

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENİŞLETİLMİŞ BİR MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI MODELİ  
VE UYGULAMASI: TÜRKİYE KUYUMCULUK SEKTÖRÜ**



**DOKTORA TEZİ**

**Erhan YAZICI**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2016**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENİŞLETİLMİŞ BİR MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI MODELİ  
VE UYGULAMASI: TÜRKİYE KUYUMCULUK SEKTÖRÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Erhan YAZICI  
(507042119)**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat BASKAK**

**Eş Danışman: Prof. Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN**

**HAZİRAN 2016**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507042119 numaralı Doktora Öğrencisi Erhan YAZICI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GENİŞLETİLMİŞ BİR MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI MODELİ VE UYGULAMASI: TÜRKİYE KUYUMCULUK SEKTÖRÜ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Murat BASKAK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman :** **Prof. Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN** .....  
Galatasaray Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ** .....  
Maltepe Üniversitesi

**Prof. Dr. Necati ARAS** .....  
Boğaziçi Üniversitesi

**Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Orhan FEYZİOĞLU** .....  
Galatasaray Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **03 Haziran 2016**  
**Savunma Tarihi** : **28 Haziran 2016**



## ÖNSÖZ

Üretim plânlama içerisinde Malzeme Gereksinim Plânlaması (MRP) yaklaşımı her ne kadar uzun yıllardır üzerinde çalışılan ve etkin olarak kullanılan bir yöntem olmayı sürdürüyor olsa da, kuyumculuk gibi yoğun bir geri dönüşüm ve yeniden üretim faaliyeti içeren bir sektörde etkin kullanımı sözkonusu değildir. Her ne kadar tersine MRP gibi bu ters yönlü hareketleri dikkate alan yaklaşımlar sunulmuşsa da, bu yaklaşımlar yalnızca tersine bir işleyişin plânlanmasını içermektedir. Halbuki kuyumculuk gibi hem ileri hem de ters yönlü malzeme hareketleri ve üretim süreçleri içeren bir sektör için gerekli yaklaşım, geleneksel üretim plânlama içinde bu tersine malzeme hareketlerinin ve üretim süreçlerinin bütünleşik olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu tez çalışması ile, yukarıda ifâde edilen probleme genişletilmiş bir MRP yaklaşımı ile, matematiksel modelleme ve bulanık yöntemler kullanılarak çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Önerilen model ile, hem ileri hem de ters yönlü malzeme hareketleri ve süreçlerini eşzamanlı olarak dikkate alan bir MRP yaklaşımı sunulmuştur.

Yapılan bu çalışma, hiç kuşkusuz uzun bir süreçte ve çok değerli insanların katkıları, çabaları, destekleri ve özverileri ile ortaya çıkmıştır.

Öncelikle doktora eğitimim süresince, yüksek lisans ve lisans eğitimimde de olduğu gibi bana her zaman destek olan Doç.Dr. Murat BASKAK hocama, konu hakkındaki uzmanlığı ile çalışmaya yaptığı katkılardan ve güler yüzü ile her zaman destek verici nitelikteki yaklaşımlarından dolayı kalpten bir teşekkürü borç bilirim.

Prof.Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN hocama, bu çalışmanın başından beri yaptığı ufuk açıcı yönlendirmeleri, yol göstermeleri, değerli zamanını ayırarak yaptığım çalışmalar üzerinde tekrar tekrar yaptığı incelemeler ile çalışmaya yaptığı vazgeçilmez katkıları ve tüm bu süreçte göstermiş olduğu nazik yaklaşımlarından dolayı gerçek bir teşekkürü vicdanımın en derinlerinden sunmak isterim.

Bu süreçte tez izleme jürimde yer alan ve beni sabırla dinleyerek değerli katkılarını esirgemeyen, konu hakkındaki uzmanlığı ile zamanını ayıran Prof.Dr. Mehmet TANYAŞ hocama, özellikle oluşturulan matematiksel modellemeyi sabırla inceleyerek yol gösteren Prof.Dr. Necati ARAS hocama ve çalışmanın yön almasında beni dinleyerek değerli önerilerde bulunan Doç.Dr. Gülgün KAYAKUTLU hocama ayrı ayrı teşekkürlerimi bildirmek isterim.

Çalışmaya olan katkıları ve bu süreçteki nazik yaklaşımları ve güler yüzleri ile desteklerini esirgemeyen hocalarımla yanında, özel destekleri ve özverileri ile üzerimde hakları olan değerli insanları da bu çalışma ile birlikte anmam gerekir. Öncelikle lisans eğitimim sonrası çalışma yaşamına atıldığım ilk günden beri birlikte çalıştığımız ve sonrasında da iş ortaklığı ile yaşamımızı sürdürdüğümüz ve her türlü sıkıntıya katlanan ve kafa kafaya verip birlikte yol aldığımız, kafadaşım diyebileceğim özel arkadaşım Emrah İŞÇİGİL'e candan bir teşekkür ile minnetimi ifâde etmek isterim.

Geçen bu uzun süreçte, daha doğduğum ilk andan beri yanımda olan ve benim için her zaman dualar eden, kendisi için kullanabileceğim her türlü güzel sıfatın yetersiz kalacağı, benden öte ben olan sevgili anneme kalbimin tüm güzelliklerini sunmak isterim. Çocukluğumdan beri yanımda olan, güzel ablam Pınar'a, hem akademik anlamda deneyimi ile, hem de sürekli beni daha çok çalışmaya iten yaklaşımları ve

destekleri ile bu çalışmanın nihayete ermesindeki katkılarından dolayı sunmak isterim. Yine bu çalışmaya yoğunlaşmamda sürekli telkinleri olan güzel ağabeyim Aşkın'a gönlümden sıcak teşekkürlerimi ve minnetlerimi iletmek isterim.

Bu çalışmanın yapılması süresince, yaşamımı paylaştığım ve her türlü zorlukta yanımda olup bana destek olan güzel emanetim eşim Nuray'a, afacanlıkları ile yaşamıma güzellik katan, bana rahatlık veren oğlum Talha'ya ve gelmesini dört gözle beklediğimiz yeni yavrumuza en tatlı bir tebessüm ile kalbimin her türlü güzelliklerini sunmak isterim.

Bu çalışma süresince beni destekleyen daha birçok insana müteşekkir olduğumu ifade edip, bu çalışmanın hazırlanma ve araştırma sürecinin bana yaşattığı güzellikler ve bana kattığı değerlerin yanı sıra, bilimsel yazına da değerli bir katkı olarak kalmasını dilerim.

Haziran 2016

Erhan YAZICI  
( Endüstri Mühendisi )



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
SEMBOLLER .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Çalışmanın İçeriği .....	3
<b>2. MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI, GERİ DÖNÜŞÜM VE YENİDEN ÜRETİM.....</b>	<b>7</b>
2.1 MRP ve Matematiksel modelleme Konusundaki Genel Çalışmalar.....	9
2.2 Kuyumculuk ve Benzer Sektörlerdeki Çalışmalar .....	15
2.3 Yeniden Üretimi ve Geri Dönüşümü İçeren Üretim Plânlama .....	22
2.3.1 Yeniden Üretim Konulu Çalışmalar .....	22
2.3.1.1 Üretim/yeniden üretim ortamında toplu üretim plânlama ve ana üretim çizelgeleme .....	28
2.3.1.2 Üretim/yeniden üretim ortamında MRP çalışmaları .....	30
2.3.1.3 Üretim/yeniden üretim ortamında stok politikası ve parti büyüklüğü belirleme çalışmaları .....	32
2.3.2 Geri dönüşüm ve/veya yeniden üretim ortamında MRP çalışmaları .....	37
2.3.2.1 Yeşil MRP .....	39
2.3.2.2 Tersine MRP ve geri dönüşüm.....	40
2.3.2.3 Genişletilmiş MRP yaklaşımı .....	46
2.3.2.4 Yeniden üretim ve geri dönüşüm ortamında çizelgeleme ve stok politikası çalışmaları .....	48
<b>3. MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI VE BELİRSİZLİK .....</b>	<b>51</b>
3.1 Tedârik Zinciri Yönetimi, Belirsizlikler ve Yöntemler.....	51
3.1.1 Tedârik zinciri odaklı genel çalışmalar .....	54
3.1.2 Satış ve dağıtım odaklı çalışmalar .....	57
3.1.3 Üretim odaklı çalışmalar .....	60
3.1.4 Tedârik odaklı çalışmalar .....	63
3.1.5 Genel yazın değerlendirmesi .....	65
3.2 Üretim Plânlama ve Belirsizlik .....	70
3.2.1 Yazın araştırması.....	70
3.2.2 Üretim plânlamada belirsizliği giderme yaklaşımları .....	72
3.2.2.1 Ağırlıklı ortalama durulaştırması .....	72

3.2.2.2	Alfa kestirimler ve parametrik doğrusal programlama yaklaşımı.....	74
3.2.2.3	Doğrusal olmayan modelleme ve algoritma ile çözüm.....	75
3.2.3	MRP ve bulanıklık .....	76
3.2.3.1	Bulanıklığın esnek stok ve zaman politikaları ile giderildiği MRP ...	76
3.2.3.2	Alfa kestirimler ve parametrik doğrusal programlama ile MRP / tip-1 belirsizlik .....	79
3.2.3.3	Alfa kestirimler ve parametrik doğrusal programlama ile MRP / tip-2 belirsizlik .....	82
3.2.4	Tersine hareketler ve bulanıklık .....	85
3.2.4.1	Tersine MRP .....	85
3.2.4.2	Kapalı döngü tedârik zinciri ve üretim plânlama .....	85
<b>4.</b>	<b>ÖNERİLEN GENİŞLETİLMİŞ MRP MODELİ.....</b>	<b>87</b>
4.1	Problemin Tanımlanması .....	87
4.1.1	Problemin konusu.....	87
4.1.2	Kuyumculuk üretimi .....	87
4.1.3	Problemin ayrıntıları ve kabuller.....	91
4.2	Problemin Modellenmesi .....	93
4.2.1	Modelin terimleri.....	96
4.2.2	Amaç fonksiyonu .....	99
4.2.3	Modelin kısıtları .....	101
4.3	Doğrusal olmayan parçalı denklemlerin doğrusallaştırılması .....	105
4.4	Önerilen Bulanık Genişletilmiş MRP Modeli .....	109
4.4.1	Problemin Tanımlanması .....	109
4.4.2	Tip-1 Bulanık Kümeler ile Modelleme ve Çözüm .....	110
4.4.3	Tip-2 Bulanık Aralıklar ile Modelleme ve Çözüm .....	112
<b>5.</b>	<b>ÖNERİLEN MODELİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI .....</b>	<b>117</b>
5.1	Uygulama Yöntemi .....	117
5.2	Vaka Analizi Çalışması .....	119
5.3	Belirli Model İçin Sonuçlar .....	122
5.3.1	Doğrusal olmayan belirli model çözümü .....	122
5.3.2	Doğrusal belirli model çözümü .....	123
5.3.2.1	Ürünlere ilişkin örnek sonuçlar .....	124
5.3.2.2	Hammaddeye ilişkin örnek sonuçlar .....	126
5.3.3	Duyarlılık analizi.....	126
5.3.4	Çözüm etkinliği .....	129
5.3.5	Yeniden üretim, yeniden kullanım ve geri dönüşüm .....	130
5.4	Bulanık Model İçin Sonuçlar .....	132
5.4.1	Geri dönüşüm belirsizliği.....	132
5.4.2	Tip-1 ve tip-2 ile çözümler.....	132
5.4.3	Durulaştırma ve diğer örnek belirsizlikler .....	136
<b>6.</b>	<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>141</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>151</b>
	<b>EKLER.....</b>	<b>163</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>181</b>

## KISALTMALAR

<b>AHP</b>	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
<b>AIMMS</b>	: Uzman Etkileşimli Çok Boyutlu Modelleme Sistemi (Advanced Interactive Multidimensional Modeling System)
<b>B2B</b>	: Kurumlar Arası Elektronik Ticaret (Business to Business)
<b>BAM</b>	: Darboğaz Atama Yöntemi (Bottleneck Assignment Method)
<b>BOM</b>	: Ürün Ağacı (Bill of Materials)
<b>BOW</b>	: Atık Ürün Ağacı (Bill of Waste)
<b>CV</b>	: Kritik Değer (Critical Value)
<b>ERM</b>	: Çevreye Duyarlı Üretim (Environmentally Responsible Manufacturing)
<b>ERP</b>	: Kurumsal Kaynak Plânlama (Enterprise Resource Planning)
<b>FCM</b>	: Bulanık C-Ortalamaları (Fuzzy C-Means)
<b>FMP</b>	: Bulanık Matematiksel programlama (Fuzzy Mathematical Programming)
<b>F-RMRP</b>	: Bulanık Tersine MRP (Fuzzy RMRP)
<b>HEU</b>	: Sezgisel Algoritmalar (Heuristics)
<b>HYB</b>	: Melez Modeller (Hybrid Models)
<b>ILP</b>	: Tamsayı Doğrusal Programlama (Integer Linear Programming)
<b>INLP</b>	: Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama (Integer Non-Linear Programming)
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standartlar Enstitüsü (International Organization for Standardization)
<b>JIT</b>	: Tam Zamanında Üretim (Just in Time)
<b>KDTZ</b>	: Kapalı Döngü Tedârik Zinciri
<b>LP</b>	: Doğrusal Programlama (Linear Programming)
<b>MFA</b>	: Etmenlerin Karışımı Analizi (Mixtures of Factor Analyzers)
<b>MILP</b>	: Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming)
<b>MMRP</b>	: Değiştirilmiş MRP (Modified MRP)
<b>MOILP</b>	: Çok Amaçlı Tamsayı Doğrusal Programlama (Multi-Objective Integer Linear Programming)
<b>MOLP</b>	: Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (Integer Non-Linear Programming)
<b>MONLIP</b>	: Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Tamsayı Programlama (Multi Objective Non-Linear Integer Programming)
<b>MONLP</b>	: Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama (Multi-Objective Non Linear Programming)
<b>MPS</b>	: Ana Üretim Çizelgeleme (Master Production Scheduling)
<b>MRP</b>	: Malzeme Gereksinim Plânlaması (Material Requirements Planning)
<b>MRPDet</b>	: Belirli Malzeme Gereksinim Plânlaması (Deterministic Material Requirements Planning)
<b>MRP-II</b>	: Üretim Kaynaklarının Plânlaması (Manufacturing Resource Planning)

<b>MRP-ILP</b>	: Karışık Tamsayılı Programlama ile Malzeme Gereksinim Plânlama (Material Requirements Planning with Integrated Linear Programming)
<b>NLP</b>	: Doğrusal Olmayan Programlama (Non-Linear Programming)
<b>OECD</b>	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
<b>OPT</b>	: Optimize Üretim Teknolojisi (Optimized Production Technology)
<b>POS</b>	: Satış Noktası (Point of Sale)
<b>QR</b>	: Hızlı Yanıt Sistemleri (Quick Response Systems)
<b>RMRP</b>	: Tersine MRP (Reverse MRP)
<b>SBM</b>	: Çizelge Temelinde Üretim (Shedule Based Manufacturing)
<b>SP</b>	: Stokastik Programlama (Stochastic Programming)
<b>SWOT</b>	: Güçlü, Zayıf, Fırsat ve Tehdit (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)
<b>TFN</b>	: Üçgen Bulanık Sayı (Triangular Fuzzy Number)
<b>TFV</b>	: Üçgen Bulanık Aralık (Triangular Fuzzy Interval)
<b>TOC</b>	: Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints)
<b>TOPSIS</b>	: İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Seçimlerin Sıralanması Tekniği (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)
<b>TZ</b>	: Tedârik Zinciri
<b>TZÜ</b>	: Tam Zamanında Üretim
<b>TZY</b>	: Tedârik Zinciri Yönetimi
<b>ÜPK</b>	: Üretim Plânlama ve Kontrol

## SEMBOLLER

~ : Üzerine konulan ifadenin bulanık sayı veya bulanık küme olduğunu gösterir (tilde işareti).





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Yeniden üretim içeren üretim plânlama yazın taraması. ....	7
Çizelge 2.2 : Çalışmadan uyarlanmış MRP ve seçenek yöntemlerin tasarım karşılaştırılması. ....	11
Çizelge 2.3 : Çalışmadan uyarlanmış MRP ve seçenek yöntemlerin kullanım karşılaştırılması. ....	11
Çizelge 2.4 : Çalışmadan uyarlanmış modelleme yaklaşımları sınıflandırılması. ....	14
Çizelge 2.5 : Çalışmadan uyarlanmış üretim plânlama ve kontrolün karmaşık karakteristikleri. ....	24
Çizelge 2.6 : Çalışmadan uyarlanmış yeniden-üretim karmaşıklığının analizi ve sınıflandırılması. ....	27
Çizelge 2.7 : Çalışmadan uyarlanmış çevresel atıkların analizi. ....	40
Çizelge 2.8 : Çalışmaya ait modelde kullanılan terimler. ....	44
Çizelge 2.9 : Çalışmadan uyarlanmış, bileşen B için genişletilmiş MRP kaydı. ....	45
Çizelge 4.1 : Model terimleri: Kümeler. ....	97
Çizelge 4.2 : Model terimleri: Parametreler. ....	97
Çizelge 4.3 : Model terimleri: Karar değişkenleri. ....	98
Çizelge 4.4 : Model terimleri: Başlangıç değerleri. ....	99
Çizelge 4.5 : Model terimleri: Doğrusallaştırma parametre ve karar değişkenleri. ....	106
Çizelge 5.1 : Doğrusal olmayan modelin farklı çözücülerde çözüm sonuçları. ....	122
Çizelge 5.2 : Doğrusal olmayan modelin çoklu başlangıç ile farklı çözücülerde çözüm sonuçları. ....	123
Çizelge 5.3 : Doğrusal olmayan modelin farklı çözücülerde çözüm sonuçları. ....	124
Çizelge 5.4 : Duyarlılık analizi yapılan parametreler ve toplam mâliyete etkileri. ....	128
Çizelge 5.5 : Uygulamanın farklı plânlama dönemleri ve çözücüler için etkinliği. ....	129
Çizelge 5.6 : Uygulamanın 4 haftalık plânlama dönemine ait hammadde altın ile ilişkili olan değişkenlere ait sonuçlar. ....	131
Çizelge 5.7 : Toplam üretim mâliyetleri; belirli, bulanık tip-1 ve tip-2 model çözümleri için. ....	134
Çizelge 5.8 : Tahsilat belirsizliğinin üçgen bulanık sayılar ile tanımlanması için örnek vaka değerleri. ....	139
Çizelge A.1 : Ürünlere ilişkin katsayılar ve başlangıç değerleri. ....	164
Çizelge A.2 : Ürünlere ilişkin talep ve iade değerleri. ....	165
Çizelge A.3 : Hammaddelere (altın) ilişkin katsayılar ve başlangıç değerleri. ....	166
Çizelge A.4 : Hammadde (altın) ve ürünlere ilişkin veriler. ....	166
Çizelge A.5 : Hammaddelere (altın) ilişkin tahsilat verileri $Tah_{hd}$ . ....	167
Çizelge A.6 : İstasyonlara ilişkin mâliyet katsayıları. ....	168
Çizelge A.7 : İstasyonda işlemek için ürünlere ilişkin gerekli kapasite miktarı $Dk_{uk}$ . ....	168
Çizelge A.8 : İstasyona ilişkin kapasite verileri $Kdk_{kd}$ . ....	169





