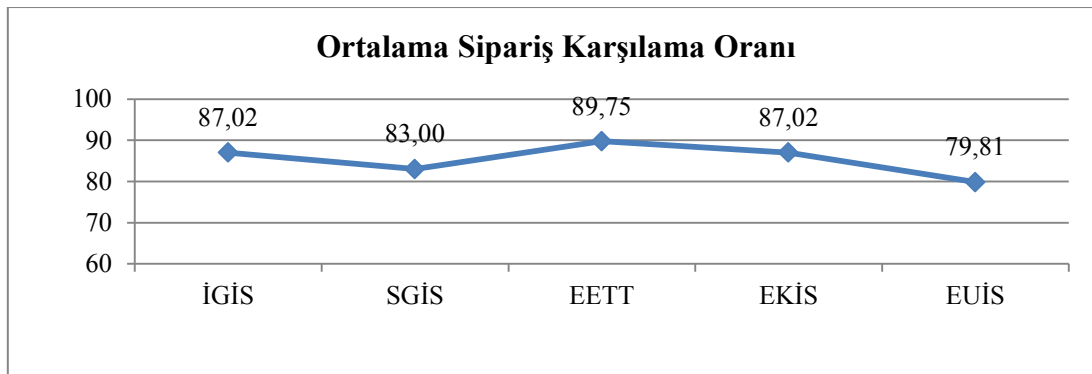
Tablo 5.5. Ürün Ağacı yapılarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

Bağımlı Değişken	Kareler	Serbestlik	Kareler	F Testi	Kabul
	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Değeri	Olasılığı
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	1,629E+05	2	8,146E+04	645,699	,000
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	2,268E+06	2	1,134E+06	1027,231	,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	9,496E+07	2	4,748E+07	1395,374	,000
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	4,321E+04	2	2,160E+04	1030,874	,000
Ortalama Süreç İçi Stok	3,537E+12	2	1,769E+12	522,416	,000
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	2,061E+10	2	1,030E+10	744,003	,000

### 5.2.2. Öncelik kuralları açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi

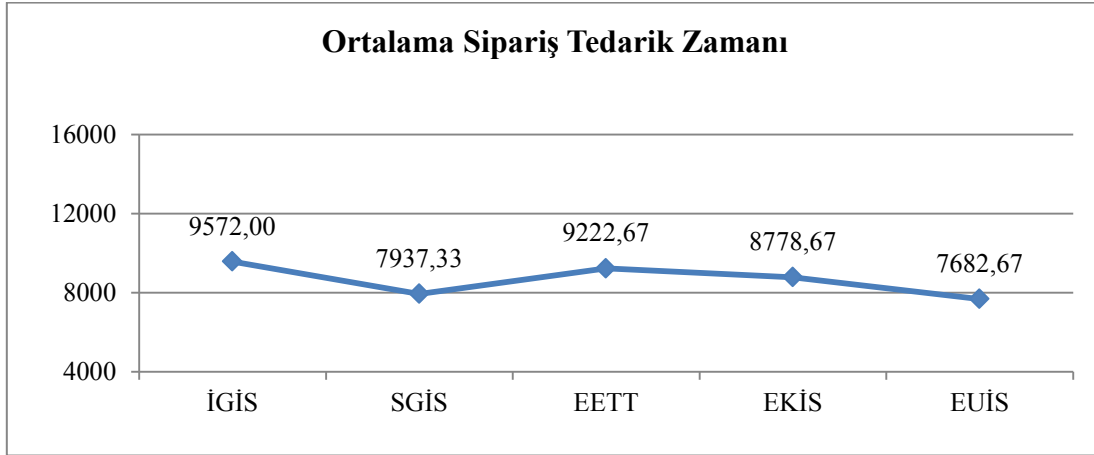
Benzetim çalışmaları sonucunda, OSKO, OTZ, OAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için elde edilen 450 adet sonuç; “İlk Giren İlk Servis (İGİS)”, “Son Giren İlk Servis (SGİS)”, “En Erken Teslim Tarihi (EETT)”, “En Kısa İşlem Süresi (EKİS)” ve “En Uzun İşlem Süresi (EUİS)” öncelik kuralları göz önünde bulundurularak başarı ölçütlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

Şekil 5.7’de verilmiş olan öncelik kuralları açısından ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %89,75 ile “EETT” öncelik kuralının en kötü sonucun ise %79,81 ile “EUİS” öncelik kuralının verdiği elde edilmiştir.



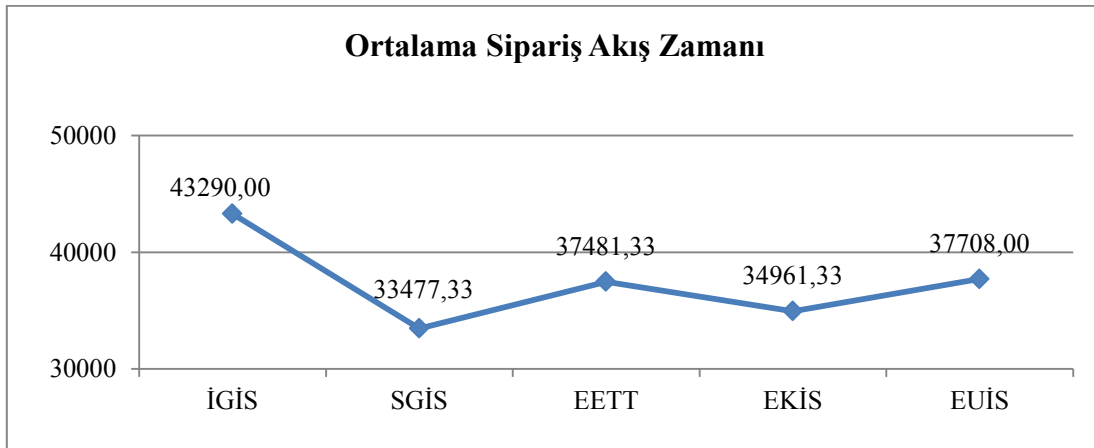
Şekil 5.7. Öncelik kuralları açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.8’de verilmiş olan Öncelik kuralları açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 7682,67 dakika ile “EUİS” öncelik kuralının en kötü sonucun ise 9572 dakika ile “İGİS” öncelik kuralının verdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Öncelik kuralları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

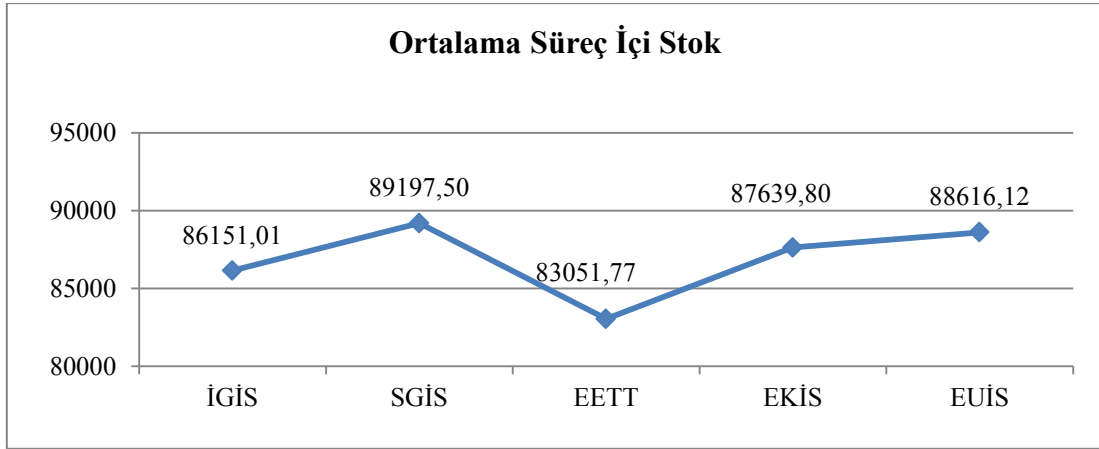
Şekil 5.9’da verilmiş olan Öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi akış zamanı sonucunun 33477,33 dakika ile “SGİS” öncelik kuralının, en kötü sonucun ise 43290 dakika ile “İGİS” öncelik kuralının verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanları

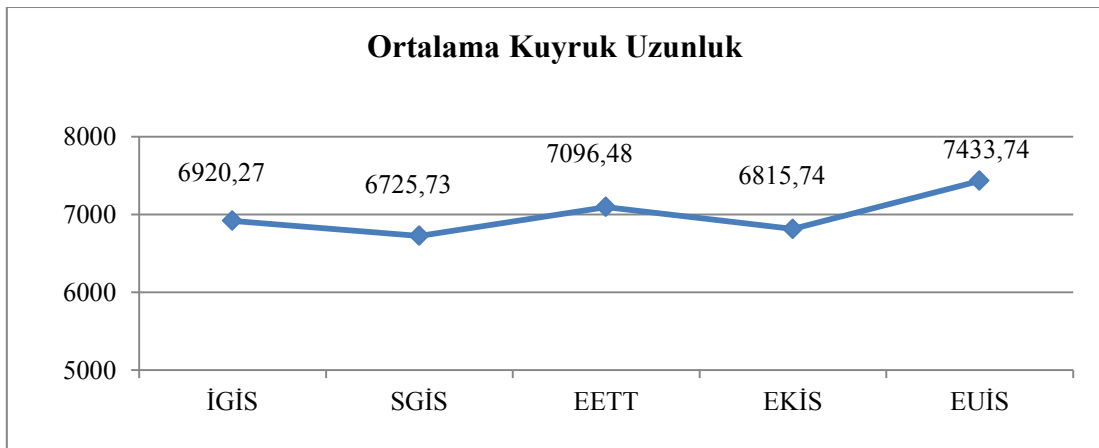
Şekil 5.10’da verilmiş olan Öncelik kuralları açısından ortalama anlık süreç içi stok (OASİS) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 83051,77 dakika ile “EETT”

öncelik kuralının en kötü sonucun ise 89197,50 dakika ile “SGİS” öncelik kuralının verdiği elde edilmiştir.



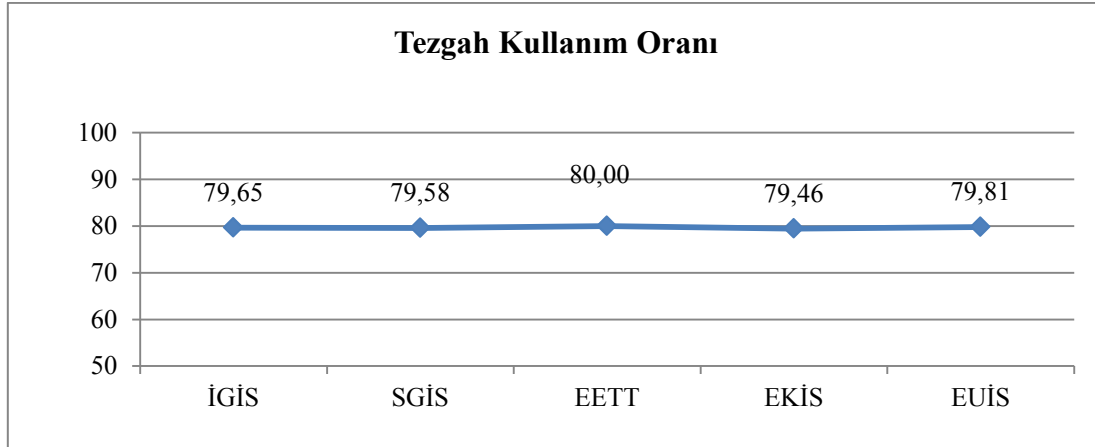
Şekil 5.10. Öncelik kuralları açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.11’de verilmiş olan Öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 6815,74 dakika ile “EKİS” öncelik kuralının en kötü sonucun ise 7433,74 dakika ile “EUİS” öncelik kuralının verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.11. Öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunlukları

Şekil 5.12’de verilmiş olan Öncelik kuralları açısından ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi değer %80 ile “EETT” öncelik kuralının en kötü sonucun ise %79,46 ile “EKİS” öncelik kuralının verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.12. Öncelik kuralları açısından ortalama tezgah kullanım oranları

Başarı ölçütlerinin öncelik kurallarına göre ortalama değerleri Tablo 5.6'da, istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.7 ve Tablo 5.8 de verilmiştir.

Tablo 5.6. Öncelik kurallarına göre ortalama performans değerleri

	Öncelik Kuralı				
	İGİS	SGİS	EETT	EKİS	EUİS
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	87,02	83	89,75	87,02	79,81
Tezgah Kullanım Oranı	79,65	79,58	80	79,46	79,81
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	9572	7937,33	9222,67	8778,67	7682,67
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	43290	33477,33	37481,33	34961,33	37708
Ortalama Kuyruk Uzunluk	6920,27	6725,73	7096,48	6815,74	7433,74
Ortalama Süreç İçi Stok	86151,01	89197,5	83051,77	87639,8	88616,12

Öncelik kuralları bağımsız değişkeni için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.7 de verilmiş olan ( $\lambda=0,292$ ,  $F(24,1396.643)=24,656$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.7. Öncelik Kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri

Wilks' Lambda Değeri	F Testi Değeri	Serbestlik Derecesi	Hatanın	
			Serbestlik Derecesi	Kabul Olasılığı
0,292	24,656	24	1396.643	,000



Wilk's Lambda testinin kabul olasılığı değeri 0,05 den küçük olduğundan bağımsız değişkenin en az iki grubu arasında bağımlı değişkenlerden en az birisinde anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılır. Tablo 5.8' de verilen bağımlı değişkenlerin çok yönlü izleme analiz sonuçları incelendiğinde OSKO, OSTZ, ve OSAZ başarı ölçütlerine ait kabul olasılığı değerinin 0,05 den küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için ise anlamlı bir fark olmadığı saptanmaktadır. Bu durumda öncelik kuralı bağımsız değişkeninin OSKO, OSTZ, ve OSAZ başarı ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu diğer ölçütler için anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

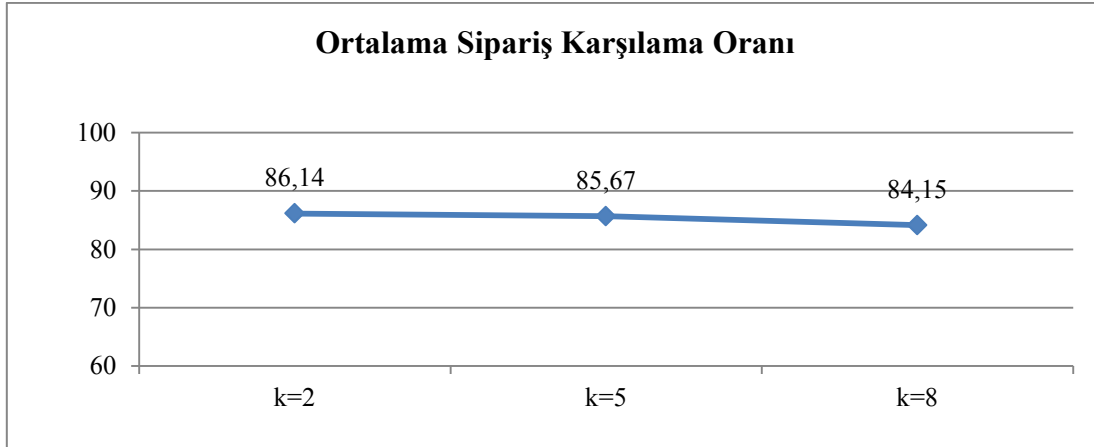
Tablo 5.8. Öncelik Kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

<b>Bağımlı Değişken</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>Serbestlik Derecesi</b>	<b>Kareler Ortalaması</b>	<b>F Testi Değeri</b>	<b>Kabul Olasılığı</b>
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	5,503E+03	4	1,376E+03	10,906	,000
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	6,594E+04	4	1,648E+04	14,930	,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	1,403E+06	4	3,508E+05	10,309	,000
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	1,574E+01	4	3,934E+00	,188	,945
Ortalama Süreç İçi Stok	2,172E+09	4	5,431E+08	,160	,958
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	2,817E+07	4	7,042E+06	,508	,730

### 5.2.3. k sabiti değeri açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi

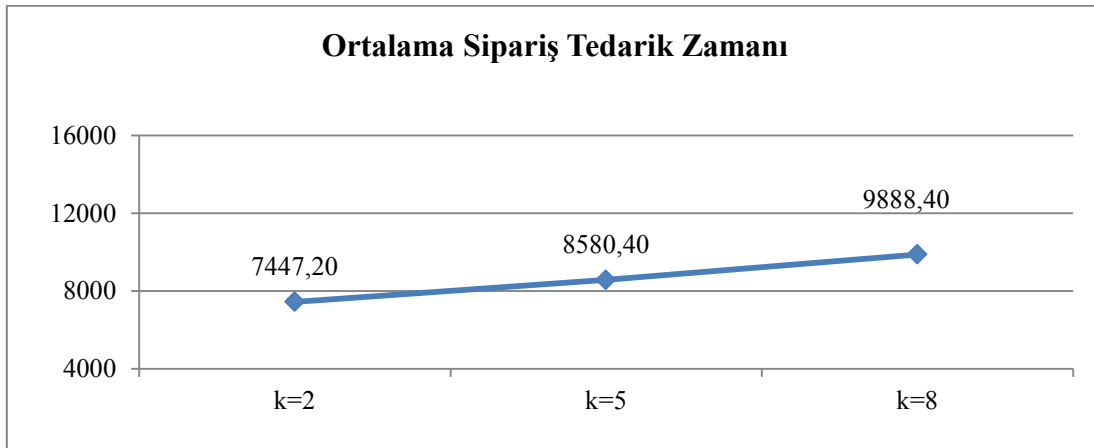
Benzetim çalışmaları sonucunda, OSKO, OTZ, OAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için siparişlerin teslim tarihinin tespit edilmesinde kullanılan k sabiti olarak “k=2”, “k=5” ve “k=8” değerleri kullanılmış ve benzetim sonucunda elde edilen 450 adet sonuç, k sabiti değerleri göz önünde bulundurularak başarı ölçütlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

Şekil 5.13'de verilmiş olan k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %86,14 ile “k=2” k sabiti değerinin, en kötü sonucun ise %84,15 ile “k=8” k sabiti değerinin verdiği elde edilmiştir.



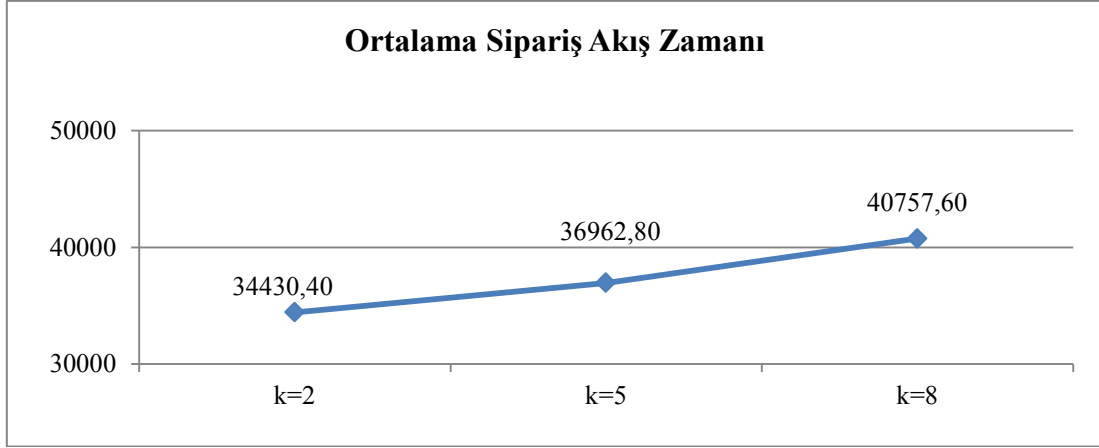
Şekil 5.13. k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.14’de verilmiş olan k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 7447,20 dakika ile “k=2” k sabiti değerinin, en kötü sonucun ise 9888,40 dakika ile “k=8” k sabiti değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



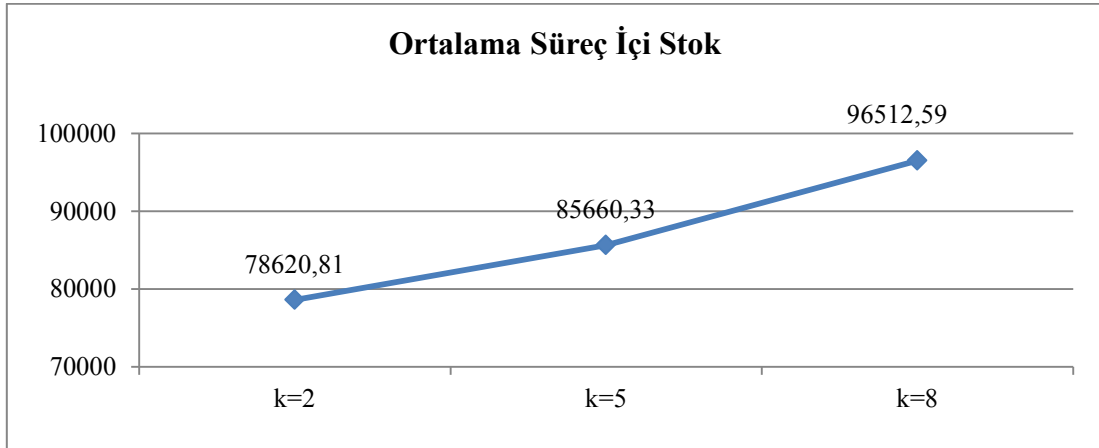
Şekil 5.14. k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.15’de verilmiş olan k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi akış zamanı sonucunun 34430,40 dakika ile “k=2” k sabiti değerinin, en kötü sonucun ise 40757,60 dakika ile “k=8” k sabiti değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



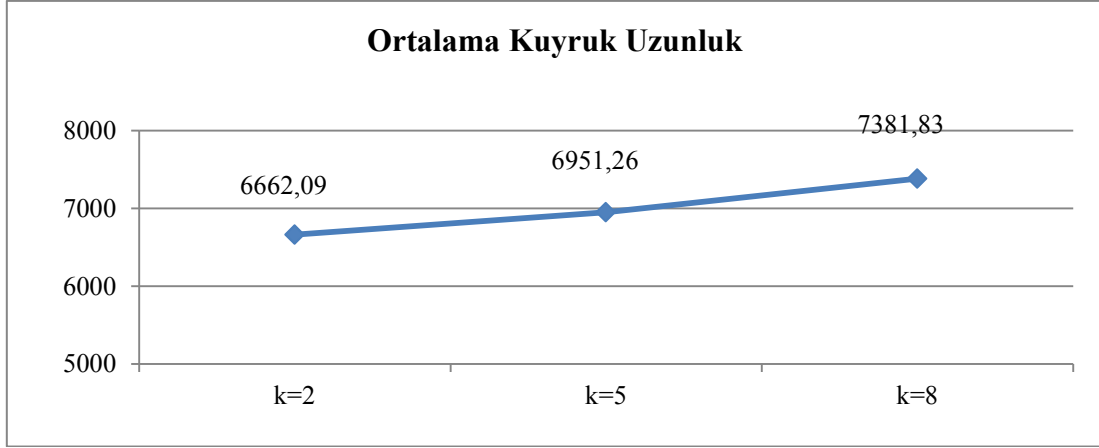
Şekil 5.15. k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları

Şekil 5.16’da verilmiş olan k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok (OSİS) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 78620,81 dakika ile “k=2” k sabiti değerinin, en kötü sonucun ise 96512,59 dakika ile “k=8” k sabiti değerinin verdiği elde edilmiştir.



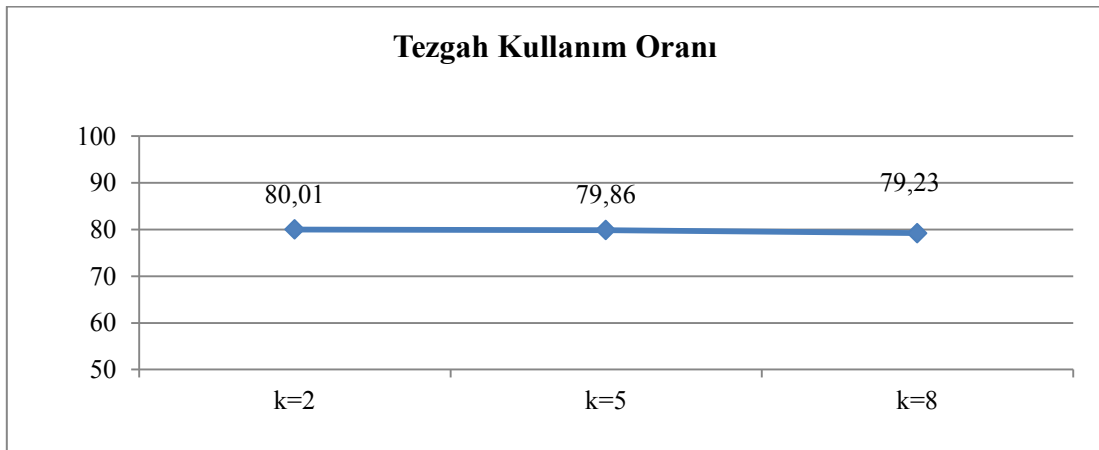
Şekil 5.16. k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.17’de verilmiş olan k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 6662,09 dakika ile “k=2” k sabiti değerinin, en kötü sonucun ise 7381,83 dakika ile “k=8” k sabiti verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.17. k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunlukları

Şekil 5.18’de verilmiş olan k sabiti değeri açısından ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi değer %80,01 ile “k=2” k sabiti değerinin, en kötü sonucun ise %79,23 ile “k=8” k sabiti değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.18. k sabiti değeri açısından ortalama tezgah kullanım oranları

Başarı ölçütlerinin öncelik kurallarına göre ortalama değerleri Tablo 5.9’da, istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.10 ve Tablo 5.11 de verilmiştir.

