

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Behiye Gülsün NAKİBOĞLU

**YENİDEN ÜRETİM ORTAMLARINDA MALZEME İHTİYAÇ
PLANLAMASI İÇİN BİR MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA
YAKLAŞIMI**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİDEN ÜRETİM ORTAMLARINDA MALZEME İHTİYAÇ
PLANLAMASI İÇİN BİR MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA
YAKLAŞIMI**

Behiye Gülsün NAKİBOĞLU

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 17/03/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

İmza:.....
Doç.Dr.Rızvan EROL
DANIŞMAN

İmza:.....
Prof.Dr. Türkay DERELİ
ÜYE

İmza:.....
Prof.Dr.Adil BAYKASOĞLU
ÜYE

İmza:.....
Yrd.Doç.Dr.Arzu UZUN
ÜYE

İmza:.....
Yrd.Doç.Dr.Oya H. YUREGİR
ÜYE

Bu tez enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Kod No:.....

Prof.Dr.Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birim tarafından desteklenmiştir.

Proje No: MMF2004D13

Not:Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

YENİDEN ÜRETİM ORTAMLARINDA MALZEME İHTİYAÇ PLANLAMASI İÇİN BİR MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Behiye Gülsün NAKİBOĞLU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç.Dr. Rızvan EROL

Yıl: 2008, **Sayfa:** 162

Jüri: Doç.Dr. Rızvan EROL

Prof.Dr. Türkay DERELİ

Prof.Dr. Adil BAYKASOĞLU

Yrd.Doç.Dr. Oya H. YÜREGİR

Yrd.Doç.Dr. Arzu UZUN

Ürün geri kazanım seçeneklerinden biri olan yeniden üretim; temel olarak ürünün demontajı, kalite kontrolü, gerekiyorsa iyileştirme, yeni parça ekleme ve yeniden montaj işlemlerini içerir. Yeniden üretim sürecinde malzeme ihtiyaç planlaması, geri dönen ürünün kalite düzeyi ve miktarı, satın alınan yeni parça ve demontaj işlemi için tedarik süresi gibi konulardaki belirsizlikler sebebi ile klasik problemten daha karmaşıktır. Buna ek olarak, üretim ortamlarında geçerli olan diğer kısıtlar ve maliyet minimizasyonu kapsamında, geleneksel yöntemlere kıyasla daha güçlü çözüm metotları gereklidir.

Bu çalışmada, yeniden üretim ortamında malzeme ihtiyaç planlaması için maliyet minimizasyonuna dayalı matematiksel bir model tanımlanmıştır. Parça ortaklığını da içeren çok-ürünlü ve çok-dönemli model tamsayılı olarak çözülmüştür. Ayrıca, yeniden üretim ortamını etkileyebilecek faktörlerin farklı seviyeleri için deneysel tasarım oluşturulmuş ve bu faktörlerin sistemin toplam maliyeti, sonuçların optimum çözüme göreceli uzaklığı ve çözüm süresi üzerindeki etkileri test edilmiştir. Varyans analizine göre, yeni parça maliyetinin demontaj maliyetine oranı, çekirdek için tedarik süresi, yeni parça için tedarik süresi ve demontajda kazanım oranı faktörlerinin toplam maliyet üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Çözüm karmaşıklığı için yapılan deneysel çalışmalarda, çekirdek tedarik süresi ve demontajda kazanım oranı faktörlerinin çözüm süresi üzerinde belirleyici olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tersine Lojistik, Yeniden Üretim, Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP), Demontaj

ABSTRACT

PhD THESIS

A MATHEMATICAL MODELING APPROACH FOR MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING IN REMANUFACTURING

Behiye Gülsün NAKİBOĞLU

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor: Assoc.Prof.Rızvan EROL

Year: 2008, **Pages:** 162

Jury: Assoc.Prof.Rızvan EROL

Prof. Türkay DERELİ

Prof. Adil BAYKASOĞLU

Assistant Prof. Oya H. YÜREGİR

Assistant Prof. Arzu UZUN

Remanufacturing as an option for product recovery basically includes disassembly of used products (cores) into parts, inspection of parts, improvement or replacement of used parts if necessary, and finally reassembly of all those parts into new products. Quantity and quality uncertainties of returned products, randomness in core procurement lead time and in disassembly time of cores make the material requirements planning (MRP) task more complex in remanufacturing process. In addition to this complexity, other constraints placed by the nature of remanufacturing systems and cost minimization objective require more sophisticated solution methods than the traditional MRP.

In this study, a new mathematical model for MRP in a multi-product, multi-period remanufacturing environment with part commonality is developed. Also, an experimental study to determine significant factors on total cost and computation times is conducted. Analysis of variance of experimental results shows that ratio of purchase cost of a new part to disassembly cost, procurement lead times for cores and new parts and disassembly yield rate are the most influential factors on the total cost. In terms of computational complexity, disassembly yield rate and procurement lead time for core significantly affect the computation time.

Key Words: Reverse Logistics, Remanufacturing, Material Requirements Planning (MRP), Disassembly.

ÖNSÖZ

Yeniden üretim, çekirdek adı verilen ve yeniden değerlendirilmek üzere müşteriden üreticiye dönen ürünün demontajı, gerekiyorsa yenilenmesini ve yeni parça eklenmesini, ardından montajını içerir. Yeniden üretimde amaç, tamamıyla yeni bir ürünle aynı kalite standartlarına sahip ürün üretmektir. Yeniden üretim ekonomik, ekolojik ve yasal sebeplerle birçok büyük firma tarafından uygulanmaktadır. Ancak geri dönen ürünün kalitesi, miktarı ve dönüş zamanı konularındaki belirsizlikler, yeniden üretim ortamının karmaşıklığına sebep olmaktadır. Özellikle parça eşleşme problemlerinden kaynaklanan malzeme ihtiyaç planlaması, bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Maliyet minimizasyonu kısıtı altında malzeme ihtiyaç planının oluşturulması, buna bağlı çekirdek ve yeni parça satın alma ve çekirdek demontajı kararları, tamsayıli matematiksel programlama ile gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, yeniden üretim ortamlarında etkili olduğu düşünülen çekirdek demontajında kazanım oranı, çekirdek ve yeni parça için tedarik süreleri ve demontajla veya yeni parça satın alma yoluyla bileşen elde etme maliyetlerinin etkisini görmek amacı ile istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma boyunca bilgilerini benimle paylaşan danışmanım Doç.Dr. Rızvan EROL'a, tezdeki katkıları ve değerli yorumları için Prof.Dr. Türkay DERELİ ve Prof.Dr. Adil BAYKASOĞLU'na teşekkür ediyorum. Birlikte çalışmaktan her zaman onur duyduğum, desteklerini ve güvenlerini hep hissettiğim Yrd.Doç.Dr Arzu UZUN ve Yrd.Doç.Dr. Oya H. YÜREGİR'e sevgi ve şükranlarımı sunuyorum. Yardım ve katkıları için Mustafa GÖÇKEN'e (Tolunay ve Nisa'ya) ve Yrd.Doç.Dr. Kürşad AĞPAK'a; gösterdikleri sabır ve destek için aileme teşekkür borçluyum. Son olarak da, eşim ve meslektaşım Burak'a teşekkür ediyorum, desteği, sevgisi ve neşesi için...

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLOLAR DİZİNİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Tersine Lojistik.....	1
1.2. Yeniden Üretim.....	2
1.3. Geri Kazanımlı Üretim Ortamı ve Özellikleri.....	4
1.4. Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Yeniden Üretim Ortamı.....	7
1.5. Çalışmanın Amacı.....	11
1.6. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar.....	12
1.7. Çalışmanın Adımları.....	14
1.8. Çalışmanın Özgün Katkısı.....	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Tersine Lojistik İle İlgili Çalışmalar.....	16
2.2. Yeniden Üretim İle İlgili Tanımlayıcı Çalışmalar.....	24
2.3. Yeniden Üretim Ortamlarında Üretim Planlama.....	31
2.4. Yeniden Üretim, Demontaj ve MRP İle İlgili Çalışmalar.....	43
2.5. Literatürün Genel Değerlendirmesi.....	57
3. METOT.....	58
3.1. Yeniden Üretim Ortamlarında Malzeme İhtiyaç Planlaması Süreci.....	58
3.2. Metot.....	60
3.2.1. Ele Alınan Yeniden Üretim Ortamı.....	63
3.2.2. Sistemin Karakteristikleri.....	66
3.2.2.1. Çekirdek Geri Dönüşü ve Demontaj Süreci.....	66
3.2.2.2. Üretim Süreci.....	68
3.2.2.3. Ürün İçinde ve Ürünler Arasında Ortaklık.....	68

3.2.3. Sistemin Varsayımları.....	69
3.2.4. Amaç Fonksiyonu.....	70
3.3. Matematik Programlama Modeli.....	71
3.3.1. Parametreler ve Karar Değişkenleri.....	72
3.3.2. Modelin Matematiksel Formülasyonu.....	74
3.4. Üretim Sisteminin Tasarımı.....	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	86
4.1. Örnek Model.....	86
4.1.1. Karar Değişkenlerinin Sürekli Kabul Edildiği Durum.....	90
4.1.2. Karar Değişkenlerinin Tamsayı Kabul Edildiği Durum.....	91
4.2. Tamsayılı Modelin Hesaplama Karmaşıklığının İncelenmesi.....	95
4.3. Yeniden Üretim Ortamında Farklı Koşulların Etkisi.....	101
4.3.1. Faktörlerin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	109
4.3.2. Faktörlerin Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi.....	117
4.3.3. Faktörlerin Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi.....	121
4.4. Optimuma Yakın Sonuçların Analizi.....	125
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	135
5.1. Çalışmanın Özetlenmesi.....	135
5.2. Sonuçlar.....	137
5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler.....	139
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	146
Ek-1 Örnek Model İçin .log Dosyası.....	147
Ek-2 Örnek Model İçin .lst Dosyası.....	148
Ek-3 Hesaplama Karmaşıklığı İçin Tablo ve Grafikler.....	157

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Ürün Geri Alım Seçenekleri.....	3
Şekil 1.2.	Malzeme İhtiyaç Planlaması.....	9
Şekil 2.1.	Tersine Lojistik Faaliyetlerini Etkileyen Çevre Güçleri Modeli.....	18
Şekil 2.2.	Tersine Lojistiğin Operasyonel Faktörleri	20
Şekil 2.3.	PrAM ve Etkileri.....	27
Şekil 2.4.	Yeniden Üretim Süreci.....	29
Şekil 2.5.	Geri Kazanımlı Üretim Ortamı.....	34
Şekil 2.6.	Çekirdek, Geri Kazanılmış Parça ve Yeniden Üretilmiş Ürün Stokları Arasındaki İlişkiler.....	37
Şekil 2.7.	Bileşenlerin Yeniden Üretimi İçin Materyal Süreci Akış Diyagramı.....	38
Şekil 2.8.	Bileşen Yeniden Üretimi İçin Bilgi Akış Diyagramı.....	39
Şekil 2.9.	Sistem Stokları.....	42
Şekil 2.10.	Ürün Yapıları.....	50
Şekil 2.11.	Ürün Yapısındaki Ortaklıklar.....	51
Şekil 3.1.	Yeniden Üretim Ortamı.....	65
Şekil 4.1.	Örnek Ürün (Ürün 1).....	86
Şekil 4.2.	Örnek Ürün (Ürün 2 ve Ürün 3).....	87
Şekil 4.3.	Örnek Çekirdek (Çekirdek 1 ve Çekirdek 2).....	88
Şekil 4.4.	Üretim İçin Ürün Ağacı (Örnek Model).....	89
Şekil 4.5.	Demontaj İçin Ürün Ağacı (Örnek Model).....	89
Şekil 4.6.	Parça Sayısının Değişken Sayısına Etkisi.....	98
Şekil 4.7.	Periyot Sayısının Değişken Sayısına Etkisi.....	98
Şekil 4.8.	Ürün Sayısının Kısıt Sayısına Etkisi.....	99
Şekil 4.9.	Periyot Sayısının Kısıt Sayısına Etkisi.....	99
Şekil 4.10.	Üretim İçin Ürün Ağacı.....	103
Şekil 4.11.	Demontaj İçin Ürün Ağacı.....	104

Şekil 4.12.	Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	110
Şekil 4.13.	Çekirdek Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	111
Şekil 4.14.	Yeni Parça Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	112
Şekil 4.15.	Demontajda Kazanım Oranının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	113
Şekil 4.16.	A*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	114
Şekil 4.17.	B*C Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	115
Şekil 4.18.	C*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi.....	116
Şekil 4.19.	Demontaj Kazanım Oranının Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi.....	118
Şekil 4.20.	Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranının Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi.....	119
Şekil 4.21.	Çekirdek Tedarik Süresinin Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi.....	120
Şekil 4.22.	Yeni Parça Tedarik Süresinin Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi.....	120
Şekil 4.23.	Çekirdek Tedarik Süresinin Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi.....	122
Şekil 4.24.	Demontaj Kazanım Oranının Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi.....	123
Şekil 4.25.	Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranının Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi.....	123
Şekil 4.26.	Yeni Parça Satın Alma Tedarik Süresinin Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi.....	124
Şekil 4.27.	Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	127

Şekil 4.28.	Çekirdek Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	128
Şekil 4.29.	Yeni Parça Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	129
Şekil 4.30.	Demontaj Kazanım Oranının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	130
Şekil 4.31.	B*C Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	131
Şekil 4.32.	B*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	132
Şekil 4.33.	C*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için).....	133

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Ürün Geri Alım Opsiyonları Karşılaştırması.....	4
Tablo 1.2.	Geleneksel ve Yeniden Üretim Ortamlarının Karşılaştırılması.....	6
Tablo 1.3.	Standart MRP Tablosu Örneği.....	9
Tablo 1.4.	Örnek MRP Kaydı.....	10
Tablo 3.1.	Gupta ve Taleb (1994)'in MRP Kaydı.....	58
Tablo 3.2.	Veerakamolmal ve Gupta (2000)'nin MRP Kaydı.....	59
Tablo 4.1.	Örnek Model İçin Nihai Ürün Talepleri.....	90
Tablo 4.2.	Örnek Modelin Nihai Ürün Stok Eşitliği.....	92
Tablo 4.3.	Örnek Modelin Demonte Parça Stok Eşitliği.....	93
Tablo 4.4.	Örnek Modelin Yeni Parça Stok Eşitliği.....	94
Tablo 4.5.	Örnek Modelin Sonuç Tablosu.....	95
Tablo 4.6.	Modelin Değişken ve Kısıt Sayıları.....	97
Tablo 4.7.	Değişken ve Kısıt Sayılarındaki Değişim (örnek veriler).....	100
Tablo 4.8.	Deneysel Tasarım Sonuçları (A Faktörü Birinci Seviyede).....	105
Tablo 4.9.	Deneysel Tasarım Sonuçları (A Faktörü İkinci Seviyede).....	106
Tablo 4.10.	Deneysel Tasarım Sonuçları (A Faktörü Üçüncü Seviyede).....	107
Tablo 4.11.	Göreceli Uzaklık Değeri Dağılımı.....	108
Tablo 4.12.	Toplam Maliyet İçin ANOVA Tablosu.....	109
Tablo 4.13.	Göreceli Uzaklık İçin ANOVA Tablosu.....	117
Tablo 4.14.	Çalışma Süresi İçin ANOVA Tablosu.....	121
Tablo 4.15.	Optimuma Yakın Sonuçların Toplam Maliyeti İçin ANOVA Tablosu	126

KISALTMALAR

AGAN	:Yenisi kadar iyi (as good as new)
DfE	:Çevre İçin Tasarım (Design for Environment)
EOL	:Ürün ömrü sonu (end of life)
LCA	:Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assesment/Analysis)
MPS	:Ana Üretim Çizelgesi (Master Production Scheduling)
MRP	:Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning)
MRR	:Malzeme Kazanım Oranı (Material Recovery Rate)
OEM	:Orijinal Ekipman Üreticisi (Original Equipment Manufacturer)
PrAM	:Ürün Kazanım Yönetimi (Product Acquisition Management)
VRP	:Araç Geri Dönüşüm Ortaklığı (Vehicle Recycling Partnership)
WEEE	:Atık Elektrik ve Elektronik Ekipmanları Yönergesi (Waste Electrical and Electronic Equipment)

1. GİRİŞ

1.1. Tersine Lojistik

Firmalar açısından ekonomik faktörler, çevreye duyarlı yasalar, ‘yeşil’ imajının önemli bir pazar etiketi haline gelmesi, müşteri memnuniyeti sağlamak, hükümetin çevre odaklı programları, sosyal sorumluluk gibi faktörler sebebi ile “tersine lojistik” (reverse logistics) faaliyetlerinde bulunmak gerekliliği, özellikle son zamanlarda oldukça artmıştır.

Ürün ve materyallerin toplanması ve yeniden kullanılması yeni bir durum değildir. Metal hurda toplama, atık kağıt dönüşümü, cam şişeler için depozito uygulamaları uzun zamandır yapılmaktadır. Ancak yasal baskılar, tüketici istekleri ve yeniden kullanım/geri kazanımın ekonomik olması, ürünlerin geri alımında sistematik yollar izlenmesi gerekliliğini de beraberinde getirmiştir.

Literatürde tersine lojistik ile ilgili birçok tanım bulunmaktadır. Fleischmann ve diğerleri (1997)’ne göre tersine lojistik, kullanıcıya artık gerekmeyen kullanılmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadarki tüm lojistik faaliyetlerini kapsayan bir süreçtir. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel nakliyesini içerir. Sonraki adım, geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir. Carter ve Ellram (1998) ise tersine lojistiği, firmaların, geri kazanım, yeniden kullanım ve kullanılan materyal miktarını azaltmak yolu ile çevresel açıdan daha etkin olmalarını sağlayan süreç olarak tanımlamışlardır. Kokkinaki ve diğerleri (1999)’ne göre tersine lojistik, yeni bir kullanım veya çevreye dost bir geri kazanımı sağlamak için kullanılmış ürünler, ürün parçaları ve materyallerin toplanması, demontajı ve işlenmesini içerir. Dowlatshahi (2000) ise üreticinin olası geri kazanım, yeniden üretim veya yok etme için tüketim noktasından gönderilmiş ürün veya parçaları sistematik olarak kabul etmesi sürecini, tersine lojistik olarak adlandırmıştır. Tersine lojistik sistemi, yeniden üretim, geri kazanım, yok etme veya kaynakları etkin şekilde kullanmak üzere ürün veya parçaların akışını yönetmek için yeniden tasarlanmış tedarik zincirini içerir. Tersine Lojistik Avrupa

Çalışma Grubu (RevLog) tanımına göre tersine lojistik, hammadde, süreç içi stok ve bitmiş ürünlerin, üretim, dağıtım veya kullanım noktasından geri alma veya yok etme noktasına akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir (Brito ve Dekker, 2002).

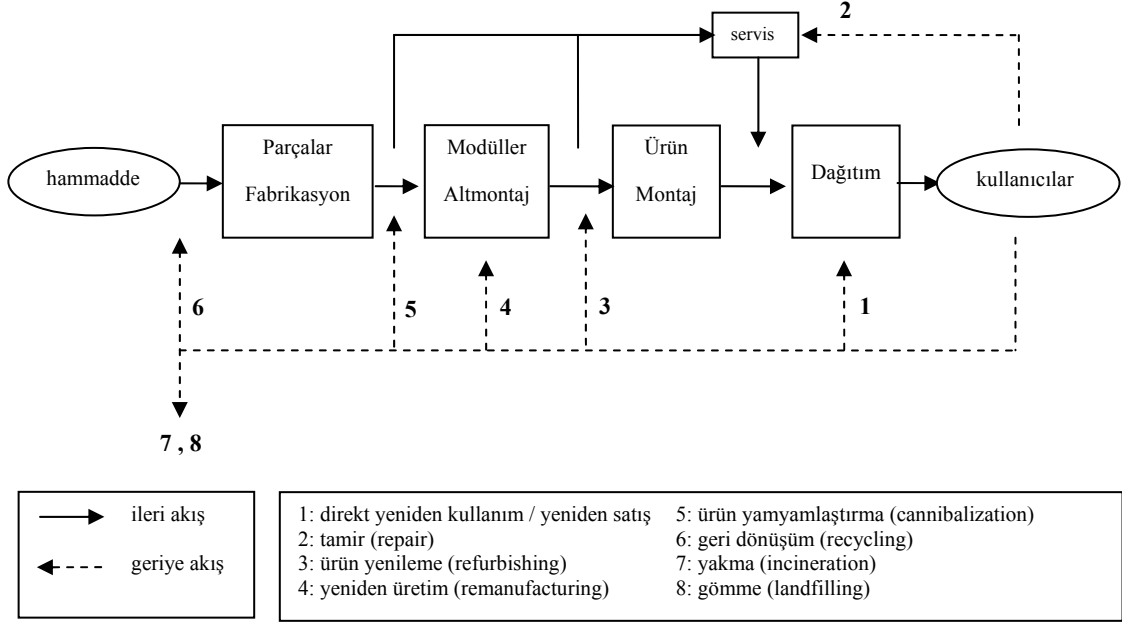
Ürün, bileşen, ekipman ve materyaller, aşağıda belirtilen sebeplerle tedarik zincirinde tersine lojistiğe konu olabilir (Brito ve Dekker, 2002):

- i. *Üretim dönüşleri*: yeterli olmayan kalite, üretim sonucu artan ürünler gibi sebeplerle geri dönüşler olabilir,
- ii. *Ürün geri çağırma*: bazen hatalı ürünler ancak ürün tedarik zincirine girdikten sonra fark edilebilir ve zincirden geri çağırılır,
- iii. *Ticari dönüşler*: bazı ticari anlaşmalara dayalı geri gönderimler veya zamanlama ve ürün kalitesi açısından talep ve tedarikin eşleşmemesi durumunda oluşan dönüşlerdir,
- iv. *Garanti ve servis dönüşleri*: garanti kapsamında ürünler tamir veya eşdeğeri ile değiştirilmek üzere geri dönebilir,
- v. *Kullanım sonu (end-of-use) ve ömür sonu (end-of-life) dönüşleri*: ürünün kullanım veya ömrü sonunda yeniden üretim, geri dönüşüm veya uygun şekilde yok etme amacı ile oluşan dönüşlerdir.

1.2. Yeniden Üretim

Tersine lojistikte ürün geri kazanım faaliyetleri Şekil 1.1.'de süreçler bazında gösterilmektedir. Geri kazanım opsiyonların tümü, ürünlerin toplanması, yeniden işlenmesi ve yeniden dağıtılması aşamalarını içerir. Asıl farklılık, yeniden işleme ve kazanım aşamasında kendini gösterir. Şekil 1.1.'de görülen opsiyonlar arasında yer alan ve bu çalışmanın da konusu olan *yeniden üretim (remanufacturing)*'in amacı, kullanılmış ürünü, yeni ürüne uygulanan kalite standartlarına uygun hale getirmektir. Yeniden üretim esnasında kullanılmış ürün tamamıyla demonte edilir, tüm modüller ve parçalar kontrolden geçirilir. Aşınmış, eskimiş veya teknolojik olarak modası geçmiş parça ve modüller yenisi ile değiştirilir. Tamir edilebilir parça ve modüller

onarılır ve testlerden geçirilir. Uygun parçalar, alt montajlar ve modüller monte edilir. Yeniden üretim esnasında üründe geliştirme (upgrade) sağlanabilir.



Şekil 1.1. Ürün Geri Alım Opsiyonları (Thierry ve diğerleri, 1995)

Ürün geri kazanım seçenekleri ve yöntemleri arasındaki farklılıklar, demontaj düzeyi, gerekli kalite düzeyi ve sonuçta elde edilen ürün açısından Tablo 1.1.'deki gibi özetlenebilir.

Geleneksel üretim sistemlerinde olduğu gibi yeniden üretim sistemlerinde de stratejik, taktik ve operasyonel alanlara ilişkin kararların alınması gerekmektedir. Literatürde tersine lojistik alanında alınması gereken kararlar ile ilgili başlıca konular tersine lojistik ağ tasarımı, geri kazanımlı üretim ortamında stok kontrolü, geri kazanımlı üretim ortamında üretim planlama, tersine lojistikte ortaklarla ilişkiler ve dış kaynak kullanımı, tersine lojistik ve bilgi teknolojileri kullanımı, e-ticaret ve e-iş ortamında tersine lojistik uygulamaları, ürün geri kazanımı için ürün tasarımı olarak gruplandırılabilir.

Tablo 1.1. Ürün Geri Alım Seçenekleri Karşılaştırması

Faaliyet	Demontaj Düzeyi	Kalite İhtiyacı	Sonuçtaki Ürün
Tamir	Ürün düzeyinde	Ürünü çalışır hale gelecek şekilde düzenlemek	Bazı parçalar tamir edilmiş veya değiştirilmiştir
Ürün yenileme	Modül düzeyinde	Tüm kritik modülleri kontrol etmek ve istenen kalite düzeyine ulaştırmak	Bazı modüller tamir edilmiş veya değiştirilmiştir; ürün yükseltilmiş (upgrade) olabilir
Yeniden üretim	Parça düzeyinde	Tüm modülleri kontrol etmek ve yeni ürün kalitesine ulaştırmak	Kullanılmış veya yeni modül/ parçalar yeni ürün için kombine edilmiştir; ürün yenileme yapılmış olabilir
Ürün yamyamlaştırma	Parçaların yeniden kullanımında seçicilik	Parçaların yeniden kullanım sürecine bağlıdır	Bazı parçalar yeniden kullanılır; ürünün kalanı geri dönüştürülür veya yok edilir
Geri dönüşüm	Materyal düzeyinde	Orijinal parçaların üretimi için, diğer parçalara kıyasla daha yüksektir	Yeni parçaların üretilmesi için materyal yeniden kullanılır

(Thierry ve diğerleri, 1995)

1.3. Geri Kazanımlı Üretim Ortamı ve Özellikleri

Geri kazanımlı üretim ortamlarında yüksek belirsizlik düzeyi üretim planlama konusunu daha karmaşık hale getirmekte ve stok kontrolü sürecini zorlaştırmaktadır. Karmaşıklığı anlayabilmek için kişilerin ürünleri neden geri verdiklerini analiz etme

aşamasından başlamak gereklidir. Sebepler aynı zamanda, geri dönen ürün kalitesi hakkında da bilgi verici olacaktır.

Guide ve diğerleri (2000), geri kazanım sistemlerinin tedarik zinciri fonksiyonlarını yönetme, planlama ve kontrolünü zorlaştıran karakteristiklerini belirlemişlerdir:

- i. Dönüşlerin zaman ve miktarının belirsizliği,
- ii. Taleplerle geri dönüşlerin dengelenmesi ihtiyacı,
- iii. Dönen ürünlerin demontaj ihtiyacı,
- iv. Tersine lojistik ağı gerekliliği,
- v. Materyal eşleştirme kısıtlarının karmaşıklığı,
- vi. Tamir ve yeniden üretim operasyonları için gerekli materyallerin stokastik rotalama ve yüksek oranda değişkenlik içeren işlem zamanı problemi.

Tablo 1.2., üretim ve yeniden üretim ortamlarının karşılaştırmasını ve operasyondaki fonksiyonel alanlara etkilerini göstermektedir.

Geleneksel üretim planlama ve çizelgeleme metotlarının ürün geri kazanımı sistemlerinde uygulanması, farklılıklar sebebi ile oldukça sınırlıdır. Bu sebeple ya yeni metotlar geliştirilmeli yada farklılıkları giderecek gerekli modifikasyonlar yapıldıktan sonra bu metotlar uygulanmalıdır.

Geleneksel üretim sistemlerinde uygulanabilen yöntemler genellikle aynen alınıp, yeniden üretim ortamlarında kullanılamaz. Uygulanabilir teknikler de, sisteme göre değişecektir. Yeniden üretim ortamında karmaşıklığı artıran faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Gungor ve Gupta, 1998):

- i. Geri alım oranının belirsiz olması, malzeme planında yüksek oranda belirsizliğe sebep olur,
- ii. Geri alınan ürünün durumu, kontrol aşamasına kadar belirsizdir. Bu da rota ve tedarik zamanının stokastik olmasına sebep olur,
- iii. Parça eşleştirme problemi vardır,
- iv. Tedarik ve yeniden üretilmiş ürüne olan talep arasındaki eksik korelasyon problemi mevcuttur,
- v. Geri dönen ürünün miktarı ve zamanlaması konusundaki belirsizlikler vardır.

Tablo 1.2. Geleneksel ve Yeniden Üretim Ortamlarının Karşılaştırılması

Faktörler	Geri Kazanımlı Üretim Ortamı	Geleneksel Üretim Ortamı
<i>Çevresel odaklar</i>	*Üretim sonrası atıkların engellenmesine çalışır	*Çevresel duyarlı tasarım ve üretim, üretim öncesinde kirliliğin önlemesine odaklanılır
<i>Lojistik</i>	*İleri ve tersine akış *Dönüşlerin zamanlaması ve miktarı hakkında belirsizlikler *Tedarik yönetimli akışlar	*Açık ileri akış *Geri dönüş yoktur *Akışlar, talep yönetimidir
<i>Üretim Planlama ve Kontrol</i>	*Taleplerle dönüşlerin dengelenmesi ihtiyacı *Materyal geri alımındaki belirsizlik *Stokastik süreçler ve işlem zamanları *Üretim sistemleri üç temel bileşen içerir: demontaj, yeniden üretim ve yeniden montaj	*Talep-dönüş dengelenmesi ihtiyacı yoktur *Planlanan materyaller kesindir *Belirli rotalar ve daha durağan işleme zamanları *Üretim sistemi iki temel bileşen içerir: fabrikasyon ve montaj
<i>Tahminler</i>	*Çekirdeğe ulaşma ve nihai ürün talebi hakkında tahminler *Materyal geri dönüşüm oranları belirsiz olduğundan parça ihtiyacı tahminleri şarttır	*Sadece nihai ürün tahminleri *Parçalar için tahmine ihtiyaç yoktur
<i>Satın Alma</i>	*Değişken geri alım oranları sebebi ile yüksek oranda belirsiz materyal ihtiyaçları *Parçalar, bileşenler, yerine geçecek parçalar ve bileşenler satın alınır	*Materyal ihtiyacı deterministiktir *Hammadde, yeni parçalar ve bileşenler satın alınır
<i>Stok Kontrolü ve Yönetimi</i>	*Ele alınan kalemler: çekirdek, yeniden üretilmiş parçalar, yeni parçalar, ikame parçalar, orijinal ekipman, *Tüm parça tipleri için gerekli miktarı sağlamak ve izlemek gerekmektedir.	*Ele alınan kalemler: hammadde, süreç içi stok, nihai ürün *Sadece süreç içi ve nihai ürünler için gerekli miktarı sağlamak ve izlemek gerekmektedir

(Guide ve diğerleri, 2000)

Geri dönen ürünün tipine göre, Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi, opsiyonlar değişecek, üretim planlama zorluğu da buna göre karmaşık ve her opsiyon için farklı olacaktır (Fleischmann ve diğerleri, 1997). Bu opsiyonlar içinde en karmaşık durum ise, yeniden üretim (remanufacturing) aşamasında ortaya çıkar. Her ürün dönüşünde

farklı işlemlere ihtiyaç olması ve birçok bağımsız aktivitenin koordinasyonu gereksinimi, üretim planlamayı karmaşık hale getirir. Çoğu zaman, geleneksel üretimin tersine, iyi tanımlanmış ve belirlenmiş üretim adımları planı yapılamaz. Bu durumda yeniden üretim ortamı rotalama açısından da oldukça karmaşık olacaktır. Farklı parçaların ve alt montajların bağımsızlığı sebebi ile yüksek düzeyde koordinasyon gereklidir. Eğer birçok parça aynı işlemi gerektiriyorsa, kapasite probleminin ortaya çıkması olasıdır. Bu üretim ortamında ürün için uygun olan ve teknik olarak yapılabilir geri kazanım opsiyonunun seçimi, çizelgeleme, malzeme ihtiyaç planının üretim ortamına uygun hale getirilmesi, optimal demontaj çizelgesinin belirlenmesi konularından her biri, ayrıca ele alınması gereken konulardır. Literatürde daha çok geri kazanımlı üretim ortamlarında üretim planlama ile ilgili örnek olay çalışmaları bulunmaktadır. Çalışmalar birbirlerinden izole olarak yürütülmekte ve karşılaştırmalı çalışmalara pek rastlanmamaktadır (Fleischmann ve diğerleri, 1997).

Bu çalışmada ise yeniden üretimin olduğu ortamlarda üretim planlama ile ilgili kararlarda karşılaşılan malzeme ihtiyaç planlaması konusu ele alınacaktır. Üretim planlama kapsamında yer alabilecek konular (stok kontrolü, demontaj çizelgeleme, montaj/üretim çizelgeleme, kaynak planlaması, parça/malzeme satın alma kararları vb.) yeniden üretim ortamında karşımıza çıkan, ancak hepsinin aynı anda ele alınması karmaşık ve çözümü zor alan bir problemdir. Bu nedenle de bu çalışmada, yeniden üretim için malzeme ihtiyaç planlaması probleminin odağı olarak ele alınacak ve diğer kararların (demontaj ve montaj/üretim çizelgeleme, kapasite kontrolü, satın alma vb.) bu plana bağlı olarak gerçekleştirildiği üretim ortamı üzerinde çalışılacaktır.

1.4. Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Yeniden Üretim Ortamı

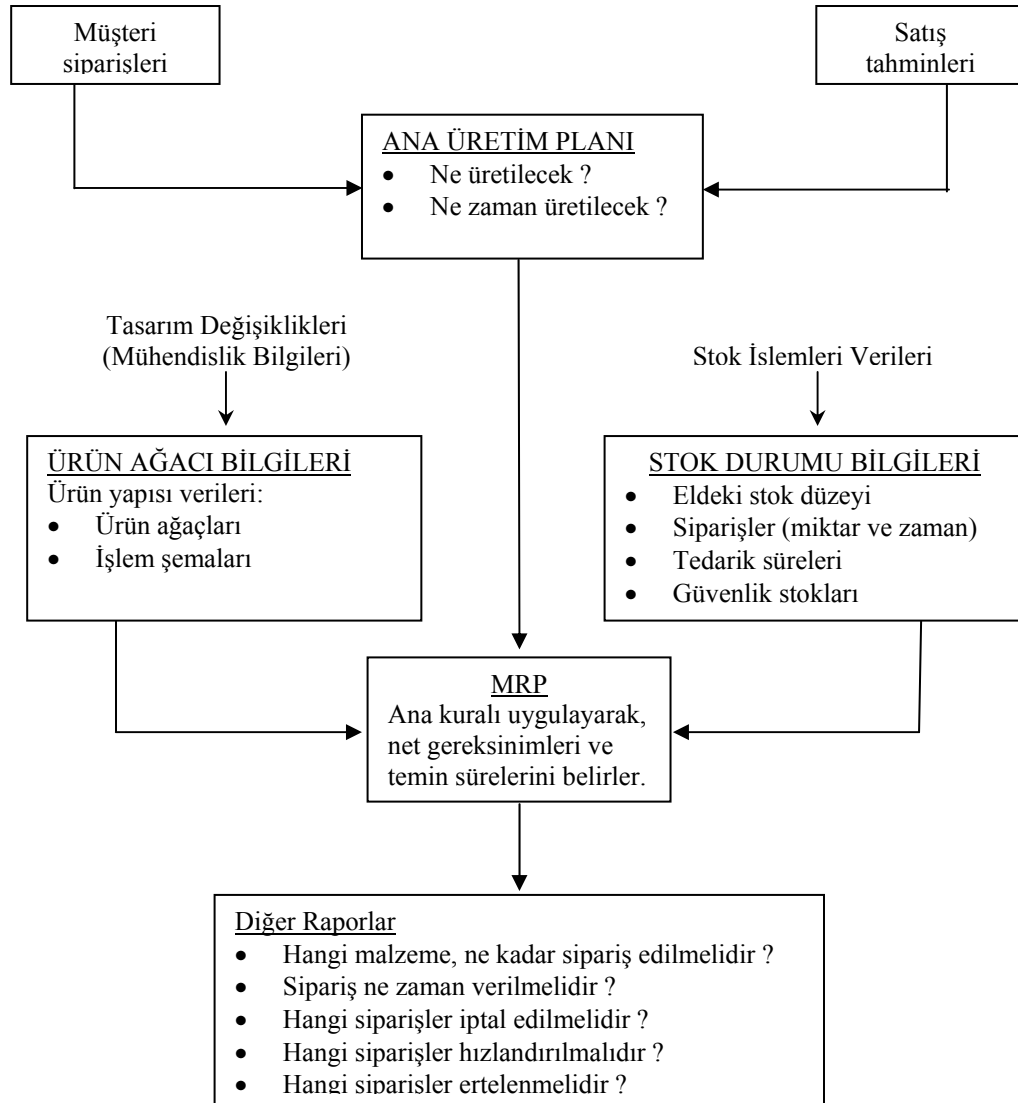
Üretim sistemlerinde gerçekleştirilecek üretim için gerekli siparişlerin verilme sistemlerini temelde iki ana grupta toplamak mümkündür (Acar, 2001):

- i. Stok kontrolüne dayalı sipariş verme sistemleri,
- ii. Üretim programına dayalı sipariş verme sistemleri.

Stok kontrolüne dayalı olan sipariş verme sistemlerinde amaç, seçilen yönteme ve stok düzeyine göre, envanterdeki kalemlerin yeterliliğinin sürekli olarak sağlanmasıdır. Bu yöntemde sipariş verme zamanı belirlenen stok düzeylerine göre, verilecek sipariş miktarı ise seçilen stok kontrol yöntemine göre değişecektir. Eldeki stok miktarı önceden belirlenen bir seviyeye düştüğünde (yeniden sipariş verme noktası), tedarik zamanını da göz önünde bulundurarak, her stok kalemi için gerekli sipariş verilecektir. Üretim programına bağlı olarak uygulanan sipariş verme sistemlerinde ise, malzeme ihtiyaç planlaması, eldeki stok miktarlarını ve brüt ihtiyaçları değerlendirerek net ihtiyaçları belirler ve bu ihtiyacı karşılayabilmek için, sipariş çizelgesi hazırlar. Malzeme ihtiyaç planlaması, özellikle bağımlı talep yapısı söz konusu iken kullanılır (Acar, 2001).

Malzeme ihtiyaç planı, ana üretim planına bağlı olarak çalışır. Ana üretim planında, her dönemde üretilecek ürün tipleri, üretim miktarları ve üretim zamanı belirlidir. Ana üretim planına ek olarak, her bir ürün için ürün yapılarını gösteren ürün ağaçları ve stok bilgileri, malzeme ihtiyaç planının çıkartılabilmesi için gereklidir. Bu girdileri kullanan malzeme ihtiyaç planları, sipariş raporları hazırlayarak üretim için gerekli malzemelerin ve bileşenlerin edinilmesini sağlar (Şekil 1.2.). Sistem, tüm stok kalemlerinin brüt ve net ihtiyaçlarını belirler ve gerçekçi bir stok yönetimine destek olur. Stok yönetiminde geçerli olan satınalma ve üretim emirleri ile, üretimin sorunsuz gerçekleşmesine yönelik çalışır. Malzeme ihtiyaç planlaması sistemi sipariş miktarlarını ihtiyaca göre belirlediğinden, ihtiyaçların zamanında ve tam olarak karşılanmasını sağladığından ve stok kalemleri bazında gelecek için bir bakış açısı oluşturduğundan dolayı, etkin bir stok yönetimi sağlar.

Malzeme ihtiyaç planında her bir kalem için net ihtiyaç, eldeki stok miktarına göre ve sipariş edilmiş ve gelecek olan miktar bilgileri de göz önüne alınarak hesaplanır. Standart bir MRP kaydı, Tablo 1.3.'te gösterildiği gibidir (tedarik süresi 2 periyot ve ihtiyaç kadar satın alma durumu geçerli iken).



Şekil 1.2. Malzeme İhtiyaç Planlaması (Acar, 2001: Miller ve Sprague, 1984'ten)

Tablo 1.3. Standart MRP Tablosu Örneği

A PARÇASI									
Hafta	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Brüt İhtiyaç			1000			1200			2400
Beklenen Sipariş Miktarı									
Eldeki Miktar	200	200	200	0	0	0	0	0	0
Net İhtiyaç			880			1200			2400

Planlanan Sipariş Miktarı	880			1200			2400		
----------------------------------	-----	--	--	------	--	--	------	--	--

Yeniden üretim ortamlarında malzeme ihtiyaç planlaması ise parça edinilebilecek daha fazla kaynak olması sebebi ile, yani hem daha önce satılmış ve tüketici tarafından kullanılmış ürünlerin kazanımı hem de yeni parça satın alma opsiyonları geçerli olduğundan ve özellikle geri kazanımda birçok belirsizlik söz konusu olduğundan, daha karmaşıktır ve geleneksel MRP yapısında bazı modifikasyonlara ihtiyaç duyulur. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar daha ayrıntılı olarak 2. Önceki Çalışmalar bölümünde incelenmiş ve 3. Materyal ve Metot bölümünde standart kayıt ile ilgili gerekli değişikliklerden bahsedilmiştir. Literatürde görülen çalışmalarda standart kayıtlar üzerinde yapılan en temel değişiklik “demontajdan gelen parçalar” için eklenen satırdır. Örneğin, üretim için gerekli parça ihtiyacının sadece demontaj ile gerçekleştirildiği basit yapıdaki bir ürün için Gupta ve Taleb (1994)’in örnek malzeme ihtiyaç planı, Tablo 1.4.’te göstermiştir.

Tablo 1.4. Örnek MRP Kaydı

Dönem	1	2	3	4	5	6	7
Brüt ihtiyaç							
Dış kaynaklardan çizelgelenmiş siparişler							
Demontajdan önce eldeki miktar							
Net ihtiyaç							
Demontajdan gelen çizelgelenmiş siparişler							
Demontajdan sonra eldeki miktar							

(Gupta ve Taleb, 1994)

Veerakamolmal ve Gupta (2000)’nin çalışmasında ise, demonte edilebilecek çekirdek sayısı belirli iken, parça ihtiyaçlarının önce demontajdan, daha sonra parça satın alarak karşılanmasına yönelik MRP kayıtları yer almaktadır. Ancak burada asıl yapılması gereken, bu iki alternatif arasında (demontajdan elde edilen parça ve yeni parça) maliyet etkinliği açısından karar vermek ve nihai ürünü üretebilmek için, hangi kaynaktan ne kadar kullanılacağını belirleyerek buna bağlı satınalma

kararlarını oluşturmaktır. Bu arada çekirdek yapılarının basit değil, parça ortaklığı içerecek şekilde olması da yine karar vermede karmaşıklığı artıran ve standart MRP kayıtları ile belirlenemeyen bir durum olmaktadır.

1.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma yeniden üretim ortamında, üretim ile ilgili taktik ve operasyonel kararların da buna bağlı olarak alınacağı malzeme ihtiyaç planının yapılmasına yöneliktir. Tersine lojistikteki ve ürün geri alınımındaki belirsizlikler sebebi ile malzeme planının sağlıklı yapılması, üretimin devamı açısından oldukça önemlidir. Daha önce de bahsedildiği gibi çekirdeklerin geri dönüş miktarları, zamanı ve kalitesi hakkında belirsizlikler söz konusudur. Geri dönen ürünlerin demontajı aşamasına gelindiğinde ise, demontaj süresi ve kazanım oranı, üretim ortamının modellenmesinde göz önünde bulundurulabilecek diğer özelliklerdir. Yeniden üretim aşamasında nihai ürün için gereken parça veya bileşenler için yeni parça/bileşen satın alma veya demontaja alınacak geri dönmüş ürün (çekirdek, core) alımı söz konusu olmaktadır. Bu değişkenleri ve kısıtları içeren bir yeniden üretim ortamında nihai ürünü üretebilmek için gerekli parçaların sağlanmasında gerçekleşecek maliyetleri hesaplayarak, alternatifler (çekirdek alma ve demontaj ile ve parça edinimi veya yeni -kullanılmamış- parça satın alma) arasından maliyet açısından en avantajlı olanının seçilmesi ve yeni parça veya çekirdek satın alma kararlarının verilebilmesi önemlidir. Bu çalışmada söz konusu problemin matematiksel programlama yardımı ile çözülmesi hedeflenmektedir.

Çalışmada ilk olarak yeniden üretim sistemi matematiksel olarak ifade edilmiş, değişkenlerin sürekli olduğu ve tamsayı olduğu durumlar için model çalıştırılmış, ardından yeniden üretim ortamında temel performans ölçütü olarak belirlenen *toplam maliyet* üzerinde etkili olacağı düşünülen faktörler belirlenerek, bu faktörlere bağlı olarak toplam maliyetin ve programın çözüm etkinliğinin ölçülmesi açısından da *göreceli uzaklık* ve *çalışma süresinin* nasıl değiştiği analiz edilmiştir.

1.6. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar

Yeniden üretim ortamında üretim planlamaya ilişkin alt problemlerin literatürde matematiksel modeller ile tanımlandıkları görülmektedir. Bu modellerin çözüm sürelerinin uzun olması sebebi ile veya farklı durumları da ekleyebilmek amacı ile simülasyon çalışmaları yapıldığı veya sezgisel algoritma geliştirerek etkinliğini ölçülmeye çalışıldığı yayınlar da bulunmaktadır. Bu çalışmada yapılan ise, yeniden üretim ortamı üretim planlamasında malzeme ihtiyaç planlamasına ilişkin modelin matematiksel olarak ifade edilmesidir. Ele alınması düşünülen sistemi tanımlayan varsayımlar 3. Metot bölümünde daha ayrıntılı olarak verilmiştir. Ancak üretim ortamının temel varsayımları, özellikleri ve modele girdi oluşturacak parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- i. Geri dönen kullanılmış ürünler (çekirdek) yeniden üretimde kullanılmaktadır,
- ii. Çekirdeklerin yeniden üretimde kullanılması için demontajı gerekmektedir,
- iii. Yeniden üretilen ürünler olan talep (veya dağılımları) bilinmektedir,
- iv. Yeniden üretilen ürünlerin ürün ağaç yapıları bilinmektedir,
- v. Kullanılmış ürünlerin geri dönüş zamanlaması ve miktarı konusunda belirsizlikler vardır (Guide (2000)'in çalışmasında işletmelerin %61.5'i dönüşlerin zamanını ve miktarını kontrol edemediklerini belirtmişlerdir),
- vi. Geri dönen ürünlerin ürün ağaç yapıları bilinmektedir,
- vii. Çekirdeklerin demontaj zamanı ve maliyeti bilinmektedir,
- viii. Geri dönen ürünlerin bazıları, ihtiyaç duyulmayan malzemelerdir, yani çekirdek eşleşmeme problemi söz konusudur (Ferrer ve Whybark, 2001),
- ix. Çekirdeklerin kalite düzeyi, demontaja veya yeniden üretime uygun olmayabilir. Bu durumda bunların uygun şekilde yok edilmesi söz konusu olacaktır,
- x. Yeniden üretimde kullanılacak çekirdek tedarikçiden edinilmektedir (Guide (2000)'e göre, çekirdekleri müşteriden doğrudan satın aldığını belirten işletme oranı %81.8'dir. İşletmelerin %9.2'si çekirdek alımını araçlardan,

%7.3'ü üçüncü parti ortaklardan, %1.7'si ise, üreticinin hasarlı bulduğu için yeniden üretime ayırdığı ürün stoğundan aldıklarını belirtmişlerdir),

- xi.* Geri dönen ürünlerin kaliteleri ile demontajdan sonraki kazanım oranları (MRR, Material Recovery Rate) bilinmelidir (Guide (2000)'in yaptığı çalışmaya göre MRR oranının hesaplanmasında işletmelerin %95'i basit ortalama kullanırken, %5'i daha karmaşık çoklu regrasyon modelleri kullanmaktadırlar),
- xii.* Tedarikçiden çekirdek alma esnasında maliyet ve tedarik zamanı belirlidir,
- xiii.* Yeni parça/malzeme satın alma esnasında tedarik zamanı ve maliyet belirlidir.

Model parametreleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- i.* Yeniden üretimin dönemlik talepleri veya dağılımları,
- ii.* Yeniden üretilen ürünlerin ürün ağaç yapıları,
- iii.* çekirdeklerin ürün ağaç yapıları,
- iv.* Geri dönüş miktarı (geri dönüşler, ürünün özelliğine göre satıştan belirli bir süre sonra ve satışın belirli bir oranı düzeyinde ele alınabilir (Ferrer ve Whybark, 2001),
- v.* Geri dönen ürünlerin demontaj zamanı,
- vi.* Geri dönen ürünlerin demontaj maliyeti,
- vii.* Yeni parça satın almadaki tedarik zamanı,
- viii.* Yeni parça satın alma maliyeti,
- ix.* Çekirdek satın almadaki tedarik zamanı,
- x.* Çekirdek satın alma maliyeti,
- xi.* Çekirdeklerin kalite düzeyi,
- xii.* Çekirdek demontajında kazanım oranı.

Yukarıda sıralanan kriterler dikkate alınarak yeniden üretim ortamında malzeme ihtiyaç planlaması ve buna bağlı olarak, sistemin amacını destekleyecek demontaj ve satın alma kararlarının verilmesi esnasında, değişik yaklaşımlar ile çözüm üretilebilir. Yeniden üretimin toplam maliyeti, stok düzeyleri, üretim tedarik

zamanı veya taleplerin karşılanma düzeyleri, tanımlanan özelliklere sahip yeniden üretim sistemi için kullanılabilecek performans ölçütleridir. Literatürde bu probleme optimal çözümü bulmak için analitik yaklaşımlar (çoğunlukla tamsayılı programlama) kullanılmıştır. Analitik yaklaşımın büyük çaplı problemlerde çözümünün zor olması sebebi ile destek olarak sezgisel algoritmaların veya simülasyon modellerinin kullanıldığı da görülmektedir.

1.7. Çalışmanın Adımları

Çalışma, aşağıdaki adımları izlemektedir:

- i. Probleme ilgili bilimsel yazın incelemesi gerçekleştirilmiş, varolan boşluklar değerlendirilmiştir.
- ii. Çalışmanın kısıtları, kriterler, varsayımlar ve performans değişkenleri belirlenmiştir.
- iii. İncelenen problem için matematiksel model ifade edilmiştir.
- iv. Farklı parametreler ile model çözülerek, üretim ortamındaki değişimler ve belirlenen performans ölçütlerinin durumu gözlenmiştir.
- v. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar ile özetlenmiştir.
- vi. Bu çalışmada ele alınmayan varsayımlar ve ek problemlere uygun çözüm yaklaşımları belirtilenmiş ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.8. Çalışmanın Özgün Katkısı

Literatürdeki ilgili çalışmaların genel özellikleri ile, bu çalışmanın kapsamı ve katkısı aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- i. Literatürde yeniden üretim ortamında stok kontrolü, çizelgeleme, demontaj çizelgeleme gibi alt alanlara ait çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak malzeme planlamaya ilişkin veya geleneksel malzeme planlama yöntemlerinde gerekli değişiklikler ile ilgili çalışmalar oldukça az ve birbirinden bağımsız olarak bulunmaktadır.

- ii. Çalışmalar, nihai ürün taleplerinin ürün ağacı yardımı ile parça ihtiyacının hesaplanması ile değil, doğrudan parça ihtiyaçları ile başlamaktadır. Bu çalışmada ise ilk olarak, dönemler bazında yeniden üretilmiş nihai ürün ve ürün ağaçlarına bağlı olarak parça ihtiyaçları belirlenmektedir.
- iii. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla sadece çekirdek demontajı ile parça ihtiyacı karşılanmakta, yeni parça satın alınmamakta ve sadece çekirdek demontaj kararı verilmektedir. Bu çalışmada ise, hem çekirdek demontajından elde edilen parçalar hem de yeni parça alımı söz konusu olmakta ve alternatifler maliyetleri açısından değerlendirilerek karar verilmektedir.
- iv. Ele alınan nihai ürün, çekirdek, parça sayısı ile planlama periyodu da literatürde gözlenen çalışmalardan daha kapsamlı olarak ele alınmıştır. Demonte parça ve yeni parça stokları, elde bulundurma maliyetleri farklı olacağından, ayrı olarak düşünülmüştür.
- v. Ele alınan sistemin gerçek üretim ortamlarına yakın olması açısından, çekirdek kalite düzeyi, demontajda kazanım oranı, yeni parça ve çekirdek için tedarik süreleri, başlangıç stokları, çekirdek yok etme durumları gibi karakteristikler de sisteme dahil edilmiştir.
- vi. Matematiksel modelin çözümünün gerçekleştirilmesinin yanında, yeniden üretim ortamında belirsizliği artırdığı bilinen faktörlerin etkisi de gözlenmek istendiğinden, faktörlerin belirlenen seviyeleri için deney seti oluşturulmuştur. Programlar çalıştırılarak belirlenen performans ölçütündeki değişimler kaydedilmiş, sonuçlar grafikler ve tablolar yardımı ile açıklanmıştır.