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Çalışmadan uyarlanan, MRP bilgi akışları.....	10
Şekil 2.2 : Çalışmadan uyarlanan kuyumculuktaki üretim aşamaları.....	20
Şekil 2.3 : Çalışmadan uyarlanan, geri dönüştürülebilir ürün ortamı.....	23
Şekil 2.4 : Çalışmadan uyarlanan, yeniden üretim işlemleri ve bilgi akışları.....	25
Şekil 2.5 : Çalışmadan uyarlanan, örnek süreç yapısı.....	31
Şekil 2.6 : Çalışmadan uyarlanan, malzeme akışları.....	33
Şekil 2.7 : Çalışmadan uyarlanan, ürün geri kazanım sistemleri şeması.....	38
Şekil 2.8 : Çalışmadan uyarlanan, geri dönüşümün mâliyet, etkinlik ve talep üzerine etkisi.....	39
Şekil 2.9 : Çalışmadan uyarlanan, ürün ayrıştırma ağ grafiği.....	41
Şekil 2.10 : Çalışmadan uyarlanan, ürün ayrıştırma ağ grafiği.....	42
Şekil 2.11 : Çalışmadan uyarlanan, ürün birleştirme ağacı.....	43
Şekil 2.12 : Çalışmadan uyarlanan genişletilmiş MRP yaklaşımdaki tüm malzeme hareketleri.....	47
Şekil 2.13 : Çalışmadan uyarlanan ürün ağacını içeren olası tüm malzeme akışları.....	47
Şekil 2.14 : Çalışmadan uyarlanan, geri dönüştürülebilir ürün ortamı.....	48
Şekil 2.15 : Çalışmadan uyarlanan, dikkate alınan melez üretim/yeniden-üretim sistemi.....	50
Şekil 3.1 : Çalışmadan uyarlanan tedârik zinciri belirsizlik kaynakları.....	53
Şekil 3.2 : Genişletilmiş tedârik zinciri belirsizlik kaynakları.....	53
Şekil 3.3 : Belirsizliklerin yayınlar içerisindeki dağılımları.....	66
Şekil 3.4 : Kullanılan veri sağlama yaklaşımı.....	68
Şekil 3.5 : Kullanılan ana yöntem.....	69
Şekil 3.6 : Çalışmadan uyarlanmış ürün stoğunda belirleyici etmenler.....	78
Şekil 3.7 : Örnek tip-2 fuzzy aralık ayak izi grafiği.....	83
Şekil 4.1 : Kuyumculuk üretim süreci şeması.....	89
Şekil 4.2 : Kuyumculuk üretim süreci ve malzeme akışları.....	94
Şekil 5.1 : Genişletilmiş MRP modeli uygulanmasında izlenen yöntem.....	118
Şekil 5.2 : AIMMS örnek model ekranı.....	120
Şekil 5.3 : Ürünlere ilişkin plânlama sonuçları – AIMMS.....	125
Şekil 5.4 : Hammaddelere (altın) ilişkin plânlama sonuçları – AIMMS.....	127
Şekil 5.5 : Artan plânlama dönemlerinde farklı çözücüler için çözüm etkinliği.....	130
Şekil 5.6 : Geri dönüşüm kayıp mâliyet oranı $gdkf_h$ nin TFN gösterimi.....	133
Şekil 5.7 : Tip-2 üçgen bulanık aralık gösterimi; geri dönüşüm kayıp mâliyet oranı $gdkf_h$ nin izdüşüm grafiği.....	135
Şekil 5.8 : Toplam üretim mâliyetinin olabilirlik düzeyi $\alpha$ 'ya göre bulanık ve belirli model çözümleri arasında kıyaslanması.....	136
Şekil 5.9 : İki değişkenli bulanık AIMMS çözüm sonucu.....	137
Şekil 5.10 : Bulanık farklı değişken adedine göre örnek bulanık AIMMS çözümü adımları.....	139



## GENİŞLETİLMİŞ BİR MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI MODELİ VE UYGULAMASI: TÜRKİYE KUYUMCULUK SEKTÖRÜ

### ÖZET

Kuyumculuk sektörü, üretimde hammadde olarak değerli metalleri kullanmasından dolayı kendine özgü farklılıklar içeren bir sektördür. Bu değerli hammadde hareketleri, bütünlük olarak bir kapalı döngü tedârik zinciri içerisinde olmaktadır. Malzemelerin ve özellikle değerli hammaddelerin hareketleri tedârikçiden, üretime ve üretimden müşteriye kadar etkin bir şekilde yönetilmelidir. Bu süreç içerisinde plânlamanın merkezinde olan ve gereksinim kaynağını oluşturan üretimin plânlaması, değerli metallerin kullanılmasından dolayı incelenmesi gereken, farklı gereksinimler içeren bir konudur.

Geleneksel Malzeme Gereksinim Plânlama (MRP) yalnızca ileri yönlü hareketleri dikkate alarak, gereksinimlere uygun şekilde üretim siparişlerini ve ilişkili gereksinimleri ortaya koyar. Bununla birlikte kuyumculuk üretimi yalnızca ileri yönlü malzeme hareketlerini içermez. Kapalı döngü tedârik zinciri içerisinde malzemelerin hareketleri ileri yönlü olarak tedârikçiden üretime ve üretimden müşteriye kadar etkin bir şekilde yönetilmesi gerektiği gibi, aynı şekilde tersine yönlü olarak müşteriden üretime ve üretimden tedârikçiye etkin bir şekilde yönetilmelidir. Kuyumculuk sektörü ileri yönlü geleneksel malzeme hareketlerine ek olarak, geri dönüşüm ve yeniden üretim süreçlerinden dolayı ters yönlü malzeme hareketlerini içerir.

Geleneksel MRP, yalnızca ileri yönlü malzeme hareketleri ile ilgilenirken, yalnızca ters yönlü hareketlerin plânlaması ile ilgilenen “Tersine MRP” olarak adlandırılan bir plânlama yaklaşımı da vardır. Tersine MRP, ürünlerin parçalarına ayrıştırılmasının malzeme gereksinim plânlaması ile ilgilenir. Bununla birlikte hem ileri hem de ters yönlü hareketleri dikkate alan başka bir yaklaşıma gereksinim vardır. Bu yaklaşım “Genişletilmiş MRP” olarak adlandırılır. Genişletilmiş MRP, hem ileri yönlü hem de ters yönlü hareketleri MRP içerisinde eşzamanlı olarak dikkate alır. Bu, kuyumculukta MRP için gereksinim duyulan bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada öncelikle, Türkiye’deki kuyumculuk sektörü dikkate alınarak geleneksel MRP modeli, çift yönlü (ileri ve ters yönlü) üretim içi hareketler ile birlikte çift yönlü tedârik zinciri hareketleri gözönüne alınarak genişletilmiştir. Çift yönlü üretim içi hareketler olarak şunlar dikkate alınmıştır: Hurda, fire geri dönüşümleri ve iade geri dönüşümleri. Çift yönlü tedârik zinciri hareketleri olarak ise iade, tahsilat ve iade yeniden işlemleri dikkate alınmıştır.

Kuyumculuk sektörü, çift yönlü hareketler içeren bu kapalı döngü tedârik zinciri yapısından dolayı ayrıca yönetilmesi gereken belirsizlikleri içerir. Bundan dolayı çalışmanın devamında bu belirsizlikler de dikkate alınarak; sunulan genişletilmiş MRP modeli daha etkin bir tedârik zinciri yönetimi için belirsizlikleri de içerecek şekilde çalışma geliştirilmiştir.

Öncelikle çalışma ile ilgili yazın taramaları yapılmıştır. Yapılan yazın taramasını üç başlık altında gruplandırmak doğru olacaktır. Bunlardan ilki MRP, geri dönüşüm ve

yeniden üretim ilgili yazın taramasıdır. Bu yazın taraması ile geri dönüşüm ve yeniden üretim içeren üretim ortamlarında üretim plânlama ve MRP problemlerine nasıl çözümler getirildiği araştırılmıştır. MRP ve belirsizlikler başlığı altındaki ikinci bir yazın taraması ile üretim ortamını etkileyen belirsizliklerin neler olduğu ve nasıl yönetildikleri incelenmiştir. Bu araştırmadan yola çıkılarak çalışmada belirsizliklerin nasıl yönetilebileceği ile ilgili yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Son olarak ise belirsizlik üzerinde yapılan çalışmalardan yola çıkılarak, çözüm yöntemi olarak en çok yeğlenen bulanık modelleme saptaması ile bulanıklığın üretim plânlamada kullanımı üzerine yayınlar araştırılmıştır. Bu konuların araştırılması, yapılan bu çalışmaya ışık tutucu nitelikte etkide bulunmuştur. Çalışma, bu yazın araştırmalarının ışığında şekillendirilmiştir.

Çalışmanın devamında ise önerilen genişletilmiş MRP modeli verilmiştir. Kuyumculuk üretim süreci, problemin tanımlanması, modellenmesi bu kısımda yapılmıştır. Öncelikle model, tanımı itibari ile “doğrusal olmayan” olarak oluşmuştur. Sonrasında parçalı doğrusallaştırma ile model doğrusal biçime getirilmiştir. Devamında modele belirsizlikler de eklenerek modelin bulanık biçimleri elde edilmiştir.

Önerilen model temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. İlk aşamada yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanımları içeren kapalı döngü tedârik zincirlerindeki üretim/yeniden-üretim ortamları için genişletilmiş MRP modelinin geliştirilmesi yapılmıştır. Bu ana konu ile birlikte, özellikle yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanım ile öne çıkan belirsizliklerin de dikkate alındığı bu çalışmada, ikinci olarak belirsizliklerin bu malzeme gereksinim plânlama içerisindeki rolü ele alınmıştır. Böylece önerilen modelin daha etkin bir şekilde gerçek yaşam uygulamalarına katılabilirliğinin sağlanması ve karar vericilere daha etkin bir plânlama ortamının sunulması amaçlanmıştır.

İlk aşamada, sunulan MRP modelinin geliştirilmesinde doğrusal olmayan ve doğrusal olan karışık tamsayı matematiksel modellemeler kullanılmıştır. Modellemeler AIMMS yazılımı kullanılarak yapılmıştır. İkinci aşamada ise temel olarak bulanık mantık ve bâzı durulaştırma yöntemleri kullanılarak model, içerisindeki belirsizliklerin yönetilmesi için, belirsizlikleri içerecek şekilde geliştirilmiştir. Modele belirsizliklerin eklenmesi, genel olarak modeli doğrusal olmayan bir duruma dönüştürmüştür. Temel olarak bulanık modelin çözümü için alfa kestirimler ile parametrik doğrusal programlama kullanılmıştır.

Her iki aşamada da model çözümleri gerçek vaka üzerinde yapılarak, önerilen modelin uygulanabilirliği sunulmuştur. Değişik çözümler ve plânlama dönemleri için çözümleme yapılarak önerilen belirli modelin hesaplama etkinliği gösterilmiştir. Çözümler üzerinde duyarlılık analizleri ve kıyaslamalar yapılarak gerek belirli durumlar ve gerekse belirsizliklerin dikkate alındığı durumlar için önerilen modele ilişkin çözüm etkinlikleri verilmiştir. Hem doğrusal, hem de doğrusal olmayan modeller için farklı çözümlerde çözümler elde edilmiş, modelin performansı araştırılmıştır. Çözümlere baktığımızda doğrusal olan modelin, olmayana göre daha etkin bir şekilde çözülebildiği görülmüştür.

Çözüm sonuçlarına bakıldığında, üretim ile birlikte hammadde geri dönüşümlerinin plânlama içerisinde olduğu ve hammadde stoklarının geri dönüşümler dikkate alınarak şekillendiği görülmüştür. Aynı zamanda iade gelen ürünlerin yeniden işlenmesi veya dönüştürülmesi işlemi de plânlama içerisinde oluşmuş ve sipariş karşılama veya hammadde oluşumu olarak karşımıza çıkmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada genişletilmiş bir MRP modeli, karışık tamsayı programlama yöntemi kullanılarak Türkiye kuyumculuk sektöründeki bir üretim plânlama problemine; geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretimleri standart üretim plânlamanın yanında dikkate alarak çözüm önerilmiştir. Önerilen model hem ileri hem de geri yönlü kapalı döngü tedârik zinciri hareketlerini süreç, tedârik ve müşteri tarafını eşzamanlı olarak gözönünde tutarak dikkate almaktadır. Tip-1 ve tip-2 bulanıklık tanımlamaları dikkate alınarak, geri dönüşümden kaynaklı belirsizlik, doğrusal bulanık programlama yöntemi ile dikkate alınarak model geliştirilmiştir. Bunlar, yazına kazandırılan temel katkılardır.

Önerilen model ve bulanık uygulamalar, kuyumculuk üretiminden gerçek bir vaka kullanılarak çözümlenmiştir. Değişik çözümler ve plânlama dönemleri için çözümlenme yapılarak, önerilen belirli modelin hesaplama etkinliği gösterilmiştir. Üretim plânlama çalışmalarının sonuçları, ters yönlü hareketlerin nasıl yönetildiğini göstermiştir. Belirli ve bulanık modellerin çözümleri, değişik kabul düzeyleri için toplam mâliyet değişimleri düzeyinde kıyaslanmıştır. Bulanık yaklaşımın karar vericilere daha iyi bir bakış açısı sunduğu gösterilmiştir. Ana amaç, değerli hammaddenin etkin bir biçimde kullanımını ve üretim plânlamacılar için ana zorluk budur. Önerilen model, üretimin bu ana darboğazının yönetimi için bir çözüm önermiştir. Bu etkin üretim plânlama yaklaşımının, şirket hissedarları ve üretim plânlamacılar için tatmin edici olduğu söylenebilir. Önerilen modelin uygulaması göstermiştir ki, önerilen model hem etkin bir üretim plânlama yaklaşımıdır, hem de hesaplama yükü açısından etkin ve kullanışlıdır.



## **AN EXTENDED MRP APPROACH AND APPLICATION: TURKISH JEWELRY INDUSTRY**

### **SUMMARY**

It is important to manage reverse material flows such as recycling, reusing and remanufacturing in a production environment. This study addresses a production planning problem which involves reusing of scrap and recycling of waste that occur in the various stages of the production process and remanufacturing/recycling of returns in a closed-loop supply chain environment. An extended material requirement planning (MRP) is proposed as a mixed integer linear programming (MILP) model which includes –beside forward- these reverse material flows. The proposed model is developed for the jewelry industry in Turkey, which uses gold which is a precious metal as the primary resource of production. The aim is to manage these reverse material flows as a part of production planning to utilize resources.

In terms of production planning, MRP has a key role which generates outputs such as production orders, capacity requirements, raw and semi material requirements by using customer orders, bill of materials (BOM), routings for capacity requirements as main data and inventory status records as initial planning status. Classical MRP only considers forward material flows. Many papers that include details about the MRP process can be found in the literature. In addition to classical MRP process, there is also another type that handles reverse material flows which is called reverse MRP that takes into account the disassembly of the products as a separate process alone. Additionally, another approach takes both forward and reverse movements into consideration together at production planning which extends MRP approach that is called as “Extended MRP”.

The jewelry industry has a distinctive characteristic due to its use of precious metals as raw materials. Using metals as a raw material is a specific characteristic needed to be analyzed in the view of production planning as precious metals are recyclable and reusable in production. Using precious metals such as gold also has its financial value. Considering the customer and supplier based material movements, jewelry production can be considered as a closed-loop supply chain. The extended MRP approach is capable to give a basic solution to the production planning problem of jewelry industry. But it needs to be expanded and extended to consider the specific production characteristics of jewelry.

The existing research on extended MRP approach uses an input-output model by using matrices to solve the MRP process by basically using only BOM and predefined ratios, periodicity being excluded. The cost is not taken into the consideration for reusing or recycling decisions and there is no cost minimization for recycling, supplying or reusing decisions. There should be a time interval of the scraps collected for economic recycling level. Scrap and loss ratios of production are not so deterministic and have to be managed as an uncertainty. Furthermore, there should be a decision mechanism to remanufacture or recycle a returned product. A financial deduction is registered as gold on the side of the supplier, as gold is used as a currency in financial reports.

Besides, there is a periodicity in production and capacity constraints. These are the motivations of this study to resolve for the jewelry sector of Turkey. It is anticipated that this study may open new perspectives for other researchers, other industries and countries seeking guidance for dealing with their similar problems. When the literature is reviewed, there is no similar research for this type of problem. Moreover, it is not probable to obtaining MRP approach for jewelry.

The main objective of this study is to reach a solution for jewelry production planning problem in Turkey. The production process involves back and forth movements simultaneously. Gold is used as a raw material and financial instrument at the same time. Collections and returns of gold from customers, its purchasing and recycling from suppliers and everything in production activities relate to material movements of gold and have effects on production planning. Cost coefficients are used as ratios of production amount in the unit of gold. These are requirements which seem specific to the Turkish jewelry industry. A mathematical model has been proposed to resolve these problems, which has been observed to be nonlinear due to the description of some production processes. Nonlinear mathematical problems are hard to solve and there is no global optimal solution. Thus, using a linearization technique, this problem is defined as a MILP mathematical model, which is solved to find an optimal solution.

This study's main motivation is the production planning problem encountered by a gold jewelry company in Turkey, which has to manage recycling, reusing and remanufacturing in coordination with the production process. This cost minimization production planning problem contains multiple products, multiple plants and capacity constraints of more than one period production environment, regarding only one bottleneck raw material, gold, and recycling, reusing and remanufacturing of raw material gold and products containing gold as raw material. The problem involves material flows both for in process, and out of process such as supply, demand, return and collection of gold.

For this production planning problem, a MILP MRP model is developed for the gold jewelry industry in Turkey with recycling, reusing and remanufacturing. The proposed model considers reverse material flows both in processes, such as recycling, reusing and remanufacturing, and out of processes, such as supplier based recycling, returns and collections from customers as raw material gold.

Main outputs of the proposed model are the main production schedule consisting of the products to produce and raw material needed; product and raw material stock quantity end of every period; amount of demand met; capacity usages; recycle, scrap and waste quantities or raw material; returned product recycling and remanufacturing quantities; and the raw material supply amount for each period.

The main aims of the model are minimizing the total production cost; planning of scrap and waste recycling; planning return remanufacturing and recycling; planning of raw material supply (mainly gold supply in this model); minimizing demand backlog; minimizing finished product and raw material stock level; effective resources usage; considering scrap, waste and return recycling and collections as raw material gold to minimize supply cost and considering returned product remanufacturing to minimize total production cost.

Constraints of the model are the stock, production and demand balance constraints for the finished product; raw material stock and supply constraints; operational resource capacity constraints and non-negativity, binary and integer subjections for the decision variables.



Relevant literature review about MRP with recycling and remanufacturing and MRP including fuzzy solutions was conducted. Currently, there are a bunch of studies about production planning and MRP in the literature. Literature was surveyed by considering the characteristics of the problem, production planning with recycling, reusing and remanufacturing. The concept of fuzzy production planning is also reviewed due to handling uncertainty of recycling in production planning. When MRP literature with recycling and remanufacturing processed is reviewed, reverse MRP and extended MRP approaches are observed.

Despite all these researches in related areas, there has been no research on MRP with recycling and remanufacturing in the literature, so far. Particularly for jewelry industry, the MRP model has not been researched by including aspects like recycle, remanufacture, supply, collect and returns. In this study, recycling and remanufacturing were studied in a mathematical model for MRP and returned products and work in process materials were considered as recycle resource. Additionally, remanufacturing and recycling decision was included in the proposed model.