Tablo 5.9. k Sabiti değerine göre ortalama performans değerleri

	k Sabiti Değeri		
	k=2	k=5	k=8
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	86,14	85,67	84,15
Tezgah Kullanım Oranı	80,01	79,86	79,23
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	7447,2	8580,4	9888,4
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	34430,4	36962,8	40757,6
Ortalama Kuyruk Uzunluk	6662,09	6951,26	7381,83
Ortalama Süreç İçi Stok	78620,81	85660,33	96512,59

k Sabiti değeri bağımsız değişkeni için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.10 da verilmiş olan ( $\lambda=0,471$ ,  $F(12,800)=30,47$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.10. k Sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri

Wilks' Lambda Değeri	F Testi Değeri	Serbestlik Derecesi	Hatanın	
			Serbestlik Derecesi	Kabul Olasılığı
0,471	30,47	12	800	,000

Wilk's Lambda testinin kabul olasılığı değeri 0,05 den küçük olduğundan bağımsız değişkenin en az iki grubu arasında bağımlı değişkenlerden en az birisinde anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılır. Tablo 5.11' de verilen bağımlı değişkenlerin çok yönlü izleme analiz sonuçları incelendiğinde OSTZ, ve OSAZ başarı ölçütlerine ait kabul olasılığı değerinin 0,05 den küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu, OSKO, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için ise anlamlı bir fark olmadığı saptanmaktadır. Bu durumda öncelik kuralı bağımsız değişkeninin OSTZ, ve OSAZ başarı ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu diğer ölçütler için anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

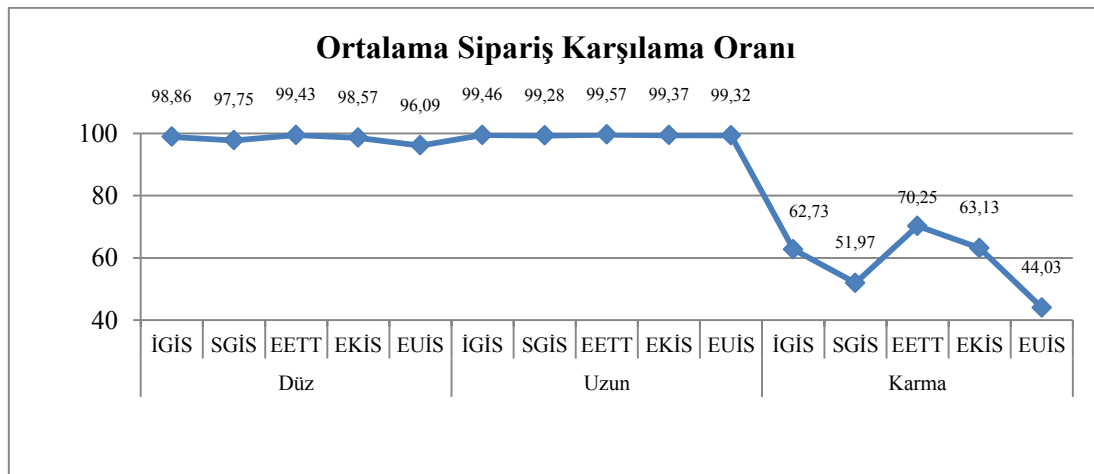
Tablo 5.11. k Sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

Bağımlı Değişken	Kareler	Serbestlik	Kareler	F Testi	Kabul
	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Değeri	Olasılığı
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	3,252E+02	2	1,626E+02	1,289	,277
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	1,244E+05	2	6,218E+04	56,317	,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	8,451E+05	2	4,225E+05	12,418	,000
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	5,168E+01	2	2,584E+01	1,233	,292
Ortalama Süreç İçi Stok	2,437E+10	2	1,219E+10	3,600	,028
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	3,935E+07	2	1,968E+07	1,421	,243

#### 5.2.4. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi

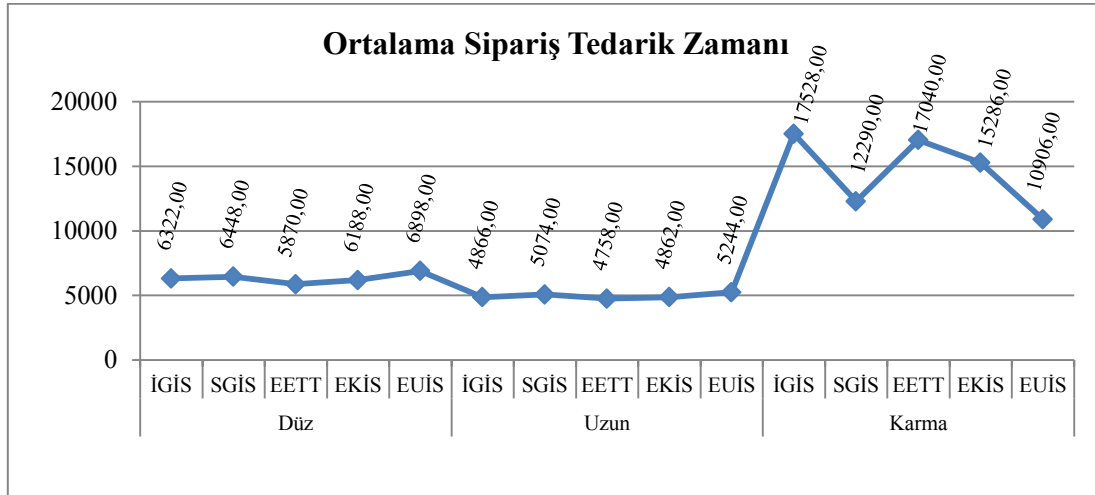
Benzetim çalışmaları sonucunda, Ortalama Sipariş Karşılama Oranı (OSKO), Ortalama Tedarik Zamanı (OTZ), Ortalama Akış Zamanı (OAZ), Ortalama Süreç İçi Stok (OSİS), Ortalama Kuyruk Uzunluğu (OKU) ve Ortalama Tezgah Kullanım Oranı (OTKO) başarı ölçütleri için benzetim sonucunda elde edilen 450 adet sonuç, ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları göz önünde bulundurularak başarı ölçütlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

Şekil 5.19’da verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %99,57 ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının verdiği, en kötü sonucun ise %44,03 ile “Karma” ürün ağacı yapısında “EUIS” öncelik kuralının verdiği elde edilmiştir.



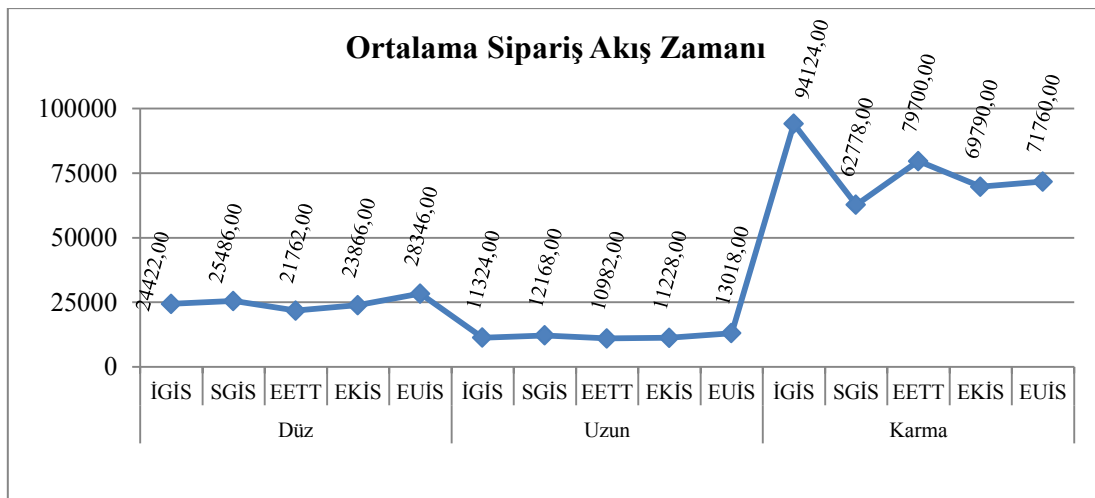
Şekil 5.19. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.20’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 4758 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının verdiği, en kötü sonucun ise 17528 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “İĞİS” öncelik kuralının verdiği sonucu elde edilmiştir.



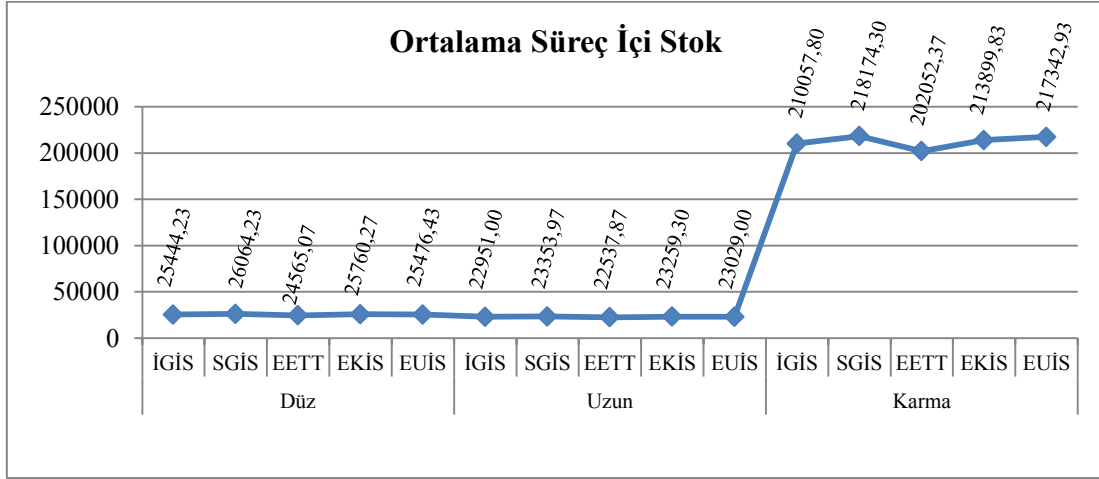
Şekil 5.20. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.21’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi akış zamanı sonucunun 10982 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının verdiği, en kötü sonucun ise 94124 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “İĞİS” öncelik kuralının verdiği sonucu elde edilmiştir.



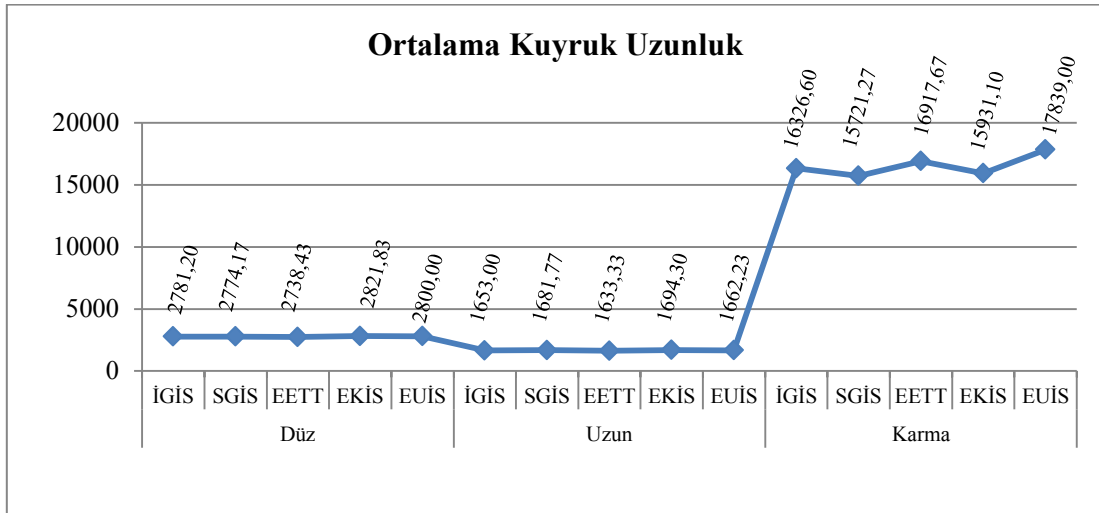
Şekil 5.21. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanları

Şekil 5.22’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama süreç içi stok (OSİS) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 22537,87 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının verdiği, en kötü sonucun ise 218174,30 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “SGİS” öncelik kuralının verdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.22. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama anlık süreç içi stok

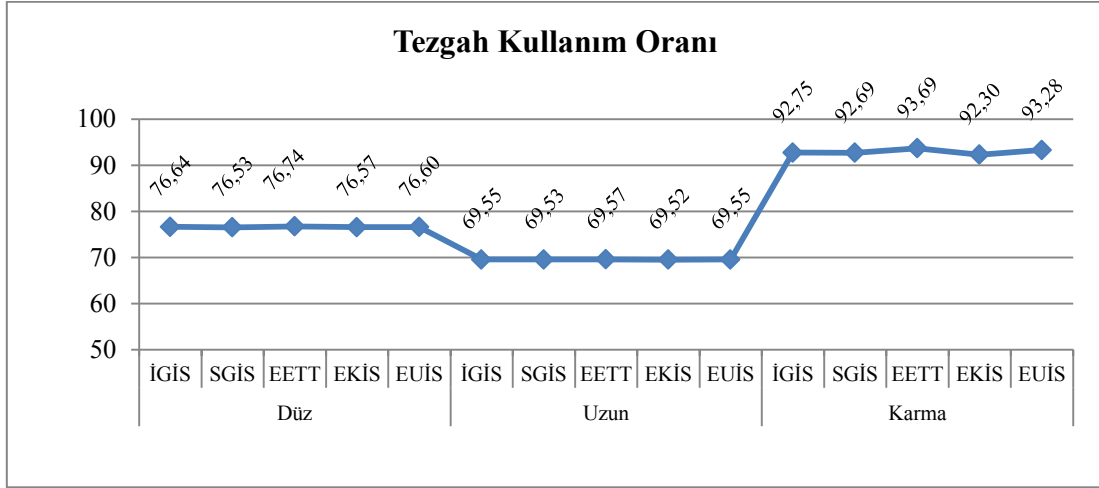
Şekil 5.23’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi değer 1694,30 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “EKİS” öncelik kuralının verdiği, en kötü sonucun ise 17839 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “EUİS” öncelik kuralının verdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.23. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunlukları



Şekil 5.24’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi değerler %93,69 ile “Karma” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının verdiği, en kötü sonucun ise %69,52 ile “Karma” ürün ağacı yapısında “EKİS” öncelik kuralının verdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.24. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama tezgah kullanım oranları

Başarı ölçütlerinin öncelik kurallarına göre ortalama değerleri Tablo 5.12’de, istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.13 ve Tablo 5.14 de verilmiştir.

Tablo 5.12. Ürün ağacı yapıları ve öncelik kurallarına göre ortalama performans değerleri

	Düz					Uzun					Karma				
	İGİS	SGİS	EETT	EKİS	EUİS	İGİS	SGİS	EETT	EKİS	EUİS	İGİS	SGİS	EETT	EKİS	EUİS
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	98,86	97,75	99,43	98,57	96,09	99,46	99,28	99,57	99,37	99,32	62,73	51,97	70,25	63,13	44,03
Tezgah Kullanım Oranı	76,64	76,53	76,74	76,57	76,6	69,55	69,53	69,57	69,52	69,55	92,75	92,69	93,69	92,3	93,28
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	6322	6448	5870	6188	6898	4866	5074	4758	4862	5244	17528	12290	17040	15286	10906
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	24422	25486	21762	23866	28346	11324	12168	10982	11228	13018	94124	62778	79700	69790	71760
Ortalama Kuyruk Uzunluk	2781,2	2774,17	2738,43	2821,83	2800	1653	1681,77	1633,33	1694,3	1662,23	16326,6	15721,27	16917,67	15931,1	17839
Ortalama Süreç İçi Stok	25444,23	26064,23	24565,07	25760,27	25476,43	22951	23353,97	22537,87	23259,3	23029	210057,8	218174,3	202052,37	213899,83	217342,93

Ürün ağacı yapısı \* öncelik kuralları bağımsız değişkenleri için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.13 da verilmiş olan ( $\lambda=0,153$ ,  $F(48,1972.23)=19,047$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.13. Ürün ağacı yapısı \* öncelik kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri

Wilks' Lambda Değeri	F Testi Değeri	Serbestlik Derecesi	Hatanın	
			Serbestlik Derecesi	Kabul Olasılığı
0,153	19,047	48	1972,23	,000

Wilk's Lambda testinin kabul olasılığı değeri 0,05 den küçük olduğundan bağımsız değişkenin en az iki grubu arasında bağımlı değişkenlerden en az birisinde anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılır. Tablo 5.11' de verilen bağımlı değişkenlerin çok yönlü izleme analiz sonuçları incelendiğinde OSKO, OSTZ, ve OSAZ başarı ölçütlerine ait kabul olasılığı değerinin 0,05 den küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için ise anlamlı bir fark olmadığı saptanmaktadır. Bu durumda öncelik kuralı bağımsız değişkeninin OSKO, OSTZ, ve OSAZ başarı ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu diğer ölçütler için anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

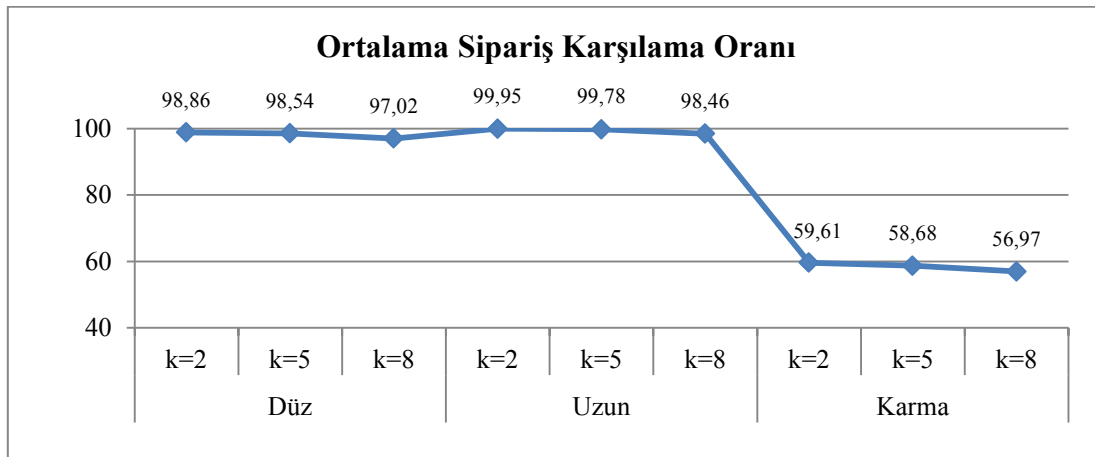
Tablo 5.14. Ürün ağacı yapısı \* öncelik kurallarına göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

Bağımlı Değişken	Kareler	Serbestlik	Kareler	F Testi	Kabul
	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Değeri	Olasılığı
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	7,585E+03	8	9,481E+02	7,515	,000
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	2,232E+05	8	2,790E+04	25,270	,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	3,588E+06	8	4,485E+05	13,181	,000
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	2,076E+01	8	2,595E+00	,124	,998
Ortalama Süreç İçi Stok	3,054E+09	8	3,817E+08	,113	,999
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	5,951E+07	8	7,439E+06	,537	,829

### 5.2.5. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi

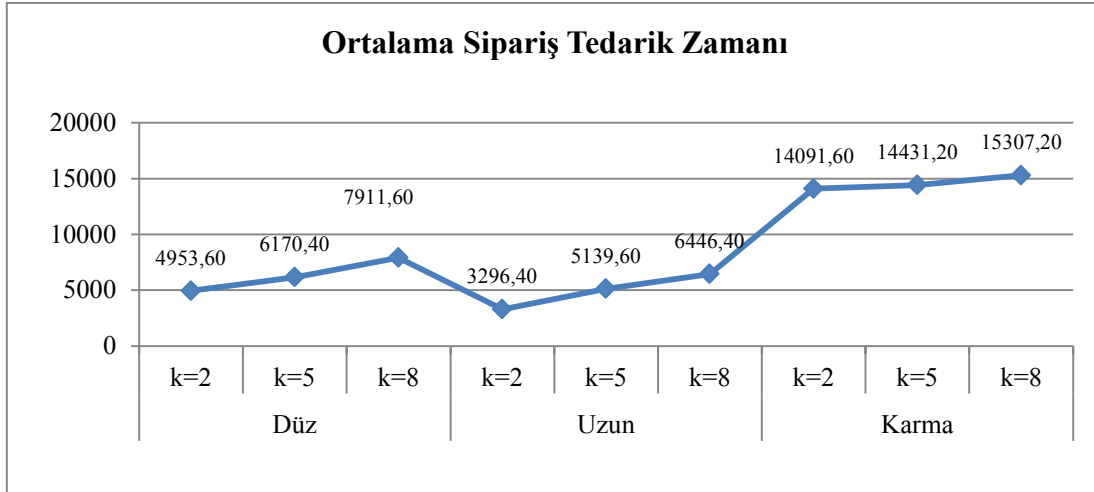
Benzetim çalışmaları sonucunda, OSKO, OTZ, OAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için benzetim sonucunda elde edilen 450 adet sonuç, ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri göz önünde bulundurularak başarı ölçütlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

Şekil 5.25’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %99,95 ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise %56,97 ile “Karma” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



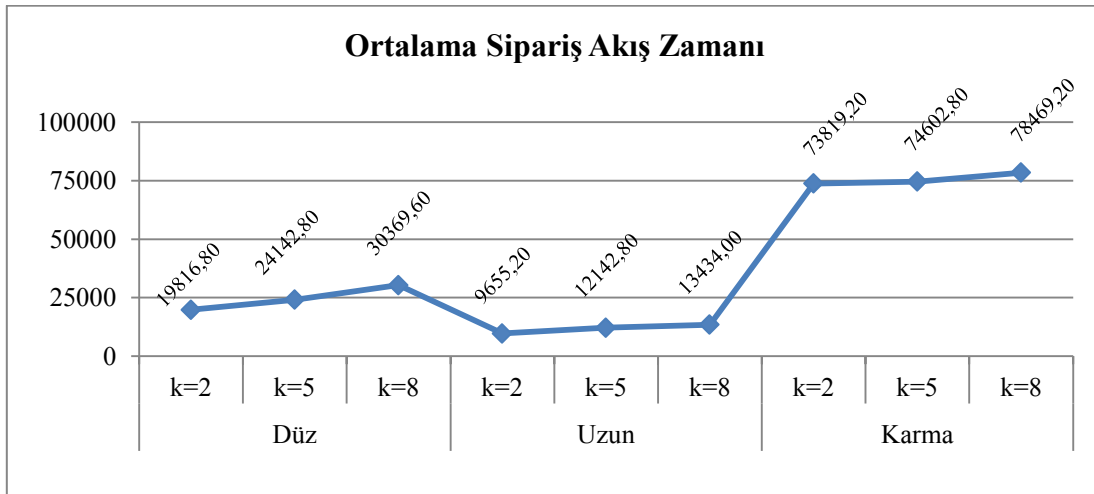
Şekil 5.25. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.26’da verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 3296,4 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise 15307,2 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