Gerçek durumu da yansıtabilecek özelliklere sahip bir yeniden üretim sisteminin, farklı faktörlerin de etkisi altında iken, malzeme ihtiyaç planlaması sürecinin nasıl işlediğini gösteren bu çalışmanın, literatürdeki az çalışılmış alanlardan biri olan, yeniden üretim ortamlarında malzeme planının çıkartılması konusundaki boşluğu doldurmada katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma esnasında konu ile ilgili makaleler taranmış ve yapılan çalışmaya ışık tutabilecek çalışmalar; tersine lojistik ile ilgili, tanımlayıcı anlamda yeniden üretim ile ilgili, yeniden üretim ortamında üretim planlama, demontaj ve MRP ile ilgili çalışmalar olmak üzere, farklı başlıklar altında özetlenmiştir.

2.1. Tersine Lojistik İle İlgili Çalışmalar

Fleischmann ve diğerleri (1997)'nin yaptığı çalışma, tersine lojistik alanlarını araştırmaya yöneliktir. Literatürde tersine lojistik ile ilgili niceliksel bazı çalışmalar bulunsa da, bunlara ilişkin genel bir çerçevenin çizilmediği görüşü savunulmakta ve çalışmada üç temel kapsamda -dağıtım planlama, stok kontrolü ve üretim planlama- çalışmalar incelenmektedir. Her bir alan için literatürde sunulan matematiksel modellerden bahsedilmekte ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

Tersine lojistik, kullanıcıya artık gerekmeyen kullanılmış ürünleri, pazarda yeniden kullanılabilir hale getirmek için gerekebilecek tüm lojistik faaliyetleri kapsamaktadır. Tersine lojistikte ilk adım, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel nakliyesidir. Sonraki adım, geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir. Bu durumda tersine lojistik aktiviteleri, üç başlık altında incelenebilir:

- i. Tersine dağıtım: Tersine dağıtımın, ileri dağıtımın simetrik bir resmi olması beklenemez. Aynı birimler görev alıyor olsa da, iki dağıtımda farklı fonksiyonlar olduğundan bu iki dağıtımın bütünleştirilmesinde ve rota belirlemede zorluklar olacaktır. Bu sebeple literatürdeki çalışmalar, tersine lojistiğin ayrıca modellenmesi ve iki dağıtımın bütünleştirilmesine yönelik çalışmalar olarak iki ayrı kısımda incelenmiştir.
- ii. Stok kontrolü: Ürün geri dönüşlerinin olduğu bir ortamda miktar, kalite ve zamanlama açısından dönüşleri kontrol etmek oldukça güç olduğundan, artan belirsizlik sebebi ile güvenilir planlar yapmak da oldukça zordur. Stok

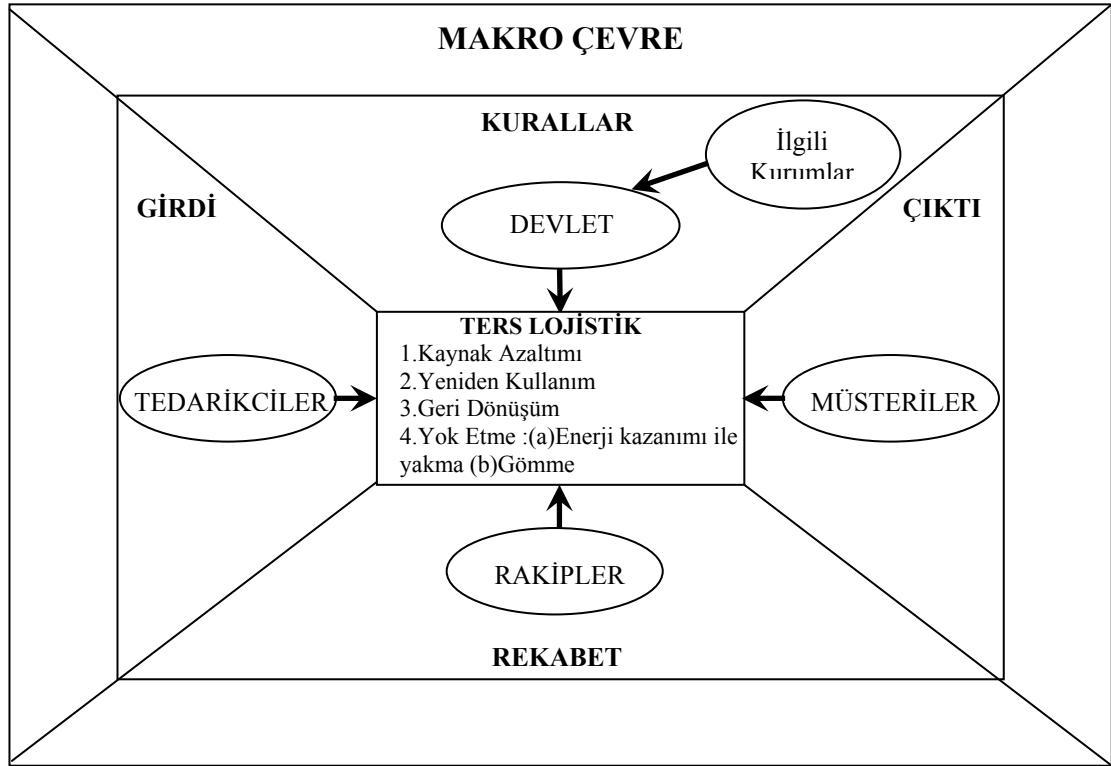
yönetiminin amacı, dışarıdan gelen siparişleri ve içsel geri alma süreçlerini kontrol ederek gerekli servis düzeyini sağlamak ve sabit ve değişken maliyetleri minimize etmektir. Bu konuya ilişkin çalışmalar da deterministik ve stokastik modeller olarak iki alt başlıkla incelenmiştir.

- iii. Üretim planlama: Geri alınan ürünün paketleme malzemesi, materyal geri dönüşümü, demontaj ürünü, yeniden üretim ürünü olmasına göre yapılacak işlemler ve işlemin karmaşıklık düzeyi değişecektir. Bu sebeple literatürdeki çalışmalar geri dönüş opsiyonlarına ait çalışmalar ve üretim ortamının çizelgelenmesine ait çalışmalar başlıkları ile ele alınmıştır. Ürün geri alma süreçlerinde MRP sistemi ve yeniden üretim ortamında kontrol, ele alınan diğer alt başlıklardır.

Carter ve Ellram (1998) çalışmalarında tersine lojistiği, firmaların geri dönüşüm, yeniden kullanım ve kullanılan materyalleri azaltma yolu ile çevresel olarak etkili oldukları bir süreç olarak tanımlamışlardır. Çalışma, lojistik personelinin tersine lojistikteki rolü açısından literatürü taramakta ve gelecekteki çalışmalara ışık tutabilecek şekilde literatürdeki boşlukları tanımlamaktadır. Carter ve Ellram, *tersine dağıtım*, yeniden kullanım, geri dönüşüm veya yok etme sonucu oluşan ürünün veya materyallerin geriye doğru olan hareketi; *tersine lojistiği*, kaynak azaltımını da içeren tersine dağıtım; *kaynak azaltımını* ise, daha etkin ileri ve tersine dağıtım sürecinde israfın minimizasyonu olarak tanımlamışlardır. Çalışmada tersine lojistik, nakliyenin rolü, paketleme ve edinim süreçleri ile ilgili literatür incelenmiş; yazarları, ele aldığı konular, literatüre katkıları ve çalışmada eksik olarak görülen ve gelecek çalışmalar için yol gösterici olabilecek hususlar belirtilmiştir. Firmaların tersine lojistik aktivitelerinin müşteriler, tedarikçiler, rakipler ve devlet daireleri olarak sıralanabilecek dört çevresel faktörden en az birinden doğrudan etkilendikleri belirtilmiştir. Şekil 2.1., iç ve dış faktörlerin tersine lojistik programlarını nasıl etkilediğini göstermektedir.

Şekil 2.1.'de gösterilen model, firmanın içinde bulunduğu ortamı dört kısımda ele almaktadır: girdi, kurallara uygunluk, çıktı ve rekabet. Bu çevreyi de kapsayan bir makro çevre genel sosyal, politik, yasal ve ekonomik şartları

belirleyecektir. Çalışmada bu alt çevrelerden hangisinin diğerlerine kıyasla firma üzerinde daha fazla etkili olduğu konusunda hipotezler oluşturulmuş, her bir durumun firma üzerindeki etkilerinden ve firmanın uygulaması gereken stratejilerden bahsedilmiştir.

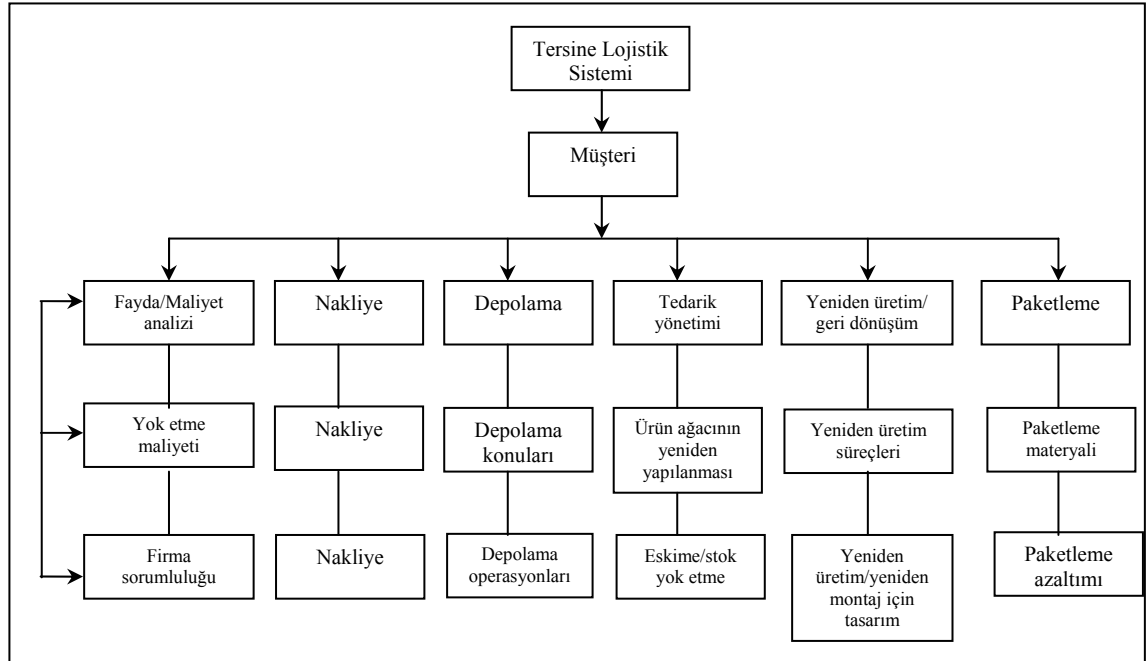


Şekil 2.1. Tersine Lojistik Faaliyetlerini Etkileyen Çevre Güçleri Modeli (Carter ve Ellram, 1998)

Gungor ve Gupta (1998), çevresel bilince sahip üretim ve ürün geri alımı hakkındaki çalışmalarında, dünyanın azalan kaynaklarına ve artan çevresel problemlere dikkat çekmiş ve çarpıcı örneklere yer vermişlerdir. Buna göre, ortalama bir Amerikan vatandaşı yılda yaklaşık 20 ton miktarında materyal, yine bir yılda 27 yıl boyunca biriktirilebilecek güneş enerjisi tutarında fosil yakıt tüketmektedir. Atıkların gömülebildiği alanlar 1985-1989 yılları arasında yarı yarıya azalmış ve azalmaya da hızla devam etmektedir. Bu ve benzeri örnekler, önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır. Çalışmada, Çevreye Duyarlı Üretim; Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assesment/Analysis, LCA), Çevre İçin Tasarım

(Design for Environment) konuları açısından değerlendirilmiş ve bu konuda yapılan çalışmalardan ve ilgili literatürden bahsedilmiştir. Ürün veya materyal geri kazanımının atıkların saklı ekonomik değeri, pazar ihtiyaçları ve kanunsal düzenlemeler sebepleri ile ilgi gördüğü belirtilmiştir. Çalışmada materyal ve ürünün geri kazanım süreçleri tanımlanmış, geri dönüşüm ve yeniden üretimde genellikle karşılaşılan, toplama ile ilgili, demontaj ile ilgili ve stok kontrol/üretim planlama ile ilgili problemlerden bahsedilmiştir.

Dowlatshahi (2000) çalışmasında, tersine lojistik hakkında varolan literatürü ve örnek olayları incelemiş, tersine lojistik sistemlerinin başarıyla uygulanması için stratejik ve operasyonel faktörlerden faydalanılması gerektiğini söylemiştir. Literatürü incelerken çalışmaları, tersine lojistikteki global kavramlar, kanitatif modeller, dağıtım, depolama ve nakliye, firma profilleri ve uygulamalar başlıkları altında ele almıştır. Tersine lojistikteki stratejik faktörler stratejik maliyetler, bütünsel kalite, müşteri hizmeti, çevresel kaygılar, yasal kaygılardan oluşur. Operasyonel faktörler ise, maliyet/fayda analizi, tedarik yönetimi, taşıma, yeniden üretim, depolama ve paketleme ile ilgili aktivitelerin düzenlenmesi ile ilgilidir. Bahsedilen altı iç faktörün yanında, bir dış faktörün de (müşteri) eklenmesi ile bu faktörlerin altındaki alanlar ve karar noktaları görülecektir. Bu şekilde tersine lojistik için oluşturulan çerçeve Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tersine Lojistiğin Operasyonel Faktörleri (Dowlatshahi, 2000)

Veerakamolmal ve Gupta (2000)'nın çalışmasında, tersine lojistik problemlerinin belirgin karakteristikleri olarak aşağıdakiler sıralanmıştır:

- i. **Tedarik/talep dengeleme:** Tahmin edilmesi en zor değişkenlerden biri, geri dönen ürünlerin planlama dönemi boyunca dağılımıdır. Ürünlerin pazardaki başarısı ve rakip ürünlere bağlı olarak çok farklı talep/tedarik yapılarıyla karşılaşmak olasıdır.
- ii. **Artışlar:** Bazı bileşenler için beklenmeyen pazar talebi sebebi ile, belirli tip ürünlerin miktarında artış olacaktır
- iii. **Lojistik ağı:** Tersine lojistik tedarik zinciri ortamında, üç farklı birimin olması olasıdır: montaj fabrikası, demontaj fabrikası ve geri dönüşüm fabrikası. Operasyonlar, bu üç birimi kapsayacak şekilde geniş bir perspektiften planlanmalıdır.
- iv. **Nakliye:** Fabrika yerleşim kararı, hammaddelerin taşıma maliyetlerinden etkilendiği gibi, geri dönüş maliyetlerini de göz önüne almalıdır.

Tersine lojistikte ilgilenilen problemler ise;

- i. ekonomik problemler,
- ii. çevresel problemler,
- iii. operasyonel problemler

olarak tanımlanabilir. Operasyonel problemler, “talep edilen parçaların demontajı için kaç makine gerekli?”, “en ekonomik makine hangisi olacaktır?”, “eğer mevcut pazar değeri, parçaların toplamından daha fazla ise ürün sökülmesi midir?” gibi sorular soracaktır. Bu çalışmanın amacı da, üreticilerin yeniden üretim için kullanılabilir ürünler sağlamanın en maliyet etkin yolunu bulacak modeli geliştirmektir.

Rogers ve Tibben-Lembke (2001), çalışmalarında tersine lojistiği tanımlamışlar ve uygulamalarda karşılaşılan engelleri tanımlamak amacı ile uygulayıcılarla görüşmeler yapmışlardır. Araştırma grubu, 150’den fazla yönetici ile görüşmüştür. Araştırmaya katılan firmalar üreticiler, toptancılar, perakendeciler ve hizmet firmalarıdır. Cevaplayıcılar, uyguladıkları tersine lojistik sürecinin,

- i. yeniden üretim
- ii. ürün yenileştirme
- iii. geri dönüşüm
- iv. gömme
- v. yeniden paketleme
- vi. dönüş süreçleri
- vii. kurtarma (salvage)

fonksiyonlarını içerdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada firmaların tersine lojistik süreçlerinin ne kadar ılımlı veya tutucu olduğu, firmaların ürün geri alma sebepleri, geri alınan ürünlerin nasıl değerlendirildiği ve tersine lojistik uygulamalarında karşılaşılan engeller tanımlanmıştır.

Brito ve diğerleri (2002) çalışmalarında tersine lojistik uygulamalarını tanımlayan ve tartışan bilimsel literatürü incelemişlerdir. Çalışmada, Science Citation ve ABI/Inform online kütüphanesinde, ilgili elkitapları ve konferans kitapları 2001 yılına kadar, farklı anahtar kelimeler ile taranmıştır. Altmıştan fazla çalışma ele alınmış ve çalışmalar geleneksel tedarik zinciri yönetimi sınıflandırma

perspektifine göre firmaların stratejik, taktik ve operasyonel düzeydeki konuları şeklinde ele alınmıştır. Stratejik düzeyde, firmalar ürün geri kazanım ağı hakkında düzenlemeler yapmalıdırlar. Taktik düzeyde, ortaklarla ilişkiler geliştirilmelidir. Operasyonel düzeyde ise stokların yönetilmesi ve kontrolü, geri kazanım aktiviteleri gibi konulardan bahsedilmiştir. Bilişim ve haberleşme teknolojisi bu alanda önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma bu alanlar için karar alma odaklı olarak ağ yapıları, ortaklarla ilişkiler, stok yönetimi, planlama ve kontrol konularında yapılmış çalışmaları incelemiştir.

Lourenço ve Soto (2002), firma ortaklığı ve tersine lojistik konularını içeren orta dönemlik bir üretim planlama modeli üzerinde çalışmışlardır. Tersine lojistik aktivitelerini aşağıda sıralanan dört farklı alanda incelemişlerdir:

- i. Yerleşim teorisi ve lojistik ağı tasarımı,
- ii. Stok kontrolü ve yeniden üretim,
- iii. Geri alma/iyileştirme için MRP,
- iv. Tersine lojistik ve e-ticaret.

Çalışmada, üretim ortamı için toplu üretim planı tanımlanmış, ardından aynı model yeniden üretim süreci için geri dönüşlere uygun olacak şekilde düzenlenmiştir. Modelin performansını analiz etmek için simülasyon uygulanmıştır.

Tibben-Lembke ve Rogers (2002) çalışmalarında, perakende ortamında ileri ve tersine lojistiği, ürünün tersine akışına odaklanarak karşılaştırmışlardır. Tersine akışta geri dönen ürünlerin bir kaynağı da, satın aldıktan sonra tüketicinin ürünü geri vermesidir. Perakendecilerin bölgesinde ürünler toplandıktan sonra nerede satılacağına (yeniden üretim, tedarikçiye dönüş gibi) karar verilir. Çalışmada perakende tersine lojistik, yeniden üretim için materyal tedarikçisi olan perakendeci bakış açısı ile değerlendirilmiştir. Tersine lojistik ağlarının, akışın kaynağına bağlı olarak,

- i. Katalog/e-ticaret müşteri dönüşleri,
- ii. Perakende müşteri dönüşleri,
- iii. Perakendeci dönüşleri,
- iv. Tedarikçiye üretim dönüşleri

başlıkları altında incelenebileceği belirtilmiştir. Farklılıklar ise, ürünlerin nereye gönderileceğine bağlı olarak ortaya çıkacaktır:

- i. Tedarikçiye dönüş,
- ii. Fabrika satış mağazası yoluyla yeniden satış, olduğu gibi veya yeniden biçimlendirilerek aracıya gönderilmesi,
- iii. Dernekler/kurumlara bağış,
- iv. Geri kazanım veya gömme yolu ile yok etme.

Çalışmada, firmanın tedarik zincirindeki yerinin öneminden de bahsedilmiştir. Firmanın tedarik zincirindeki pozisyonu, firmanın karşılaşacağı tersine lojistik problemlerinin büyüklüğünü ve kapsamını da etkileyecektir. Firma son tüketiciye ne kadar yakınsa, tersine lojistik konularının kapsamı da o kadar büyük olacaktır. Perakendeci de müşteri ile doğrudan ilişkili olduğundan, tedarikçisine kıyasla geri dönüş kapsamı da geniş olacaktır. Bu sebeple çalışmada perakendeci bakış açısından ileri ve tersine lojistiğin farklılıkları ürün ve paket kalitesi, nakliye şekli, fiyatlama, maliyetler, stok kontrolü gibi açılardan karşılaştırılmıştır.

Schulmann ve diğerleri (2006), otomobillerde ömür sonuna gelmiş plastik bileşenleri için, tabu araması ile tersine lojistik ağı ve araç rotalama yaptıkları çalışmalarında, “kapalı çevrimli tedarik zinciri”ni, ürünün kullanım aşaması (servis, bakım vb.) ve yaşam sonrası aşaması (ürün kazanımı, geri dönüşüm vb.) ile tedarik zincirinin genişletilmesi olarak tanımlamışlardır. Yazarlar, bu kapsam genişlemesinin firmalar açısından iki temel motivasyonu olduğundan bahsetmişlerdir: kar odaklı motivasyonlar ve yasal motivasyonlar. Ürünün yeniden karlı bir şekilde satılabilecek olması, firmaları ürünleri toplama, iyileştirme ve yeniden satma konusunda motive eder. Özellikle tüketici pazarı farklı talep düzeylerine ayrıldığında (yeni teknoloji/yüksek fiyat, mevcut teknoloji/ortalama fiyat, geleneksel teknoloji düzeyi/düşük fiyat), ürünü toplama ve yeniden satma daha etkin bir şekilde yürütülebilmektedir. Ürün geri alımının ve değerlendirmenin karlı olması dışındaki motivasyonu, yasal gereklilikleri yerine getirmektir. Avrupa’daki yasaların yerine getirilmesi için artan baskı sebebi ile ürünlerin ters yöndeki akışı daha önemli bir hal almıştır. Özellikle kağıt, metal gibi bazı endüstrilerde geri dönüşüm konusu, bazı

endüstrilerde de (elektrik elektronik, otomotiv, pil vb.) ürünlerin toplanması ve geri kazanımı konularında yüksek çevresel standartlar geçerlidir. Bu durumda yüksek kar edinimi söz konusu olmasa bile, kapalı çevrimli tedarik süreçleri yürütülmektedir. Çalışmada motivasyonlar konusundan sonra, Almanya'daki geri dönüştürülebilir ve ürün ömrü sonuna gelmiş plastikler için mevcut durumdan bahsedilmiş ve ağ tasarımı ile araç rotalama konusunda geliştirilen matematiksel model, tabu arama yöntemi ile farklı senaryolar denenmiştir.

Webster ve Mitra (2007), ürün geri alımı yasal düzenlemeleri ile ilgili farklı iki uygulamayı ve geri alım yasasının olmadığı durumu yorumlayabilmek için genel maliyet modeli tanımlamışlardır. Geri alım yasası ile ilgili iki uygulama, bireysel ve kolektif halde uygulanabilen WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) yasasıdır. Bireysel uygulanan durumda, üretici firma geri alma sorumluluğunu (bir toplama birimi ile anlaşarak) üstlenmektedir. Detaylar firma tarafından belirlenir, ürünün miktarından ve fiyatından da gene firma sorumludur. Kolektif uygulamada ise hükümet toplama işleminden sorumludur, üretici firma toplama birimi ve yeniden üretici arasındaki ilişkide etkili değildir. Benzer şekilde ürünün fiyat ve miktarı üzerinde de üreticinin bir söz hakkı yoktur. Çalışmada bu iki durumla birlikte, yasal zorunluluğun olmadığı duruma ilişkin model oluşturulmuş ve iki periyotluk dönem için maliyetlerin farklı seviyeleri ve farklı ürün fiyatları için sonuçlar elde edilmiştir.

2.2. Yeniden Üretim İle İlgili Tanımlayıcı Çalışmalar

Jayaraman ve diğerleri (1999) çalışmalarında yeniden üretim ortamlarını kapalı çevrimli bir sitem olarak tanımlamış ve tersine dağıtım ağı tasarımında başlangıç noktası olacak deterministik bir model geliştirilmişlerdir. Tersine lojistik ağı, müşteri tarafından yönlendirilen bir ağ olarak düşünülmektedir, çünkü işletmenin yeniden üretim yapabilmesi için müşterinin, ürünü geri vermeye istekli olması gerekmektedir. Yeniden üretimin müşteri yönetimli ağ olması, zaman, miktar ve ürünün durumu konusunda belirsizliğe sebep olur. Çalışmada kaç fabrika açılması gerektiği, bu merkezlerin nerede açılacağı, taleplerin merkezlere nasıl dağıtılacağı sorularına cevap veren bir matematiksel yerleşim modeli tasarlanmıştır.

Guide ve Jayaraman (2000) çalışmalarında, tersine lojistik ile üretim planlama ve kontrol aktiviteleri arasında bir arayüz sağlamak, bunu koordine etmek ve izlemek amacı ile Ürün Kazanım Yönetimi (PrAM – Product Acquisition Management) için bir temel oluşturmayı hedeflemişlerdir. Daha önce yeniden üretim yapan işletmeler üzerinde yapılmış iki çalışmaya (Guide, 1999; Nasr ve diğerleri, 1998) değinerek, operasyonların planlanması ve kontrolü ile üretimde, geleneksel üretim ortamlarına kıyasla önemli farklılıklar bulunduğundan bahsetmişlerdir. Yazarlar, yeniden üretim işletmelerinde planlama ve kontrolü karmaşıklaştıran karakteristikleri Guide ve diğerleri (2000)’ne bağlı olarak aşağıdaki şekilde sıralamışlardır:

- i. Dönüşlerin zamanının ve ürünlerin kalitesinin belirsiz olması,
- ii. Talep ve dönüşlerin dengelenmesi gerekliliği,
- iii. Geri dönen ürünlerden materyal kazanım belirsizliği,
- iv. Tersine lojistik ağına olan gereksinim,
- v. Malzeme eşleştirme kısıtlarının karmaşıklığı,
- vi. Geri dönen ürünlerin demontajının gerekliliği,
- vii. Yeniden üretim operasyonlarında materyaller için stokastik rota problemi ve yüksek oranda belirsiz işlem zamanları.

Çalışma, yeniden üretim yapan işletmelerin tanımlanması açısından oldukça önemlidir. Yazarlar, yukarıda bahsedilen özelliklerden ilk beşi üzerinde durmuşlardır. Kuzey Amerika’daki yeniden üretim yapan işletmeler ile görüşülmüş ve 75 soruluk bir anket üzerinden araştırma gerçekleştirilmiştir. İşletmeler ortalama olarak, 1400’den fazla ürün ve 50000 parça tipi üzerinde çalıştıklarını belirtmişlerdir. Yeniden üretim yapan işletmelerin çoğunluğu (%80) stok için üretim, sipariş için üretim ve sipariş için montaj stratejilerinin bir karışımını uyguladıklarını belirtmişlerdir.

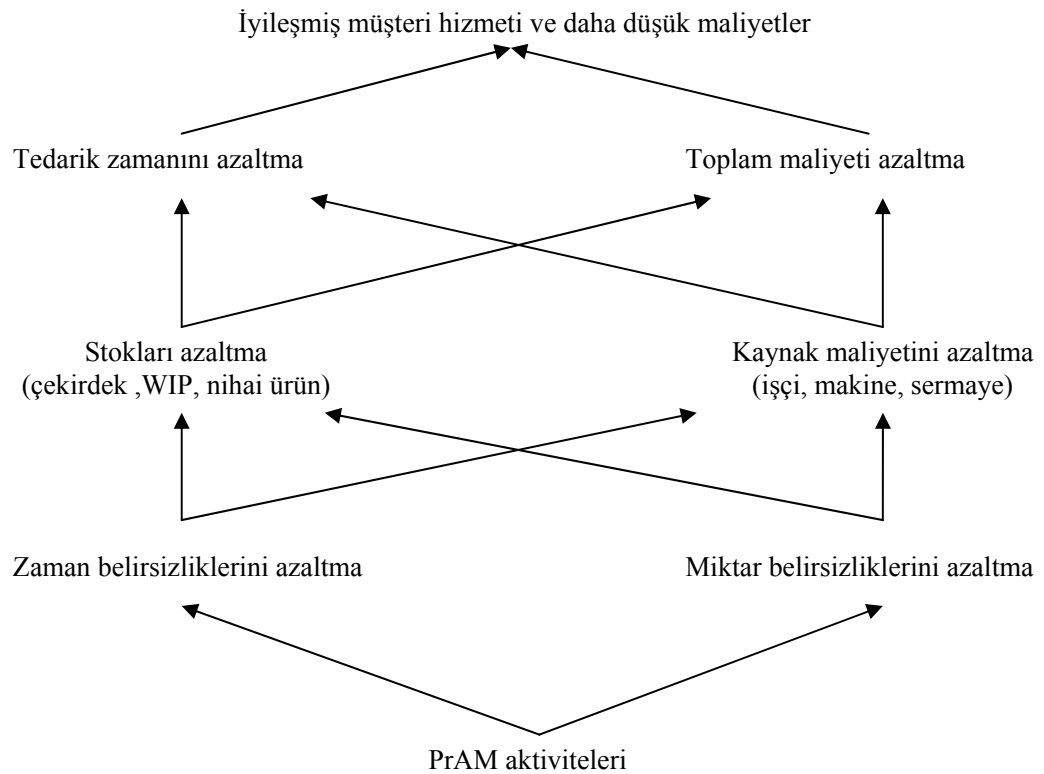
Yeniden üretim işletmelerinin yürütmek durumunda oldukları faaliyetleri beş kategori altında toplamak mümkündür: (1)çekirdek edinim, (2)dönüş tahmini, (3)dönüşlerin talep ile dengelenmesi, (4)kaynak planlama ve (5)dönüşlerdeki belirsizliklerin azaltılması için stratejiler. Çekirdek edinimde işletmelerin

başvurdukları kaynaklardan ve belirsizlik durumundan bir sonraki başlıkta ele alınan Guide (2000)'ın çalışmasında bahsedilmiştir. Diğer konularda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i. Ürün geri dönüşlerinin tahmini ve talep ile eşleştirme konusunda işletmelerin yarısının uğraştıkları görülmüştür. İşletmelerin üçte biri, sadece gerçek talep oranları üzerine üretim yaptıklarını, talep tahminine göre hareket etmediklerini belirtmişlerdir. Çekirdek ediniminde sadece talep temelli çalışan bu işletmeler, tedarik zamanı ve talep belirsizliklerini tamponlamak için süreç içi stok bulundurduklarını ifade etmişlerdir.
- ii. İşletmeler, biriken fazla çekirdek stoğu olması durumunda parçaları yedek parça olarak kullanma (%5), depolarda tutma (%22.7), diğer yeniden üretim işletmeleri ile iletişime geçme (%10) ve hurda satıcıları ile iletişime geçme (%41) yöntemlerini uygulamaktadırlar.
- iii. Çekirdeklerin stok kontrolünde, elde bulundurma maliyeti açısından işletmelerin %40'ı sabit elde bulundurma maliyeti kullandıklarını ve çekirdeği satın aldıkları fiyatın %5-%20'sini, elde bulundurma maliyeti olarak belirlediklerini belirtmişlerdir.
- iv. Geri dönen ürünlerden malzeme kazanım oranı ortalama olarak %63.8 olmasına rağmen bu değer, %19.1 ile %81.9 arasında değişmektedir. Malzeme kazanım oranı, satın alma parti büyüklüğü ve yeniden üretim parti büyüklüğünü etkileyeceğinden, malzeme ihtiyaç planlamasında önemli bir rolü vardır.
- v. Satın almalarda tedarik zamanı, 0.20 hafta ile 360 hafta arasında, oldukça geniş bir aralıkta bildirilmiştir.
- vi. Satın alma parti büyüklüklerinin belirlenmesinde işletmeler, birden çok tekniği kullandıklarını belirtmişlerdir. En çok kullanılan teknikler, %56.4 oranı ile (geçmiş talep yapıları, fiyat kırma noktaları ve servis düzeyi gerekliliklerinin dikkate alınabildiği) dinamik parti büyüklüğü belirleme kuralları, %53.8 oranı ile gerektiğinde sipariş (lot-for-lot) kuralı, %20 oranı ile sabit parti büyüklüğü kuralı olmaktadır.

- vii. İşletmelerin büyük bir oranı (%76) kaynak planlamada MRP planlarının uyarlanmış bir formunu kullandıklarını belirtmişlerdir. Ancak bu işletmelerin yarısından daha azı iş merkezi planlama, kapasite veya işgücü planlaması için MRP veya geleneksel bir planlama sistemi kullandıklarını söylemişlerdir. Bunun sebebi de, 16 haftadan, hatta bazı durumlarda 4 haftadan daha kısa bir planlama dönemine sahip olmalarıdır. Planlanan iş yüklerinin görüş uzaklığının olmaması, kaynak planlamasının gerçekçi olmamasına sebep olmaktadır.

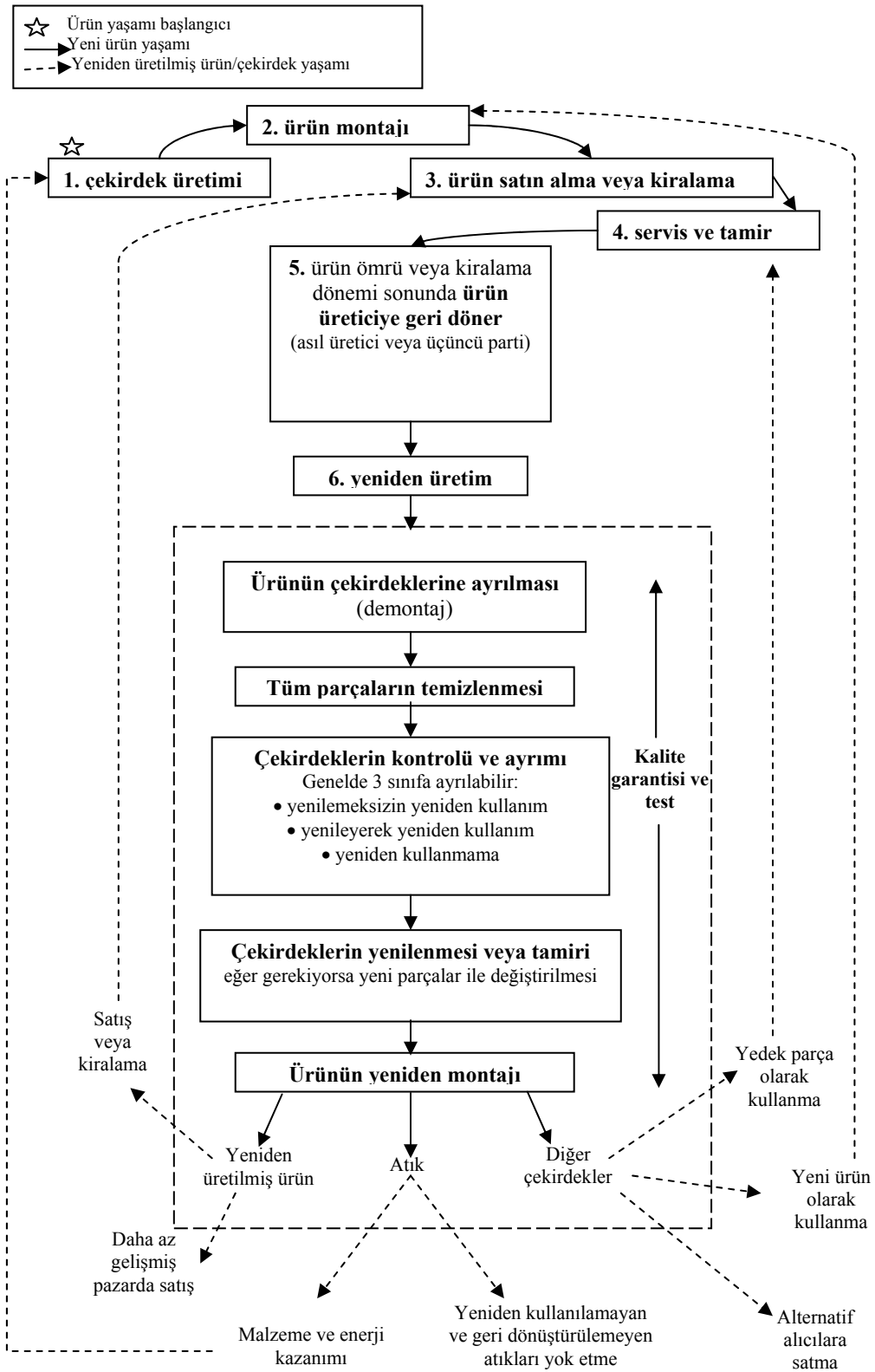
Çalışmada, PrAM faaliyetlerinin iyileştirilmesi, belirsizliklerinin azaltılması ve işletmelerde fonksiyonlar arası ilişkilerin iyileştirilmesi ile maliyet açısından daha etkin olunacağı ve müşteri hizmetinin de iyileşeceği belirtilmiştir. Şekil 2.3., bu durumu göstermektedir.



Şekil 2.3. PrAM ve Etkileri (Guide ve Jayaraman, 2000)

Kerr ve Ryan (2001), Xerox örneğini incelemiş ve yeniden üretime çevresel faydaları açısından yaklaşmıştır. Yazarlara göre sürdürülebilir üretim ve tüketim sadece, ömrü sonuna gelmiş bir ürünün (EOL-end of life) atıklarından, kaynakların geri kazanılabildiği kapalı bir döngü sistemi ile mümkündür. Bu kapalı döngü sistemi ile yeniden üretilmiş ürün ve bileşenler prensipte, yeni ürünler ile aynı fonksiyonları yerine getirebilirler ve aynı kalite düzeyindedirler. Yeniden üretim, geri kazanılmış EOL parçaları kullanarak, ürün ve bileşenlerin üretimlerinin ve yok edilmelerinin çevresel ve ekonomik maliyetini azaltabilir. Yeniden üretim sistemleri, ürün yükseltme (upgrade) yaparak, ürünün yaşamını uzatabilir ve çevreye daha az zarar verici teknoloji içermesini sağlayabilir. Bir işletme müşterilere yeniden üretilmiş ürün sağlayarak, aynı servis düzeyini daha az kaynak kullanarak sunabilir. Yazarlar yeniden üretim sürecin, Şekil 2.4.’teki gibi açıklamışlardır. Çalışmada daha sonra, yeniden üretilen ve üretilmeyen Xerox ürünleri üzerinde incelemeler yapılmış ve süreçlerdeki kazanım oranları hakkında bilgi verilmiştir.

Parkinson ve Thompson (2003)’un yaptığı ve EOL ürünler için opsiyonların tanımlanması ve açıklanması üzerinde duran çalışmada, her bir opsiyonun tanımı yapılmış ve özellikle de yeniden üretim ve ürün yenileme (refurbishing) arasındaki farklılığa odaklanılmıştır. Her ikisinde de benzer süreçlerin kullanılıyor olması bu iki opsiyon arasında benzerlik oluştursa da, temel ayrımın hedeflenen kalite düzeyi ile ilgili olduğu söylenebilir. Yeniden üretimde *AGAN* (yenisi kadar iyi, as good as new) prensibi geçerli iken, ürün yenilemede *istenildiği veya gerektiği kadar iyi* bir kalite düzeyi hedeflenmektedir. Çalışmada, yeniden üretim yapan yedi işletme ile görüşmelerden elde edilen verilerin ışığında, işletmelere önerilerde bulunulmuştur.



Şekil 2.4. Yeniden Üretim Süreci (Kerr ve Ryan, 2001)

Mitra (2007) cep telefonu endüstrisi üzerinde yaptığı çalışmasında, kazanç (kar) yönetimi üzerinde durmuştur. Geri kazanılmış ürünlerin farklı kalite düzeyleri ve farklı satış fiyatları için karı maksimize etmek amacı ile fiyatlama modeli geliştirmiştir. Ürünlerin yeniden üretildiği durumda, yeni bir ürünle aynı kalite düzeyi söz konusudur. Ancak yenilenmiş ürünler, daha az kaliteli olarak görülebilir. Çalışmada yeniden üretilmiş ürünün, yenilenmiş ürün fiyatına satılabileceği ve satılamamış yenilenmiş ürünün yok etme maliyetine katlanılarak yok edileceği varsayılmıştır. Toplam karı maksimize edebilecek matematiksel bir fiyatlama modeli geliştirilmiş ve farklı ürün fiyatları ile ürünlerin ulaşılabilirlik seviyeleri için model çalıştırılarak, firmanın kazancı değerlendirilmiştir.

Seitz (2007), otomotiv endüstrisini ürün geri kazanımına iten faktörleri incelemiştir. Otomotiv sektöründe geri dönüşüm, tamir, yenileme ve yeniden üretim birçok tip ürün kazanım işlemi bulunmaktadır. Bu çalışma ise bu işlemlerden yeniden üretime odaklanmıştır. Otomotiv sektörü yeniden üretimi ilk uygulayan sektörlerden biri olmasına rağmen, literatürde bu konuda yeterince araştırma bulunmamaktadır. Çalışma, üç yıllık bir araştırma projesine dayanmaktadır. Bu süreçte yüzden fazla işletme incelenmiş ve örnek olarak seçilen beş işletmede de farklı fonksiyonel düzeylerden gelen otuz kişi ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Literatürde, firmaları yeniden üretime iten motivasyonlar, üç temel başlık altında gösterilmektedir:

- i. Ahlaki ve etik sorumluluk, sosyal sorumluluk, üretici sorumluluğu gibi konular,
- ii. Çevre ile ilgili çıkartılan yasalar,
- iii. Ekonomik ve çevresel olarak yeniden üretimin karlı olması, işletmeler için kazan-kazandır stratejisi.

Araştırma ve görüşmeler sonucu görülmüştür ki;

- i. Açık uçlu ve yönlendirici olmayan araştırma sorularında hiçbir cevaplayıcı “etik sebepler, yeşil tüketim, yeşil pazarlama, çevresel sorumluluk, toplum baskısı” gibi kavramları, motivasyon faktörü olarak göstermemiştir. Buna ek olarak sorulan sorularda cevaplayıcılar çevresel sorumluluk için bir toplum

baskısı görmediklerini belirtmişlerdir. Bu sebeple, diğer sektörler için geçerli olsa bile, en azından görüşmenin gerçekleştirildiği otomotiv sektörüne ait örnek işletmelerde etik veya ahlaki motivasyonların, işletmenin yeniden üretimi için önemli bir faktör olmadığı söylenebilir.

- ii. Araştırma süresince edinilen bilgilere göre, uzun kazanımı hakkındaki yasaların ve yeniden üretim sektörünün sağladığı ekolojik fayda arasında doğrudan bir etki olmadığı söylenebilir. Bu durum farklı ürünler ve farklı sektörler için farklı olabileceğinden, araştırmalara devam edilmesi gerekmektedir.
- iii. Yeniden üretimin karlılığı söz konusu olduğunda, bağımsız yeniden üretim sektörünü ve orijinal ekipman üreticilerinin (OEM) yeniden üretim sürecini ayrı tutmak gerekmektedir. Bağımsız yeniden üreticiler için süreç karlıdır ve temel motivasyon sebebidir. Ancak ikinci grup için önemli bir motivasyon faktörü olarak görülmemesinin yanında, çekirdek edinimi için rekabet olması, yeni parçaların pahalı olması, yüksek işçilik maliyetleri gibi sebeplerle, karlılık durumu da değişebilmektedir.

Çalışmada, görüşmeler sırasında fark edilen ve yeni tanımlanan bazı motivasyon faktörlerinden de bahsedilmiştir:

- i. Satış sonrası sebepler, yedek parça tedarikini sağlamak.
- ii. Pazar payı ve markanın korunması, diğer üreticilerin bu ürünleri ele geçirmesini ve kullanmasını engellemek.
- iii. Müşteri odaklılık, mantıklı bir süreç boyunca yedek parçayı uygun fiyata ve istenen süre içinde sağlayabilmek.

2.3. Yeniden Üretim Ortamlarında Üretim Planlama

Guide ve Spencer (1997)'e göre, yeniden üretimin planlama ve kontrol fonksiyonlarının yönetimindeki önemli problemler örnek olay çalışmalarında ve ticari yayınlarda tanımlanmıştır, ancak bu problemleri inceleyen neredeyse hiç akademik çalışma bulunmamaktadır. Yeniden üretimde üretim planlama ve kontrol sistemlerinin (örneğin MRP, JIT) kullanımı veya performansını test eden herhangi

bir çalışma da bulunmamaktadır. Bu kapsamda yazarlar, diğer makalelerde de oldukça atıfta bulunulan Krupp (1993) ve Panisset (1998)'in çalışmasından bahsetmişlerdir. Krupp çalışmasında otomobil yeniden üretiminde ürün ağaçları yapısında gereken modifikasyonları tanımlamış, Panisset ise bir işletmede yeniden üretimi planlamak ve kontrol etmek için MRP sisteminde ihtiyaç duyulan düzenlemeleri incelemiştir.

Çalışmada yakın gelecekte yeniden üretimin yaygınlığının artışı ile birlikte, etkin üretim planlamasına olan ihtiyacın da artacağı belirtilmiştir. Yeniden üretim ortamının planlama ve kontrolünde MRP'nin etkin olabilmesi için bazı düzenlemelerin yapılmasına ihtiyaç vardır. Yeniden üretimde işletmeler birçok zorlaştırıcı ve karmaşıktırıcı faktör ile karşılaşmakta ve bu da üretim planlama ve kontrolünde kullanılan geleneksel araçlarda gerekli değişiklikleri yapmadıkça, yeniden üretimde kullanımlarını imkansız kılmaktadır. Çalışmada bahsedilen karmaşıktırıcı faktörler belirsiz rotalama dosyaları, belirsiz materyal yenileme ve gerekli operasyonlar için yüksek oranda değişken işlem zamanlarıdır.

Guide ve diğerleri (1997)'nin de çalışmalarında belirttiği gibi yeniden üretimde planlama ve kontrol fonksiyonlarının yönetimindeki önemli problemler, olay çalışmaları ve ticari yayınlarda tanımlanmasına rağmen, bu problemleri inceleyen neredeyse hiç çalışma bulunmamaktadır. Genelde bahsedilen anahtar problemler, stok kontrolü, üretim ortamı çizelgeleme ve kapasite planlamadır. Yeniden üretimde üretim planlama ve kontrol sistemlerinin (örneğin MRP veya JIT) kullanımını veya performansını araştıran çalışmalara rastlanmamıştır (Wassweiler, 1993)

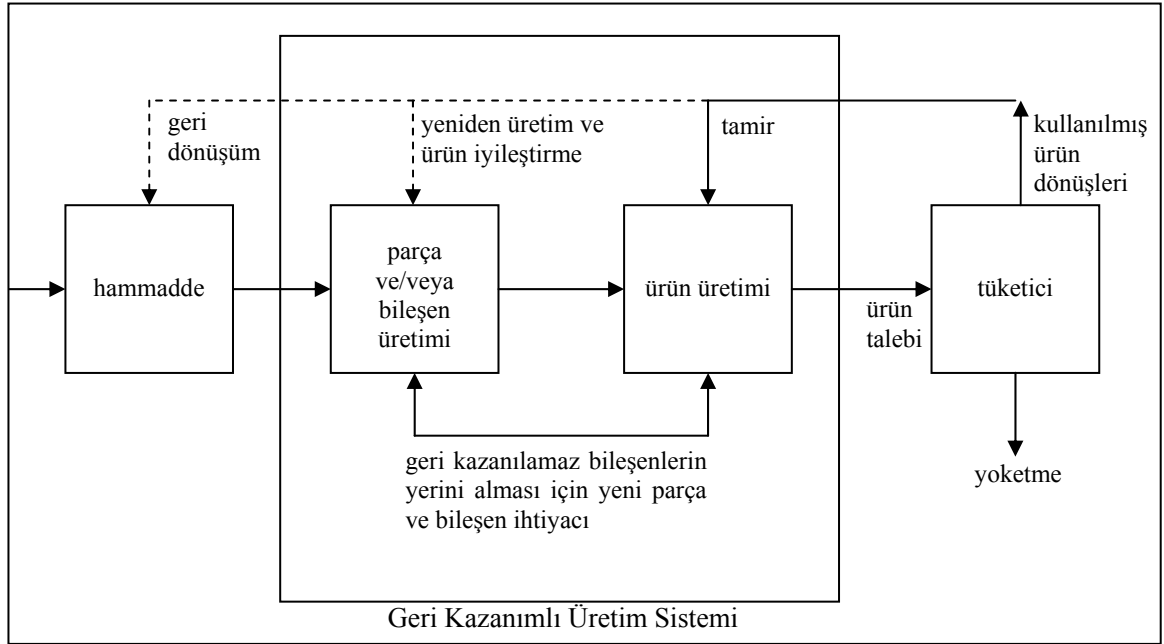
Yeniden üretimin yakın gelecekte kullanımının da artacağı düşünülürse, üretimin etkin bir şekilde yönetimine duyulan ihtiyaç da artacaktır. Üretimin plan ve kontrolünde kullanılmakta olan malzeme ihtiyaç planlarının mevcut yapısında gerekli olan modifikasyonların miktarı ve yapısı açısından bazı anlaşmazlıklar bulunsa da, modifikasyon gerektirdiği bilinmektedir.

Bu sistemlerin yeniden üretim yapan işletmelerde etkin kullanımı ile, MRP sistemleri kapasite duyarsız olduklarından, kapasite planlama tekniklerinin geliştirilmesi de kritik olmaktadır. Bu çalışmanın amacı da, yeniden üretim

ortamlarında kaba kapasite planlama tekniklerinin performansını değerlendirmektir. Çalışmada kapasite planlama ve yeniden üretim ortamlarında kapasite planlama ile ilgili yapılmış çalışmalardan bahsedilmiş, ardından, dokuz tip parçadan oluşan bir ürün için, işlem ve makine hazırlık zamanları için beta dağılımı kullanılarak ve taleplerin de bilindiği bir ortamda simülasyon çalışması yapılmıştır. Beş farklı kapasite planlama tekniği, bu simülasyon ile denenmiştir.

Guide ve diğerleri (1999)'ne göre geri kazanımlı üretim ortamları, geleneksel üretim sistemlerine kıyasla çok daha yüksek oranda belirsizlik ve karmaşıklık ile karşı karşıyadır. Bu sebeple, planlama ve kontrol sistemlerini bu belirsizlik ve karmaşıklık ile başa çıkabilecek şekilde tasarlamak, oldukça kritik bir gerekliliktir. Yeniden üretimin olduğu ortamlarda üç temel alt sistem vardır: demontaj, işleme ve yeniden montaj. Bu alt sistemlerin koordinasyonu başarılı bir üretim planlama ve kontrol sistemi için de anahtardır. Yeniden üretim birçok endüstride -fotokopi makineleri, toner kartuşları, tıbbi ekipmanlar, otomobil parçaları, bilgisayarlar, ofis makineleri, havacılık ekipmanları, lastik vb.- söz konusudur. Yazarlar, yeniden üretimin işletmeler için karlı olduğundan da bahsetmişlerdir. Nasr ve diğerleri (1998) yeniden üretimde kar marjının %20 olduğunu, Lund (1998) ise sadece ABD'de yeniden üretilmiş ürünlerin yıllık satış tahmininin 38 milyar doları geçtiğini belirtmişlerdir. Yeniden üretim aynı zamanda önemli bir oranda enerji kazancı ve yok etme maliyetinde düşüş sağlar.

Yazarlar, materyal kazanım oranı (MRR) için, "bir parçanın ne kadar sıklıkla uygun koşullarda yeniden üretilebildiği" tanımını yapmışlardır. Yeniden üretimde geri kazanılamayan parça yerine, yeni parça kullanılmaktadır. Satın alınan parçaların miktarına ilişkin siparişler ile ilgili kararlar, müşteri siparişlerinin teslim tarihleri ile dikkatlice uyumlaştırılmalıdır. Geri kazanılmış ürünlerin hacmi ve gerekli süreçler stokastik bir değişken olduğundan, bu karakteristik aynı zamanda kaynak planlama ve çizelgelemeyi de karmaşıktırır. Geri kazanımlı üretim sistemi, Şekil 2.5.'teki gibi ifade edilmiştir.



Şekil 2.5. Geri Kazanımlı Üretim Ortamı (Guide ve diğerleri, 1999)

Yeniden üretim ortamlarındaki süreçlerin her biri diğer süreçler ile sıkıca bağlantılıdır ve kontrol kararları bütün sistemi senkronize edebilmelidir. Yeniden üretim ortamında yüksek oranda değişken işlem zamanları ve stokastik rotalar geçerli olduğundan, değişken darboğaz durumu oldukça yaygındır. Bu da planlama, kontrol ve üretim akış zamanı tahminini zorlaştırır.