In spite of deterministic characteristic of most studies, there are many uncertainties in real cases as a part of production planning process. Adding fuzzy constrains or coefficients to mathematical models generally makes models non-linear. Mostly,  $\alpha$ -cuts fuzzy parametric linear programming approach is utilized to keep mathematical model linear, considering the difficulty of solving nonlinear mathematical problems.

In this study, the presented extended MRP approach was transformed with fuzzy coefficients into a fuzzy extended MRP approach. This study extends the literature by proposing a new approach for extended MRP on a jewelry case from Turkey which includes recycling, reusing and remanufacturing decisions as a part of production planning processes. Additionally, due to the unpredictable nature of these reverse material movements, the proposed approach was also transformed into the fuzzy MRP application to handle uncertainties over this kind of process in production planning, contributing to literature.

In addition to the deterministic model, the proposed approach also transformed the model into a fuzzy MILP model for MRP to handle uncertainties, so that the unpredictable nature of reverse material movements like recycle process efficiency in production planning can be taken into account. The proposed deterministic model certainly defines all aspects of the problem. However, the effectiveness of the adopted recycling process in the proposed model is difficult to predict deterministically. Beside of that uncertainty, also as our literature survey suggests, there exist other uncertainties based on demand, supply, process and environment. The scope of this paper is limited to recycling uncertainty only, because of the high financial value of gold as the raw material in the jewelry industry. Although recycling is not a hundred percent efficient process, the amount of loss remains uncertain.

The proposed MILP approach was modeled non-linearly by definition at first hand. Therefore, there was no optimal solution and the model was difficult to solve. To manage this challenge, binary linearization was used to transform it into a MILP model. In other words, adding fuzzy definitions to the model also could change model to non-linear. To deal with this situation, the proposed MILP was transformed according to linear programming fuzzy solutions. As the fuzzy set approach to handle uncertainty, parametric linear programming was used with  $\alpha$ -cuts and an interactive resolution method with decision maker.

The proposed model developed for the production planning problem was applied on one of Turkey's jewelry manufacturers. This company has a production planning system based on standard MRP. It takes orders from both domestic and foreign customers. Weekly production plans are made on a daily basis, by taking the deadlines of orders received into account. Orders are planned by considering the production cost and production capacity in the plants, since products can be produced in different plants. As the raw material, gold is the main bottleneck in planning and must be used in the most effective manner. In jewelry the planning of the raw material with all aspects is the basis of production planning.

This study proposes an extended MRP model using MILP technique for the production planning problem of jewelry industry in Turkey by regarding recycling, reusing and remanufacturing in addition to standard production planning. The proposed model covers both forward and reverse material flows in a closed-loop jewelry supply chain which considers process, supply and customer side simultaneously. Furthermore, linear fuzzy programming methods are applied taking the unpredictable nature of the recycling process into account with fuzzy type-1 and type-2 uncertainty. These are the main contributions of this paper which extend literature.

The proposed model and fuzzy applications were examined using data from a jewelry company. The computational performance of the proposed deterministic model was presented for different solvers and planning periods. The results for the production planning run indicated how the proposed model handles reverse material flows. Deterministic and fuzzy model solutions were compared in terms of total cost variations for different feasibility degrees. Projections of fuzzy approaches for decision makers were presented. This study demonstrated that the fuzzy approach gave a better perspective to decision makers. The main objective was the efficient utilization of gold, a challenge for production managers, where the model proposed a solution to this main bottleneck of production. This effective production planning approach seems to be satisfying for company shareholders and production planners. Application of the proposed model indicated that this approach was practical and usable both for achieving solutions regarding computational effort and for effective production planning.

## 1. GİRİŞ

Kuyumculuk sektörü, üretimde hammadde olarak değerli metalleri kullanmasından dolayı kendine özgü farklılıklar içeren bir sektördür. Üretim hammaddesi olarak değerli metallerin kullanılması, üretim plânlamada da incelenmesi gereken farklı gereksinimler içeren bir durumdur.

Standart Malzeme Gereksinim Plânlama (MRP); müşteri siparişleri, ürün ağaçları ve kapasite kullanımı için kapasite gereksinimlerini ana veri olarak, stok durumlarını da başlangıç verisi olarak alır. Çıktı olarak üretim siparişleri, kapasite gereksinimleri, hammadde ve yarı ürün gereksinimlerini üretir (Plenert, 1999).

Bununla birlikte kuyumculuk üretimi yalnızca ileri yönlü malzeme hareketlerini içermez. Ters yönlü üretim hareketleri olarak; hurda, fire geri dönüşümleri ve iade geri dönüşümlerini içerir. Ek olarak, kuyumculukta MRP'ye etkisi olan tedârik zinciri ilişkili ters yönlü malzeme hareketleri olarak iade ve tahsilat ile iade yeniden işlemlerini de içerir. Standart MRP yalnızca ileri yönlü malzeme hareketleri ile ilgilenirken, yalnızca ters yönlü hareketlerin plânlanması ile ilgilenen “tersine MRP” olarak adlandırılan bir plânlama yaklaşımı da vardır. Tersine MRP, ürünlerin parçalarına ayrıştırılmasının malzeme gereksinim plânlaması ile ilgilenir (Barba-Gutiérrez ve Adenso-Díaz, 2009). Hem ileri hem de geri yönlü hareketleri dikkate alan Kovačić ve Grubbström (2007; 2011) tarafından geliştirilen diğer bir yaklaşım da “genişletilmiş MRP” olarak adlandırılır. Genişletilmiş MRP, hem ileri yönlü hem de ters yönlü hareketleri eşzamanlı olarak MRP içerisinde dikkate alır. Bu, kuyumculukta MRP için gereksinim duyulan bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada öncelikle, Türkiye'deki kuyumculuk sektörü dikkate alınarak geleneksel MRP modeli, çift yönlü (ileri ve ters yönlü) üretim içi hareketler ile birlikte çift yönlü tedârik zinciri hareketleri gözönüne alınarak genişletilmiştir. Çift yönlü üretim hareketleri olarak şunlar dikkate alınmıştır: Hurda, fire geri dönüşümleri ve iade geri dönüşümleri. Çift yönlü tedârik zinciri hareketleri olarak ise iade ve tahsilat ile iade yeniden işlemleri dikkate alınmıştır.

Kuyumculuk üretimi, içerdiği çift yönlü (ileri ve ters yönlü) üretim hareketleri ile birlikte çift yönlü tedârik zinciri hareketleri ve üretimde yeniden işlemlerinden dolayı kapalı döngü bir tedârik zinciri üretimi olarak tanımlanabilir. Tedârik zinciri; içerisinde birçok organizasyon ve yapının seri bir yapıda bağlı bulunduğu, bununla birlikte malzeme, bilgi, işgücü, hizmet gibi birçok bileşenin içerisinde hareket ettiği organize olmuş büyük ölçekli karmaşık bir yapıdır. Etkin tedârik zinciri yönetimi, organizasyon içinde ve organizasyon çevresinde iç ve dış birçok etkene, değışkene bağlıdır. Bu noktada talepteki, tedârikteki, üretimdeki ve teknolojidaki belirsizlikler, yönetilmesi gereken temel konular olarak karşımıza çıkar (Paulraj ve Chen, 2007). Belirsizlik, tedârik zinciri yönetiminde temel bir etkidir. Kapalı döngü tedârik zinciri yönetiminde öne çıkan belirsizlikler; iade, geri dönüşüm ve yeniden üretim ile ilgili belirsizlikler olarak sayılabilir. Bundan dolayı çalışmanın devamında bu belirsizlikler de dikkate alınarak; sunulan genişletilmiş MRP modeli daha etkin bir tedârik zinciri yönetimi için belirsizlikleri de içerek şekilde geliştirilmiştir.

### **1.1 Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye kuyumculuk sektöründeki üretim plânlama problemine bir çözüm bulmaktır. Bu üretim plânlama problemi, hem ileri hem de ters yönlü hareketler içerir. Kuyumculuk üretiminin temel hammaddesi altındır. Altın madenî, hem bir hammadde olarak kullanılır, hem de malî bir araçtır. Üretim dışında, müşteriden altın iadeleri ve altın tahsilatlar, altının tedârikçiden satın alınması veya tedârikçide geri dönüştürülmesi, üretim içerisinde ise altın ile ilişkili tüm malzeme hareketleri, üretim plânlaması üzerinde etkilidir. Tüm mâliyet hesaplamalarında kullanılan mâliyet katsayıları da, ilgili üretilen miktarın bir oranı olarak tanımlanıp hesaplanmaktadır. Bu gereksinimler, Türkiye kuyumculuk sektörüne özeldir. Bu gereksinimler dikkate alınarak bir matematiksel model önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında önerilecek olan MRP matematiksel modeli, aslında bir ana üretim çizelgeleme (MPS) ve standart MRP'nin birlikte modellenmesidir (Pochet ve Wolsey, 2006). Bu modelleme, geleneksel ileri yönlü üretim hareketlerinin yanında ters yönlü hareketleri de dikkate alarak genişletilmiştir.

Kuyumculuk üretimi, içerdiği çift yönlü (ileri ve ters yönlü) üretim hareketlerinden dolayı iade, geri dönüşüm ve yeniden üretim gibi belirsizlikleri içerir. Varsayımlar ve

kestirimler içeren çalışmaların yanında, gerçek yaşam için daha uygun çözüm önerilerini, olabilecek problemleri daha iyi modellememize yardımcı olacak belirsizlik içeren çözüm yöntemlerini kullanmak daha yararlı olacaktır. Zaten gerçek yaşam, bu şekilde belirsizlikler ile doludur- Bunun için ters yönlü hareketlerin belirsizliği dikkate alınarak önerilen model, belirsiz ters yönlü hareketlerin daha iyi yönetilebilmesi için geliştirilmiştir.

Bu çalışmada kuyumculuk üretimi problemi için ileri ve ters yönlü hareketleri dikkate alan ve ayrıca bu hareketlerden kaynaklı belirsizlikleri ele alabilen bir MRP matematiksel modeli önerilmiştir.

Yapılan çalışmanın yazına temel katkılarından biri, kuyumculuk üretimi üzerine yapılan ilk MRP uygulamasını içermesidir. Bunun yanında, MRP içerisinde finansal kısıtları ve tedârikçi bakiye kısıtlarını dikkate alan ilk çalışmadır. Tedârikçi, müşteri ve üretim ile ilişkili çift yönlü malzeme hareketleri ilk kez bu çalışmada, bir matematiksel modelleme içerisinde ve bu düzeyde işlenmiştir. Geri dönüşümü hem üretici, hem de tedârikçi kanadını dikkate alarak ele alınan ilk MRP çalışmasıdır. Yine geri dönüşüm içerisinde ekonomik geri dönüşüm miktarı kısıtı ilk olarak bu çalışma ile MRP ortamında ele alınmıştır. İadenin yeniden üretimi, geri dönüşümü veya stokta tutulma kararı, MRP modelinde yine ilk olarak bu çalışmada birlikte ele alınmıştır.

Ayrıca, ürün ağacı ile birlikte geri dönüştürülebilir hurda ve fire miktarlarını ele alan ilk MRP çalışmasıdır. Geri dönüşüm belirsizliği ve MRP konusunda az sayıdaki yayından biridir. Ek olarak üretim ve yeniden üretim ortamında geri dönüşüm ve MRP de dikkate alınmıştır. Yalnızca üretim içi geri dönüşüm değil, tedârikçide yapılan geri dönüşüm de bu modelde dikkate alınmıştır. Bunlar yazına yapılan temel katkılar olarak sayılabilir.

## **1.2 Çalışmanın İçeriği**

Giriş bölümü olan bu bölümde temel olarak kuyumculuk, MRP ve yapılan çalışma ile ilgili genel bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

İzleyen iki bölüm olan Bölüm 2’de ve Bölüm 3’de; MRP, ters yönlü hareketler ve belirsizlikler üzerinde yazın taramaları yapılmıştır.

Yapılan yazın taramasını üç başlık altında gruplandırmak doğru olacaktır. Bunlardan ilki ikinci bölüm olan Bölüm 2’de yer alan MRP, geri dönüşüm ve yeniden üretim ile ilgili yazın taramasıdır.

Bu yazın taramasının içeriğini şu şekilde ifade edebiliriz: Yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanımları içeren kapalı döngü tedârik zincirlerindeki melez üretim ortamları için MRP konusundaki çalışmaları içeren yazının incelenmesi.

Bu yazın taraması ile geri dönüşüm ve yeniden üretim içeren üretim ortamlarında üretim plânlama ve MRP problemlerine nasıl çözümler getirildiği araştırılmıştır.

Bölüm 3’de ise MRP ve belirsizlikler başlıkları altında yazın incelenmiştir.

Öncelikle üretim ortamını etkileyen belirsizliklerin neler olduğu ve nasıl yönetildikleri incelenmiştir. Belirsizliklerin tedârik zincirinde nasıl yönetildiklerinin, hangi yöntemler kullanıldığına araştırması yapılmıştır. Bu araştırmadan yola çıkılarak çalışmada belirsizliklerin nasıl yönetilebileceği ile ilgili yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

İkinci olarak ise belirsizlik üzerinde yapılan çalışmalardan yola çıkarak, çözüm yöntemi olarak en çok yeğlenen bulanık modelleme saptaması ile bulanıklığın üretim plânlamada kullanımı üzerine yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

Bu konuların araştırılması, yapılan bu çalışmaya ışık tutucu mahiyette olmuştur. Bunların ışığında tez çalışması şekillendirilmiştir.

Çalışmanın devamında Bölüm 4’de ise, önerilen genişletilmiş MRP modeli verilmiştir. Kuyumculuk üretim sürecinin tanıtımı, problemin tanımlanması ve modellenmesi bu kısımda yapılmıştır. Öncelikle model, tanımı itibari ile “doğrusal olmayan” şeklindedir. Sonrasında parçalı doğrusallaştırma ile model doğrusal biçime getirilmiştir. Devamında ise modele belirsizlikler eklenerek modelin bulanık biçimleri de elde edilmiştir.

Önerilen model temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır:

İlk aşamada; yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanımları içeren kapalı döngü tedârik zincirlerindeki üretim/yeniden üretim ortamları için genişletilmiş bir malzeme gereksinim plânlama (MRP) modeli geliştirilmiştir.

Bu ana konu ile birlikte, özellikle yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanım ile öne çıkan belirsizliklerin de dikkate alındığı bu çalışmada ikincil olarak, belirsizliklerin MRP içinde ele alınarak, modelin daha etkin bir şekilde gerçek yaşam problemlerinde uygulanabilirliğinin sağlanması ve karar vericilere daha etkin bir plânlama ortamının sunulması amaçlanmıştır.

İlk aşamada sunulan MRP modelinin geliştirilmesinde, doğrusal olmayan ve doğrusal olan matematiksel modellemeler kullanılmıştır. Modellemeler AIMMS yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

İkinci aşamada ise temel olarak bulanık mantık ve bazı durulaştırma yöntemleri kullanılarak model içerisindeki belirsizliklerin yönetilmesi için model, belirsizlikleri içerecek şekilde geliştirilmiştir.

Bölüm 5'te ise model çözümleri gerçek vaka üzerinde yapılarak önerilen modelin uygulanabilirliği anlatılmıştır. Çözümler üzerinde duyarlılık analizleri ve kıyaslamalar yapılarak, gerek belirli ve gerekse belirsizliklerin dikkate alındığı durumlar için modelin çözüm etkinlikleri verilmiştir.

Sonuç bölümü olan Bölüm 6'da ise çıkarımlar ve gelecek çalışmalar için yönlendirmeler verilmiştir.





## 2. MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI, GERİ DÖNÜŞÜM VE YENİDEN ÜRETİM

MRP ilk olarak 1960’larda kullanılmaya başlanmıştır. İstikrarlı ve tahmin edilebilir bir üretim ortamı için tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Ürün ağacı, stok bilgileri ve MPS’den (ana üretim çizelgesi) yola çıkarak net malzeme gereksinimlerini ortaya çıkarmayı amaçlar ve plânlı üretim siparişlerini oluşturur (Koh ve diğ., 2002).

Yazın taraması yaparken, bu çalışmada önerilen MRP modeli ile ilişkili ve/veya kaynaklık edebilecek çalışmalar araştırılmıştır. Bu ilişkiden yola çıkarak kuyumculuk ve benzer sektörler ile ilgili çalışmalara da ayrıca bakılmıştır. Ayrıca bu çalışma, çift yönlü hareketler olarak geri dönüşüm ve yeniden işlemleri içerdiği için üretim konusunda da içerisinde yeniden işleme ve geri dönüşüm geçen üretim plânlama ve MRP çalışmalarına bakılmıştır. Genel olarak kaynaklık etmesi için de MRP modelleme ve doğrusallaştırma çalışmalarına temel olacak yayınlara yer verilmiştir. Yapılan bu yazın taraması, Çizelge 2.1’de sunulmuştur. “Kuyumculuk ve üretim plânlama”, “benzer sektör üretim plânlama”, “geri dönüşüm ve üretim plânlama”, “yeniden üretim ve üretim plânlama”, “yeniden üretim ve geri dönüşüm ile üretim plânlama”, “MRP matematiksel modelleme” ve “doğrusallaştırma” konu başlıkları ile tarama yapılarak elde edilen yayınlar, Çizelge 2.1’de, “Ana konu” ve “Yıl” bazında sınıflandırılmıştır.