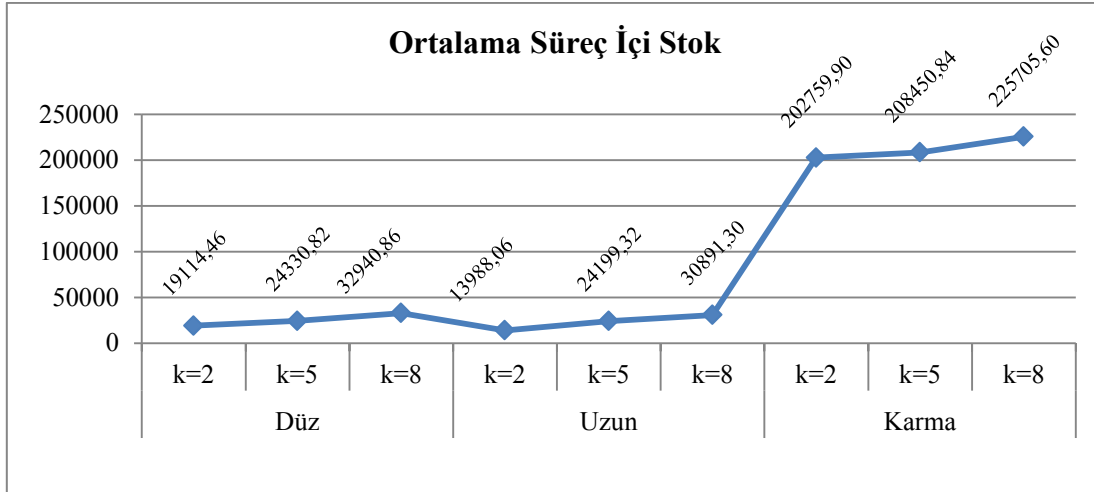
Şekil 5.26. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.27’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi akış zamanı sonucunun 9652,2 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise 78469,2 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



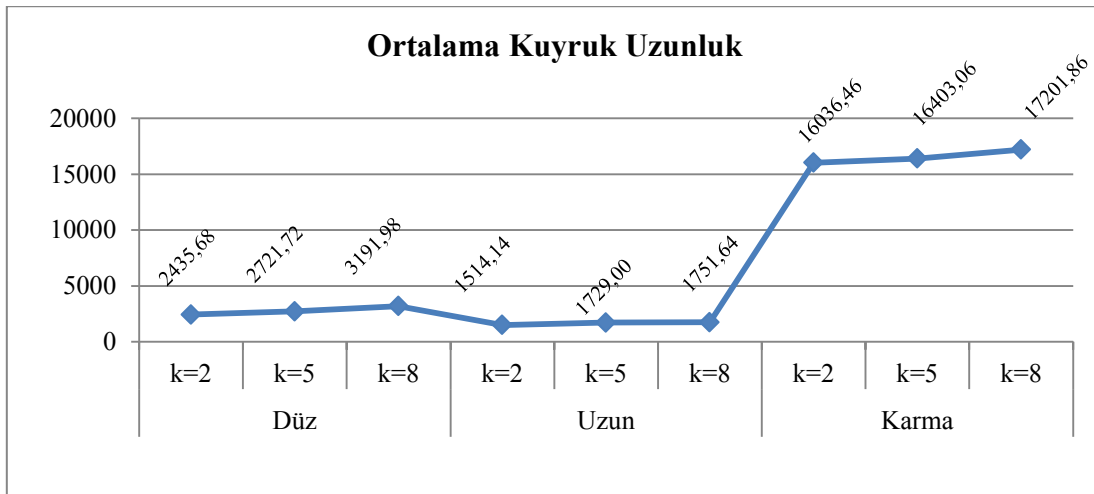
Şekil 5.27. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama sipariş akış zamanları

Şekil 5.28’de verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok (OSİS) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 13988,09 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise 225705,6 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



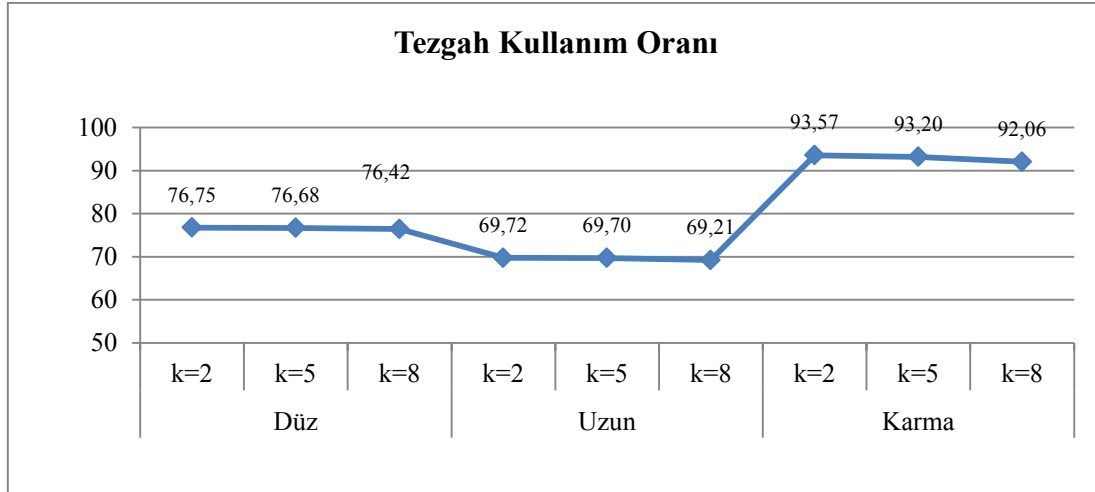
Şekil 5.28. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.29’da verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 1514,14 dakika ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise 17201,86 dakika ile “Karma” ürün ağacı yapısında “k=8” k sabiti değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.29. Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları açısından ortalama kuyruk uzunlukları

Şekil 5.30’da verilmiş olan Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun %93,57 ile “Karma” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise %69,21 ile “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin verdiği sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.30. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri açısından ortalama tezgah kullanım oranları

Başarı ölçütlerinin Ürün ağacı yapısı \* k sabiti değerlerine göre ortalama değerleri Tablo 5.15’de, istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.16 ve Tablo 5.17 de verilmiştir.

Tablo 5.15. Ürün ağacı yapısı \* k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri

	Düz			Uzun			Karma		
	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	98,86	98,54	97,02	99,95	99,78	98,46	59,61	58,68	56,97
Tezgah Kullanım Oranı	76,75	76,68	76,42	69,72	69,7	69,21	93,57	93,2	92,06
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	4953,6	6170,4	7911,6	3296,4	5139,6	6446,4	14091,6	14431,2	15307,2
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	19816,8	24142,8	30369,6	9655,2	12142,8	13434	73819,2	74602,8	78469,2
Ortalama Kuyruk Uzunluk	2435,68	2721,72	3191,98	1514,14	1729	1751,64	16036,46	16403,06	17201,86
Ortalama Süreç İçi Stok	19114,46	24330,82	32940,86	13988,06	24199,32	30891,3	202759,9	208450,84	225705,6

Ürün ağacı yapısı \* k sabiti değeri bağımsız değişkenleri için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.16 da verilmiş olan ( $\lambda=0,719$ ,  $F(24,1396.643)=5,777$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.16. Ürün ağacı yapısı \* k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

Wilks' Lambda Değeri	F Testi Değeri	Serbestlik Derecesi	Hatanın	
			Serbestlik Derecesi	Kabul Olasılığı
0,719	5,777	24	1396,643	,000

Wilk's Lambda testinin kabul olasılığı değeri 0,05 den küçük olduğundan bağımsız değişkenin en az iki grubu arasında bağımlı değişkenlerden en az birisinde anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılır. Tablo 5.11' de verilen bağımlı değişkenlerin çok yönlü izleme analiz sonuçları incelendiğinde OSTZ, ve başarı ölçütlerine ait kabul olasılığı değerinin 0,05 den küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu, OSKO, OSAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için ise anlamlı bir fark olmadığı saptanmaktadır. Bu durumda öncelik kuralı bağımsız değişkeninin sadece OSTZ başarı ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu diğer ölçütler için anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Tablo 5.17. Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

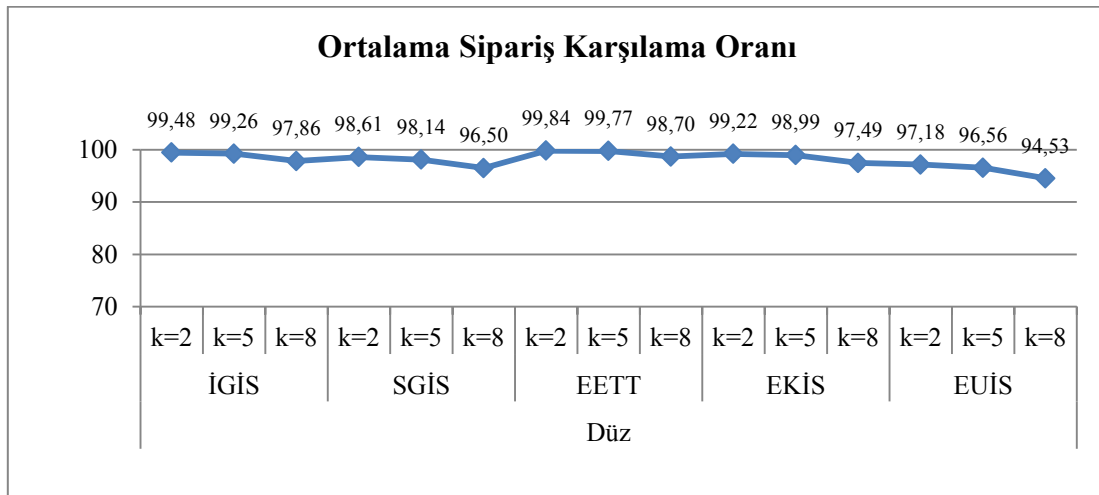
Bağımlı Değişken	Kareler	Serbestlik	Kareler	F Testi	Kabul
	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Değeri	Olasılığı
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	1,811E+01	4	4,528E+00	,036	,998
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	1,753E+04	4	4,383E+03	3,969	,004
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	2,112E+05	4	5,281E+04	1,552	,186
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	2,156E+01	4	5,390E+00	,257	,905
Ortalama Süreç İçi Stok	2,026E+09	4	5,066E+08	,150	,963
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	1,246E+07	4	3,115E+06	,225	,924



### 5.2.6. Ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından başarı ölçütlerinin değerlendirilmesi

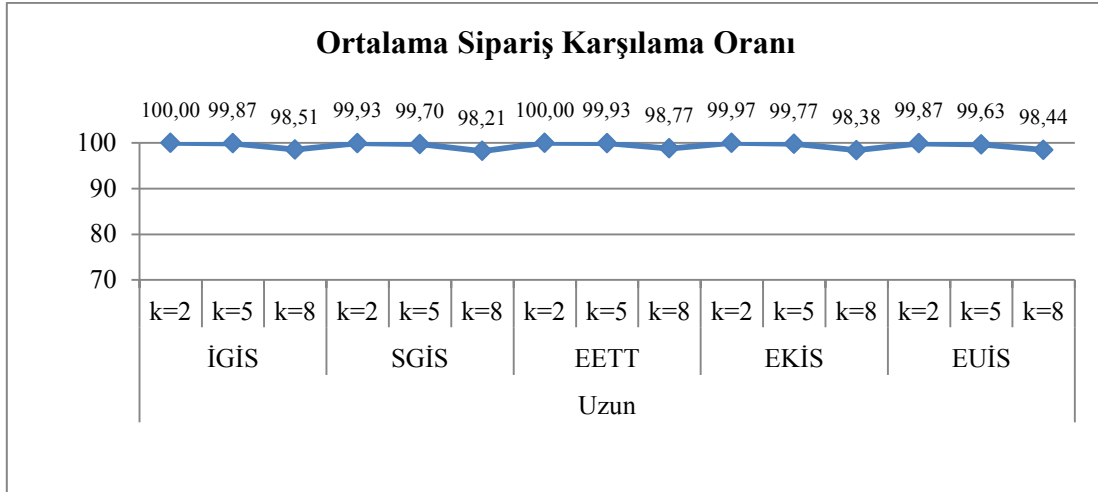
Benzetim çalışmaları sonucunda, OSKO, OTZ, OAZ, OSİS, OKU ve OTKO başarı ölçütleri için benzetim sonucunda elde edilen 450 adet sonuç, ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri göz önünde bulundurularak başarı ölçütlerinin ortalamaları hesaplanmıştır.

Şekil 5.31’de verilmiş olan Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri ortalama açısından sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %99,84 ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinin verdiği, en kötü sonucun ise %94,53 ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



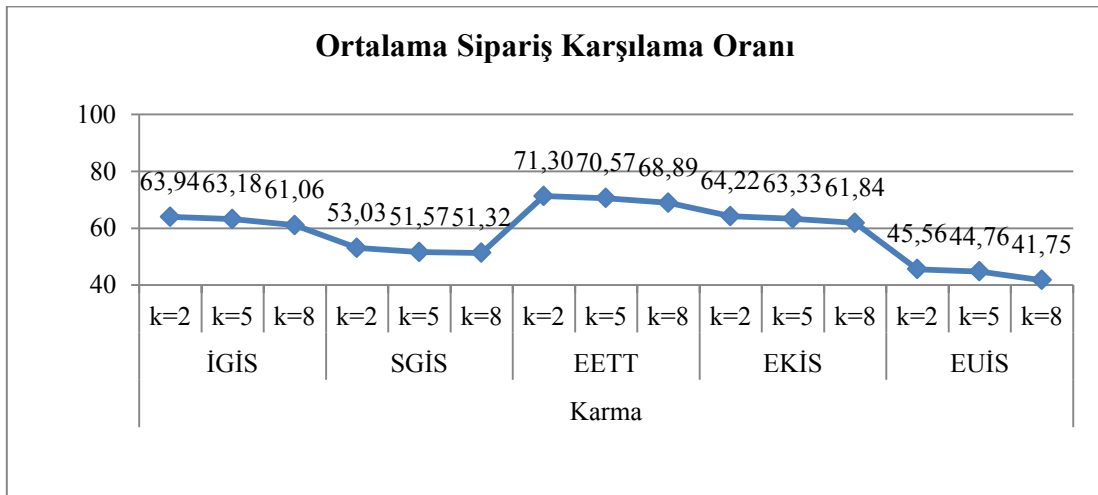
Şekil 5.31. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.32’de verilmiş olan Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %100 ile “İGİS” öncelik kuralında “k=2” değeri ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” k sabiti değerlerinin verdiği, en kötü sonucun ise %98,21 ile “SGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.32. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.33’de verilmiş olan Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) incelendiğinde en iyi sonucun %71,30 ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinin, en kötü sonucun ise %41,76 ile “SGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.

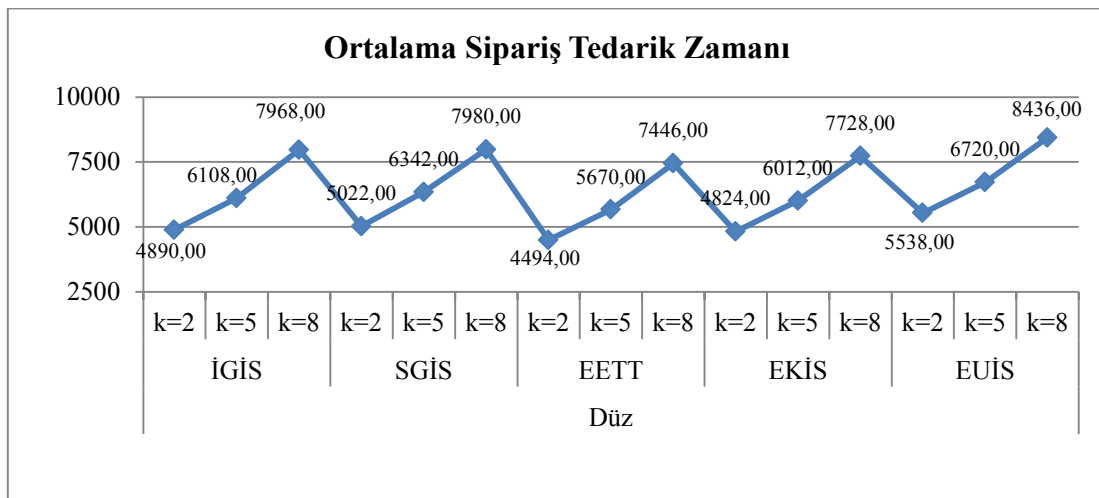


Şekil 5.33. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından sipariş karşılama oranları

Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 de verilmiş olan ürün ağacı yapısı, öncelik kuralı ve k sabiti değeri açısından, sipariş karşılama oranları incelendiğinde en iyi sonuçların % 100 ile “uzun” ürün ağacı yapısında “İGİS” ve “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde elde edildiği, en kötü sonucun ise %41,76 ile “karma”

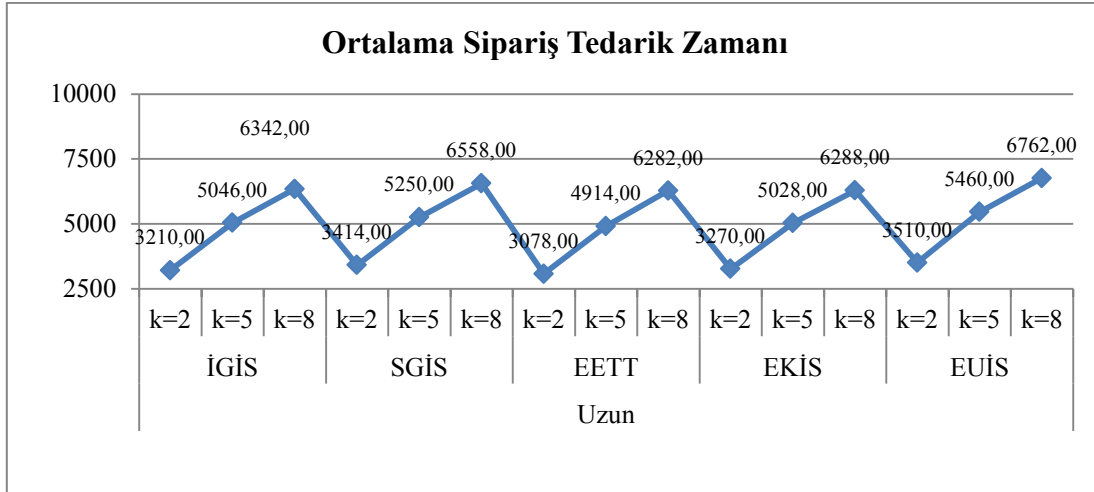
ürün ağacı yapısında “SGİS” öncelik kuralı ve “k=8” değerinde elde edildiği görülmektedir.

Şekil 5.34’da verilmiş olan Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 4494 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 8436 dakika ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



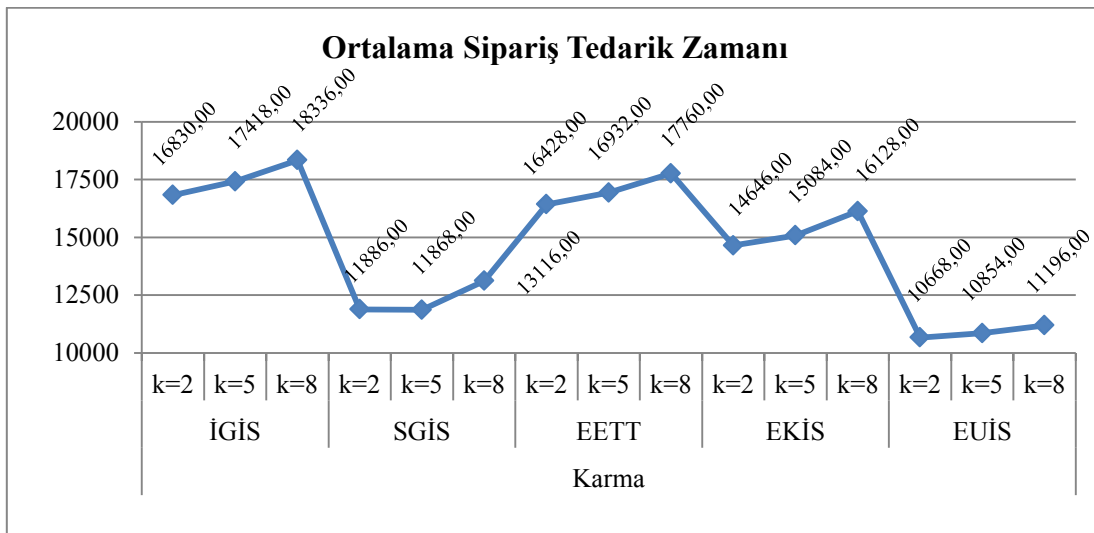
Şekil 5.34. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.35’de verilmiş olan Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 3078 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 6762 dakika ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.35. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.36’da verilmiş olan Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 10668 dakika ile “EUİS” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 18336 dakika ile “İGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.

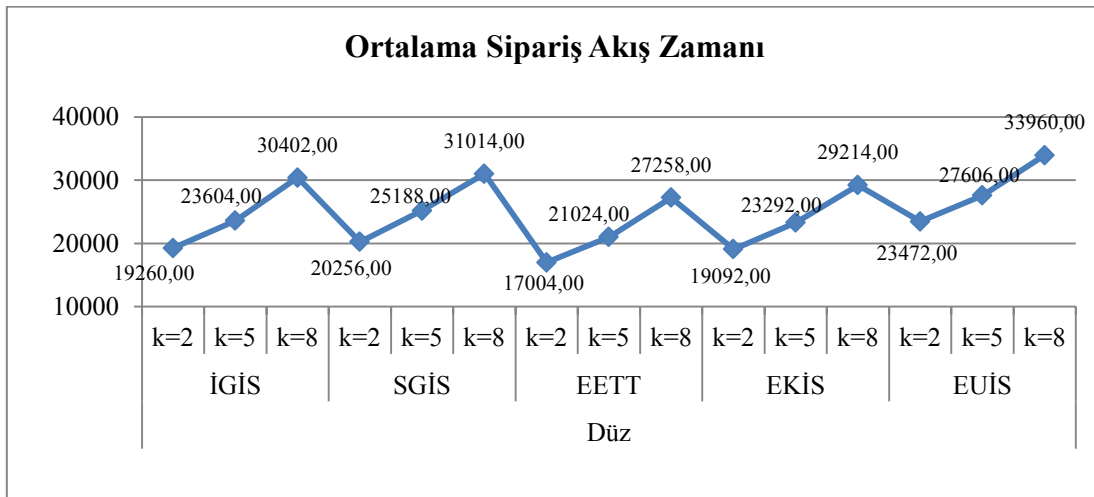


Şekil 5.36. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş tedarik zamanları

Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36 da verilmiş olan ürün ağacı yapısı, öncelik kuralı ve k sabiti değeri açısından, ortalama sipariş tedarik zamanları incelendiğinde en iyi sonuçların 3078 dakika ile “uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında

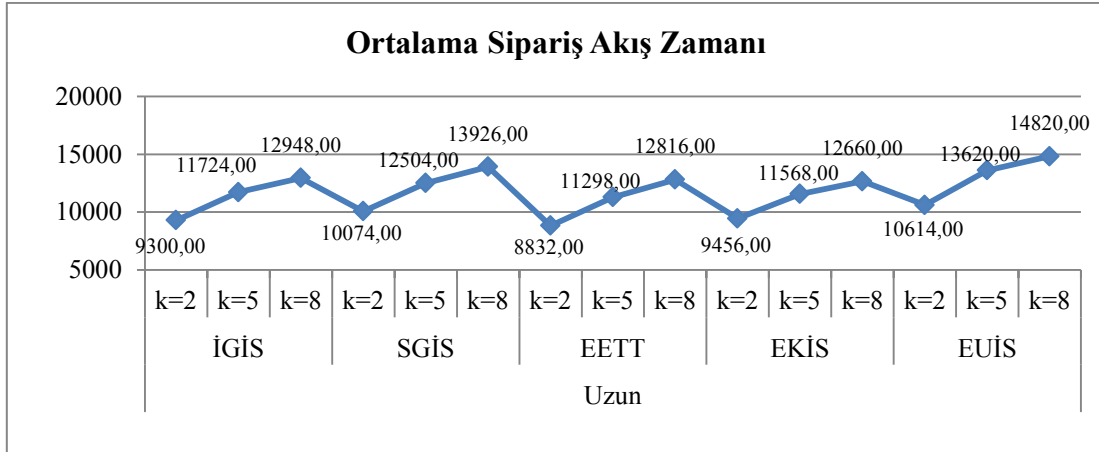
“k=2” değerinde elde edildiği, en kötü sonucun ise 18336 dakika ile “karma” ürün ağacı yapısında “İGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinde elde edildiği görülmektedir.