Bu çalışmada yeniden üretim ortamlarının başlıca özellikleri tanımlanmış; üretim planlama ve kontrol aktivitelerinin kapasite planlama, montaj ve demontaj çizelgeleme, parti büyüklüğü belirleme, malzeme planındaki olası değişimler ve stok kontrolü ile birlikte ele alınması ve modellerde bunların bütünleştirilmesinin gerekli olduğundan bahsedilmiştir.

Guide (2000), yeniden üretimin önemini belirtmiş ve yeniden üretilebilir ürünlerin özelliklerini tanımlamak için Lund (1998)'un çalışmasından örnekler vermiştir. Lund'a göre, ABD'de 73.000 firma yeniden kazanım içindedir ve 350.000'den fazla insan direkt işçi olarak çalışmaktadır. Lund çalışmasında, rutin olarak yeniden üretilen 75 ürün tipinin incelemiş ve yeniden üretilebilirlik için aşağıdaki kriterleri belirlemiştir:

- i. Dayanıklı ürünlerdir,
- ii. Ürün fonksiyonlarında hata olmuştur,
- iii. Ürün standartlaştırılmıştır ve parçalar değiştirilebilirdir (interchangeable),
- iv. Ürünün kalan katma değeri yüksektir,
- v. Hatalı ürünü elde etmenin maliyeti, kalan katma değere kıyasla daha düşüktür,
- vi. Ürün teknolojisi dengelidir,
- vii. Müşteriler ürünün yeniden üretilebilir olduğunun farkındadır.

Guide, üretim planlama ve kontrol aktivitelerini karmaşıktırıcı özellikler olarak, literatürde de sıkça atıfta bulunulan, aşağıda sıralanan faktörleri belirtmiştir:

- i. Geri dönen ürünlerin miktar ve zamanlaması hakkındaki belirsizlik vardır,
- ii. Geri dönüşler ile talebin dengelenmesi gerekmektedir,
- iii. Geri dönen ürünlerin demontajı yapılmalıdır,
- iv. Geri dönen ürünlerden materyal kazanımının belirsizliği söz konusudur,
- v. Tersine lojistik ağı gereklidir,
- vi. Materyal eşleştirme kısıtları karmaşıktır,
- vii. Materyaller için yeniden üretim süreçlerinde stokastik rota ve yüksek oranda değişken işlem zamanları problemi mevcuttur.

Yeniden üretimi karmaşıktırıcı karakteristikleri ve farklı alanlardan özellikleri araştıran bu çalışma için 75 soruluk anket, farklı sektörlerden bulunan ve yeniden üretim yapan firmalardaki yöneticiler ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda, yukarıda bahsedilen karmaşıktırıcı karakteristikler ve bu alanda yapılması gereken çalışmalar toplu olarak sunulmuştur. Cevaplayıcılar tarafından yeniden üretimi zorlaştıran veya riskli olarak görülen konular ise; yeniden üretimin tedarik zamanını düşürme yönündeki baskılar, işlerini yönetmek için formal sistemlerin (operasyonlar, muhasebe, lojistik) olmayışı, çekirdek eksikliği, teknolojiye hızlı değişimler olarak sıralanmıştır.

Ferrer ve Whybark (2000)'a göre, kaynak kullanımı ve çevre ile ilgili diğer konular, uluslararası bir amacın oluşturulmasına sebep olmuştur. Sürdürülebilir gelişme olarak adlandırılan bu girişim, gelecek nesillerin alternatiflerini

azaltmaksızın, mevcut nesiller için ekonomik gelişmeyi sağlamayı amaçlar. Sürdürülebilir gelişmeyi sağlamanın şartlarından biri de, kullanılan materyallerin geri kazanım miktarlarının artırılmasıdır.

Bu çalışmada, sürdürülebilir gelişmenin tanımından bahsedilmiş, materyal geri kazanım yaklaşımlarından da yeniden üretim üzerinde durulmuştur. Yeniden üretim, ıskartaya çıkartılmış veya artık kullanılmayan ürünlerden, kullanılabilir parçalara geri kazanım ve kullanılmayan parçalara geri dönüşüm yapılması ile, geri kazanılan parça veya bileşenlerin kullanılabilir ürün veya bileşen elde etmek üzere yeniden montajı olarak tanımlanmıştır. Yeniden üretim, tersine lojistik, demontaj ve sınıflama becerisine ek olarak, yeniden montaj yapabilme yeteneği ve kapasitesi gerektirmektedir. Başarılı bir yeniden üretim, ürün maliyetini düşürür, çevresel fayda sağlar ve eş zamanlı olarak da karlılığı artırır.

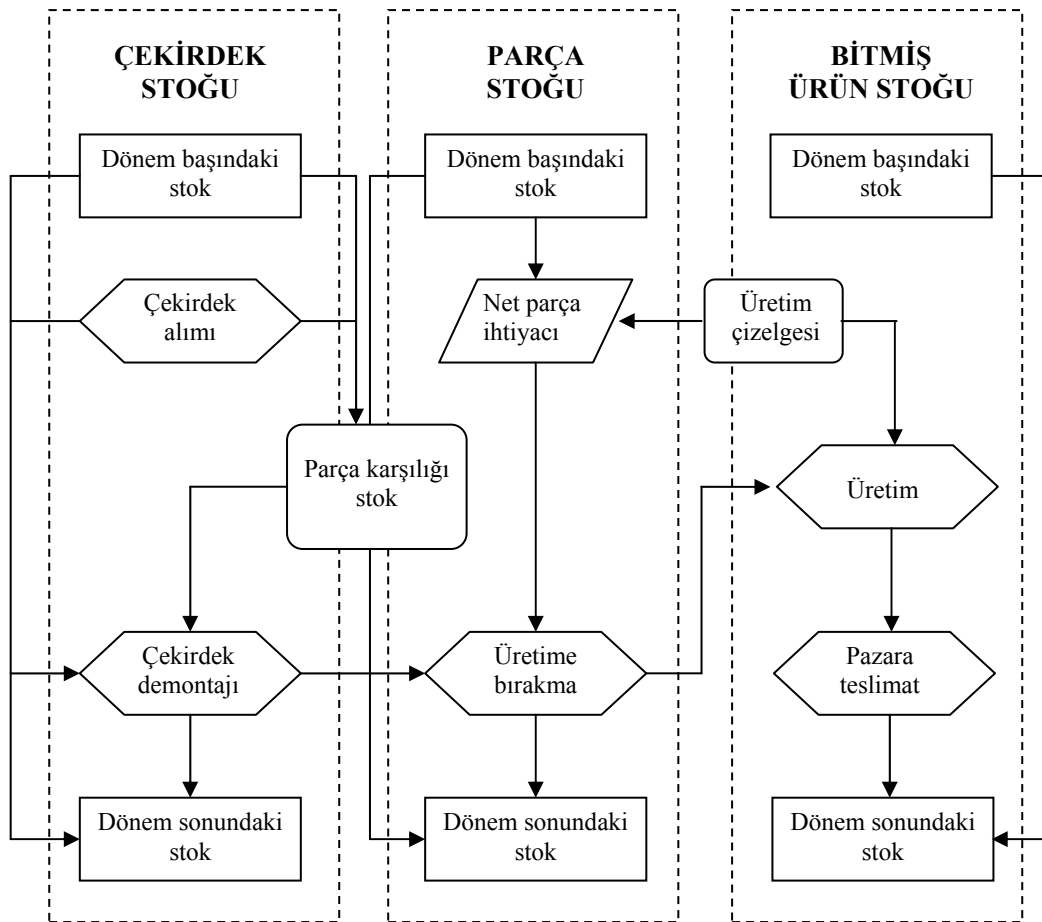
Yeniden üretim, uygulanması kolay bir program değildir. Başarılı olabilmek için işletmenin birçok yeteneğe, organizasyonel beceriye ve pazar farkındalığına ihtiyaç vardır.

Çalışmada yeniden üretim, yeniden üretim motivasyon faktörlerinden başlanarak incelenmiştir. Bu faktörler yasalar, ürün veya bileşenin ekonomik ömrünün uzaması ve stratejik fırsatlar olarak sıralanmıştır. Yeniden üretimin gereklerinden biri olan tersine lojistik, nakliye ve depolama, paketleme, sınıflandırma ve demontaj ile, ürün tasarımının geri beslenmesi başlıkları altında ele alınmıştır. Yeniden montaj çizelgelenmesi, ileri lojistik ve pazarın yeniden üretilmiş ürünleri kabul etmesi ve ürünün pazarlanması, yeniden üretim altında ele alınan diğer konulardır.

Yeniden üretimde işletmenin sahip olması gereken ve başarı için kritik olan konulardan birisi de, stok kontrolü ile ilgili konulardır. Yeniden üretim yapan işletmeler geri dönmüş çekirdek stokları, çekirdekten geri kazanılmış parça stokları, ve dağıtım hazır yeniden üretilmiş ürün stoklarını yönetmek zorundadırlar. Bu stokların her birinde tedarik, kazanç oranı ve pazar talebi konularında belirsizlikler söz konusudur. “Tampon veya acı” (buffer or suffer) yönetim deyişi, bu durumu tanımlamaktadır. Ancak, nerede ve ne kadar ara stok bulundurulacağı seçimi, Şekil

2.6.'da da görüldüğü gibi, farklı stokların bağımsızlığı sebebi ile daha da zorlaşan bir yönetim kararıdır.

Çekirdek stokları sürekli, ancak belirsiz olarak tersine lojistik sistemi tarafından talep edilir. İçeriği, “parça karşılığı stok” olarak düşünülebilir. Demontaj süresince çekirdek, belirsiz kazanım oranına bağlı olarak, parça stoğunu besler. Üretim çizelgesi bu parçaları, belirsiz pazar talebini karşılamak üzere bitmiş ürün stoğuna çevirir. Bu stokların yönetilmesi; herhangi bir parçayı satın alma veya satma fırsatları, talep, tedarik ve kazanç oranındaki belirsizlik ile, çekirdek ve yeniden montajlanan ürünlerin parça ortaklığı (commonality) sebepleri ile karmaşıktır. Bu stokları yönetecek sistemlerin kurulması oldukça önemlidir.

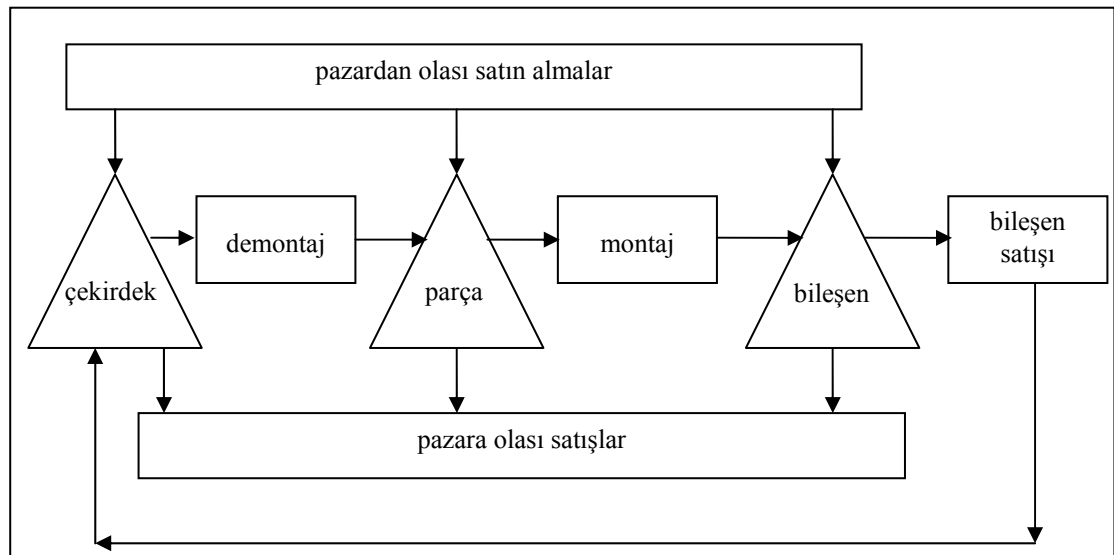


Şekil 2.6. Çekirdek, Geri Kazanılmış Parça ve Yeniden Üretilmiş Ürün Stokları Arasındaki İlişkiler (Ferrer ve Whybark, 2000)

Ferrer ve Whybark (2001), yeniden üretim ortamlarında en önemli girdinin çekirdek (*core*, bir yenileme parçası olarak yeniden üretilebilecek veya satılabilecek değerli ve yeniden kullanılabilir düzenek) olduğunu belirtmişlerdir. Çekirdek alımı ile ilgili belirsizlikler stok kontrolünde, üretim planlamada ve yeni bileşen satın almada bazı kararları da etkilemektedir. Çekirdek hakkındaki belirsizlikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

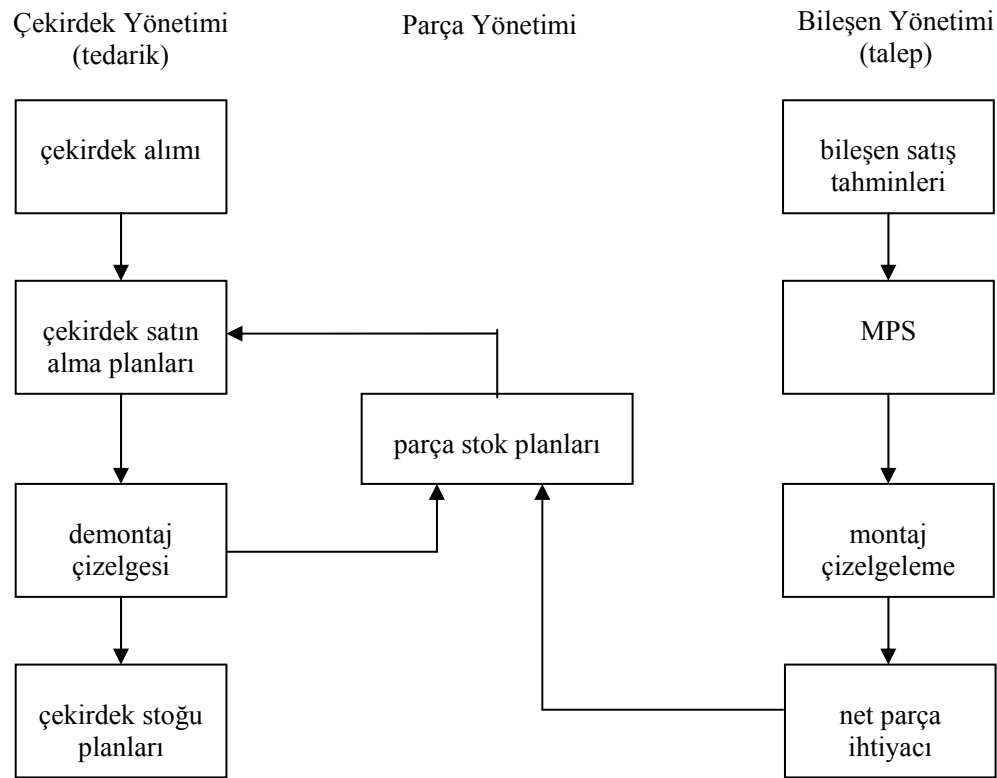
- i. Tedarik zamanı: bileşenin ne kadar zaman kullanıldıktan sonra müşteriden geri döneceği kesin olarak bilinemez,
- ii. Çekirdek tipi: hangi ürünlerin döneceği veya geri dönen ürünlerin içerdiği bileşenlerin, üreticinin o anda ihtiyaç duyduğu bileşen olup olmadığı konusundaki belirsizlikler,
- iii. Çekirdek kalitesinin demontaja kadar bilinmemesi: bazen iyi kalitedeki ürünlerden bile tüm parçalar veya bileşenler geri kazanılamayabilir veya ürünün kalitesi sebebi ile bileşen veya parçayı geri kazanmak maliyet açısından etkin olmayabilir.

Bu belirsizlikler sebebi ile stok kontrolü, güvenlik stoğunu belirleme, demontaj çizelgeleme, yeni bileşen veya parça satın alma ile ilgili kararları almak oldukça önemlidir. Şekil 2.7.'de yeniden üretimde materyal akış süreci görülmektedir.



Şekil 2.7. Bileşenlerin Yeniden Üretimi İçin Materyal Süreci Akış Diyagramı (Ferrer ve Whybark, 2001)

Çalışmada ürün ortaklığından da bahsedilmiştir. Ürünlerde bazı parçaların ortak olması (commonality) durumu arttıkça, ortak parçaların gerekli stok miktarı azalmakta ve karlılık artmaktadır. Bu çalışmadaki modelde yeniden üretilmiş bileşenlerin montajında kullanılacak parçalara ait stok, sistemin merkezinde yer almaktadır. Modelde iki farklı karar süreci bulunmaktadır. Bu süreçlerden biri, parçaları tamamlanmış bileşenler haline dönüştüren montaj çizelgesini oluşturur. İkinci süreç ise, çekirdekleri parçalarına ayırmak için demontaj işlemini gerçekleştirir ve sürecin tedarik kısmını oluşturur. Her iki süreçten gelen bilgiler parça stoğu kısmına ulaşır ve bileşenler için gelecekte olacak talebi karşılamakta kullanılır. Şekil 2.8.'de bileşenlerin yeniden üretiminde bilgi akışını göstermektedir.



Şekil 2.8. Bileşen Yeniden Üretimi İçin Bilgi Akış Diyagramı
(Ferrer ve Whybark, 2001)

Yeniden üretilmiş parçaya olan talep Ana Üretim Çizelgesi (Master Production Scheduling – MPS) ile yönetilir. Standart MRP yaklaşımında her bir

periyottaki talepler belirlenir. Gerekli parçaları sağlamak için ilk olarak parça stoğu göz önüne alınır. Eğer ilave parçalara ihtiyaç duyuluyorsa ilk olarak çekirdeklerin içindeki parçalar göz önüne alınır, ihtiyaç buradan da karşılanamıyorsa çekirdek veya parça satın alımı gerçekleştirilir. Çalışmada geri dönüşlerin, satışlardan belirli bir süre sonra ve satışların belirli bir oranı kadar olduğu, bazı çekirdeklerin demontaja alınamayacak düzeyde düşük kalitede olduğu gibi ortamı tanımlayıcı varsayımlarda bulunulmuştur.

Bu çalışmada bazı ortak parçalara sahip, aynı ürün ailesinden gelen, her biri üç bileşenden oluşan ve otomobillerde kullanılan dört ürün dikkate alınmıştır. Ürünlere ait ürün ağaçları belirlidir ve parçaların net ihtiyaçlarını karşılamak için gereken minimum çekirdek sayısının belirlenmesinde, parça ihtiyacını karşılayacak ve demonte edilmesi gereken çekirdek miktarını belirlemek için basit doğrusal modeller oluşturulmuştur.

Mahadevan ve diğerleri (2003), yeniden üretim ortamlarında periyodik gözden geçirme ve itme stok politikalarının incelendiği bu çalışmada, helikopterler ve yapılar için kurtarma asansörleri ve kargo kancaları üretimi yapan bir şirket üzerinde çalışmışlardır. Talep oranı geri dönüş oranlarından yüksek olduğunda işletme, talebi karşılayabilmek için aynı zamanda yeni kargo kancaları üretimi de yapmaktadır. Çalışma odak olarak yeniden üretimde stok kontrolü ile ilgilense de, ele alınan model varsayımları genel bir yeniden üretim ortamını tanımlamaktadır: Çalışmada, geri dönüşlerin ve müşteri taleplerinin poisson dağılımına göre geldiği varsayılmaktadır. Yazarlar, geri dönen ürünlerin tamamının yeniden üretilebilir olduğu, geri dönen ancak henüz yeniden üretilmemiş ürünler için ve bitmiş ürün için elde bulundurma maliyetlerinin farklı olduğu, üretim ve yeniden üretim için tedarik zamanlarının birbirlerinden farklı ancak sabit olduğu, özel satışların geri dönüş oranını etkilemediği, yeniden üretim maliyetinin üretim maliyetinden düşük olduğu varsayımlarının olduğu bir üretim ortamında, PROMODEL kullanarak, tedarik zamanı artarken maliyetlerin azalması gibi farklı senaryolar altında stok kontrolü ile ilgili simülasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir.

Teunter ve Vlachos (2002), yeniden üretim ve yeniden üretimde stok kontrolü üzerinde yapılan çalışmaların bazılarında yok etme opsiyonunun sistemi

karmaşıktırdığı ve kontrolü zorlaştırdığı gerekçesi ile kullanılmadığını, ancak yok etme işleminin sistemin optimal politikasını bulma aşamasında, maliyet azaltımı sağlayacağını belirtmişlerdir. Çalışmada, poisson veya normal dağılıma göre talebin gerçekleştiği, dönüşlerin yine poisson veya normal dağılıma uyduğu, başlangıçta yeniden üretilebilir, satılabilir veya süreç içi stoğunun olmadığı, üretim ve yeniden üretim için hazırlık maliyetinin olduğu, üretim, yeniden üretim ve yok etme maliyetinin ise belirli olduğu varsayılmıştır. Simülasyon çalışmaları sonucunda yeniden üretimin maliyetinin, üretim ve yok etme maliyetinin toplamı kadar yüksek olduğu veya geri kazanım oranının yüksek olduğu yavaş hareket eden kalemler haricinde, geri dönen ürünler için yok etme opsiyonuna ihtiyaç olmadığı görülmüştür. Simülasyon çalışmasında, bu tip kalemlerde yok etme opsiyonunun göz önüne alınması durumunda %3'ten daha fazla bir maliyet azaltımı olduğu ortaya çıkmıştır.

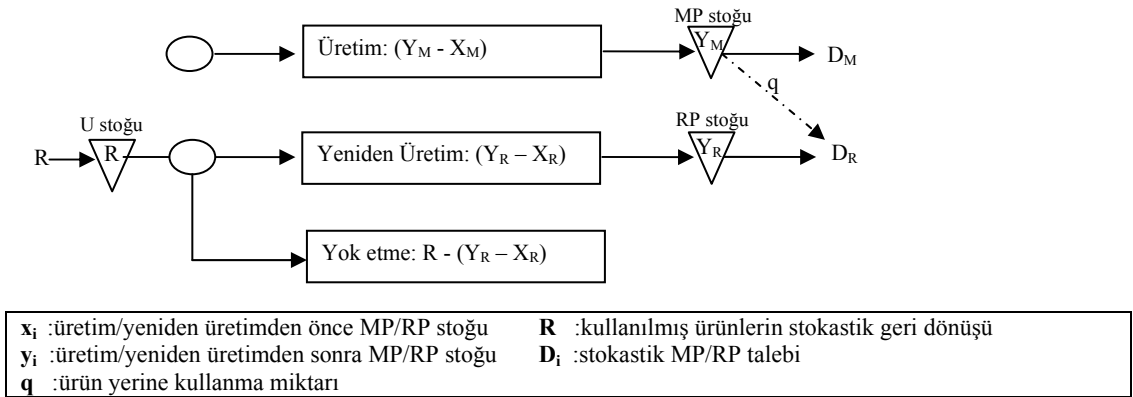
Ahmet (2003)'in çalışması daha önce incelenen ve Şekil 2.6.'daki Ferrer ve Whybark (2000)'in kullandığı stok sistemine ilave olarak bazı stokları tanımlaması açısından ele alınmıştır.

Yazara göre kullanılabilecek ara stoklar, endüstriye, tedarik zincirinin stratejik pozisyonuna ve ürün konumlandırmasına bağlıdır. İhtiyaç duyulabilecek stok tipleri şunlardır:

- i. Bitmiş yeni ürün stoğu,
- ii. Bitmiş yeniden üretilmiş ürün stoğu,
- iii. Montaj hattındaki yeni ürün ve yeniden üretilmiş ürüne ait alt montajlar ve bileşenler stoğu,
- iv. Demontaj hattındaki eski ürünler, demontaj bileşenleri, tamir edilen bileşenler stoğu,
- v. Yeni ve yeniden üretilmiş hammaddeler stoğu,
- vi. Geri dönmüş ürünler ve yeni hammaddeler stoğu,
- vii. Ana alt montajlar ve konfigürasyondan sonraki seçenekler.

Inderfurth (2004) çalışmasında, kullanılmış ürünlerin yeniden üretiminin yapılması ile birlikte yeni ürün üretiminin de yapıldığı; yeniden üretilmiş ürünün

kalitesinin düşük olması durumunda, yeni ürünler ile farklı bir pazarda satıldığı melez (hibrit) bir sistemi ele almıştır. Bu iki pazar arasında ilişkinin olduğu bazı durumlarda, yeniden üretilmiş ürünün olmaması halinde üretici, ürünleri arasında “yerine kullanım (substitution)” alternatifine başvurmakta, böylece elde bulunmama maliyetinden kurtulmakta, ancak yüksek kaliteli bir ürünü, daha düşük kaliteli ürün fiyatına satmaktadır. Çalışmada amaç, beklenen karın maksimizasyonudur. Ele alınan sistemin varsayımları, yeniden üretilmeyen geri dönmüş ürünlerin yok edileceği; üretim, yeniden üretim ve yok etme maliyetlerinin birim başına belirli olduğu; hazırlık maliyetinin sabit olduğu için dikkate alınmadığı şeklinde olup, amaç, üretim ve yeniden üretim sipariş miktarları hakkındaki kararlarla birlikte karın maksimizasyonudur. Sistem, Şekil 2.9.’daki gibi açıklanabilir.



Şekil 2.9. Sistem Stokları (Inderfurth, 2004)

Şekil 2.9.’daki daireler, stok düzeylerini de değiştiren üretim ve yeniden üretim durumlarında, eldeki stokların ayarlanması için sistemdeki karar noktalarını göstermektedir.

2.4. Yeniden Üretim, Demontaj ve MRP İle İlgili Çalışmalar

Gupta ve Taleb (1994) demontajın çizelgelenmesi ile ilgili çalışmalarında MRP'nin, bazı kalemler için demontajın gerektirdiği üretim ortamlarında kullanılamayacak montaj odaklı bir çizelgeleme sistemi olduğunu söylemişlerdir. Panisset (1988)'e göre, MRP mantığının ve destekleyen ürün ağaçlarının çoğu demontajı planlayacak yeteneğe sahip değildir.

Çalışmada bileşenlere ait talebin bilindiği bir ürün yapısı için talebi karşılamak amacıyla demonte edilmesi gereken çekirdek sayısının bulunmasına yönelik bir algoritma sunulmuştur.

Tersine MRP'de bileşenler, geldikleri aynı çekirdekler ile karşılanmak zorunda olduklarından, bağımsız değildirler. Bu da MRP'ye ayrı bir karmaşıklık katar ve üst bileşenlere göre göreceli olarak daha az talebe sahip bileşenlerde stok oluşmasına sebep olur. Bu muhtemelen, bir bileşen için olan talebin, ürün yapısında demonte edildikten sonra elde edilen kadar olmamasından kaynaklanır. Örneğin bir üst bileşenden elde edilen iki alt bileşenin kazanım oranı 1:7 ise ve bunlara olan talep yaklaşık olarak eşitse, bu üst bileşenin demontajından her seferde elde fazladan 6 alt bileşen kalacaktır. Gerçek hayatta bileşenin fiyatını düşürerek veya talep için yeni kaynaklar bulunarak bunlar için alternatif çözümler üretilmelidir.

Clegg ve diğerleri (1995) çalışmada, yeniden üretim yapabilen sistemler için lineer programlama modeli kurmuşlardır. Çalışma, telefon yeniden üretim operasyonu için kullanılmıştır.

Yazarların da belirttiği üzere, ürün tasarımı ve üretim süreçlerinin çevresel etkileri son zamanlarda oldukça fazla dikkat çekmektedir. Bu durum pek çok Avrupa ülkesinde özellikle Almanya ve Hollanda'da yasal düzenlemelere sebep olmakta ve ürünün çevresel açıdan güvenli bir şekilde yok edilmesi üreticinin sorumluluğunda sayılmaktadır. Atık yok etme alanlarının azalması, maliyetinin ve ilgili yasal düzenlemelerin artması da söz konusudur. Bazı ülkelerde de yeni (kullanılmamış) hammaddelerin kullanımında vergiler artırılarak işletmeler geri dönüşüme özendirilmektedir.

Yeniden üretimde, yeniden üretim kombinasyonu, bileşenlerin yeniden kullanılması veya tamamıyla yeni ürünler yapılması kararı ve hangi oranda kullanılmalrı durumunda üretim sisteminin ekonomik olarak uygulanabilir olacağı tam olarak belirli değildir. Yeniden üretim, demontaj ve geri dönüşüm operasyonlarının birbirleri ile ve işletmenin diğer üretim ortamları ile koordinasyonu karmaşık bir konudur. İşletmeler bu gibi konularda fikir verecek basit modellere ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada yeniden üretim yapılan bir üretim sisteminde farklı talep yapıları, üretim ve yok etme maliyetleri ve yönetim olaylarının ekonomik uygulanabilirliği için bir model geliştirilmiştir.

İşletme ürünleri toplamakta ve yok etme, bazı bileşenleri demontajdan sonra yeniden kullanma, ürünü yeniden üretme opsiyonlarına sahiptir. Yok etme ile gömme değil, üçüncü parti geri dönüştürücüye, hammadde elde etmek amacı ile satışı kastedilmektedir. Yeniden üretim ürünün parçalı montajını da (eski modüllerin üründen alınması ve yeni modüller eklenerek yeni fonksiyonlara sahip olması) içermektedir. Yeniden üretilmiş veya kalitesi/teknolojisi yükseltilmiş ürünlerde, hatalı, hasarlı veya aşınmış bileşenlerin yenileri ile değiştirilmesini gerektirir.

İşletme aynı zamanda, yeni ürünlerde kullanma veya yok etme amacı ile ürünü temel modüllerine kadar tamamıyla demonte etmeyi de seçebilir. Yeni ürünler veya yeniden kullanılmış modüller kullanabilir. Yeniden üretilmiş ürün, yeni üründen farklı ürün ağacı ve montaj zamanlarına sahip olacaktır. Yazarların kullandıkları lineer model, en yüksek karlı üretim ve sipariş (satınalma) planını belirlemektedir. Bu amaçla, ne kadar ürün demonte edilmeli, her bir bileşenin ne kadarı yeniden kullanılmalı/yok edilmeli, ne kadarı yeniden üretilmeli kararlarını vermektedir.

Guide ve Srivastava (1997)'nin çalışmasındaki amaç, geri kazanımlı üretim sisteminde belirsizliklere karşı malzeme planlama sisteminde güvenlik stoğunun etkinliğini değerlendirmektir. Çalışmada, yeniden üretim ortamı için değişikliğe uğramış MRP sistemi ile güvenlik stoğunun performansı incelenmiştir.

Yeniden üretim ortamı, geleneksel üretim planlama ve kontrol metotlarının kullanımını zorlaştıran ve yeni teknolojilerin geliştirilmesini gerekli kılan faktörleri

içerir. Yeniden üretim ortamlarının karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i. probabilistik (olasılıksal) rotalar,
- ii. stokastik materyal değişimi,
- iii. yüksek oranda değişken işlem zamanları.

Sayılan faktörler arasından stokastik materyal değişimi, çalışmada incelenen faktördür.

Malzeme kazanım oranı (MRR), kazanılan kullanılabilir durumdaki bileşenlerin frekansını tahmin etmede yardımcıdır. Bazı kalemlerin yeni stok kalemleri ile tamamlanması gerekeceğinden, malzeme ihtiyacını planlarken bu kazanım faktörünü de göz önünde bulundurma gereklidir. Malzeme kazanım oranının hesaplanmasında kullanılan en basit yöntem, Guide ve Spencer (1997)'a göre aşağıdaki gibidir:

$$MRR_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij}}{N_j}$$

i : dönem

j : parça, kalem

S_{ij} : j kaleminin i dönemindeki hurda/atık sayısı

N_j : j kalemlerinin toplam sayısı

MRP ile ilgili belirsizliklere odaklanmış birçok çalışma bulunmaktadır. İlgili konular, örneğin güvenlik stokları, miktarları ve işletmedeki yerleri, geleneksel MRP ortamları ile ilgili olarak incelenmiştir. Ancak bunlar yeniden üretim ortamlarında var olan tipte belirsizliklere odaklı değildir.

MRP sistemlerinin yeniden üretim ortamlarında kullanımları ile ilgili bazı tartışmalar bulunmaktadır. Varolan MRP paketlerinde bazı modifikasyonlarla yeniden üretim ortamlarında kullanılabileceği düşünülmektedir.

Asıl problem, üretim ortamını karakterize eden yüksek oranda belirsizliktir. Belirsizlik de, yeniden üretilecek ürün ve malzeme değişimi (replacement) ihtiyacı

hakkındaki bilgiye ilişkindir. Malzeme kazanım oranları belirsizdir, gerçekte yığından yığına değişkendir. Eğer deterministik veya sabit malzeme azanım oranları varsayılırsa, yerine geçecek malzemenin siparişi miktarları ve uygun güvenlik stoğu düzeyleri belirlenebilir. Asıl belirsizlik, yeniden üretim tedarik süresidir. Güvenlik stoğu bu belirsizliği dikkate almalıdır. Bu durumda bile MRP'nin tüm belirsizliklerle başa çıkabildiği söylenemez. Güvenlik stoğunun düzeyinin belirlenmesine izin verecek uygun ara stok belirleme politikaları geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada değiştirilmiş MRP sistemi kullanılmış ve ürün dönüşleri ve ürün talepleri arasında mükemmel bir korelasyon olduğu varsayılmıştır. Üretim ortamının modellenmesi zor olduğundan, simülasyon modeli kullanılmıştır. Çalışmanın tasarımında deneysel faktörler olarak (1) güvenlik stoğu, (2) talep değişkenliği, (3) tedarik süresi ele alınmıştır.

Çalışmada materyal kazanım oranı için homojen ve heterojen kazanım oranları ele alınmıştır. Homojen kazanım oranı için düzgün (uniform) dağılım, heterojen materyal kazanımı için ise, ortalamanın beklenen değerinin, beklenen MRR olarak alındığı beta dağılım kullanılmıştır. İki farklı ortam bu çalışmada incelenmiştir. İlkinde (örneğin fotokopi makinelerindeki yeniden üretim ortamlarında geçerli olan), homojen malzeme kazanım oranı varsaymıştır. İkincinde ise (örneğin havacılık ekipmanları için geçerli olan) heterojen kazanım oranını ele almıştır.

Çalışma göstermiştir ki, yüksek oranda belirsizlikle karakterize edilen bu üretim ortamında güvenlik stoklarının kullanılması, ancak sınırlı bir düzeyde fayda sağlamaktadır. Her iki tip üretim ortamında da güvenlik stokları belirsizliklere karşı korumakta ve müşteriye servisi artırmaktadır. Ancak belirli bir noktadan daha fazla güvenlik stoğu, müşteri hizmetini artırmamakta, ilave stok maliyetlerine sebep olmakta ve belirsizliğin doğası gereği, belirsizliği de tamamıyla giderememektedir. Yöneticiler bu sınırı farkında olmalı ve ara stok politikalarını buna göre planlamalıdır. Bu durumda belirsizliği azaltacak diğer alternatifler üzerinde durulabilir. Örneğin tedarik sürelerinin azaltılması ile daha iyi müşteri hizmeti sağlanabilir.

Taleb ve diğerleri (1997)'nin da çalışmalarında bahsettiği gibi, son yıllarda geri dönüşüm ile ilgili yasal düzenlemeler ve çevresel duyarlılık, birçok üreticiye ve

tüketicie baskı uygulamakta ve ürünlerin çevresel duyarlılık içinde üretilmesine ve yok edilmesine yönlendirmektedir. Üreticiler mümkün olduğu durumlarda geri dönüştürülmüş ürünleri kullanmakta ve ürünlerinin yaşam ömrü dolduğunda da ürünlerini geri dönüşüme sokmaktadırlar. Ürün geri dönüşümünde ilk olarak ürünün parçalarının sökülmesi gerekmektedir.

Montaj durumunda sadece çekirdek parçaya olan ihtiyacın karşılanması gerektiğinde, tek bir talep kaynağı bulunmaktadır. Oysa demontaj durumunda talep, ürün yapısının diğer yanında oluşmakta ve her bir bileşen parçaya olan talebin karşılanması gerekmektedir. Bu sebeple çoklu talep kaynağı bulunduğu söylenebilir. Her bir bileşen parça bir talep kaynağı meydana getirdiğinden ve bu ayrı bileşen parçaların taleplerinin karşılanmasında tek edinim kaynağı da çekirdek parça olduğundan, bileşenlerin ayrıştırma işlemi birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilemez.

Bu çalışmanın amacı, ortak (common) parça ve materyal içeren bir demontaj ürün yapısı için demontaj planını sunmaktır. Parçalara olan talep belirlidir ve bu parçalara olan talebi karşılamak için demonte edilecek çekirdek sayısını minimize etmek, amaçtır. Önerilen algoritma değişik parçalara olan talebi karşılayabilmek için demonte edilmesi gereken çekirdek sayısını belirlemekte ve demontajı çizelgelemektedir.

Çalışmada ürün/bileşen ortaklıkları ürün ağaçları üzerinde gösterilmiştir. Çekirdek demonte edildiğinde elde edilecek kazanım oranları belirlidir. Demontaj tedarik zamanı ve çekirdek için sipariş tedarik zamanı belirtilmiştir. Algoritmanın varsayımları, MRP varsayımları ile oldukça benzerdir. Tüm gerekli veriler bilinmektedir, tedarik zamanı parti büyüklüğüne bağlı değildir. Demontaj süreci mükemmeldir ve hatalı parça oluşmamaktadır. Demontaj süreci için kapasite kısıtı bulunmamaktadır.

Eğer ürün yapılarında bileşen ortaklığı varsa, probleme ilave bir karmaşıklık girecektir. Belirli bir ortak parça için talep karşılandığında, ortak parça birden fazla üst bileşene sahip olduğundan, edinim kaynağını seçmek gerekecektir. Çekirdek demontajında bunların alt parçalara nasıl dağıtılacağı “dağıtma oranı” kuralına göre hesaplanmıştır. Örneğin, ortak olmayan bir parçada bu oran %100 olarak

görülecektir. Bu çalışma ile demontaj için malzeme ihtiyaçlarının nasıl çizelgeleneceği ile ilgili algoritma sunulmuştur. Algoritma parça ve bileşende ortaklık durumunu da göz önüne almaktadır.

Taleb ve Gupta (1997)'ya göre, demontaj ve malzeme kazanımı, endüstrileşmiş ülkelerin hemen hepsinde artış halindedir. Bu durum, günümüzün ekonomisindeki temel değişimler, doğal kaynakların tükenme alarmı vermesi ve çevre hareketlerinin güçlenmesinin doğal sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bazı ülkeler, firmaları ürünlerini geri toplama, demonte etme ve bileşen ve materyallerini yeniden kullanma veya geri dönüştürmeye zorlayan yasaları uygulamaya başlamışlardır. Diğer birçok ülke de benzer düzenlemelere geçme aşamasındadırlar.

Bileşen ve parçaların yeniden kullanılması veya geri dönüştürülmesi için ilk olarak ürünlerin demonte edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden demontajın, çok uzak olmayan bir gelecekte, üretim sektörü üzerinde önemli bir etkisinin olacağı söylenebilir.

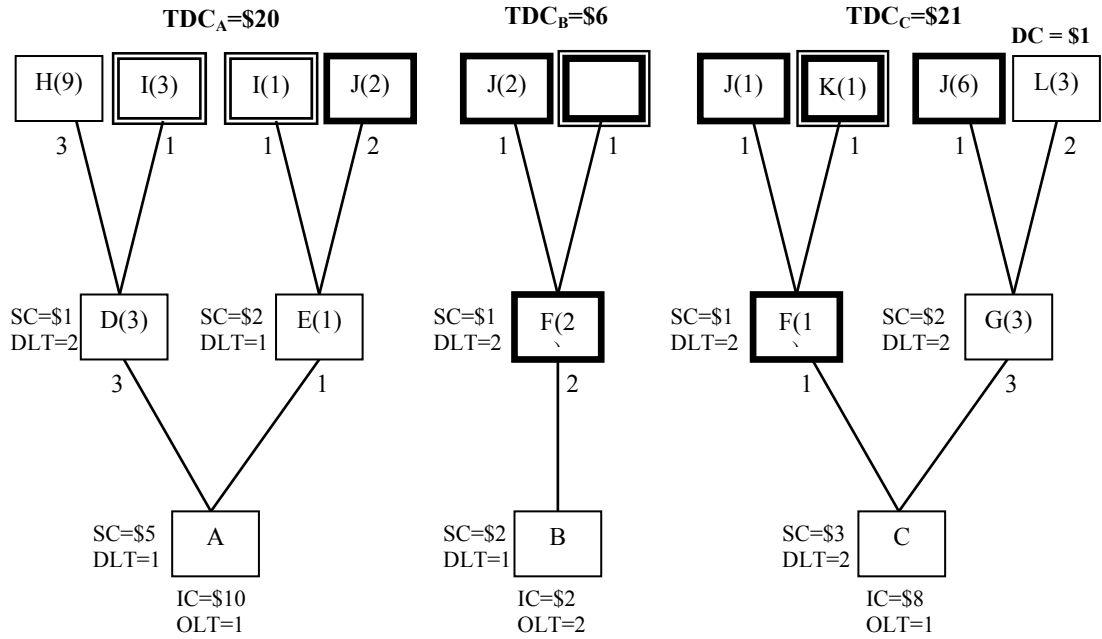
Avrupalı otomobil firmaları, örneğin BMW, demontaj fabrikaları açmışlardır. ABD'li otomobil üreticileri ise, VRP (Vehicle Recycling Partnership) kuruluşunu, demontaj ve geri dönüşüm için oluşturmuşlardır. Bilgisayar ve benzeri ürün üreticileri de, örneğin IBM, Xerox, HP demontaj üzerinde çalışmaktadırlar.

Demontaj operasyonlarının malzeme ihtiyacının planlanması, Taleb ve Gupta'nın bu çalışmasının temel konusudur.

MRP, üretim planlama için oldukça yaygın kullanılan bir prosedür olsa da, bu yöntem montaj odaklıdır ve demontaj operasyonlarını planlamada kullanılamaz. Montaj ve demontaj için çizelgeleme problemi birçok ortak karakteristiği paylaşırsa da (örneğin kesikli parça üretim sisteminde bağımlı talep kavramı gibi), aynı zamanda farklılıkları da bulunmaktadır ve bu iki tür problemin çözüm yaklaşımları oldukça farklı olmaktadır. En önemli farklılık, talep kaynağının sayısı olacaktır. Montajda tek talep kaynağı nihai üründür ve parçalar bu doğrultuda işlenir ve yönlendirilirler. Demontajda ise parçalar orijinal kaynaklarından ayrılarak ve uzaklaşarak ilerlerler. Bu ayrılma özelliğine ilave olarak her bir bileşen bir talep kaynağı meydana getirir ve bu aynı bileşenlere olan talep, bazı bileşenler aynı kaynağı paylaştığından, bağımsız olarak yapılamaz.

Bileşen ortaklığı, üretim ortamlarındaki faydaları sebebi ile günümüzde ürünlerde sıkça rastlanan bir özelliktir. Bileşen ortaklığının daha az stok maliyeti, miktar indirimleri sebebi ile daha az birim maliyet, nihai ürünler için alternatif parça/materyal kullanımına imkan vermesi gibi avantajları vardır. Geri dönüşüm operasyonlarında da ortak parça bulunması durumunda operasyonların daha etkin ve daha ucuz olduğu bilinmektedir. Az çeşitte malzemeden yüksek miktarlarda toplamak ve düzenlemek, daha fazla tipten ancak daha az sayıdaki ürünü toplamak ve düzenlemekten daha etkindir. Benzer durum, geri dönüşüm faaliyeti için de geçerlidir. Bu durum kendini tasarım aşamasında da göstermektedir. Otomobil üreticileri arabalarda kullanılan 30'dan fazla olan farklı tipteki plastik sayısını 10'dan aşağıya çekmeye çalışmaktadırlar (Berry, 1992). Örneğin BMW, arabalarında 5 farklı plastik türü kullanmayı planlamaktadır. Üreticiler malzeme ortaklığının getirilerinden faydalanabilmek için ürünlerindeki bazı elemanları yeniden tasarlamaktadırlar. Bu sebeple bileşen ortaklığı, demontaj ile ilgilenirken ana konulardan biri olmaktadır. Ancak bileşen ortaklığı, ürün yapıları arasındaki bileşenlerin bağılılıklarını da artırarak problemi daha da karmaşıktırmaktadır.

Bu çalışmada çoklu ürün yapıları ve ortak parça veya malzeme olması durumu göz önüne alınmıştır. Çoklu ürün yapısının olduğu durum için tamamıyla farklı bir çizelgeleme yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışmada A, B ve C olmak üzere 3 ürün ele alınmıştır. Ürün yapıları Şekil 2.10.'da görülmektedir.

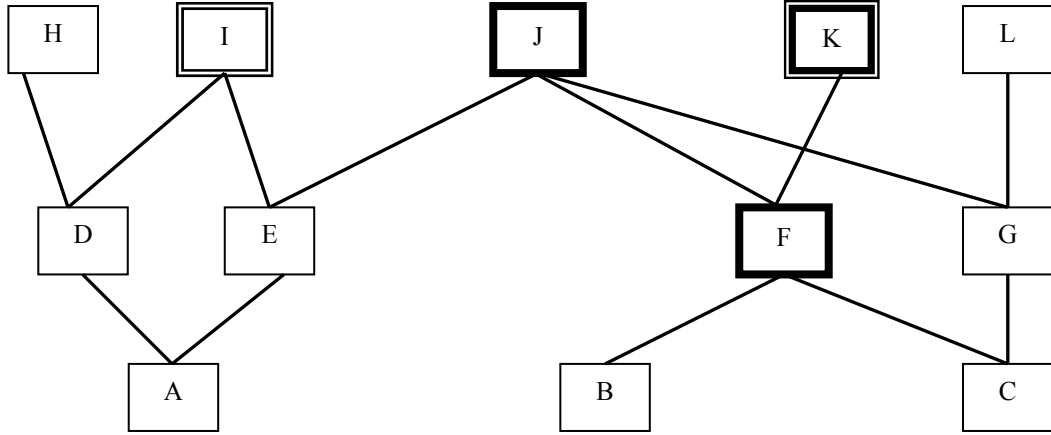


DLT: demontaj tedarik zamanı (çekirdek)	IC: birim maliyet
OLT: sipariş tedarik zamanı (çekirdek)	SC: ayrıştırma maliyeti (çekirdek veya alt montaj)
DC: yok etme maliyeti	TDC _i : i çekirdeği için toplam demontaj maliyetin (birim maliyet + ayrıştırma maliyeti + yok etme maliyeti)

Şekil 2.10. Ürün Yapıları (Taleb ve Gupta, 1997)

Ana ürün ve bileşeni birleştiren çizgi üzerindeki rakam, o üründen elde edilen kazanımı; parantez içindeki rakam, çekirdek parçalandıktan sonra o bileşenden elde edilen miktarı ifade etmektedir. Bileşen parçalar (H, I, J, K, L) için talepler bilinirken, A, B, ve C çekirdekleri ve D, E, F, G alt montajları için etkin demontaj çizelgesi oluşturulmaya çalışılmaktadır.

Şekil 2.11., Şekil 2.10.'dan hareketle çizilmiş ve ortak bileşenler birlikte gösterilmiştir. Bu çizimin amacı, her bir bileşen için olası kaynakları göstermektir.



Şekil 2.11. Ürün Yapısındaki Ortaklıklar (Taleb ve Gupta, 1997)

Çalışmada çoklu ürün yapısında demontaj çizelgesi elde etmek amacı ile, birlikte çalışan iki algoritma sunulmaktadır. Algoritmalar, parçalara olan talebi karşılayabilmek için tüm ürün yapıları için demontaj miktarı ve operasyon çizelgesini belirlemektedir. Bu iki algoritma, “çekirdek algoritması” ve “dağıtım (allocation) algoritması” olarak adlandırılmıştır. Çekirdek algoritması, toplam demontaj maliyetini (TDC_i) minimize etmek amacı ile demonte edilmesi gereken çekirdek sayısını; dağıtım algoritması ise demontaj ihtiyaçlarını planlama dönemi boyunca dağıtarak çekirdekler ve alt bileşenler için demontaj çizelgesini belirler. Dağıtım algoritması, demontajı mümkün olduğunca erteleyerek elde bulundurma maliyetini minimize etmeyi amaçlar.

Çalışma 25 rastsal belirlenmiş ürün yapısı ile çözülmüş ve tamsayı model ile karşılaştırılmıştır. Bu 25 olaydan 19’unda çözüm optimumdur, kalanlarda da optimale oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gupta ve Veerakamolmal (2000) çalışmalarında, tersine lojistik için tedarik zinciri optimizasyonuna odaklanmışlardır. Çözüm yaklaşımı, MRP tekniğini Bileşen İhtiyaç Planlama olarak adapte ederek, planlama dönemi boyunca her zaman periyodunda ürünü yeniden üretmek için gerekli bileşen sayısını belirlemeyi amaçlamıştır.

Ürün akışları tedarik zincirinde her iki yönde de olduğundan, iki yönlü tedarik zinciri olarak adlandırılabilir. Tersine lojistik zinciri, müşteriden toplanan ve üreticiye geri dönen ürünleri; ileri tedarik zinciri ise, tedarikçiden üreticiye, dağıtıcıya ve müşteriye doğru akışı ifade eder.

Tersine lojistikteki önemli kısıtlardan biri, talebe göre demontaja ihtiyaç olmasıdır. Ancak sadece talep olan bileşenler kazanıldığında, demontaj ortamında uygun şekilde yok edilmeyi bekleyen başka alt montajlar olacaktır. Çoğu zaman bunların yok edilmesi de ilave bir maliyet gerektirir. Bu çalışmanın temel konusu da, farklı bileşenlere olan talebi karşılayabilmek için demonte edilmesi gereken ürünlerin toplam sayısını belirleyecek sistematik bir karar verme yaklaşımıdır. Çalışmada geliştirilen prosedür, yeniden kullanılabilir bileşenlerin tedariğinde bir kıtlık söz konusu olup olmadığını belirlemeye ve her periyot için demonte edilecek ürün parti büyüklüğünü optimize etmeye yöneliktir. Problem çözüldüğünde, en düşük demontaj ve yok etme maliyeti ile bileşenlere olan talebi karşılamak amacı ile her bir tip üründen demonte edilmesi gereken ürün sayısını verecektir. Tedarik zinciri perspektifinden bu durum, hem nihai ürün hem de demonte edilmiş bileşenler için minimum stok demektir.

Lee ve diğerleri (2001), işletmelerin yeniden üretim faaliyeti içinde yer almalarının faydalarını Haynsworth ve Lyons (1987)'a göre aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

- i.* Yeniden üretilmiş ürünün daha düşük fiyattan satılması, ürünün pazar payını artıracaktır,
- ii.* Gelecekte üretilecek yeni ürün için ürün tasarımı gelişecektir,
- iii.* Kullanılan enerji ve hammadde tüketiminde kazanç olmaktadır,

- iv. Yeniden üretim yüksek düzeyde işgücü duyarlı olduğundan, özellikle de düşük ve orta derecede kalifiye işçiler için yeni iş imkanları oluşturulmaktadır.

Yeniden üretim ortamı, tüm parçalar için orijinal üretim spesifikasyonlarını sağlayacak tam bir demontaj ve montaj gerektirmektedir. Çalışma, demontaj sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalara yer vermektedir.

Yeniden üretim ortamında demontaj sürecinin, belirsizliği artıran karakteristik özellikleri vardır:

- i. Ürün belirsizliği (ürünlerin durumu, yapısı ve materyal birleşimi),
- ii. Geri dönüş sistemindeki ürünlerin yüksek düzeyde çeşitliliği,
- iii. Birçok farklı talep kaynağının varlığı.

Demontaj çizelgeleme, başlı başına bir sistem olmasının yanında, demonte edilmiş parça ve alt bileşenlere olan talebi karşılamak için sipariş edilecek kullanılmış ürünlerin belirlenmesi problemini de içerir. Demontaj çizelgeleme literatürde, normal MRP'nin tersine formu olarak düşünüldüğünden, “tersine malzeme ihtiyaç planlaması” olarak da adlandırılmaktadır. Normal ve tersine MRP problemlerinin çözümü oldukça farklıdır. Ana farklılık, talep kaynaklarının sayısıdır. Montaj hattında parça ve bileşenler tek bir talep kaynağına doğru yönelirler. Tek talep kaynağı, nihai üründür. Ancak demontaj ortamında parça ve bileşenler kaynaklarından ve birbirlerinden uzaklaşırlar.