**Çizelge 2.1 : Yeniden üretim içeren üretim plânlama yazın taraması.**

Ana Konu	Yazar(lar)	Yayın İçeriği
Kuyumculuk	Süer ve diğ. (2009a)	Kuyumculuk hücreli üretim
Kuyumculuk	Gürel (2010)	Türkiye kuyumculuk sektör raporu
Kuyumculuk	Ada ve diğ. (2012)	Türkiye kuyumculuk sektör raporu
Benzer Sektör Geri Dönüşüm	David ve diğ. (2005)	Alüminyum dönüşüm endüstrisinde kurumsal kaynak plânlama (ERP) kullanımı ve etkileri
Geri Dönüşüm	Melnyk ve diğ. (2001)	Yeşil MRP yöntemi yaklaşımı
	Inderfurth ve diğ. (2003)	Ürün geri kazanım sistemleri ve üretim plânlamadaki yeri

**Çizelge 2.1 (devam):** Yeniden üretim içeren üretim plânlama yazın taraması

Ana Konu	Yazar(lar)	Yayın İçeriği
Geri Dönüşüm	Grubbström (2007)	Geri dönüşüm hareketlerine ait malzeme akışlarının girdi-çıkıktı metodu ile tanımlaması
Geri Dönüşüm	Barba-Gutiérrez ve diğ. (2009)	Tersine lojistik içerisinde MRP kavramını
Geri Dönüşüm	Kovačić ve diğ. (2011)	Geri dönüşüm hareketlerine ait malzeme akışlarının girdi-çıkıktı metodu ile tanımlaması
Geri Dönüşüm	Alaykırın ve Güner (2013)	Geri dönüşüm ve matematiksel modelleme
Yeniden Üretim	Guide Jr. ve diğ. (2000)	Yeniden işleme yayın taraması
Yeniden Üretim	DePuy ve diğ. (2007)	Yeniden işleme içeren üretimler için bir üretim plânlama yöntemi
Yeniden Üretim	Li ve diğ. (2009a)	Yeniden üretimi dikkate alan ve belirsiz talep ve iade durumunda üretim plânlama problemi için stokastik dinamik programlama
Yeniden Üretim	Wei ve diğ. (2011)	Belirsiz talep ve iade altında iadelerin yeniden işlenmesini dikkate alan bir stok kontrol modeli
Yeniden Üretim	Lage Jr. ve diğ. (2012)	Yeniden üretim konusunda üretim plânlama ve kontrol yayın taraması
Yeniden Üretim	Corominas ve diğ. (2012)	Hem üretim hem de yeniden üretimi bir arada ele alan bir MRP yaklaşımı
Yeniden Üretim	Morgan ve Gagnon (2013)	Yeniden üretim işlemlerinin çizelgelenmesi üzerine yayın taraması
Yeniden Üretim	Omar ve Yeo (2014)	Hem yeni hem de onarılmış ürünler ile talebi karşılayan bir stok sisteminin modellenmesi
Yeniden Üretim	Li ve diğ. (2014)	Bir plânlama dönemi boyunca yeni ürünlerin üretimi ve/veya iadelerin yeniden işlenmesi için bir algoritma
Yeniden Üretim ve Geri Dönüşüm	Guide Jr. ve diğ. (1997)	Yeniden üretim ve malzeme geri kazanımı için çizelgeleme politikası
Yeniden Üretim ve Geri Dönüşüm	Kim ve diğ. (2013)	Yeniden üretim ve geri dönüşümü bir arada optimize politikası için sezgisel
MRP Matematiksel modelleme	Billington ve diğ. (1983)	MRP genel tanımlama ve modelleme
MRP Matematiksel modelleme	Plenert (1999)	MRP yayın tarama ve değerlendirme
MRP Matematiksel modelleme	Mula ve diğ. (2006a)	Standart MRP yapısının matematiksel modeli
MRP Matematiksel modelleme / Doğrusallaştırma	Mirzapour Al-E-Hashem ve diğ. (2013)	Çok dönemli, çok ürünlü, çok tesisli ve belirsiz bir talep altında üretim plânlama problemi için stokastik programlama

Yapılan yazın taramasında bulunan çalışmalar, yapılan sınıflandırmaya göre izleyen bölümlerde “MRP ve matematiksel modelleme”, “Kuyumculuk ve benzer sektörler”,

“ Üretim/yeniden üretim ve/veya geri dönüşüm içeren çalışmalar” olmak üzere ayrı başlıklar altında incelenmişlerdir.

## **2.1 MRP ve Matematiksel modelleme Konusundaki Genel Çalışmalar**

MRP, geleneksel üretim ortamlarında üretim plânlama için kullanılan yaygın bir yaklaşımdır. MRP sisteminin ana amacı, istenen plânlama dönemi için bir üretim çizelgelemesi oluşturmak için bir üretim plâni oluşturmaktır. MRP 1960’larda parti miktarlarının belirlenmesi için kullanılan yaygın bir yöntem olmuştur. MRP’de genel olarak belli varsayımlar/kabuller yapılmaktadır. Bunlar; deterministik talep, ürün ve hazırlık süreleridir (DePuy ve diğ., 2007).

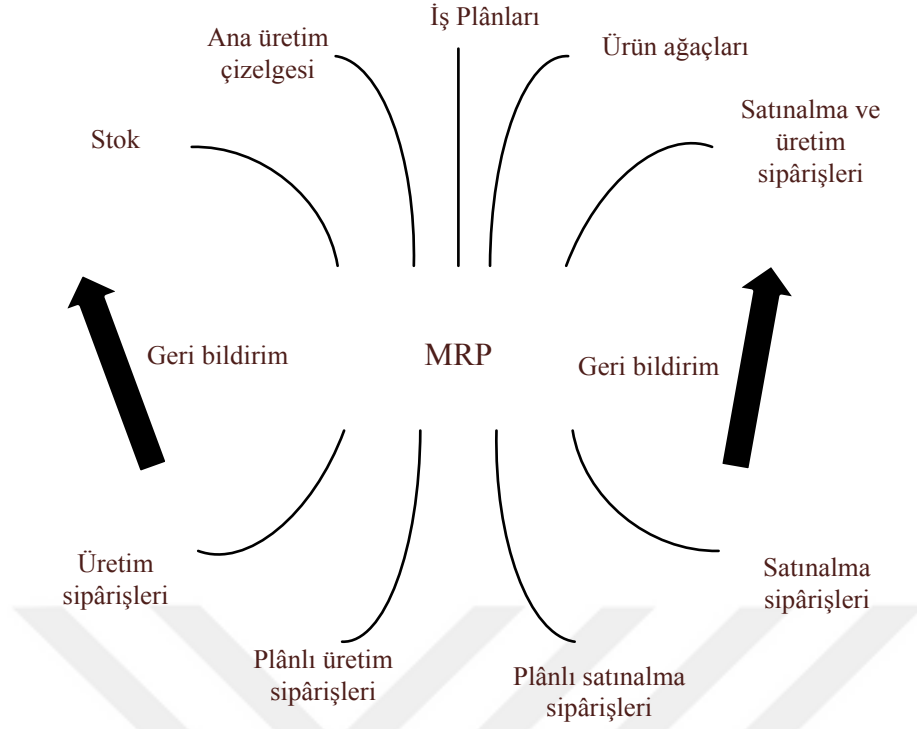
Yazına bakıldığında MRP konusu ile ilgili birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmada temel olması açısından bâzı temel çalışmalar referans olarak ele alınarak verilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte özellikle bu çalışmanın ana konusu olan MRP ve matematiksel modellemenin temeli ile ilgili bâzı ilgili yazın taramalarına atıf yapılmaya çalışılmıştır.

MRP konusunda çok sayıda çalışma olmasına rağmen klasik MRP yaklaşımları, üretim kararlarını eniyilememektedir. Billington ve diğ. (1983) gibi birkaç yazar tarafından mâliyet enküçüklemesi için en uygun çözümün bulunmasında MRP sürecinin matematiksel olarak modellenmesi çalışması yapılmıştır.

MRP; çıktı olarak üretim sipârîşleri, kapasite gereksinimleri, hammadde ve yarı ürün gereksinimlerini üretir (Plenert, 1999). Bu durum Şekil 1 ile gösterilmiştir.

Plenert (1999) tarafından yapılan çalışmada ise 1999 yılına kadar MRP’nin durumu üzerine bir araştırma yapılmıştır. MRP’nin yerine son yıllarda seçenek olarak gelen tam zamanında üretim (TZÜ), optimize üretim teknolojisi (OPT), kısıtlar teorisi (TOC), darboğaz atama yöntemi (BAM) ve çizelge temelinde üretim (SBM) gibi başka üretim kontrol sistemleri karşısında çekiciliğini yitirip yitirmediğini sorgulamıştır.

MRP ve seçenek üretim kontrol sistemlerinin tasarım ve kullanım farklılıklarını, Çizelge 2.2’deki ve Çizelge 2.3’deki gibi belirlemiştir. Bu çizelgelerde görüldüğü gibi, birçok alanda MRP yaklaşımının daha iyi olduğu ve sonuç olarak aslında diğer sistemlerin MRP’ye bir seçenek olamayacağı ve MRP’nin, kendi kullanım alanında çok yararlı bir üretim plânlama ve kontrol aracı olduğu görülmüştür.



**Şekil 2.1 :** Çalışmadan uyarlanan, MRP bilgi akışları.

MRP, çok aşamalı üretim sistemlerinde üretim çizelgesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ana amaç; üretim zamanları, ürün ağaçları, kapasiteler ve talepleri dikkate alarak bir üretim çizelgesi hazırlamaktır. MRP sistemlerinin temelinde kapasite kısıtları dikkate alınmaz. Sınırsız kapasite ile plânlama yapar. Hâlbuki gerçekte, sonlu kapasite ortamında plânlama yapılır (Billington ve diğ., 1983).

Billington ve diğ. (1983), çok aşamalı üretim sistemlerinde dört temel ürün yapısını dikkate almıştır. Bunlar seri, paralel, birleşim ve genel üretim süreçleri içeren ürün yapılarıdır.

Genel MRP problemine ek olarak kapasite, parti miktarı ve üretim zamanlarını da dikkate alarak problemi genişletmişlerdir. Problemin çözümü için karışık tamsayı bir doğrusal programlama modeli önermişler ve bunu MRP-ILP olarak adlandırmışlardır. Temel probleme ilişkin çözüm, aşağıdaki denklem grubunda verilmiştir. İndislerden; “*i*” ürünleri, “*j*” bileşenleri, “*k*” kaynakları ve “*t*” ilgili plânlama dönemlerini ifade etmektedir.

Değişkenler; “*P*” üretimi, “*d*” talebi, “*I*” stoku, “*O*” fazla kapasite kullanımını, “*U*” kapasite altı kullanımı, “*X*” ilgili dönem için çalışmayı, “*CAP*” ise kapasite kullanımını ifade eder. Sabitler ve mâliyetler; “*cs*” üretim sabit mâliyetini, “*co*” fazla kapasite mâliyetini, “*cu*” kapasite altı kullanım mâliyetini, “*y*” üretim etkinliğini, “*a*” bileşen

miktarını, “*b*” ürün birim kapasite gereksinimini , “*s*” ise sabit kapasite gereksinimini ifade eder.

**Çizelge 2.2 : Çalışmadan uyarlanmış MRP ve seçenek yöntemlerin tasarım karşılaştırılması.**

Alan	MRP	JIT	OPT/TOC	BAM
Ürün esnekliği	Yüksek	Dar aralık	Yüksek	Yüksek
Sipariş takibi	Yüksek derece	Yok	Yeterince yüksek	Düşük
Veri doğruluğu	Yüksek	Yok	Belli alanlarda yüksek	Belli alanlarda yüksek
Hesaplama gereksinimi	Fazla	En az	Biraz	Biraz
Çizelgeleme esnekliği	Yüksek	Düşük	İyi	İyi
Tesis yerleşimi	Esnek	Kısıtlı	Esnek	Esnek

**Çizelge 2.3 : Çalışmadan uyarlanmış MRP ve seçenek yöntemlerin kullanım karşılaştırılması.**

Alan	MRP	JIT	OPT/TOC	BAM
Üretim/İşleme zamanları	Çok uzun	Çok kısa	Orta	Değişken
Üretim parti miktarı	Büyük	Küçük	Değişken	Daha küçük
Kaynak etkinlik odağı	İşçilik	Malzemeler	Darboğaz	Kısıtlar
Stok düzeyleri	Büyük	En küçük	Orta	Orta
Başlama süreleri	Ortalama	En küçüklenmiş	Uyumlanmış	En küçüklenmiş

Amaç fonksiyonu ile mâliyetin enküçüklenmesi amaçlanırken, kısıtlar ile de kapasite kullanımını ve talebe göre üretim plânlaması yapılmış olur. Bu çalışmada MRP “dönen bir çizelge” olarak kullanılmıştır.

Ayrıca MRP modelleri öneren ve MRP konusunda yayın taraması sunan çalışmalar da vardır. Mula ve diğ. (2006a)’nin yaptığı çalışmada hem MRP ile ilgili bir yazın taraması sunulmuş, hem de MRP yapısının matematiksel modelini ifade eden MRPDet adlı bir model sunulmuştur. Mula ve diğ. (2006a), bu çalışmalarında kaynak olarak, Billington ve diğ. (1983)’nin önerdiği genel MRP matematiksel modelini temel almışlardır.

Mâliyeti enküçükle:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (H_i I_i + c s_i X_i) + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (c o_{kt} O_{kt} + c u_{kt} U_{kt}) \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$I_{i,t-1} + y_i P_{i,t-L_i} - I_{it} - \sum_{j=1}^N a_{ij} P_{jt} = d_{jt} \quad \forall i, t \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^N (b_{ik} P_{it} + s_{ik} X_{it}) + U_{kt} - O_{kt} = CAP_{kt} \quad \forall k, t$$

$$P_{it} - q X_{it} \leq 0 \quad \forall t$$

Değişken kısıtları:

$$I_{it}, P_{it}, U_{kt}, O_{kt} \geq 0, \quad X_{it} = 0 \text{ veya } 1 \quad (2.3)$$

Mula ve diğ. (2006a), bu çalışmalarında Billington ve diğ. (1983) tarafından verilen MRP-ILP modelini yalnızca amaç fonksiyonuna sipariş erteleme mâliyetini de ekleyerek genişletmişler, ifâdeler için bile aynı terimleri kullanarak kısıtları neredeyse olduğu gibi aynen kullanıp MRPdet olarak adlandırmışlardır.

Modelin temel çıktıları ise şu şekildedir:

- Ana üretim çizelgesi: Dönem bazında ürün üretim miktarları, hammadde ve bileşen gereksinimleri. MPS normalde MRP'nin temel bir girdisi olduğu hâlde matematiksel modellemede MPS ve MRP birlikte çözülmektedir (Pochet ve Wolsey, 2006).
- Her plânlama dönemi net hammadde ve bileşen gereksinimleri
- Her döneme ilişkin stok miktarları
- Her dönem için talep ertelemeleri
- Kapasite kullanım düzeyleri

Model amaçları olarak şunları belirlemişlerdir:

- Talebin en az kayıp ile karşılanması

- Stok düzeylerinin enazlanması
- Kapasite kullanımının eniyilenmesi

Model kısıtları şunlardır:

- Stok denge denklemleri
- Kapasite kısıtları
- Talebin karşılanması
- Negatif olmama kısıtları

Modelde kullanılan veriler şu şekilde verilmiştir:

- Piyasa bilgisi
  - Dönem bazında talep
- Üretim lojistik bilgisi (her dönem için)
  - Başlangıç stokları
  - Birikmiş ertelenmiş talep
  - Plânlı alımlar
- Teknolojik bilgiler
  - Her ürün için
    - Üretim süresi
    - Ürün ağacı
  - Her kaynak ve dönem için
    - Uygun kapasite
- Ekonomik bilgi
  - Her ürün için:
    - Birim üretim mâliyeti
    - Birim stok tutma (elde bulundurma) mâliyeti
    - Talep erteleme mâliyeti
  - Her kaynak için
    - Az kullanma birim mâliyeti
    - Fazla kullanma birim mâliyeti

Bu çalışmada Billington ve diğ. (1983) tarafından verilen MRP-ILP modeli temel alınmış, Türkiye kuyumculuk sektörünün gereksinimleri gözönünde tutularak, yeniden

üretim ve geri dönüşümleri içerecek şekilde bu model geliştirilmiş, genişletilmiş ve “Genişletilmiş MRP” yaklaşımı elde edilmiştir.

Mula ve diğ. (2010a), yaptıkları yazın taramasında tedârik zincirinde üretim plânlama ve nakliye plânlama ile ilgili matematiksel programlama modellerini incelemiştir. 25 yıllık zaman aralığında, konu hakkında 127 yayını sınıflandırmışlardır. Bu çalışmalar içerisinde nakliye plânlamayı da içeren 44 çalışmayı ayırmışlar ve bu çalışmalarda kullanılan matematiksel modelleri incelemiştir. İncelenen çalışmalarda kullanılan matematiksel modelleri Çizelge 2.4’de verilen şekilde sınıflandırmışlardır. Yayınların bâzılarında birden çok model birlikte kullanılmıştır.

**Çizelge 2.4 : Çalışmadan uyarlanmış modelleme yaklaşımları sınıflandırması.**

Modelleme yaklaşımı	Açıklama	Kodlama	Yayın Adedi
Doğrusal programlama	Doğrusal programlama	LP	6
	Karışık-tamsayılı/tamsayılı doğrusal programlama	ILP	20
Doğrusal olmayan programlama	Doğrusal olmayan programlama	NLP	1
	Karışık-tamsayılı/tamsayılı doğrusal olmayan programlama	INLP	1
Çok amaçlı programlama	Çok amaçlı doğrusal programlama	MOLP	2
	Çok amaçlı tamsayılı doğrusal programlama	MOILP	1
	Çok amaçlı doğrusal olmayan programlama	MONLP	1
	Çok amaçlı tamsayılı doğrusal olmayan programlama	MONLIP	2
Bulanık programlama	Bulanık matematiksel programlama	FMP	8
Stokastik programlama	Stokastik programlama	SP	4
Sezgisel algoritmalar ve meta sezgiseller	Sezgisel algoritmalar ve meta sezgiseller	HEU	10
Melez modeller	Melez modeller	HYB	4

Çalışmada incelenen yayınlarda, doğrusal programlama modelini temel alarak çözümler içeren 26 çalışmanın ve bunlar içerisinde de karışık tamsayılı çözüm olarak 20 çalışmanın olduğu görülmüştür. Aksine doğrusal olmayan programlama, yalnızca



iki çalışmada kullanılmıştır. Bulanık matematiksel programlama ise sekiz yayında kullanılmıştır. Modellerin çoğunda amaç toplam mâliyetlerin enküçüklenmesi, bir kısmında da kârın enbüyüklenmesidir. Çoğu model sayısal örnekler ile çözülmüştür, daha küçük bir kısmında ise gerçek vaka analizleri kullanılmıştır.

Farklı bir yaklaşım olarak Yenisey (2006), genişletilmiş bir ağ yaklaşımı kullanarak MRP içerisinde malzeme gereksinimlerini ve süreçleri tanımlamış, sonrasında ise matematiksel olarak modellemiştir. Tüm malzemeler, yarı ürünler ve hammaddeler, düğüm olarak, tüm malzeme hareketleri ise ağ akışları olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamadan yola çıkarak en sonunda yine bu tanımlamayı ifâde eden bir matematiksel model ile MRP problemi çözülmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada incelenen yayınlar, MRP ve matematiksel modelleme konusunda gerekli referansları içermektedir.

Bu çalışma, standart MRP probleminin geri dönüşüm ve yeniden üretim ile genişletilmiş MRP hâli olarak ele alınması ile ilgilendiğinden, çalışmanın devamında bu yazın ile ilgili araştırmalar sunulacaktır.

## **2.2 Kuyumculuk ve Benzer Sektörlerdeki Çalışmalar**

Türkiye kuyumculuk sektörü, dünyada altın kuyum ihracatında ikinci sırada (Gürel, 2010), üretiminde üçüncü sırada (Ada ve diğ., 2012) yer almaktadır. Yayınlara bakıldığında, bu çalışmanın konusu ile ilgili kuyumculuk ve üretim alanında yapılmış fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Örneğin Süer ve diğ. (2009a)'nin kuyumculuk üretimini örnek alarak yaptıkları, üretim üzerine farklı konularda çalışmalar da vardır.