Şekil 5.37’de verilmiş olan Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi sipariş akış zamanı sonucunun 17004 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 33960 dakika ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



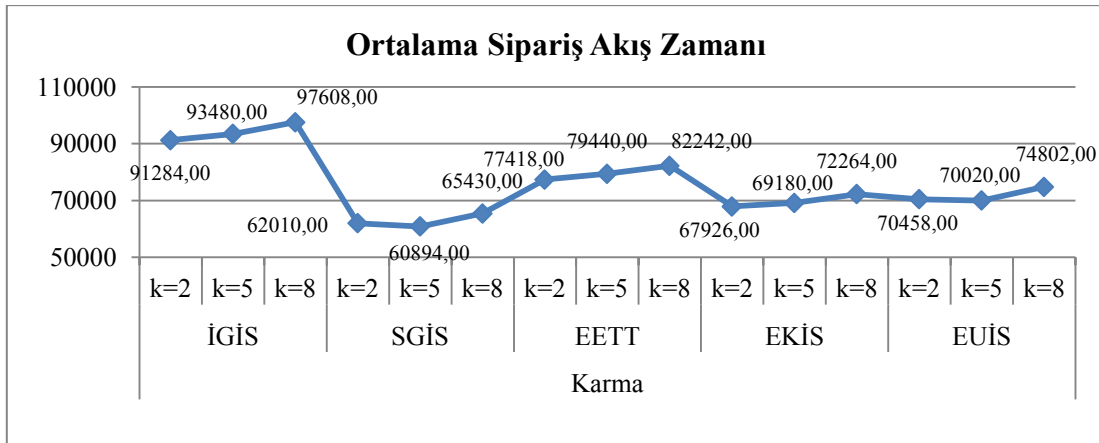
Şekil 5.37. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları

Şekil 5.38’de verilmiş olan Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 8832 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 14820 dakika ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.38. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları

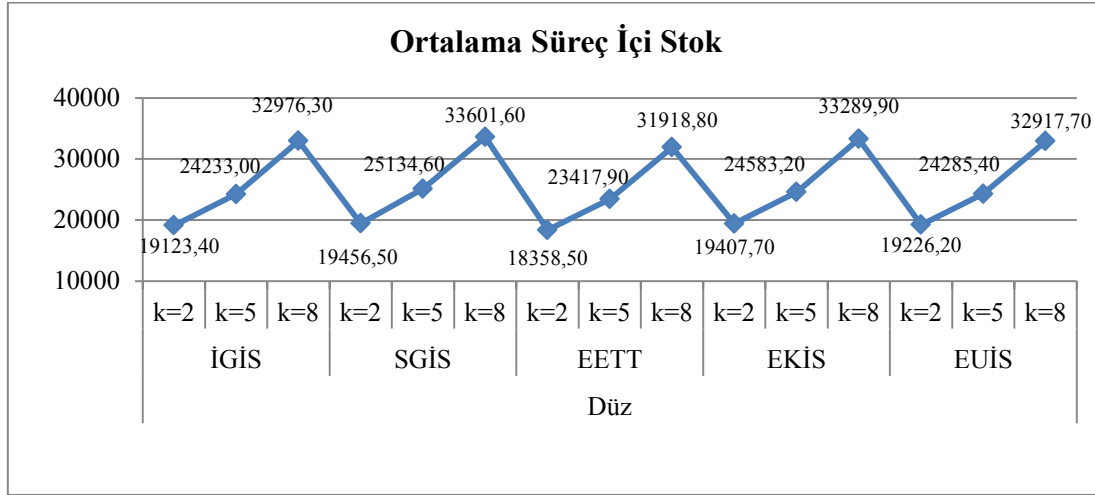
Şekil 5.39’da verilmiş olan Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) incelendiğinde, en iyi sipariş tedarik zamanı sonucunun 1014,90 saat ile “SGİS” öncelik kuralında “k=5” değerinde, en kötü sonucun ise 1626,80 saat ile “İGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.39. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama sipariş akış zamanları

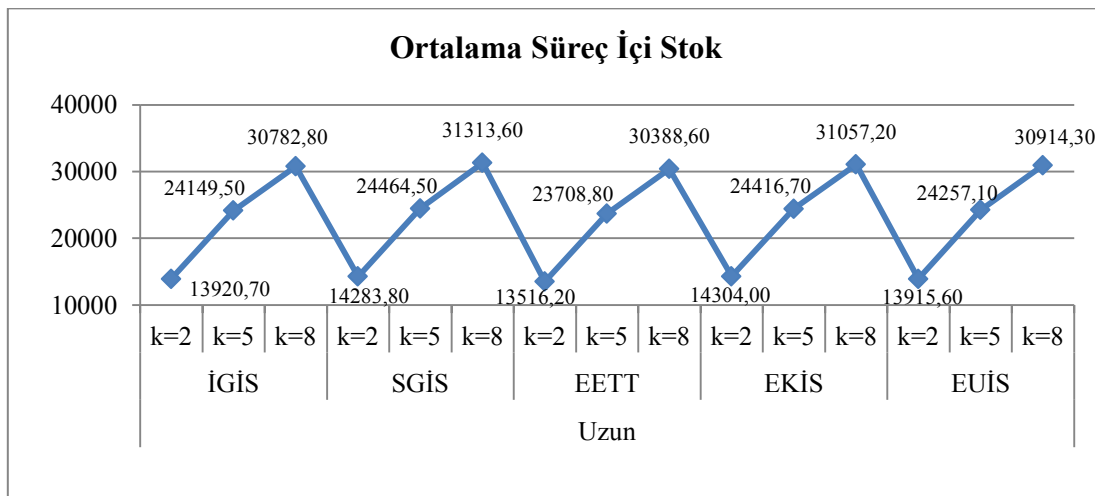
Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.39 da verilmiş olan ürün ağacı yapısı, öncelik kuralı ve k sabiti değeri açısından, ortalama sipariş akış zamanları incelendiğinde en iyi sonuçların 8832 dakika ile “uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde elde edildiği, en kötü sonucun ise 97608 dakika ile “karma” ürün ağacı yapısında “İGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinde elde edildiği görülmektedir.

Şekil 5.40’da verilmiş olan Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok (OSİS) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 18358,5 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 33601,6 dakika ile “SGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



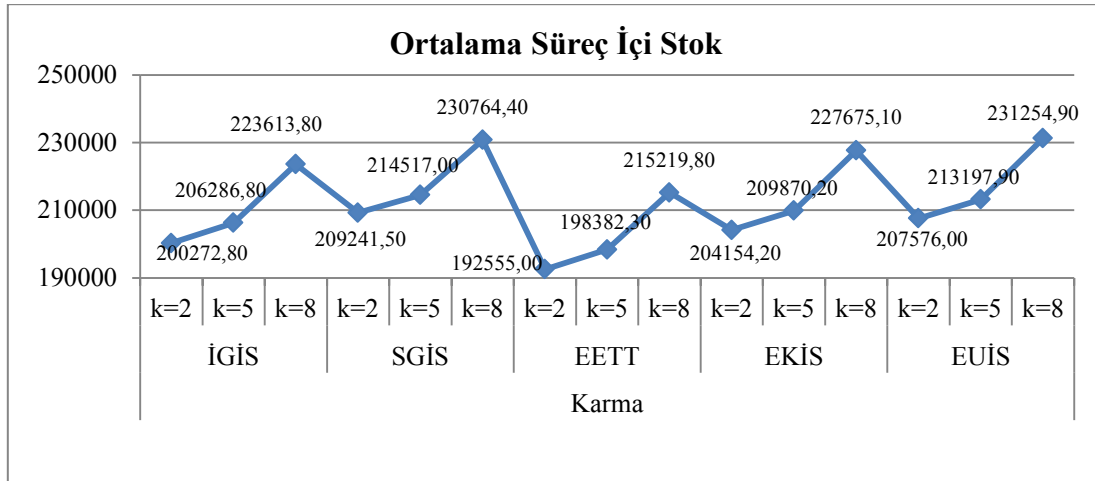
Şekil 5.40. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.41’de verilmiş olan Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok (OSİS) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 13516,20 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 31313,6 dakika ile “SGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.41. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.42’de verilmiş olan Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok (OASİS) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 192555 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 231254,90 dakika ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.

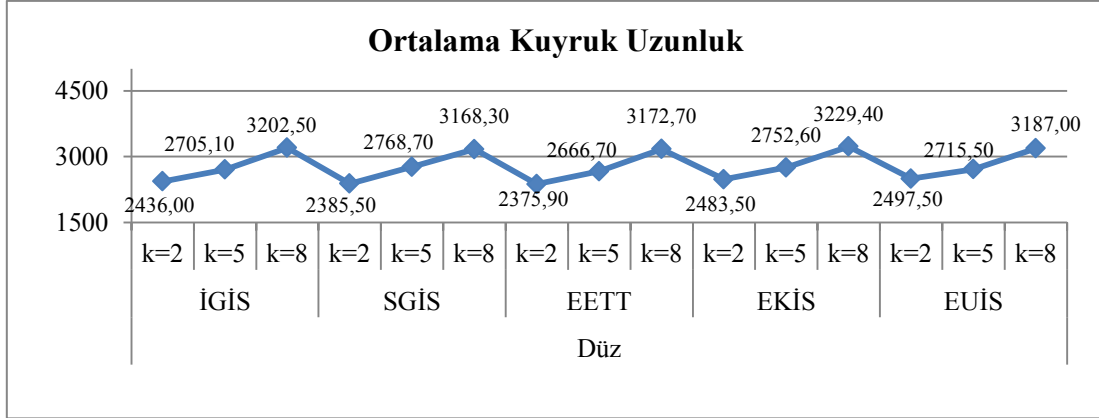


Şekil 5.42. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama süreç içi stok

Şekil 5.40, Şekil 5.41 ve Şekil 5.42’de verilmiş olan ürün ağacı yapısı, öncelik kuralı ve k sabiti değeri açısından, ortalama süreç içi stok değerleri incelendiğinde en iyi sonuçların 13516,20 dakika ile “uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde elde edildiği, en kötü sonucun ise 231254,90 dakika ile “karma” ürün ağacı yapısında “İGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinde elde edildiği görülmektedir.

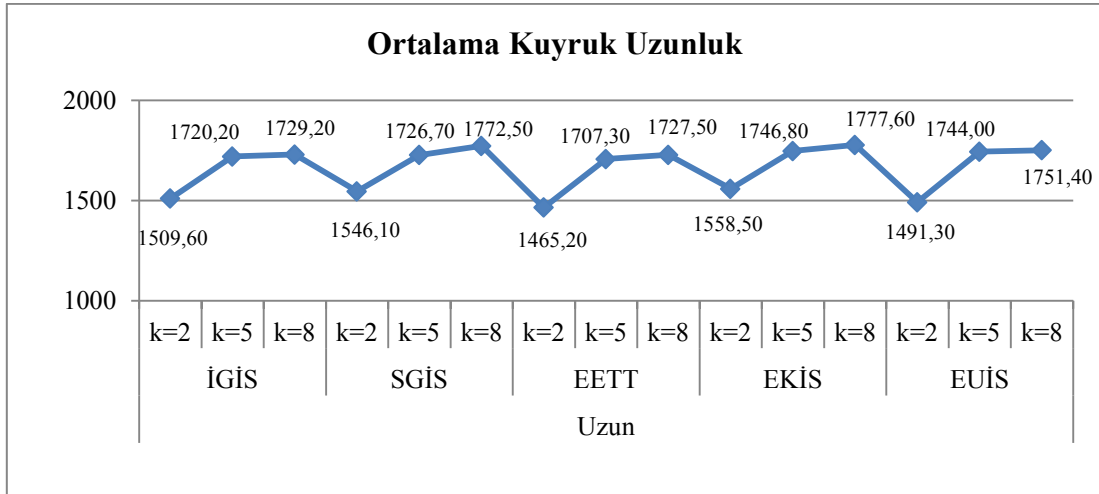
Şekil 5.43’de verilmiş olan Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 2375,9 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 3229,4 ile “EKİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.





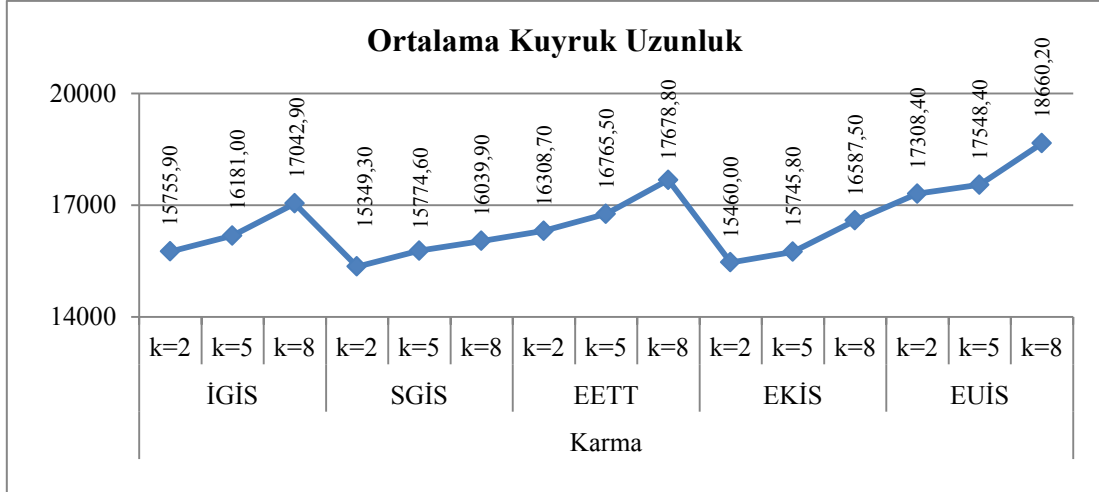
Şekil 5.43. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk adedi

Şekil 5.44’de verilmiş olan Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 1465,2 dakika ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 1777,6 dakika ile “EKİS” öncelik kuralında “k=8” k sabiti değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.44. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk adedi

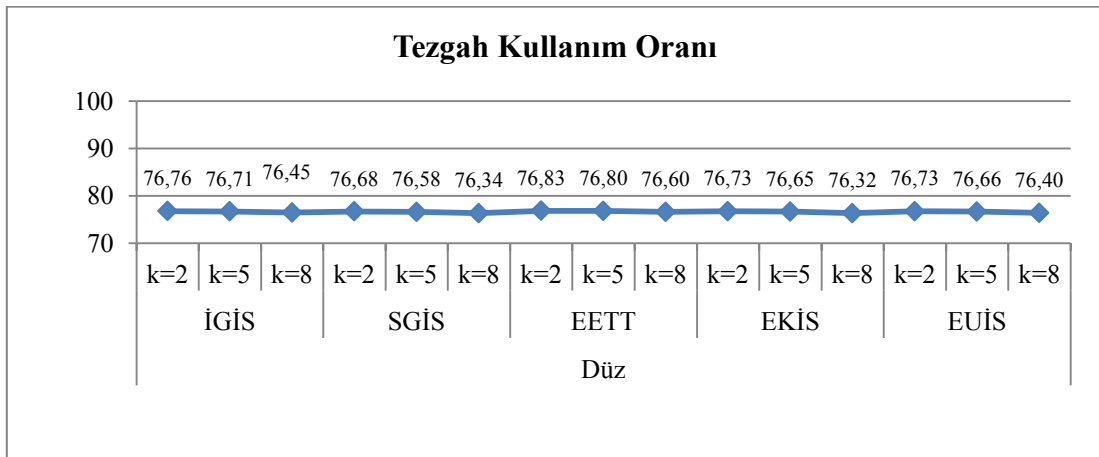
Şekil 5.45’de verilmiş olan Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun 15349,3 dakika ile “SGİS” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise 18860,2 dakika adet ile “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.45. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından ortalama kuyruk adedi

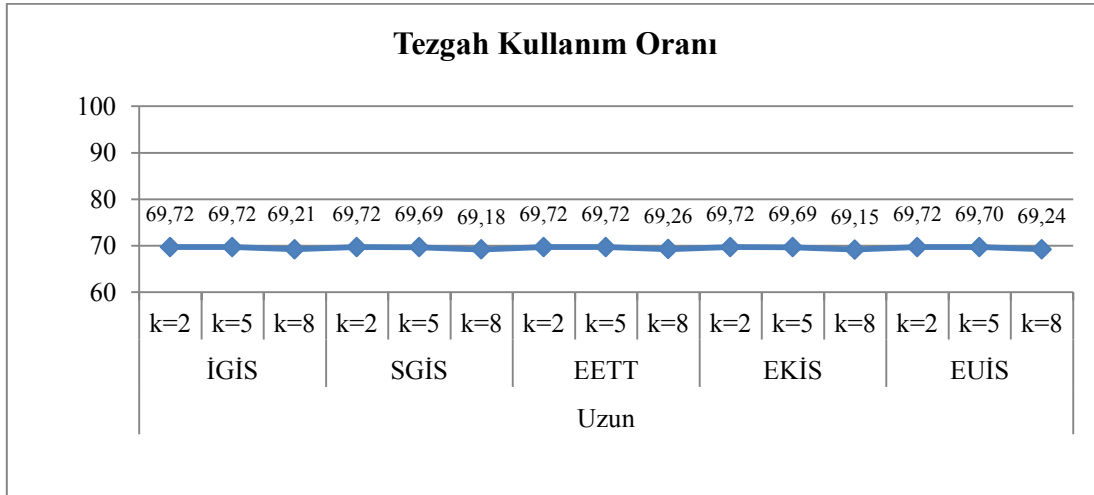
Şekil 5.43, Şekil 5.44 ve Şekil 5.45’de verilmiş olan ürün ağacı yapısı, öncelik kuralı ve k sabiti değeri açısından, ortalama kuyruk uzunlukları incelendiğinde en iyi sonuçların 1465,2 dakika ile “uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde elde edildiği, en kötü sonucun ise 18860,2 dakika ile “karma” ürün ağacı yapısında “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinde elde edildiği görülmektedir.

Şekil 5.46’da verilmiş olan Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun %76,83 ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise %76,32 ile “EKİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



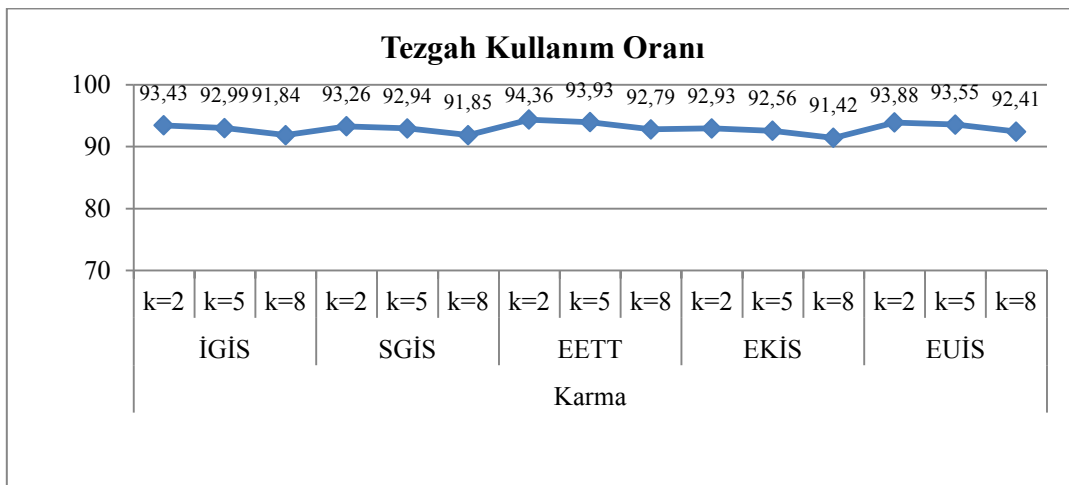
Şekil 5.46. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları

Şekil 5.47’de verilmiş olan Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun %69,72 ile “İGİS”, “EETT” , “EKİS” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise %69,15 ile “EKİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.47. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları

Şekil 5.48’de verilmiş olan Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları (OTKO) değerleri incelendiğinde, en iyi sonucunun %94,36 ile “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde, en kötü sonucun ise %91,42 ile “EKİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin verdiği elde edilmiştir.



Şekil 5.48. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri açısından tezgah kullanım oranları

Şekil 5.46, Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de verilmiş olan ürün ağacı yapısı, öncelik kuralı ve k sabiti değeri açısından, ortalama kuyruk uzunlukları incelendiğinde en iyi sonuçların %94,36 ile “karma” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinde elde edildiği, en kötü sonucun ise %69,15 ile “uzun” ürün ağacı yapısında “EKİS” öncelik kuralında “k=8” değerinde elde edildiği görülmektedir.

### **5.3. İstatistiksel Analizler**

Başarı ölçütlerinin Ürün ağacı yapısı \* öncelik kuralları \* k sabiti değerlerine göre ortalama değerleri Tablo 5.18, Tablo 5.19 ve Tablo 5.20’de, istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.21 ve Tablo 5.21 de verilmiştir.

Tablo 5.18. Düz ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri

	<b>Düz</b>														
	<b>İGİS</b>			<b>SGİS</b>			<b>EETT</b>			<b>EKİS</b>			<b>EUİS</b>		
	<b>k=2</b>	<b>k=5</b>	<b>k=8</b>	<b>k=2</b>	<b>k=5</b>	<b>k=8</b>	<b>k=2</b>	<b>k=5</b>	<b>k=8</b>	<b>k=2</b>	<b>k=5</b>	<b>k=8</b>	<b>k=2</b>	<b>k=5</b>	<b>k=8</b>
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	99,48	99,26	97,86	98,61	98,14	96,5	99,84	99,77	98,7	99,22	98,99	97,49	97,18	96,56	94,53
Tezgah Kullanım Oranı	76,76	76,71	76,45	76,68	76,58	76,34	76,83	76,8	76,6	76,73	76,65	76,32	76,73	76,66	76,4
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	4890	6108	7968	5022	6342	7980	4494	5670	7446	4824	6012	7728	5538	6720	8436
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	19260	23604	30402	20256	25188	31014	17004	21024	27258	19092	23292	29214	23472	27606	33960
Ortalama Kuyruk Uzunluk	2436	2705,1	3202,5	2385,5	2768,7	3168,3	2375,9	2666,7	3172,7	2483,5	2752,6	3229,4	2497,5	2715,5	3187
Ortalama Süreç İçi Stok	19123,4	24233	32976,3	19456,5	25134,6	33601,6	18358,5	23417,9	31918,8	19407,7	24583,2	33289,9	19226,2	24285,4	32917,7

Tablo 5.19. Uzun ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri

	Uzun														
	İGİS			SGİS			EETT			EKİS			EUİS		
	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	100	99,87	98,51	99,93	99,7	98,21	100	99,93	98,77	99,97	99,77	98,38	99,87	99,63	98,44
Tezgah Kullanım Oranı	69,72	69,72	69,21	69,72	69,69	69,18	69,72	69,72	69,26	69,72	69,69	69,15	69,72	69,7	69,24
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	3210	5046	6342	3414	5250	6558	3078	4914	6282	3270	5028	6288	3510	5460	6762
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	9300	11724	12948	10074	12504	13926	8832	11298	12816	9456	11568	12660	10614	13620	14820
Ortalama Kuyruk Uzunluk	1509,6	1720,2	1729,2	1546,1	1726,7	1772,5	1465,2	1707,3	1727,5	1558,5	1746,8	1777,6	1491,3	1744	1751,4
Ortalama Süreç İçi Stok	13920,7	24149,5	30782,8	14283,8	24464,5	31313,6	13516,2	23708,8	30388,6	14304	24416,7	31057,2	13915,6	24257,1	30914,3

Tablo 5.20. Karma ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerlerine göre ortalama performans değerleri

	Karma														
	İGİS			SGİS			EETT			EKİS			EUİS		
	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8	k=2	k=5	k=8
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	63,94	63,18	61,06	53,03	51,57	51,32	71,3	70,57	68,89	64,22	63,33	61,84	45,56	44,76	41,75
Tezgah Kullanım Oranı	93,43	92,99	91,84	93,26	92,94	91,85	94,36	93,93	92,79	92,93	92,56	91,42	93,88	93,55	92,41
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	16830	17418	18336	11886	11868	13116	16428	16932	17760	14646	15084	16128	10668	10854	11196
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	91284	93480	97608	62010	60894	65430	77418	79440	82242	67926	69180	72264	70458	70020	74802
Ortalama Kuyruk Uzunluk	15755,9	16181	17042,9	15349,3	15774,6	16039,9	16308,7	16765,5	17678,8	15460	15745,8	16587,5	17308,4	17548,4	18660,2
Ortalama Süreç İçi Stok	200272,8	206286,8	223613,8	209241,5	214517	230764,4	192555	198382,3	215219,8	204154,2	209870,2	227675,1	207576	213197,9	231254,9

Ürün ağacı yapısı \* öncelik kuralları \* k sabiti değeri bağımsız değişkenleri için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.21 de verilmiş olan ( $\lambda=0,982$ ,  $F(96,2273,01)=0,077$  ve  $p>0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır.