Bazı çalışmalarda, montaj ürün ağacı ile demontaj ürün ağacı farklı olarak verilse de, bu çalışmada ürün ağaçları aynı olarak ele alınmış, demontaj çizelgelemede kullanılan grafiksel yöntemlerden bahsedilmiş (liaison graphs, relational graphs, component-fastener graphs, and/or graph), demontaj planlama ve demontaj çizelgeleme konularındaki yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Inderfurth ve Teunter (2001), demontaj konusunda ‘ürünün modüllerine, parçalarına ayrılmasının sistematik metodu’ tanımını kullanmışlar ve birçok büyük firmanın, örneğin Air France, Lufthansa, BMW, Volkswagen, Nisan, Daimler-

Chrysler, Océ, Xerox, Philips vb., geniş kapsamda demontaj operasyonu yapan fabrikalara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Demontaj sistemindeki belirsizlikleri de aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

- i. Geri dönüşlerin zamanlaması ve sayısı hakkındaki belirsizlikler,
- ii. Geri dönen ürünlerin kalitesi hakkındaki belirsizlikler,
- iii. Geri dönen ürünün hangi aşamaya kadar demonte edileceği ile ilgili kararlar,
- iv. Geri kazanımın amacına bağlı olarak demontaj sürecinin tarzı (hasar verici veya hasarsız demontaj) ile ilgili kararlar,
- v. Birden fazla sayıda tedarik kaynağı (ürün demontajları) olması.

Yeniden üretimde malzeme ve kapasite ihtiyacı planlama, belirli olmayan işlemler ve kullanılan ürünün kalitesinin bilinmemesi sebebi ile, geleneksel sistemlere göre daha zor olan malzeme ihtiyacı problemlerinin üstesinden gelmek durumundadır. Üretim ve yeniden üretimin birlikte olduğu melez ortamlarda malzeme planlama oldukça önemlidir. Çalışmada standart MRP yaklaşımının, ürün dönüşlerinin olduğu ve bileşenlerin demontajdan sonra süreçlerde yeniden kullanıldığı bir sistemde nasıl uygulanabileceği örneklenmiştir. Ele alınan örnek ürünler için ürün ağaçları, yeniden üretimden elde edilen ve edilmeyen alt montajların ayrıca gösterildiği bir yapı olarak ele alınmıştır. Demontajda yüksek veya düşük kalitede bileşen elde edildiği alternatifler de yine ürün ağacında gösterilmiştir. Dolayısıyla her bir alt montaj işleminde bu bileşenlerin hangi parçaların montajı ile elde edildiği alternatifine göre, tedarik zamanları belirlenmiştir. Ardından, alt montaj parçaları için standart MRP kayıtları oluşturulmuştur. Yeniden üretimin de MRP kayıtlarında yer alabilmesi için, yeniden üretilebilir parça tedariği ve yeniden üretimden sonra stokta kalan yeniden üretilebilir parçaları da gösteren satırlar eklenerek, MRP kaydı genişletilmiştir. Bu işlemler sırasında işletme, öncelik kurallarını da belirlemelidir. Örneğin, yeniden üretimin üretime kıyasla öncelikli olup olmadığı, yeniden kullanılabilir parçalar arasında önceliğin hangi parçalara verileceği, güvenlik stoğu düzeyi gibi kararlarının alınmış olması gerekmektedir.

Langella (2007), Taleb ve Gupta (1997)'nin makalesindeki algoritmaları iyileştirmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Langella geliştirdiği sezgisel

algoritmanın performansı hakkında fikir vermek amacı ile örnek bir model sunmuştur. Geliştirilen algoritma, rastsal olarak oluşturulan 2 çekirdek ve 3 bileşenden oluşan 250 problemde denenmiştir. Planlama 4 dönem boyunca yapılmıştır. Her bir örnek için sezgisel algoritmanın çözümü, tamsayılı modelin çözümü ile karşılaştırılmış, değerlendirme kriteri olarak da matematiksel model ile bulunan optimum değerden göreceli sapma kullanılmıştır.

Sezgisel, ele alınan örneklerde iyi bir performans sergilemiştir. Ortalama maliyet sapması yaklaşık %4.5'tir ve oldukça önemli sayıda örnek için maliyetler optimum sonuca oldukça yakındır. %5'in altında olan 147 örnekte ortalama maliyet sapması %1.2'dir. Ancak bazı örneklerde daha zayıf bir performans görülmüştür. Performans, problem büyüklüğü ve parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. Langella'nın bu çalışmasına daha ayrıntılı olarak 3.2. Metot bölümünde değinilmiştir.

Tang ve diğerleri (2007), üretimin müşteri siparişleri üzerine yürütüldüğü demontaj ve yeniden üretim ortamı üzerinde çalışmışlardır. Demontaj her zaman öncelikli olarak başlatılmakta ve demontaj sonucunda yeni bileşenlere ihtiyaç olup olmadığı belirlenmektedir. Çalışmada amaç, yeniden üretimin kontrolünde kullanılan planlanan tedarik süresini belirlemek için süreç tedarik süresini incelemektir. Bir ve iki kritik bileşen için model oluşturulmuş ve farklı kazanım oranlarının optimal tedarik sürelerini bulmadaki etkisi de gözlenmiştir.

Depuy ve diğerleri (2007)'nin ele aldıkları yeniden üretim probleminde, gelen ürünler iyi-tamir edilebilir-kötü olarak sınıflandırılmaktadır. Ürün iyi kalitede ise doğrudan yeniden üretimde kullanılmakta, tamir edilebilir ürünler gerekli işlemlerden sonra yeniden üretime katılmakta ve kötü kalitedeki ürünler ise yok edilmektedir. İşlenebilir ürünler ya iyi kalitedeki ürün olmakta, ya tamir edilmiş ürün olmakta ya da yeni bileşen olarak satın alınmaktadır. Bu durumda, ürünün kalite oranına göre üretim planlama da karmaşılaşmaktadır. Bir ürün yüksek kalitede doğrudan yeniden kullanılabilir parça sunarken, bir diğer ürün daha çok kötü kalitedeki bileşenlerden oluşuyor olabilir. Benzer durum tamir için de geçerlidir. Bazı bileşenler ufak düzeltmeler gerektirirken, bazı bileşenler daha ayrıntılı işlem ihtiyacında olabilir. Bileşenler sınıflandırıldıktan ve gerekiyorsa tamir edildikten

sonra, çok aşamalı yeniden montaj ve test aşamalarından geçmektedirler. Bu aşamalarda farklı işlem zamanları ve kazanım oranları söz konusudur. Pratikte kazanım oranı %100 kabul edilse bile, işlem zamanlarından kaynaklanan değişkenlik söz konusu olmaktadır. Model, Visual BASIC ile kodlanmıştır. Her bir kalite düzeyinin olasılığı, başlangıç stokları, iyi kalitedeki ve tamir edilecek parçaların işlem süreleri gibi verilerin girilmesi ile her dönemde üretilebilecek ürün sayısı, talebin karşılanamayacağı dönemler, satın alınması gereken bileşenler gibi raporlar elde edilmektedir.

Rubio ve Corominas (2008), geleneksel olarak çalışmaların, hem üretim hem de yeniden üretim için belirlenmiş kapasiteler dahilinde süreçlerin işletildiği ortamlarda yapıldığını söylemişlerdir. Bu sebeple optimal stratejiler, karma stratejiler izlemek yerine, tüm kapasitelerini ya üretimde ya da yeniden üretimde kullanmaktadırlar. Bu çalışmada ise, JIT veya yalın üretim olarak tanımlanabilecek bir üretim ortamı önerilmiştir. Pazar talebi, deterministik olarak belirlidir ve üretim kapasitesi de bu talep oranını karşılayacak düzeydedir. İki üretim hattı mevcuttur: üretim hattı ve yeniden üretim hattı. Üretim hattı, yeniden üretimle karşılanamayan talebi orijinal ürünler ile karşılamaya çalışır. Süreç, ürünlerin $r=\alpha D$ oranı ile gelmesiyle başlar. Kalite testleri sonucunda yeniden üretime uygun $u=\delta r=\delta\alpha D$ kadar ürün, yeniden üretim sistemine gönderilir. Uygun olmayan ürünler ($d=r-u$) yok edilir. $\alpha=0$ iken sadece üretim; $\alpha=1$ ve $\delta=1$ iken sadece yeniden üretim söz konusudur (saf stratejiler). $0<\alpha<1$ ve/veya $0<\delta<1$ durumunda, karma strateji geçerli olacaktır. Çalışmada değişken kapasite maliyetleri ile, kapasitenin üretim veya yeniden üretim arasında uygun şekilde paylaşımına izin verilmiş ve sistemin kapasite ayarlamasının kullanılmış ürünlerin geri kazanım sistemini nasıl etkilediği analiz edilmiştir.

2.5. Literatürün Genel Değerlendirmesi

Ürün geri dönüşlerinin tedarik zinciri içindeki yeri ve işletmelerin yapması gereken değişiklikler hakkında literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde bu çalışmalar içinden en çok atıfta bulunulan veya kendi alanında özellikli bir durum yaratmış çalışmalara yer verilmiştir. İnceleme, literatür tarama ve saha veya örnek olay çalışmalarının dışında, 1.2. Yeniden Üretim başlığında tanımlanan türde çalışmalar ve karar almayı kolaylaştırarak yeniden üretim ortamlarının daha belirli koşullarda çalışmasını sağlayacak çalışmalara daha az sayıda rastlanmaktadır. Daha önemlisi, süreçler karmaşık ve girdiler değişken olduğundan, özellikle de üretim planlama ve malzeme tedariki ile ilgili bütünsel çalışmalara kıyasla, üretim ortamını küçük problemler şeklinde kısımlara ayırarak (sadece demontaj planlama, yeni parça satın almanın olmadığı yeniden üretim ortamı gibi) tanımlanan çalışmalara daha sık rastlanmaktadır.

3. METOT

3.1. Yeniden Üretim Ortamlarında Malzeme İhtiyaç Planlaması Süreci

Standart malzeme ihtiyaç planlamaya ve ilgili kayıtlara 1. Giriş bölümünde değinilmiştir. Bu çalışmada söz konusu olan yeniden üretim ortamlarında malzeme ihtiyaç planlaması ise, parça edinilebilecek daha fazla kaynak olması (çekirdek demontajı ve yeni parça satın alma) sebebi ile daha karmaşıktır ve geleneksel MRP yapısında bazı modifikasyonlara ihtiyaç duyulur. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar daha ayrıntılı olarak 2. Önceki Çalışmalar bölümünde incelendiğinden, burada standart MRP kaydında yapılan değişikliklere odaklanılmıştır.

Üretim için gerekli parça ihtiyacının sadece demontaj ile gerçekleştirildiği ve parça ortaklığının da bulunmadığı bir ürün için Gupta ve Taleb (1994)'in örnek malzeme ihtiyaç planı, Tablo 3.1.'de göstermiştir.

Tablo 3.1. Gupta ve Taleb (1994)'in MRP Kaydı

Dönem	1	2	3	4	5	6	7
Brüt ihtiyaç							
Dış kaynaklardan çizelgelenmiş siparişler							
Demontajdan önce eldeki miktar							
Net ihtiyaç							
Demontajdan gelen çizelgelenmiş siparişler							
Demontajdan sonra eldeki miktar							

(Gupta ve Taleb, 1994)

Bu modelde ürün veya parça satın alma durumu söz konusu olmadığından, yukarıdaki tablo yardımı ile sadece üretimi gerçekleştirmek için demonte edilmesi gereken bileşen ve ürün sayıları belirlenmektedir.

Taleb ve diğerleri (1997) çalışmalarında, Gupta ve Taleb (1994)'in kullandığı MRP kaydını, ürün içinde parça veya bileşen ortaklığı söz konusu iken kullanmışlardır. Guide ve Srivastava (1997) ise, benzer bir çalışmada kullandıkları

MRP tablosu örneğini göstermiş, ancak yeniden üretim ortamlarında asıl problemin, üretim çevresini karakterize eden yüksek oranda belirsizlik olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlara göre tedarik zamanı belirsizliği, kazanım oranı belirsizliği gibi etkenler, malzeme ihtiyaç planının doğru şekilde işlemlerini etkileyecektir.

Veerakamolmal ve Gupta (2000) ise, bir bilgisayar firmasının verilerini kullandıkları çalışmada, MRP kaydı olarak, Tablo 3.2.'deki yapıyı kullanmışlardır. Bu çalışmada da, demontajla elde edilen parçalar düşüldükten sonra, üretimi gerçekleştirmek için satın alınması gereken parça ihtiyaçları belirlenmektedir.

Tablo 3.2. Veerakamolmal ve Gupta (2000)'nın MRP Kaydı

Dönem	1	2	3	4	5	6	7
Brüt ihtiyaçlar							
Dış kaynaklardan gelenler (planlanmamış)							
Kullanılabilir miktar							
Net ihtiyaç							
Demontajdan elde edilen							
Demontajdan kullanılan miktar							
Gerekli yeni bileşen sayısı							
Iskartaya alınan bileşen sayısı							

(Veerakamolmal ve Gupta, 2000)

Literatürdeki çoğu çalışma, tek bir nihai ürün üzerinde denenmiştir. Geri kazanılmış parçalar bir havuzda toplanmak ve yeniden üretim esnasında gerekli yerlerde kullanmak yerine, parçalar orijinal üründen demonte edildikleri yerde kullanılmıştır. Çalışmalar nihai ürünün bütünsel incelenmesinden, malzeme ihtiyaç planının çıkartılmasından, gerekli emirlerin (demonte veya satın alma) verilmesinden çok, ya sadece demonte edilmiş parçaların stoktan alınarak yeniden kullanılması üzerinde durmuş, ya da önce demonte parçaların kullanılması, eğer yetmezse gerekli parçayı satın alma yoluna gitmiştir. Örnek çalışmalar genellikle standart MRP tabloları üzerinde gerekli değişikliklerin yapılması, yeni satırlar eklenmesi ve bunların nasıl hesaplanacağını basitçe gösterilmesi şeklindedir. Literatürde yeniden

üretim ortamının maliyetini de minimize etmeyi amaçlayan demontaj ve satın alma kararı veren ve malzeme ihtiyaç planını buna göre yapan pek çalışma bulunmamaktadır. Sadece izleyen bölümde bahsedilen Langella (2007)'nin çalışması, maliyet minimizasyonunu da göz önünde bulundurmaktadır.

3.2. Metot

Literatürdeki yeniden üretim ortamlarında üretim planlama çalışmaları incelendiğinde, 1. Giriş ve 2. Önceki Çalışmalar bölümlerinde de bahsedildiği gibi, nihai ürüne bağlı olarak parça ihtiyacını belirleyen, ihtiyaç planlaması esnasında maliyet minimizasyonunu amaçlayan ve yeniden üretim ortamının diğer özelliklerini de içeren (kazanım oranı, çekirdek kalite oranı, çekirdek yok etme vb.) çalışmaya rastlanmamıştır. Langella (2007)'nin çalışması, incelenen literatür içinde, ele alınan sisteme en yakın görülen sistemdir. Bu çalışma, 2. Önceki Çalışmalar bölümünde değinilen Taleb ve Gupta (1997)'nin çalışmasındaki demontaja ilişkin sezgisel algoritmanın iyileştirilmesine yöneliktir. Çalışmada sezgisel algoritmaya yönelik olsa da, matematiksel model de tanımlanmış ve bu model, iyileştirilen algoritmanın optimale ne kadar yakın sonuçlar verdiğini belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Langella'nın çalışmasında sunduğu matematiksel model aşağıda ifade edilmiştir. Çalışmada, üreticiye geri dönmüş ürün kök (root), ara modül (intermediate) ve alt parça (leaf) olmak üzere, üç aşamada ifade edilmiş ve matematiksel modelde de bu şekilde belirtilmiştir. Ancak çalışmada daha sonra ifade edilen örnek problemde, ara modüller değil, sadece kök ve alt parçalar ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan indisler, ele alınan amaç fonksiyonu ve açıklaması ile göz önünde bulundurulan kısıtlar ve tanımları, aşağıda ifade edilmiştir.

İndisler:

$i \in R$ kök (root)

$j \in I$ ara modüller (intermediate)

$k \in L$ alt parçalar (leaf)

$t \in 1, \dots, T$ periyot (T =planlama dönemi)

Amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = \sum_{t=1}^T & \left[\sum_{i \in R} c_i^p x_{i,t}^p \quad \text{kök satın alma maliyeti} \right. \\
 & + \sum_{k \in L} c_k^p x_{k,t}^p \quad \text{alt parça satın alma maliyeti} \\
 & + \sum_{i \in R} c_i^s x_{i,t}^s \quad \text{kök ayrıştırma maliyeti} \\
 & + \sum_{j \in I} c_j^s x_{j,t}^s \quad \text{ara modül ayrıştırma maliyeti} \\
 & + \sum_{i \in R} c_i^h y_{i,t} \quad \text{kök elde bulundurma maliyeti} \\
 & + \sum_{j \in I} c_j^h y_{j,t} \quad \text{ara modül elde bulundurma maliyeti} \\
 & + \sum_{k \in L} c_k^h y_{k,t} \quad \text{alt parça elde bulundurma maliyeti} \\
 & + \sum_{j \in I} c_j^d x_{j,t}^d \quad \text{ara modül yok etme maliyeti} \\
 & \left. + \sum_{k \in L} c_k^d x_{k,t}^d \right] \quad \text{alt parça yok etme maliyeti}
 \end{aligned}$$

Kısıtlar:

$$y_{i,0} = y_i^0 \quad i \in R \quad (1)$$

$$y_{j,0} = y_j^0 \quad j \in I \quad (2)$$

$$y_{k,0} = y_k^0 \quad k \in L \quad (3)$$

$$y_{i,t} = y_{i,t-1} + x_{i,t}^p - x_{i,t}^s \quad i \in R, t=1, \dots, T \quad (4)$$

$$y_{j,t} = y_{j,t-1} + \sum_{i \in R} x_{i,t-\lambda_i}^s \pi_{i,j} - x_{j,t}^s - x_{j,t}^d \quad j \in I, t=1, \dots, T \quad (5)$$

$$y_{k,t} = y_{k,t-1} + \sum_{j \in I} x_{j,t-\lambda_j}^s \pi_{j,k} + x_{k,t}^p - x_{k,t}^d - D_{k,t} \quad k \in L, t=1, \dots, T \quad (6)$$

$$x_{i,t}^p \leq R_{i,t} \quad i \in R, t=1, \dots, T \quad (7)$$

$$y_{i,t} \leq y_i^{\max} \quad i \in R, t=1, \dots, T \quad (8)$$

$$y_{j,t} \leq y_j^{\max} \quad j \in I, t=1, \dots, T \quad (9)$$

$$y_{k,t} \leq y_k^{\max} \quad k \in L, t=1, \dots, T \quad (10)$$

(1) kök için başlangıç stoğu, (2) ara modül için başlangıç stoğu, (3) alt parça için başlangıç stoğu, (4) kök için stok eşitliği (önceki periyottan aktarılan + bu periyotta alınan – bu periyotta demonte edilen), (5) ara modül için stok eşitliği (önceki periyottan aktarılan + tedarik zamanı kadar önce demonte edilen – bu periyotta demonte edilen – bu periyotta yok edilen), (6) alt parça için stok eşitliği (önceki periyottan aktarılan + tedarik zamanı kadar önce demonte edilen + bu periyotta satın alınan – bu periyotta demonte edilen – bu periyotta yok edilen), (7) kök ediniminde üst sınır, (8) kök için dönem sonu stok düzeyi, (9) ara modüller için dönem sonu stok düzeyi, (10) alt parçalar için dönem sonu stok düzeyi.

Langella'nın çalışması, literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla hem demontajı hem de yeni parça satın alma durumunu ele aldığından ve maliyet minimizasyonu amacını da güttüğünden, hem gerçek problemlere hem de bu çalışmada ele alınan duruma daha yakın bir çalışmadır. Ancak Langella'nın çalışmasının amacı, daha önce de ifade edildiği gibi, Taleb ve Gupta (1997)'nin geliştirdiği ve 2.4. Yeniden Üretim, Demontaj ve MRP ile İlgili Çalışmalar bölümünde bahsedilen sezgisel algoritmanın iyileştirilmesine yöneliktir. Bu sebeple matematiksel model oluşturma ve optimum olarak çözme, çalışmanın amacı değil, sezgisel algoritmanın sonucunu test etme aracıdır. Çalışmada sezgisel algoritma ile de çözülen 250 test problemi ele alınmış ve çözülmüştür. Ele alınan test problemleri 2 çekirdek ve 3 alt parça için çözülmüş ve planlama 4 dönem için gerçekleştirilmiştir. İşlem, bilinen ve zaman içinde değişmeyen parça talebi ile başlamaktadır. Bu parça talebini karşılamak için demontaj veya satın alma yapılabilir. Çalışmada kök ve ara modül için demontaj süreleri tek (parçalardan bağımsız) ve deterministik olarak ele alınmaktadır. Çekirdek ve yeni parça için satın alma tedarik süresi yoktur. Alt parça edinim maliyetleri, yok etme maliyetleri, kazanım oranı gibi girdiler, düzgün (uniform) dağılım yardımı ile elde edilerek belirlenmiştir.

Langella'nın çalışması ile, burada ele alınan çalışma bazı benzerlikler içerse de, ele alınan değişkenler, kısıtlar, girdi sayıları açısından farklıdır. Bu farklılıklara 3.3. Matematik Programlama Modeli bölümünde modelin tanıtımı esnasında daha ayrıntılı değinilecektir.

3.2.1. Ele Alınan Yeniden Üretim Ortamı

Yeniden üretimin söz konusu olduğu üretim ortamlarında, geri dönen ve demonte edilecek ürünler ve satın alınması gereken parçalar hakkında karar verilebilmesi için yöntemin araştırıldığı bu çalışmada, karar için uygun sistemin oluşturulmasına çalışılmıştır.

Oluşturulan sistemin çalışmasını denetlemek amacı ile, sistem hakkında bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Yeniden üretim yapan işletmelere ulaşamaması, mevcut literatürde de genellikle varsayımsal veriler ile çalışmalar yapılması ve zaten amaç da bir çok girdinin değiştirilerek sistemin farklı şartlar altında çalışmasını gözlemek olduğundan kullanılan veriler, 2. Önceki Çalışmalar bölümünde de yer alan bazı çalışmaları da temel alan, ancak araştırmacılar tarafından oluşturulan verilerdir.

Ele alınan sistemde, yeniden üretim söz konusudur. Ancak üretim için gerekli parçaların iki farklı kaynaktan gelmesi mümkündür. Üretim için ya yeni (kullanılmamış) parçalar satın alınacak, ya da geri dönen ürünlerin (çekirdek) demontajı ile elde edilen parçalar kullanılacaktır (Şekil 3.1.). Bu durumda çekirdek edinim maliyeti, çekirdek edinim kısıtları yanında, demontaj maliyeti, demontajda kazanım oranı (yield) gibi belirsiz durumlar da söz konusu olabilecektir.

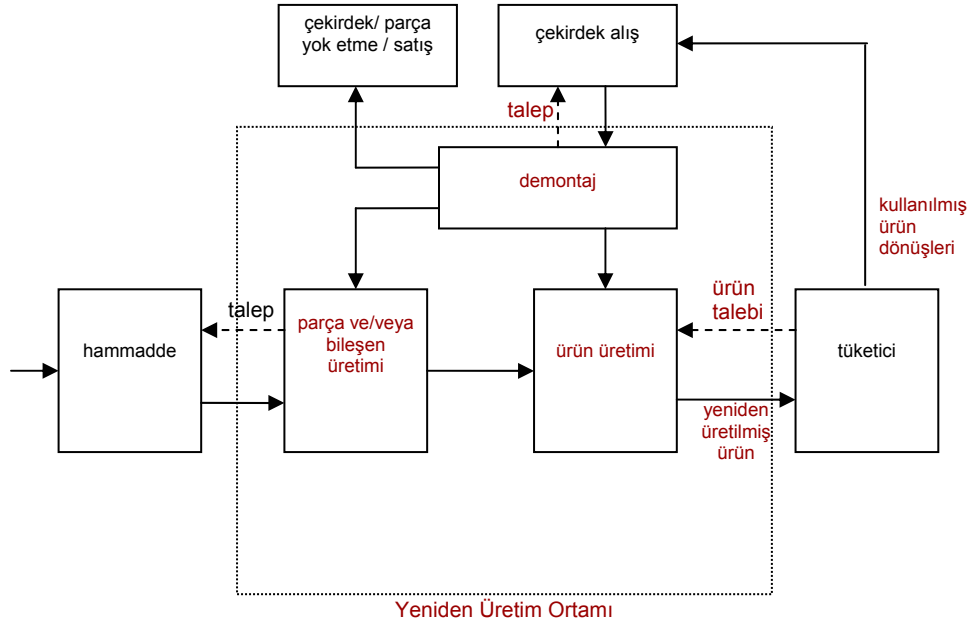
Gerekli üretimin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan parçayı satın alma ve demontaj kararlarının alınabilmesini ve minimum maliyeti amaçlayan çalışmada, aşağıda sıralanan veriler kullanılmıştır:

- i. Planlamanın yapılacağı dönemler,
- ii. Nihai ürüne olan talep miktarı,
- iii. Çekirdek edinim maliyeti,
- iv. Çekirdek sipariş maliyeti,
- v. Demontaj maliyeti,
- vi. Yeni parça satın alma maliyeti,
- vii. Yeni parça için sipariş maliyeti,
- viii. Nihai ürün elde bulundurma maliyeti,

- ix.* Satın alınmış yeni parça elde bulundurma maliyeti,
- x.* Demonte edilmiş parça elde bulundurma maliyeti,
- xi.* Çekirdek elde bulundurma maliyeti,
- xii.* Nihai ürün için başlangıç stoğu,
- xiii.* Satın alınmış yeni parça için başlangıç stoğu,
- xiv.* Demonte edilmiş parça için başlangıç stoğu,
- xv.* Çekirdek için başlangıç stoğu,
- xvi.* Çekirdek için kalite yüzdesi,
- xvii.* Çekirdek demontajında kazanım oranı,
- xviii.* Her dönem edinilebilecek maksimum çekirdek miktarı,
- xix.* Her dönem demonte edilmesi gereken minimum çekirdek miktarı,
- xx.* Üretim için ürün ağacı (BOM),
- xxi.* Demontaj için ürün ağacı (DBOM).

Ele alınan sistem, tipik bir yeniden üretim sistemidir. Nihai ürünler hem yeni (daha önce kullanılmamış) parçaların, hem de daha önce kullanılmış ve tüketiciden geri dönmüş ürünlerin demontajı ile elde edilen parçaların yeniden montaj işlemi ile oluşturulmuştur.

Şekil 3.1.'de de görüldüğü gibi, yeniden üretim ortamları, geleneksel lojistik faaliyetleri yanında, ürünlerin tüketiciden üreticiye doğru taşındığı tersine lojistik sürecini de gerektirir. Nihai ürün üreticiden müşteriye ulaştırılırken, kullanılmış ürün de Bölüm 1.1. Tersine Lojistik başlığında anlatılan sebeplerle, müşteriden üreticiye ulaşır. Bu ulaşma süreci, birçok farklı ağ yapısı tarafından gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.1. Yeniden Üretim Ortamı (Guide ve diğerleri (1999)'den uyarlanmıştır)

Perakendeci veya depolar, üçüncü parti geri dönüştürücüler aracılığı ile bu ürünleri üreticiye ulaştırdıkları gibi, herhangi bir merkezi toplama olmaksızın üreticiye geri gönderiyor da olabilirler. Guide (2000)'e göre, çekirdekleri müşteriden doğrudan satın aldığını belirten işletme oranı %81.8'dir. İşletmelerin %9.2'si çekirdek alımını araçlardan, %7.3'ü üçüncü parti ortaklardan, %1.7'si ise, üreticinin hasarlı bulduğu için yeniden üretime ayırdığı ürün stoğundan aldıklarını belirtmişlerdir. Bu çalışmanın kapsamı dışında kaldığından, tersine lojistik ağının ne şekilde oluştuğu ayrıntısına girilmeyecek ve yeniden üretimde kullanılmak üzere ürünlerin hangi şekilde üreticiye ulaştığı dikkate alınmayacaktır.

Yeniden üretim ortamında, geleneksel üretimden farklı olarak, nihai ürün montajı esnasında uygulanan malzeme ihtiyaç planlama süreci, sadece satın almaya yönelik olmayacaktır. Üretimde kullanılacak parça ihtiyaçları belirlendikten sonra, bu ihtiyacın karşılanması için farklı kaynaklar söz konusudur. Modelde dört farklı stok bulunmaktadır: (1) nihai ürün stoğu, (2) geri dönen ürün (çekirdek) stoğu, (3) satın alınış yeni parça stoğu, (4) çekirdek demontajı ile edinilmiş parça stoğu. Bu durumda malzeme ihtiyaç planı, parça ihtiyacının nereden karşılanacağına da cevap

vermelidir. Buradaki planlama, geleneksel malzeme ihtiyaç planından farklı olacaktır. Taleb ve Gupta (1997)'nın belirttiği gibi, “montajda tek talep kaynağı nihai üründür ve parçalar bu doğrultuda işlenir ve yönlendirilirler. Demontajda ise parçalar orijinal kaynaklarından ayrılarak ve uzaklaşarak ilerlerler. Ayrılma özelliğine ilave olarak her bir bileşen bir talep kaynağı meydana getirir ve bu aynı bileşenlere olan talep, bazı bileşenler aynı kaynağı paylaştığından, bağımsız olarak yapılamaz”.

Geri dönüş miktarının, yani edinilebilecek çekirdek sayısının kesin olarak bilinmesi durumu, gerçekte pek mümkün değildir. Guide (2000)'e göre, işletmelerin %61.5'i dönüşlerin zaman ve miktarını kontrol edememektedir. Ele alınan modelde, birden fazla tedarikçiden çekirdek edinimi söz konusu olabilmektedir. Geri dönüş miktarı modelde deterministik olarak verilmemektedir. “Geri dönüşler, ürünün özelliğine göre satıştan belirli bir süre sonra ve satışın belirli bir oranı düzeyinde ele alınabilir” (Ferrer ve Whybark, 2001) saptaması sebebi ile, modelde her periyotta ulaşılabilir maksimum çekirdek sayısı sınırı söz konusudur. Çekirdekler kalite kontrole tabi tutulmakta ve kalitesiz olanlar demontaja girmeden yok edilme maliyetine katlanılarak, yok edilmektedir.

Modelde temel amaç, çekirdek edinim, demontaj, yeni parça satın alma, çekirdek yok etme, ve her bir kalem için elde bulundurma maliyetlerini minimum kılacak şekilde, nihai ürün montajı için gerekecek parçaları temin etmektir. Bu karar esnasında, montajda demonte parça mı kullanılacağı yoksa yeni parça mı satın alınacağı veya bunların hangi oranda gerçekleşeceğini saptanmaya çalışılmıştır.

3.2.2. Sistemin Karakteristikleri

Çalışmada kullanılan sistem, üretim ve demontaj yapabilmektedir. Ele alınan sistemin özellikleri, temel başlıklar altında, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

3.2.2.1. Çekirdek Geri Dönüşü ve Demontaj Süreci

- i. Geri dönen ürünler (çekirdek) demonte edilerek, parçalar yeniden üretimde kullanılabilir. Yeniden üretim ile ilgili yapılan ilk tanımda Lund (1984)'un

ifade ettiği gibi, “fabrika ortamında gerçekleşen bir dizi endüstriyel süreç boyunca ürün tamamıyla demonte edilir. Kullanılabilecek parçalar temizlenir, iyileştirilir ve stoğa konur. Ardından yeni ürün, eski, ve eğer gerekiyorsa yeni parçalarla yeniden montajlanır ve böylece, performans ve beklenen ürün ömrü açısından orijinal yeni ürüne eşdeğer, hatta bazı durumlarda daha iyi ürün üretilmiş olur” (Guide ve diğerleri, 1997). Bu tanıma sadık kalınarak, literatürde demontajın kısmi olarak, yani sadece alt modüllere kadar ayrıldığı bazı çalışmalar bulunsa da, bu çalışmada tamamıyla en alt parçaya kadar olan demontaj söz konusudur.

- ii. Birden fazla tedarikçiden çekirdek alımı söz konusudur. Ancak edinilen çekirdeklerin tamamı demontaja başlamak için uygun kalite düzeyinde olmayabilir. Bu durum modelde, kalite oranı ile ifade edilmiştir.
- iii. Her dönem tedarikçilerden edinilebilecek çekirdek miktarı için maksimum değer söz konusudur.
- iv. Çekirdek demontajından elde edilebilecek parçalar, demontaj ürün ağacı (DBOM) ile belirlenir.
- v. Demontajda her zaman tam ürün ağacında teorik olarak ifade edildiği sayıda parça elde edilememektedir. Çekirdek demontaja uygun olsa bile, demontaj esnasında da bozulma, elde edilen parçanın kalite standartlarına uymaması gibi sebeplerle, parça edinimi için demontaj kazanım oranı söz konusudur. Demontajla elde edilebilecek nihai parça sayısı DBOM ve kazanım oranı birlikte değerlendirilerek bulunabilir. Guide ve Jayaraman (2000) yeniden üretimi araştırdıkları çalışmalarında, malzeme kazanım oranının ortalama %64 olmak ile birlikte, %20 ile %82 gibi geniş bir aralıkta değişebildiğini söylemişlerdir.
- vi. Çekirdek edinim, kullanılmayacak çekirdeğin yok edilmesi, yeni (kullanılmamış) parça satın alma ve çekirdekteki her parça için demontaj maliyetleri söz konusudur.
- vii. Demontaj işlemlerinde kapasite kısıtı bulunmaktadır ve demontaj işlemi bu kısıt dahilinde gerçekleştirilebilmektedir.

- viii. Yasal zorunluluklar sebebi ile, her dönem demonte edilmesi gereken minimum çekirdek sayısı söz konusudur.

3.2.2.2. Üretim Süreci

- i. Planlama periyodu sayısı belirlidir.
- ii. Üretim için ihtiyaç duyulan parçalar; (1) çekirdek demontajı ile, (2) daha önce demonte edilmiş parçalar stoğundan, (3) satın alınmış yeni parça stoğundan, (4) yeni parça satın alma yolu ile giderilebilir.

3.2.2.3. Ürün İçinde ve Ürünler Arasında Ortaklık

Geri dönen ve demontajı gerçekleştirilecek çekirdeklerde, ürün içinde ve ürünler arasında ortaklık söz konusudur.

Aynı ürün içinde bir parçanın birden fazla yerde bileşen olarak kullanılması konusu yani parça ve bileşen ortaklığı (*commonality*), üretim ortamlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Tipik bir parça ortaklığı yapısı, Şekil 2.10.'da görülebilir. Üründe ortak parça kullanılması, daha düşük stok maliyeti ve (daha çok parça alımından kaynaklanan) düşük satın alma fiyatı sağlaması gibi sebeplerle, üretim ortamlarında tercih edilmektedir. Ancak bu faydalarının yanında, parça ortaklığı, ürün yapısında bileşenler arasında bağıllık yarattığından demontajın çizelgelenmesini de zorlaştırmaktadır (Taleb vd., 1997; Taleb ve Gupta, 1997). Ürün ortaklığı “parça içinde” olabileceği gibi (Taleb ve Gupta (1997) bunu *common within product* olarak tanımlamıştır), eğer birden fazla ürün üretimi söz konusu ise, “ürünler arasında” ortak parça olması (adı geçen çalışmada *common across products* olarak tanımlanmıştır) da söz konusu olabilir. Langella (2007) çalışmasında bileşen ortaklığını (*commonality*) bileşenin tek bir çekirdekten daha fazlasında kullanılması; bileşen çokluğunu (*multiplicity*) ise, aynı bileşenin bir ürün içinde birden fazla defa kullanılması olarak tanımlanmıştır. Her iki durum da, ürün standardizasyonu, siparişte ölçek ekonomisi avantajı, öğrenme eğrisi etkisi sağlaması yanında, gerekli çekirdek sayısı belirlenmesi işlemini zorlaştırır (Langella, 2007). Bu çalışmada da

gerçek durumu daha iyi yansıtması amacı ile, bileşen ortaklığı modele dahil edilmiştir.

3.2.3. Sistemin Varsayımları

Problemi basitleştirmek ve çözümünü kolaylaştırmak amacı ile, yeniden üretim sistemi ve geliştirilen model ile ilgili olarak, aşağıdaki temel varsayımlarda bulunulmuştur:

- i. Her dönemde sisteme gelen ürün talebi deterministiktir.
- ii. Üretim süreci kusursuzdur. Hatalı üretim sebebi ile yeniden işleme veya makine bozulmaları gibi durumlar söz konusu değildir.
- iii. Üretim ve demontaj süreçlerinde hazırlık zamanları göz önüne alınmamıştır.
- iv. Çekirdek edinim, çekirdek yok etme, yeni parça satın alma, demontaj maliyetleri deterministik olup, zamandan bağımsızdır.
- v. Çekirdek, satın alınmış yeni parça, demontajla elde edilmiş parça ve nihai ürün için elde bulundurma maliyetleri deterministiktir. Guide ve Jayaraman (2000), çekirdeklerin stok kontrolünde, elde bulundurma maliyeti açısından işletmelerin %40'ının sabit elde bulundurma maliyeti kullandıklarını ve çekirdeği satın aldıkları fiyatın %5-%20'sini, elde bulundurma maliyeti olarak belirlediklerini belirtmişlerdir.
- vi. Çekirdek, satın alınmış yeni parça, demontajla elde edilmiş parça ve nihai ürün için başlangıç stokları bilinmektedir.
- vii. Satın alma ve demontaj işlemleri için belirlenen tedarik süresi periyotlar bazında değişmemektedir.
- viii. Çekirdek hangi kaynaktan edinilmiş olursa olsun, demontaj aynı zorluk ve maliyettedir.
- ix. Orta dönemlik plan kısa dönemlik plana dönüştürülürken, planlanan taleplerin aynen gerçekleştiği varsayılmaktadır.

3.2.4. Amaç Fonksiyonu

Modelin amaç fonksiyonu, minimum maliyet üzerine kuruludur. Toplam maliyet denkleminde yer alan maliyetler aşağıda sıralanmış ve 3.3. Matematik Programlama Modeli bölümünde daha ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

- i. Nihai ürün elde bulundurma maliyeti: Sistemde bulunan stoklardan birisi, nihai ürüne ilişkin stoktur. Bu kaleme ilişkin elde bulundurma maliyeti, toplam maliyete katılacaktır.
- ii. Satın alınmış yeni parça elde bulundurma maliyeti: Üretimi gerçekleştirmek için kullanılacak parçaların dışarıdan satın alınması ile oluşan stoğa ilişkin elde bulundurma maliyetidir.
- iii. Demonte edilmiş parça elde bulundurma maliyeti: Üretimi gerçekleştirmek için kullanılacak parçaların çekirdek demontajı ile elde edildiği durumda, demontajla elde edilen ancak kullanılmayan parçalara ilişkin stok için elde bulundurma maliyetidir.
- iv. Çekirdek elde bulundurma maliyeti: Dışarıdan edinilmiş geri dönen ürünlerin (çekirdek) demonte edilmeksizin stokta bekletildiği periyotlara ait elde bulundurma maliyetleridir.
- v. Çekirdek edinim maliyeti: Demonte etmek amacı ile satın alınan çekirdeklere ilişkin maliyettir. Bu maliyet, çekirdeklerin toplanması, sınıflandırılması ve nakliyesi gibi birçok faktörden kaynaklanabilir. Ancak burada, tek kalemde ele alınacaktır. Bu maliyet, firmanın çekirdekleri kendisi toplaması sebebi ile edinim maliyeti veya bir üçüncü taraf firmadan satın alması sebebi ile satın alma maliyeti şeklinde gerçekleşmiş olabilir.
- vi. Çekirdek sipariş maliyeti: Firma demonte etmek üzere çekirdek siparişi verdiğinde, her bir sipariş başına ödemek durumunda kalacağı maliyettir.
- vii. Çekirdek yok etme maliyeti: Firmanın maliyetine katlanarak satın aldığı veya edindiği çekirdeklerin tamamı, demontaja uygun kalite düzeyinde olmayacaktır. Edinilen çekirdeklerin belirli bir oranı, demontaja uygun olmadığı için yok etme maliyetine katlanılarak yok edilecektir.

- viii. Demontaj maliyeti: Her bir çekirdeğin, ihtiyaç duyulan parçalarını ortaya çıkarabilmek için katlanılan demontaj maliyeti, yeniden üretimin toplam maliyeti kapsamında alınmaktadır.
- ix. Yeni parça satın alma maliyeti: Firma gerekli durumlarda üretimini gerçekleştirmek için tedarikçisinden, satın alma maliyetine katlanarak yeni parça satın almaktadır.
- x. Yeni parça sipariş maliyeti: Firma yeni parça satın alması durumunda, satın alma maliyetine (fiyatına) ek olarak, sipariş başına belirli bir sipariş maliyetine katlanmaktadır.

Elde bulundurma maliyetleri stok düzeylerine bağlı olduğundan, her bir kalemin stok seviyesi de performans ölçütü olarak görülmektedir. Sistemin toplam maliyetinin minimum olması gereği ile, yukarıda sayılan bu maliyetler performans değişkeni olarak da ele alınabilir.

3.3. Matematik Programlama Modeli

Literatürde yeniden üretim ile ilgili mevcut çalışmalar incelendiğinde görülmüştür ki, çalışmalar nihai ürünü dikkate almamakta, doğrudan parça ihtiyacı belirlendikten sonraki aşamaya geçilmektedir. Oysa ki MRP, temel olarak nihai ürüne olan talebin, parça ihtiyacına dönüştürülmesi ile başlamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, nihai ürün talebi ve bu ürüne ait ürün ağacı (BOM) söz konusudur.

Literatürdeki çalışmalarda parça stokları, hem demontajla elde edilen hem de satın alınan yeni parçayı içerecek şekilde ele alınmıştır. Ancak bu çalışmada, bu iki ayrı tür parçanın edinim maliyetleri (demontaj maliyeti ve satın alma maliyetleri) farklı olacağından ve elde bulundurma maliyeti çoğunlukla edinim maliyetinin yüzdesi olarak ifade edildiğinden, ayrı stoklar olarak ele alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ve sonraki bölümde ayrıntılı olarak ifade edilen model, doğrusal programlama modelidir. Yeniden üretilmiş ürün için üretim miktarının, ürün ağacında ve demontaj ürün ağacında belirtilen parça sayılarının küçük olması, hesaplamaların hassasiyeti ve doğruluğu açısından, tamsayı

programlamayı gerektirir. Ancak tamsayılı programlamanın, ürün sayısı ve ele alınan periyot sayısı arttıkça, çözüm süresinin artacağı bilinmektedir. Literatürdeki çalışmalarda da tamsayılı programlama kullanıldığı, çözüme ulaşamadığı durumlarda sezgisel algoritmalara geçildiği görülmektedir. Bu çalışmada da önce sadece üretim miktarının tamsayılı alındığı, diğer değişkenlere bir kısıt konmadığı doğrusal programlama modeli çalıştırılmış, daha sonra deneysel tasarım aşamasında ise parametre değerleri küçültülerek, tamsayılı program çözülmeye çalışılmıştır.

3.3.1. Parametreler ve Karar Değişkenleri

Parametreler

t	periyot	$(t= 1, \dots, T)$
i	ürün indisi	$(i= 1, \dots, I)$
j	parça indisi	$(j= 1, \dots, J)$
k	çekirdek indisi	$(k= 1, \dots, K)$
l	çekirdek tedarikçisi indisi	$(l= 1, \dots, L)$
DU_{it}	t periyodunda i ürününe olan talep	
D_{jt}	t periyodunda j parçasına olan talep	
CC_{kl}	l kaynağından k çekirdeği edinimin birim maliyeti	
CD_{kj}	k çekirdeğinin demontajı ile j parçasının elde edilmesi maliyeti (matris)	
CB_j	yeni j parçası satın alma birim maliyeti	
HU_i	i ürünü birim elde bulundurma birim maliyeti (pb/br/periyot)	
HN_j	satın alınan yeni j parçasını elde bulundurma maliyeti (pb/br/periyot)	
HD_j	demontajla elde edilen j parçasını elde bulundurma maliyeti (pb/br/periyot)	
HC_k	k çekirdeğini elde bulundurma maliyeti (pb/br/periyot)	
Q_{kl}	t periyodunda l kaynağından alınabilecek maksimum çekirdek miktarı	
N_{kt}	t periyodunda demonte edilmesi gereken minimum çekirdek miktarı	
CX_k	k çekirdeğini yok etme birim maliyeti	

Y_k	k çekirdeğinin demontaj kazanım oranı
α_k	k çekirdeğinin hata yüzdesi
v	çekirdek edinimi için tedarik süresi
w	satın alınan yeni parça için tedarik süresi
BOM_{ij}	i ürününe ait j alt parçalarını gösteren ürün ağacı matrisi
$DBOM_{kj}$	k çekirdeğinden elde edilebilecek j alt parçalarını gösteren demontaj ürün ağacı matrisi
DT_{kj}	k çekirdeğinden j parçasını demonte etme süresini gösteren matris
DLC_t	t periyodunda demontaj için kullanılabilir işçilik süresi
COU_{jt}	t periyodunda yeni parça için sipariş maliyeti (pb/sipariş)
COC_{kt}	t periyodunda çekirdek için sipariş maliyeti (pb/sipariş)

Karar değişkenleri

TC	toplam maliyet
IU_{it}	t periyodu sonunda i ürününün stoğu
IN_{jt}	t periyodu sonunda yeni j parçası stoğu
ID_{jt}	t periyodu sonunda demontajla edinilen j parçası stoğu
IC_{kt}	t periyodu sonunda k çekirdeği stoğu
PP_{jt}	t periyodunda yeni j parçasından satın alınan miktar
CP_{kt}	t periyodunda edinilen k çekirdeği miktarı
DP_{jt}	t periyodunda demontajla elde edilen j parçası sayısı
Z_{kt}	t periyodunda demonte edilen k çekirdeği sayısı
U_{it}	t periyodunda i ürününden üretim miktarı
UN_{jt}	t periyodunda yeni j parçasından kullanılan miktar
UD_{jt}	t periyodunda demontajla elde edilen j parçasından kullanılan miktar
δ_{jt}	t periyodunda yeni parça siparişi için ikili değişken
θ_{kt}	t periyodunda çekirdek siparişi için ikili değişken

3.3.2. Modelin Matematiksel Formülasyonu

Yukarıda özellikleri, varsayımları ve amacı anlatılan yeniden üretim ortamında, malzeme ihtiyaç planına ilişkin matematiksel formülasyon aşağıda ifade edilmiştir.

Amaç, yeniden üretim ortamında maliyet minimizasyonun sağlanmasıdır. Bunun için yeniden üretim ortamında söz konusu olan maliyetlerin toplamı ifade edilmelidir. 3.3.1. Parametreler ve Karar Değişkenleri bölümündeki gösterimler yardımı ile, amaç fonksiyonuna aşağıdaki maliyet kalemlerinden oluşmaktadır:

(1) Çekirdek edinim maliyeti: İhtiyaç duyulan ürünü üretmek amacı ile gereken parçaların edinim kaynaklarından biri, çekirdek demontajıdır. Bu amaçla edinilen çekirdek maliyeti, her bir tedarikçiden çekirdek satın alma birim maliyeti ile, her dönemde edinilen çekirdek sayısının çarpımı ile bulunur.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K CC_{kl} \times CP_{kt}$$

(2) Yeni parça satın alma maliyeti: Talep miktarı kadar ürünü üretebilmek için gereken parçaların edinim kaynaklarından biri, ihtiyaç kadar yeni (kullanılmamış) parça satın almaktır. Bu amaçla satın alınan yeni parça maliyeti, yeni parça satın alma birim maliyeti ile, her dönemde satın alınan yeni parça sayısının çarpımı ile bulunur.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J CB_j \times PP_{jt}$$

(3) Çekirdek demontaj maliyeti: Edinilen çekirdeklerin demontajı esnasında, çekirdeğin içerdiği her bir parçanın gerektirdiği işçilik, ekipman gibi sebepler ile bir maliyeti olmaktadır. Literatürde genellikle demontaj maliyeti her parça için aynı gibi alınmakta ve tek bir sayı ile ifade edilmekle birlikte, buradaki modelde her bir çekirdeğin içerdiği her bir parça başına düşen birim maliyet göz önünde bulundurulmuş ve bir matris ile bu maliyetler ifade edilmiştir. Demontaj maliyeti, çekirdeğin demontajı ile parça elde edilmesine ilişkin maliyet matrisi ile, her bir dönemde demonte edilmesine karar verilen çekirdek sayısının çarpımı ile bulunur.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J CD_{kj} \times Z_{kt}$$

(4) Nihai ürün elde bulundurma maliyeti: Daha önceki periyotlarda yeniden üretilmiş ve henüz satılmamış nihai ürüne ait elde bulundurma maliyetidir. Periyot sonunda nihai ürüne ilişkin stok miktarı ile, periyot başına birim elde bulundurma maliyetinin çarpımı ile hesaplanabilir.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I HU_i \times IU_{it}$$

(5) Satın alınmış yeni parça elde bulundurma maliyeti: Daha önceki periyotlarda satın alınmış ancak henüz üretimde kullanılmamış yeni parçaların elde bulundurulmasına ilişkin maliyettir. Periyot sonunda satın alınmış yeni parçaya ilişkin stok miktarı ile, periyot başına birim elde bulundurma maliyetini çarpımı ile hesaplanır.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J HN_j \times IN_{jt}$$

(6) Demontajla elde edilmiş parça elde bulundurma maliyeti: Parçalarının yeniden üretimde kullanılması amacı ile demonte edilmiş ancak demonte edildiği periyotta kullanılmamış parçaların elde bulundurulmasına ilişkin maliyettir. Yeniden üretimde gereken parçalar için çekirdek demontajı ve buradan elde edilen parçaların kullanılması alternatifi seçildiğinde, çekirdekten elde edilen her parçanın kullanılması her zaman söz konusu olmayacaktır. Hem miktar olarak bazı parçaların üretim için ihtiyaç duyulandan daha fazla elde edilmesi, hem de parça çeşidi olarak ihtiyaç duyulandan dışında parçaların demontajda elde edilmesi söz konusu olabilir. Bu durumlarda, demontajla elde edilmiş parçaların elde bulundurulması maliyetine katlanması gerekecektir. Bu maliyet, demontajla elde edilen her bir parçanın periyot başına birim elde bulundurma maliyeti ile, her bir periyot sonunda stokta bulunan parça sayısının çarpımı ile bulunabilir.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J HD_j \times ID_{jt}$$

(7) Çekirdek elde bulundurma maliyeti: Demontaj amacı ile edinilen, ancak o periyotta demonte edilmeyen çekirdeklerin elde bulundurulmasına ilişkin maliyettir.

Periyot başına birim elde bulundurma maliyeti ile, periyot sonunda elde bulundurulmuş çekirdek sayısının çarpımı ile bulunur.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K HC_k \times IC_{kt}$$

(8) Çekirdek yok etme maliyeti: Her bir periyotta tedarikçiden edinilen çekirdeklerin tamamı demontaja uygun olmayabilir. Kalite kontrol aşamasında demontaja uygun olmadığı tespit edilen çekirdekler, uygun şekilde yok edilmelidir ve bunun için de bir maliyete katlanılmalıdır. Çekirdek yok etme maliyeti, her bir periyotta edinilen ancak demontaja uygun olmayan çekirdeklerin oranı (α_k kadar) ile, çekirdek yok etme birim maliyetinin çarpımıyla hesaplanabilir.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K CX_k \times (CP_{kt} \times \alpha_k)$$

(9) Yeni parça satın almada sipariş maliyeti: Yeniden üretim için ihtiyaç duyulan parçaların karşılanmasında yeni parça kullanılması söz konusu ise, yeni parçaların satın alınması esnasında her bir sipariş başına katlanılacak sipariş maliyetinin de toplam maliyete eklenmesi gereklidir. Bu maliyet, her bir periyotta, eğer yeni parça satın alınması söz konusu ise, ($\delta_{jt}=1$ olması durumu), yeni parça sipariş maliyetinin toplam maliyete eklenmesi ile elde edilebilir.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \delta_{jt} \times COU_{jt}$$

(10) Çekirdek satın almada sipariş maliyeti: Yeniden üretim için ihtiyaç duyulan parçaların karşılanmasında demonte etmek amacı ile çekirdek alımı söz konusu ise, çekirdek satın alımı esnasında her bir sipariş başına katlanılacak sipariş maliyetinin de toplam maliyete eklenmesi gereklidir. Bu maliyet, her bir periyotta, eğer çekirdek satın alınması söz konusu ise, ($\theta_{kt}=1$ olması durumu), çekirdek için sipariş maliyetinin toplam maliyete eklenmesi ile elde edilebilir.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \theta_{kt} \times COC_{kt}$$

Yukarıda sıralanan maliyet kalemleri ve açıklamalar ışığında, yeniden üretim ortamının toplam maliyeti ve matematiksel modelin minimize edilmek istenen amaç fonksiyonu, aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \text{Min TC} = & \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K CC_{kl} \times CP_{kt} + \sum_{j=1}^J CB_j \times PP_{jt} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J CD_{kj} \times Z_{kt} \right. \\ & + \sum_{i=1}^I HU_i \times IU_{it} + \sum_{j=1}^J HN_j \times IN_{jt} + \sum_{j=1}^J HD_j \times ID_{jt} + \sum_{k=1}^K HC_k \times IC_{kt} \\ & \left. + \sum_{k=1}^K CX_k \times (CP_{kt} \times \alpha_k) + \sum_{j=1}^J \delta_{jt} \times COU_{jt} + \sum_{k=1}^K \theta_{kt} \times COC_{kt} \right] \end{aligned}$$

Bu amacın gerçekleştirilmesinde, yeniden üretim ortamını şekillendiren kısıtların da göz önüne alınması gereklidir.