Süer ve Maddisetty (2005)'in makalesi, bir kuyumculuk fabrikasında yapılmış, üretimde olasılıkların yoğun olduğu bir çevrede hücre tipi belirleme ile ilgili üretim konulu bir makaledir. Bu çalışmada, olasılıklı bir talep içerisinde hücrel bir üretim ortamında atanmış, paylaşımlı ve artanlı hücrelerin biçimlenmesi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Her ürün ailesi, kapasite gereksinimini gidermek için birden çok hücreye gereksinim duyar. Görülmüştür ki parça ailelerinin sayısı arttıkça, parçaları işlemek için gerekli makina sayısı çoğu durumda azalmıştır. Aile sayısı arttıkça, daha düzgün aileler biçimlenmiş ve makina gereksinimi azalmıştır. Makalede 39 parça ve 18 makinanın kullanıldığı bir kuyumculuk üretim tesisi üzerinde çalışılmıştır. İşlem süreleri için düzgün dağılım kullanılmıştır. En yüksek işlem süresine sahip parça,

darboğaz makinaya atanmış ve geri kalan süreler diğer makinalara atanmıştır. Her parçanın yıllık talebi düzgün dağılıma göre kabul edilmiştir. Hücre yapısı akış tipi atölyedir. Parça akışı hücrede çok yönlü olabilmektedir. Çalışma üç aşamada yapılmıştır: Parça ailelerini tanımlama, hücre düzenlerini belirleme ve hücre tiplerini tanımlama. Parça ailelerini tanımlamada “benzerlik etkenleri matrisi yöntemi” kullanılmıştır. Bu yaklaşım bizim çalışmamız için önemli olabilir, çünkü çok satan ürünlerin ortak özelliklerini belirleme ve üretimi, buna göre yönlendirme ve böylece hem üretim etkinliğini artırma, hem de stoklama ve satış için tedârik etkinlikleri arttırılabilir. Daha az ürün, daha düzgün üretim demektir. Hücre sayısını ve düzenlerini belirlerken, ürün aileleri, kapasite gereksinimleri ve olasılıklı talep tahminleri kullanılmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak, beklenen kapasite kullanımı hesaplanmıştır. Olasılıklı talep durumunda kapasite ayarlamak için kullanılacak bir çalışmadır. Hücre tiplerini ayrılmış, paylaşımlı ve artanlı olarak belirlerken, matematiksel bir model kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu hücre sayısını azaltmak üzerine kurgulanmıştır. Kısıtlar ise olanaklı olduğunca aynı ürün ailesini aynı hücreye atama, beklenen kapasite kullanımını artırma ve her aile için olasılıklı talebi karşılamadır.

Süer, Arıkan ve Babayiğit (2009a)’in makalelerinde, kuyumculuk üretimi ile ilgili yükleme probleminin bulanık sayılar ile çözümü incelenmiştir. Bu çalışmada, bulanık iki amaçlı hücre yükleme sorunu emek yoğun hücre ortamında sunulmuştur ve yapı üzerindeki farklı bulanık işçilerin etkisi araştırılmıştır. Sorun için önerilen matematiksel yapının amaç işlevleri, gecikmiş işlerin sayısını enazlamak ve toplam gerekli işgücünü enazlamaktır. Matematiksel yapı, açılacak hücre sayısını, her açılan hücrenin boyutunu, ürünlerin hücrelere atanmasını (hücre yüklemesi) ve her hücre için eşzamanlı ürün sıralamasını elde etmeyi sağlar. Bulanık istem düzeylerinden bulanıklık gereksinimleri, her iki amaç işlevine eklenir. Yapıyı çözmek için bulanık matematiksel plânlama yaklaşımı kullanılır ve yapının bulanık başarı işlevi için altı değişik bulanık işleç tanımlanmıştır: “min”, “fuzzy and”, “fuzzy or”, “minimum bounded sum”, “add” ve “product”. Bir örnek sorun, işleçlerin başarılarını göstermek için çözülmüştür. Deneyler; bulanık add ve product işleçlerinin, sorunun etkin bir çözümüne ulaşmak için uygun olduğunu göstermiştir. Örnek sorun, kuyumculuk fabrikasında incelenmiştir. Bir hücreye atanan çalışan sayısı, bir dönemden diğerine değişen talebe göre farklılaşır. Bununla birlikte hücresel sistemdeki toplam çalışan

sayısı, bir hücreden diğerine, bir dönemden diğerine değişirken değişemez. Çalışanlar, farklı dönemlerde, gereksinime göre aynı veya farklı hücrelerdeki farklı işlere atanırlar. Süer ve Dağlı (2005) makalelerinde kuyumculuk örnekli işgücü atama ve yükleme problemi ile ilgilenmişlerdir. Bu; belirsizliklerden dolayı değişen üretim koşullarına uyum sağlamak için kullanılacak yöntemlerden biri olabilir. Emek yoğun üretim hücreleri, basit makina ve araçlar içerir ki, bunları kullanarak çalışan, sürekli olarak iş yapabilir. Çalışanlar yeni bir ürün için genelde farklı bir hücreye atanırlar. Bunun ana nedeni, birkaç makinadaki değişken kapasiteyi, ürün akışlarını dengeleyerek hücre çıktısını en yüksek yapmaktır. Bu çalışmada, hücre için toplam emek aktarımını en aza indirmek amacı taşıyan ürün sıralama sorunu incelenmiştir. Üç aşamalı kademeli bir yöntem önerilmiştir. Örnek olarak bir kuyumculuk üretim tesisi kullanılmıştır. Bu çalışmada önce hücreler arası emek aktarımlarını en aza indirmek için ürün sıralama ve ikinci olarak benzer ürünleri, makinaları ve yer gereksinimini en aza indirmek için hücreleri yükleme incelenmiştir. Emek aktarımlarını enazlamak için cebirsel bir yapı önerilmiştir. Yapı, her ürün için bağımsız olarak işlenir. İlk kademede, uygun emek düzeyini belirlemek için cebirsel yapı kullanılır. İkinci kademede sıralı emek aktarım kalıbı düzenlenmiştir. Üçüncü kademede ise gezgin satıcı problemi ile bu kalıp çözülmüştür.

Süer, Cosner ve Patten (2009b), makalelerinde, kuyumculukta hücre yükleme ve ürün sıralama ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, emek yoğun hücrelerin yüklenmesi konusu ve ürün sıralama sorunu incelenmiştir. Bu sorun için üç aşamalı bir yöntem önerilmiştir. Amaçlar; yayılma süresini küçültmek, toplam makina gereksinimini azaltmak ve hücreler arası işgücü aktarımını azaltmaktır. İlk aşamada, her ürün için işlere uygun işgücü atamaları yapılır. Sonra ürünler arası benzerlik, iş ve makina düzeylerinin benzerliğinden yola çıkılarak saptanır. İkinci evrede makina gereksinimini ve yayılmayı azaltmak için hücre yüklemesi yapılır. Bunun için iki matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modellerden biri ürün bölmeye izin vermez iken, diğeri izin vermektedir. Son olarak üçüncü evrede de, amacı hücreler arası işgücü naklini azaltmak olan ürün sıralama sorunu, gezgin satıcı sorunu gibi düşünülerek çözülmüştür. Uygulamada ise, bir kuyumculuk üretim tesisi verileri kullanılmıştır.

Süer ve Sanchez-Bera (1997)'nin makaleleri, kuyumculuk üretiminde yapılmış hücre atama ile ilgili bir üretim çalışmasıdır. Bu çalışmada iki aşamalı yöntem önerilmiştir. Bunun yanısıra, seçenekli çalıştırıcı düzeylerini oluşturmak için en uygun çalışan ve ürün atamasını hücelere yapan matematiksel yapılar geliştirilmiştir. Üretim hücreleri, makina yoğunundan işçi yoğununa kadar çeşitlenebilir. Makina yoğun hücrelerde makina sayısı, hücre çıktısının belirlenmesinde önemli rol oynarken, işçi etkisi ise sınırlıdır. Öte yandan, işçi yoğun hücreler ise farklı özellikler gösterir. İşçi ataması ve kullanımı, hücrenin başarısında önemli bir rol oynar. Bu çalışmada işçi yoğun üretim hücreleri ortamında hücre yükleme kuralları ve onların başarıya etkisi irdelenmiştir. Çalışmanın amacı, temel olarak müşteri talepleri doğrultusunda en az sayıdaki çalışan ile tüm hücrelerin genel kapasite gereksinimini karşılamaktır. İlk aşamada farklı düzenler yaratmak için karışık tamsayı programlama yapısı sunulmuştur. Her ürün için değişik çalışan düzeylerinde bağımsız biçimde bu programlama uygulanmıştır. İkinci aşamada da genel çalışan ideal atamasının belirlenmesi ve hücre yüklemesi için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır: İkinci dereceden atama bileşimi ve iki tamsayı programlama yapısı. Kullanılan örnek Porto Riko'daki bir kuyumcu üretim şirketinden alınmıştır. Bu çalışma, genel amaçlı çalışanların üretim için dengeleyici olarak kullanılması için önerilmesi açısından önemlidir.

Bates (2004)'in makalesi, kuyumculukta uluslararası standartlar (ISO) üzerine genel bir makaledir. Kuyumculukta kalite ile ilgilidir. Kalite sistemlerinin iç belirsizlik ortamının azaltılması için işe yarayabilir bir yaklaşımdır. ISO, Uluslararası Standartlar Organizasyonu'nun kısaltmasıdır.

Zhang ve Tseng (2009) makalelerinde, yüksek ürün çeşitliliği üzerine bir üretim modellemesi ve MRP çalışması vardır. Yüksek ürün çeşitliliğinden dolayı kuyumculuk ile ilgilidir. Artan ürün çeşitliliği ve hareketli talep dalgalanmaları ile üretim sanayisi, yüksek ürün karışımı ve düşük sipariş miktarlı üretim ortamına doğru kaymaktadır. Sonuçta sipariş teslimat süreci, üretim şirketlerinin bireysel müşteri gereksinimlerini sınırlı kaynakları ile karşılamasının en önemli süreçlerinden biri olmuştur. Diğer yandan daha kısa teslim süreli talepler, müşteri gereksinimlerindeki çeşitlilik ve sıklaşan müşteri siparişleri, sipariş teslim görevini daha zorlu kılmaktadır. Bu çalışma, salt üretim esnekliği değil, talep tarafının da esnekliğini birleştirerek bu yeni zorlukları aşmaya çalışmaktadır. Müşteri esnekliği, belirli ürün özelliklerine ve/veya dağıtım çizelgesine karşın, müşteri tepkisizliği olarak tanımlanabilir. Müşteri

esnekliğini tanımlamak ve örneklemek için düzenli bir yaklaşım geliştirilmiştir. Uygun sipariş karşılama kararını sağlamak için karışık tamsayı gösterim biçimi oluşturulmuştur.

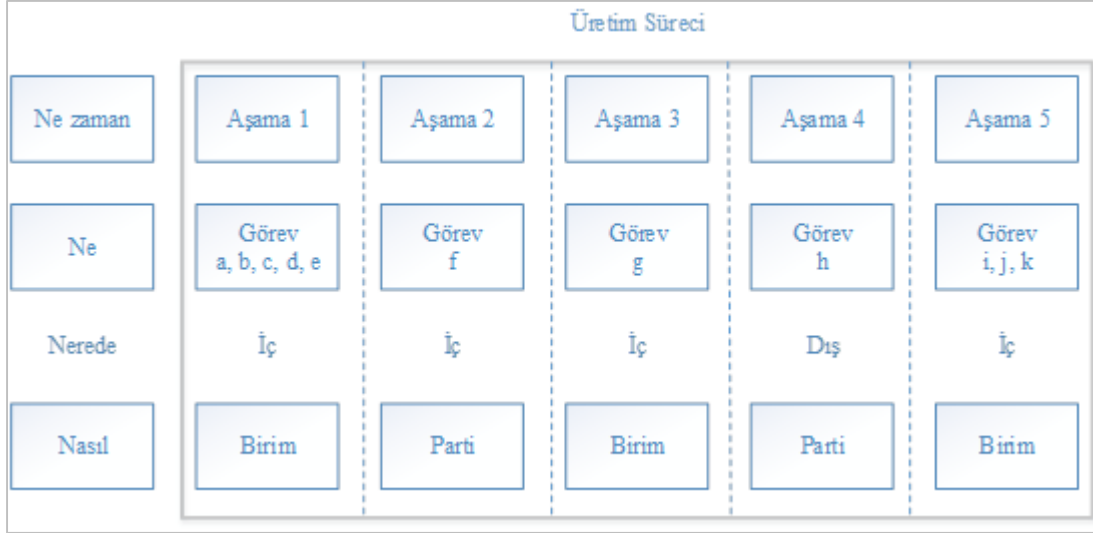
Vörös (1999), makalesinde mevsimlik talepli ürünler ile çalışmada toplu plânlama konusunu incelemiştir. Mevsimsellik özelliğinden dolayı, kuyumculuk ile ilgili bir çalışmadır. Bu çalışmada yüksek dönemsel ürünler üreten bir şirkette alınan riskin etkisi incelemek için bir model geliştirilmiştir. Gözlemlere göre döneme yaklaştıkça talep dağılımı üzerindeki bilgimiz daha iyi olmaktadır. Talep dağılımının öğrenme etkisi modele uygulanmış ve talebin öngörülemez yapısından kaynaklanan risk nedenli mâliyetler azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışma göstermiştir ki öngörülemezlik, ürünlerin sıralamasındaki tek belirleyici etkidir ve diğer etmenler de önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmada üretim miktarlarını ve toplu üretim süresindeki ürünlerin sıralamasını belirlemek için ileri ve geri doğru plânlama süreçleri kullanılmıştır.

Operasyon yönetimi uygulamalarındaki son gelişmeler, üreticiler için birçok zorluklar getirmiştir. Küresel rekabet, daha hızlı ürün geliştirme, artan esneklikteki üretim sistemleri, eşsiz çeşitlilikteki ürünler, daha kısa ürün yaşam döngüsünü getirmiştir. Özellikle moda sanayisi gibi MRP ve tam zamanında üretimden (TZÜ) yararlanamayan endüstriler, artan bu kısa ürün yaşam döngülerinden daha da çok etkilenmektedir. Bununla birlikte tahminden kaynaklanan hata mâliyetleri de artmaktadır. Elde bulundurmama mâliyeti ve ucuzlatmalar, toplam üretim mâliyetini aşabilir.

Riezebos (2003) makalesinde kuyumculuk üretiminde yapılmış iş emirlerinin hazırlanması ve kapasite dengeleme çalışmasında sürekli üretimi temel almaktadır. Sürekli üretim, kesikli üretim hatlarının yararlarını diğer üretim durumları içinde kullanmayı amaçlamaktadır. Kısa ve sabit zamanlar ve öngörülebilir kapasite yüklemesi gibi yararlar, doğru sürekli üretim sistemlerinden ve onların denetim sistemlerinden sağlanabilir. İş emri hazırlanması da bu denetim sisteminin ana parçasıdır. Atölyede hangi ürünün hangi sırada yapılacağını belirler.

Ürünler miktar olarak ve kapasitelerinin ardıl üretim aşamalarındaki dağılımına göre değişebilir, toplam kapasite yüklemesi de zaman içinde değişebilir. Eğer dönemlik uygun kapasite esnek değilse, kapasite dengeleme, iş emri hazırlama kararında önem arz eder. Uygulamada, sezgisel veya başparmak kuralı sorun çözümünde kullanılır. Bu

çalışmada da sezgisel geliştirilmiş ve doğru iş emri hazırlama kararları ile zaman içinde dengeli kapasiteyi amaçlayan uygun çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Uygulama için kuyumculuk firması seçilmiştir. Şekil 2.2’de, seçilen kuyumculuk firmasına ait üretim aşamaları görülebilir.



**Şekil 2.2 :** Çalışmadan uyarlanan kuyumculuktaki üretim aşamaları.

Atölyedeki istasyonlar hücreler gibi düşünülerek çözüm geliştirilmiştir. Kapasite dengeleme sorunu için üç sezgisel ve bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Benzer bir sektör olarak kabul edilebilecek olan alüminyum sektöründe bu tip bir çalışmaya rastlanmıştır. Alüminyum sektörü, metal işleme ve geri dönüşümleri içerdiği için, MRP açısından benzer bir sektör olarak değerlendirilebilir. David ve diğ. (2005) alüminyum dönüşüm endüstrisinde ERP kullanımı ve etkileri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Özellikle MRP konusundaki kısıtlar irdelenmiştir. Bu çalışmada özellikle maden kullanımında kaynaklı çıkan hurdaların MRP içerisinde nasıl dikkate alınabileceği de araştırılmıştır. Bir seçenek olarak, yardımcı ürün hâlinde MRP içerisinde tanımlanması düşünülmüştür. Ancak bu şekilde bir tanımlamanın, hurdalardaki belirsizlik ve standart olmamadan dolayı işe yaramadığı görülmüştür. Standart MRP içerisinde durum için bir çözüm getirilememiştir. Bu çalışmada çözüm getirilemeyen bu konuya, bu tez çalışmasında önerilen “Genişletilmiş MRP modeli” ile benzer olan kuyumculuk sektörü için bir çözüm getirilmiştir.

Paiva ve Morabito (2009) makalelerinde, şeker ve etanol üreten işletmelerin toplu üretim plânlamasına ilişkin kararları desteklemek için eniyileme modeli sunulmuştur. Endüstriyel işlem seçiminde ve üretim parti miktarı belirlemede karışık tamsayı

programlama formülü önerilmiştir. Amaç, karar vericilere üretim sürecinin seçiminde, üretim miktarlarının belirlenmesinde, tedârikçilerin seçimi ve taşıyıcı tedârikçilerin seçiminde ve son ürün stok yönetimi stratejisinde yardımcı olmaktır. Tek kademeli parti büyüklüğü belirleme ve süreç seçimi formülü kullanılarak, farklı ürünlerin eşzamanlı üretiminin plânlaması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada şeker kamışı, has altın gibi düşünülebilir. Has altın, kuyumculuk sektörünün temel hammaddesidir. Ne kadarını hangi ürüne ayırmak gerektiği gibi kuyumculuk sektörü ile ilgili bir geçiş, tedârik konulu çalışmalar yapmışlardır.

Buxey (2003)'in makalesi, kuyumculuk sektöründe yapılmış bir toplu üretim plânlama çalışmasını içermektedir. Dönemlik sapmalı satışlar için üreticilerin toplu üretim plânlama modellerini belirlemede gerekli özel algoritmalar, ne yazık ki fazla başarılı olamamıştır. Uygulamada, pratik olarak plânlamacı, ana üretim çizelgesini, yeğlenen bir üretim stratejisine göre yapar. Sonuç olarak da yığılan stokların malî riskleri ile karşı karşıya kalınabilir. Bu çalışmada, kuyumculuk sektörü ele alınarak uygun bir toplu üretim plâni stratejisi seçilmeye çalışılmıştır. Kovalamalı bir plânın, en iyi seçenek olduğu görülmüştür. Bu ise TZÜ'nün yaygınlaşması ile kendini daha çok göstermiştir. Geniş çapta mâliyetleri etkilediği ve nakit akışına yardımcı olduğu görülmüştür. Bunun için firmalar ile görüşmeler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Değişen işgücü gereksinimlerini karşılayabilmek için işletme değişik sınıflarda geçici olarak uygun deneyimli kişiler ile çalışabilmelidir. İşletme, müşteri taleplerini MPS ile sağlar. Gelecek satışlar belirsizdir. Buna rağmen çizelgeleme güvenilir, sağlam ve esnek bir biçimde yapılmıştır. Tüm bunlar, bizi toplu plânlamanın temelde yanlış bir kuram olduğuna götürmektedir. Strateji hakkında asılsız varsayımlar yapmakta ve onun yerine taktiğe odaklanmaktadır. Kısaca çalışmada, toplu üretim plânlamayı unutmamız istenmektedir. Müşteri isteklerinin ve buna bağlı olarak ürünlerin çok çeşitlendiği gözönüne alınmalıdır. Bundan dolayı TZÜ'den yola çıkarak kovalama üretim yapılması gerektiği ifâde edilmektedir. İşgücü dengesizlikleri de dış kaynak kullanımı veya geçici elemanlar ile kapatılmalıdır.