Tablo 5.21. Ürün ağacı yapısı \* öncelik kuralları \* k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü varyans analizi değerleri

Wilks' Lambda Değeri	F Testi Değeri	Serbestlik Derecesi	Hatanın	
			Serbestlik Derecesi	Kabul Olasılığı
0,982	0,077	96	2273,01	1,000

Wilk's Lambda testinin kabul olasılığı değeri 0,05 den büyük olduğundan bağımsız değişkenin grupları ile bağımlı değişkenler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılır. Bu durumda ürün ağacı yapısı \* öncelik kuralları \* k sabiti değeri bağımsız değişkenlerinin herhangi bir başarı ölçütü için anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Tablo 5.22. Ürün ağacı yapısı \* öncelik kuralları \* k sabiti değerine göre başarı ölçütlerinin çok yönlü izleme analizi değerleri

Bağımlı Değişken	Kareler	Serbestlik Derecesi	Kareler	F Testi Değeri	Kabul Olasılığı
	Toplamı		Ortalaması		
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	1,787E+01	16	1,117E+00	,009	1,000
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	9,942E+02	16	6,214E+01	,056	1,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	1,285E+04	16	8,030E+02	,024	1,000
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	1,755E-01	16	1,097E-02	,001	1,000
Ortalama Süreç İçi Stok	1,570E+07	16	9,811E+05	,000	1,000
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	1,699E+06	16	1,062E+05	,008	1,000

MANOVA analizi sonucunda bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki etkileşimin anlamlı olup olmadığı incelendikten sonra EK-C de verilen çoklu karşılaştırma testi (TUKEY HSD) test değerleri ile bağımsız değişkenler içerisindeki gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını inceleme imkanı vermektedir. Çoklu karşılaştırma sonuçları için yapılan incelemeler sonucunda başarı ölçütleri açısından; “Düz”, “Uzun” ve “Karma” ürün ağacı yapılarının, öncelik



kuralları için “İGİS”, “SGİS”, “EETT”, “EKİS” ve “EUIS” öncelik kuralları ve k sabiti değeri için “k=2”, “k=5” ve “k=8” değer grupları arasındaki bulgular Tablo 5.23, Tablo 5.24 ve Tablo 5.25 de verilmiştir.

Tablo 5.23. Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ürün ağacı yapılarının karşılaştırılması

Bağımlı Değişken	Ürün Ağacı Tipi	Kabul Olasılığı	
		Uzun	Karma
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	Düz	0,597	0,000
	Uzun	-	0,000
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	Düz	0,000	0,000
	Uzun	-	0,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	Düz	0,000	0,000
	Uzun	-	0,000
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	Düz	0,000	0,000
	Uzun	-	0,000
Ortalama Süreç İçi Stok	Düz	0,930	0,000
	Uzun	-	0,000
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Düz	0,260	0,000
	Uzun	-	0,000

Tablo 5.23’ de görüldüğü gibi ürün ağacı yapıları; ortalama sipariş karşılama oranı, ortalama süreç içi stok ve ortalama kuyruk uzunluğu başarı ölçütleri için, “Düz” ve “Uzun” ürün ağacı yapılarının aralarında anlamlı bir fark olmadığı, “Karma” ürün ağacı yapısının hem “Düz” hem de “Uzun” ürün ağacı yapılarından anlamlı bir şekilde farklı olduğu saptanmaktadır.

Ortalama tedarik zamanı, ortalama sipariş akış zamanı ve ortalama tezgah kullanım oranı başarı ölçütleri içinse üç tip ürün ağacı yapısı arasında anlamlı bir fark olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.24. Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre öncelik kurallarının karşılaştırılması

Bağımlı Değişken	Öncelik Kuralları	Kabul Olasılığı			
		SGİS	EETT	EKİS	EUİS
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	İGİS	0,118	0,477	1,000	0,000
	SGİS	-	0,001	0,117	0,316
	EETT		-	0,479	0,000
	EKİS			-	0,000
	EUİS				-
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	İGİS	0,000	0,765	0,060	0,000
	SGİS	-	0,000	0,039	0,912
	EETT		-	0,567	0,000
	EKİS			-	0,002
	EUİS				-
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	İGİS	0,000	0,004	0,000	0,007
	SGİS	-	0,110	0,897	0,079
	EETT		-	0,545	1,000
	EKİS			-	0,457
	EUİS				-
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	İGİS	1,000	0,986	0,999	0,999
	SGİS	-	0,973	1,000	0,997
	EETT		-	0,934	0,999
	EKİS			-	0,987
	EUİS				-
Ortalama Süreç İçi Stok	İGİS	0,997	0,997	1,000	0,999
	SGİS	-	0,954	1,000	1,000
	EETT		-	0,984	0,968
	EKİS			-	1,000
	EUİS				-
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	İGİS	0,997	0,998	1,000	0,887
	SGİS	-	0,963	1,000	0,706
	EETT		-	0,987	0,974
	EKİS			-	0,799
	EUİS				-

Tablo 5.25’ de görüldüğü gibi öncelik kurallarının kendi aralarındaki farklılıkların anlamlı olup olmadığı incelendiğinde; ortalama sipariş karşılama oranı, başarı ölçütü için, “EUİS” öncelik kuralı ile “İGİS”, “EETT” ve EKİS” öncelik kuralları ile “EETT” öncelik kuralıyla “SGİS” öncelik kuralı arasında başarı ölçütü sonuçları açısından anlamlı fark olduğu saptanmaktadır.

Ortalama sipariş tedarik zamanı, başarı ölçütü için, “EUİS” öncelik kuralı ile “İGİS”, “EETT” ve EKİS” öncelik kuralları arasında, “EETT” öncelik kuralıyla “SGİS”

öncelik kuralı arasında ve “İGİS” öncelik kuralıyla “SGİS” öncelik kuralı arasında başarı ölçütü sonuçları açısından anlamlı fark olduğu görülmektedir..

Ortalama sipariş akış zamanı, başarı ölçütü için, “İGİS” öncelik kuralı ile “SGİS”, “EETT” ve EKİS” öncelik kuralları arasında, başarı ölçütü sonuçları açısından anlamlı fark olduğu görülmektedir..

Ortalama tezgah kullanım oranı, ortalama süreç içi stok ve ortalama kuyruk uzunluğu başarı ölçütleri için elde edilen sonuçlar arasındaki değişimin öncelik kuralları açısından istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır.

Tablo 5.26. Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre k sabiti değişken değerlerinin karşılaştırılması

Bağımlı Değişken	Ürün Ağacı Tipi	Kabul Olasılığı	
		k=5	k=8
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	k=2	0,929	0,275
	k=5		0,472
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	k=2	0,000	0,000
	k=5		0,000
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	k=8	0,118	0,000
	k=2		0,009
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	k=5	0,954	0,300
	k=2		0,460
Ortalama Süreç İçi Stok	k=5	0,547	0,022
	k=2		0,240
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	k=5	0,779	0,216
	k=2		0,576
	k=5	0,929	0,275

Tablo 5.26’ de görüldüğü gibi k sabiti değerlerinin kendi aralarındaki farklılıkların anlamlı olup olmadığı incelendiğinde; ortalama sipariş tedarik zamanı, başarı ölçütü için, “k=2”, “k=5” ve “k=8” değerleri için başarı ölçütü sonuçları açısından anlamlı fark olduğu saptanmaktadır.

Ortalama sipariş akış zamanı, başarı ölçütü için, “k=2” değeri ile “k=8” değeri arasında, başarı ölçütü sonuçları açısından anlamlı fark olduğu görülmektedir..

Ortalama tezgah kullanım oranı, başarı ölçütü için, “k=5” değeri ile “k=8” değeri arasında, başarı ölçütü sonuçları açısından anlamlı fark olduğu görölmektedir..

Ortalama sipariş karşılama oranı, ortalama süreç içi stok ve ortalama kuyruk uzunluğu başarı ölçütleri için elde edilen sonuçlar arasındaki değişimin k sabiti değeri açısından istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **6.1. Giriş**

İşletmelerin klasik hedefi karlılık iken, günümüzde yoğun rekabet ve sürekli değişen tüketici istek ve ihtiyaçlarının olduğu bir ortamda faaliyet gösterdiklerinden temel hedef müşteri odaklılık olarak değişmiştir. Müşterinin istemiş olduğu ürün ve hizmetleri, istenilen zamanda gecikme olmaksızın, uygun maliyetle ve istenilen kalite standartları gibi birçok etmeni bir arada sağlayarak sunmak müşterinin tatmininde önemli bir rol almaktadır. Müşteri tatmini sağlayacak ürün veya hizmeti üretecek sistemi kurmak ise temel görevlerden birisini oluşturmaktadır. Bu nedenle üretimin her alanında esneklik, çeviklik, düşük maliyet, hız ve çeşitlilik sağlayacak modern üretim tekniklerini kullanan sistemlerin kurulması ve kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

Çok aşamalı ve çok çeşitli ürün üreten işletmelerin, hammaddenin işletmeye girdikten sonra nihai ürün haline dönüşene kadar geçen bütün aşamalar boyunca meydana gelen akışın düzenli ve kontrol edilebilir bir yapıda olması için gerçek zamanlı bir üretim planlama ve çizelgeleme sistemine ihtiyacı bulunmaktadır.

Gerçek zamanlı bir üretim planlama ve kontrol sistemi ile, işletmenin mevcut kaynaklarının durumlarını gösteren bilgiler ve bu bilgilere göre yeni siparişlerin teslim tarihlerinin tespit edilmesi ve üretim planlarının hazırlanmasına imkan verecek bir yapıya sahip olmaları tercih edilir.

Üretim planlama ve kontrol literatürü incelendiğinde araştırmacıların, planlamacılara durum raporu sunan bir KİP sistemi yerine MİP ile birlikte çalışan ve elle çözüm işlemi gerektirmeyen bütünleşik ve gerçek zamanlı yapılara ihtiyaç olduğunu belirttikleri görülmektedir.

Bu çalışmada bu ihtiyacı karşılamak üzere bir yapı geliştirilmiş ve yapının işleyişi açıklanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda “Düz, Uzun ve Karma” olmak üzere 3 farklı ürün ağacı yapısı, “İĞİS, SGİS, EETT, EKİS ve EUİS” olmak üzere 5 farklı öncelik kuralı ile teslim tarihi tespitinde kullanılmak üzere “ $k=2$ ,  $k=5$  ve  $k=8$ ” değerleri olmak üzere  $3 \times 5 \times 3 = 45$  farklı senaryo oluşturularak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak çok değişkenli varyans analizi ile incelenmiştir. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Ürün ağacı yapısının, ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO), ortalama tedarik zamanı (OTZ), ortalama akış zamanı (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) ve ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütleri üzerinde anlamlı bir fark oluşturduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.1., Şekil 5.2., Şekil 5.3., Şekil 5.4., Şekil 5.5. ve Şekil 5.6. incelendiğinde “Uzun” ürün ağacı yapısının ortalama tezgah kullanımı (OTKO) performans ölçütü haricinde en iyi sonucu verdiği, “Karma” ürün ağacı yapısının ise ortalama tezgah kullanımı (OTKO) performans ölçütü haricinde en kötü sonucu verdiği görülmektedir. Ürün ağacı yapısı için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen Tablo 5.4.’de verilmiş olan ( $\lambda=0,038$ ,  $F(12,800)=275,066$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.
- Ürün ağacı yapılarının kendi aralarında yapılan karşılaştırmaları (Tablo 5.23.) sonucunda ise “Düz” ve “Uzun” ürün ağacı yapıları arasında anlamlı bir fark meydana gelmediği fakat “Karma” ürün ağacı yapısının diğer ürün ağacı yapıları arasında anlamlı bir farklılık olduğu (Tablo 5.23) tespit edilmiştir.
- Öncelik kurallarının performans ölçütleri üzerindeki etkisi incelendiğinde (Şekil 5.7., Şekil 5.8., Şekil 5.9., Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.), ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütleri açısından “EETT” öncelik kuralının, ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) performans ölçütü açısından “EUİS” öncelik kuralının, ortalama sipariş akış zamanı

(OAZ) performans ölçütü açısından “SGİS” öncelik kuralının, ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) performans ölçütü açısından ise “EKİS” öncelik kuralının en iyi sonuçları verdiği, ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) ve ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) performans ölçütleri açısından “EUIŞ” öncelik kuralının, ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) ve ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) performans ölçütleri açısından “İGİS” öncelik kuralının, ortalama süreç içi stok (OSİS) performans ölçütü açısından “SGİS” öncelik kuralının ve ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütü açısından “EKİS” öncelik kuralının en kötü sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Öncelik kuralları bağımsız değişkeni için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.7’de verilmiş olan ( $\lambda=0,292$ ,  $F(24,1396.643)=24,656$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

- Öncelik kurallarının kendi aralarında yapılan karşılaştırmaları sonucunda (Tablo 5.24.) ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO) başarı ölçütü için, “EUIŞ” öncelik kuralı ile “İGİS”, “EETT” ve EKİS” öncelik kuralları ile “EETT” öncelik kuralıyla “SGİS” öncelik kuralı arasında, ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) başarı ölçütü için “EUIŞ” öncelik kuralı ile “İGİS”, “EETT” ve EKİS” öncelik kuralları arasında, “EETT” öncelik kuralıyla “SGİS” öncelik kuralı arasında ve “İGİS” öncelik kuralıyla “SGİS” öncelik kuralı arasında, ortalama sipariş akış zamanı (OSA) başarı ölçütü için, “İGİS” öncelik kuralı ile “SGİS”, “EETT” ve EKİS” öncelik kuralları arasında anlamlı bir fark olduğu, ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) , ortalama süreç içi stok (OSİS) ve ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) başarı ölçütleri için elde edilen sonuçlar arasındaki değişimin öncelik kuralları açısından anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır.
- k sabiti değerinin performans ölçütleri üzerindeki etkisi incelendiğinde (Şekil 5.13., Şekil 5.14., Şekil 5.15., Şekil 5.16., Şekil 5.17. ve Şekil 5.18.), tüm performans ölçütleri açısından en iyi sonuçların “k=2” değeri, en kötü sonuçların ise “k=8” değeri ile elde edildiği görülmektedir. k Sabiti değeri bağımsız değişkeni için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.10’da verilmiş olan ( $\lambda=0,471$ ,  $F(12,800)=30,47$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan

bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

- k sabiti değerlerinin kendi aralarında yapılan karşılaştırmaları sonucunda (Tablo 5.25.) ortalama sipariş akış zamanı (OAZ), başarı ölçütü için, “k=2” değeri ile “k=8” değeri arasında, ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) başarı ölçütü için, “k=5” değeri ile “k=8” başarı ölçütü açısından anlamlı bir fark olduğu ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO), ortalama süreç içi stok (OSİS) ve ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) başarı ölçütleri için ise anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır.
- Ürün ağacı yapısı ve öncelik kurallarının birlikte performans ölçütleri üzerindeki etkileri (Şekil 5.19., Şekil 5.20., Şekil 5.21., Şekil 5.22., Şekil 5.23. ve Şekil 5.24.), incelendiğinde, ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO), ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ), ortalama sipariş akış zamanı (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS) performans ölçütleri açısından “Uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının, ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) performans ölçütü açısından “Uzun” ürün ağacı yapısında “EKİS” öncelik kuralının, ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütü açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralının en iyi sonuçları, ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) performans ölçütü açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “EUİS” öncelik kuralının, ortalama sipariş tedarik zamanı (OTZ) ve ortalama sipariş akış zamanı (OAZ) performans ölçütleri açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “İGİS” öncelik kuralının, ortalama süreç içi stok (OSİS) performans ölçütü açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “SGİS” öncelik kuralının, ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) performans ölçütü açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “EUİS” öncelik kuralının, ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütü açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “EKİS” öncelik kuralının en kötü sonuçları verdiği görülmektedir. “Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları” bağımsız değişkenleri için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.13’de verilmiş olan ( $\lambda=0,153$ ,  $F(48,1972.23)=19,047$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.



- Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değerinin birlikte performans ölçütleri üzerindeki etkileri (Şekil 5.25., Şekil 5.26., Şekil 5.27., Şekil 5.28., Şekil 5.29. ve Şekil 5.30.) incelendiğinde, ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO), ortalama tedarik zamanı (OTZ), ortalama akış zamanı (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) performans ölçütleri açısından “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin, ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütü açısından ise “Karma” ürün ağacı yapısında “k=2” değerinin en iyi sonuçları, ortalama sipariş karşılama oranı (OSKO), ortalama tedarik zamanı (OTZ), ortalama akış zamanı (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama kuyruk uzunluğu (OKU) performans ölçütleri açısından “Karma” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin, ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütü açısından ise “Uzun” ürün ağacı yapısında “k=8” değerinin en kötü sonuçları verdiği görülmektedir. “Ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri” bağımsız değişkenleri için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.16’da verilmiş olan ( $\lambda=0,719$ ,  $F(24,1396.643)=5,777$  ve  $p<0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.
- Ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değerinin birlikte performans ölçütleri üzerindeki etkileri (Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38, Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44, Şekil 5.45, Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48.) ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) performans ölçütü açısından “uzun” ürün ağacı yapısında “İĞİS” ve “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinin, sipariş tedarik zamanları (OTZ), ortalama sipariş akış zamanları (OAZ), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama kuyruk uzunlukları (OKU) performans ölçütleri açısından “uzun” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinin, ortalama tezgah kullanım oranları (OTKO) performans ölçütü açısından “karma” ürün ağacı yapısında “EETT” öncelik kuralında “k=2” değerinin en iyi sonuçları verdiği; ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO) ) performans ölçütü açısından “karma” ürün ağacı yapısında “SGİS” öncelik kuralı ve “k=8” değerinin, sipariş tedarik zamanları (OTZ), ortalama sipariş akış zamanları (OAZ),

ortalama süreç içi stok (OSİS) ) performans ölçütleri açısından, “karma” ürün ağacı yapısında “İGİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin, ortalama kuyruk uzunlukları (OKU) ) performans ölçütü açısından “karma” ürün ağacı yapısında “EUİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin ve ortalama tezgah kullanım oranları (OTKO) ) performans ölçütü açısından “uzun” ürün ağacı yapısında “EKİS” öncelik kuralında “k=8” değerinin en kötü sonuçları verdiği görülmektedir. “Ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri” bağımsız değişkenleri için çoklu varyans analizi sonucunda elde edilen ve Tablo 5.21’de verilmiş olan ( $\lambda=0,982$ ,  $F(96,2273.01)=0,077$  ve  $p>0,05$ ) olduğundan bağımlı değişkenlerin varyanslarındaki değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır.

## 6.2. Bulgular

Yapılan çalışmanın sonucunda ortaya çıkan bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Bir çok işletmeler tarafından kullanılmakta olan malzeme ihtiyaç planlaması sisteminin gerçek zamanlı olarak kullanılabilmesi için bir model önerilmiştir.
- Planlamacılara kapasite problemi ile ilgili olarak rapor sunmakta olan kapasite ihtiyaç planlaması sistemi ile malzeme ihtiyaç planlaması sisteminin birlikte nasıl çalışabileceği gösterilmiştir.
- Ürün ağacı yapılarının imalat performans ölçütleri üzerinde etkili olduğu, her bir ürün ağacı seviyesinde çok fazla bileşenin bulunmadığı ürün yapıları için ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütü haricinde en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. “Düz” ve “Uzun” ürün yapıları arasında anlamlı bir fark olmadığı, “Karma” ürün yapısı ile diğer ürün yapıları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmüştür.
- Öncelik kurallarının imalat performans ölçütleri üzerinde etkili olduğu, ortalama sipariş karşılama oranları (OSKO), ortalama süreç içi stok (OSİS), ortalama tezgah kullanım oranı (OTKO) performans ölçütleri açısından “EETT” öncelik kuralının en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

- Sipariş için teslim tarihi belirlemede kullanılmakta olan k sabiti değerlerinin imalat performans ölçütleri üzerinde etkili olduğu ve en iyi sonuçların  $k=2$  değeri ile elde edildiği,
- Ürün ağacı yapısı ve öncelik kuralları ile ürün ağacı yapısı ve k sabiti değeri değişkenlerinin performans ölçütleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu halde ürün ağacı yapısı, öncelik kuralları ve k sabiti değeri değişkenlerinin birlikte anlamlı bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.

### 6.3. Katkılar

Çalışmanın sağladığı katkılar şöyle özetlenebilir:

- Gerçek zamanlı üretim planlama ve kontrol yapısı önerilmiş ve bu sistemin nasıl benzetim modelinin kurulacağı hakkında detaylı araştırma yapılmıştır. Burada incelenen atölyede kuyruk kapasiteleri sonsuz, tezgahlar arıza yapmıyor kabul edilmiştir.
- Önerilen modelde malzeme ihtiyaç planlaması sürecinin ana girdisini oluşturan ana üretim çizelgesi bulunmamakta olup doğrudan siparişler işlenmektedir. Bu sayede talep tahmininden kaynaklanan stoklar elimine edilmektedir.
- Malzeme ihtiyaç planlamasında kullanılmakta olan sabit tedarik zamanı yerine dinamik tedarik zamanları hesaplanmış ve kullanılmıştır. Bu sayede MİP sistemlerinin önemli bir eksiği olan şişirilmiş tedarik zamanları giderilmeye çalışılmıştır.
- Burada geliştirilen benzetim modelinde zaman artımı ve olay artımı bir arada kullanılmıştır. Olay artımlı benzetimde bir sonraki olacak en erken olaya benzetim saati direkt olarak arttırıldığından aradaki zaman kayıplarının önüne geçilmekte, benzetim oldukça hızlanmaktadır. Ancak bu sırada meydana gelecek bir zaman kaymasını olmaması için zaman artımlı bir yapı ile birleştirilmiştir.
- Geliştirilen benzetim modeli, içerisinde montaj ve imalat atölyesi bulunan bir yapı içinde test edilmiştir. Yapılan bir çok çizelgeleme çalışması sadece atölye safhasını kapsamakta olup montaj safhaları ele alınmamıştır.

- Gerçek zamanlı olarak sınırlı kapasite geriye doğru ve ileri doğru çizelgeleme algoritmaları bir arada kullanılarak malzeme ihtiyaçlarının hesaplanmasının ve planlamasının nasıl yapılabileceği gösterilmiştir.
- Geriye doğru çizelgeleme işlemi esnasında, daha iyi bir çizelge elde edebilmek için ürün ağacı dallarına ait kombinasyonların kullanılması gerektiği ve bu işlemin nasıl yapılacağı gösterilmiştir.
- İleri doğru çizelgeleme işleminde ürün ağacının en alt seviyesindeki parçalardan başlamak yerine en uzun işlem zamanına sahip olan ürün ağacı dalının siparişe ait kritik yol olduğu varsayılmış ve bu ürün ağacı dalı referans alınarak diğer operasyonların nasıl çizelgelenebileceği gösterilmiştir.

#### 6.4. Gelecek Çalışması

Bu çalışmada siparişe üretim yapan montaj ve imalat atölyelerinin bir arada yer aldığı bütünleşik imalat ortamları için geliştirilen gerçek zamanlı üretim planlama ve kontrol yapısı önerilmiş ve deneysel olarak yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları verilmiştir.

Modelin benzetim çalıştırmalarında kullanılan ve yapısında bulunan bir takım özellikleri aşağıda belirtildiği gibi değiştirilerek iyileştirmeler yapılabilir.