(1) Nihai ürün için stok eşitliği: Önceki periyottan aktarılan nihai ürün ile mevcut periyotta üretilen ürün sayısı toplamından, satılan ürün sayısı çıkartılarak hesaplanır,

$$IU_{it} = IU_{i,t-1} + U_{it} - DU_{it} \quad \forall i, t \quad (1)$$

(2) Satın alınan yeni parçalar için stok eşitliği: Önceki periyottan aktarılan miktar ile mevcut periyotta satın alınan yeni parça sayısından, o periyotta yeniden üretimde kullanılan yeni parça sayısının çıkartılması ile hesaplanır,

$$IN_{jt} = IN_{j,t-1} + PP_{j,t-w} - UN_{jt} \quad \forall j, t \quad (2)$$

(3) Demontajla elde edilen parçalar için stok eşitliği: Önceki periyotlarda demontaj işlemi sonucu elde edilen ancak kullanılmayan parça sayısı ile mevcut dönemde demontaj işlemi sonucu kazanılan parça sayısı toplamından, bu periyotta yeniden üretimde kullanılan parça sayısı çıkartılarak bulunur,

$$ID_{jt} = ID_{j,t-1} + DP_{j,t} - UD_{jt} \quad \forall j, t \quad (3)$$

(4) Çekirdek için stok eşitliği: Demonte etmek amacı ile daha önceki periyotlarda edinilen, ancak henüz demonte edilmemiş ve aktarılmış çekirdek sayısı ile, satın alınan ve tedarik süresi kadar sonra firmaya ulaşan demontaja uygun kalite düzeyinde olan çekirdek sayısı toplamından, bu dönem demonte edilen çekirdek sayısı çıkartılarak hesaplanır,

$$IC_{kt} = IC_{k,t-1} + (1 - \alpha_k) CP_{k,t-v} - Z_{kt} \quad \forall k, t \quad (4)$$

(5) Demontajla elde edilebilecek parça sayısı: Bu miktar, o periyotta demonte edilen çekirdek sayısına, o çekirdeğe ait ürün ağacına ve çekirdek kazanım oranına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$DP_{jt} = \sum_{k=1}^K Z_{kt} \times DBOM_{kj} \times Y_k \quad \forall j, t \quad (5)$$

(6) Parça ihtiyacı: Parça ihtiyacı, nihai ürün talebi ile başlar. Nihai ürün stoğunda var olan ürün sayısı (1) kısıtında belirleneceğinden, üretilmesi gereken miktar talebe (DU_{it}) de bağlı olarak hesaplanacaktır. İhtiyacı karşılayacak üretim miktarı, ürün ağacı ile birlikte değerlendirilerek yeniden üretim için ihtiyaç duyulan parça sayısı hesaplanır.

$$D_{jt} = \sum_{i=1}^I U_{it} \times BOM_{ij} \quad \forall j, t \quad (6)$$

(7) Parça ihtiyacının karşılanması: (6) nolu kısıtta ifade edilen parça ihtiyacının, hangi kaynaklardan karşılanabileceğini ifade eden kısıttır. Bu ihtiyaç, ya demonte parça stoğundan (3 nolu kısıt), ya da satın alınmış yeni parça stoğundan (2 nolu kısıt) karşılanabilir. Bu ifadelerin yer aldığı (2) ve (3) nolu kısıtlar göz önüne alınırsa, hem önceki periyotlardan kalan parça stoklarının (yeni parça ve demonte parça) göz önüne alındığı, hem satın alınması gereken yeni parça sayısının (PP_{jt}) bulunduğu, hem de demontajla edinilmesi gereken parça sayısının (DP_{jt}) bulunduğu görülebilir. Demontajla edinilmesi gereken parça sayısı (DP_{jt}) (5) nolu kısıt ile hesaplandığından, bu kısıt yardımı ile demonte edilmesi gereken çekirdek sayısı (Z_{kt}) hesaplanmaktadır. Z_{kt} ile ilgili diğer kısıtlamalar, (9), (10) ve (11) nolu kısıtlarda ifade edilmiştir.

$$D_{jt} = UD_{jt} + UN_{jt} \quad \forall j, t \quad (7)$$

(8) Firmanın ulaşabileceği toplam çekirdek sayısı: Farklı tedarikçilerden edinilebilecek maksimum çekirdek sayısı, o dönem her bir tedarikçi için belirlenmiş olan ulaşılabilir maksimum çekirdek sayısının toplamından fazla olamaz. Bu kısıtta her bir tedarikçiden alınabilecek maksimum çekirdek sayısı, ürünün geçmiş dönemlerdeki satış düzeyine, ürün ömrüne, çekirdek tedarikçisinin tersine lojistik ağındaki konumuna bağlı olabileceği gibi, firmanın çekirdek satın alma politikasından da kaynaklanabilir.

$$CP_{kt} \leq \sum_{l=1}^L Q_{ktl} \quad \forall k, t \quad (8)$$

(9) Demonte edilebilecek çekirdek sayısı: Mevcut periyotta demonte edilebilecek çekirdek sayısı, stokta var olan çekirdek sayısından fazla olamaz.

$$IC_{kt} \geq Z_{kt} \quad \forall k, t \quad (9)$$

(10) Demontaj için işçilik kapasitesi: Her bir çekirdekten, her bir parçanın elde edilmesinin belirli bir işçilik süresi gerektirdiği varsayılmakta ve bu bir matrisle ifade edilmektedir. Her dönem için demontajda kullanılabilecek işçilik süresinin bir sınırı bulunmaktadır. İçinde bulunulan periyotta demonte edilen çekirdek miktarı ile, her bir çekirdeğin demontajının gerektirdiği süre dikkate alınarak, bu işçilik süresinin mevcut kapasiteyi aşmaması sağlanır.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J DT_{kj} \times Z_{kt} \leq DLC_t \quad \forall t \quad (10)$$

(11) Demonte edilmesi gereken en az miktar: Yasal zorunluluklar sebebi ile, her periyotta firmanın demonte ederek parçalarını yeniden üretimde kullanmak zorunda olduğu çekirdek sayısı için bir alt sınır tanımlanmıştır. Bu sayı, yasal olarak belirlenmiş veya firmanın sosyal sorumluluk kapsamında saptadığı, önceki periyotlardaki satışlarının belirli bir yüzdesi veya şu anki üretim miktarının belirli bir oranı olabilir.

$$Z_{kt} \geq N_{kt} \quad \forall k, t \quad (11)$$

(12) Satın alınan yeni parça için sipariş maliyeti: İkili değişkenle satın alınan yeni parça miktarı arasındaki ilişkiyi sağlayan kısıttır.

$$PP_{jt} \leq M \times \delta_{jt} \quad \forall j, t \quad (12)$$

(13) Çekirdek edinimi için sipariş maliyeti: İkili değişkenle edinilen çekirdek miktarı arasındaki ilişkiyi sağlayan kısıttır.

$$CP_{kt} \leq M \times \theta_{kt} \quad \forall k, t \quad (13)$$

(14) Satın alınan yeni parçaya ait ikili değişken

$$\delta_{jt} = \begin{cases} 1 & PP_{jt} > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \forall j, t \quad (14)$$

(15) Edinilen çekirdeğe ait ikili değişken

$$\theta_{kt} \begin{cases} 1 & CP_{kt} > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \forall k, t \quad (15)$$

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, matematiksel model aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Amaç:

$$\begin{aligned} \text{Min TC} = & \sum_{t=1}^T \left[\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K CC_{kl} \times CP_{kt} + \sum_{j=1}^J CB_j \times PP_{jt} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J CD_{kj} \times Z_{kt} \right. \\ & + \sum_{i=1}^I HU_i \times IU_{it} + \sum_{j=1}^J HN_j \times IN_{jt} + \sum_{j=1}^J HD_j \times ID_{jt} + \sum_{k=1}^K HC_k \times IC_{kt} \\ & \left. + \sum_{k=1}^K CX_k \times (CP_{kt} \times \alpha_k) + \sum_{j=1}^J \delta_{jt} \times COU_{jt} + \sum_{k=1}^K \theta_{kt} \times COC_{kt} \right] \end{aligned}$$

Kısıtlar:

$$IU_{it} = IU_{i,t-1} + U_{it} - DU_{it} \quad \forall i, t \quad (1)$$

$$IN_{jt} = IN_{j,t-1} + PP_{j,t-w} - UN_{jt} \quad \forall j, t \quad (2)$$

$$ID_{jt} = ID_{j,t-1} + DP_{j,t} - UD_{jt} \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$IC_{kt} = IC_{k,t-1} + (1 - \alpha_k) CP_{k,t-v} - Z_{kt} \quad \forall k, t \quad (4)$$

$$DP_{jt} = \sum_{k=1}^K Z_{kt} \times DBOM_{kj} \times Y_k \quad \forall j, t \quad (5)$$

$$D_{jt} = \sum_{i=1}^I U_{it} \times BOM_{ij} \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$D_{jt} = UD_{jt} + UN_{jt} \quad \forall j, t \quad (7)$$

$$CP_{kt} \leq \sum_{l=1}^L Q_{klt} \quad \forall k, t \quad (8)$$

$$IC_{kt} \geq Z_{kt} \quad \forall k, t \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J DT_{kj} \times Z_{kt} \leq DLC_t \quad \forall t \quad (10)$$

$$Z_{kt} \geq N_{kt} \quad \forall k, t \quad (11)$$

$$PP_{jt} \leq M \times \delta_{jt} \quad \forall j, t \quad (12)$$

$$CP_{kt} \leq M \times \theta_{kt} \quad \forall k, t \quad (13)$$

$$\delta_{jt} \begin{cases} 1 & PP_{jt} > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diger durumda} \end{cases} \quad \forall j, t \quad (14)$$

$$\theta_{kt} \begin{cases} 1 & CP_{kt} > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{diger durumda} \end{cases} \quad \forall k, t \quad (15)$$

$$Z_{kt}, PP_{jt}, IU_{it}, IN_{jt}, ID_{jt}, IC_{kt}, U_{it}, UN_{jt}, DP_{jt}, UD_{jt}, CP_{kt}, D_{jt} \geq 0 \quad \forall i, j, k, t$$

$$\delta_{jt}, \theta_{kt} \in (0, 1) \quad \forall j, k, t$$

3.4. Üretim Sisteminin Tasarımı

Yeniden üretim ortamı, birçok özelliği ile geleneksel üretim ortamlarından farklılıklar göstermektedir. Üretim ve yeniden üretim ortamlarının karşılaştırması Tablo 1.2.'de gösterilmiştir. Yeniden üretim ortamını karakterize eden özellikler, aynı zamanda üretim ortamının karmaşıklığını da artıran özellikler olarak görülebilir.

Guide ve diğerleri (2000), Lourenço ve Soto (2002), Gungor ve Gupta (1998) çalışmalarında yeniden üretim ortamının yönetme, planlama ve kontrolünü zorlaştıran karakteristiklerini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ortaya konan model de şekillendirmeye yardımcı olan ve parametre olarak ele alınan bu karakteristikler, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- i. Dönüşlerin zaman ve miktarının belirsizliği: Demonte edilerek parçaları yeniden üretimde kullanılacak çekirdeklerin, yani satılmış ve tüketici tarafından kullanılmış ürünlerin, ne zaman üreticiye geri döneceği tam olarak bilinemez. Bu durum ürüne ve ürün ömrüne bağlı olarak değişebilir. İkame ürünlerin varlığı, ürünün teknolojisi, modanın etkisi, rakip ürünlerin

teknolojisi ve fiyatı, firmanın veya rakiplerinin yeni ve gelişmiş ürünlere uygulayacağı fiyat indirimleri, ürünlerin geri dönüş zamanını etkileyebilir. Bunu kısmen de olsa kontrol edebilmek için firmaların yeni ürünü satın alırken, eski ürünü de geri alma ve fiyat indirimi yapma gibi stratejileri veya belediyelerin bazı ürünlerde (pil, plastik vb.) uyguladıkları ürün toplama çalışmaları ve firmalara uygulanan bazı yasal düzenlemeler (firmaların ürünü sattıktan sonra da takip etme ve yok edilene kadar üründen sorumlu kılma) gözlenmektedir. Bu çalışmaların hiçbiri, dönüşlerin zaman ve miktar açısından kontrol edilebilmesini tam olarak sağlayamaz, ancak bilgi verici olabilir.

- ii. Çekirdeklerin kalite düzeyi: Geri dönen kullanılmış ürünlerin üreticiye dönüş sebebine (bozulma, daha iyi bir ürün satın alma, modasının geçmesi vb.) bağlı olarak, kalite düzeyi de değişecektir. Bazı çekirdekler, üreticiye geri dönmüş olmasına rağmen, demonte bile edilemeyecek durumda olabilirler.
- iii. Demontaj kazanım oranı: Çekirdeğin demontaja uygun olduğu kararı verildikten sonra, demontaj işlemine geçilir. Demontajla elde edilebilecek parçalara ilişkin “demontaj ürün ağacı”, üretim ürün ağacına bağlı olarak belirlenebilir. Burada parçaların nasıl birleştirildiği (kaynak, yapıştırma, geçirme vb.), parça elde edilebilirliğinde etkili olacaktır. Ancak demontaj ürün ağacı teorik olarak belirlense bile, demontaj esnasında tahmin edildiği kadar parça elde edilemeyecektir. Bu durum literatürde *kazanım oranı* olarak ifade edilmektedir. Demontaj ürün ağacının tam olarak elde edilebildiği demontaj süreçlerinde, kazanım oranı 1’dir. Bu oran 0’a yaklaştıkça teorik olarak demontaj ürün ağacında ifade edilenden daha az parça elde ediliyor demektir. Bu durumda da firmanın, çekirdek edinim, stoklama, yeni parça satın alma, demontaj maliyeti veya yasal zorunluluklar gibi faktörleri göz önünde bulundurarak, yeni (kullanılmamış) parça satın alma veya demontajla parça elde etme alternatiflerinden hangisinin daha az maliyetli olacağını belirlemesi gerekmektedir.
- iv. İhtiyaçlarla geri dönüşlerin dengelenmesi ihtiyacı: Çekirdekten demontajla elde edilecek parçaların, yeniden üretilmiş ürün için gereken parça ihtiyacını

tam olarak karşılayacağı garanti edilemez. Bu durumda, yeni (kullanılmamış) parça satın alma alternatifinin de göz önünde bulundurulması gereklidir.

- v. Stoklama ihtiyacı: Çekirdeklerin talep üzerine alınmadığı, her dönemde belirli bir seviyede firmaya ulaştığı durumlarda, veya maliyet avantajı sağlaması sebebi ile talepten daha fazla alındığı durumda çekirdek stoğu bulunacaktır. Benzer sebeplerle, yeni parça stoğu ve yeniden üretilmiş nihai ürün stoğu da bulunabilir. Bir diğer stok, demontajla elde edilmiş parçalara aittir. Demontaj esnasında, demontaj ürün ağacında belirlenen parçalar elde edilir. Ancak bu parçaların yeniden üretilen ürünlerde tamamıyla kullanılması her zaman söz konusu olmayabilir. Gereken diğer parçaları ortaya çıkarmak amacı ile demonte edilmiş ancak mevcut dönemde gerekmeyen parçalar için de bir stok bulundurulması ve maliyetine katlanması gerekmektedir.

Ele alınan ve matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılan problemde, hem yukarıda bahsedilen faktörleri modele dahil edebilmek hem de üretim ortamını, 3.2.2. Sistemin Karakteristikleri ve 3.2.3. Sistemin Varsayımları bölümlerinde bahsedilen kısıtlar kapsamında tanımlayabilmek amacı ile, aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır:

- i. Ürün ağacı: Üretilen nihai ürüne ait ürün ağacı yapısı bilinmektedir.
- ii. Demontaj ürün ağacı: Demontajla elde edilebilecek parçalara ilişkin ürün ağacı yapısı bilinmektedir. Ancak, ürün ağacında teorik olarak belirtilen parça sayılarının ne kadarının elde edilebileceği, kazanım oranına bağlıdır.
- iii. Demontaj süresi: Ele alınan her bir çekirdekten, içerdiği parçaların elde edilmesi için gereken işçilik süreleri belirlidir. Bu değer, firmanın kapasitesini aşmayacak şekilde demontaj işlemine izin verilmesi açısından önemlidir.
- iv. Nihai ürün talebi: Yeniden üretilmiş ürüne olan talep, dönemler bazında belirlidir.

- v. Başlangıç stok değerleri: Elde bulundurulan stoklara (nihai ürün, satın alınmış yeni parça, demontajla elde edilmiş parça, çekirdek) ilişkin başlangıç stokları, modelde göz önüne alınmıştır.
- vi. Çekirdek edinim maliyeti: Çekirdek birim satın alma fiyatı olarak da düşünülebilir. Her bir tedarikçiden, her bir çekirdeği edinmek için katlanılması gereken maliyet bellidir.
- vii. Yeni parça satın alma maliyeti: Yeni parça satın alma esnasında birim başına ödenen tutardır.
- viii. Sipariş maliyetleri: Çekirdek ve yeni parça satın alımı esnasında, her bir sipariş başına ödenen tutardır.
- ix. Çekirdekten demontaj ile parça elde edilme maliyeti: Demontaj ürün ağacında da belirtilen her bir çekirdekten elde edilebilecek parçalara ilişkin demontaj maliyetleridir.
- x. Demonte edilecek minimum çekirdek sayısı: Her bir dönemde maliyet açısından etkin olsun olmasın, ihtiyaca da bağlı olmaksızın demonte edilmek zorunda olunan çekirdek sayısıdır. Bu durum, daha önceki bölümlerde bahsedilen üretici sorumluluğu gereği veya yasal zorunluluklar sebebi ile olabilir.
- xi. Tedarik süreleri: hem çekirdek hem de yeni parça için tedarik süreleri dikkate alınmıştır.
- xii. Elde bulundurma maliyetleri: Stokta bulundurulan nihai ürün, çekirdek, demontajla elde edilmiş parça ve satın alınmış yeni parça için her dönem birim başına olmak üzere katlanılan maliyettir.
- xiii. Çekirdek yok etme maliyeti: Tedarikçiden edinilen ancak ilk kalite kontrol esnasında, demontaja uygun kalite düzeyinde olmadığı anlaşılan çekirdekleri uygun şekilde yok edebilmek için katlanılan maliyettir.
- xiv. Çekirdek kazanım oranı: Demonte edilen çekirdeklerin demontaj ürün ağacında teorik olarak ifade edilen elde edilebilir parça sayılarının ne oranda gerçekleştiğini ifade eden orandır.
- xv. Tedarikçi kapasitesi: Her periyotta, her bir tedarikçiden, her tür çekirdekten ne kadar edinilebileceğini gösteren üst sınırdır.

- xvi. Demontaj kapasitesi: Her periyotta demontaj için kullanılabilir kapasitedir. Her bir çekirdek için ifade edilen demontaj süresi ile, demonte edilecek çekirdek sayısı dikkate alınarak, bu kapasiteyi aşmayacak şekilde demontaj gerçekleştirilebilir.

Geliştirilen model gerçek bir yeniden üretim ortamında karşılaşılabilecek genel durumları dikkate alacak şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Modelin çalıştırılması esnasında, literatürde bu çalışmada da doğrudan kullanılacak veri setleri bulunmadığından ve yeniden üretim yapan işletme verilerine ulaşamadığından, ayrıca temel amaç bir yeniden üretim ortamını ve bu üretim ortamının çalışma şeklini genel hatları ile modellemek olduğundan, literatürde en çok kullanılan dağılım olan düzgün dağılımı kullanılmış, veriler araştırmacılar tarafından Matlab® programı ile oluşturulmuştur.

4.1. Örnek Model bölümünde basit bir modelin çalışma şekli anlatılmıştır. Bu model anlatımı kolaylaştırmak adına, az sayıda nihai ürün, çekirdek ve parça için, kısa süreli çalıştırılmıştır. Daha geniş kapsamlı bir model değişkenler sürekli alınarak çalıştırılmış ve sonuçlar ifade edilmiştir. Senaryo analizi bölümünde ise, yeniden üretim ortamını etkileyeceği tahmin edilen faktörler ve bunların seviyeleri belirlenerek her bir program için toplam maliyet değerleri araştırılmış ve istatistiksel analizlerle bu faktörlerin ne kadar etkili olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır.

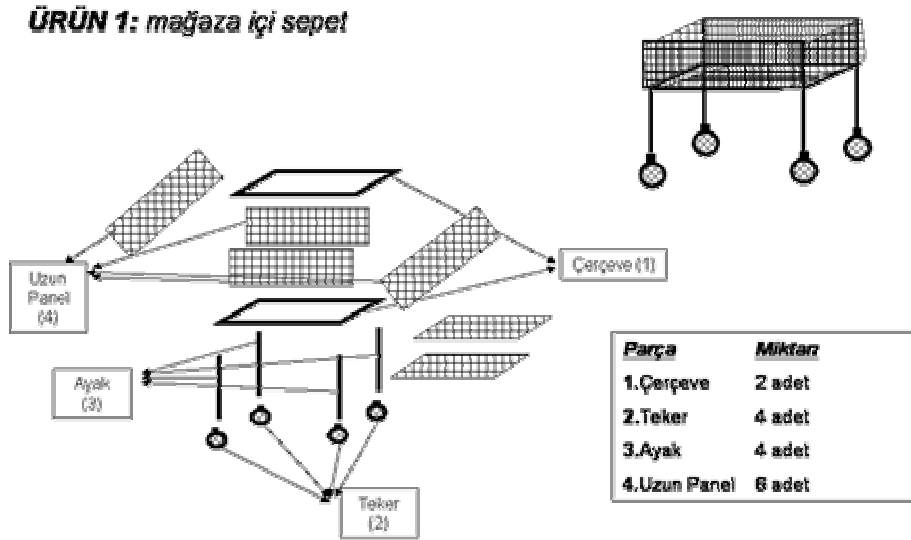
Tüm matematiksel modeller GAMS® paket programı yardımı ile çözülmüştür. GAMS® optimizasyon paketi, model çözümünde çözücü (solver) seçme imkanı sağlar. Ele alınan modellerde, OSL çözücüsü kullanılmıştır. IBM'in geliştirdiği OSL (Optimization Subroutine Library), özellikle doğrusal (LP) ve karışık tamsayılı programlama (MIP) çözümünde oldukça yüksek performans sergileyebilen bir çözücüdür (www.gams.com, e.t. 02.10.2007).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

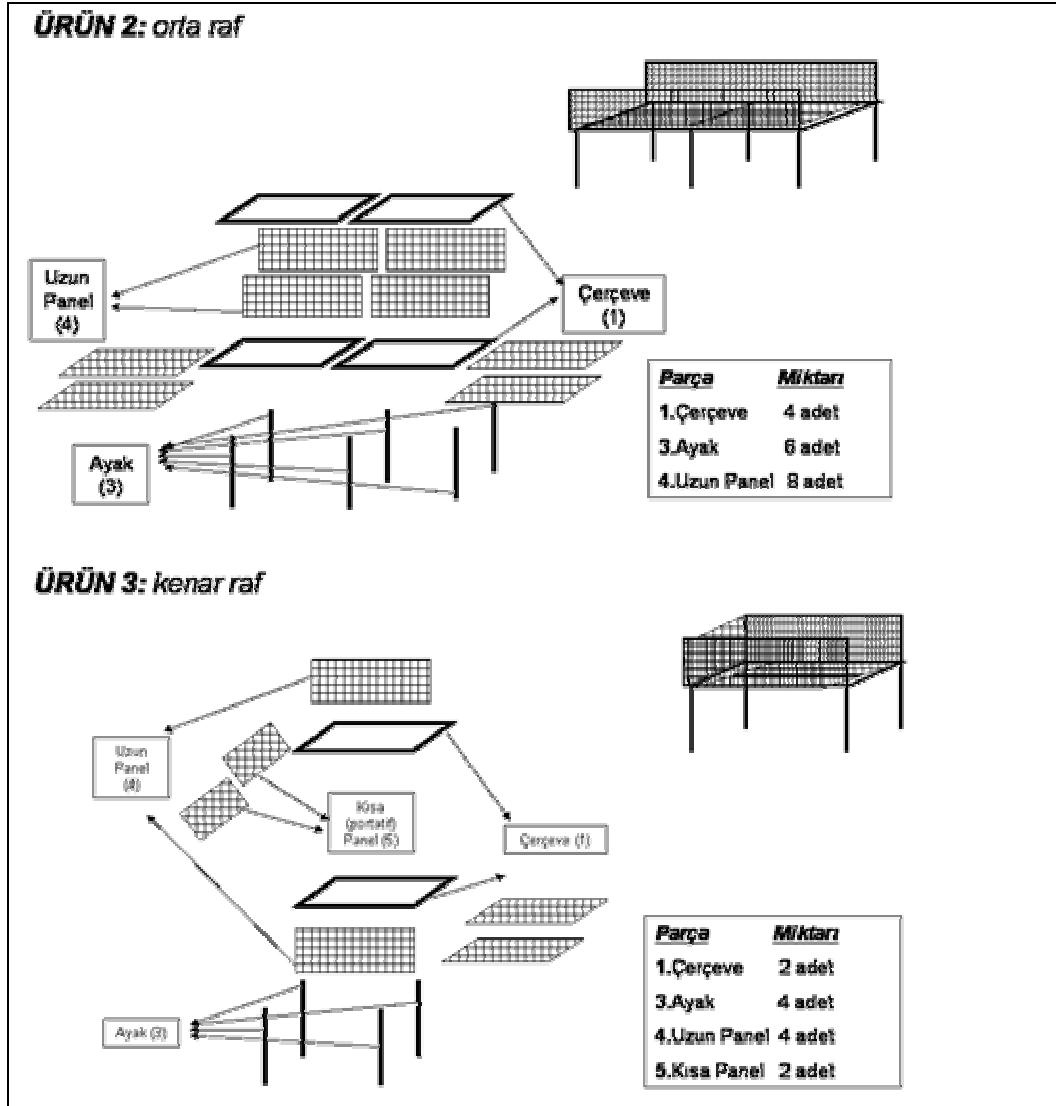
Bu bölümde örnek bir problem yardımı ile modelin nasıl çalıştığı anlatılmış, modelde değişkenlerin sürekli veya tamsayı alınmasının farkları ifade edilmiş, modelin hesaplama karmaşıklığına değinilmiş ve yeniden üretim ortamında belirlenen faktörlerin değişmesi durumunda modelin sonuçları irdelenmiştir.

4.1. Örnek Model

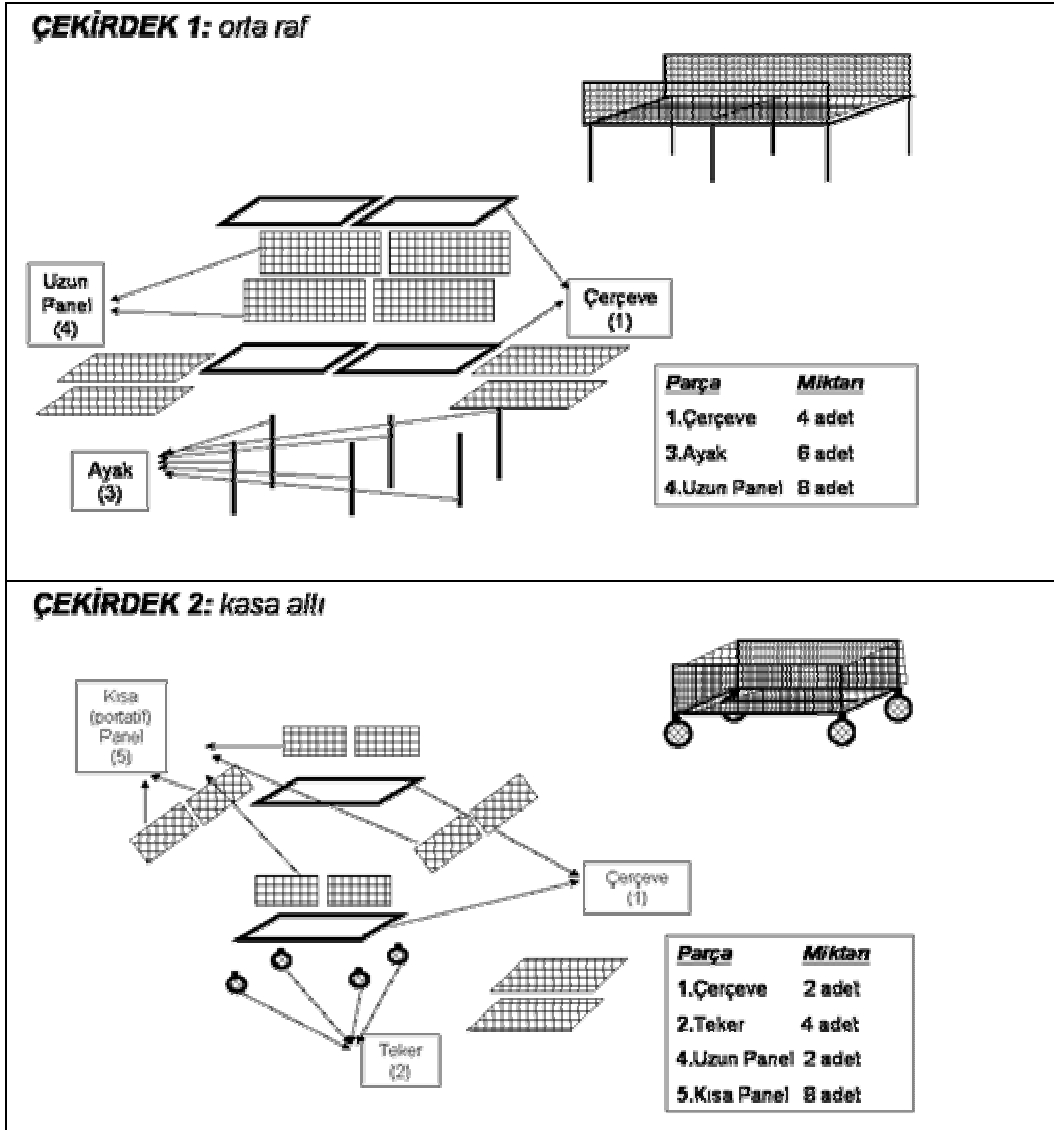
Modelin çalışma şeklinin anlaşılması amacı ile verilen örnek problemde, 3 farklı nihai ürün 5 dönem boyunca üretilmek istenmektedir. Yeniden üretimi gerçekleştirmek için demonte edilebilecek çekirdek sayısı 2'dir. Nihai ürün ve çekirdek, en fazla 5 parçadan oluşmaktadır. Yeniden üretilecek nihai ürünler Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de, çekirdekler Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Örnek Ürün (Ürün 1)

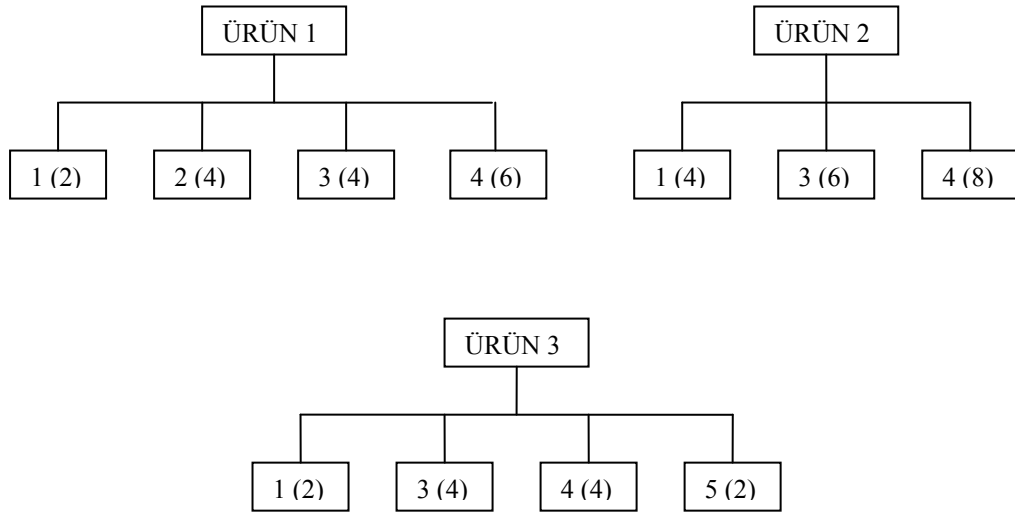


Şekil 4.2. Örnek Ürün (Ürün 2 ve Ürün 3)

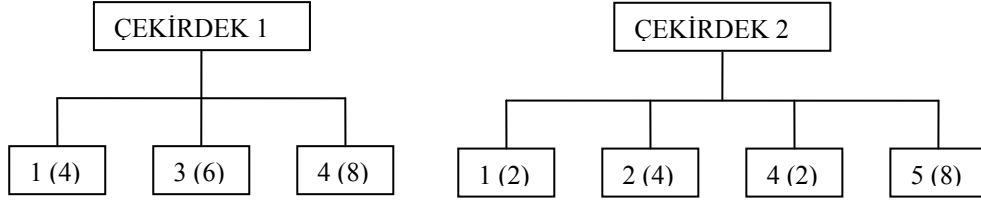


Şekil 4.3. Örnek Çekirdek (Çekirdek 1 ve Çekirdek 2)

Örnek olarak seçilen bu ürünler için ürün ağaçları Şekil 4.4. (nihai ürün) ve Şekil 4.5.'te (çekirdek) verilmiştir. Örnek problemde verilen ve deneysel tasarımda belirlenen ürün ağaç yapıları tek seviyeli gibi görünse de, bu bir şart değildir. Yeniden üretimin tanımına uygun olarak *ürünlerin son aşamaya kadar demontajının* gerçekleştirildiği varsayıldığından, ürün çok seviyeli bir yapıya da sahip olsa, sonuçta demontajla elde edilebilecek parçalar ve buna ilişkin demontaj zamanları ve maliyetleri, sadece son aşamada gösterildiğinden, tek seviyeli ürün ağaç yapıları gözlenmektedir.



Şekil 4.4. Üretim İçin Ürün Ağacı (Örnek Model)



Şekil 4.5. Demontaj İçin Ürün Ağacı (Örnek Model)

Nihai ürün için ürün ağacı ve demontaj ürün ağacı, GAMS® programında matris şeklinde gösterilecektir. Yukarıda verilen bilgiler ışığında bu matrisler, aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$BOM(i, j) \begin{bmatrix} 2 & 4 & 4 & 6 & 0 \\ 4 & 0 & 6 & 8 & 0 \\ 2 & 0 & 4 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad DBOM(k, j) \begin{bmatrix} 4 & 0 & 6 & 8 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 2 & 8 \end{bmatrix}$$

Modelde kullanılan nihai ürün talepleri ve başlangıç stokları Tablo 4.1.’de verilmiştir. Yeni parça ve çekirdek için sipariş maliyeti söz konusudur. Çekirdeklerin demontajda kazanım oranı birinci çekirdek için 0.3 ve ikinci çekirdek için 0.7’dir. Modelin anlatımını kolaylaştırmak adına, yeni parça ve çekirdek alımı için tedarik süresi ve çekirdek kalitesizlik oranı sıfır olarak alınmamıştır.

Tablo 4.1. Örnek Model İçin Nihai Ürün Talepleri

	Başlangıç Stoğu	Periyot				
		1	2	3	4	5
Ürün 1	5	20	15	17	15	10
Ürün 2	4	10	10	12	9	9
Ürün 3	0	5	3	6	7	5

4.1.1. Karar Değişkenlerinin Sürekli Kabul Edildiği Durum

Model ilk olarak, sadece üretim miktarı tamsayı olacak şekilde, sipariş maliyetine ait ikili değişkenler hariç, diğer değişkenler sürekli alınarak çözülmüştür.

Örnek modelin GAMS® ile çözümü Pentium(R) 4 CPU 2.4Ghz. 1 GB RAM özellikli bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Çözüm birkaç saniye sürmüş ve 24595 toplam maliyeti ile tamamlanmıştır. Modelin çözümüne ilişkin .log dosyası, Ek-1’de verilmiştir. Bölüm 4.1.2’deki sonuçlarla karşılaştırıldığında görüleceği üzere, değişkenlerin tamsayı olma kısıtı söz konusu olmadığında, optimum çözümde daha düşük toplam maliyete çok daha kısa sürede (157 iterasyon ile) ulaşmak mümkün olmaktadır. Ancak, çözüm incelendiğinde görülmektedir ki, üretim miktarı tamsayı alındığında ona bağlı olarak bazı değişkenler tamsayı görünse de, özellikle çekirdek kalitesizlik oranının çarpıldığı değişken (edinilecek çekirdek miktarı, CP_{kt}) ve demontaj kazanım oranının çarpıldığı değişken (demonte edilecek çekirdek sayısı, Z_{kt}) tamsayı olmamaktadır. Bu durumda çözüm, ne kadar çekirdek edinileceği ve ne kadarının demonte edileceği sorularında tam cevaplayıcı olamayacaktır. Bu sebeple modelleri, gerekli değişkenlerin tamsayı olduğu şekli ile çözmek daha uygundur.

Örnek modelin tamsayılı çözüm sonuçlarına ve modelin çalışma ve sonuç ayrıntılarına, izleyen bölümde değinilmiştir.

4.1.2. Karar Değişkenlerinin Tamsayı Kabul Edildiği Durum

Demontajda kazanım oranı ve çekirdeğin kalite düzeyi gibi etkenler kısıtlarda çarpım halinde bulunduğundan, çözümde tamsayı olmayan değişkenlere rastlanmaktadır. Sayıların, özellikle de nihai ürün talebi, demontajla elde edilebilecek parça sayısı ve üretim için gereken parça sayısının yeterince büyük olduğu durumda, çözümün (yani demontajla elde edilebilecek parça sayısı, edinilmesi gereken çekirdek sayısı ve satın alınması gereken yeni parça sayısının) tamsayı olmaması halinde işletmeler elde bulundurdıkları stok miktarındaki ayarlamalar ile bu belirsizliği giderebilirler. Ancak eğer nihai ürün talebi ve ürün ile çekirdek içindeki parça sayıları küçükse, tamsayılı model kullanmak gerekmektedir. Bu sebeple, önceki bölümde sürekli değişkenlerle çözülen problemin, değişkenler tamsayılı alınarak çözümü gerçekleştirilmiştir.

Örnek modelin GAMS® ile çözümü, değişkenlerin sürekli alınarak çözüldüğü bilgisayarda (Pentium(R) 4 CPU 2.4Ghz. 1 GB RAM) gerçekleştirilmiştir. Program, değişkenlerin sürekli alındığı durumdan daha yüksek bir maliyetle (24799) tamamlanmıştır. Modelin çözümüne ilişkin *.lst* dosyası, Ek-2’de verilmiştir.

Temel olarak üretimi ve parça ihtiyacını ifade eden kısıtlar, nihai ürün, yeni parça ve demonte parça stok eşitliklerine aittir. Bu sebeple bu kısıtlar, çözümde elde edilen sonuçlar ile, dönemler bazında verilmiştir. Nihai ürüne ilişkin kısıtın gerçekleşen değerleri, Tablo 4.2.’de görülebilir.

Tablo 4.2. Örnek Modelin Nihai Ürün Stok Eşitliği

$IU_{it} =$	$IU_{i,t-1}$	$+ U_{it}$	$- DU_{it}$	$+ \text{başlangıç stoğu}$
$IU_{11} =$	0	+ 15	- 20	+ 5
$IU_{12} =$	0	+ 15	- 15	
$IU_{13} =$	0	+ 17	- 17	
$IU_{14} =$	0	+ 15	- 15	
$IU_{15} =$	0	+ 10	- 10	
$IU_{21} =$	0	+ 6	- 10	+ 4
$IU_{22} =$	0	+ 10	- 10	
$IU_{23} =$	0	+ 12	- 12	
$IU_{24} =$	0	+ 9	- 9	
$IU_{25} =$	0	+ 9	- 9	
$IU_{31} =$	0	+ 6	- 5	
$IU_{32} =$	1	+ 3	- 3	
$IU_{33} =$	1	+ 6	- 6	
$IU_{34} =$	1	+ 6	- 7	
$IU_{35} =$	0	+ 5	- 5	

Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi, model nihai ürün elde bulundurma maliyetine katlanmamak için, tam ihtiyaç kadar üretim yapmaktadır. Bu durumun değiştiği yer, üçüncü ürünün 1. dönemidir. Burada ihtiyaçtan (5 adet) daha fazla üretim (6 adet) yapılmış ve sonraki döneme nihai ürün aktarılmış ve 4. dönemde kullanılmıştır. Çekirdek demontajı sonucu edinilmiş parçalara ilişkin stok eşitliği bilgileri, Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Örnek Modelin Demonte Parça Stok Eşitliği

$ID_{jt} =$	$ID_{i,t-1}$	$+ DP_{it}$	$- UD_{it}$
$ID_{11} =$	0	+ 16	- 16
$ID_{12} =$	0	+ 14	- 14
$ID_{13} =$	0	+ 16	- 16
$ID_{14} =$	0	+ 15	- 15
$ID_{15} =$	0	+ 15	- 15
$ID_{21} =$	0	+ 6	- 6
$ID_{22} =$	0	+ 3	- 3
$ID_{23} =$	0	+ 6	- 6
$ID_{24} =$	0	+ 6	- 6
$ID_{25} =$	0	+ 6	- 6
$ID_{31} =$	0	+ 20	- 20
$ID_{32} =$	0	+ 20	- 20
$ID_{33} =$	0	+ 20	- 20
$ID_{34} =$	0	+ 18	- 18
$ID_{35} =$	0	+ 18	- 18

$ID_{jt} =$	$ID_{i,t-1}$	$+ DP_{it}$	$- UD_{it}$
$ID_{41} =$	0	+ 30	- 30
$ID_{42} =$	0	+ 28	- 28
$ID_{43} =$	0	+ 30	- 30
$ID_{44} =$	0	+ 27	- 27
$ID_{45} =$	0	+ 27	- 27
$ID_{51} =$	0	+ 12	- 12
$ID_{52} =$	0	+ 6	- 6
$ID_{53} =$	0	+ 12	- 12
$ID_{54} =$	0	+ 12	- 12
$ID_{55} =$	0	+ 11	- 10

Yeniden üretim için gereken parça ihtiyacını karşılamada bir diğer alternatif, yeni parça satın almaktır. Yeni parçaya ilişkin stok eşitliğinin örnek problem için gerçekleşen değerleri Tablo 4.4.'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Örnek Modelin Yeni Parça Stok Eşitliği

$IN_{jt} =$	$IN_{i,t-1}$	$+ PP_{it}$	$- UN_{it}$
$IN_{11} =$	0	+ 112	- 50
$IN_{12} =$	62	+ 0	- 62
$IN_{13} =$	0	+ 78	- 78
$IN_{14} =$	0	+ 63	- 63
$IN_{15} =$	0	+ 51	- 51
$IN_{21} =$	0	+ 111	- 54
$IN_{22} =$	57	+	- 57
$IN_{23} =$	0	+ 62	- 62
$IN_{24} =$	0	+ 54	- 54
$IN_{25} =$	0	+ 34	- 34
$IN_{31} =$	0	+ 100	- 100
$IN_{32} =$	0	+ 112	- 112
$IN_{33} =$	0	+ 144	- 144
$IN_{34} =$	0	+ 120	- 120
$IN_{35} =$	0	+ 96	- 96

$IN_{jt} =$	$IN_{i,t-1}$	$+ PP_{it}$	$- UN_{it}$
$IN_{41} =$	0	+ 132	- 132
$IN_{42} =$	0	+ 154	- 154
$IN_{43} =$	0	+ 192	- 192
$IN_{44} =$	0	+ 159	- 159
$IN_{45} =$	0	+ 125	- 125
$IN_{51} =$	0	+ 0	- 0
$IN_{52} =$	0	+ 0	- 0
$IN_{53} =$	0	+ 0	- 0
$IN_{54} =$	0	+ 0	- 0
$IN_{55} =$	0	+ 0	- 0

Tablo 4.3. ve Tablo 4.4. birlikte değerlendirildiğinde, demontajın ve yeni parça satın almanın genellikle birlikte kullanıldığı görülmektedir. Yeni parça ve çekirdek satın alma durumlarında sipariş maliyetine ilişkin ikili değişkenin de 1 değerini aldığı, Ek-2’de görülebilir.

Elde edilen çözümü dördüncü parça için incelersek ($j=4$), ilk yapılması gereken bu parçaya olan ihtiyacın belirlenmesidir. Üretim için ürün ağacına bakılacak olursa, dördüncü parçanın her üç üründe de yer aldığı görülebilir. Birinci üründe 6, ikinci üründe 8 ve üçüncü üründe ise 4 adet parça 4 gerekmektedir. Tablo 4.2.’de yer alan U_{it} sütunundan, her periyotta hangi üründen ne miktarda üretildiği belirlenmelidir. Her nihai ürün içinde yer alan parça sayıları çarpımı ile, parça ihtiyacı belirlenir. Yeni veya demontajla edinilen parça stoklarında bulunan miktarlar düşülerek net ihtiyaç belirlenir ve tüm maliyet faktörleri göz önüne alınarak parça

ihtiyacını karşılayacak en uygun alternatif seçilir. Tablo 4.5., örnek tamsayılı model için sonuçları içermektedir. Burada önce nihai ürün talebine bağlı olarak parça ihtiyaçlarının (stok bilgileri de dikkate alınarak) hesaplandığı ve toplam maliyeti minimize edecek şekilde, kısıtlar dahilinde çekirdek edinimi ve demontaj gerçekleştirildiği veya yeni parça satın alma yoluna gidildiği görülmektedir.

Tablo 4.5. Örnek Modelin Sonuç Tablosu

		<i>Dönemler</i>									
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>					
Ürün İhtiyacı	<i>1</i>	15	15	17	15	10					
	<i>2</i>	6	10	12	9	9					
	<i>3</i>	6	3	6	6	5					
Parça İhtiyacı	<i>1 (6 ad.)</i>	90	90	102	90	60					
	<i>2 (8 ad.)</i>	48	80	96	72	72					
	<i>3 (4 ad.)</i>	24	12	24	24	20					
Toplam İhtiyaç		162	182	222	186	152					
Edinim		132	30	154	28	192	30	159	27	125	27
Kaynağı		UN_{41}	UD_{41}	UN_{42}	UD_{42}	UN_{43}	UD_{43}	UN_{44}	UD_{44}	UN_{45}	UD_{45}

4.2. Tamsayılı Modelin Hesaplama Karmaşıklığının İncelenmesi

Modelin değişkenler sürekli alındığı durumda çözümü, önceki bölümde de bahsedildiği üzere, daha kolay olmakta ve daha kısa sürmektedir. İlk olarak, ürünlerin büyük miktarlarda parçalardan oluştuğu bir yeniden üretim problemi ele alınmıştır. Böyle bir durumda, modelin çalışması ile elde edilecek sonuçlara göre (edinilecek çekirdek, yeni parça, demonte parça sayısı vb), işletmenin elde tutulan stok miktarlarıyla ihtiyaçlarını tamamlayarak üretim ortamını yönetmesi mümkün olacağından, değişkenlerin tamsayı olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu şekilde büyük miktarlarda parçalardan oluşan, 10 ürün, 3 çekirdek ve 15 parça içeren örnek bir problemde 12 dönem için, üretim miktarı dışındaki değişkenlerin sürekli alındığı durumda optimal çözüme ulaşılması, ancak saniyeler sürmektedir; dolayısıyla

pratikte de uygulanması kolay olacaktır. Bölüm 4.1.2. Karar Değişkenlerinin Tamsayı Kabul Edildiği Durum'da da bahsedildiği üzere, daha az nihai ürün talebinin geçerli olduğu veya ürün ve çekirdeklerin daha az parçadan oluştuğu durumlarda ise, değişkenlerin sürekli kabul edilmesi uygun olmayacaktır. Ancak tamsayılı problemlerde çözüm süresinin arttığı bilinmektedir (Winston, 2004: 476).

Taleb ve Gupta (1997), çalışmalarında yeniden üretimi değil, sadece demontaj sürecini ele almışlardır. Geliştirdikleri sezgisel algoritmaların tamsayılı olarak modellenmesi durumunda karmaşıklığını 0-1 programı için, n parça sayısı olmak üzere, $O(2^n)$ olacağını ifade etmişlerdir. Ancak birden fazla periyot için modelin çözülmesi durumunda gerçek karmaşıklığın, h planlama dönemi uzunluğu olmak üzere, $O(2^{n \cdot h})$ haline dönüşeceğini ifade etmişlerdir. Langella (2007) da çalışmasında karmaşıklığın çekirdek, ara modül, alt parça ve planlama periyot sayısına bağlı olarak üstel olarak artacağını belirtmiştir.

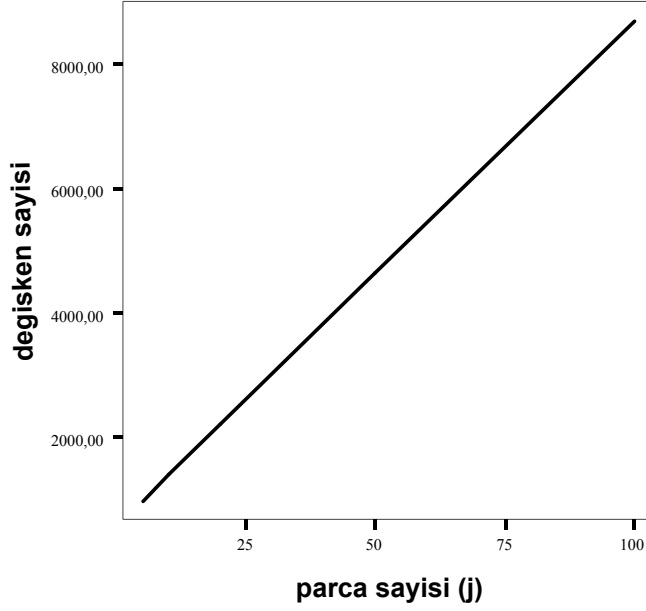
Hesaplama karmaşıklığı, modelde kullanılan değişken ve kısıt sayılarına bağlı olarak değişecektir. Değişken ve kısıt sayısı ne kadar çoksa, model o kadar karmaşık ve zaman alıcı olacaktır (Taha, 1975: 344). Bu sebeple, Bölüm 3.3.1. Parametreler ve Karar Değişkenleri'nde ifade edilen model için değişken ve kısıt sayıları, indislere bağlı olarak ifade edilmiş ve Tablo 4.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Modelin Değişken ve Kısıt Sayıları

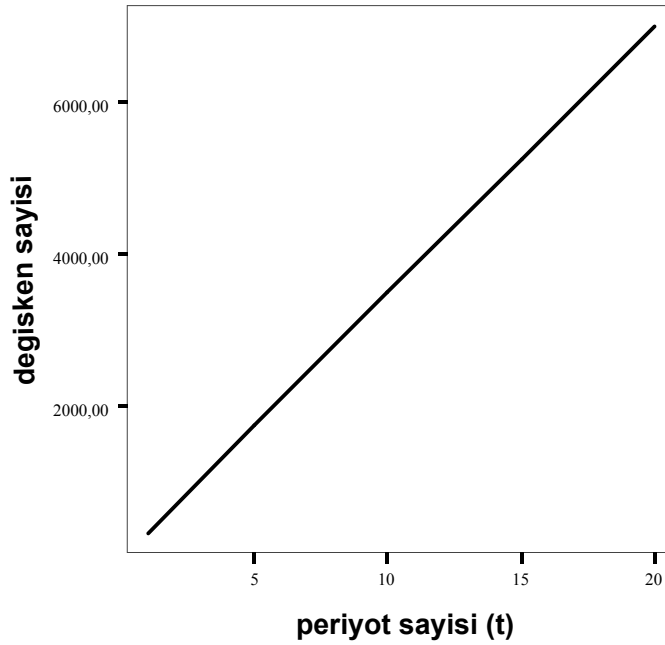
	Ürün sayısı (i)	Parça sayısı (j)	Çekirdek sayısı (k)	Planlama periyodu (t)	Toplam değişken/ kısıt sayısı
DEĞİŞKENLER					
IU	i			t	it
IN		j		t	jt
ID		j		t	jt
IC			k	t	kt
DJ		j		t	jt
PP		j		t	jt
UN		j		t	jt
DP		j		t	jt
UD		j		t	jt
CP			k	t	kt
Z			k	t	kt
U	i			t	it
δ		j		t	jt
θ			k	t	kt
maliyet					l
TOPLAM	1+2t (i+4j+2k)				
KISITLAR					
Amaç fonksiyonu (toplam maliyet)					1
Nihai ürün stok eşitliği	i			t	it
Yeni parça stok eşitliği		j		t	jt
Demonte parça stok eşitliği		j		t	jt
Çekirdek stok eşitliği			k	t	kt
Demontajda edinilebilecek parça sayısı kısıtı		j		t	jt
Üretim parça ihtiyacı karşılanması		j		t	jt
Edinilebilecek çekirdek miktarı kısıtı			k	t	kt
Demontaj kapasite kısıtı				t	t
Demonte edilecek en az çekirdek miktarı kısıtı			k	t	kt
Yeni parça için ikili değişken kısıtı		j		t	jt
Çekirdek için ikili değişken kısıtı			k	t	kt
TOPLAM	1+t+it+5jt+4kt				

Tablo 4.6.'da ifade edildiği gibi değişken sayısı $1+2t(i+4j+2k)$ ile, kısıt sayısı ise $1+t+it+5jt+4kt$ formülü ile hesaplanabilir. Elde edilen bu formüllere göre problemin çözümünü zorlaştıracak ve çözüm süresini uzatacak etkenler olan değişken ve kısıt sayısı; ürün (*i*), parça (*j*), çekirdek (*k*) ve planlama periyodu (*t*) sayısına bağlı olarak büyümektedir. Değişken ve kısıt sayılarındaki değişim hakkında fikir edinebilmek amacı ile, 1, 5, 10 ve 20 ürün (*i*); 5, 10, 20, 50 ve 100 parça (*j*); 1, 5, 10, 20 çekirdek (*k*) ve 5, 10, 15, 20 periyot (*t*) için değişken ve kısıt sayıları hesaplanmıştır. Bahsedilen bileşenlere bağlı olarak kısıt ve değişken sayılarının nasıl

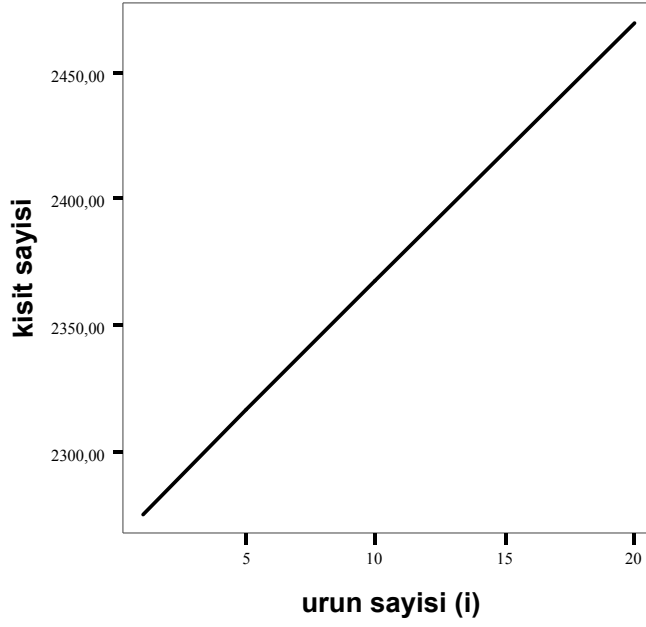
değiştiğine ilişkin örnek grafikler Şekil 4.6., Şekil 4.7., Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da gösterilmiştir (grafiklerin tamamı Ek-3'te görülebilir).