Kuyumculuk ile ilgili bir MRP çalışmasına ise yazın taramasında rastlanamamıştır. Bu durum, bu çalışmada kuyumculuk sektöründe bir MRP modeli sunulması için incelemeler yapmanın nedenlerinden biridir. Benzer bir sektör olan alüminyum dönüşüm endüstrisinde David ve diğ. (2005)'nin yaptıkları çalışmada belirttikleri standart MRP yaklaşımının, sektörün plânlama gereksinimini karşılayamadığı

saptamaları bunu göstermektedir. Bu çalışmada çözüm getirilemeyen bu konuya, bu tez çalışmasında önerilen “Genişletilmiş MRP modeli” ile benzer olan kuyumculuk sektörü için bir çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Kuyumculuk sektöründe üretim plânlamada dikkate alınması gerekli olan ürün yeniden geri dönüşümleri ve yeniden üretimler ile ilgili yapılan çalışmalar da incelenmiştir.

## **2.3 Yeniden Üretimi ve Geri Dönüşümü İçeren Üretim Plânlama**

### **2.3.1 Yeniden Üretim Konulu Çalışmalar**

Yeniden üretim, kullanılmış ürünlerin, bileşenlerini değiştirerek veya kullanılmış parçaları yeniden işleyerek, yeniden değer kazandırmak amacıyla yeni bir ürün hâline getirmektir (Guide Jr., 2000). Bâzı işlemlerden geçirilen kullanılmış ürünler bileşenlerine ayrıştırılır. Ayrıştırılmış bu eski bileşenler ve yeni bileşenler kullanılarak yeni bir ürün elde edilir. Yeniden üretim, onarımdan biraz daha farklıdır. Ürün bileşenlerine ayrıştırılır ve bu bileşenler yeni üretimlerde kullanılır. Üretilen ürünün yenisi gibi olması beklenir.

Yeniden üretim, bir ürün yaşam döngüsü stratejisidir. Artık kullanılmayan ürünlerin, üretim sürecine yenilemek için veya kullanılabilir parçalarına ayrıştırmak için yeniden girmesini içerir (Morgan ve Gagnon, 2013). Yeniden üretim, kullanılmış ürünlerden ayrıştırarak, temizleyerek, test ederek, parça değiştirerek, onararak ve yeniden birleştirerek aynen yenisi gibi bir ürün elde etmek için yapılan üretimdir (Li ve diğ., 2009a). Yeniden üretim, geri dönüştürülen ürünlerin yenisi gibi olacak şekilde üretimini içeren bir geri dönüşüm sürecidir (Wen ve diğ., 2015).

Xiong ve diğ.(2013), yeniden üretimi, kullanılmış ürünlerin geride kalan değerlerini hâlen işlevsel bileşenlerini yeniden kullanım ile geri kazanma hedefine sahip bir üretim stratejisi olarak tanımlamışlardır. Yeniden üretim, geleneksel üretime göre doğal bir düşük mâliyetli seçenek olarak, kârlılığı arttırmak için birçok endüstride kullanılır. Ayrıca daha az doğal kaynak ve enerji kullanımına yol açması ve atıkları azaltmasından dolayı yeşil çevre ile de uyumludur.

Son yıllarda farklı sektörlerde, kullanılmış ürünlerin geri kazanımı ile ilgili artan bir ilgi vardır. Sürdürülebilir üretim için önemli olan yeniden üretimin çevresel yararları yanında ekonomik yararları da vardır. Bu ekonomik yararlar, kullanılmış ürünlerin



yenilenecek satılması ve yeniden üretimin ilk üretimden daha ucuz olması şeklinde özetlenebilir (Kim ve diğ., 2013).

Geri kazanılabilir üretim ortamını, ürün yaşam döngüsünün sonunda geri dönüşüm ile malzemelerin geri kazanılmasını ve ürün yaşam süresinin uzatılması için gerekli işlemlerin yapılmasını içermektedir. Bu sistemin tanımı, Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Geri kazanılabilir üretim ortamının büyük bir kısmı, ürün onarımı ve ürünün yeniden üretimini içerir. Yeniden üretim, kullanılmış ürünlerin yeni ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir (Guide Jr. ve diğ., 1997).



Şekil 2.3 : Çalışmadan uyarlanan, geri dönüştürülebilir ürün ortamı.

Yeniden üretim için yapılması gerekli üretim plânlama ve kontrol (ÜPK) süreçleri iki temel etmenden etkilenir. Bunlar; olabirsel geri kazanım oranları ve geri kazanılan malzemelerin durumlarıdır (Guide Jr. ve diğ., 1997).

Yeniden üretim ortamı, melez bir üretim ortamı olarak nitelendirilebilir. Bu şekilde bir ortam, hem yeni hem de kullanılmış malzemeleri içerdiğinden, ÜPK süreçleri geleneksel ÜPK süreçlerine göre daha karmaşık ve zordur (Guide Jr. ve diğ., 1997).

Guide Jr. ve diğ. (2000)’ne göre yeniden işleme, geri dönüşüme göre daha fazla katma değerli bir işlemdir. Yeniden işleme, geleneksel üretime göre daha farklı bir yönetim gerektirir. Çalışmalarında bu farklı ve daha karmaşık yapıyı tanımlamaya çalışmışlar ve geniş bir yazın taraması sunmuşlardır. Yapılabilecek çalışma alanlarını belirlemişlerdir. Ayrıca malzeme geri dönüşümünü içeren MRP çalışmalarının ve malzeme geri dönüşüm oranlarının belirsizliği üzerine de bir çalışmanın olmadığını vurgulamışlardır. Bu karmaşık yapıların karakteristiklerini de, Çizelge 2.5’deki şekilde sınıflandırmışlardır.

**Çizelge 2.5 : Çalışmadan uyarlanmış üretim plânlama ve kontrolün karmaşık karakteristikleri.**

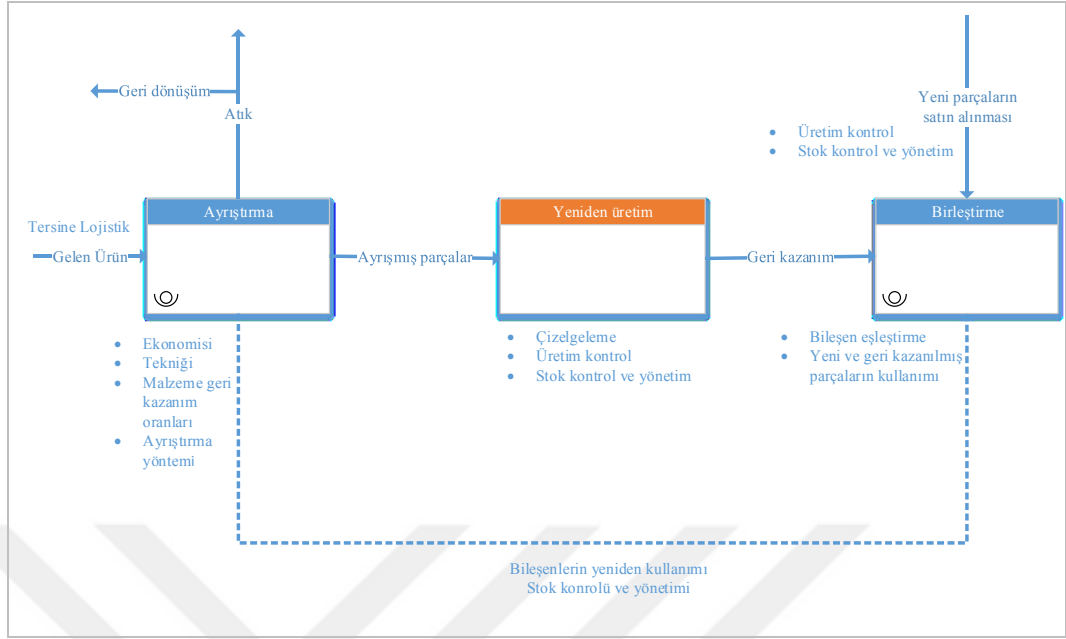
Karmaşık karakteristik	Üretim plânlama ve kontrol aktiviteleri			
	Tahmin	Lojistik	Çizelgeleme ve kontrol	Stok kontrol ve yöntemi
Belirsiz iade zamanı ve miktarı	X	X	X	X
Taleplerin iadelerden karşılanabilmesi				X
İade ürünün ayrıştırılması			X	X
İadelerden malzeme geri kazanım belirsizliği			X	X
Tersine lojistik ağı gereksinimi		X		X
Malzeme eşleştirme kısıtlamalarının karmaşıklığı			X	
Değişken işleme zamanları			X	
Yeniden üretim işlemlerinde malzemelerin stokastik iş planları			X	

Çizelge 2.5’de yer alan “X” ile ilgili karakteristik ile üretim plânlama ve kontrol eylemi arasındaki ilişki, incelenen yayınlardan yola çıkılarak sınıflandırılmıştır.

Yeniden üretimin yapılması, hem bâzı düzenleyici kurallar, hem de ekonomik yararlarından dolayı sürdürülecektir. Yeniden üretim, sürdürülebilir üretimdeki hedeflerin saplanmasında hem çevresel olarak, hem de ekonomik olarak uygun bir yoldur. Bununla birlikte yeniden üretim, ileri yönlü tedârik zinciri süreçlerine göre daha karmaşık olup, tasarımı ve yönetim daha zordur.

Yeniden üretim, kapalı döngü bir üretim sisteminden malzemelerin dönüşümünü ve yeniden şekillenmesini sağlar. Yeniden üretim, malzeme geri kazanımı veya geri dönüşümünden dolayı katma değerli bir geri dönüşüm işlemidir. Tipik bir yeniden üretim sistemi üç alt sistemden oluşur: Ayrıştırma, işleme, yeniden birleştirme. Çalışmadan uyarlanan Şekil 2.4’de; yeniden üretim işlemleri ve bilgi akışları gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada yeniden üretim yapan yöneticiler, en büyük tehdit olarak yeniden üretim süreleri ve işleri yönetebilmek için gerekli olan süreç bilgisinin eksikliğini ifade etmişlerdir. Yeniden üretim yapan işletmelerin çoğunluğu, melez üretim plânlama ve kontrol sistemlerini kullanmaktadırlar. Yeni üretim plânlama ve kontrol yaklaşımlarının geliştirilmesine gereksinim vardır.



**Şekil 2.4 :** Çalışmadan uyarlanan, yeniden üretim işlemleri ve bilgi akışları.

Junior ve Filho (2012), yeniden üretim konusunda, üretim plânlama ve kontrol yazın taramasını yapmışlardır. Yeniden üretimin karmaşıklığını tanımlamaya ve bu konuda gelecekte yapılabilecek çalışmalara ışık tutmaya çalışmışlardır. Temel olarak Guide Jr. ve diğ. (2000) tarafından yapılan yazın taramasını dikkate alarak genişletmeye çalışmışlardır. 2000 ve 2009 yılları arasında Compendex, Emerald, Scholar Google, Scirus ve Scopus veritabanlarında “yeniden üretim” ve “üretim plânlama ve kontrol” terimlerini aramışlar, buldukları 76 adet çalışmayı incelemiş ve sınıflandırmışlardır.

Junior ve Filho (2012), yaptıkları çalışmada daha önce Guide Jr. ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada sunulan karakteristikleri genişletmişlerdir. Tahmin, lojistik, çizelgeleme ve kontrol, stok kontrol ve yönetim faaliyetlerine ek olarak; toplu plânlama, ana üretim çizelgeleme; sipariş sistemi, kapasite plânlama faaliyetlerini sınıflandırmışlardır.

Yapılan çalışmaların çoğunluğu, kurumsal düzeyde yapılan, matematiksel modelleme ve benzetimleri içeren çalışmalardır. Çalışmaların büyük çoğunluğunda sayısal örnekler üzerinde çalışılmıştır. Hiç bir çalışmanın eşzamanlı olarak karmaşık durumlar ile ilgilenmediğini ve daha çok gerçek vaka çalışması yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Morgan ve Gagnon (2013), yeniden üretim işlemlerinin çizelgelenmesi üzerine yazın taramasını sunmuştur. Yalnızca bir ürünlü yeniden üretim sistemlerinin çözümünde ters yönlü MRP yaklaşımının kullanıldığını görmüşlerdir.

Yaptıkları yazın taramasında 2011'e kadar olan yayınları incelemişlerdir. 3 büyük bilimsel yayın elektronik veritabanında (ScienDirect, ProQuest ve EBSCOhost) aramalarını yapmışlar ve yeniden üretim ile ilgili yalnızca 55 yayına ulaşabilmişlerdir. MRP'de kullanılan etkinlik temelli yaklaşımların yerini 1990'larda mâliyet odaklı matematiksel programlama modellerine bıraktığını söylemişlerdir. Yeniden üretim için önerilen değiştirilmiş MRP (MMRP) ve tersine MRP (RMRP) yaklaşımlarını sınıflandırmışlar ve bu yaklaşımlarda kullanılan matematiksel modellerin tiplerini iletmişlerdir. Yeniden üretimdeki karmaşıklıkları ve belirsizlikleri de bir çizelge ile birlikte sunmuşlardır. Çalışmadan uyarlanan bu çizelge, Çizelge 2.6'da sunulmuştur. Çizelge 2.6'da sunulan çalışmalar birden çok belirsizlik içerebilmektedir. Bu çalışma ve Çizelge 2.6'da verilen sınıflandırmada, aslında çalışmanın Guide Jr. ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmayı temel alarak üzerine geliştirme yaptıkları görülmektedir. Çizelge 2.6'da toplam 25 çalışma incelenmiştir. Bu çalışmalardan Barba-Gutiérrez ve Adenso-Díaz in çalışması bulanık tersine MRP (RMRP) yaklaşımını (Barba-Gutiérrez ve Adenso-Díaz, 2009) içermektedir. Yeniden üretim konusunda daha birçok çalışma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Kim ve diğ. (2007)'nin yaptığı ayrıştırma çizelgeleme yazın taraması da yazında vardır.

Wen ve diğ. (2015) yeniden üretim sürecini incelemişler ve yeniden üretimde geri dönüştürülen ürünlerin yeniden üretim oranı, yeniden işleme mâliyetleri, yeniden üretim sürecinde kullanılan geri dönüştürülmüş malzeme miktarı gibi birçok belirsizliğin sözkonusu olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında bu belirsizlikler altında bir yeniden üretim plânlama modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Geri dönüşüm, yeniden işleme ve yeniden üretim kapasite kısıtları, belirsiz yeniden işleme mâliyetleri, belirsiz yeni malzeme satınalma miktarları ve belirsiz müşteri talebini dikkate almışlardır.

Toplam üretim mâliyetini enküçüklemek için yarar fonksiyonu yaklaşımı, sinir ağları eğitimi ve virüs parçacık algoritmasını bir arada kullanan melez bir zeki algoritma tasarlayarak, iki aşamalı bir belirsiz yeniden-üretim üretim plânlaması modeli

geliştirmişlerdir. Bir benzetim ile de modellerinin geçerliliğini kanıtlamay çalışmışlardır.

**Çizelge 2.6 : Çalışmadan uyarlanmış yeniden-üretim karmaşıklığının analizi ve sınıflandırılması.**

Karmaşıklıklar	Çalışma sayısı	Stokastik içeren çalışma	Bulanıklık içeren çalışma
Belirsiz pazar talebi	5	4	
Belirsiz iade zamanı ve miktarı	10	9	
Belirsiz tedârik kaynağı	1		1
Belirsiz tedârik miktarı	2	1	
Belirsiz ayırıştırma süreleri	1	1	
İadelerde geri kazanım oranı belirsizliği	5	5	
Belirsiz yeniden-üretim iş plânı	7	7	
Belirsiz yeniden-üretim işleme süreleri	11	11	
Tersinde lojistik ağı gereksinimleri	-		
Malzeme eşleştirme kısıtlamalarının karmaşıklığı	3		
Ürün değer	4	1	
Farklı ürün yapılarının etkisi	3	2	
Diğer (depolanan ve kaybedilen miktarlar gibi)	2		1

Xiong ve diğ.(2013) kapalı döngü bir tedârik zincirinde bütünleşik olmayan bir üretici ve onun ana tedârikçisini içeren bir üretim/yeniden-üretim sistemi üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca yeniden üretim işleminin üreticide veya tedârikçide yapılmasının mâliyeti üzerine sayısal bir inceleme ve modelleme de yine bu çalışmanın devamı olarak Xiong ve diğ. (2016) tarafından geliştirilmiştir.

Bu sistem içerisinde yeniden üretim sürecinin ekonomik ve çevresel etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Diğer yayınların tersine olarak, yeniden üretimin, parçaların tümü üzerinde uzmanlığı olmayan, bütünleşik olmayan üreticiler için bâzen geleneksel üretime göre mâliyetinin daha da çok olup kârlılığı azaltabileceğini göstermeye çalışmışlardır.

### 2.3.1.1 Üretim/yeniden üretim ortamında toplu üretim plânlama ve ana üretim çizelgeleme

Corominas ve diğ. (2012), hem üretim hem de yeniden üretimi bir arada ele alan birleşik bir toplu üretim plânu üzerinde çalışmışlardır. İnceledikleri problem kesikli bir üretim ortamının toplu üretim plânlamasıdır. Çalışmada dikkate alınan durumlar ve kabuller şunlardır:

- Kapasite kısıtları, çalışma saatleri ve nakit durumu, borç ve alacak için faiz ödemeleri ve kazançları ile birlikte dikkate alınmıştır.
- Depoların kapasitesi sınırlıdır.
- Çalışan sayısı sabittir. Fazla çalışma belli sınırlar ile yapılabilir.
- Üretim, çalışan ve depo mâliyetleri dikkate alınmıştır.
- Nakit finansman gereksinimi bir alacak hesabı ile yönetilmiştir. Bu hesap ile varolan borç bakiyesi kontrol edilir. Verilen alacaklar için bir ücret kesilir ve bakiye üzerinden faiz hesaplanır.
- Talep tahminleri vardır.
- Talep hemen karşılanır veya kaybedilir. Kaybedilen talep için bir mâliyet vardır.
- Geri kazanılan malzemelerin oranı, önerilen fiyatın bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu konuda gözlemsel bir bilgi yoktur. Fakat artan sürekli olduğu kabul edilmiştir.

Amaç net kazancı ençoklamaktır. Satışlar, üretim ve yeniden üretim mâliyetleri, stoklama ve fazla çalışma mâliyetleri, talep kaybı mâliyeti ve borç alacak bakiye faizleri dikkate alınmıştır. Geri kazanılacak ürünlerin durumları birbirinden farklı olabilmektedir. Geri kazanılabilecek malzemelerin oranı, kullanıcıya önerilen fiyat ile ilişkilidir. İki bağımsız üretim sistemi vardır. Bunlarından biri tümüyle üretim yaparken, diğeri de tümüyle yeniden üretim yapmaktadır. İki sistemin nakliye mâliyetleri aynıdır. Her plânlama döneminde yeniden üretime gelen ürün adedi ve bunların durumu modelde sağlanmalıdır. Yeniden üretim sisteminin etkinliği, gelen kullanılmış ürünlerin durumu ile ilişkilidir.

Doğrusal olmayan bir matematiksel model sunulmuş ve sonrasında parçalı fonksiyonlar doğrusallaştırılmıştır. Doğrusal olmayan bir yapıda olmasının nedeni, geri dönüştürülen ürünlerin oranı ve onlara önerilen fiyat arasındaki ilişkinin

tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Amaç fonksiyonu, plânlama kararını etkileyen mâliyetleri içermektedir. Kısıtlar şu şekildedir:

- Üretim ve yeniden üretim kapasiteleri.
- Kullanılmış ürünler ve yeni ürünler için stok dengeleri.
- Talep ve kaybedilen talep ile üretilen ürünler ve yeniden üretilen ürünler ve bunların stoklarının dengesi.
- Depo kapasitesi kısıtı.
- Üretim ve yeniden üretim sistemleri için fazla mesai/çalışma kapasiteleri.
- Nakit bakiye kısıtları ve mâliyetleri.
- Değişkenlere ait değer aralıklarına ilişkin kısıtlar.