- Gerçek zamanlı üretim planlama ve kontrol yapısı modeli kurulurken bazı varsayımlar yapılmıştır. Burada incelenen atölyede kuyruk kapasiteleri sonsuz, tezgahlar arıza yapmıyor kabul edilmiştir. Fakat bunların benzetim modeline dahil edilmesi zor bir durum değildir. Kolaylıkla bu ve benzeri durumlar eklenerek benzetim modeli gerçeğe daha da yakın hale getirilebilir.
- Malzeme ihtiyaçları hesaplanırken parti büyüklüğü metodu olarak lot-for-lot kullanılmıştır. Bu metot yerine farklı parti büyüklüğü yöntemleri de sisteme eklenerek denenmesi,
- Geriye doğru çizelgeleme ve ileri doğru sınırlı kapasite çizelgeleme algoritmaları için yapay zeka ve uzman sistem temelli yaklaşımlar ile revize edilerek denenmesi,

- Çalışmada montaj ve imalat atölyeleri tek bir yapı olarak tasarlanmış ve itme tipi üretim kontrol mekanizması ile denenmiştir. Model yapısının çekme sistemi olarak değiştirilerek mevcut yapı ile karşılaştırılmasının denenmesi,

## KAYNAKLAR

- ACAR, N., Tam Zamanında Üretim, MPM Yayınları, Ankara, 1997
- AĞLAN, C., Melez Üretim Kontrol Stratejileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009
- AKKAN, C., Overtime Scheduling: An Application In Finite-Capacity Real-Time Scheduling The Journal Of The Operational Research Society, Vol. 47, No. 9, Pp. 1137- 1149, 1996
- AKKAN, C., Theory and Methodology Finite-Capacity Scheduling-Based Planning For Revenue-Based Capacity Management, European Journal Of Operational Research 100, 170-179, 1997
- AKTÜRK, S. M., TÜRKCAN, A., Cellular Manufacturing System Design Using A Holonistic Approach, Int. J. Prod. Res., Vol. 38, No. 10, Pp. 2327-2347, 2000
- ALEXANDER J. W., ANDREW Z. Jr., THOM J. H., DENIS C., A Simulation-Based Finite Capacity Scheduling System; Proceedings Of The 1997 Winter Simulation Conference, 1997
- ALEXANDRE D., CAROLINE P., Supply Planning Under Uncertainties İn Mrp Environments: A State Of The Art, Annual Reviews in Control, 31, 269–279, 2007
- ALISTAIR R. CLARK, Optimization Approximations For Capacity Constrained Material Requirements Planning, Int. J. Production Economics 84, 115–131, 2003
- ARAZ, O. U., Multi-Criteria Real-Time Scheduling Approaches For Dual Resource Constrained Manufacturing Systems, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2007
- ARNOLD, T., CHAPMAN, S., Introduction to Materials Management, Pearson Prentice, Hall, New Jersey, 2004
- ASAL, Ö., Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP) ve Üretim Kaynakları Planlamasının (ÜKP) Üretim Planlama Ve Kontrol Faaliyetleri Üzerindeki Etkileri: Ankara Bölgesindeki Kobi'ler Üzerinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 2009
- ASKIN, R. G., STANDRIGE, C. R., Modeling And Analysis Of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons, Inc. Singapore, 1993

- AYDEMİR, E., Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009
- AYDIN, A., Farklı Üretim Tiplerinde Eş Zamanlı MRP-CRP Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009
- AYLUÇTARHAN, Z., Gerçek Zamanlı Bir MRP II Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008
- BANKS, J., Handbook of Simulation, USA: John Wiley & Sons, 1988
- BANKS, J., NORMAN, V. B., Justifying Simulation in Today's Manufacturing Environment, IIE Solutions, p. 17-19, Nov., 1995
- BİLKAY, O., ANLAĞAN, O., KILIÇ, S. E., Job Shop Scheduling Using Fuzzy Logic. International Journal of Advance Manufacturing Technology, 23, 606– 619, 2004
- BRIAN G. :K, Modeling Input Output Workload Control For Dynamic Capacity Planning in Production Planning Systems, Int. J. Production Economics, 68 73-93, 2000
- CANBOLAT, Y. B., GUNDOGAR, E., Fuzzy Priority Rule For Job Shop Scheduling. Journal of Intelligent Manufacturing, 15, 527-533, 2004
- ÇELEBİ, N., Parça Ailesi Oluşturmada Endüktif-Kaba Kümeleme Yaklaşımı, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2004
- CHAN, F. T. S., CHAN, H. K., KAZEROONI, A., Real Time Fuzzy Scheduling Rules in FMS. Journal Of Intelligent Manufacturing, 14, 341-350, 2003
- CHAN, F. T. S., CHAN, H. K., & KAZEROONI, A., A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Technique for Evaluation of Scheduling Rules. International Journal Advance Manufacturing Technology, 20, 103–113, 2002
- CHANG, C., HASTINGS, N. A. J., WHITE, C., A Very Fast Production Scheduler, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 14 No. 8, Pp. 88-101, 1994
- CHONG, C. S., SIVAKUMAR, A. I., GAY, R., Simulation-Based Scheduling For Dynamic Discrete Manufacturing, Proceedings Of The 2003 Winter Simulation Conference, New Orleans, La, 1465–1473, 2003
- CHUNG-HSING Y., A Fast Finite Loading Algorithm For Job Oriented Scheduling, Computers Ops Res. Vol. 24, No. 2, Pp. 193-198, 1997

- DAN W., MARIANTHI, I., Hierarchical Approach For Production Planning And Scheduling Under Uncertainty, *Chemical Engineering And Processing*, 46, 1129–1140, 2007
- DU, T. C., and Wolfe, P. M., Building An Active Material Requirements Planning System, *International Journal Of Production Research*, 38: 2, 241 – 252, 2000
- DUMOND, E. J., Understanding and Using The Capabilities Of Finite Scheduling, *Industrial Management & Data Systems Vol. 105 No. 4*, Pp. 506-526, 2005
- ERKUT, H., *Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı*, İrfan Yayıncılık, 1992
- FALLAH, H., SHAYAN, E., Integrated Material Planning And Operations Scheduling (IMPOS), *International Journal Of Production Research*, 40: 16, 4285 – 4304, 2002
- GÖKSU, A., Bütünleşik Tedarik Zinciri Ağında Üretim Kontrol Mekanizmalarının Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2006
- GÖKTAŞ, O., Mobilya Endüstrisinde Bütünleşik İmalat Yönetim Sistemi Ve Bir Kural Tabanlı Ana Üretim Çizelgeleme Modeli, Doktora Tezi, Saü Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2001.
- GROOVER, M. P., *Automation, Production, Systems and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall, Inc., 1987
- GROSFELD-NIR, A., MAGAZINE, M., VANBERKEL, A., Push and Pull Strategies, For Controlling Multistage Production Systems, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.38, No.11, Pp.2361-2375, 2000
- GRUBBSTROM, R. W., HUYNH, T. T. T., Multi-Level, Multi-Stage Capacity-Constrained Production–Inventory Systems in Discrete Time With Non-Zero Lead Times Using MRP Theory, *Int. J. Production Economics*, 101, 53–62, 2006
- GU, P.; NAUMANN, A., Real Time Scheduling and Control Of Manufacturing Cells, *IEEE International Conference on Systems, Man And Cybernetics, Intelligent Systems For The 21st Century*, 1995
- GUANG Jin, VINCE T., A New Frame Work for MRP Systems To Be Effective in Engineered-To-Order Environments, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 19, 533–541, 2003
- GUH, R., SHIUE, Y. And TSENG, T., The Study Of Real Time Scheduling By An Intelligent Multi-Controller Approach, *International Journal Of Production Research*, First Published On: 17 May 2010 (ifirst), 2010
- HABLA C., MÖNCH L., DRIEBEL R., A Finite Capacity Production Planning Approach For Semiconductor Manufacturing, *Proceedings Of The 3rd Annual Ieee Conference On Automation Science And Engineering* Scottsdale, Az, USA, 2007



- HALAÇ, O., İşletmelerde Simülasyon Teknikleri, Alfa, İstanbul, 1998.
- HARHALAKIS, G., YANG, S. S., Integration Of Network Analysis Systems With MRP in A Make-To-Order Manufacturing Environment, Engineering Costs And Production Economics Volume 14, Issue 1, Pages 47-59, 1988
- HEIZER, J., RENDER, B., Operations Management 9 th Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2008
- HOLTHAUS, O., and RAJENDRAN, C., Efficient Job Shop Dispatching Rules: Further Developments, Production Planning & Control, 11: 2, 171 – 178, 2000
- HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L., Factory Physics, Mc-Graw Hill, New York, 2008
- İPEK, M., Dinamik Atölye Çizelgelemede Yapay Sinir Ağı İle Teslim Tarihi Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Enstitü Ana Bilim Dalı, 2007
- KABADURMUŞ, Ö., Conwip Esaslı Üretim Sistemlerinin Tasarımı Ve Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008
- KALABEK, B., Esnek Üretim Sistemleri ve Simülasyon Yoluyla İş Çizelgelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme EABD, 2006
- KASCHEL, J., TOBIAS T., BERND Z., Real-Time Dynamic Shop Floor Scheduling Using Evolutionary Algorithms, Int. J. Production Economics 79, 113-120, 2002
- KOBU, B., Üretim Yönetimi, Beta Basım Yayın, İstanbul, 2008
- KOÇAK, A., Malzeme Yönetiminde MRP ve Kanban Sistemlerinin Bütünleştirilmesi Ve Melez Sistem Yapısının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, 2007
- KOÇEL, Tamer, İşletme Yöneticiliği, Beta Yayınları, İstanbul, 2007
- KOH, S. C. L., MRP-Controlled Batch-Manufacturing Environment Under Uncertainty, The Journal Of The Operational Research Society, Vol. 55, No. 3, Pp. 219- 232, 2004
- KOLISCH, R., Integrated Scheduling, Assembly Area- And Part-Assignment For Large-Scale, Make-To-Order Assemblies, Int. J. Production Economics 64, 127-141, 2000
- KUNNATHUR, A. S., SUNDARARAGHAVAN, P. S., & SAMPATH, S. Dynamic Rescheduling Using A Simulation-Based Expert System. Journal Of Manufacturing Technology Management, 15 (2), 199-212, 2004

- KUO-CHING L., Dispatching Rules For Stochastic Finite Capacity Scheduling, *Computers Ind. Eng.* Vol. 35, No: 1-2, Pp. 113-116, 1998
- KUTANOGLU, E., SABUNCUOGLU, I. Experimental Investigation Of Iterative Simulation-Based Scheduling In A Dynamic And Stochastic Job Shop. *Journal Of Manufacturing System*, 20(4), 264-279, 2001
- LALAS, C., MOURTZIS, D., PAPAKOSTAS, N. And CHRYSSOLOURIS, G., A Simulation-Based Hybrid Backwards Scheduling Framework For Manufacturing Systems, *International Journal Of Computer Integrated Manufacturing*, 19: 8, 762 – 774, 2006
- LAW, A. M., KELTON, W. D., *Simulation Modeling and Analysis*, USA: McGraw-Hill, 1991
- LEHTONEN, J., APPELQVIST, P., TEEMU R., ILKKA M., Simulation-Based Finite Scheduling At Albany International, *Proceedings of The 2003 Winter Simulation Conference*, 2003
- LIN, J. T., WANG, F. K. And LEE, W. T., Capacity-Constrained Scheduling For A Logic IC Final Test Facility, *International Journal of Production Research*, 42: 1, 79 – 99, 2004
- MARTIN, R. L. And WHITE, C., Finite Capacity Scheduling With Multiple Tools and Machines, *International Journal Of Production Research*, 42: 8, 1557 – 1597, 2004
- MARTIN, R. L., and WHITE, C., Finite Capacity Scheduling Using A Predetermined Placement Sequence, *International Journal Of Production Research*, 41: 12, 2851 – 2872, 2003
- MARTIN, R. L., and WHITE, C., Finite Capacity Scheduling-Packed Placement Sequence Schedule, *International Journal of Production Research*, 43: 2, 405 – 446, 2005
- METAN, G., SABUNCUOGLU, I., and PIERREVAL, H., Real Time Selection Of Scheduling Rules And Knowledge Extraction Via Dynamically Controlled Data Mining, *International Journal Of Production Research*, 2010, 1–30, ifirst, 2010
- NA, H.-B., LEE, H.-G., and PARK, J., In *IFIP International Federation For Information Processing, Volume 257, Lean Business Systems And Beyond*, Tomasz Koch, Ed.; (Boston: Springer), Pp. 21–27, 2008
- NAGENDRA, P. B., DAS, S. K., Finite Capacity Scheduling Method For MRP With Lot Size Restrictions, *International Journal Of Production Research*, 39: 8, 1603 – 1623, 2001
- NAGENDRA, P. B., *MRP/SFX: A Kanban-Oriented Shop Floor Extension to MRP*, *Production Planning & Control*, 10: 3, 207 – 218, 1999

OZKIRIM, M., Dışsal İş Akışı Esnekliğine Sahip Hücresel Üretim Sistemlerinde Çizelgeleme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2006

ÖZTÜRK, E., Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde MRP II (İmalat Kaynak Planlaması)'nın Tasarımı ve Orman Ürünleri Endüstrisine Yönelik Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008

PANDEY, P. C., YENRADEE, P., and ARCHARIYAPRUEK, S., A Finite Capacity Material Requirements Planning System, *Production Planning & Control*, 11: 2, 113 – 121, 2000

PETER J. B., JOHN O. M., THOMAS, L. J., *Mathematical Programming Approaches To Capacity-Constrained MRP Systems: Review, Formulation And Problem Reduction*, *Management Science*, Vol. 29, No. 10, Pp. 1126-1141, 1983

PETRONI, A., & RIZZI, A., A Fuzzy Logic Based Methodology To Rank Shop Floor Dispatching Rules. *International Journal of Production Economics*, 76, 99-108, 2002

PINEDO M., *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Englewood Cliffs, Nj: Prentice-Hall; 2002.

PINEDO, M., CHAO, X., *Operations Scheduling With Applications in Manufacturing and Service*, Singapore: McGraw Hill, 1999

RAM, B., NAGHSHINEH-POUR, M. R., and YU, X., Material Requirements Planning With Flexible Bills-Of-Material, *International Journal of Production Research*, 44: 2, 399 – 415, 2006

RICHARD J. P., WILLIAM L. B., WEMMERLOV, U., Open Order Due Date Maintenance in MRP Systems, *Management Science*, Vol. 35, No. 5, Pp. 571-584, 1989

ROSSI, A., and DINI, G., Dynamic Scheduling Of FMS Using A Real-Time Genetic Algorithm, *International Journal Of Production Research*, 38: 1, 1 – 20, 2000

SABUNCUOGLU, I., & HOMMERTZHEIM, D. L., Dynamic Dispatching Algorithm For Scheduling Machines And Automated Guided Vehicles in A Flexible Manufacturing System. *International Journal Of Production Research*, 30 (5), 1059-1079, 1992

SABUNCUOGLU, I., & KIZILISIK, O. B., Reactive Scheduling in A Dynamic And Stochastic Environment. *International Journal Of Production Research*, 41 (17), 4211-4231, 2003

SEVİNÇ, Ü., *Üretim/İşlemler Yönetimi: Stratejik Kararlar Ve Karar Modelleri*, Gazi Kitabevi, 2002

SHANNON, R. E., *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, 1975.

SIMON, H., Search and Reasoning in Problem Solving, Artificial Intelligence, Vol. 21, No. 2, p. 7-30, 1983

SINGH, A., MEHTA, N. K., & JAIN, P. K., Multi Criteria Dynamic Scheduling By Swapping Of Dispatching Rules, International Journal Advance Manufacturing Technology, 34, 988-1007, 2007

SOBA, M., Esnek Üretim Sistemlerinin İşletme Performansına Etkileri Ve Vestel Elektronik A.Ş. Örneği, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, 2006

SONG, D.P., HICS, C., EARL C.F., Dynamic Production Planning And Rescheduling For Complex Assemblies, Manufacturing Complexity Network Conference, Cambridge, UK, 2002

SUN, L., SPEARMAN, M. L., HERAGU, S. S., CHEN, L., Simulation Analysis Of A Multi-Item MRP System Based On Factorial Design, Proceedings Of The 2009 Winter Simulation Conference M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin And R. G. Ingalls, Eds., 2009

SURI, R., and KRISHNAMURTHY, A., How To Plan And Implement Polca – A Material Control system For High Variety Or Custom-Engineered Products, Technical Report, Center For Quick Response Manufacturing, University Of Wisconsin-Madison, WI, 2003b

SURI, R., QRM And POLCA: A Winning Combination For Manufacturing Enterprises in The 21st Century, Technical Report, Center For Quick Response Manufacturing, University Of Wisconsin-Madison, WI., 2003a

TAAL, M., and WORTMANN, J. C., Integrating MRP And Finite Capacity Planning, Production Planning & Control, 8: 3, 245 – 254, 1997

TAŞGETİREN, M. F., Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Bir Uzman-Yapay Sınır Ağı Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 1996.

TEKİN, Mahmut., Üretim Yönetimi, Selçuk İİBF, Konya, 2005

TORKUL, O., ÇALLI, I., An Integrated Real Time MRP and Group Technology System, Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 15, Number 4, 561-567, 2004

TORKUL, O., A Comparison of MRP/GT and MRP/JS Scheduling, Ph. D. Thesis, Cranfiel Institute of Technology, Bedford, England, 1993

VANHOUCKE, M. And DEBELS, D., A Finite-Capacity Production Scheduling Procedure For A Belgian Steel Company, International Journal Of Production Research, 47: 3, 561 – 584, 2009

WANG, C., GHENNIWA, H., and SHEN, W., Real Time Distributed Shop Floor Scheduling Using An Agent-Based Service-Oriented Architecture, International Journal Of Production Research, 46: 9, 2433- 2452, 2008

WANG, H., CHANG, P., And CHOU, F., A Hybrid Forward/Backward Approach For Single Batch Scheduling Problems With Non-Identical Job Sizes, Journal Of The Chinese Institute Of Industrial Engineers, 24: 3, 191 -199, 2007

WATSON, E. F., On Using Backward Simulation To Generate Component Release Plans in A Make-To-Order Environment, Ph.D Thesis, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA, 1993

WUTTIPORNPNUN, T., and YENRADEE, P., Development Of Finite Capacity Material Requirement Planning System For Assembly Operations, Production Planning & Control, 15: 5, 534 – 549, 2004

WUTTIPORNPNUN, T., YENRADEE, P., PATRICK B., DIRK L. V. O., A Finite Capacity Material Requirement Planning System For A Multi-Stage Assembly Factory Goal Programming Approach, IEMS Vol. 4, No. 1, Pp. 23-35, 2005.

XIANG, W., LEE, H. P., Ant Colony Intelligence in Multi-Agent Dynamic Manufacturing Scheduling, Engineering Applications Of Artificial Intelligence, In Press., 2007

YOON, H. J., & SHEN, W., Simulation-Based Real-Time Decision Making For Manufacturing Automation Systems: A Review. International Journal Manufacturing Technology and Management, 8 (1/2/3), 188-202., 2006

## EKLER

### Ek A. Benzetim Sonuçları

#### Düz Ürün Yapısına Ait Benzetim Sonuçları

#### İĞİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.1. Düz Ürün Ağacı yapısı, İĞİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	2940	11400	10611	1498	69,38
2	99,04	6240	27060	20847	3062	77,35
3	100,00	2280	7860	7929	1218	67,93
4	100,00	2580	9540	9392	1292	72,26
5	96,38	8340	36420	33654	4263	81,23
6	100,00	4680	18420	17926	2316	80,54
7	100,00	5400	19020	23370	2467	81,39
8	99,39	7500	29400	32191	3981	83,6
9	100,00	3600	13080	14100	1826	74,41
10	100,00	5340	20400	21214	2437	79,55
Ortalama	99,48	4890,00	19260,00	19123,40	2436,00	76,76
St. sapma	1,14	2072,53	9336,89	8984,06	1063,35	5,47

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.2. Düz Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	4200	15420	16740	1775	69,38
2	97,43	8160	36180	26311	3635	77,08
3	100,00	3600	11580	14146	1381	67,93
4	100,00	3480	12240	13668	1489	72,26
5	96,38	9300	40140	37138	4275	81,08
6	99,67	6300	24660	24219	2797	80,5
7	100,00	5940	20340	26953	2606	81,39
8	99,08	8880	34140	38134	4334	83,53
9	100,00	4920	17280	19788	2105	74,41
10	100,00	6300	24060	25233	2654	79,55
Ortalama	99,26	6108,00	23604,00	24233,00	2705,10	76,71
St. sapma	1,30	2119,58	10194,05	8574,92	1078,11	5,44

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.3. Düz Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	5340	19080	21474	1889	69,38
2	93,89	10920	49140	36886	4937	76,53
3	100,00	4560	13800	20031	1379	67,93
4	98,98	4740	16140	20088	1565	71,93
5	95,07	11400	47580	49543	5137	80,87
6	96,35	8820	35580	34315	3524	80,02
7	100,00	8040	26880	37557	3083	81,39
8	96,32	11100	43140	48738	5247	83,15
9	99,33	6840	22860	29742	2489	74,32
10	98,63	7920	29820	31389	2775	78,97
Ortalama	97,86	7968,00	30402,00	32976,30	3202,50	76,45
St. Sapma	2,26	2608,72	12961,95	10749,26	1470,91	5,33

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.4. Düz Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

<b>BN</b>	<b>SKO</b>	<b>OTS</b>	<b>OAS</b>	<b>OASİS</b>	<b>OKU</b>	<b>OTKO</b>
1	100,00	3180	12900	10886	1543	69,38
2	95,82	5520	23340	21519	2954	77,06
3	100,00	2400	8640	8059	1211	67,93
4	100,00	2700	10440	9630	1377	72,26
5	93,75	7620	32400	34100	3966	81,02
6	98,34	4980	20760	18179	2287	80,4
7	100,00	5880	22200	23531	2349	81,39
8	98,16	8280	34380	32432	3882	83,38
9	100,00	3780	13860	14159	1699	74,41
10	100,00	5880	23640	22070	2587	79,55
Ortalama	98,61	5022,00	20256,00	19456,50	2385,50	76,68
St. Sapma	2,19	2007,99	8808,23	9068,22	982,62	5,40

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.5. Düz Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

<b>BN</b>	<b>SKO</b>	<b>OTS</b>	<b>OAS</b>	<b>OASİS</b>	<b>OKU</b>	<b>OTKO</b>
1	99,67	4440	17100	16791	1759	69,37
2	96,14	7320	31440	27089	3528	76,94
3	100,00	3660	11820	14302	1381	67,93
4	99,66	3660	13260	13743	1404	72,24
5	92,76	9000	39180	39672	4555	80,84
6	96,35	6180	25260	25261	2796	79,92
7	99,34	6780	25560	27971	2720	81,3
8	97,85	10080	41040	39382	4442	83,31
9	99,67	5220	18900	20189	2066	74,41
10	100,00	7080	28320	26946	3036	79,55
Ortalama	98,14	6342,00	25188,00	25134,60	2768,70	76,58
St. Sapma	2,39	2160,75	10121,69	9253,68	1151,97	5,34



### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.6. Düz Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	5580	20700	21809	1919	69,38
2	90,35	8580	35940	38073	4611	76,36
3	100,00	4620	13860	20153	1412	67,93
4	99,32	4920	16980	20235	1607	71,99
5	90,79	11160	47820	50764	5027	80,59
6	94,02	8760	36300	34754	3505	79,8
7	98,35	8640	31320	38280	3147	81,15
8	94,17	11580	47520	49419	4962	82,89
9	99,67	7320	26100	30381	2537	74,32
10	98,29	8640	33600	32148	2956	78,96
Ortalama	96,50	7980,00	31014,00	33601,60	3168,30	76,34
St. Sapma	3,82	2398,17	11717,11	11050,53	1349,65	5,22

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.7. Düz Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	2760	10320	10322	1444	69,38
2	100,00	5760	23700	19830	3114	77,53
3	100,00	2160	7440	7689	1113	67,93
4	100,00	2460	8880	9185	1280	72,26
5	98,36	8160	34800	32110	4086	81,71
6	100,00	4200	15780	17308	2303	80,54
7	100,00	4920	16500	22595	2353	81,39
8	100,00	6240	22500	30376	3807	83,6
9	100,00	3420	12120	13579	1745	74,41
10	100,00	4860	18000	20591	2514	79,55
Ortalama	99,84	4494,00	17004,00	18358,50	2375,90	76,83
St. sapma	0,52	1892,61	8303,17	8466,57	1033,04	5,51

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.8. Düz Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	4020	14400	16355	1718	69,38
2	99,68	7680	32280	24839	3465	77,39
3	100,00	3540	11280	13990	1336	67,93
4	100,00	3360	11580	13347	1417	72,26
5	98,03	9120	38880	35773	4292	81,51
6	100,00	5640	21120	23410	2730	80,54
7	100,00	5520	17940	26462	2647	81,39
8	100,00	7380	25860	36398	4327	83,6
9	100,00	4620	15720	19160	2064	74,41
10	100,00	5820	21180	24445	2671	79,55
Ortalama	99,77	5670,00	21024,00	23417,90	2666,70	76,80
St. sapma	0,62	1903,52	9034,56	8108,95	1087,08	5,49

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.9. Düz Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	5280	18780	21287	1960	69,38
2	96,78	10380	44580	34787	4903	77,06
3	100,00	4560	13680	19874	1368	67,93
4	99,32	4680	15780	19837	1552	71,96
5	96,05	10920	44940	47795	5074	81,04
6	99,00	8040	30540	33231	3531	80,41
7	100,00	7500	23700	36642	3056	81,39
8	97,85	9240	32640	46415	5158	83,39
9	99,33	6420	20760	28782	2390	74,32
10	98,63	7440	27180	30538	2735	79,1
Ortalama	98,70	7446,00	27258,00	31918,80	3172,70	76,60
St. sapma	1,39	2260,17	11031,85	10056,94	1447,25	5,41

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.10. Düz Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	2940	11640	10778	1511	69,38
2	97,75	6000	26880	20660	3099	77,35
3	100,00	2340	8340	8187	1254	67,93
4	100,00	2580	9900	9587	1390	72,26
5	95,72	8340	35880	34974	4193	81,13
6	99,34	4620	17940	18327	2355	80,39
7	100,00	5460	19680	23912	2539	81,39
8	99,39	7140	27180	31885	4126	83,48
9	100,00	3540	13140	14290	1850	74,41
10	100,00	5280	20340	21477	2518	79,55
Ortalama	99,22	4824,00	19092,00	19407,70	2483,50	76,73
St. sapma	1,42	2004,63	8832,97	9118,43	1058,00	5,43