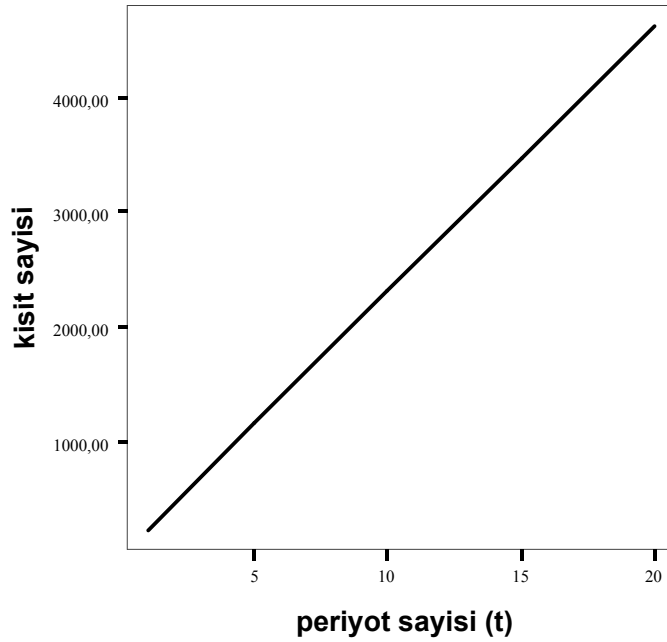
Şekil 4.6. Parça Sayısının Değişken Sayısına Etkisi



Şekil 4.7. Periyot Sayısının Değişken Sayısına Etkisi



Şekil 4.8. Ürün Sayısının Kısıt Sayısına Etkisi



Şekil 4.9. Periyot Sayısının Kısıt Sayısına Etkisi

Bileşen sayılarının farklı değerlerine bağlı olarak, değişken ve kısıt sayılarında oluşan değişimin incelendiği örnek tablonun bir bölümü Tablo 4.7.'de verilmiştir (tablonun tamamı Ek-3'te görülebilir).

Tablo 4.7. Değişken ve Kısıt Sayılarındaki Değişim (örnek veriler)

<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>t</i>	<i>Değişken Sayısı</i>	<i>Kısıt Sayısı</i>
5	10	1	1	95	61
5	10	1	5	471	301
5	10	1	10	941	601
5	10	1	15	1411	901
5	10	1	20	1881	1201
5	10	5	1	111	77
5	10	5	5	551	381
5	10	5	10	1101	761
5	10	5	15	1651	1141
5	10	5	20	2201	1521
5	10	10	1	131	97
5	10	10	5	651	481
5	10	10	10	1301	961
5	10	10	15	1951	1441
5	10	10	20	2601	1921
5	10	20	1	171	137
5	10	20	5	851	681
5	10	20	10	1701	1361
5	10	20	15	2551	2041
5	10	20	20	3401	2721

Tablo 4.7.'de ürün (*i*) ve parça (*j*) sayıları değişmiyorken bile, çekirdek (*k*) ve periyot (*t*) sayısına bağlı olarak, modelin çözüm süresini ve zorluğunu etkileyecek değişken ve kısıt sayısının nasıl değişebildiği görülmektedir. Tablonun ilk satırında görülen, demonte edilebilecek tek bir çekirdek söz konusu iken bir dönem için karar verme problemindeki değişken ve kısıt sayısı (sırasıyla 95 ve 61) ile, çekirdek sayısının 5'e ve periyot sayısının 10'a çıktığı durumda, problemde geçerli olan değişken ve kısıt sayılarının nasıl arttığı (1101 ve 761) görülebilir. Bu sayılardaki artış, problemin zorluğu ve çözüm süresi üzerinde etkili olmaktadır.

Modelde indis olarak ifade edilemediğinden, problemin karmaşıklığının hesaplanmasına katılamayan, ancak modelin çözümünü zorlaştıran bazı faktörler de bulunmaktadır. Bunlardan birisi de, parça ortaklığıdır (Taleb ve diğerleri, 1997).

Yeniden üretilecek nihai ürün içerisinde varolan ortaklık, belirli parçalara daha fazla ihtiyaç duyulması sonucunu ortaya çıkaracaktır. Ancak çekirdek içerisinde var olan ve demontaj ürün ağacında da görülebilen parça ortaklığı, aynı parçanın demontaj ile birden fazla çekirdekten edinilebileceğini ifade eder. Her çekirdekten, her bir parça elde etmenin maliyeti birbirinden farklı olduğundan; her bir çekirdekten elde edilebilecek parça sayısı farklı olduğundan; her bir parça demontajının gerektirdiği işçilik süresi farklı olduğundan ve modelde kapasite kısıtı da bulunduğu; demontajla elde edilen ancak yeniden üretimde kullanılmayan parçalar stok bulundurma maliyetine katlanılarak sonraki dönemlere aktarılacağından, matematiksel model ele alınan dönemler bazında hem en uygun yeni parça satın alma, hem de en uygun çekirdeği demonte etme kararını, diğer tüm kısıtlar dahilinde gerçekleştirmeye çalışmaktadır. Bu da modelin karmaşıklığını artırmakta ve çözüm süresini uzatmaktadır.

Bir diğer çözüm karmaşıklığı artırıcı durum da, değişkenlerin tamsayı olma durumudur. Değişkenler üzerinde eklenecek tamsayı olma kısıtı, çözüm uzayının büyüklüğüne matematiksel olarak yansıtılması zor, ancak çözüm süresini artıracak bir etken olmaktadır (Winston, 2004: 477).

4.3. Yeniden Üretim Ortamında Farklı Koşulların Etkisi

Yeniden üretim ortamında, nihai ürünü üretme aşamasında gerekli parçaların demontajla çekirdekten elde etme veya satın alma kararının verilmesi, bu esnada da maliyetlerin mümkün olduğunca düşük tutulması istenir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, literatürde yeniden üretim ortamını nihai üründen başlayarak, hem demontaj hem de yeni parça satın alma durumunu göz önünde tutarak ve üretim ortamında olabilecek diğer durumları mümkün olduğunca içererek, birden fazla dönem için en az maliyetle planlayan çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada da yeniden üretim ortamı modellenmiş ve farklı durumlarda çalıştırılmıştır. Yeniden üretim ortamında performans ölçütü olarak toplam maliyet ele alınmış ve belirlenen faktörlerin farklı seviyeleri için model çalıştırılmıştır. Ele alınan faktörler aşağıda ifade edilmiştir.

(A) Yeni parça satın alma veya parçayı demontajla elde etme birim maliyet oranı: Burada maliyetlerin oran alınmasının sebebi, iki faktörün de saptanan seviyede birlikte ele alınabilmesidir. Burada parça başına düşen maliyet dikkate alınmıştır. faktörün 3 seviyesi bulunmaktadır:

(1) Çekirdek demontajı ile birim parça elde etmenin maliyeti, yeni parça satın alma maliyetinin 0.60'ıdır.

(2) Çekirdek demontajı ile birim parça elde etmenin maliyeti, yeni parça satın alma maliyetinin 0.80'idir.

(3) Demonte parça ile yeni parçanın birim satın alma maliyeti aynıdır. Yani çekirdek demontajı ile birim parça elde etmenin maliyeti ile yeni parça satın alma maliyetinin oranı 1'dir.

(B) Çekirdek tedarik süresi: Çekirdek için tanımlanan tedarik süresinin, toplam maliyet üzerindeki etkisini görmek amacı ile, 3 farklı seviyede ele alınmıştır:

(1) Çekirdek için tedarik süresi 0'dır, yani çekirdek alımına karar verildiği periyotta çekirdek edinilmekte ve demontaj için kullanılabilir.

(2) Çekirdek için tedarik süresi 1 dönemdir, yani çekirdek edinim emri, çekirdeğin ancak bir sonraki dönem sisteme gireceği bilgisi ile verilmektedir.

(3) Çekirdek için tedarik süresi 2 dönemdir. Eğer bir periyotta çekirdek demontajı ile parça edinilmek isteniyorsa ve çekirdek alınacaksa, 2 periyot öncesinde edinim emri verilmelidir.

(C) Yeni parça için tedarik süresi: Yeniden üretim için gereken parçaların edinilmesindeki bir diğer alternatif, yeni yani kullanılmamış parça satın almaktır. Yeni parça tedarik süresinin sistemi nasıl etkileyeceğini görmek amacı ile, 3 farklı seviye tanımlanmıştır:

(1) Satın alınan yeni parça için tedarik süresi 0'dır, yani yeni parça ihtiyacı olduğu dönemde sipariş verilebilir.

(2) Yeni parça tedarik süresi 1 dönemdir. Satın alınan yeni parça, ancak bir sonraki periyotta sisteme girecektir.

(3) Yeni parça tedarik süresi 2 dönemdir. Belirli bir dönemde yeni parçaya ihtiyaç duyulacaksa, 2 periyot öncesinden sipariş verilmelidir.

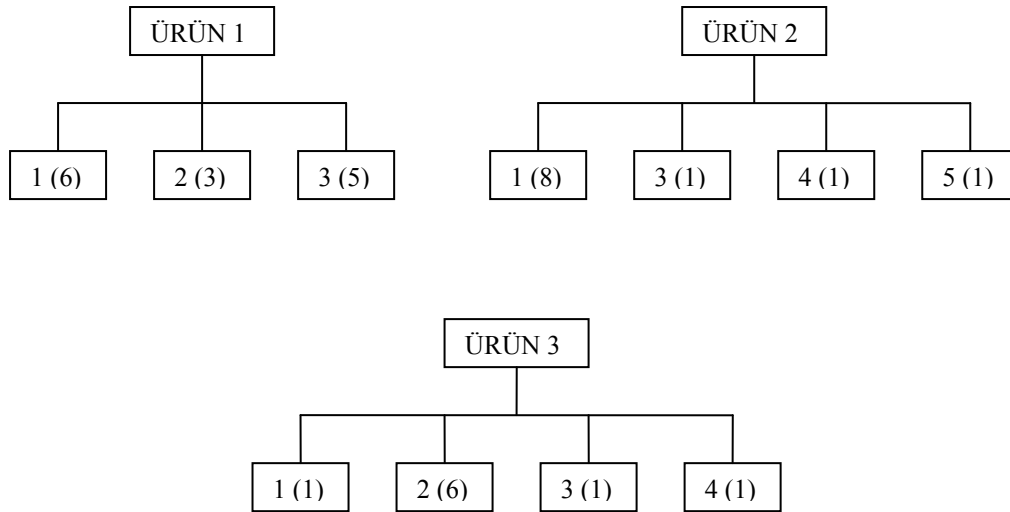
(D) Demontajda parça kazanım oranı: Yeniden üretim ortamlarının en belirgin özelliklerinden biri, kazanım oranıdır. Demontaj esnasında, teorik olarak demontaj ürün ağacında belirtilen parça miktarlarına ne oranda ulaşılabildiğini gösterir. Parça kazanım oranı için 3 seviye tanımlanmıştır:

(1) Demontajda parça kazanımı düşük düzeydedir. Demontaj ürün ağacındaki parça miktarlarının ancak 0.3'üne ulaşılabilir.

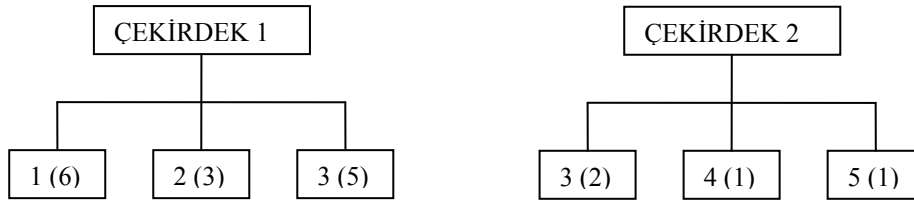
(2) Demontajda parça kazanım oranı 0.7'dir. Yani demontaj ürün ağacındaki miktarların ancak %70'i edinilebilir.

(3) Demontajda parça kazanım oranı 1'dir. Teorik olarak belirlenen demontajda elde edilebilecek parça miktarları, pratikte de gerçekleştirilebilmektedir.

Sayılan faktörler dışındaki veriler, tüm deneyler için sabit tutulmuştur. Nihai ürün için ürün ağaç yapıları ve demontaj için ürün ağacı, Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Üretim İçin Ürün Ağacı



Şekil 4.11. Demontaj İçin Ürün Ağacı

Çekirdek iki farklı tedarikçiden edinilebilir ve her bir tedarikçiden edinim maliyeti (Q_{kit}) 1 pb.'dir. Nihai ürün talebi, düzgün (uniform) dağılıma göre oluşturulmuş ve birinci ürün için 20, 15, 17, 18, 23, 19, 20, 15; ikinci ürün için 10, 10, 12, 11, 8, 10, 9, 11; üçüncü ürün için 5, 3, 6, 7, 5, 3, 4, 5 şeklinde alınmıştır. Başlangıç stoklarından sadece nihai ürün başlangıç stoğu kullanılmış, o da hem çekirdek hem de yeni parça için tedarik sürelerinin 0'dan farklı olduğu durumda geçerli olmuştur. Demonte edilmesi gereken minimum çekirdek sayısı için bir kısıtlama yapılmamıştır. Birim başına elde bulundurma maliyetleri, nihai ürün için (HU_i) 35 pb/periyot, yeni parça için (HN_j) 1 pb/periyot, demontajla elde edilmiş parça için (HD_j) 1.5 pb/periyot, çekirdek için (HC_k) 3 pb/periyot olarak alınmıştır. Çekirdek yok etme maliyeti (CX_k) 2 pb/birim'dir. Sipariş maliyetine ilişkin ikili değişkenler tamsayılı modelde çözüm süresini daha da uzattığından, sipariş maliyeti dikkate alınmamıştır.

Yeni parça satın alma maliyeti (CB_j) her deneyde 10 pb/birim olarak alınarak, demontajla parça edinim maliyetine (CD_{kj}) ilişkin matris değiştirilmiştir. Bu durumda her bir seviyede ele alınan maliyet matrisleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Seviye (1) için: } \begin{bmatrix} 36 & 18 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12 & 6 & 6 \end{bmatrix}$$

$$\text{Seviye (2) için: } \begin{bmatrix} 48 & 24 & 40 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 16 & 8 & 8 \end{bmatrix}$$

$$\text{Seviye (3) için: } \begin{bmatrix} 60 & 30 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 10 & 10 \end{bmatrix}$$

Demontaj süresine ilişkin matris (DT_{kj}) ise $\begin{bmatrix} 3 & 3 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ şeklindedir.

4 faktörün 3 seviyede test edilmesine ilişkin tasarımda, 81 deney bulunmaktadır. Modelin her bir çalıştırılışında, göreceli uzaklık, toplam maliyet ve modelin çalışma süresi kaydedilmiştir. Programlar, eşdeğer özellikte (Intel(R) CPU 1.60GHz., 504 MB RAM) 20 bilgisayarda çalıştırılmıştır. Sonuçlar, Tablo 4.8., Tablo 4.9. ve Tablo 4.10’da verilmiştir

Tablo 4.8. Deneysel Tasarım Sonuçları (A Faktörü Birinci Seviyede)

NO	A	B	C	D	DURUM	GAP	TC	SÜRE
1	1	1	1	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0098	32879,0	3250,0000
2	1	1	1	2	YETERSİZ HAFIZA	0,4688	43503,0	111576,0000
3	1	1	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1192	26152,0	107641,0000
4	1	1	2	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0837	41567,0	45985,0000
5	1	1	2	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0289	30696,5	192658,0000
6	1	1	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1436	27053,5	165325,0000
7	1	1	3	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0401	45261,0	50157,0000
8	1	1	3	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0170	30818,0	114375,0000
9	1	1	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1031	26630,5	153215,0000
10	1	2	1	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0636	34643,0	34296,0000
11	1	2	1	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0290	30931,5	98687,0000
12	1	2	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0771	26548,5	109735,0000
13	1	2	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0097	28532,0	0,2030
14	1	2	2	2	YETERSİZ HAFIZA	0,3868	35669,0	119500,0000
15	1	2	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0340	21001,0	91141,0000
16	1	2	3	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0090	33482,0	0,0150
17	1	2	3	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0082	26139,0	28453,0000
18	1	2	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,5530	31939,5	167598,0000
19	1	3	1	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0074	32898,0	0,0630
20	1	3	1	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0080	30651,0	0,1090
21	1	3	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0560	27084,0	160987,0000
22	1	3	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0084	28544,0	0,0000
23	1	3	2	2	YETERSİZ HAFIZA	0,2792	33333,0	79291,0000
24	1	3	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1974	25492,5	163156,0000
25	1	3	3	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0093	26058,0	0,0310
26	1	3	3	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0377	24475,5	122532,0000
27	1	3	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,3397	25185,0	100828,0000

Tablo 4.9. Deneyisel Tasarım Sonuçları (A Faktörü İkinci Seviyede)

NO	A	B	C	D	DURUM	GAP	TC	SÜRE
28	2	1	1	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0631	34575,0	45985,0000
29	2	1	1	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0108	32897,0	78699,0000
30	2	1	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,2080	33976,0	88063,0000
31	2	1	2	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0279	43095,0	32391,0000
32	2	1	2	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0107	33947,0	149687,0000
33	2	1	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0130	28790,0	131125,0000
34	2	1	3	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0112	50594,0	123016,0000
35	2	1	3	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0100	35102,5	0,2340
36	2	1	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,2919	37248,5	153687,0000
37	2	2	1	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0004	32910,0	0,3910
38	2	2	1	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0100	32890,0	0,2030
39	2	2	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1537	33180,0	83766,0000
40	2	2	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0000	28560,0	0,9060
41	2	2	2	2	YETERSİZ HAFIZA	0,2023	33937,0	51672,0000
42	2	2	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,5404	37630,5	121531,0000
43	2	2	3	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0218	36995,0	43093,0000
44	2	2	3	2	YETERSİZ HAFIZA	0,1549	33671,0	56235,0000
45	2	2	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,5875	39141,0	95203,0000
46	2	3	1	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0069	32910,0	0,0150
47	2	3	1	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0089	32904,0	0,0310
48	2	3	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,3899	40673,5	90776,0000
49	2	3	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0080	28560,0	0,0000
50	2	3	2	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0097	28540,0	0,8280
51	2	3	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0329	25741,5	84328,0000
52	2	3	3	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0091	26070,0	0,0000
53	2	3	3	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0100	26044,0	64671,0000
54	2	3	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0331	23186,5	183313,0000

Tablo 4.10. Deneysel Tasarım Sonuçları (A Faktörü Üçüncü Seviyede)

NO	A	B	C	D	DURUM	GAP	TC	SÜRE
55	3	1	1	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0094	32910,0	0,0150
56	3	1	1	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0105	32910,0	98906,0000
57	3	1	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,7789	57947,5	183344,0000
58	3	1	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0077	45838,0	0,0150
59	3	1	2	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0106	35507,5	149172,0000
60	3	1	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0126	33222,0	143698,0000
61	3	1	3	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0121	57299,0	38359,0000
62	3	1	3	2	YETERSİZ HAFIZA	0,0114	37994,0	87300,0000
63	3	1	3	3	TAMSAYILI ÇÖZÜM YOK			54953,0000
64	3	2	1	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0076	32910,0	0,1410
65	3	2	1	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0099	32939,0	0,1410
66	3	2	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,3914	45317,5	186974,0000
67	3	2	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0094	28560,0	0,1560
68	3	2	2	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0100	28560,0	41703,0000
69	3	2	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0205	28800,5	159817,0000
70	3	2	3	1	YETERSİZ HAFIZA	0,1837	46430,0	67156,0000
71	3	2	3	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0100	30750,0	0,0160
72	3	2	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1038	31447,5	112719,0000
73	3	3	1	1	YETERSİZ HAFIZA	0,0110	32986,0	41719,0000
74	3	3	1	2	YETERSİZ HAFIZA	0,1184	36484,5	42297,0000
75	3	3	1	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0438	34049,0	41594,0000
76	3	3	2	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0080	28560,0	0,0160
77	3	3	2	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0100	28589,0	0,0150
78	3	3	2	3	YETERSİZ HAFIZA	0,0102	28560,0	169317,0000
79	3	3	3	1	NORMAL TAMAMLANMA	0,0087	26070,0	0,0160
80	3	3	3	2	NORMAL TAMAMLANMA	0,0098	26070,0	0,0780
81	3	3	3	3	YETERSİZ HAFIZA	0,1198	28862,5	106843,0000

Tablo 4.8.'de yer alan göreceli uzaklık (gap), “(en iyi tahmin – en iyi tamsayılı çözüm) / en iyi tahmin” formülü ile hesaplanmaktadır. En iyi tamsayılı çözüm (best integer), o ana dek bulunan ve tüm tamsayı kısıtlarını sağlayan en iyi çözümdür. En iyi tahmin (best estimate) ise, tamsayı kısıtı olmaksızın bulunan en iyi çözümdür. Aksi belirtilmedikçe göreceli uzaklık için geçerli değer (default) 0.1’dir. Bu durumda, global optimuma %10 oranında yaklaşıldığında, iterasyon

durdurulmaktadır. Model çalıştırılırken göreceli uzaklık değeri 0.01 (%1)'e düşürülmüştür. Tablo 4.8.'deki “normal tamamlanma”, belirtilen 0.01 göreceli uzaklık değerine ulaşıldığını gösterir. Bu durumda, (29/81) %35.8 olan optimal deney sayısı, göreceli uzaklığın 0.1 olduğu durumda (58/81) %72 düzeyine çıkmaktadır. Göreceli uzaklık değerlerinin yüzdesel dağılımı Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Göreceli Uzaklık Değeri Dağılımı

Göreceli Uzaklık	Toplam Deney Sayısı İçinde Oranı	Göreceli Uzaklık	Toplam Deney Sayısı İçinde Oranı
0.01-0.05	53	0.5-0.6	3
0.05-0.1	5	0.6-0.7	—
0.1-0.2	10	0.7-0.8	1
0.2-0.3	4	0.8-0.9	—
0.3-0.4	4	0.9-1	—
0.4-0.5	—	toplam	80

Tablo 4.8.'de belirtilen “normal tamamlanma”, belirtilen optimallik kriterine ulaşıldığını, yani göreceli uzaklık değerinin 0.01 ve daha az olduğunu ifade eder. İterasyon sayısının veya programca tanımlanan (default) sürenin yetmemesi durumlarını ortadan kaldırmak için, iterasyon sayısı limiti, hafıza düzeyi ve ayrılan kaynak limiti değerleri artırılmış ve “yetersiz hafıza” sorunu görülene dek programlar çalıştırılmıştır. Bu sebeple programın durma sebebi, Windows'un verdiği “sanal bellek hafızası yetersiz” uyarısı ile birlikte, yetersiz hafıza durumudur. “Tamsayılı çözümün bulunmadığı” durum da benzer şekilde, yetersiz hafıza sebebi ile programın yeterince iterasyon yapamaması ve varsa bile, tamsayılı çözüme ulaşamaması durumunu ifade etmektedir.

Yeniden üretim ortamının performansında etkili olacağı düşünülen dört faktörün farklı seviyeleri için modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlara, faktörlerin belirlenen bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini (ortalamalar arasında

fark olup olmadığını) test etmek üzere varyans analizi uygulanmıştır. Bağımlı değişkenler olarak da, üretim sisteminin performans ölçütü olarak kabul edilen toplam maliyet ile, optimum değere ne kadar yaklaşıldığını ifade eden göreceli uzaklık değerleri ve programın çalışma süresi kullanılmıştır. İstatistiksel analizler SPSS® paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Faktörlerin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

Önceki bölümlerde bahsedilen dört faktörün bağımsız, toplam maliyetin ise bağımlı değişken kabul edildiği varyans analizinde elde edilen sonuçlar, Tablo 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.12. Toplam Maliyet İçin ANOVA Tablosu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: tc

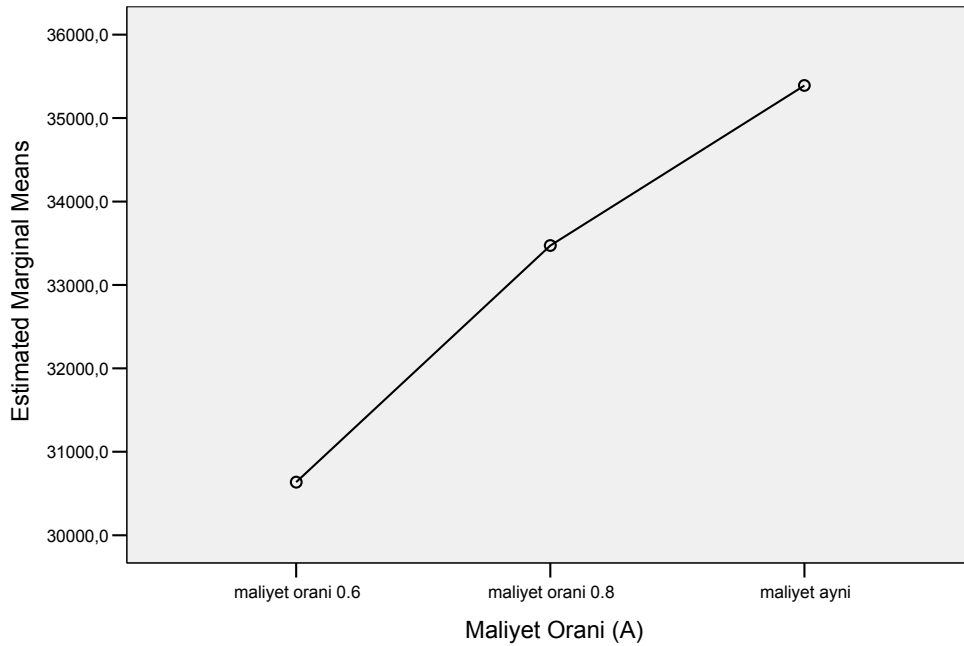
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	8,998E+010 ^a	33	2726545468	116,666	,000
A	301110452	2	150555225,8	6,442	,003
B	921001374	2	460500686,8	19,704	,000
C	139622602	2	69811300,94	2,987	,060
D	162257286	2	81128643,15	3,471	,039
A * B	131124188	4	32781047,00	1,403	,248
A * C	77481855,4	4	19370463,85	,829	,514
A * D	262743762	4	65685940,57	2,811	,036
B * C	353568555	4	88392138,83	3,782	,010
B * D	205684077	4	51421019,18	2,200	,083
C * D	357177931	4	89294482,75	3,821	,009
Error	1098417943	47	23370594,54		
Total	9,107E+010	80			

a. R Squared = ,988 (Adjusted R Squared = ,979)

Modelde tekli ve ikili etkileşimler dikkate alınmış ve önem düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir. Bu durumda önem düzeyi 0.05'ten küçük olan faktörler için, H_0 : ortalamalar arasında fark yoktur hipotezi reddedilecektir. Yani, faktör düzeyleri

arasında, toplam maliyet ortalamaları açısından anlamlı farklılıklar vardır. Bir diğer deyişle bu faktörler, bağımlı değişken olan toplam maliyet üzerinde etkilidir. Tablo 4.12.'ye göre, A, B ve D faktörleri, toplam maliyet üzerinde etkiye sahiptir. C faktörünün etkisinin ise 0.10 önem düzeyinde anlamlı olduğu görülmektedir. İkili etkileşimlerden de A*D, B*C ve C*D, yine toplam maliyet üzerinde etkili etkileşimlerdir.

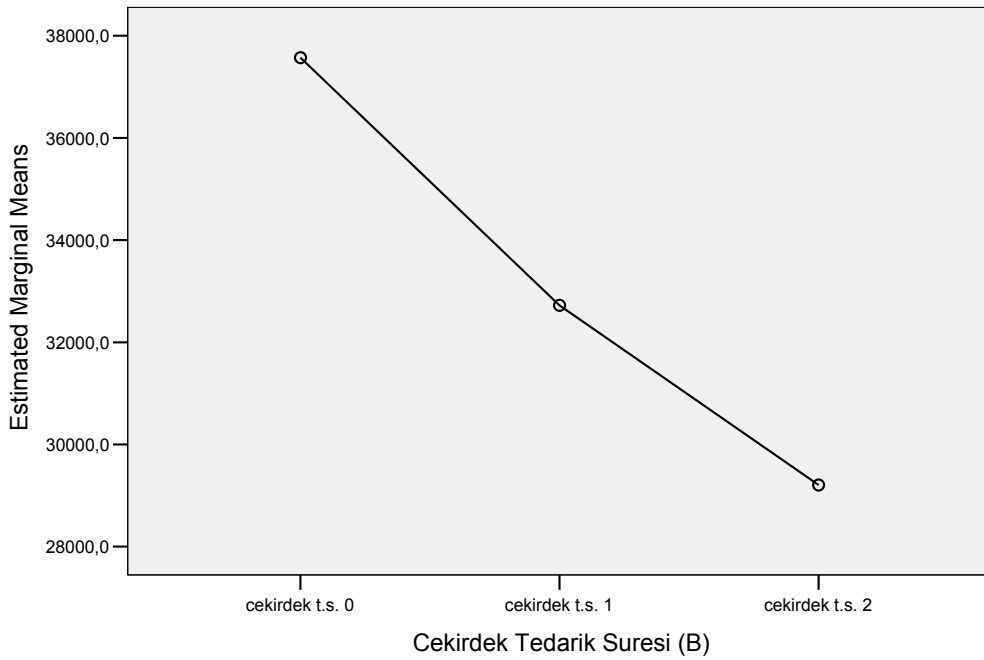
Her bir faktörün farklı düzeyleri için, toplam maliyet ortalamaları üzerindeki etkileri grafikler yardımı ile Şekil 4.12., Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranlarının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

A faktörü, çekirdek demontajı ile parça elde edilmesi birim maliyeti ile, bu parçanın satın alınması birim maliyetini birlikte ele almaktadır. Birinci seviyede demontajla parça elde etme birim maliyeti, yeni parça satın alma birim maliyetinin %60'ı, ikinci seviyede ise %80'idir. Üçüncü seviyede bu iki alternatifin birim

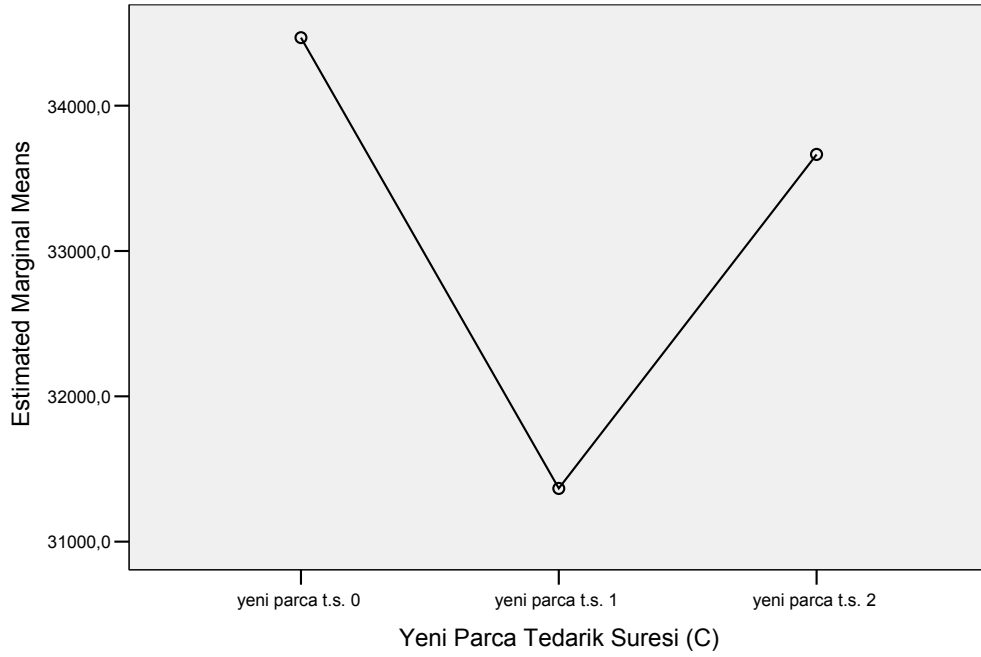
maliyetleri birbirine eşittir. Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi, maliyetler arasındaki oransal fark azaldıkça, toplam maliyet de artmaktadır. Bunun olası sebebi, modelin daha düşük maliyetli seçeneği tercih ederek dönemleri planlamasıdır. Alternatifin de pahalı olduğu durumda, toplam maliyet değeri artmaktadır. Birinci seviyede ortalama maliyet 30.636 kadarken, ikinci seviyede 33.473 olmuş ve üçüncü seviyede de artarak 35.000 düzeyine gelmiştir. Varyans analizine göre, faktörün farklı düzeyleri arasında toplam maliyet ortalamaları farkları, 0.05 önem düzeyinde anlamlıdır. Yani, yeniden üretim için ihtiyaç duyulan parçaların çekirdek demontajı ile veya yeni parça satın alarak elde edilmesi birim maliyeti, sistemin toplam maliyeti üzerinde anlamlı etkiye sahiptir.



Şekil 4.13. Çekirdek Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

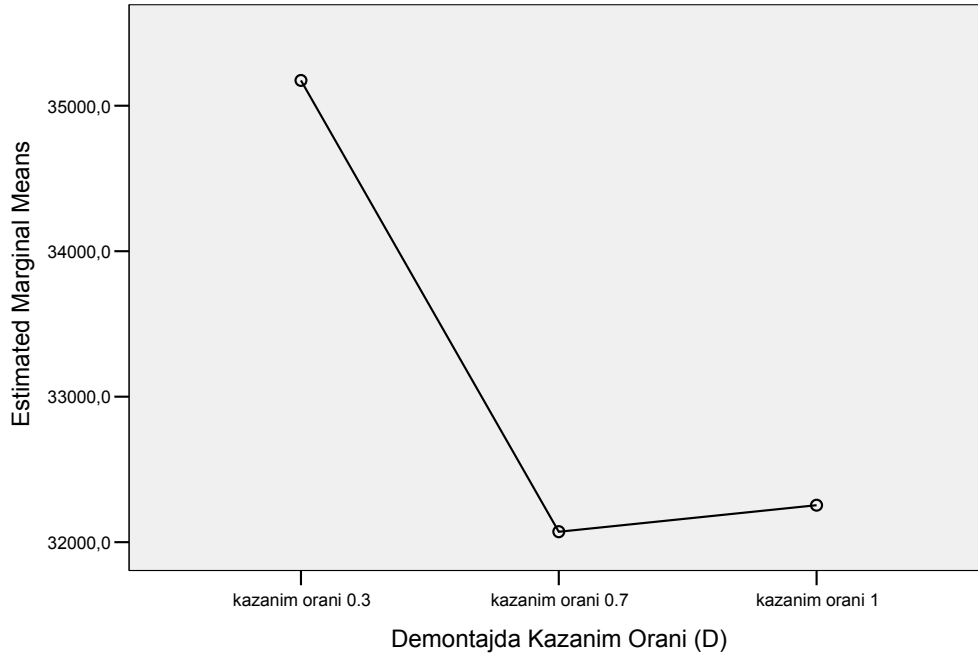
B faktörü, çekirdek tedarik süresi ile ilgilidir. Bu faktör 3 seviyede yani tedarik süresi 0, 1 ve 2 periyot olacak şekilde düşünülmüştür. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, çekirdek tedarik süresi uzadıkça, toplam maliyet düşüş

göstermektedir. Her üç seviye için oluşan ortalama maliyetler arasındaki farklılığın anlamlı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.14. Yeni Parça Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

C faktörü, yeni parça tedarik süresine ilişkindir. Seviyeler, 0, 1 ve 2 periyodu ifade etmektedir. Yeni parça tedarik süresi en kısa iken, maliyet en yüksektir. Tedarik süresi 1 dönem olduğunda en düşük toplam maliyet elde edilmiştir. Ancak seviyeler bazında görülen bu değişime rağmen C faktörünün toplam maliyet üzerindeki etkisi, Tablo 4.12.'de verilen varyans analizinde görüldüğü gibi, 0.05 önem düzeyinde anlamlı bulunmamıştır.

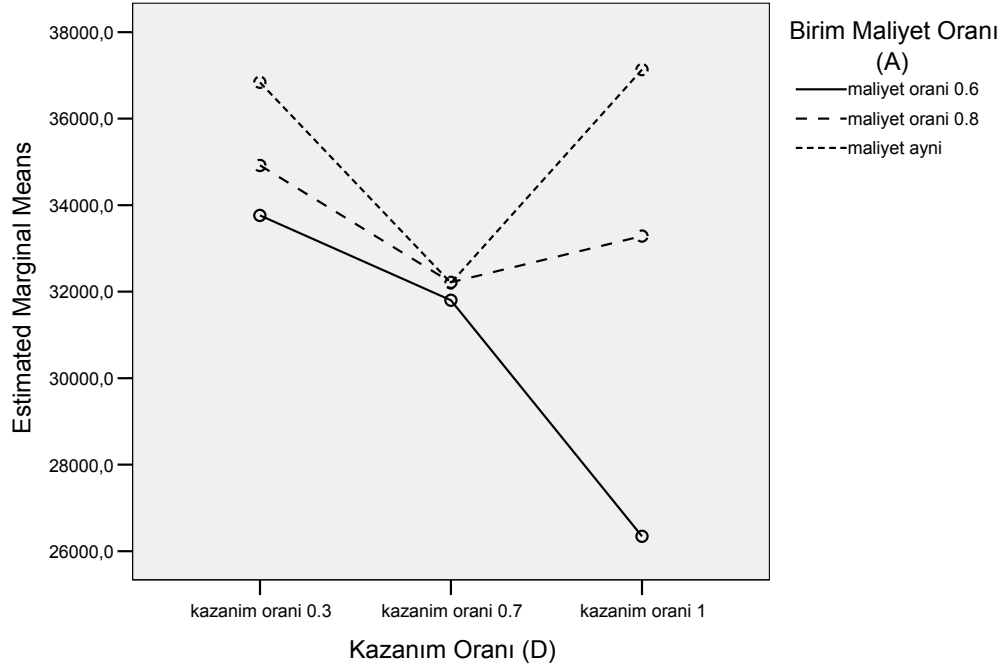


Şekil 4.15. Demontajda Kazanım Oranının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

D faktörü, çekirdeğin demontajı sırasında demontaj ürün ağacında teorik olarak belirtilen parça sayılarına ne ölçüde ulaşılabildiğini ifade etmektedir. Kazanım oranının %30 olduğu birinci seviyede toplam maliyet de en yüksek düzeydedir. Burada sistem yine çekirdek demontajı yoluna gitmektedir, ancak demontajla edinilen parça sayısı az olduğundan, parça ihtiyacı için ya yeni parça satın alma ya da kapasite ölçüsünde daha fazla çekirdek alma ve demonte etmeyi sürdürmektedir. Bu da diğer tüm seviyelere kıyasla çok daha yüksek toplam maliyete sebep olmaktadır. Kazanım oranının daha yüksek olduğu ikinci ve üçüncü seviyelerde toplam maliyet, birinci seviyedekinden daha düşüktür. Kazanım oranının 0.7 olduğu ikinci seviyede en düşük maliyetin bulunması, sistemin çekirdek demontajı ile parça edinme veya yeni parça satın alma arasında en uygun karmayı bu seviyede yapabildiğini göstermektedir.

Faktörlerin toplam maliyet üzerinde birlikte sebep oldukları farklılığın düzeyini görmek için ikili etkileşimler de test edilmiştir. Bu ikili etkileşimler içinde

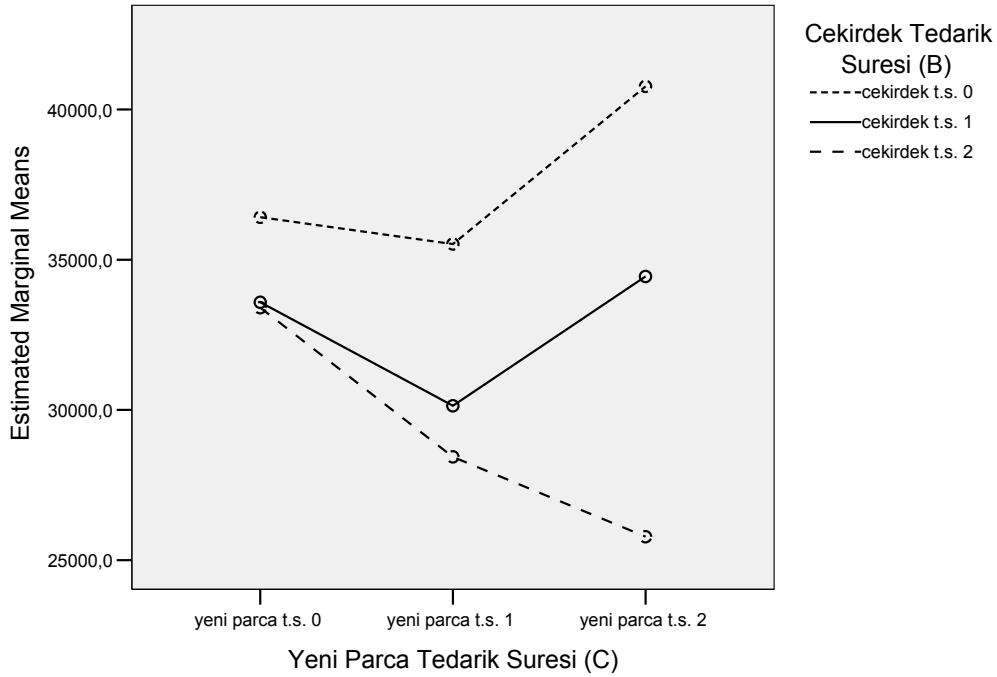
A*D, B*C ve C*D, 0.05 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur. İkili etkileşimlere ilişkin grafiksel gösterim, Şekil 4.16., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de verilmiştir.



Şekil 4.16. A*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

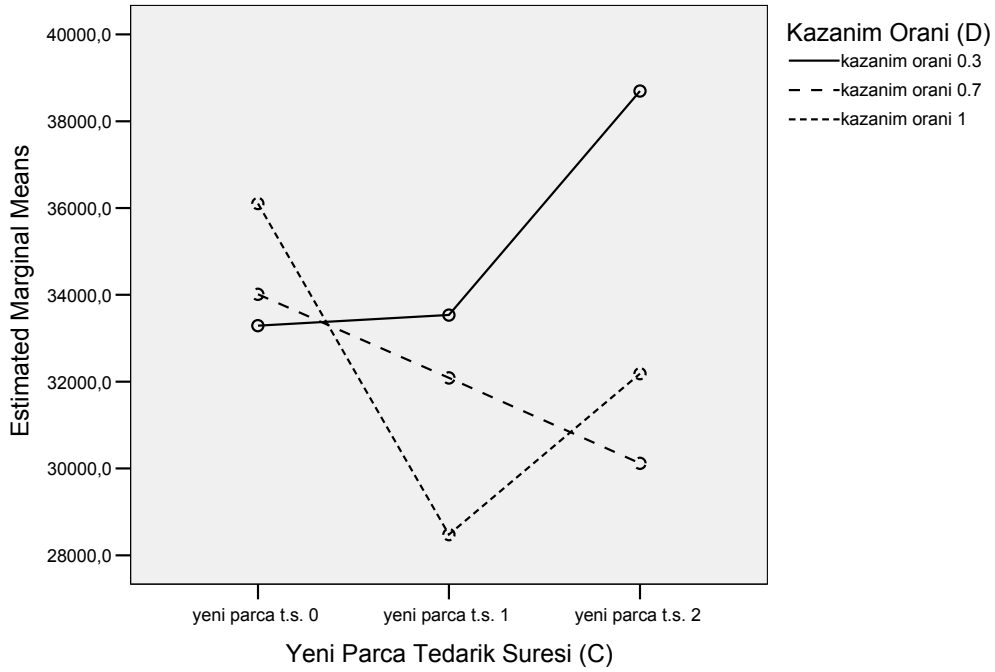
A faktörünün, yani yeni parça satın alma veya parçayı demontajla elde etme birim maliyet oranının, toplam maliyet üzerinde olan tek başına etkisi dikkate alındığında beklendiği üzere, çekirdek demontajı ile parça elde etme birim maliyetinin, yeni parça satın alma maliyetine oranının 0.6 olduğu durum, demontajda kazanım oranından bağımsız olarak, en düşük maliyetlidir (bkz. Şekil 4.12.). Birim edinim maliyetleri aynı iken toplam maliyetin genelde yüksek olmasının sebebi, sistemin daha düşük maliyetli alternatiflere (çekirdek demontajı veya yeni parça satın alma) gidemiyor olmasıdır. Kazanım oranının 0.7 olduğu düzeyde demontajla edinim ve satın alma maliyet oranı ne olursa olsun, toplam maliyet değerleri birbirlerine oldukça yakındır. A faktörünün toplam maliyet ile olan ilişkisi, kazanım oranı ne olursa olsun değişmemektedir. Şekil 4.16.'da da maliyet oranları arasındaki fark

azaldıkça, toplam maliyet artmaktadır. Burada demontaj kazanım oranının seviyesi, A faktörünün hareketini değiştirmemektedir.



Şekil 4.17. B*C Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

C faktörü yeni parça tedarik süresi ile ilgilidir ve tek başına ele alındığında, toplam maliyet üzerindeki etkisinin 0.05 anlamlılık düzeyinde önemli olmadığı Tablo 4.12.'den görülmektedir. Buna karşın, çekirdek tedarik süresini ifade eden B faktörü ile ikili etkileşimi, toplam maliyet üzerinde anlamlı etkiye sahiptir. Yeni parça tedarik süresinden bağımsız olarak, çekirdek tedarik süresinin 2 periyot olduğu durumda toplam maliyet en düşük düzeydedir. Grafikten anlaşılabacağı üzere, tedarik sürelerinin olmamasından çok, bu iki alternatif arasında denge kurabildiği durumlarda, sistem daha düşük toplam maliyet ile yeniden üretim yapabilmektedir.



Şekil 4.18. C*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi

C*D etkileşimi, toplam maliyet üzerinde anlamlı etkiye sahip görülen bir diğer etkileşimdir. Kazanım oranının 0.3 olduğu durumun, diğer oranlara kıyasla daha yüksek ortalama toplam maliyete sahip olduğu, D faktörünün tek başına etkisinin gösterildiği Şekil 4.15.'ten görülebilir. Ayrıca C faktörünün açıklandığı Şekil 4.14. de, yeni parça tedarik süresinin 1 periyot olduğu durumda (varyans analizine göre tek başına 0.05 önem düzeyinde anlamlı görülme bile) diğer tedarik sürelerinden daha düşük toplam maliyete sahip olduğunu göstermektedir. C*D etkileşimi, faktörlerin toplam maliyet üzerinde tek başına etkilerine paralel bir etki yaratmış ve en düşük toplam maliyetine tedarik süresinin 1 dönem ve kazanım oranının 1 olduğu durumda ulaşmıştır.

4.3.2. Faktörlerin Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi

Ele alınan dört faktörün, model çalıştırıldığında elde edilen göreceli uzaklık üzerindeki etkisini görmek amacı ile gerçekleştirilen varyans analizinde elde edilen sonuçlar, Tablo 4.13.'te verilmiştir.