Ayrıca önerilen fiyatlama fonksiyonu, tanım olarak doğrusal olmayan bir yapıda olduğu için, doğrusallaştırma amacıyla parçalı doğrusallaştırma yaklaşımı kullanılmıştır. Önerilen model ile bir sayısal örnek üzerinde çözümleme yapılmış ve sonuçlar gösterilmiştir. Çalışmanın özgün katkısının tanımlandığı, müşterilerden alınan kullanılmış ürünlere ilişkin tedârik fonksiyonu olduğu ifade edilmiştir. Ancak bu yalnızca bir toplu üretim plânlama modelidir ve malzeme gereksinimlerini hesaplamamaktadır.

Bu tez çalışması; dikkate aldığı durumlar ve yaptığı kabuller ile, içerik olarak bu çalışmada dikkate alınan durumlara ve kuyumculuk üretimi gereksinimlerine en çok benzeyen çalışmadır, ancak yalnızca toplu üretim plâni modelini içerir, ana üretim çizelgeleme ve malzeme gereksinim plânlaması yoktur. Aslında gereksinimleri bu kadar eş dilde tanımlayan bir çalışma bulmak, bu tez çalışmasında dikkate alınan gereksinimlerin ve kabullerin teyididir. Bu çalışma, tez çalışmasındaki modellemeye başlanmasından sonra yayınlanmış olan bir çalışmadır.

Son 20 yılda tersine lojistiğin üretim ile bütünleşik olarak ele alınması üzerine artan bir ilgi ile araştırmalara yönelinmiş durumdadır (Polotski ve diğ., 2015). Polotski ve diğ. (2015), çalışmalarında, melez bir üretim/yeniden-üretim sistemi için üretim hazırlık sürelerini dikkate alarak, üretim ve yeniden üretim süreçleri arasında gerekli geçiş kararlarının mâliyetini enküçükleyecek şekilde alıp en uygun üretim çizelgelemeyi yapabilecek dinamik programlama yaklaşımını kullanan bir üretim çizelgeleme modeli önermişlerdir. Modelde örnek olarak ele alınan problem, bir iş istasyonu ve bir ürüne ait üretim çizelgeleme problemidir. İlgili iş istasyonu, üretim ve

yeniden üretim durumları arasında hazırlık sürelerini ve mâliyetlerini dikkate alarak geçiş yapabilmektedir.

Chen ve Abrishami (2014), üretim/yeniden-üretim ortamında üretim plânlama için bir matematiksel modelleme üzerinde çalışmışlar ve çözümü için de Lagrange gevşetmesi ile problemin alt problemlere ayrıştırılıp çözülmesini içeren bir yaklaşım kullanmışlardır.

### **2.3.1.2 Üretim/yeniden üretim ortamında MRP çalışmaları**

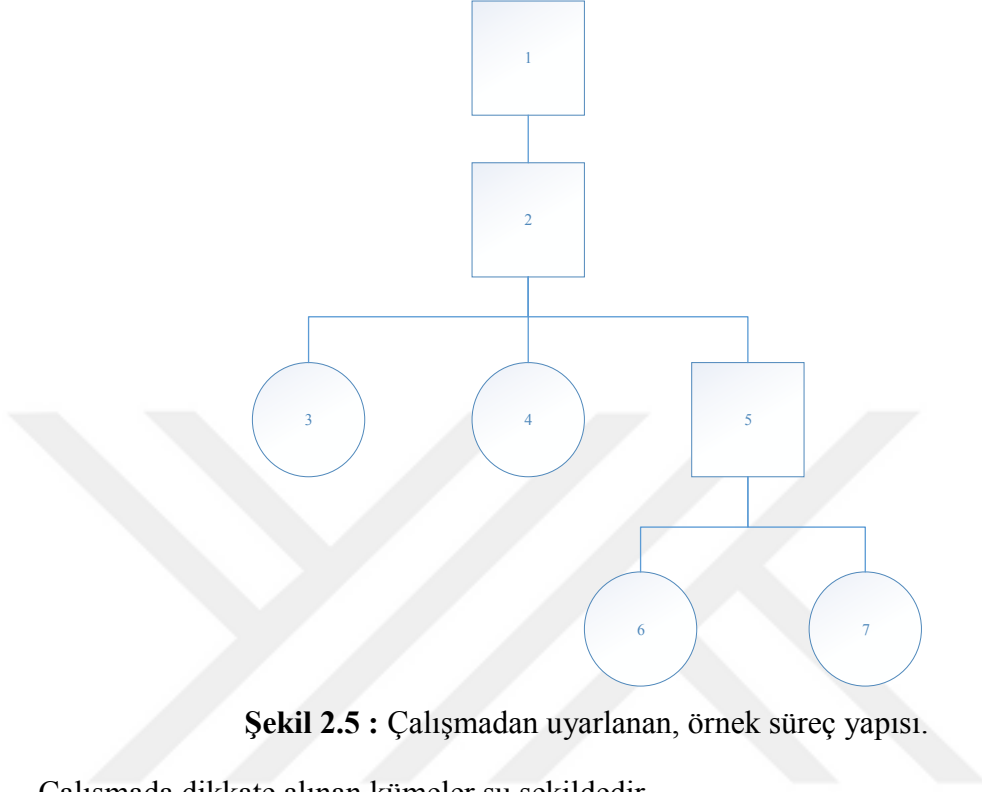
Depuy ve diğ. (2007), çalışmalarında yeniden işlemeyi içeren üretimler için bir üretim plânlama yöntemi önermişlerdir. Bu çalışmada yeniden işleme sürecinde işlem süresi, gelen iadeler gibi konularda olasılıklar içeren bir MRP yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada ayrıca bir vaka çalışması sunmuşlardır. Burada önerilen yaklaşım aslında stokastik bir malzeme gereksinim plânlamadır.

MRP, geleneksel üretim ortamlarında üretim plânlama için kullanılan yaygın bir yaklaşımdır. MRP sisteminin ana amacı, istenen plânlama dönemi için bir üretim çizelgelemesi oluşturmak, bunun için de bir üretim plâni hazırlamaktır. MRP 1960'larda parti miktarlarının belirlenmesi için kullanılan yaygın bir yöntem olmuştur. MRP'de genel olarak belli kabuller yapılmaktadır. Bunlar; deterministik talep, ürün ve hazırlık süreleridir. Ancak gerçek yaşam bununla birlikte belirsizlikler içerir. Bu belirsizliklerin MRP sürecinde dikkate alınması, bu yaklaşımı çok karmaşık bir duruma getirebilir. MRP sistemleri, en başlarda tek aşamalı parti miktarı plânlama için kullanılmışlardır. Sonrasında çok aşamalı parti miktarı hesaplama ile sürdürülmüştür. Modeller en çok beş kademe ile test edilmiştir. Ancak gerçek durum yine daha çok aşama içerir. Ekonomik sipariş miktarı gibi deterministik bazı modeller de sunulmuştur. Guide (1997) tarafından kapasite modellemesi de, yeniden üretim ortamında MRP ile birlikte yapılmıştır.

Çalışmada dikkate alınan problemde kullanılmış ürünler, belirli bir tedârik zamanlaması ile ulaşmaktadır. Ulaşan kullanılmış ürünler; “iyi”, “onarılabilir” ve “kötü” olarak sınıflandırılmaktadır. Durumu “iyi” olan yeniden kullanılmış ürünler hemen yeniden-üretilmiş bir ürün şeklinde üretilebilir. Durumu “onarılabilir” olan ürünler ek işlemler gerektirir. Durumu “kötü” olan ürünler ise atık olurlar. Ürün ağacı, çok aşamalı birleşmelerden oluşur. Her aşamada test yapılır ve bu testlerin başarılı olduğu kabul edilmiştir. Şekil 2.5'de çemberler bileşenleri, kareler ise “alt birleşim”,



“birleşim” ve “deneme aşamalı” gibi üretim kademelerini göstermektedir. Son süreç, her zaman birinci aşama olarak gösterilen süreçtir. Bu, son ürünün çıkışını gösterir. Kalan süreçler artan numaralar ile numaralandırılmıştır.



**Şekil 2.5 :** Çalışmadan uyarlanan, örnek süreç yapısı.

Çalışmada dikkate alınan kümeler şu şekildedir.

- Bileşen kümesi
- Ara ve son üretim kademeleri
- İşlem kümesi
- Üretim içerisinde işlem sıraları ve işlemlerin öncelik/sonralık ilişkileri

Bu ana yapı ve kümeler belirlendikten sonra matematiksel programlama modeline ilişkin değişken ve parametrelerin tanımı yapılmıştır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- İşlem süreleri dönem olarak
- Talep edilen ürün miktarı
- Başlangıçta eldeki kullanılmış ürün
- Bileşenlerden dönemsel yeni tedârik miktarları
- Başlangıçta üretim içi ile ilgili işlemlerdeki stoklar
- Kullanılmış ürünlerin durumlarına ait olasılıklar
- Yeniden işleme sürelerinin olasılıkları

- Yeniden kullanılan ürün geliş plânlaması

Bu durumlar dikkate alınarak, bir programlama dili ile program yazılıp önerilen matematiksel model bu programa uyarlanmıştır. Geliştirilen bu yazılım ile üzerinde çalışılan vakaya ilişkin problemin çözümü yapılmıştır.

Önerilen modelin bilgi ve işlem çıktıları şunlardır:

- Her dönem için beklenen son ürün miktarları
- Talebin karşılanma olasılığının düşük olduğu dönemlerin saptanması
- Satın alınması gerekli yeni bileşenlerin miktarının yokluk olmaması için hesaplanması ve tedârik çizelgesinin sağlanması

Aslında bu çalışma temel bir yeniden-üretim plânına çalışması olarak düşünülebilir.

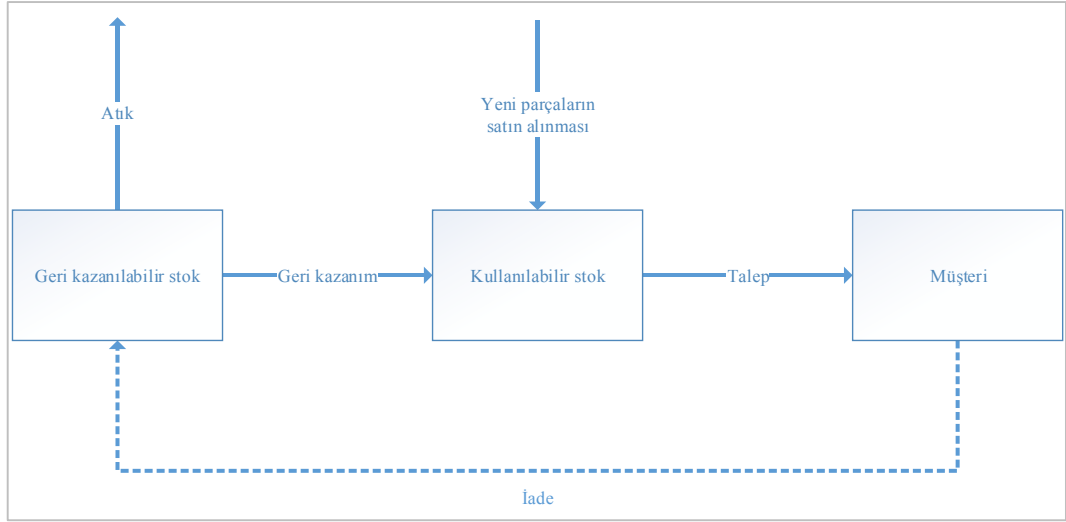
Raupp ve diğ. (2015), yeniden üretime gelen kullanılmış ürünlerin ayrıştırılması ve gerekli parçaların kullanılması veya hurdaya çıkarılmasını da içeren bir üretim-yeniden üretim ortamında matematiksel modelleme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma yalnızca kullanılmış üründen yeniden kullanımlarını içermektedir.

### **2.3.1.3 Üretim/yeniden üretim ortamında stok politikası ve parti büyüklüğü belirleme çalışmaları**

Omar ve Yeo (2014) çalışmalarında talebi zamana bağlı olarak sürekli değişen bir ürün için sınırlı plânlama döneminde hem yeni, hem de onarılmış ürünler ile talebi karşılayan bir stok sisteminin modellemesini yapmışlardır. Bu çalışmada müşteriden gelen eski ürünlerin onarımı ve tedârik yoluyla yeni ürünlerin üretilmesi dikkate alınarak, her zaman aralığında çoklu üretim ve onarım işlemleri modellenmiştir.

Yeni ürünler, tek bir tip hammadde ile üretilmektedir ve bu durum kuyumculuk üretimine benzemektedir. Temel amaç, mâliyet enküçüklemesi ile üretim ve yeniden üretimi birlikte sağlamaktır. Şekil 2.6'da, önerilen stok modelinde dikkate alınan malzeme akışlarına ilişkin çerçeve sunulmuştur.

Aslında bakıldığında sunulan bu çerçevenin, Guide Jr. ve diğ. (2000) tarafından sunulan Şekil 2.12'deki yeniden üretim işlemleri ve bilgi akışları çerçevesine benzerliği görülebilir.



**Şekil 2.6 : Çalışmadan uyarlanan, malzeme akışları.**

Çalışmada dikkate alınan kabuller ve mâliyet parametreleri, maddeler hâlinde şu şekildedir:

- Tek bir malzemelik stok sistemi, belli bir plânlama dönemi için de dikkate alınmıştır.
- Talep fonksiyonu belirlidir ve zamanın bir fonksiyonudur.
- Üretim ve yeniden-üretim oranları sonlu ve sabittir.
- İade oranı doğrusal olarak talep oranı ile ilişkilidir.
- Tüm kullanılmış ürünler onarılıp yenisi gibi olmuşlardır.
- Salt bir malzeme, hammadde olarak dikkate alınmıştır. Bir sipâriş alınınca hemen yenileme yapılmıştır.
- Her zaman aralığında üretim süreci ile hammadde sipârişleri, yenileme süreci ile tek hammadde malzeme gereksinimi dikkate alınmıştır.
- Son dönemdeki plânlama için kullanılmış ürünlerin yenilenmesi dikkate alınmamıştır.
- Plânlama döneminde yokluk durumu dikkate alınmamıştır.
- Dikkate alınan mâliyet parametreleri şu şekildedir:
  - Her üretim içi hazırlık mâliyeti
  - Her yenileme için hazırlık mâliyeti
  - Hammadde malzemesi için sipâriş mâliyeti
  - Satılabilir ürün için stokta tutma mâliyeti
  - Kullanılmış ürünler için stokta tutma mâliyeti
  - Yeni ürünler için birim üretim mâliyeti

- Kullanılmış ürünler için birim onarım mâliyeti

Aslında iade miktarı, talep miktarının bir oranı olarak düşünüldüğü için bu mâliyetler dikkate alınmayabilir ancak burada başka modellerle kıyaslanabilmesi için kullanılmıştır. Bunun yanında dikkate alınan sabit ve değişkenler şu şekildedir:

- Plânlama dönemi adedi
- Bir yeni ürün üretmek için gerekli hammadde miktarı (hammadde olarak tek bir malzeme dikkate alınmıştır)
- Üretim için gerekli plânlama dönemi
- Yeniden üretim için gerekli plânlama dönemi
- Başlangıçtaki kullanılmış malzeme miktarı

Çözüm için bir sayısal algoritma sunulmuş ve bir çözücü paketinden yararlanılmıştır. Sayısal örnekler üzerinde de çözüm yapılarak modelin uygulanabilirliği gösterilmeye çalışılmıştır. Örnekler üzerinde yapılan duyarlılık analizleri ile de karar değişkenlerinin etkileri analiz edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak modelin en iyiliği ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Yalnızca yeniden üretim oranı için bir stok modeli sunulmaya çalışılmıştır.

Çalışmada ilgilenilen problem tek malzeme üzerinde çalıştığı için bu çalışmada dikkate aldığımız problem ile benzerlik göstermek ile birlikte, dikkate aldığımız problemin benzerini yalnızca stok politikası plânlaması olarak dikkate almıştır.

Li ve diğ. (2009a), dinamik parti büyüklüğü belirleme problemini, ürün geri dönüşleri ve yeniden üretimi ile verilen talepler ve iadelerin bir plânlama dönemi boyunca yeni ürünlerin üretimi ve/veya iadelerin yeniden işlenmesi yoluyla her dönemde talebin karşılanması ve toplam mâliyetin enazlanması için bir algoritma sunmuşlardır.

Üretim plânlama ve stok kontrolü ise, yeniden üretim sistemleri için karmaşık ve belirsizlikler içeren bir alandır. Li ve diğ. (2009a), bu çalışmada yeniden üretim sistemlerinde üretim plânlamada dinamik parti büyüklüğü belirleme için stokastik dinamik programlama temelinde bir model önermişlerdir. Modelde talep ve iade sınırı, bir plânlama dönemi için stokastik olarak ele alınmıştır. Amaç toplam mâliyeti enazlamak için her plânlama döneminde yeniden üretim miktarlarını hesaplamaktır. Çalışmada dikkate alınan toplam mâliyet, yeniden-üretim mâliyetini, iade ve yeniden üretilen ürünlerin stokta tutma mâliyetini ve sipariş erteleme mâliyetini içermektedir.

Çalışmalarında yeniden-üretim sistemlerinin belirsizliklerini şu şekilde sınıflandırmışlardır:

- Tedârik kaynaklarının belirsizliği: Kullanıcılardan gelen kullanılmış ürünlerin tersine lojistiğinin yönetilmesi.
- İadelerin miktarı ve zamanındaki belirsizlikler: Bu belirsizlik, daha önce Morgan ve Gagnon (2013) ile Guide Jr. ve diğ. (2000) tarafından yapılan yazın taramalarında tanımlanmıştır. Bu çalışmada da değinildiğini görüyoruz.
- Kullanılmış ürünlerin kalitesindeki belirsizlik: Bu durumun Corominas ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada da dikkate alındığını ve kullanılmış farklı durumları için mâliyetlerin değişeceğini gözönüne almışlardır.
- Kullanılmış ürünlerin çeşitliliğindeki belirsizlikler.

Bu çalışmada belirtilen belirsizliklerin çok daha ayrıntılısı önceki çalışmalarda tanımlanmıştır. Belirsizliklerin yeniden üretim sürecine en büyük etkilerini şu şekilde sınıflamışlardır:

- İadelerin miktarı ve zamanındaki belirsizlikler ile ilgili bunların stoklanması ve yeterli miktara erişince yeniden üretime başlanması gerektiğini iletmişlerdir. Üretim sürekliliği için bunun gerekli olduğunu belirtmişlerdir.
- Kullanılmış ürünlerin çeşitliliği ise standardizasyon konusunda sıkıntılar oluşturmaktadır.
- Kullanılmış ürünlerin satınalma mâliyetleri, yeniden işleme mâliyetleri ile birlikte belirsiz bir mâliyetler bütünü oluşturmaktadır.