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.11. Düz Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	4200	15600	16969	1751	69,38
2	97,43	7860	35220	25691	3558	77,15
3	100,00	3600	11700	14349	1393	67,93
4	100,00	3600	12900	13849	1459	72,26
5	95,39	9240	39540	38934	4343	80,84
6	98,01	6120	23700	24806	2904	80,1
7	100,00	6060	21300	27499	2668	81,39
8	99,39	8340	31500	38297	4576	83,54
9	100,00	4800	16980	19772	2120	74,41
10	99,66	6300	24480	25666	2754	79,49
Ortalama	98,99	6012,00	23292,00	24583,20	2752,60	76,65
St. Sapma	1,56	1992,75	9548,52	8857,20	1128,33	5,38

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.12. Düz Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	5340	19320	21774	1869	69,38
2	92,93	10200	44880	36340	5124	76,71
3	100,00	4560	13740	20216	1421	67,93
4	98,98	4740	16080	20095	1516	71,93
5	93,42	11160	46020	51737	5135	80,3
6	95,35	8580	34020	34632	3513	79,63
7	99,34	7920	26820	38098	3096	81,26
8	96,63	10440	40020	48860	5446	82,91
9	99,67	6540	21960	29681	2473	74,32
10	98,63	7800	29280	31466	2701	78,83
Ortalama	97,49	7728,00	29214,00	33289,90	3229,40	76,32
St. sapma	2,73	2405,79	11718,58	11110,28	1532,62	5,20

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.13. Düz Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	3180	13020	10331	1432	69,38
2	90,03	6540	29760	21531	3116	77,04
3	100,00	2400	8640	7798	1200	67,93
4	100,00	2700	10260	9311	1293	72,26
5	86,84	9060	42540	34594	4687	81,41
6	98,01	5580	24720	17975	2409	80,47
7	100,00	6540	25320	23470	2572	81,39
8	96,93	8760	38760	32276	3978	83,42
9	100,00	4440	16860	13832	1757	74,41
10	100,00	6180	24840	21144	2531	79,55
Ortalama	97,18	5538,00	23472,00	19226,20	2497,50	76,73
St. Sapma	4,79	2354,07	11504,60	9262,64	1164,32	5,45

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.14. Düz Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	99,67	4680	18480	16523	1720	69,37
2	87,78	7800	34380	27690	3527	76,8
3	100,00	3720	12000	14050	1355	67,93
4	100,00	3660	13140	13541	1414	72,26
5	87,50	10140	47220	37413	4666	81,28
6	94,02	7020	30600	24033	2762	80,26
7	100,00	6960	25920	26679	2605	81,39
8	96,93	9960	43080	38252	4233	83,41
9	100,00	5820	21420	19456	2057	74,41
10	99,66	7440	29820	25217	2816	79,53
Ortalama	96,56	6720,00	27606,00	24285,40	2715,50	76,66
St. Sapma	5,08	2293,99	11837,38	8752,37	1143,08	5,42

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.15. Düz Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	5940	22680	21495	1900	69,38
2	80,39	9120	40440	38448	4836	76,23
3	100,00	4740	14460	19848	1375	67,93
4	99,32	4980	17400	20140	1637	71,95
5	86,84	11940	52680	48611	5020	80,91
6	90,37	9480	41520	33846	3494	79,89
7	100,00	9360	34020	37190	3215	81,39
8	90,80	11880	52800	48928	5140	82,86
9	99,67	8220	29640	29573	2416	74,32
10	97,95	8700	33960	31098	2837	79,09
Ortalama	94,53	8436,00	33960,00	32917,70	3187,00	76,40
St. sapma	7,00	2549,54	13353,80	10704,99	1416,08	5,29

## Uzun Ürün Yapısına Ait Benzetim Sonuçları

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.16. Uzun Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	2940	8940	11867	1306	68,66
2	100,00	3180	9060	12824	1440	68,7
3	100,00	3660	11040	16068	1796	71,82
4	100,00	2700	7680	10340	1304	63,74
5	100,00	2940	8640	12011	1308	67,6
6	100,00	3120	8880	13377	1424	70,23
7	100,00	2940	8160	12638	1291	69,96
8	100,00	4980	14220	27489	2585	81,97
9	100,00	2820	8280	11754	1419	70,63
10	100,00	2820	8100	10839	1223	63,94
Ortalama	100,00	3210,00	9300,00	13920,70	1509,60	69,73
St. sapma	0,00	677,20	1956,12	5019,19	410,04	5,07

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.17. Uzun Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	99,67	4680	11040	21633	1458	68,63
2	100,00	5880	14040	25565	1926	68,7
3	100,00	5580	14640	26418	2072	71,82
4	99,66	4380	9420	19012	1354	63,74
5	99,67	4740	11100	22072	1517	67,57
6	100,00	4740	10560	23217	1650	70,23
7	99,67	4440	9660	21792	1551	69,94
8	100,00	6600	16860	37471	2798	81,97
9	100,00	4800	10320	23835	1593	70,63
10	100,00	4620	9600	20480	1283	63,94
Ortalama	99,87	5046,00	11724,00	24149,50	1720,20	69,72
St. sapma	0,17	727,98	2549,70	5181,66	448,80	5,07

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.18. Uzun Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	96,68	5820	11460	28920	1438	67,54
2	99,04	7140	15300	30255	1959	68,58
3	99,33	6540	14700	32016	1922	71,55
4	97,95	5700	11100	24795	1483	62,81
5	98,36	6060	12540	28798	1596	67
6	98,67	6120	12900	30716	1825	70,16
7	99,01	5760	10800	28571	1464	69,5
8	99,08	8520	19320	47632	2828	81,84
9	98,66	6300	11880	30745	1611	69,88
10	98,29	5460	9480	25380	1166	63,29
Ortalama	98,51	6342,00	12948,00	30782,80	1729,20	69,22
St. Sapma	0,77	903,79	2843,77	6351,26	455,97	5,28

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.19. Uzun Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	99,34	3060	9480	12004	1323	68,62
2	100,00	3240	9420	12906	1412	68,7
3	100,00	4020	12120	16713	1846	71,82
4	100,00	3000	8700	10754	1369	63,74
5	100,00	3000	8880	12186	1345	67,6
6	100,00	3240	9480	13754	1449	70,23
7	100,00	3060	8700	13015	1368	69,96
8	100,00	5580	16500	28339	2652	81,97
9	100,00	2880	8460	11915	1398	70,63
10	100,00	3060	9000	11252	1299	63,94
Ortalama	99,93	3414,00	10074,00	14283,80	1546,10	69,72
St. Sapma	0,21	824,84	2484,91	5207,89	418,55	5,07

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.20. Uzun Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

<b>BN</b>	<b>SKO</b>	<b>OTS</b>	<b>OAS</b>	<b>OASİS</b>	<b>OKU</b>	<b>OTKO</b>
1	98,34	4680	11400	21882	1513	68,42
2	100,00	6120	14880	25769	1881	68,7
3	100,00	6060	16260	27365	2092	71,82
4	99,66	4680	10320	19388	1424	63,73
5	99,67	4980	12060	22630	1580	67,57
6	100,00	4800	10920	23227	1584	70,23
7	99,67	4440	9840	21681	1493	69,94
8	100,00	7140	18360	38105	2813	81,97
9	99,67	4920	10920	23968	1586	70,56
10	100,00	4680	10080	20630	1301	63,94
Ortalama	99,70	5250,00	12504,00	24464,50	1726,70	69,69
St. Sapma	0,51	881,93	2948,11	5335,55	443,74	5,08

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.21. Uzun Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

<b>BN</b>	<b>SKO</b>	<b>OTS</b>	<b>OAS</b>	<b>OASİS</b>	<b>OKU</b>	<b>OTKO</b>
1	96,01	5820	11760	29203	1447	67,34
2	99,04	7320	16260	30858	1975	68,56
3	99,33	6840	15960	32475	1881	71,6
4	97,95	5940	12000	25153	1480	62,81
5	98,68	6420	13980	29621	1796	66,99
6	97,67	6360	13920	31207	1806	70,08
7	99,01	5880	11400	28882	1518	69,53
8	98,77	9060	21900	48963	3027	81,74
9	97,32	6360	12300	31166	1637	69,86
10	98,29	5580	9780	25608	1158	63,27
Ortalama	98,21	6558,00	13926,00	31313,60	1772,50	69,18
St. Sapma	1,00	1019,82	3460,69	6640,20	503,37	5,26



### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.22. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	2820	8340	11559	1305	68,66
2	100,00	3000	8580	12400	1372	68,7
3	100,00	3540	10320	15536	1725	71,82
4	100,00	2640	7680	10117	1265	63,74
5	100,00	2760	8220	11704	1254	67,6
6	100,00	3060	8820	13204	1417	70,23
7	100,00	2880	7860	12398	1267	69,96
8	100,00	4620	12720	26257	2490	81,97
9	100,00	2700	7920	11426	1349	70,63
10	100,00	2760	7860	10561	1208	63,94
Ortalama	100,00	3078,00	8832,00	13516,20	1465,20	69,73
St. Sapma	0,00	600,03	1565,58	4723,14	388,45	5,07

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.23. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	100,00	4620	10620	21347	1456	68,66
2	100,00	5580	13260	24816	1844	68,7
3	100,00	5460	14100	26010	2087	71,82
4	100,00	4380	9360	18881	1420	63,74
5	99,67	4680	10920	21714	1531	67,57
6	100,00	4620	10140	22638	1513	70,23
7	99,67	4320	9360	21257	1482	69,94
8	100,00	6180	15540	36624	2901	81,97
9	100,00	4740	10260	23533	1573	70,63
10	100,00	4560	9420	20268	1266	63,94
Ortalama	99,93	4914,00	11298,00	23708,80	1707,30	69,72
St. Sapma	0,14	611,52	2204,91	5002,41	479,10	5,07

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.24. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	98,34	5880	11460	28580	1391	67,79
2	99,04	6960	15300	29802	1988	68,55
3	99,00	6540	14640	31615	1914	71,6
4	97,95	5640	10980	24467	1468	62,83
5	98,36	5940	12240	28408	1612	67
6	99,67	6180	12780	30114	1726	70,23
7	99,01	5760	10800	28320	1446	69,5
8	99,39	8160	18540	46849	2939	81,85
9	98,66	6240	11880	30457	1628	69,94
10	98,29	5520	9540	25274	1163	63,29
Ortalama	98,77	6282,00	12816,00	30388,60	1727,50	69,26
St. Sapma	0,54	789,46	2655,74	6196,51	491,27	5,27

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.25. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	99,67	3000	9120	12134	1353	68,66
2	100,00	3120	8880	13033	1482	68,7
3	100,00	3660	10620	16074	1755	71,82
4	100,00	2760	7920	10637	1365	63,74
5	100,00	3000	9060	12469	1344	67,6
6	100,00	3120	9000	13560	1403	70,23
7	100,00	3060	8400	13013	1358	69,96
8	100,00	5220	14760	28982	2877	81,97
9	100,00	2880	8340	11872	1372	70,63
10	100,00	2880	8460	11266	1276	63,94
Ortalama	99,97	3270,00	9456,00	14304,00	1558,50	69,73
St. sapma	0,11	726,77	2000,24	5365,31	481,61	5,07

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.26. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	99,00	4560	10680	21760	1498	68,36
2	100,00	5880	14040	26166	1920	68,7
3	100,00	5640	14340	26725	2138	71,82
4	99,66	4380	9420	19258	1400	63,74
5	99,67	4740	11100	22432	1568	67,57
6	100,00	4680	10380	23165	1585	70,23
7	99,67	4440	9480	21815	1527	69,92
8	100,00	6660	16560	38209	2942	81,97
9	99,67	4740	10080	23895	1592	70,63
10	100,00	4560	9600	20742	1298	63,94
Ortalama	99,77	5028,00	11568,00	24416,70	1746,80	69,69
St. Sapma	0,32	764,09	2498,77	5357,61	485,98	5,08

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.27. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	96,68	5700	11220	29109	1452	67,14
2	98,71	7020	14820	30936	2119	68,51
3	98,66	6420	14160	32295	1922	71,57
4	97,95	5640	10860	24847	1477	62,83
5	98,68	6000	12240	28908	1609	66,92
6	98,67	6120	12540	30793	1775	70,16
7	99,01	5700	10560	28591	1474	69,5
8	98,47	8580	19320	48758	3150	81,84
9	98,66	6240	11520	30730	1585	69,84
10	98,29	5460	9360	25605	1213	63,22
Ortalama	98,38	6288,00	12660,00	31057,20	1777,60	69,15
St. sapma	0,66	925,98	2855,31	6648,57	547,09	5,30

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.28. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	98,67	3120	9840	11813	1310	68,64
2	100,00	3360	10080	12671	1409	68,7
3	100,00	4260	13320	16156	1778	71,82
4	100,00	3120	9540	10496	1322	63,74
5	100,00	3180	9780	12057	1279	67,6
6	100,00	3300	9780	13421	1433	70,23
7	100,00	3060	8880	12645	1308	69,96
8	100,00	5640	16380	27159	2453	81,97
9	100,00	3000	9120	11785	1383	70,63
10	100,00	3060	9420	10953	1238	63,94
Ortalama	99,87	3510,00	10614,00	13915,60	1491,30	69,72
St. Sapma	0,42	832,95	2372,59	4906,92	370,18	5,07

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.29. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	97,67	4920	12480	22021	1565	68,44
2	100,00	6600	16980	25421	1877	68,7
3	100,00	6180	17340	26574	2112	71,82
4	99,66	4680	10740	19190	1398	63,73
5	99,67	5220	13200	22193	1588	67,57
6	100,00	4980	11640	23119	1540	70,23
7	99,67	4560	10440	21591	1465	69,94
8	100,00	7500	20580	37871	2942	81,97
9	99,67	5040	11700	23897	1607	70,63
10	100,00	4920	11100	20694	1346	63,94
Ortalama	99,63	5460,00	13620,00	24257,10	1744,00	69,70
St. Sapma	0,71	968,71	3454,62	5251,73	478,54	5,08

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.30. Uzun Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	96,01	6000	12360	28771	1386	67,5
2	99,04	7860	18600	30302	1974	68,58
3	99,33	7200	17040	32094	1895	71,6
4	97,95	6060	12540	24939	1456	62,85
5	98,68	6660	15120	29281	1685	67,02
6	99,34	6540	14460	30720	1752	70,2
7	99,01	6000	11880	28596	1459	69,5
8	98,47	9060	22260	48053	3011	81,85
9	98,33	6540	13260	30735	1655	69,9
10	98,29	5700	10680	25652	1241	63,38
Ortalama	98,44	6762,00	14820,00	30914,30	1751,40	69,24
St. Sapma	0,97	1031,14	3563,03	6425,67	498,58	5,27

### Karma Ürün Yapısına Ait Benzetim Sonuçları

#### İĞİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.31. Karma Ürün Ağacı yapısı, İĞİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	58,80	18780	112740	231514	18588	95,9
2	91,96	12300	49860	74078	6089	92,54
3	86,96	13920	59040	83094	7910	91,59
4	50,85	18240	106320	306702	19559	88,54
5	44,08	19440	121500	350115	23685	93,76
6	72,09	18900	90480	159436	14013	92,62
7	84,16	13980	61800	104657	9301	95,75
8	47,24	16260	105060	327278	23799	98,19
9	55,52	18120	100560	163398	15682	93,46
10	47,78	18360	105480	202456	18933	91,94
Ortalama	63,94	16830,00	91284,00	200272,80	15755,90	93,43
St. sapma	18,24	2545,78	25171,35	101498,08	6323,29	2,69

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.32. Karma Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	57,14	18780	111120	241325	18528	95,17
2	90,68	13740	56700	82974	7316	92,18
3	85,95	15720	66180	95487	8805	91,03
4	50,17	18360	107880	310914	19933	88,14
5	44,41	19620	119820	348885	22823	93,51
6	71,76	19860	94020	167753	15073	92,11
7	83,83	14580	63960	109767	9766	95,3
8	46,93	15900	105180	325013	24293	98,03
9	53,51	18660	102000	172176	15755	92,94
10	47,44	18960	107940	208574	19518	91,49
Ortalama	63,18	17418,00	93480,00	206286,80	16181,00	92,99
St. sapma	18,07	2217,21	22609,43	97784,93	5927,31	2,72

### İGİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.33. Karma Ürün Ağacı yapısı, İGİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	54,82	18960	111900	256343	18742	93,9
2	87,46	16140	67140	102641	8869	91,15
3	81,27	17160	73560	117589	10264	90,06
4	48,81	19080	113340	331857	21562	86,79
5	43,42	20340	123660	366239	23953	92,33
6	69,10	20460	94860	183429	15193	91,01
7	81,19	15420	67200	124196	10093	94,12
8	46,32	16440	106260	340850	24058	96,73
9	52,51	19800	106800	188213	17140	91,77
10	45,73	19560	111360	224781	20555	90,5
Ortalama	61,06	18336,00	97608,00	223613,80	17042,90	91,84
St. Sapma	17,00	1868,30	20863,94	97469,67	5745,57	2,69

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.34. Karma Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	43,19	11340	67620	241794	17721	95,96
2	86,82	13200	56220	79624	6281	92,12
3	81,94	12180	50940	86460	7583	91,11
4	36,86	11580	63780	316248	19402	88,44
5	29,28	11220	69780	366715	24151	93,56
6	59,14	14580	68400	169991	13397	92,12
7	77,56	12180	55200	110029	9510	95,53
8	29,75	8820	61020	342907	22851	98,39
9	46,49	11760	64080	169280	14872	93,31
10	39,25	12000	63060	209367	17725	92,08
Ortalama	53,03	11886,00	62010,00	209241,50	15349,30	93,26
St. Sapma	21,89	1469,00	6188,00	105425,63	6165,54	2,80

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.35. Karma Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	42,19	12360	70860	252352	18149	94,99
2	87,46	13800	56640	84305	6791	91,91
3	79,60	12720	49980	96820	8038	90,82
4	31,40	9420	55500	324092	20295	88,07
5	30,26	10980	68580	361362	22433	93,33
6	59,47	14340	66120	175523	14725	92,15
7	73,93	12420	56220	114462	9765	95,37
8	30,37	9360	61680	339823	23526	98,24
9	44,48	12000	62700	178752	15255	93,03
10	36,52	11280	60660	217679	18769	91,54
Ortalama	51,57	11868,00	60894,00	214517,00	15774,60	92,95
St. Sapma	21,89	1651,62	6478,98	102378,18	5939,54	2,79

### SGİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.36. Karma Ürün Ağacı yapısı, SGİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	38,54	11880	72360	265654	17897	93,88
2	83,28	16620	67920	106477	8323	90,87
3	75,59	15180	62520	120593	9621	89,87
4	36,18	11520	62520	339331	19769	87,05
5	33,22	12360	69900	377899	22405	92,32
6	59,14	15840	70800	193660	14884	90,68
7	73,93	13320	58020	128632	9915	93,84
8	30,37	8880	59580	352909	22444	97
9	46,49	13620	66720	193681	16412	92,04
10	36,52	11940	63960	228808	18729	90,94
Ortalama	51,32	13116,00	65430,00	230764,40	16039,90	91,85
St. Sapma	19,96	2314,86	4864,09	100190,79	5226,59	2,69

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.37. Karma Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	65,45	18000	89820	219956	18463	97,04
2	95,18	11160	42240	71340	6385	92,98
3	87,96	12360	50160	79906	7761	91,66
4	62,12	19140	87120	293058	18827	90,22
5	56,25	20340	106080	339110	25963	94,74
6	78,74	17460	75120	153128	14838	93,19
7	88,45	12060	46560	98101	8566	96,58
8	54,91	16200	86040	319759	26100	98,88
9	63,21	17520	93660	158589	16085	94,55
10	60,75	20040	97380	192603	20099	93,74
Ortalama	71,30	16428,00	77418,00	192555,00	16308,70	94,36
St. Sapma	14,86	3397,15	22959,04	98614,57	7056,36	2,60



### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.38. Karma Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	64,78	18480	91140	231308	19091	96,19
2	94,53	12360	47700	79148	7379	92,63
3	87,29	13800	55140	91931	8717	91,19
4	61,09	19140	87840	296612	19095	89,69
5	56,25	20160	104220	339316	25690	94,56
6	77,41	18000	77640	160567	15831	92,66
7	87,79	12660	49260	103892	9349	96,27
8	54,60	15840	85380	316371	26140	98,73
9	62,54	18840	97680	167426	16269	94,01
10	59,39	20040	98400	197252	20094	93,39
Ortalama	70,57	16932,00	79440,00	198382,30	16765,50	93,93
St. Sapma	14,79	3023,75	21241,86	95092,64	6653,74	2,65

### EETT öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.39. Karma Ürün Ağacı yapısı, EETT Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	63,46	19320	94320	246385	19425	95,02
2	92,28	14460	55620	97817	9189	91,93
3	84,95	15540	60480	112709	9928	90,3
4	60,07	19800	89880	315536	20343	88,52
5	55,26	20820	107160	355604	26637	93,31
6	75,42	18540	77760	176271	16186	91,58
7	86,47	13680	51420	117994	9600	94,78
8	53,07	15720	84360	331860	25508	97,34
9	60,20	19020	99660	183879	18324	92,86
10	57,68	20700	101760	214143	21648	92,29
Ortalama	68,89	17760,00	82242,00	215219,80	17678,80	92,79
St. Sapma	14,53	2654,66	20183,46	94629,35	6390,19	2,51

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.40. Karma Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	56,15	14820	74700	234166	18759	95,73
2	92,60	11820	44400	75752	6550	92,2
3	87,96	12840	50460	84881	7859	90,98
4	52,56	16680	80220	314196	18479	87,57
5	46,38	17700	88800	358401	22239	92,64
6	69,77	15480	68460	161618	15119	92,31
7	83,83	12840	55140	104990	8808	95,31
8	46,93	13740	75600	332184	24681	98,68
9	54,18	13620	66240	167473	14814	92,73
10	51,88	16920	75240	207881	17292	91,14
Ortalama	64,22	14646,00	67926,00	204154,20	15460,00	92,93
St. sapma	17,81	1992,88	14024,90	103767,42	6112,66	3,04

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.41. Karma Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	54,49	15180	75960	244988	18854	94,64
2	90,35	12720	48000	84050	7381	91,73
3	86,62	14580	56760	98605	9258	90,43
4	51,54	16380	79800	317934	18698	87,71
5	46,71	18300	91560	357247	21831	92,42
6	69,44	15660	67380	166526	14825	92,06
7	82,84	13140	54600	110776	9491	95,07
8	46,93	13560	74580	328810	24507	98,59
9	53,51	14580	68220	176674	15259	92,21
10	50,85	16740	74940	213092	17354	90,76
Ortalama	63,33	15084,00	69180,00	209870,20	15745,80	92,56
St. Sapma	17,34	1741,77	13087,49	99888,30	5647,22	2,97

### EKİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.42. Karma Ürün Ağacı yapısı, EKİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	53,16	16080	80400	261076	19344	93,56
2	87,46	15240	57900	104504	9315	90,75
3	82,94	16140	61260	120369	10448	89,5
4	50,51	16800	79620	338737	20007	86,41
5	45,07	18180	90900	374915	22742	91,16
6	68,77	17760	74100	186070	15803	90,78
7	82,18	14280	56580	123909	9319	93,65
8	46,63	14040	73320	344668	23885	97,3
9	52,17	15180	70740	192227	16327	91,29
10	49,49	17580	77820	230276	18685	89,84
Ortalama	61,84	16128,00	72264,00	227675,10	16587,50	91,42
St. sapma	16,75	1449,08	10947,77	99590,68	5363,66	2,91

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =2 (düşük) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.43. Karma Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=2 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	38,21	11460	89160	237619	19107	96,4
2	83,28	14700	67920	76870	6275	92,55
3	75,25	13200	67320	85893	8313	91,49
4	20,48	6720	62700	313842	22347	89,57
5	19,41	7800	79020	360328	28291	94,57
6	54,82	13200	70980	172170	15795	92,3
7	73,60	13020	67380	108020	9691	95,62
8	25,15	7560	70080	342317	26571	98,44
9	38,13	10680	68100	171471	16744	94,29
10	27,30	8340	61920	207230	19950	93,6
Ortalama	45,56	10668,00	70458,00	207576,00	17308,40	93,88
St. Sapma	24,38	2869,95	8082,18	104372,64	7492,96	2,57

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =5 (orta) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.44. Karma Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=5 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	36,88	10920	82140	248574	19488	95,49
2	81,03	15240	69600	85498	7240	92,35
3	72,91	14040	67020	97074	8770	91,17
4	18,77	5820	60540	318572	23308	89,12
5	18,42	7260	74820	360630	27568	94,23
6	55,48	13800	72180	177174	15657	91,96
7	72,94	12840	65820	113195	10154	95,41
8	26,07	8040	72120	338889	26540	98,49
9	37,46	11760	70800	181564	16982	93,86
10	27,65	8820	65160	210809	19777	93,43
Ortalama	44,76	10854,00	70020,00	213197,90	17548,40	93,55
St. Sapma	23,91	3217,14	5962,15	101097,52	7188,28	2,61