Tablo 4.13. Göreceli Uzaklık İçin ANOVA Tablosu

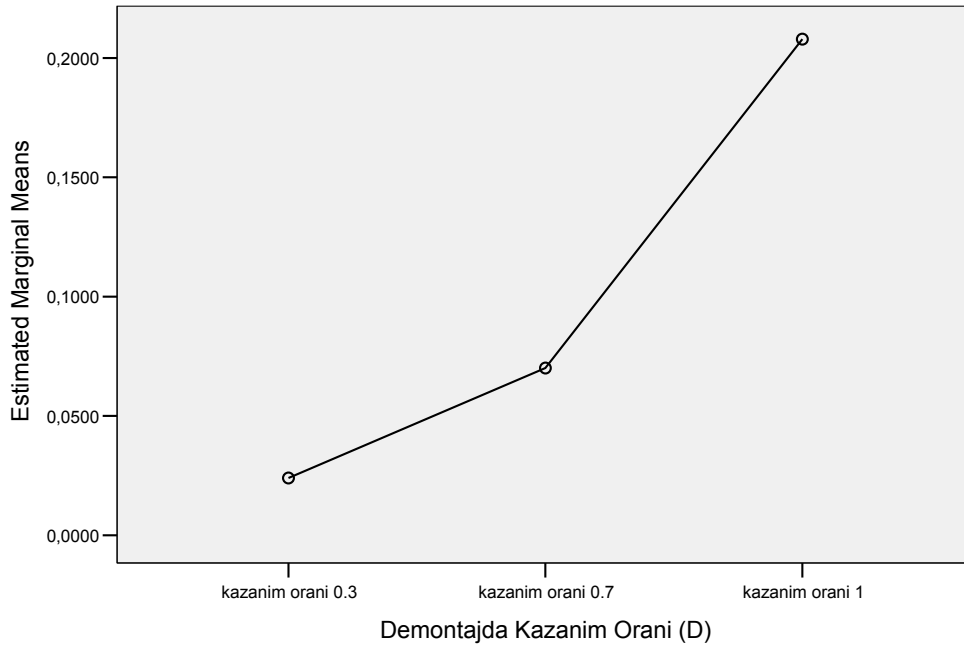
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: gap

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	1,871 ^a	33	,057	2,775	,001
A	,016	2	,008	,393	,677
B	,060	2	,030	1,466	,241
C	,020	2	,010	,494	,613
D	,476	2	,238	11,648	,000
A * B	,063	4	,016	,775	,547
A * C	,084	4	,021	1,025	,404
A * D	,078	4	,020	,960	,438
B * C	,127	4	,032	1,559	,201
B * D	,036	4	,009	,436	,782
C * D	,130	4	,033	1,592	,192
Error	,960	47	,020		
Total	2,832	80			

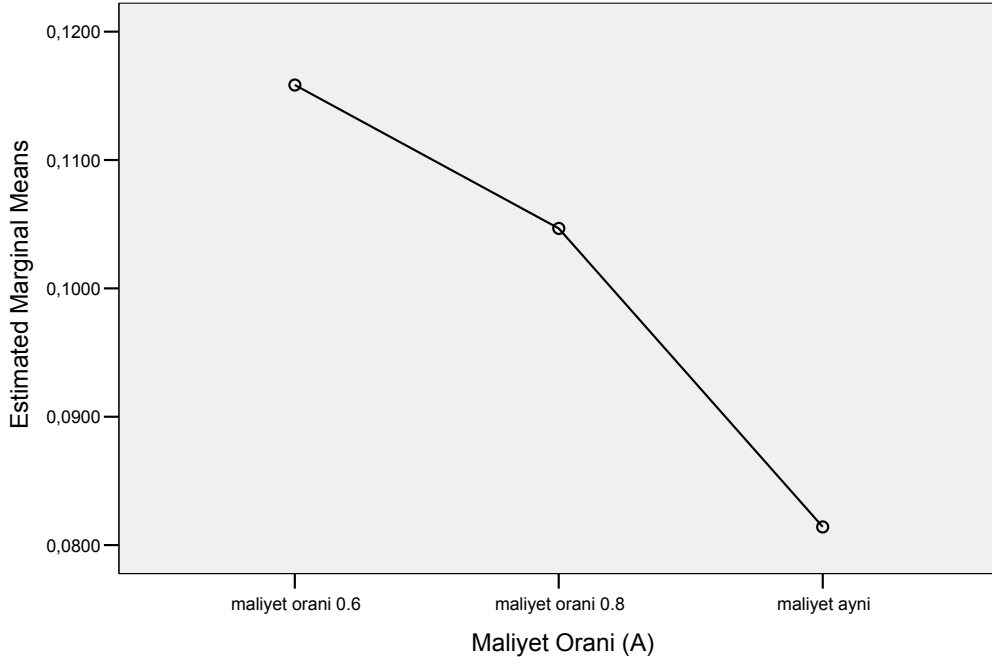
a. R Squared = ,661 (Adjusted R Squared = ,423)

Modelde tekli ve ikili etkileşimler dikkate alınmış ve önem düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir. Tablo 4.13.'e göre, sonuçların optimuma ne kadar yakın olduğunu ifade eden göreceli uzaklık üzerinde etkili tek faktör, D faktörüdür. Demontajda kazanım oranının göreceli uzaklık maliyet üzerindeki etkisinin grafiksel gösterimi, Şekil 4.19.'da verilmiştir.



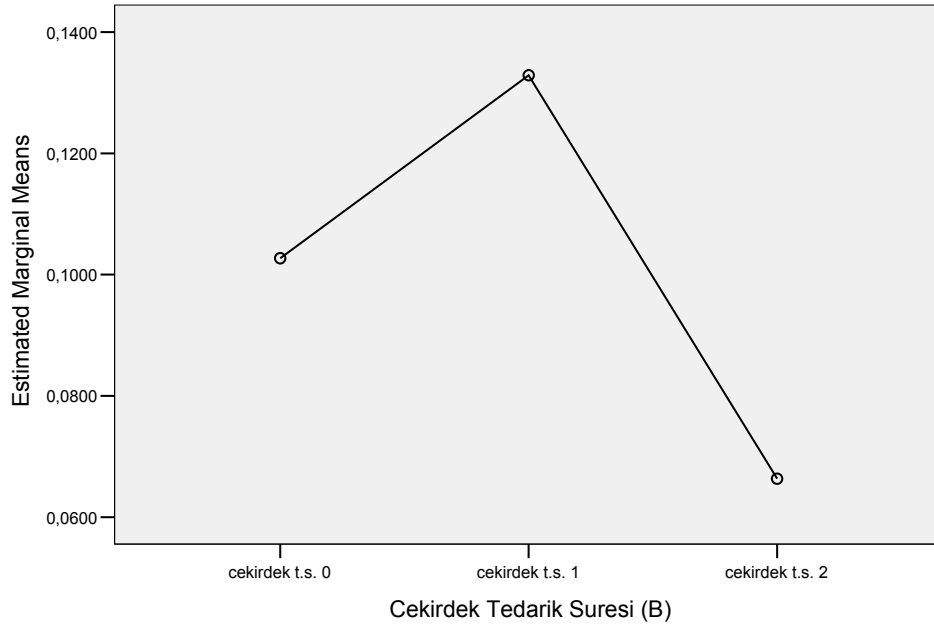
Şekil 4.19. Demontaj Kazanım Oranının Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi

Göreceli uzaklık, elde edilen çözümün optimum sonuca ne kadar uzak olduğunu ifade eder. Tablo 4.13.’ten de görüldüğü gibi, bazı durumlarda GAMS® programı, çözüme uzakken bile yetersiz hafıza sebebi ile sonlanabilmektedir. Şekil 4.19. göstermektedir ki, bu şekildeki sonlanmalar, yani göreceli uzaklığın yüksek olduğu sonuçlar, en çok kazanım oranı 1 iken gerçekleşmiştir. Göreceli uzaklığın 0.3 olduğu birinci seviyede optimum çözüme uzaklık 0.024 düzeyindedir. Her bir seviyede elde edilen göreceli uzaklık farkının ise anlamlı olduğu görülmektedir. Kazanım oranı arttıkça, çözümlerde elde edilen göreceli uzaklık değeri de artmaktadır.

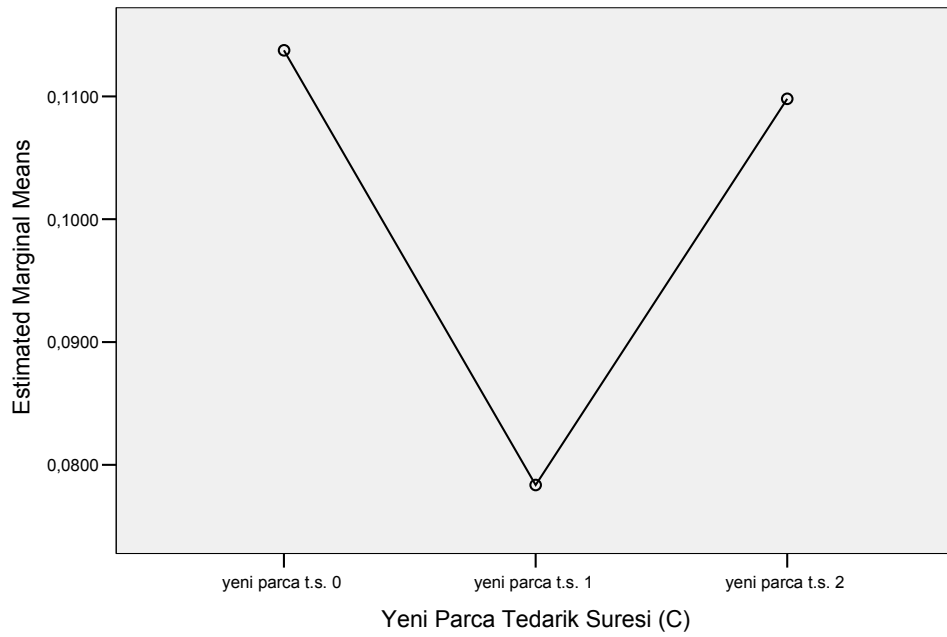


Şekil 4.20. Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranının Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.20. göstermektedir ki, modelin optimum çözüme ulaşmasının en kolay olduğu durum, maliyetlerin aynı olduğu durum olmuştur. Maliyet oranları arasındaki fark arttıkça, göreceli uzaklık da artmaktadır. Ancak bu faktörün göreceli uzaklık üzerinde etkili olmadığı Tablo 4.13.'te görülmektedir. Yine Tablo 4.13.'e göre, göreceli uzaklığa etkisi açısından çekirdek ve yeni parça için tedarik süreleri de anlamlı değildir. Bu faktörlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Çekirdek Tedarik Süresinin Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi



Şekil 4.22. Yeni Parça Tedarik Süresinin Göreceli Uzaklık Üzerindeki Etkisi

4.3.3. Faktörlerin Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi

Çalışma süresi, model istenen göreceli uzaklık düzeyine ulaşana kadar veya yetersiz hafıza sebebi ile çalışması kesilene kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Göreceli uzaklık gibi bu değer de, problemin ne kadar karmaşılaştığı hakkında fikir verici olabileceğinden, varyans analizi ile incelenmiştir.

Tablo 4.14. Çalışma Süresi İçin ANOVA Tablosu

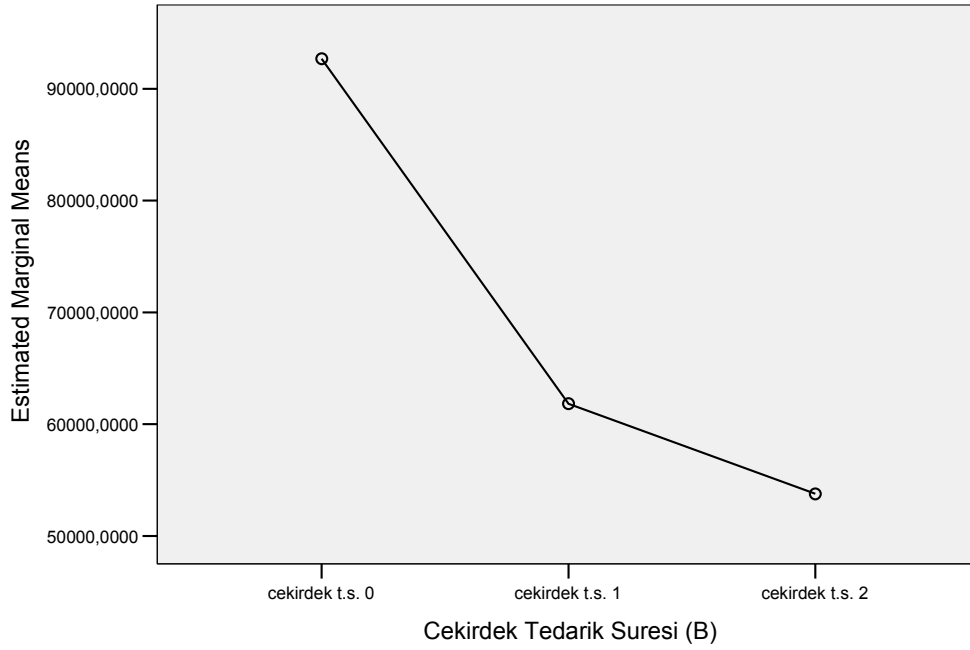
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: sure

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	6,252E+011 ^a	33	1,895E+010	12,413	,000
A	6690292557	2	3345146278	2,192	,123
B	2,279E+010	2	1,140E+010	7,466	,002
C	4458311360	2	2229155680	1,460	,242
D	1,561E+011	2	7,805E+010	51,138	,000
A * B	1077305693	4	269326423,3	,176	,949
A * C	6854345632	4	1713586408	1,123	,357
A * D	1,165E+010	4	2911830993	1,908	,124
B * C	3465225828	4	866306457,1	,568	,687
B * D	1,246E+010	4	3114040875	2,040	,104
C * D	9252252436	4	2313063109	1,515	,213
Error	7,326E+010	48	1526343056		
Total	6,985E+011	81			

a. R Squared = ,895 (Adjusted R Squared = ,823)

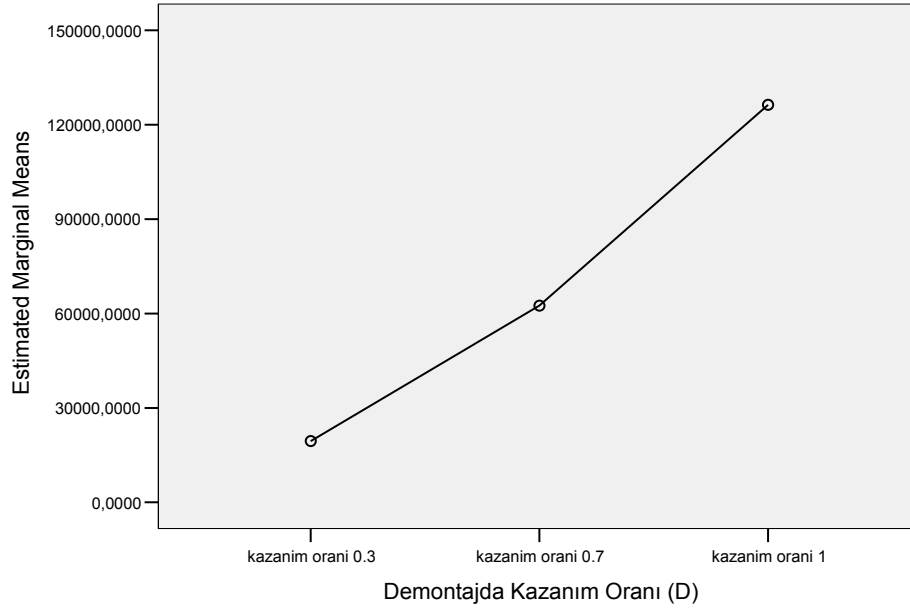
Tablo 4.14.'te görülen modelde, tekli ve ikili etkileşimler dikkate alınmış ve önem düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir. Önem düzeyi 0.05'ten küçük olan faktörler, bağımlı değişken üzerinde etkili faktörlerdir. Tablo 4.14.'e göre, B ve D faktörleri, çalışma süresi üzerinde etkilidir.



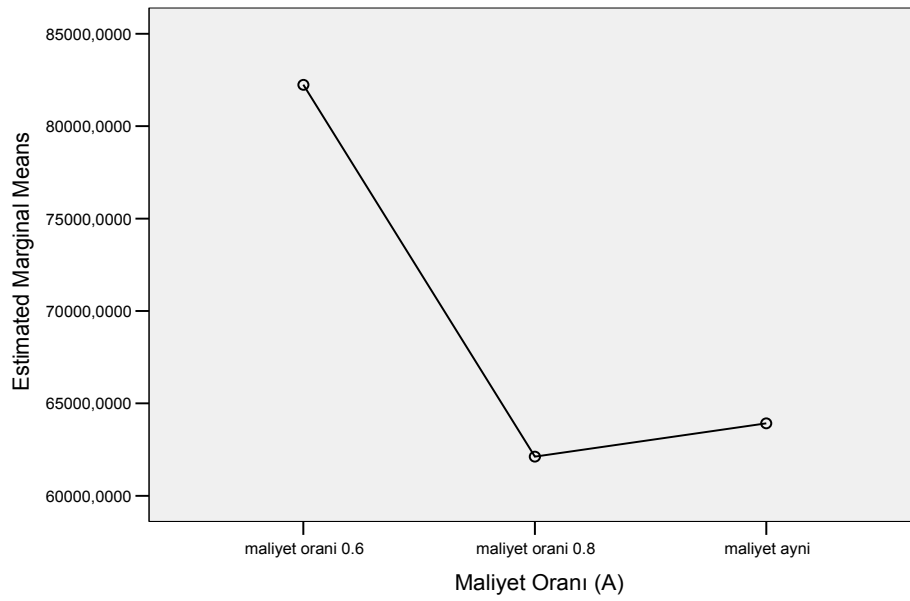
Şekil 4.23. Çekirdek Tedarik Süresinin Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi

B faktörünün farklı seviyelerinde, programın çalışma süresi de farklı olmaktadır (Şekil 4.23.). Çekirdek tedarik süresi uzadıkça, program daha kısa süre çalışmıştır.

Demontajda kazanım oranı da, çalışma süresi üzerinde anlamlı etkiye sahiptir. Şekil 4.24.'te görüldüğü gibi, kazanım oranı arttıkça, programın çalışma süresi de uzamaktadır. D faktörünün seviyeleri arasında programın çalışma süreleri ortalamaları açısından anlamlı farklılıklar bulunmuştur (Tablo 4.14.).

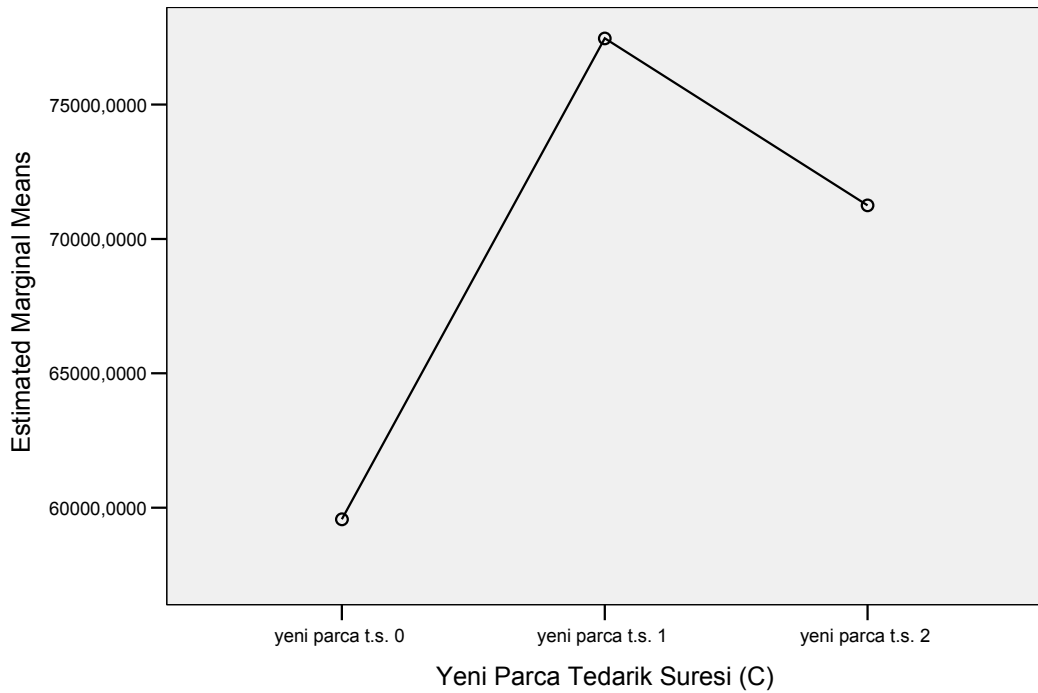


Şekil 4.24. Demontaj Kazanım Oranının Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi



Şekil 4.25. Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranının Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi

Diğer iki faktör yani demontaj ile parça elde etme veya yeni parça satın alma birim maliyetleri oranı ile, yeni parça satın almada tedarik süresi, çalışma süresi üzerinde anlamlı etkiye sahip değildir. Ancak bu faktörlerin seviyeleri bazında çalışma süresi değişimi, Şekil 4.25. ve Şekil 4.26.'da verilmiştir.



Şekil 4.26. Yeni Parça Satın Alma Tedarik Süresinin Çalışma Süresi Üzerindeki Etkisi

Sonuç olarak görülmüştür ki, yeni parça satın alma veya demontajla elde etme maliyet oranlarını ifade eden A faktöründe, maliyet oranları arasındaki fark arttıkça, toplam maliyet azalmaktadır. Çekirdek tedarik süresi ise 2 periyot olduğunda toplam maliyet en düşük seviyede gerçekleşmektedir. Çekirdek demontajında kazanım oranının 0.7 olduğu durum, en düşük toplam maliyetin gerçekleştiği durum olmaktadır. Ayrıca kazanım oranının 0.7 olduğu durumda maliyet oranları arasındaki fark (A) ne olursa olsun toplam maliyette büyük bir değişiklik gözlenmemektedir.

Göreceli uzaklık açısından yeniden üretim oramı üzerinde yapılan denemelere bakıldığında, sadece çekirdek demontajında kazanım oranının ortalamalar üzerinde fark yarattığı görülmüş, kazanım oranı arttıkça elde edilen göreceli uzaklık değerlerinin de arttığı izlenmiştir.

Programın toplam çalışma süresi üzerinde etkili olan iki faktörün –çekirdek tedarik süresi ve demontajda kazanım oranları– davranışı incelendiğinde; çekirdek tedarik süresi azaldıkça veya demontajda kazanım oranı arttıkça programın daha uzun süre çalıştığı görülmüştür.

4.4. Optimuma Yakın Sonuçların Analizi

Yeniden üretim ortamında parçanın farklı alternatiflerle edinim maliyeti oranı, parça ve çekirdek için tedarik süresi, demontajda kazanım oranı gibi farklı değişkenlerin etkilerinin ölçülmeye çalışıldığı 4.3. Yeniden Üretim Ortamında Farklı Koşulların Etkisi bölümünde, tamsayıli olan değişkenlerin farklı seviyeleri ile program çalıştırılarak, 81 model için deneysel tasarım oluşturulmuştur. Bahsedilen bölümde yapılan her deneyin sonucu göz önünde bulundurulmuş ve analizler ile grafikler bu şekilde yorumlanmıştır. Ancak burada, modelin çözümünün gerçekleştirildiği bilgisayarın gücüne bağlı olarak, bazı deneylerde optimuma istenen ölçüde yaklaşamamıştır. Bu sebeple optimuma kabul edilebilir bir oranda yakın olan çözümleri tekrar değerlendirme ve yorumlama yoluna gidilmiştir. Tablo 4.8., Tablo 4.9. ve Tablo 4.10.'daki sonuçlar, göreceli uzaklık değeri 0.15'ten büyük olanlar çıkartılarak tekrar analize tabi tutulmuştur. Bu analizde sadece toplam maliyet bağımlı değişken kabul edilmiş ve faktörlerden hangilerinin toplam maliyet üzerinde ne oranda etkin olduğu araştırılmıştır. Göreceli uzaklık değeri 0.15'ten küçük olan 65 sonucun toplam maliyeti için varyans analizine ilişkin değerleri, Tablo 4.15.'te görülebilir.

Tablo 4.15. Optimuma Yakın Sonuçların Toplam Maliyeti İçin ANOVA Tablosu

Tests of Between-Subjects Effects

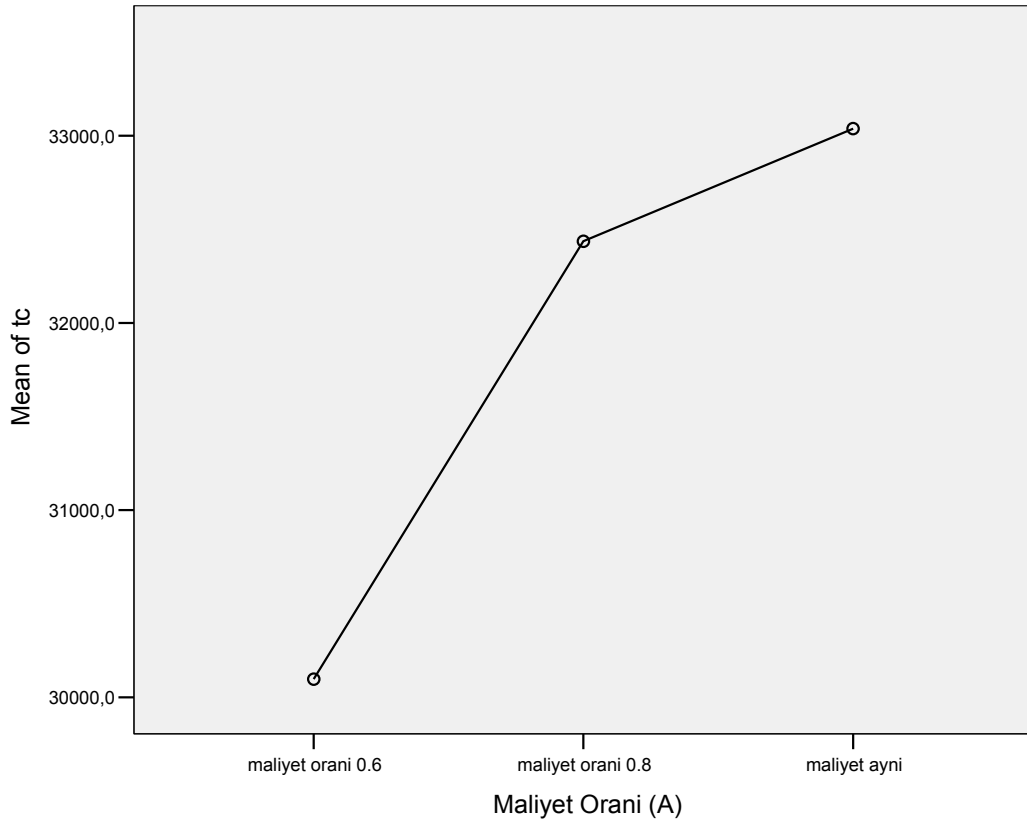
Dependent Variable: tc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	6,846E+010 ^a	33	2074498522	384,773	,000
A	204327755	2	102163877,7	18,949	,000
B	473735549	2	236867774,6	43,934	,000
C	48821027,1	2	24410513,56	4,528	,019
D	383910739	2	191955369,7	35,603	,000
A * B	19713317,4	4	4928329,360	,914	,468
A * C	24236731,9	4	6059182,987	1,124	,363
A * D	53789382,1	4	13447345,52	2,494	,062
B * C	519927703	4	129981925,8	24,109	,000
B * D	245390801	4	61347700,30	11,379	,000
C * D	98338433,5	4	24584608,37	4,560	,005
Error	172527479	32	5391483,714		
Total	6,863E+010	65			

a. R Squared = ,997 (Adjusted R Squared = ,995)

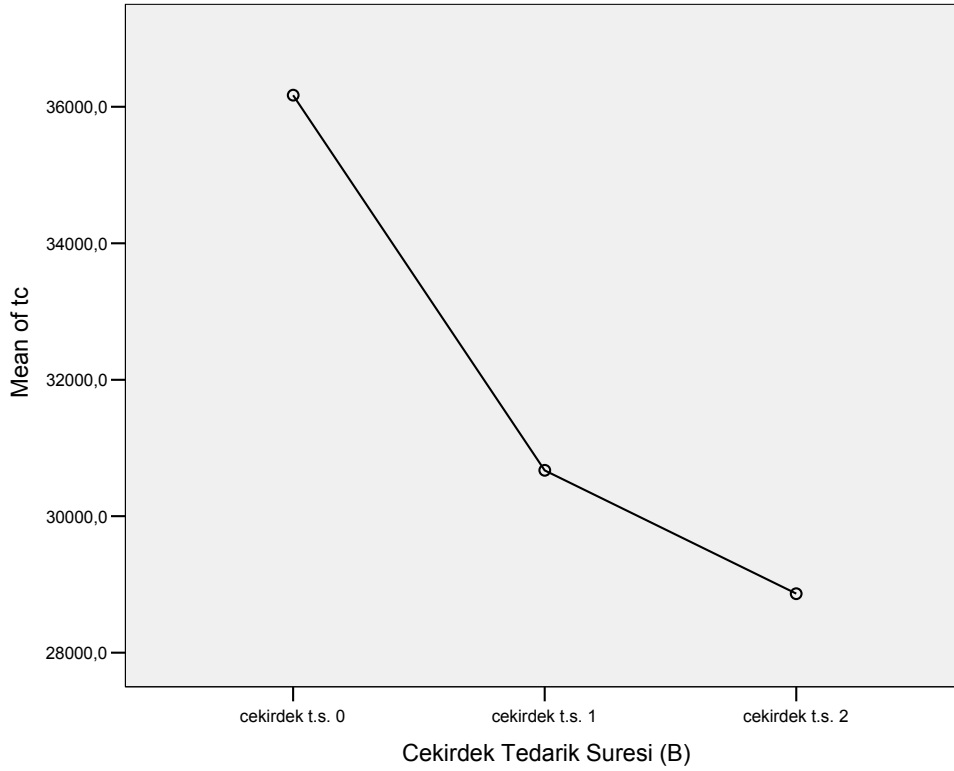
Modelde tekli ve ikili etkileşimler dikkate alınmış ve önem düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir. Bu durumda önem düzeyi 0.05'ten küçük olan faktörler için, H_0 : ortalamalar arasında fark yoktur hipotezi reddedilecektir. Yani, faktör düzeyleri arasında, toplam maliyet ortalamaları açısından anlamlı farklılıklar vardır denilebilir. Bir diğer deyişle bu faktörler, bağımlı değişken olan toplam maliyet üzerinde etkilidir. Tablo 4.15.'e göre, A, B, C ve D faktörlerinin tamamı ile, B*C, B*D ve C*D ikili etkileşimleri, toplam maliyet üzerinde etkiye sahiptir. Tüm deney sonuçlarının analize dahil edildiği duruma ek olarak, burada C faktörü de, yani yeni parça tedarik süresi de toplam maliyet üzerinde etkilidir denilebilir.

Her bir faktörün farklı düzeyleri için, toplam maliyet ortalamaları üzerindeki etkileri, grafikler yardımı ile Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29. ve Şekil 4.30.'da gösterilmiştir.



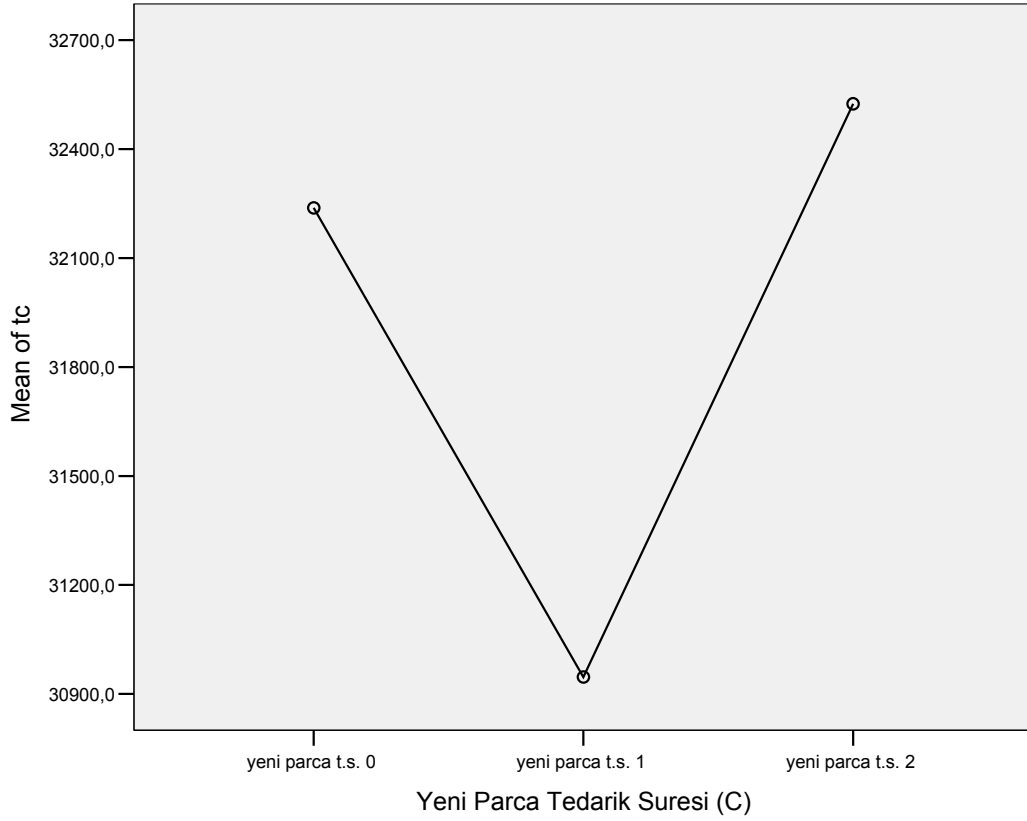
Şekil 4.27. Yeni Parça Satın Alma veya Demontajla Elde Etme Maliyet Oranlarının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

Yapılan deneylerde optimuma en fazla 0.15 göreceli uzaklıktaki sonuçların analizinde ilk ele alınan, çekirdek demontajı ile parça elde edilmesi birim maliyeti ile, bu parçanın yeni parça satın alımı ile edinilmesi birim maliyeti oranının inceleyen A faktörüdür. Şekil 4.27.'ye göre, maliyetler arasındaki oransal fark arttıkça, toplam maliyet değeri azalmaktadır. Çünkü bu oransal fark arttıkça, program her periyot için en uygun alternatifi seçebildiğinden ve uygun maliyet karmasını sağlayabildiğinden, toplam maliyet de düşmektedir. Tablo 4.15.'e göre bu faktörün farklı düzeyleri arasındaki toplam maliyet ortalamaları farkları, 0.05 önem düzeyinde anlamlı olmaktadır. Bir diğer deyişle, yeniden üretilmiş ürüne olan talebi karşılayabilmek için ihtiyaç duyulan parçaların çekirdek demontajı ile veya yeni parça satın alarak elde edilmesi birim maliyetleri oranı, yeniden üretim sisteminin toplam maliyeti üzerinde anlamlı etkiye sahiptir.



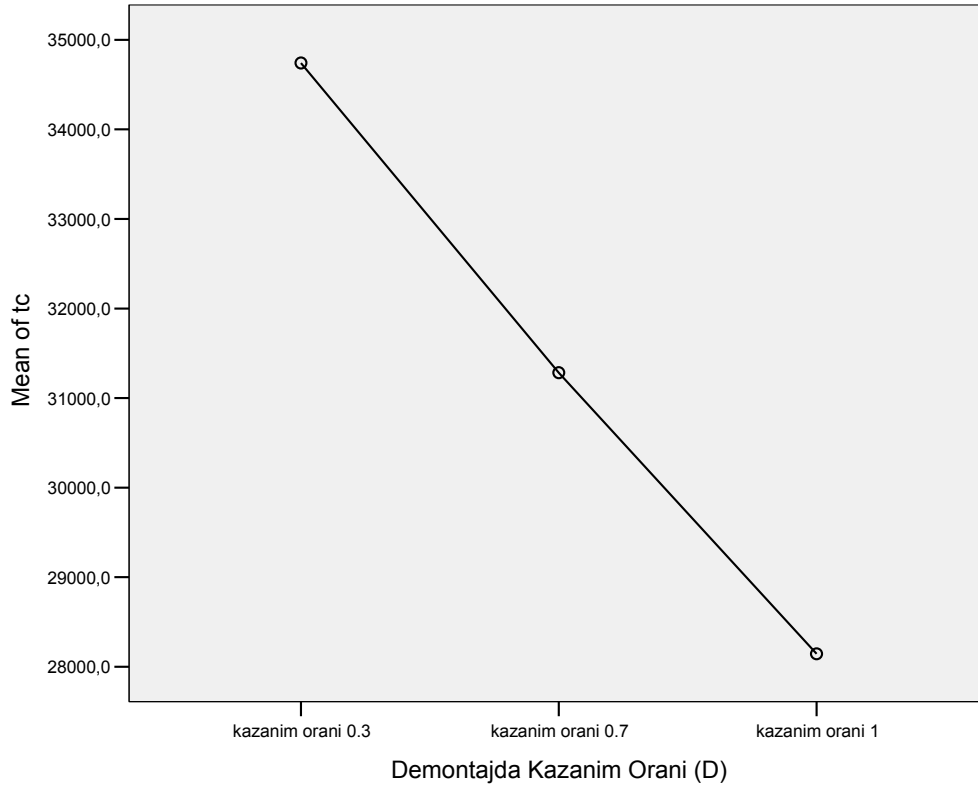
Şekil 4.28. Çekirdek Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

Çekirdek tedarik süresinin farklı seviyelerini ifade eden B faktörü, sistemin toplam maliyeti üzerinde anlamlı etkiye sahip bir diğer etkindir. Çekirdek tedarik süresi arttıkça, toplam maliyet düşmekte ve her bir seviye için toplam maliyet ortalamaları arasındaki fark, Tablo 4.15.'e göre 0.05 önem düzeyinde anlamlı olmaktadır.



Şekil 4.29. Yeni Parça Tedarik Süresinin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

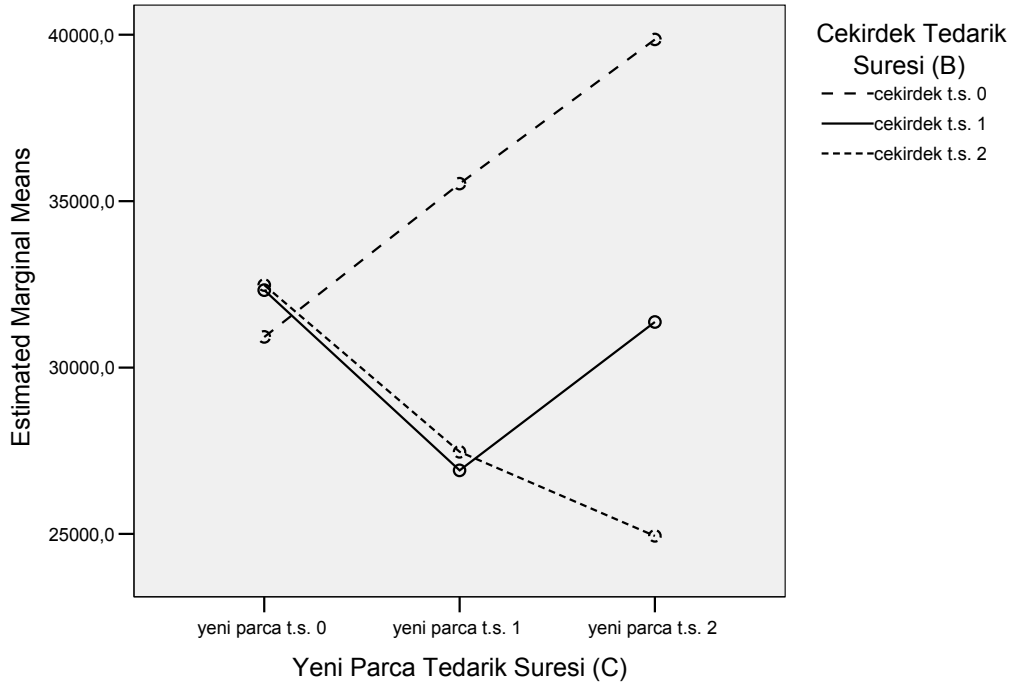
Yeni parça tedarik süresi, yapılan tüm deneyleri içeren analizde 0.05 önem düzeyinde anlamlı bulunmamışken, sadece optimuma istenen seviyede yakın sonuçların analize tabi tutulduğu durumda, toplam maliyet üzerinde etkili görülmüştür. Burada toplam maliyet en düşük seviyesine, yeni parça tedarik süresi 1 periyot iken ulaşabilmektedir.



Şekil 4.30. Demontaj Kazanım Oranının Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

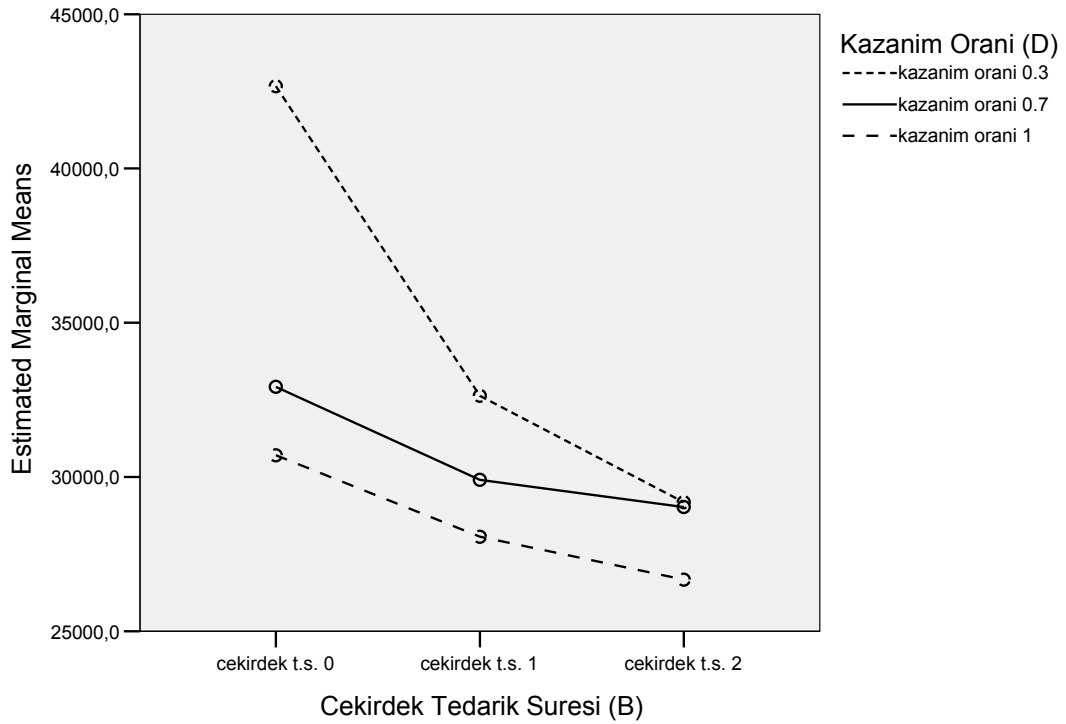
Çekirdek demontajı işleminde teorik olarak demontaj ürün ağacında belirtilen parça sayılarının ne oranda kazanılabildiğini ifade eden D faktörü, Tablo 4.15.'e göre, toplam maliyet üzerinde 0.05 önem düzeyinde anlamlı etkiye sahiptir. Kazanım oranının 0.3 olduğu birinci seviyede toplam maliyet en yüksek düzeyde iken, kazanım oranı yükseldikçe azalmakta ve demontaj ürün ağacının pratikte de kazanılabildiği üçüncü seviyede toplam maliyet en düşük düzeyine ulaşmaktadır. Bu durumda, kazanım oranının 1 olduğu durumda modelin -kısıtlar dahilinde- demontajdan faydalandığı, gerekli durumlarda yeni parça satın almaya da giderek toplam maliyeti minimize edecek kombinasyonu oluşturduğu söylenebilir.

Faktörlerin toplam maliyette birlikte sebep oldukları farklılıkların düzeyini görmek amacı ile, ikili etkileşimler de test edilmiştir. Tablo 4.15.'e göre, B*C, B*D ve C*D etkileşimleri 0.05 önem düzeyinde toplam maliyet üzerinde anlamlı etkiye sahip olarak görülmektedir.



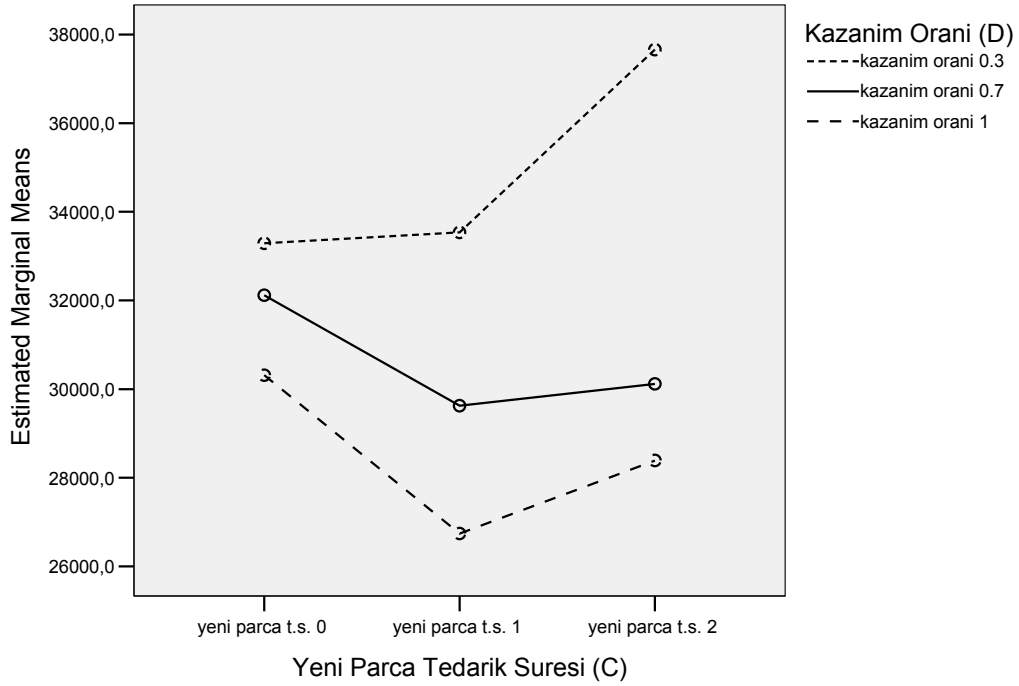
Şekil 4.31. B*C Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

Çekirdek tedarik süresinin (B faktörü) tek başına etkisi dikkate alındığında, ikinci ve üçüncü seviyenin yani tedarik süresinin 1 ve 2 periyot olduğu durumların daha düşük maliyetli olduğu görülebilir. B faktörünün, C faktörünü ifade eden yeni parça tedarik süresi ile etkileşimin incelendiği grafikte de bu durum değişmemektedir (Şekil 4.31.).



Şekil 4.32. B*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

B*D etkileşim grafiği, çekirdek tedarik süresi ile demontajda kazanım oranı etkileşiminin, toplam maliyet üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Şekil 4.32., B faktörünün tek başına etkisi ifade eden Şekil 4.28.'e oldukça benzemektedir. Demontajda kazanım oranının etkisi gösteren Şekil 4.30. da aynı yönlü olduğundan, B*D etkileşiminde de bahsedilen bu iki grafiğe benzer sonuçlar gözlenmektedir. Şekil 4.32.'da da, çekirdek tedarik süresinin olmadığı, kazanım oranının 0.3 olduğu durumda toplam maliyet en yüksek ve çekirdek tedarik süresinin 2 dönem olduğu, demontajda kazanım oranının ise 1 olduğu durumda toplam maliyet en düşük seviyededir.



Şekil 4.33. C*D Etkileşiminin Toplam Maliyet Üzerindeki Etkisi (optimuma yakın veriler için)

Yeni parça tedarik süresinin ve demontajda kazanım oranının incelendiği Şekil 4.33. göstermektedir ki, yeni parça tedarik süresinin 1 dönem olduğu durum, tüm kazanım oranlarında en düşük toplam maliyetli durumdur. Demontajda kazanım oranının 0.3 olduğu durumda en yüksek toplam maliyet ve 1 olduğu durumda da en düşük toplam maliyet elde edilmiştir. Bu çıkarımlar da, C faktörünün etkisinin tek başına incelendiği Şekil 4.29. ve D faktörünün etkisinin tek başına incelendiği Şekil 4.30. ile paraleldir.

Optimuma belirlenen düzeyde (0.15) yakın olan sonuçların yorumlanmasında görülmüştür ki, ihtiyaç duyulan parçaların ediniminde alternatif olan yeni parça satın alma veya demontajla elde etme birim maliyet oranı, toplam maliyet üzerinde anlamlı düzeyde etkilidir. Maliyet oranı 1'e yaklaştıkça, model daha düşük maliyetli alternatife geçemediğinden, elde edilen toplam maliyet de artmaktadır. Çekirdek tedarik süresi uzadıkça, ortalama toplam maliyet değeri azalmaktadır. Toplam

maliyet üzerinde etkili bir diğer faktör olan yeni parça tedarik süresi ise en düşük toplam maliyet düzeyinde 1 dönemken ulaşmaktadır. Demontajda kazanım oranı yükseldikçe, toplam maliyet değeri de azalmaktadır. Varyans analizinde önemli bulunan ikili etkileşimler toplam maliyeti, faktörlerin tek başlarına olan etkilerine paralel olacak şekilde etkilemektedir. Optimuma belirlenen düzeyde yakın sonuçların incelendiği bu analizde, ANOVA tablosunda faktörlerin önem düzeyleri değişmekle birlikte, tüm deney sonuçlarının analize dahil edildiği durumla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışmanın Özetlenmesi

Ana üretim planının hazırlanması, malzeme ihtiyaç planının doğru şekilde yapılması, üstelik “belirli” olarak varsayılan koşulların değişken olması durumunda bu planların sağlıklı olabilmesi, iş ve bilim dünyasının üzerinde çalıştığı bir konudur. Sürdürülebilir kalkınma kapsamında, işletmelere düşen görev, üretim faaliyetlerinin çevreye en az zararı vererek yapılabilmesidir. İşletmeler “çevreye duyarlı üretim” ile, hem belirli yasal düzenlemeleri yerine getirmiş ve sosyal sorumluluk bilincine kavuşmuş olacak, hem de tüketicilerinin ve sivil kurumların gözünde çevreye dost veya yeşil işletme olarak anılma şansına kavuşacaktır. Bu da, işletme açısından yasal ve ekonomik fayda demektir.

Çevre ile dost üretim, daha az enerji, malzeme ve hammadde kullanımı, daha az atık ve hurda oluşumu demektir. Daha az malzeme, bileşen ve enerji kullanımında, üretilen ve tüketiciye ulaşan ürünlerin yeniden değerlendirilmesi akla gelmektedir. Tüketiciden değişik sebeplerle (geri çağırma, ürün ömrü sonuna gelmesi, stok ayarlamaları, üründe hata olması vb.) tersine lojistik faaliyetleri ile geri alınan ürünün değerlendirilmesi için farklı seçenekler (yeniden kullanım, geri dönüşüm, ürün yamyamlaştırma, yeniden üretim vb.) bulunsa da, bunlar arasında *yeniden üretim*, ürünün daha önceki üretimi ile kazanılan değer korunması, üretim için daha az materyal ve kaynak kullanılması, ürün ömrü sonundaki hurda ve eski ürün sayısının azalması gibi konular ile, diğer seçeneklere kıyasla daha avantajlı görülmektedir. Yeniden üretim, sayılan ekolojik ve ekonomik faydaları yanında, özellikle bazı ülkelerde, yasalarla da zorunlu hale getirilmektedir.

Yeniden üretimin söz konusu olduğu üretim ortamlarında, daha önce tüketici gönderilmiş ürünün geri alınarak (çekirdek) demontajı ve gerekli durumlarda yeni parçaların eklenmesi ile yeniden montajı/yeniden üretimi söz konusudur. Ancak, yeniden üretim için üretim planlaması yapılırken normal üretimdeki belirsizliklere ilave olarak, çekirdek dönüşlerinin zaman, miktar ve kalite düzeyinin belirsizliği, geri dönen ürünlerin demontaj işlemi ihtiyacı ve buna bağlı olarak demontaj süresi ve

maliyeti, ürün için gerekli materyal ile çekirdekten gelen materyalin eşleştirme kısıtlarının karmaşıklığı, çoğu durumda tedarik süresi ve maliyet belirsizlikleri gibi belirsizliklerle de karşılaşmakta, dolayısıyla üretim planlaması zorlaşmaktadır.

Geleneksel üretim planlama ve çizelgeleme metotlarının ürün geri kazanımı sistemlerinde aynen uygulanması, farklılıklar sebebi ile oldukça sınırlıdır. Bu durumda, ya yeni metotlar geliştirilmeli ya da farklılıkları giderecek gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra bu metotlar uygulanmalıdır. Bu çalışmada temel olarak, yeniden üretim ortamlarında malzeme ihtiyaç planlaması konusu ele alınmıştır. Üretim ile ilgili diğer kararların (demontaj ve montaj/üretim çizelgeleme, kapasite kontrolü, satın alma vb.) bu plana bağlı olarak gerçekleştirildiği üretim ortamı üzerinde çalışılmıştır. İlk olarak, problemin matematiksel ifadesi gerçekleştirilmiştir. Yeniden üretim ortamı tasarlanırken geçerli olan özellikler ve değişkenler şunlardır:

- i. Nihai yeniden üretilmiş ürün taleplerinin dönemler bazında belirlidir,
- ii. Tüm talep karşılanmaktadır,
- iii. Birden fazla çekirdek tedarikçisi bulunmaktadır, dolayısıyla her dönemde edinilebilecek çekirdek sayısı ve maliyeti belirlenebilir,
- iv. Demontaj için parça başına demontaj zamanı tanımlanmıştır,
- v. Demontaj zamanı için bir kapasite kısıtı söz konusudur,
- vi. Demontajın parça başına birim maliyeti söz konusudur,
- vii. Tedarik edilen çekirdeğin belirli bir oranı demontaja uygun kalitededir,
- viii. Kalitesiz çekirdekler, yok edilme maliyetine katlanılarak, yok edilmektedir,
- ix. Çekirdek ve yeni parça satın alımında tedarik süresi söz konusudur,
- x. Çekirdek demontajında kazanım oranı dikkate alınmıştır,
- xi. Stok kalemleri için elde bulundurma maliyetleri dikkate alınmıştır.

Literatürdeki diğer birçok çalışmadan farklı olarak, modelin nihai ürün ile başlatıldığı, buna bağlı olarak parça ihtiyaçlarının belirlendiği ve maliyet minimizasyonu amacı ile, parça ihtiyacının çekirdek demontajı veya yeni (kullanılmamış) parça satın alarak karşılandığı bir yeniden üretim ortamı tasarlanmıştır. Model, tamsayılı olarak çözülmüştür.