### EUİS öncelik kuralı ve k sabiti =8 (yüksek) değeri için benzetim sonuçları

Tablo A.45. Karma Ürün Ağacı yapısı, EUİS Öncelik Kuralı ve k=8 değeri için benzetim sonuçları

BN	SKO	OTS	OAS	OASİS	OKU	OTKO
1	36,21	11700	86820	263338	19484	94,55
2	73,31	16740	83100	107131	9131	91,38
3	68,23	15420	74820	120395	10581	90,3
4	15,70	5280	64080	338819	24481	87,93
5	17,76	7560	75720	379141	29286	93
6	51,83	13560	72840	196370	16883	90,64
7	70,96	14400	72780	128005	10635	94,21
8	24,85	7860	74820	353524	26165	97,07
9	33,44	10860	71820	198249	18696	92,58
10	25,26	8580	71220	227577	21260	92,43
Ortalama	41,75	11196,00	74802,00	231254,90	18660,20	92,41
St. sapma	22,52	3815,04	6313,61	100053,58	6945,76	2,55

## Ek B. İstatiksel Analiz Sonuçları

Tablo B.1. Çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Bağımsız Değişken		Değer	F	Hypothesis Serbestlik Derecesi	Hatanın Serbestlik derecesi	Anlam lılık
UrunAgaciTipi	Pillai's Trace	1,489	194,632	12,000	802,000	,000
	Wilks' Lambda	,038	275,066 <sup>a</sup>	12,000	800,000	,000
	Hotelling's Trace	11,433	380,139	12,000	798,000	,000
	Roy's Largest Root	10,056	672,088 <sup>b</sup>	6,000	401,000	,000
SiralamaKurali	Pillai's Trace	,944	20,753	24,000	1612,000	,000
	Wilks' Lambda	,292	24,656	24,000	1396,643	,000
	Hotelling's Trace	1,673	27,779	24,000	1594,000	,000
	Roy's Largest Root	1,050	70,533 <sup>b</sup>	6,000	403,000	,000
KDegeri	Pillai's Trace	,531	24,161	12,000	802,000	,000
	Wilks' Lambda	,471	30,470 <sup>a</sup>	12,000	800,000	,000
	Hotelling's Trace	1,119	37,193	12,000	798,000	,000
	Roy's Largest Root	1,115	74,494 <sup>b</sup>	6,000	401,000	,000
UrunAgaciTipi * SiralamaKurali	Pillai's Trace	1,315	14,207	48,000	2430,000	,000
	Wilks' Lambda	,153	19,047	48,000	1972,230	,000
	Hotelling's Trace	2,860	23,738	48,000	2390,000	,000
	Roy's Largest Root	1,604	81,211 <sup>b</sup>	8,000	405,000	,000
UrunAgaciTipi * KDegeri	Pillai's Trace	,290	5,242	24,000	1612,000	,000
	Wilks' Lambda	,719	5,777	24,000	1396,643	,000
	Hotelling's Trace	,380	6,303	24,000	1594,000	,000
	Roy's Largest Root	,347	23,307 <sup>b</sup>	6,000	403,000	,000
SiralamaKurali * KDegeri	Pillai's Trace	,012	,100	48,000	2430,000	1,000
	Wilks' Lambda	,988	,099	48,000	1972,230	1,000
	Hotelling's Trace	,012	,099	48,000	2390,000	1,000
	Roy's Largest Root	,008	,380 <sup>b</sup>	8,000	405,000	,931
UrunAgaciTipi * SiralamaKurali * KDegeri	Pillai's Trace	,018	,078	96,000	2430,000	1,000
	Wilks' Lambda	,982	,077	96,000	2273,010	1,000
	Hotelling's Trace	,019	,077	96,000	2390,000	1,000
	Roy's Largest Root	,013	,336 <sup>b</sup>	16,000	405,000	,993

a. Exact statistic

b. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

c. Design: Intercept + UrunAgaciTipi + SiralamaKurali + KDegeri + UrunAgaciTipi \* SiralamaKurali + UrunAgaciTipi \* KDegeri + SiralamaKurali \* KDegeri + UrunAgaciTipi \* SiralamaKurali \* KDegeri

Tablo B.2. Gruplar arasındaki etkilerin testi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	Tip III Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
UrunAgaciTipi	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	162911,193	2	81455,596	645,699	,000
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	2268479,764	2	1134239,882	1027,231	,000
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	94964512,093	2	47482256,047	1395,374	,000
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	43205,411	2	21602,705	1030,874	,000
	Ortalama Süreç İçi Stok	3,537E12	2	1,769E12	522,416	,000
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	2,061E10	2	1,030E10	744,003	,000
SiralamaKurali	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	5503,316	4	1375,829	10,906	,000
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	65939,289	4	16484,822	14,930	,000
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	1403166,080	4	350791,520	10,309	,000
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	15,738	4	3,934	,188	,945
	Ortalama Süreç İçi Stok	2,172E9	4	543057530,109	,160	,958
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	28166311,480	4	7041577,870	,508	,730
KDegeri	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	325,182	2	162,591	1,289	,277
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	124367,551	2	62183,776	56,317	,000
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	845097,453	2	422548,727	12,418	,000
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	51,685	2	25,842	1,233	,292
	Ortalama Süreç İçi Stok	2,437E10	2	1,219E10	3,600	,028
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	39351054,333	2	19675527,167	1,421	,243

Tablo B.2. Gruplar arasındaki etkilerin testi (devam)

UrunAgaciTipi * SiralamaKurali	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	7584,649	8	948,081	7,515	,000
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	223216,791	8	27902,099	25,270	,000
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	3588184,773	8	448523,097	13,181	,000
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	20,761	8	2,595	,124	,998
	Ortalama Süreç İçi Stok	3,054E9	8	381728380,617	,113	,999
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	59510507,267	8	7438813,408	,537	,829
UrunAgaciTipi * KDegeri	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	18,110	4	4,528	,036	,998
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	17531,262	4	4382,816	3,969	,004
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	211241,253	4	52810,313	1,552	,186
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	21,559	4	5,390	,257	,905
	Ortalama Süreç İçi Stok	2,026E9	4	506569311,370	,150	,963
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	12460126,307	4	3115031,577	,225	,924
SiralamaKurali * KDegeri	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	12,199	8	1,525	,012	1,000
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	363,271	8	45,409	,041	1,000
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	5098,747	8	637,343	,019	1,000
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	,071	8	,009	,000	1,000
	Ortalama Süreç İçi Stok	5002290,058	8	625286,257	,000	1,000
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	945256,533	8	118157,067	,009	1,000
UrunAgaciTipi * SiralamaKurali * KDegeri	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	17,873	16	1,117	,009	1,000
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	994,249	16	62,141	,056	1,000
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	12847,280	16	802,955	,024	1,000
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	,176	16	,011	,001	1,000
	Ortalama Süreç İçi Stok	15697413,609	16	981088,351	,000	1,000
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	1698507,760	16	106156,735	,008	1,000

Tablo B.2. Gruplar arasındaki etkilerin testi (devam)

Error	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	51091,137	405	126,151
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	447189,600	405	1104,172
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	13781473,700	405	34028,330
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	8487,068	405	20,956
	Ortalama Süreç İçi Stok	1,371E12	405	3,385E9
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	5,609E9	405	13850014,952
Total	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	3503294,344	450	
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	12476402,000	450	
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	289503315,000	450	
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	2910319,481	450	
	Ortalama Süreç İçi Stok	8,341E12	450	
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	4,840E10	450	
Corrected Total	Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	227463,659	449	
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	3148081,778	449	
	Ortalama Sipariş Akış Zamanı	114811621,380	449	
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	51802,468	449	
	Ortalama Süreç İçi Stok	4,940E12	449	
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	2,636E10	449	

a. R Squared = ,775 (Adjusted R Squared = ,751)

b. R Squared = ,858 (Adjusted R Squared = ,843)

c. R Squared = ,880 (Adjusted R Squared = ,867)

d. R Squared = ,836 (Adjusted R Squared = ,818)

e. R Squared = ,722 (Adjusted R Squared = ,692)

f. R Squared = ,787 (Adjusted R Squared = ,764)



Tablo B.3. Ürün ağacı yapısına göre çok yönlü izleme analizi sonuçları

Bağımlı Değişken	(I) Ürün Ağacı Tipi	(J) Ürün Ağacı Tipi	Ortalama Fark	Standart Sapma	Anlamlı lık.	95% Güvenilirlik Derecesi	
						Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	Düz	Uzun	-1,257400	1,2969243	,597	-4,308235	1,793435
		Karma	39,718867*	1,2969243	,000	36,668031	42,769702
	Uzun	Düz	1,257400	1,2969243	,597	-1,793435	4,308235
		Karma	40,976267*	1,2969243	,000	37,925431	44,027102
	Karma	Düz	-39,718867*	1,2969243	,000	-42,769702	-36,668031
		Uzun	-40,976267*	1,2969243	,000	-44,027102	-37,925431
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	Düz	Uzun	23,07*	3,837	,000	14,05	32,10
		Karma	-137,75*	3,837	,000	-146,77	-128,72
	Uzun	Düz	-23,07*	3,837	,000	-32,10	-14,05
		Karma	-160,82*	3,837	,000	-169,85	-151,79
	Karma	Düz	137,75*	3,837	,000	128,72	146,77
		Uzun	160,82*	3,837	,000	151,79	169,85
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	Düz	Uzun	217,21*	21,300	,000	167,10	267,31
		Karma	-847,57*	21,300	,000	-897,67	-797,46
	Uzun	Düz	-217,21*	21,300	,000	-267,31	-167,10
		Karma	-1064,77*	21,300	,000	-1114,88	-1014,67
	Karma	Düz	847,57*	21,300	,000	797,46	897,67
		Uzun	1064,77*	21,300	,000	1014,67	1114,88
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	Düz	Uzun	7,070267*	,5285922	,000	5,826827	8,313707
		Karma	-16,328467*	,5285922	,000	-17,571907	-15,085027
	Uzun	Düz	-7,070267*	,5285922	,000	-8,313707	-5,826827
		Karma	-23,398733*	,5285922	,000	-24,642173	-22,155293
	Karma	Düz	16,328467*	,5285922	,000	15,085027	17,571907
		Uzun	23,398733*	,5285922	,000	22,155293	24,642173
Ortalama Süreç İçi Stok	Düz	Uzun	2435,82	6718,506	,930	-13368,54	18240,18
		Karma	-186843,40*	6718,506	,000	-202647,76	-171039,04
	Uzun	Düz	-2435,82	6718,506	,930	-18240,18	13368,54
		Karma	-189279,22*	6718,506	,000	-205083,58	-173474,86
	Karma	Düz	186843,40*	6718,506	,000	171039,04	202647,76
		Uzun	189279,22*	6718,506	,000	173474,86	205083,58
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Düz	Uzun	1118,20*	429,729	,026	107,32	2129,08
		Karma	-13764,00*	429,729	,000	-14774,88	-12753,12
	Uzun	Düz	-1118,20*	429,729	,026	-2129,08	-107,32
		Karma	-14882,20*	429,729	,000	-15893,08	-13871,32
	Karma	Düz	13764,00*	429,729	,000	12753,12	14774,88
		Uzun	14882,20*	429,729	,000	13871,32	15893,08

Based on observed means, The error term is Mean Square(Error) = 13850014,952.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Tablo B.3. Öncelik kurallarına göre çok yönlü izleme analizi sonuçları

Bağımlı Değişken	(I) Öncelik Kuralı	(J) Öncelik Kuralı	Ortalama Fark	Standart Sapma	Anlamlı lık.	95% Güvenilirlik Derecesi	
						Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	İĞİS	SGİS	4,016222	1,6743221	,118	-,571600	8,604045
		EETT	-2,734000	1,6743221	,477	-7,321823	1,853823
		EKİS	-,005333	1,6743221	1,000	-4,593156	4,582489
		EUİS	7,206778*	1,6743221	,000	2,618955	11,794600
	SGİS	İĞİS	-4,016222	1,6743221	,118	-8,604045	,571600
		EETT	-6,750222*	1,6743221	,001	-11,338045	-2,162400
		EKİS	-4,021556	1,6743221	,117	-8,609378	,566267
		EUİS	3,190556	1,6743221	,316	-1,397267	7,778378
	EETT	İĞİS	2,734000	1,6743221	,477	-1,853823	7,321823
		SGİS	6,750222*	1,6743221	,001	2,162400	11,338045
		EKİS	2,728667	1,6743221	,479	-1,859156	7,316489
		EUİS	9,940778*	1,6743221	,000	5,352955	14,528600
	EKİS	İĞİS	,005333	1,6743221	1,000	-4,582489	4,593156
		SGİS	4,021556	1,6743221	,117	-,566267	8,609378
		EETT	-2,728667	1,6743221	,479	-7,316489	1,859156
		EUİS	7,212111*	1,6743221	,000	2,624289	11,799934
EUİS	İĞİS	-7,206778*	1,6743221	,000	-11,794600	-2,618955	
	SGİS	-3,190556	1,6743221	,316	-7,778378	1,397267	
	EETT	-9,940778*	1,6743221	,000	-14,528600	-5,352955	
	EKİS	-7,212111*	1,6743221	,000	-11,799934	-2,624289	
Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	İĞİS	SGİS	27,24*	4,953	,000	13,67	40,82
		EETT	5,82	4,953	,765	-7,75	19,40
		EKİS	13,22	4,953	,060	-,35	26,80
		EUİS	31,49*	4,953	,000	17,92	45,06
	SGİS	İĞİS	-27,24*	4,953	,000	-40,82	-13,67
		EETT	-21,42*	4,953	,000	-35,00	-7,85
		EKİS	-14,02*	4,953	,039	-27,60	-,45
		EUİS	4,24	4,953	,912	-9,33	17,82
	EETT	İĞİS	-5,82	4,953	,765	-19,40	7,75
		SGİS	21,42*	4,953	,000	7,85	35,00
		EKİS	7,40	4,953	,567	-6,17	20,97
		EUİS	25,67*	4,953	,000	12,09	39,24
	EKİS	İĞİS	-13,22	4,953	,060	-26,80	,35
		SGİS	14,02*	4,953	,039	,45	27,60
		EETT	-7,40	4,953	,567	-20,97	6,17
		EUİS	18,27*	4,953	,002	4,69	31,84
EUİS	İĞİS	-31,49*	4,953	,000	-45,06	-17,92	
	SGİS	-4,24	4,953	,912	-17,82	9,33	
	EETT	-25,67*	4,953	,000	-39,24	-12,09	
	EKİS	-18,27*	4,953	,002	-31,84	-4,69	

Tablo B.3. Öncelik kurallarına göre çok yönlü izleme analizi sonuçları (devamı)

Bağımlı Değişken	(I) Öncelik Kuralı	(J) Öncelik Kuralı	Ortalama Fark	Standart Sapma	Anlamlı lık.	95% Güvenilirlik Derecesi	
						Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama Sipariş Akış Zamanı	İĞİS	SGİS	163,54*	27,499	,000	88,19	238,89
		EETT	96,81*	27,499	,004	21,46	172,16
		EKİS	138,81*	27,499	,000	63,46	214,16
		EUİS	93,03*	27,499	,007	17,68	168,38
	SGİS	İĞİS	-163,54*	27,499	,000	-238,89	-88,19
		EETT	-66,73	27,499	,110	-142,08	8,62
		EKİS	-24,73	27,499	,897	-100,08	50,62
		EUİS	-70,51	27,499	,079	-145,86	4,84
	EETT	İĞİS	-96,81*	27,499	,004	-172,16	-21,46
		SGİS	66,73	27,499	,110	-8,62	142,08
		EKİS	42,00	27,499	,545	-33,35	117,35
		EUİS	-3,78	27,499	1,000	-79,13	71,57
	EKİS	İĞİS	-138,81*	27,499	,000	-214,16	-63,46
		SGİS	24,73	27,499	,897	-50,62	100,08
		EETT	-42,00	27,499	,545	-117,35	33,35
		EUİS	-45,78	27,499	,457	-121,13	29,57
EUİS	İĞİS	-93,03*	27,499	,007	-168,38	-17,68	
	SGİS	70,51	27,499	,079	-4,84	145,86	
	EETT	3,78	27,499	1,000	-71,57	79,13	
	EKİS	45,78	27,499	,457	-29,57	121,13	
Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	İĞİS	SGİS	,066333	,6824095	1,000	-1,803542	1,936209
		EETT	-,352667	,6824095	,986	-2,222542	1,517209
		EKİS	,184333	,6824095	,999	-1,685542	2,054209
		EUİS	-,161111	,6824095	,999	-2,030987	1,708764
	SGİS	İĞİS	-,066333	,6824095	1,000	-1,936209	1,803542
		EETT	-,419000	,6824095	,973	-2,288875	1,450875
		EKİS	,118000	,6824095	1,000	-1,751875	1,987875
		EUİS	-,227444	,6824095	,997	-2,097320	1,642431
	EETT	İĞİS	,352667	,6824095	,986	-1,517209	2,222542
		SGİS	,419000	,6824095	,973	-1,450875	2,288875
		EKİS	,537000	,6824095	,934	-1,332875	2,406875
		EUİS	,191556	,6824095	,999	-1,678320	2,061431
	EKİS	İĞİS	-,184333	,6824095	,999	-2,054209	1,685542
		SGİS	-,118000	,6824095	1,000	-1,987875	1,751875
		EETT	-,537000	,6824095	,934	-2,406875	1,332875
		EUİS	-,345444	,6824095	,987	-2,215320	1,524431
EUİS	İĞİS	,161111	,6824095	,999	-1,708764	2,030987	
	SGİS	,227444	,6824095	,997	-1,642431	2,097320	
	EETT	-,191556	,6824095	,999	-2,061431	1,678320	
	EKİS	,345444	,6824095	,987	-1,524431	2,215320	

Tablo B.3. Öncelik kurallarına göre çok yönlü izleme analizi sonuçları (devamı)

Bağımlı Değişken	(I) Öncelik Kuralı	(J) Öncelik Kuralı	Ortalama Fark	Standart Sapma	Anlamlı lık.	95% Güvenilirlik Derecesi	
						Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama Süreç İçi Stok	İGİS	SGİS	-3046,49	8673,554	,997	-26812,96	20719,98
		EETT	3099,24	8673,554	,997	-20667,23	26865,71
		EKİS	-1488,79	8673,554	1,000	-25255,26	22277,68
		EUİS	-2465,11	8673,554	,999	-26231,58	21301,36
	SGİS	İGİS	3046,49	8673,554	,997	-20719,98	26812,96
		EETT	6145,73	8673,554	,954	-17620,74	29912,20
		EKİS	1557,70	8673,554	1,000	-22208,77	25324,17
		EUİS	581,38	8673,554	1,000	-23185,09	24347,85
	EETT	İGİS	-3099,24	8673,554	,997	-26865,71	20667,23
		SGİS	-6145,73	8673,554	,954	-29912,20	17620,74
		EKİS	-4588,03	8673,554	,984	-28354,50	19178,44
		EUİS	-5564,36	8673,554	,968	-29330,83	18202,11
	EKİS	İGİS	1488,79	8673,554	1,000	-22277,68	25255,26
		SGİS	-1557,70	8673,554	1,000	-25324,17	22208,77
		EETT	4588,03	8673,554	,984	-19178,44	28354,50
		EUİS	-976,32	8673,554	1,000	-24742,79	22790,15
EUİS	İGİS	2465,11	8673,554	,999	-21301,36	26231,58	
	SGİS	-581,38	8673,554	1,000	-24347,85	23185,09	
	EETT	5564,36	8673,554	,968	-18202,11	29330,83	
	EKİS	976,32	8673,554	1,000	-22790,15	24742,79	
Ortalama Kuyruk Uzunluğu	İGİS	SGİS	194,53	554,778	,997	-1325,62	1714,68
		EETT	-176,21	554,778	,998	-1696,36	1343,94
		EKİS	104,52	554,778	1,000	-1415,63	1624,67
		EUİS	-513,48	554,778	,887	-2033,63	1006,67
	SGİS	İGİS	-194,53	554,778	,997	-1714,68	1325,62
		EETT	-370,74	554,778	,963	-1890,89	1149,41
		EKİS	-90,01	554,778	1,000	-1610,16	1430,14
		EUİS	-708,01	554,778	,706	-2228,16	812,14
	EETT	İGİS	176,21	554,778	,998	-1343,94	1696,36
		SGİS	370,74	554,778	,963	-1149,41	1890,89
		EKİS	280,73	554,778	,987	-1239,42	1800,88
		EUİS	-337,27	554,778	,974	-1857,42	1182,88
	EKİS	İGİS	-104,52	554,778	1,000	-1624,67	1415,63
		SGİS	90,01	554,778	1,000	-1430,14	1610,16
		EETT	-280,73	554,778	,987	-1800,88	1239,42
		EUİS	-618,00	554,778	,799	-2138,15	902,15
EUİS	İGİS	513,48	554,778	,887	-1006,67	2033,63	
	SGİS	708,01	554,778	,706	-812,14	2228,16	
	EETT	337,27	554,778	,974	-1182,88	1857,42	
	EKİS	618,00	554,778	,799	-902,15	2138,15	

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 13850014,952.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Tablo B.4. k sabiti değerlerine göre çok yönlü izleme analizi sonuçlar

Bağımlı Değişken	(I) k Sabiti Değeri	(J) k Sabiti Değeri	Ortalama Fark	Standart Sapma	Anlamlılık	95% Güvenilirlik Derecesi		
						Alt Sınır	Üst Sınır	
Ortalama Sipariş Karşılama Oranı	k=2	k=5	,475333	1,2969243	,929	-2,575502	3,526169	
		k=8	1,993333	1,2969243	,275	-1,057502	5,044169	
	k=5	k=2	-,475333	1,2969243	,929	-3,526169	2,575502	
		k=8	1,518000	1,2969243	,472	-1,532835	4,568835	
	k=8	k=2	-1,993333	1,2969243	,275	-5,044169	1,057502	
		k=5	-1,518000	1,2969243	,472	-4,568835	1,532835	
	Ortalama Sipariş Tedarik Zamanı	k=2	k=5	-18,89*	3,837	,000	-27,91	-9,86
			k=8	-40,69*	3,837	,000	-49,71	-31,66
k=5		k=2	18,89*	3,837	,000	9,86	27,91	
		k=8	-21,80*	3,837	,000	-30,83	-12,77	
k=8		k=2	40,69*	3,837	,000	31,66	49,71	
		k=5	21,80*	3,837	,000	12,77	30,83	
Ortalama Sipariş Akış Zamanı		k=2	k=5	-42,21	21,300	,118	-92,31	7,90
			k=8	-105,45*	21,300	,000	-155,56	-55,35
	k=5	k=2	42,21	21,300	,118	-7,90	92,31	
		k=8	-63,25*	21,300	,009	-113,35	-13,14	
	k=8	k=2	105,45*	21,300	,000	55,35	155,56	
		k=5	63,25*	21,300	,009	13,14	113,35	
	Ortalama Tezgah Kullanım Oranı	k=2	k=5	,154267	,5285922	,954	-1,089173	1,397707
			k=8	,783533	,5285922	,300	-,459907	2,026973
k=5		k=2	-,154267	,5285922	,954	-1,397707	1,089173	
		k=8	,629267	,5285922	,460	-,614173	1,872707	
k=8		k=2	-,783533	,5285922	,300	-2,026973	,459907	
		k=5	-,629267	,5285922	,460	-1,872707	,614173	
Ortalama Süreç İçi Stok		k=2	k=5	-7039,52	6718,506	,547	-22843,88	8764,84
			k=8	-17891,78*	6718,506	,022	-33696,14	-2087,42
	k=5	k=2	7039,52	6718,506	,547	-8764,84	22843,88	
		k=8	-10852,26	6718,506	,240	-26656,62	4952,10	
	k=8	k=2	17891,78*	6718,506	,022	2087,42	33696,14	
		k=5	10852,26	6718,506	,240	-4952,10	26656,62	
	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	k=2	k=5	-289,17	429,729	,779	-1300,04	721,71
			k=8	-719,73	429,729	,216	-1730,61	291,14
k=5		k=2	289,17	429,729	,779	-721,71	1300,04	
		k=8	-430,57	429,729	,576	-1441,44	580,31	
k=8		k=2	719,73	429,729	,216	-291,14	1730,61	
		k=5	430,57	429,729	,576	-580,31	1441,44	

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 13850014,952.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## ÖZGEÇMİŞ

İhsan Hakan SELVİ, 23.04.1979'da Sorgun/Yozgat'ta doğdu. İlköğrenimini Sorgun'da Yeşilyurt ilkokulunda, orta öğrenimini ise Sorgun lisesinde, lise öğrenimini ise Yozgat Şehitler Fen Lisesinde tamamladı. 1997 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü 2001 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği anabilim dalında başladığı yüksek lisans öğrenimini 2004 yılında tamamladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği anabilim dalında doktora eğitiminde başladı. 2001-2006 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Enformatik Bölüm Başkanlığında araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2006 yılında itibaren aynı üniversitede, Uzaktan Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.