Yeniden üretim ortamında var olan ve önceki bölümlerde bahsedilen belirsizliklerden;

- i. parçanın çekirdek demontajı ile ediniminin, parça satın alma birim maliyetine oranı,
- ii. çekirdek için tedarik süresi,
- iii. yeni parça için tedarik süresi,
- iv. çekirdek demontajında kazanım oranı

faktörlerinin, yeniden üretimin performansını etkileyebileceği düşünülmüştür. Sayılan dört faktörün etkisini ölçmek amacı ile, her bir faktör için üçer seviye alınarak, 81 modelden oluşan deney seti oluşturulmuştur. Tamsayılı model, sayılan bu faktörlerin belirlenen seviyeleri için çalıştırılarak, yeniden üretim ortamının toplam maliyeti, sonucun göreceli uzaklık değeri ve programın çalışma süreleri için varyans analizi uygulanmıştır.

5.2. Sonuçlar

Geliştirilen tamsayılı modeller, GAMS® paket programı ve OSL çözücüsü ile çözülmüştür. Deneysel tasarım doğrultusunda, sistemin durumunu yansıtan modeller, faktörlere uygun olacak şekilde parametreler değiştirilerek oluşturulmuş ve yine aynı program ile çözülmüştür. Bu modellerin belirlenen performans kriterleri için sonuçları elde edilmiştir.

Yeniden üretim ortamının performans ölçütü olarak da kabul edilen ve tamsayılı modelde de minimize edilmek istenen *toplam maliyet* için, tüm deney sonuçlarının kullanıldığı varyans analizinde;

- i. ihtiyaç duyulan parçayı çekirdek demontajı ile elde etmenin yeni parça satın alma birim maliyetine oranı,
- ii. çekirdek tedarik süresi,
- iii. çekirdek demontajında kazanım oranı

faktörlerinin etkili olduğu görülmüştür.

Programın çalışma performansını ölçtüğü düşünülen *sonuçların göreceli uzaklık değeri* üzerinde, çekirdek demontajı esnasında geçerli olan kazanım oranı düzeyi, etkili faktör olarak belirlenmiştir.

Varyans analizi sonucunda, *programın toplam çalışma süresi* üzerinde etkili faktörlerin,

- i. çekirdek tedarik süresi,
 - ii. demontajda kazanım oranı
- olduğu görülmüştür.

Çalıştırılan 81 model sonucu incelendiğinde, bazı modellerde sonuçların göreceli uzaklık değerinin yüksek olduğu görülmüş ve bunun, hangi faktörlerin toplam maliyet üzerinde etkili olduğunun belirlendiği analizde sonuçları etkileyebileceği düşünülmüştür. Bu sebeple, sonuçların göreceli uzaklık değerinin belirlenen seviyeden yüksek olduğu (0.15) sonuçlar çıkartılarak, kalan model sonuçları için yeniden varyans analizi uygulanmıştır.

Yeniden üretim ortamının *toplam maliyeti* için gerçekleştirilen analizde, tüm faktörlerin etkili olduğu görülmüştür. Bu durumda,

- i. ihtiyaç duyulan parçayı çekirdek demontajı ile elde etmenin yeni parça satın alma birim maliyetine oranı,
- ii. çekirdek tedarik süresi
- iii. yeni parça tedarik süresi,
- iv. çekirdek demontajında kazanım oranı

faktörlerinin tamamı, yeniden üretim ortamının toplam maliyeti üzerinde etkili olmaktadır.

Çalışma, geleneksel malzeme ihtiyaç planlarından farklıdır. Maliyet minimizasyonu amacı ve parça edinilebilecek birden fazla kaynak olması (yeni parça veya demontajla edinilmiş parça) sebebi ile, aynı zamanda demontaj veya satın alma kararlarının da verilmesini gerektirmektedir. Literatürde genellikle yeniden üretimin tanımlanmasına veya sadece demontajın planlanmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu sebeple, orta dönemlik planlama için yeterli olabilecek periyot sayısı için tamsayı olarak modellenen “yeniden üretim ortamının malzeme ihtiyaç

planına ait matematiksel model” sunan bu çalışmanın literatürde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Gerçek bir üretim ortamında olabilecek her türlü değişkenliğin tamamının ele alınacağı bir model oluşturmak ve bu problem için optimal çözüm bulmak zordur. İlgili literatür de incelendiğinde, alınması gerek kararların ayrı ayrı ele alınarak çözüldüğü görülmektedir; örneğin parça ihtiyacı belli iken ne kadar çekirdek demonte edileceği kararı; diğer parametreler değişmezken sadece kalitenin dikkate alınarak demontaj ve satınalma kararlarının verilmesi; üretilen ürünler arasında ürün ortaklığı (commonality) olmaması durumunda karar verilmesi gibi.

Modeldeki her bir parametredeki değişim, problemi daha karmaşık hale getirecektir. Ancak sonraki çalışmalarda ilave edilebilecek faktörler, nihai ürün talebinin rastsal olarak gelmesi, ulaşılabilir çekirdek sayısının rastsal olması, tedarik zamanlarının deterministik olmaması, farklı kaynaklardan elde edilebilecek çekirdekler arasında kalite açısından da farklılıklar bulunması, oluşturulan planların sonraki periyotlarda gerektiğinde güncellenebilmesi, belirsizliği azaltmak amacı ile güvenlik stoğunun bulundurulması vb. olarak sıralanabilir. Buna ek olarak, her modelleme çalışmasında yapıldığı gibi, ele alınan üretim ortamı için de bazı varsayımlarda bulunulduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Göz önünde bulundurulan varsayımlar dışında, makine hazırlık zamanlarının olması, makine bozulması gibi durumların oluşması, üretim aşamasında ürünlerin kalite açısından hatalı olması sebebi ile tekrar üretilmek durumunda kalması gibi durumlar da, modele eklenebilir. Ele alınan faktörlere ilave olarak, etkili olabilecek diğer faktörlerin (güvenlik stoğunun olup olmaması, ürünün parça ortaklık durumu vb.) de sistem performansı üzerindeki etkisi test edilebilir.

Çalışmada, optimal çözüme ulaşmak amaçlandığından problemin matematiksel olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Farklı faktörlerin yeniden üretim ortamında nasıl etkiler yaratacağı araştırıldığından, matematiksel olarak çözülebilecek şekilde model parametreleri tasarlanmıştır. Problem tamsayı

olduğundan çözüme ulaşma durumu, bilgisayarların gücüne büyük ölçüde bağlıdır. Daha karmaşık ve daha büyük modellerin (örneğin daha çok parça içeren ürün ve çekirdekler, daha uzun planlama dönemi gibi) daha güçlü bilgisayarlarda çözülmesi mümkündür.

Çözümün zor veya zaman alıcı durumları için optimal çözüm yerine, sezgisel algoritmalar yardımı ile uygun çözümlerin bulunmaya çalışılması da bir diğer çalışma alanıdır. Benzer şekilde, farklı senaryoların ve kararların karşılaştırılması için simülasyon kullanılabilir. Ancak sezgisel algoritmanın etkinliğinin belirlenebilmesi, veya simülasyon sonuçlarının değerlendirilebilmesi için benzer bir modelde optimum çözüme ulaşılması ve karşılaştırma yapılması istenen bir durumdur. Bu çalışmanın da sonraki çalışmalar için başlangıç noktası olarak veya karşılaştırma amaçlı kullanılması mümkündür.

Çalışmada geçerli olan bir diğer kısıt, gerçek verilere ulaşamamış olmasıdır. Literatürde verilerin kullanılabilmesi ve karşılaştırma yapılabilecek benzerlikte örnek çalışma bulunmamaktadır Modelde kullanılan parametreler, çoğunlukla literatürde benzer çalışmalarda kullanılan dağılımlar yardımı ile oluşturulmuş, ancak araştırmacıların belirlediği değerlerdedir. Gerçek verilerin kullanılamama sebebi, ülkemizde yeniden üretimin sistematik bir şekilde değil, kısıtlı seviyede demontaj, gerektikçe demontajla parça edinme, tamir amacı ile demontaj şeklinde uygulanıyor olmasıdır. Ancak, özellikle Avrupa Birliği'nde çevreye duyarlı üretim ve atık azaltımı konusundaki yasal gerekliliklerin oldukça dikkatli ve sıkı bir şekilde düzenleniyor olması, bu ülkelerdeki işletmelerle çalışan tüm firmaları etkileyecektir. Firmaların yeniden üretim esnasındaki stratejilerini ve orta dönemlik kararlarını almalarında, bu çalışmadaki gibi desteklerin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ACAR, N., 2001. Malzeme İhtiyaç Planlaması. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 23. 6. Basım, Ankara: 101.
- AHMED, A., 2003. A Holistic Approach for Reverse Supply Chain Planning for Remanufacturing. 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing - EcoDesign'03, December 8-11, Tokyo, Japan.
- BRITO M.P.; DEKKER, R., 2002. Reverse Logistics - a Framework. Econometric Institute Report EI 2002-38, Erasmus University, Rotterdam
- BRITO, M.P., FLAPPER, S.D.P., DEKKER, R., 2002. Reverse Logistics: A Review of Case Studies. Econometric Enstitute Repot EI 2002-21.
- CARTER, C. ELLRAM, L., 1998. Reverse Logistics: a Review of the Literature and Framework for Future Investigation. Journal of Business Logistics, vol.19, no.1: 85-102.
- CLEGG, A.J.; WILLIAMS, D.J.; UZSOY, R., 1995. Production Planning for Companies with Remanufacturing Capabilities. Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Orlando, FL., May 1995: 186- 191.
- DEPUY, G.W.; USHER, J.S.; WALKER, R.L.; TAYLOR, G.D., 2007. Production Planning for Remanufactured Products. Production Planning and Control, vol.18, no.7, October: 573-583.
- DOWLATSHAHI, S., 2000. Developing A Theory of Reverse Logistics. Interfaces, 30 (3):143-155.
- FERRER, G.; WHYBARK, D.C., 2000. From Garbage to Goods: Successful Remanufacturing Systems and Skills. Business Horizons, November-December: 55-64.
- FERRER, G.; WHYBARK, D.C., 2001. Material Planning for a Remanufacturing Facility. Production and Inventory Management Society, 10 (2): 112-124.
- FLEISCHEMANN, M., BLOEMHOF-RUWARD, M., DEKKER, R., LAAN, E., NUNEN, A.E.E., WASSENHOVE, L.N., 1997. Quantitative Models for

- Reverse Logistics: A Review. *European Journal of Operational Research*, 103: 1-17.
- GUIDE, V.D.R., 2000. Production Planning and Control for Remanufacturing: Industry Practice and Research Needs. *Journal of Operations Management*, 18: 467-483.
- GUIDE, V.D.R.; JAYARAMAN, V., 2000. Product Acquisition Management: Current Industry Practice and a Proposed Framework. *International Journal of Production Research*, vol.38, no.16: 3779-3800.
- GUIDE, V.D.R.; JAYARAMAN, V.; SRIVASTAVA, R., 1999. Production Planning and Control for Remanufacturing: a State-of-the-Art Survey. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol.15: 221-230.
- GUIDE, V.D.R.; JAYARAMAN, V.; SRIVASTAVA, R.; BENTON, W.C., 2000. Supply Chain Management for Recoverable Manufacturing Systems. *Interfaces*, 30, 3, May-June: 125-142.
- GUIDE, V.D.R.; SPENCER, M.S., 1997. Rough-cut Capacity Planning for Remanufacturing Firms. *Production Planning and Control*, 8 (3): 237-244.
- GUIDE, V.D.R.; SRIVASTAVA, R., 1997. Buffering from Material Recovery Uncertainty in a Recoverable Manufacturing Environment. *Journal of the Operational Research Society*, 48: 519-529.
- GUIDE, V.D.R.; SRIVASTAVA R.; SPENCER, M.S., 1997. An Evaluation of Capacity Planning Techniques in a Remanufacturing Environment. *International Journal of Production Research*, vol.35, no.1: 67-82.
- GUNGOR, A., GUPTA, S.M., 1998. Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey. *Computers and Industrial Engineering* 36: 911-853.
- GUPTA, S.M.; TALEP, K.N., 1994. Scheduling Disassembly. *International Journal of Production Research*, vol.32, no.8: 1857-1866.
- GUPTA, S.M.; VEERAKAMOLMAL, P., 2000. A Bi-directional Supply Chain Optimization Model for Reverse Logistics. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, May 8-10, San Francisco, California: 254-259.

- INDERFURTH, K., 2004. Optimal Policies in Hybrid Manufacturing /Remanufacturing Systems with Product Substitution. *International Journal of Production Economics*, 90: 325-343.
- INDERFURTH, K.; TEUNTER, R.H., 2001. Production Planning and Control of Closed-Loop Supply Chains. *Econometric Institute Report EI 2001-37*.
- JAYARAMAN, V.; GUIDE, V.D.R.; SRIVASTAVA, R., 1999. A Closed Loop Logistics Model for Remanufacturing. *Journal of Operational Research Society*, 50: 497-508.
- KERR, W.; RYAN, C., 2001. Eco-efficiency Gains from Remanufacturing: A Case Study of Photocopier Remanufacturing at Fuji Xerox Australia. *Journal of Cleaner Production*, 9: 75-81.
- KOKKINAKI, A.I.; DEKKER, R.; LEE, R.; PAPPIS, C., 1999. An Exploratory Study on Electronic Commerce for Reverse Logistics. *Econometric Institute Report Series, EI-9951/A*, Erasmus University, Rotterdam.
- LANGELLA, I.M., 2007. Heuristics for Demand Driven Disassembly Planning. *Computers and Operations Research*, vol.34, Issue 2: 552-577.
- LEE, D.H.; KANG, J.G.; XIROUCHAKIS, 2001. Disassembly Planning and Scheduling: Review and Further Research. *Proc. Instn Mech. Engrs*, vol.215, part B: 695-709.
- MAHADEVAN, B.; PYKE, D.F.; FLEISCHMANN, M., 2003. Periodic Review, Push Inventory Policies for Remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 151: 536-551.
- MITRA, S., 2007. Revenue Management for Remanufactured Products. *Omega* 35: 553-562.
- PARKINSON, H.J.; THOMPSON, G., 2003. Analysis and Taxonomy of Remanufacturing Industry Practice. *Proc. Instn Mech. Engrs*, vol. 217, part E: 243-256.
- ROGERS, D.S., TIBBEN-LEMBKE, R., 2001. An Examination of Reverse Logistics Practices. *Journal of Business Logistics*, vol.22, no.2: 129-147.

- RUBIO, S.; COROMINAS, A., 2008. Optimal Manufacturing-Remanufacturing Policies in a Lean Manufacturing Environment. *Computers and Industrial Engineering*. Article in Press.
- SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O., 2006. Modeling Reverse Logistic Tasks within Closed-loop Supply Chains: An Example from the Automotive Industry. *European Journal of Operational Research* 171: 1033–1050.
- SEITZ, M.A., 2007. A Critical Assessment of Motives for Product Recovery: the Case of Engine Remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 15: 1147-1157.
- TAHA, H.A., 1975. *Integer Programming. Theory, Applications and Computations*. Academic Press Inc., NY., 380.
- TALEB, K.N.; GUPTA, S.M., 1997. Disassembly of Multiple Product Structures. *Computers Industrial Engineering*, vol.32, no.4: 949-961.
- TALEB, K.N.; GUPTA, S.M.; BRENNAN, L., 1997. Disassembly of Complex Product Structures with Parts and Materials Commonality. *Production Planning and Control*, vol.8, no.3: 255-269.
- TANG, O.; GRUBBSTROM R.W.; ZANONI, S., 2007. Planned Lead Time Determination in a Make-to-order Remanufacturing System. *Int. J. Production Economics* 108: 426-435.
- TEUNTER, R.; VAN DER LAAN, E.; VLACHOS, D., 2002. Inventory Strategies for Systems with Fast Remanufacturing. *ERIM Report Series Research in Management*, ERS-2002-77-LIS, <http://www.erim.eur.nl> (15.07.2004).
- TEUNTER, R.H.; VLACHOS, D., 2002. On The Necessity of a Disposal Option for Returned Items that Can Be Remanufactured. *International Journal of Production Economics*, 75: 257-266.
- THIERRY, M.; SALOMON, M.; NUNEN, J.; WASSENHOVE, L., 1995. Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*, vol.37, no.2, Winter: 114-135.

- TIBBEN-LEMBKE, R., ROGERS, D.S., 2002. Differences between Forward and Reverse Logistics in a Retail Environment. *Supply Chain Management: An International Journal*, vol.7, no.5: 271-282
- TIBBEN-LEMBKE, R.S., 2002. Life after Death: Reverse Logistics and the Product Life Cycle. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol.32, no.3: 223-244.
- VEERAKAMOLMAL P., GUPTA S.M., 2000. Optimising the Supply Chain in Reverse Logistics. *Environmentally Conscious Manufacturing Conference*, Boston, Massachusetts, November 6-8, 2000.
- WEBSTER, S.; MITRA, S., 2007. Competitive Strategy in Remanufacturing and the Impact of Take-back Laws. *Journal of Operations Management* 25: 1123-1140.
- WINSTON, W.L., 2004. *Operations Research, Applications and Algorithms*. Thomson, fourth edition, Canada: 1418.
- <http://www.gams.com/solvers/solvers.htm#OSL>, Erişim tarihi: 02.10.2007.

ÖZGEÇMİŞ

1976 Mersin doğumlu. 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansa başladı. “Sipariş Tipi Üretim Sistemlerinde Değişken Darboğazların Çizelgelenmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım” başlıklı tezi ile 2001 yılında yüksek lisansı bitirerek, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora başladı. Halen Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Ek-1 Örnek Model (sürekli değişkenler) İçin .log Dosyası

GAMS 2.50D Copyright (C) 1987-2000 GAMS Development. All rights reserved
DC3599

--- Starting compilation
--- DEMO SUREKLI.GMS(274) 1 Mb
--- Starting execution
--- DEMO SUREKLI.GMS(271) 1 Mb
--- Generating model gulsun1
--- DEMO SUREKLI.GMS(274) 1 Mb
--- 186 rows, 246 columns, and 691 non-zeroes.
--- Executing OSL

OSL Version 1 Mar 1, 2000 WIN.OS.SE 19.1 057.038.038.WAT

Work space requested by user -- 1000.00 Mb

Work space requested by solver -- 0.38 Mb

Reading data...

Starting OSL...

Scale...

Presolve...

Crashing...

Primal Simplex...

Iter	Objective	Sum Infeasibilities
20	18155.028200	231.571571
40	18868.745760	120.770850
60	31942.041720	4.310480
80	24241.128977	1.478334
91	23252.986641	Relaxed Objective

Branch&Bound...

Iter	Nodes	Rel Gap	Abs Gap	Best Found
114	21	No integer solution yet		
140	41	No integer solution yet		
153	55	0.0489	1147.2991	24595.2857 Done

Postsolve...

Fixing integer variables...

Primal Simplex...

157	24595.285714	Normal Completion
		Integer Solution

The solution satisfies the termination tolerances

--- Restarting execution
--- DEMO SUREKLI.GMS(274) 0 Mb
--- Reading solution for model gulsun1
*** Status: Normal completion
--- Erasing scratch files

Ek-2 Örnek Model (tamsayı değişkenler) İçin .lst Dosyası (kısaltılmış)

GAMS 2.50D Windows NT/95/98

03/01/08 10:14:30

General Algebraic Modeling System
Compilation

```
1 Sets t zaman / 1*5 /
2     i urun / 1*3 /
3     j parca / 1*5 /
4     k cekirdek / 1*2 /
5     l cekirdek tedarikcisi / 1, 2 / ;
6
...
```

283 Solve gulsun1 minimizing maliyet using mip ;

---- in0 =E= yeni parca stok

in0(1,1).. in(1,1) - pp(1,1) + un(1,1) =E= 0 ; (LHS = 0)

in0(1,2).. - in(1,1) + in(1,2) - pp(1,2) + un(1,2) =E= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 23 ENTRIES SKIPPED

...

S O L V E S U M M A R Y

```
**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 8 INTEGER SOLUTION
**** OBJECTIVE VALUE 24799.0000
```

OSL Version 1 Mar 1, 2000 WIN.OS.SE 19.1 057.038.038.WAT

...

---- VAR iu

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	.	750.000	EPS
1.2	.	.	750.000	41.000
1.3	.	.	750.000	35.000
1.4	.	.	750.000	35.000

1.5	.	.	750.000	195.000
2.1	.	.	750.000	EPS
2.2	.	.	750.000	39.000
2.3	.	.	750.000	35.000
2.4	.	.	750.000	35.000
2.5	.	.	750.000	215.000
3.1	.	1.000	750.000	EPS
3.2	.	1.000	750.000	EPS
3.3	.	1.000	750.000	EPS
3.4	.	.	750.000	107.000
3.5	.	.	750.000	135.000

---- VAR in

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	62.000	750.000	EPS
1.2	.	.	750.000	2.000
1.3	.	.	750.000	1.000
1.4	.	.	750.000	1.000
1.5	.	.	750.000	11.000
2.1	.	57.000	750.000	EPS
2.2	.	.	750.000	2.000
2.3	.	.	750.000	1.000
2.4	.	.	750.000	1.000
2.5	.	.	750.000	11.000
3.1	.	.	750.000	1.000
3.2	.	.	750.000	1.000
3.3	.	.	750.000	1.000
3.4	.	.	750.000	1.000
3.5	.	.	750.000	11.000
4.1	.	.	750.000	1.000
4.2	.	.	750.000	1.000
4.3	.	.	750.000	1.000
4.4	.	.	750.000	1.000
4.5	.	.	750.000	11.000
5.1	.	.	750.000	EPS
5.2	.	.	750.000	EPS
5.3	.	.	750.000	EPS
5.4	.	.	750.000	1.000
5.5	.	.	750.000	11.000

---- VAR id

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	.	750.000	60.000
1.2	.	.	750.000	40.000
1.3	.	.	750.000	50.000

1.4	.	.	750.000	50.000
1.5	.	.	750.000	60.000
2.1	.	.	750.000	39.000
2.2	.	.	750.000	51.000
2.3	.	.	750.000	50.000
2.4	.	.	750.000	50.000
2.5	.	.	750.000	60.000
3.1	.	.	750.000	50.000
3.2	.	.	750.000	40.000
3.3	.	.	750.000	60.000
3.4	.	.	750.000	40.000
3.5	.	.	750.000	60.000
4.1	.	.	750.000	40.000
4.2	.	.	750.000	50.000
4.3	.	.	750.000	60.000
4.4	.	.	750.000	50.000
4.5	.	.	750.000	50.000
5.1	.	.	750.000	50.000
5.2	.	.	750.000	50.000
5.3	.	.	750.000	40.000
5.4	.	.	750.000	60.000
5.5	.	1.000	750.000	50.000

---- VAR ic

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	.	750.000	3.000
1.2	.	.	750.000	3.000
1.3	.	20.000	750.000	EPS
1.4	.	10.000	750.000	EPS
1.5	.	.	750.000	11.000
2.1	.	.	750.000	3.000
2.2	.	.	750.000	3.000
2.3	.	4.000	750.000	EPS
2.4	.	2.000	750.000	EPS
2.5	.	.	750.000	11.000

---- VAR pp

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	112.000	750.000	EPS
1.2	.	.	750.000	EPS
1.3	.	78.000	750.000	EPS
1.4	.	63.000	750.000	EPS
1.5	.	51.000	750.000	EPS
2.1	.	111.000	750.000	EPS
2.2	.	.	750.000	EPS

2.3	.	62.000	750.000	EPS
2.4	.	54.000	750.000	EPS
2.5	.	34.000	750.000	EPS
3.1	.	100.000	750.000	EPS
3.2	.	112.000	750.000	EPS
3.3	.	144.000	750.000	EPS
3.4	.	120.000	750.000	EPS
3.5	.	96.000	750.000	EPS
4.1	.	132.000	750.000	EPS
4.2	.	154.000	750.000	EPS
4.3	.	192.000	750.000	EPS
4.4	.	159.000	750.000	EPS
4.5	.	125.000	750.000	EPS
5.1	.	.	750.000	3.000
5.2	.	.	750.000	2.000
5.3	.	.	750.000	1.000
5.4	.	.	750.000	EPS
5.5	.	.	750.000	EPS

---- VAR un

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
--	-------	-------	-------	----------

1.1	.	50.000	750.000	EPS
1.2	.	62.000	750.000	EPS
1.3	.	78.000	750.000	EPS
1.4	.	63.000	750.000	EPS
1.5	.	51.000	750.000	EPS
2.1	.	54.000	750.000	EPS
2.2	.	57.000	750.000	EPS
2.3	.	62.000	750.000	EPS
2.4	.	54.000	750.000	EPS
2.5	.	34.000	750.000	EPS
3.1	.	100.000	750.000	EPS
3.2	.	112.000	750.000	EPS
3.3	.	144.000	750.000	EPS
3.4	.	120.000	750.000	EPS
3.5	.	96.000	750.000	EPS
4.1	.	132.000	750.000	EPS
4.2	.	154.000	750.000	EPS
4.3	.	192.000	750.000	EPS
4.4	.	159.000	750.000	EPS
4.5	.	125.000	750.000	EPS
5.1	.	.	750.000	7.000
5.2	.	.	750.000	8.000
5.3	.	.	750.000	9.000
5.4	.	.	750.000	EPS
5.5	.	.	750.000	10.000

---- VAR dp

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	16.000	750.000	-10.000
1.2	.	14.000	750.000	EPS
1.3	.	16.000	750.000	-10.000
1.4	.	15.000	750.000	-10.000
1.5	.	15.000	750.000	-10.000
2.1	.	6.000	750.000	EPS
2.2	.	3.000	750.000	-11.000
2.3	.	6.000	750.000	-10.000
2.4	.	6.000	750.000	-10.000
2.5	.	6.000	750.000	-10.000
3.1	.	20.000	750.000	EPS
3.2	.	20.000	750.000	EPS
3.3	.	20.000	750.000	-10.000
3.4	.	18.000	750.000	EPS
3.5	.	18.000	750.000	-10.000
4.1	.	30.000	750.000	EPS
4.2	.	28.000	750.000	-10.000
4.3	.	30.000	750.000	-10.000
4.4	.	27.000	750.000	EPS
4.5	.	27.000	750.000	EPS
5.1	.	12.000	750.000	EPS
5.2	.	6.000	750.000	EPS
5.3	.	12.000	750.000	EPS
5.4	.	12.000	750.000	-10.000
5.5	.	11.000	750.000	EPS

---- VAR ud

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	16.000	750.000	EPS
1.2	.	14.000	750.000	-11.000
1.3	.	16.000	750.000	EPS
1.4	.	15.000	750.000	EPS
1.5	.	15.000	750.000	EPS
2.1	.	6.000	750.000	-10.000
2.2	.	3.000	750.000	EPS
2.3	.	6.000	750.000	EPS
2.4	.	6.000	750.000	EPS
2.5	.	6.000	750.000	EPS
3.1	.	20.000	750.000	-10.000
3.2	.	20.000	750.000	-10.000
3.3	.	20.000	750.000	EPS

3.4	.	18.000	750.000	-10.000
3.5	.	18.000	750.000	EPS
4.1	.	30.000	750.000	-10.000
4.2	.	28.000	750.000	EPS
4.3	.	30.000	750.000	EPS
4.4	.	27.000	750.000	-10.000
4.5	.	27.000	750.000	-10.000
5.1	.	12.000	750.000	EPS
5.2	.	6.000	750.000	EPS
5.3	.	12.000	750.000	EPS
5.4	.	12.000	750.000	EPS
5.5	.	10.000	750.000	EPS

---- VAR cp

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	11.000	750.000	EPS
1.2	.	11.000	750.000	EPS
1.3	.	31.000	750.000	EPS
1.4	.	.	750.000	EPS
1.5	.	.	750.000	EPS
2.1	.	2.000	750.000	EPS
2.2	.	1.000	750.000	EPS
2.3	.	6.000	750.000	EPS
2.4	.	.	750.000	EPS
2.5	.	.	750.000	EPS

---- VAR z

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	11.000	750.000	77.000
1.2	.	11.000	750.000	77.000
1.3	.	11.000	750.000	77.000
1.4	.	10.000	750.000	80.000
1.5	.	10.000	750.000	83.000
2.1	.	2.000	750.000	24.000
2.2	.	1.000	750.000	24.000
2.3	.	2.000	750.000	24.000
2.4	.	2.000	750.000	27.000
2.5	.	2.000	750.000	30.000

---- VAR u

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	15.000	750.000	29.000
1.2	.	15.000	750.000	EPS

1.3	.	17.000	750.000	EPS
1.4	.	15.000	750.000	EPS
1.5	.	10.000	750.000	EPS
2.1	.	6.000	750.000	31.000
2.2	.	10.000	750.000	EPS
2.3	.	12.000	750.000	EPS
2.4	.	9.000	750.000	EPS
2.5	.	9.000	750.000	EPS
3.1	.	6.000	750.000	33.000
3.2	.	3.000	750.000	EPS
3.3	.	6.000	750.000	-37.000
3.4	.	6.000	750.000	-52.000
3.5	.	5.000	750.000	EPS

---- VAR spp

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	0.990	+INF	.
1.2	.	.	+INF	EPS
1.3	.	.	+INF	.
1.4	.	0.200	+INF	.
1.5	.	0.200	+INF	.
2.1	.	0.990	+INF	.
2.2	.	0.990	+INF	.
2.3	.	0.990	+INF	.
2.4	.	0.400	+INF	.
2.5	.	0.990	+INF	.
3.1	.	0.990	+INF	.
3.2	.	0.200	+INF	.
3.3	.	0.990	+INF	.
3.4	.	.	+INF	.
3.5	.	.	+INF	.
4.1	.	0.800	+INF	.
4.2	.	0.200	+INF	.
4.3	.	0.990	+INF	.
4.4	.	0.990	+INF	.
4.5	.	0.200	+INF	.
5.1	.	0.990	+INF	.
5.2	.	0.400	+INF	.
5.3	.	0.990	+INF	.
5.4	.	0.990	+INF	.
5.5	.	.	+INF	EPS

---- VAR spn

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	0.990	+INF	.

1.2	.	0.600	+INF	.
1.3	.	.	+INF	EPS
1.4	.	.	+INF	EPS
1.5	.	.	+INF	EPS
2.1	.	0.590	+INF	.
2.2	.	0.790	+INF	.
2.3	.	0.590	+INF	.
2.4	.	.	+INF	EPS
2.5	.	0.590	+INF	.
3.1	.	0.790	+INF	.
3.2	.	.	+INF	EPS
3.3	.	0.790	+INF	.
3.4	.	.	+INF	EPS
3.5	.	.	+INF	EPS
4.1	.	.	+INF	EPS
4.2	.	.	+INF	EPS
4.3	.	0.190	+INF	.
4.4	.	0.790	+INF	.
4.5	.	.	+INF	EPS
5.1	.	0.190	+INF	.
5.2	.	.	+INF	EPS
5.3	.	0.190	+INF	.
5.4	.	0.190	+INF	.
5.5	.	0.200	+INF	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR maliyet	-INF	24799.000	+INF	.

---- VAR bip

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	1.000	1.000	100.000
1.2	.	.	1.000	-1.000E+6
1.3	.	1.000	1.000	100.000
1.4	.	1.000	1.000	10.000
1.5	.	1.000	1.000	10.000
2.1	.	1.000	1.000	100.000
2.2	.	.	1.000	-1.000E+6
2.3	.	1.000	1.000	100.000
2.4	.	1.000	1.000	10.000
2.5	.	1.000	1.000	10.000
3.1	.	1.000	1.000	100.000
3.2	.	1.000	1.000	100.000
3.3	.	1.000	1.000	100.000
3.4	.	1.000	1.000	10.000
3.5	.	1.000	1.000	10.000
4.1	.	1.000	1.000	100.000
4.2	.	1.000	1.000	100.000

4.3	.	1.000	1.000	100.000
4.4	.	1.000	1.000	10.000
4.5	.	1.000	1.000	10.000
5.1	.	.	1.000	EPS
5.2	.	.	1.000	EPS
5.3	.	.	1.000	EPS
5.4	.	.	1.000	EPS
5.5	.	.	1.000	EPS

---- VAR bic

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	.	1.000	1.000	10.000
1.2	.	1.000	1.000	10.000
1.3	.	1.000	1.000	10.000
1.4	.	.	1.000	-3.000E+6
1.5	.	.	1.000	-6.000E+6
2.1	.	1.000	1.000	10.000
2.2	.	.	1.000	EPS
2.3	.	1.000	1.000	10.000
2.4	.	.	1.000	-3.000E+6
2.5	.	.	1.000	-6.000E+6

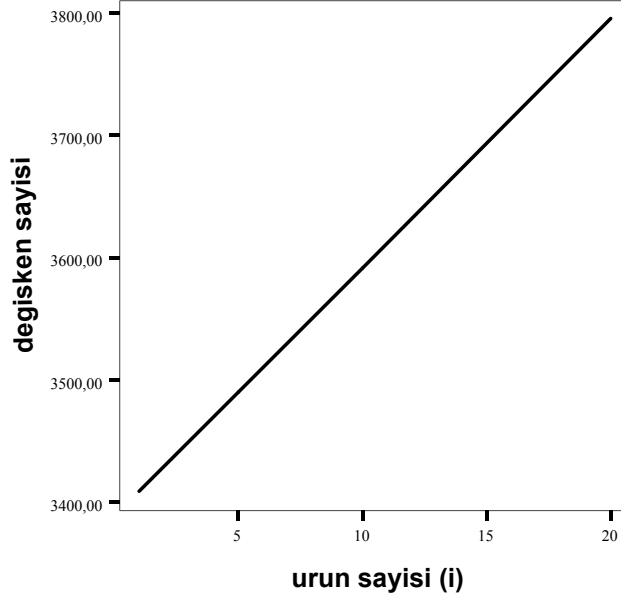
**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

GAMS 2.50D Windows NT/95/98 03/01/08 10:14:30
 General Algebraic Modeling System

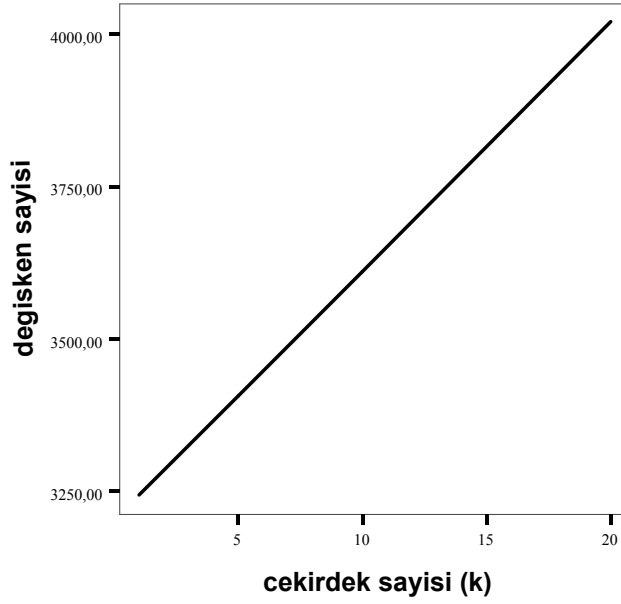
**** FILE SUMMARY

INPUT C:\WINDOWS\GAMSDIR\DEMO INTEGER.GMS
 OUTPUT C:\WINDOWS\GAMSDIR\DEMO INTEGER.LST

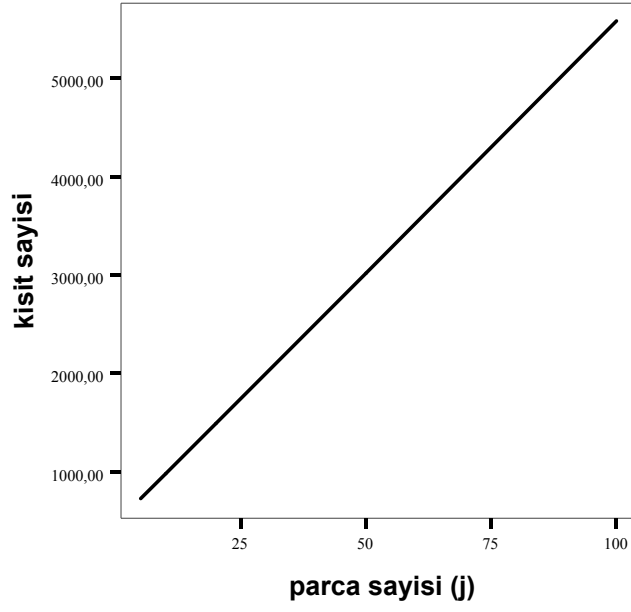
EK-3 Hesaplama Karmaşıklığına İlişkin Grafikler - İndis Değişimine Bağlı Olarak Değişken Sayısı ve Kısıt Sayılarının Hesaplanması



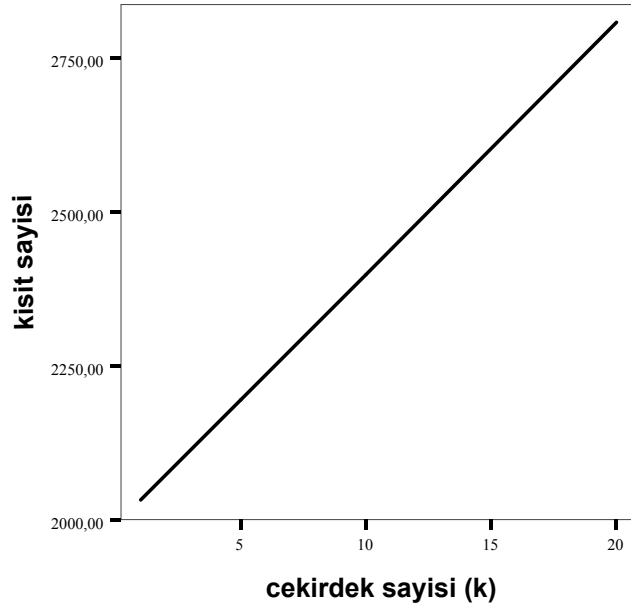
Dot/Lines show Means



Dot/Lines show Means



Dot/Lines show Means



Dot/Lines show Means

#	i	j	k	t	Değişken Sayısı	Kısıt Sayısı
1	1	5	1	1	47	32
2	1	5	1	5	231	156
3	1	5	1	10	461	311
4	1	5	1	15	691	466
5	1	5	1	20	921	621
6	1	5	5	1	63	48
7	1	5	5	5	311	236
8	1	5	5	10	621	471
9	1	5	5	15	931	706
10	1	5	5	20	1241	941
11	1	5	10	1	83	68
12	1	5	10	5	411	336
13	1	5	10	10	821	671
14	1	5	10	15	1231	1006
15	1	5	10	20	1641	1341
16	1	5	20	1	123	108
17	1	5	20	5	611	536
18	1	5	20	10	1221	1071
19	1	5	20	15	1831	1606
20	1	5	20	20	2441	2141
21	1	10	1	1	87	57
22	1	10	1	5	431	281
23	1	10	1	10	861	561
24	1	10	1	15	1291	841
25	1	10	1	20	1721	1121
26	1	10	5	1	103	73
27	1	10	5	5	511	361
28	1	10	5	10	1021	721
29	1	10	5	15	1531	1081
30	1	10	5	20	2041	1441
31	1	10	10	1	123	93
32	1	10	10	5	611	461
33	1	10	10	10	1221	921
34	1	10	10	15	1831	1381
35	1	10	10	20	2441	1841
36	1	10	20	1	163	133
37	1	10	20	5	811	661
38	1	10	20	10	1621	1321
39	1	10	20	15	2431	1981
40	1	10	20	20	3241	2641
41	1	20	1	1	167	107
42	1	20	1	5	831	531
43	1	20	1	10	1661	1061
44	1	20	1	15	2491	1591
45	1	20	1	20	3321	2121
46	1	20	5	1	183	123
47	1	20	5	5	911	611
48	1	20	5	10	1821	1221
49	1	20	5	15	2731	1831
50	1	20	5	20	3641	2441
51	1	20	10	1	203	143

52	1	20	10	5	1011	711
53	1	20	10	10	2021	1421
54	1	20	10	15	3031	2131
55	1	20	10	20	4041	2841
56	1	20	20	1	243	183
57	1	20	20	5	1211	911
58	1	20	20	10	2421	1821
59	1	20	20	15	3631	2731
60	1	20	20	20	4841	3641
61	1	50	1	1	407	257
62	1	50	1	5	2031	1281
63	1	50	1	10	4061	2561
64	1	50	1	15	6091	3841
65	1	50	1	20	8121	5121
66	1	50	5	1	423	273
67	1	50	5	5	2111	1361
68	1	50	5	10	4221	2721
69	1	50	5	15	6331	4081
70	1	50	5	20	8441	5441
71	1	50	10	1	443	293
72	1	50	10	5	2211	1461
73	1	50	10	10	4421	2921
74	1	50	10	15	6631	4381
75	1	50	10	20	8841	5841
76	1	50	20	1	483	333
77	1	50	20	5	2411	1661
78	1	50	20	10	4821	3321
79	1	50	20	15	7231	4981
80	1	50	20	20	9641	6641
81	1	100	1	1	807	507
82	1	100	1	5	4031	2531
83	1	100	1	10	8061	5061
84	1	100	1	15	12091	7591
85	1	100	1	20	16121	10121
86	1	100	5	1	823	523
87	1	100	5	5	4111	2611
88	1	100	5	10	8221	5221
89	1	100	5	15	12331	7831
90	1	100	5	20	16441	10441
91	1	100	10	1	843	543
92	1	100	10	5	4211	2711
93	1	100	10	10	8421	5421
94	1	100	10	15	12631	8131
95	1	100	10	20	16841	10841
96	1	100	20	1	883	583
97	1	100	20	5	4411	2911
98	1	100	20	10	8821	5821
99	1	100	20	15	13231	8731
100	1	100	20	20	17641	11641
101	5	5	1	1	55	36
102	5	5	1	5	271	176
103	5	5	1	10	541	351

104	5	5	1	15	811	526
105	5	5	1	20	1081	701
106	5	5	5	1	71	52
107	5	5	5	5	351	256
108	5	5	5	10	701	511
109	5	5	5	15	1051	766
110	5	5	5	20	1401	1021
111	5	5	10	1	91	72
112	5	5	10	5	451	356
113	5	5	10	10	901	711
114	5	5	10	15	1351	1066
115	5	5	10	20	1801	1421
116	5	5	20	1	131	112
117	5	5	20	5	651	556
118	5	5	20	10	1301	1111
119	5	5	20	15	1951	1666
120	5	5	20	20	2601	2221
121	5	10	1	1	95	61
122	5	10	1	5	471	301
123	5	10	1	10	941	601
124	5	10	1	15	1411	901
125	5	10	1	20	1881	1201
126	5	10	5	1	111	77
127	5	10	5	5	551	381
128	5	10	5	10	1101	761
129	5	10	5	15	1651	1141
130	5	10	5	20	2201	1521
131	5	10	10	1	131	97
132	5	10	10	5	651	481
133	5	10	10	10	1301	961
134	5	10	10	15	1951	1441
135	5	10	10	20	2601	1921
136	5	10	20	1	171	137
137	5	10	20	5	851	681
138	5	10	20	10	1701	1361
139	5	10	20	15	2551	2041
140	5	10	20	20	3401	2721
141	5	20	1	1	175	111
142	5	20	1	5	871	551
143	5	20	1	10	1741	1101
144	5	20	1	15	2611	1651
145	5	20	1	20	3481	2201
146	5	20	5	1	191	127
147	5	20	5	5	951	631
148	5	20	5	10	1901	1261
149	5	20	5	15	2851	1891
150	5	20	5	20	3801	2521
151	5	20	10	1	211	147
152	5	20	10	5	1051	731
153	5	20	10	10	2101	1461
154	5	20	10	15	3151	2191
155	5	20	10	20	4201	2921

156	5	20	20	1	251	187
157	5	20	20	5	1251	931
158	5	20	20	10	2501	1861
159	5	20	20	15	3751	2791
160	5	20	20	20	5001	3721
161	5	50	1	1	415	261
162	5	50	1	5	2071	1301
163	5	50	1	10	4141	2601
164	5	50	1	15	6211	3901
165	5	50	1	20	8281	5201
166	5	50	5	1	431	277
167	5	50	5	5	2151	1381
168	5	50	5	10	4301	2761
169	5	50	5	15	6451	4141
170	5	50	5	20	8601	5521
171	5	50	10	1	451	297
172	5	50	10	5	2251	1481
173	5	50	10	10	4501	2961
174	5	50	10	15	6751	4441
175	5	50	10	20	9001	5921
176	5	50	20	1	491	337
177	5	50	20	5	2451	1681
178	5	50	20	10	4901	3361
179	5	50	20	15	7351	5041
180	5	50	20	20	9801	6721
181	5	100	1	1	815	511
182	5	100	1	5	4071	2551
183	5	100	1	10	8141	5101
184	5	100	1	15	12211	7651
185	5	100	1	20	16281	10201
186	5	100	5	1	831	527
187	5	100	5	5	4151	2631
188	5	100	5	10	8301	5261
189	5	100	5	15	12451	7891
190	5	100	5	20	16601	10521
191	5	100	10	1	851	547
192	5	100	10	5	4251	2731
193	5	100	10	10	8501	5461
194	5	100	10	15	12751	8191
195	5	100	10	20	17001	10921
196	5	100	20	1	891	587
197	5	100	20	5	4451	2931
198	5	100	20	10	8901	5861
199	5	100	20	15	13351	8791
200	5	100	20	20	17801	11721
201	10	5	1	1	65	41
202	10	5	1	5	321	201
203	10	5	1	10	641	401
204	10	5	1	15	961	601
205	10	5	1	20	1281	801
206	10	5	5	1	81	57
207	10	5	5	5	401	281

208	10	5	5	10	801	561
209	10	5	5	15	1201	841
210	10	5	5	20	1601	1121
211	10	5	10	1	101	77
212	10	5	10	5	501	381
213	10	5	10	10	1001	761
214	10	5	10	15	1501	1141
215	10	5	10	20	2001	1521
216	10	5	20	1	141	117
217	10	5	20	5	701	581
218	10	5	20	10	1401	1161
219	10	5	20	15	2101	1741
220	10	5	20	20	2801	2321
221	10	10	1	1	105	66
222	10	10	1	5	521	326
223	10	10	1	10	1041	651
224	10	10	1	15	1561	976
225	10	10	1	20	2081	1301
226	10	10	5	1	121	82
227	10	10	5	5	601	406
228	10	10	5	10	1201	811
229	10	10	5	15	1801	1216
230	10	10	5	20	2401	1621
231	10	10	10	1	141	102
232	10	10	10	5	701	506
233	10	10	10	10	1401	1011
234	10	10	10	15	2101	1516
235	10	10	10	20	2801	2021
236	10	10	20	1	181	142
237	10	10	20	5	901	706
238	10	10	20	10	1801	1411
239	10	10	20	15	2701	2116
240	10	10	20	20	3601	2821
241	10	20	1	1	185	116
242	10	20	1	5	921	576
243	10	20	1	10	1841	1151
244	10	20	1	15	2761	1726
245	10	20	1	20	3681	2301
246	10	20	5	1	201	132
247	10	20	5	5	1001	656
248	10	20	5	10	2001	1311
249	10	20	5	15	3001	1966
250	10	20	5	20	4001	2621
251	10	20	10	1	221	152
252	10	20	10	5	1101	756
253	10	20	10	10	2201	1511
254	10	20	10	15	3301	2266
255	10	20	10	20	4401	3021
256	10	20	20	1	261	192
257	10	20	20	5	1301	956
258	10	20	20	10	2601	1911
259	10	20	20	15	3901	2866

260	10	20	20	20	5201	3821
261	10	50	1	1	425	266
262	10	50	1	5	2121	1326
263	10	50	1	10	4241	2651
264	10	50	1	15	6361	3976
265	10	50	1	20	8481	5301
266	10	50	5	1	441	282
267	10	50	5	5	2201	1406
268	10	50	5	10	4401	2811
269	10	50	5	15	6601	4216
270	10	50	5	20	8801	5621
271	10	50	10	1	461	302
272	10	50	10	5	2301	1506
273	10	50	10	10	4601	3011
274	10	50	10	15	6901	4516
275	10	50	10	20	9201	6021
276	10	50	20	1	501	342
277	10	50	20	5	2501	1706
278	10	50	20	10	5001	3411
279	10	50	20	15	7501	5116
280	10	50	20	20	10001	6821
281	10	100	1	1	825	516
282	10	100	1	5	4121	2576
283	10	100	1	10	8241	5151
284	10	100	1	15	12361	7726
285	10	100	1	20	16481	10301
286	10	100	5	1	841	532
287	10	100	5	5	4201	2656
288	10	100	5	10	8401	5311
289	10	100	5	15	12601	7966
290	10	100	5	20	16801	10621
291	10	100	10	1	861	552
292	10	100	10	5	4301	2756
293	10	100	10	10	8601	5511
294	10	100	10	15	12901	8266
295	10	100	10	20	17201	11021
296	10	100	20	1	901	592
297	10	100	20	5	4501	2956
298	10	100	20	10	9001	5911
299	10	100	20	15	13501	8866
300	10	100	20	20	18001	11821
301	20	5	1	1	85	51
302	20	5	1	5	421	251
303	20	5	1	10	841	501
304	20	5	1	15	1261	751
305	20	5	1	20	1681	1001
306	20	5	5	1	101	67
307	20	5	5	5	501	331
308	20	5	5	10	1001	661
309	20	5	5	15	1501	991
310	20	5	5	20	2001	1321
311	20	5	10	1	121	87

312	20	5	10	5	601	431
313	20	5	10	10	1201	861
314	20	5	10	15	1801	1291
315	20	5	10	20	2401	1721
316	20	5	20	1	161	127
317	20	5	20	5	801	631
318	20	5	20	10	1601	1261
319	20	5	20	15	2401	1891
320	20	5	20	20	3201	2521
321	20	10	1	1	125	76
322	20	10	1	5	621	376
323	20	10	1	10	1241	751
324	20	10	1	15	1861	1126
325	20	10	1	20	2481	1501
326	20	10	5	1	141	92
327	20	10	5	5	701	456
328	20	10	5	10	1401	911
329	20	10	5	15	2101	1366
330	20	10	5	20	2801	1821
331	20	10	10	1	161	112
332	20	10	10	5	801	556
333	20	10	10	10	1601	1111
334	20	10	10	15	2401	1666
335	20	10	10	20	3201	2221
336	20	10	20	1	201	152
337	20	10	20	5	1001	756
338	20	10	20	10	2001	1511
339	20	10	20	15	3001	2266
340	20	10	20	20	4001	3021
341	20	20	1	1	205	126
342	20	20	1	5	1021	626
343	20	20	1	10	2041	1251
344	20	20	1	15	3061	1876
345	20	20	1	20	4081	2501
346	20	20	5	1	221	142
347	20	20	5	5	1101	706
348	20	20	5	10	2201	1411
349	20	20	5	15	3301	2116
350	20	20	5	20	4401	2821
351	20	20	10	1	241	162
352	20	20	10	5	1201	806
353	20	20	10	10	2401	1611
354	20	20	10	15	3601	2416
355	20	20	10	20	4801	3221
356	20	20	20	1	281	202
357	20	20	20	5	1401	1006
358	20	20	20	10	2801	2011

359	20	20	20	15	4201	3016
360	20	20	20	20	5601	4021
361	20	50	1	1	445	276
362	20	50	1	5	2221	1376
363	20	50	1	10	4441	2751
364	20	50	1	15	6661	4126
365	20	50	1	20	8881	5501
366	20	50	5	1	461	292
367	20	50	5	5	2301	1456
368	20	50	5	10	4601	2911
369	20	50	5	15	6901	4366
370	20	50	5	20	9201	5821
371	20	50	10	1	481	312
372	20	50	10	5	2401	1556
373	20	50	10	10	4801	3111
374	20	50	10	15	7201	4666
375	20	50	10	20	9601	6221
376	20	50	20	1	521	352
377	20	50	20	5	2601	1756
378	20	50	20	10	5201	3511
379	20	50	20	15	7801	5266
380	20	50	20	20	10401	7021
381	20	100	1	1	845	526
382	20	100	1	5	4221	2626
383	20	100	1	10	8441	5251
384	20	100	1	15	12661	7876
385	20	100	1	20	16881	10501
386	20	100	5	1	861	542
387	20	100	5	5	4301	2706
388	20	100	5	10	8601	5411
389	20	100	5	15	12901	8116
390	20	100	5	20	17201	10821
391	20	100	10	1	881	562
392	20	100	10	5	4401	2806
393	20	100	10	10	8801	5611
394	20	100	10	15	13201	8416
395	20	100	10	20	17601	11221
396	20	100	20	1	921	602
397	20	100	20	5	4601	3006
398	20	100	20	10	9201	6011
399	20	100	20	15	13801	9016
400	20	100	20	20	18401	12021