Çalışmada bir ürün için çok dönemli yeniden üretim sistemine ilişkin üretim plânlama problemi incelenmiştir. Omar ve Yeo (2014), çalışmasında Şekil 2.6'daki çalışmadan uyarlanan, malzeme akışları çerçevesinin bir benzeri, hattâ neredeyse aynısı olan bu çalışmada, tersine lojistik stok kontrol çerçevesi olarak sunulmuştur. Çalışmada yine aynı şekilde iki stok ele alınmıştır: Bunlar kullanılmış ürün ve yeniden üretilmiş ürün stoklarıdır. Çalışmada dikkate alınan kabuller ise şunlardır:

- Talep ve iadeler bağımsız stokastik değişkenler olarak ele alınmışlardır.
- Yeniden üretim mâliyetleri, belirli ve doğrusal olarak ele alınmıştır.
- Yeniden üretim hazırlık süreleri stokastiktir. Yeniden üretim sürecinin aynı dönem içerisinde başlayıp bittiği kabul edilmiştir.

- Kullanılmış ürünlerin geri dönüştürülen oranı stokastik olarak kabul edilmiştir.

Tek ürünlü yeniden-üretim plânlama problemi için dinamik programlama kullanılmıştır. Durum olarak, kullanılmış ürün ve yeniden üretilmiş ürünlerin durumu tanımlanmıştır ve bunun üzerine geçiş durumu eşitsizlikleri tanımlanmıştır. Mâliyet olarak sadece yeniden üretim, stoklama ve talep karşılayamama mâliyetleri dikkate alınmıştır. Kısıt olarak yalnızca, yeniden-üretilmiş ve kullanılmış ürün depoları için depolama kapasitesi vardır.

Model örnek bir sayısal problem üzerinde uygulanmıştır. Talep ve iade için basit bir dağılım kullanılmıştır. Sonuçlarda tahminlerin durum geçişlerinin önemli olduğu ve iyi yapılması gerektiği belirtilmiştir. Seçilen plânlama dönemlerinin uzunluğu, plânlama etkinliğini değiştirmektedir. Önerilen modelin bir işletmede uygulanabileceği ama mükemmellikten çok uzak olduğu belirtilmiştir. Model yalnızca yeniden-üretimi içermektedir. Modelin, üretim/yeniden-üretim için kullanıldığında çalışmadığı ve modelin geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Wei ve diğ. (2011) stok ve üretim plânlama problemini belirsiz talep ve iade altında, iadelerin yeniden işlenmesini dikkate alan bir stok kontrol modeli önermişlerdir. Çözüm için sağlam bir eniyileme modeli sunmuşlardır ve bir örnek vermişlerdir. Sonuç olarak, çözümün uygulanması için sayısal örnekler kullanmışlardır. Burada sunulan sistem yapısı da yine aynı şekilde Omar ve Yeo (2014)'nun çalışmasında sunulan Şekil 2.6'daki çalışmadan uyarlanan, malzeme akışları çerçevesinin bir benzeri, hattâ neredeyse aynısı gibidir.

Problem sınırlı bir plânlama dönemine aittir. Kullanılmış ürünler ve yeniden üretimi içeren çok dönemli stok kontrol ve üretim plânlama problemidir. Bu problemde kullanılan mâliyetler ve model ifadeleri neredeyse Omar ve Yeo (2014) ve Li ve diğ. (2014)'de kullanılanların aynısıdır. Yalnızca çözüm için bir başka çalışmada önerilen güçlü (robust) eniyileme yaklaşımını uyarlamışlardır. Yaklaşım problemin dualinden yola çıkarak problemi çözmeye dayanmaktadır. Problemde belirsizliklerin belli sınırlarda olması gerektiği tanımlanmıştır. Problem bu duali ile birlikte doğrusal programlama ve yardımcı dual modeller ile birlikte çözülmüştür. Ulaşılan sonuçlar şu maddeler ile özetlenmiştir.

- Güçlü eniyileştirme yaklaşımı melez üretim/yeniden-üretim sistemleri için belirsizliklere ait olasılıkları istenen aralıklarda tutarak plânlama için karar vermeye yardımcı olmaktadır.
- Bu örneğe göre elde bulundurma mâliyeti ve elde bulundurmama (stok yokluğu) mâliyetinin, en iyi çözüm üzerinde etkili oldukları görülmüştür. Ancak bu durumun gerçek veriler ile daha iyi incelenmesi gerekir.
- Olanaklı ise karar vericinin yönlendirmesi ile belirsizlikler incelenerek çözüm bulunmalıdır.

Bu çalışma, çok kısıtlı bir şekilde belirsizliklerin yalnızca üst ve alt limitlerini dikkate alarak doğrusal bir dual programlama ile çözüm sunmuştur. Yeni çalışmalarda belirsizlik durumlarının farklı modelleme yöntemleri ile incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Aslında bu tez çalışmasında yapılan, belirsizliğin karar verici tarafından bulanık ifâdeler ile tanımlanması ve çözümün etkileşimli olarak karar verici ile birlikte elde edilmesidir.

Li ve diğ. (2014), çalışmalarında ürün iadeleri ve yeniden üretimi ile dinamik parti miktarı problemini ele almışlardır. Problem mâliyet tanımlamalarından dolayı çözümünü zor bir problem olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada mâliyet olarak Omar ve Yeo (2014) tarafından sunulan çalışmadaki mâliyetler kullanılmıştır. Kullanılan karar değişkenleri de neredeyse bire-bir aynıdır. İki tane 0-1 tamsayılı değişken kullanılmıştır. Bunlar ilgili dönemde üretim ve yeniden-üretim olup olmadığıdır. Mâliyet hesaplaması için karışık tamsayılı bir programlama modeli sunulmuştur. Problemin çözümü için güçlü blok-zinciri temelinde tabu arama algoritması önerilmiştir. Çözüm için sayısal örnekler kullanılmıştır. Aslında bu problemin çözümü için matematiksel programlama da kullanılabilir gözükmekle birlikte, yazarlar bir algoritma kullanmayı uygun görmüşlerdir.

### **2.3.2 Geri dönüşüm ve/veya yeniden üretim ortamında MRP çalışmaları**

Geri dönüşümleri içeren MRP çalışmalarına baktığımızda, kapsam olarak “ters yönlü MRP” veya “genişletilmiş MRP” şeklindeki başlıklar altında değinildiğini görüyoruz.

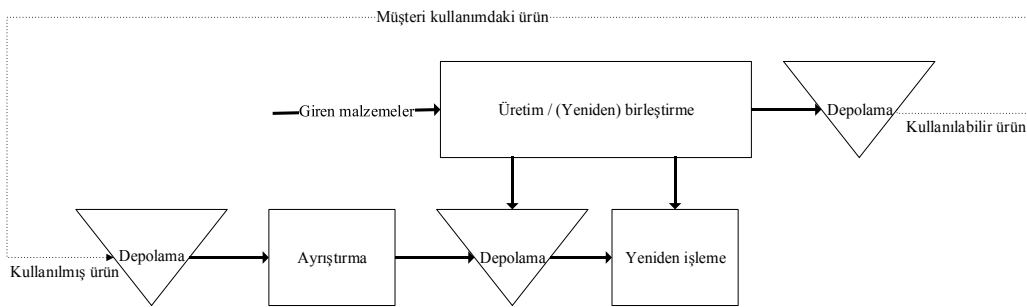
Örnek olarak Kovačić ve diğ. (2011) ile Barba-Gutiérrez ve diğ. (2009)’nin çalışmalarını gösterebiliriz. Kovačić ve diğ. (2011) çalışmalarında geri dönüşüm

hareketlerine ait malzeme akışlarının girdi-çıkıtı yöntemi ile tanımlanmasını yapmaya çalışmışlardır. Barba-Gutiérrez ve diğ. (2009) ise tersine lojistik içerisinde MRP kavramını işlemişlerdir.

Gupta ve Taleb (1994), tersine MRP için geliştirilmiş bir malzeme gereksinim hesaplama algoritması sunmuşlardır. Bu konudaki en öncül çalışmalardan birinin, Gupta ve Taleb (1994) tarafından yapılan tersine lojistiği içeren MRP algoritmasının geliştirilmesi için yapmış oldukları bir çalışma olduğu görmekteyiz.

Inderfurth ve diğ. (2003) ürün geri kazanım sistemleri ve üretim plânlamadaki yeri üzerine çalışma yapmışlar, yapılan çalışmaları sınıflandırmışlar ve örnek vakalar sunmuşlardır. Inderfurth ve diğ. (2003) bu çalışmalarında, o yıla kadar olan tüm çalışmaları gözden geçirerek ilgili başlıklar altında sınıflandırmışlar, bunları analiz etmişler ve kendi çalışmalarını da bunlarla birlikte sunmuşlardır. Çalışmalarında temel olarak yeniden üretimi açıklamışlar, ayrıştırma ve geri dönüşüm plânlama, ayrıştırma ve yeniden üretim için üretim kontrol, bütünleşik üretim ve yeniden üretim plânlama ve yeniden işleme, parti büyüklüğü belirleme başlıkları altında kendi çalışmalarını sunmuşlardır.

Yeniden üretim sistemini, kapalı döngü bir üretim sistemi olarak tanımlamışlardır. Kullanılabilir ürün ve kullanılmış ürünün yeniden üretime geri dönüşü ile kapalı bir döngü oluşturur. Şekil 2.7'de geri kazanım sisteminde ayrıştırma, yeniden işleme, üretim ve birleştirme süreçleri ile aralarındaki stoklama sürecini göstermişlerdir.



**Şekil 2.7 :** Çalışmadan uyarlanan, ürün geri kazanım sistemleri şeması

Alaykırın ve Güner (2013) çalışmalarında üretim için kullanılan geri dönüşümün plânlanmasını amaçlayan tersine tedârik zinciri ağ tasarımı için bir matematiksel model önermişlerdir.

Ayres (1997)'in makalesi metal geri dönüşümünün ekonomisi üzerine genel bir çalışmadır. Kuyumculukta da önemli bir konu olan fire geri dönüşümleri ile ilgilidir.



Potansiyel olarak enerji ve sermayedeki kazanımlar önemlidir. Bundan dolayı geri dönüşüm önem arz eder. Sanayideki geri dönüştürülebilir metaller için etkin toplama ve lojistik sistemleri gereklidir. Artan enerji ve diğer kaynak mâliyetleri ile birlikte artan atık uzaklaştırma mâliyetleri de önemlidir.

Şekil 2.8’de geri dönüşüm politikası ve mâliyet belirsizlikleri üzerine etkisi gösterilmektedir. Ayrıca bu çalışma, yeniden üretimi ve geri dönüşümleri bir matematiksel model şeklinde ele alan bir çalışmadır. Geri dönüşüm kaynakları olarak üretim içi ve dışından ilgili kaynaklar birlikte dikkate alınmıştır. Ayrıca yeniden üretim ve geri dönüşüm kararının verilmesi de mâliyet açısından MRP modeline eklenmiştir.



**Şekil 2.8 :** Çalışmadan uyarlanan, geri dönüşümün mâliyet, etkinlik ve talep üzerine etkisi.

### 2.3.2.1 Yeşil MRP

Melnyk ve diğ. (2001), atık yönetimini üretim plânlama içerisinde dikkate alan bir MRP yöntemi yaklaşımı sunmuşlar ve bunu Yeşil MRP olarak adlandırmışlardır. Sundukları yaklaşımı Amerikan otomotiv üreticisinde denemişlerdir. Çevreye karşı sorumluluk sahibi üretime ilgi artmaktadır. Bu konu, çevreye duyarlı üretim (ERM) olarak adlandırılmaktadır. Atık yönetiminin MRP içerisinde ele alınması ile Yeşil MRP kavramı ortaya çıkmıştır. Çevresel atıklar dört boyutta ele alınabilir. Bunlar atıkların kaynakları, depolanması, yok edilmesi ve etkileri olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma ile ilgili depolama, yok etme ve etki ilişkileri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

**Çizelge 2.7 : Çalışmadan uyarlanmış çevresel atıkların analizi.**

Kaynaklar	Depolama	Yok etme	Etki
Üretim atıkları	Hemen yok etme	Kurtarma	Tip
İşlem atıkları	Geçici depolama	Ön işleme	Miktar
Süreç atıkları		Ortadan kaldırma	Süre
Hurda			Kapasite
			Mâliyet

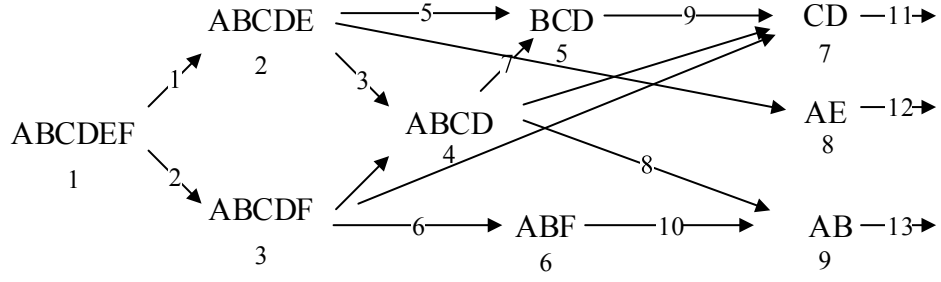
Önerilen modelin geliştirilmesinde, öncelikle değiştirilmiş bir ürün ağacı yaklaşımı kullanılmıştır. Bu ürün ağacında, her aşamada ortaya çıkan atıklar da tanımlanmıştır. Atık bilgisi de, değiştirilmiş BOM üzerinde her aşamaya karşılık gelen bir atık ürün ağacı (BOW) ile yönetilir. Bu, aynı şekilde gerekli kaynak veya işçilik gibi hesaplanır. Ayrıca her aşamada ortaya çıkan hurdalar da dikkate alınır.

### **2.3.2.2 Tersine MRP ve geri dönüşüm**

Barba-Gutiérrez ve diğ. (2009) ise tersine lojistik içerisinde tersine MRP kavramını işlemişlerdir. Çalışmada bileşenlerin ayrıştırılması için bir çizelgeleme algoritması sunmuşlardır. Çalışmalarında belirsizlik talep durumu içinde bulanık tersine MRP (F-RMRP) yaklaşımı sunup iki yaklaşımı sayısal örnekler üzerinden birbirleri ile karşılaştırmışlardır.

Ürün geri kazanım sistemlerinde temel bir sorun, ayrıştırma sürecinin plânlanması ve çizelgelenmesidir. Bununla ilgili yazında bazı çalışmalar vardır. Ayrıca kapasite kısıtları dikkate alındığından, bu konu için sunulan klasik MRP yöntemlerini içeren doğrusal programlama da kullanılır.

Inderfurth ve diğ. (2003), çalışmalarında bu konulara ilişkin temel bilgileri sunmuşlardır. Ayrıştırma çizelgeleme için ayrıştırma grafiğini kullanarak bir örnek sunmuşlardır. Yine sundukları modelde amaç kârın ençoklanmasıdır. Kısıt olarak ise ayrıştırma grafiğindeki boğumlara ait kısıtları vermişlerdir. Örnek bir ayrıştırma grafiği Şekil 2.9'da verildiği gibidir. ABCDEF ana ürününün hangi parçalara ne şekilde ayrıştırılabileceği ifade edilmektedir.



**Şekil 2.9 :** Çalışmadan uyarlanan, ürün ayrıştırma ağ grafiği

Bu ayrıştırma ağındaki boğumlar dikkate alınarak, ayrıştırma plânlama için bir tamsayı doğrusal matematiksel programlama modeli örneği aşağıda sunulmuştur. Verilen ayrıştırma ağ grafiğinde  $j$  ayrıştırma işlemi ve  $i$  alt ağaç olmak üzere  $T_{ij}$  ilgili ayrıştırma matrisine ait elemanları ifâde eder. İndis  $j$ , yukarıdaki örneğe göre 0 ve 13 arasındaki ayrıştırma işlemlerini ifâde eder. İndis  $i$  ise ayrıştırılabilir alt bileşenleri ifâde eder, yukarıdaki örneğe göre 15 bileşen sözkonusudur. 9 bileşen grafikte verilen bileşenler olmak üzere son ayrıştırılan temel 6 bileşen ile toplam 15 bileşen olmaktadır.  $T_{ij}$ , geçiş matrisi ise  $15 \times 14$  boyutlu bir matris olur.  $r_i$ , ifadesi ilgili alt bileşenin satılmasından elde edilen geliri,  $c_j$  ifadesi ise ilgili ayrıştırma işlemine ait mâliyeti ifâde eder.  $x_j$ , ifadesi ise, ilgili ayrıştırma işleminin varlığını 0 ve 1 değerleri ile ifâde eder.

Kârı enbüyükle  $\Pi$  :

$$\Pi = \sum_i \sum_j (T_{ij} \cdot r_i - c_j) \cdot x_j \quad (2.4)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j T_{ij} \cdot x_j \geq 0 \quad \forall i \quad (2.5)$$

Başlangıç sabitleri:

$$x_0 = 1 \quad (2.6)$$

Örnek bir  $T_{ij}$  matrisindeki bir satıra ait değer aşağıda verilmiştir:

$$[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ -1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$T_{ij}$  matrisindeki bir ayrıştırma işleme ait yukarıda verilen değerlerde ilgili ayrıştırma işlemi ile oluşan alt bileşen 1, imha edilen alt bileşen ise -1 ile gösterilir. Örnek bir  $x_j$  matrisi ise aşağıda verilmiştir.

$$[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0]$$

$x_j$ , için verilen bu matris değeri  $x_0=x_1=x_5=x_9=x_{11}=x_{12}=1$  ile bu ayrıştırma işlemlerinin yapılması gerektiğini ifade eder.

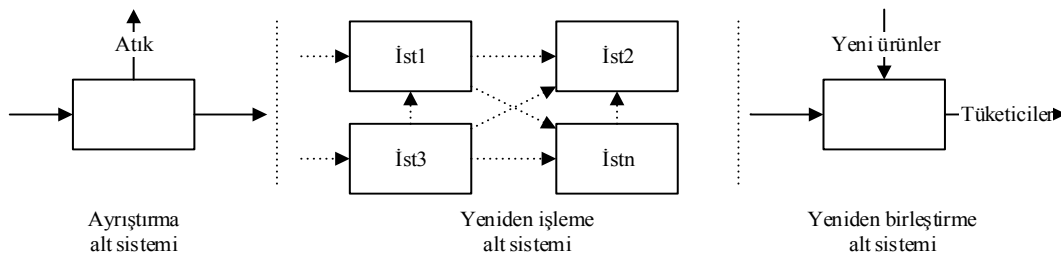
Bu temel ayrıştırma işlemine ilişkin modellemeye ek olarak, bunu geliştirerek ayrıştırma ve yeniden-üretimi bir arada değerlendiren bir model de sunmuşlardır. Bu örnekte, yukarıda verilen temel modele ek olarak ayrıştırılan ürünlere olan talebi dikkate alarak, ilgili ayrıştırma işlemi yapma veya atık olarak bırakma seçeneklerini de modele eklemiştir. Ayrıca çalışmalarında, verdiklerinin belirli modeller olduğunu ve gerçek yaşamda özellikle de geri dönüşüm ve yeniden işlemlerin birçok belirsizliği içerdiğini aktarmışlardır. Çözüm için stokastik dinamik programlama önermişlerdir. Temel belirsizlikler olarak şunları belirtmişlerdir:

- Geri kazanım oranı.
- İadelerin kalitesi.
- Yeniden işleme süreleri.

Gereksinimler olarak ise şunları vermişlerdir:

- Siparişlerin iadeler ile karşılanması.
- Geri kazanılan ürünlerden elde edilen malzemelerin durumunun belirlenmesi.

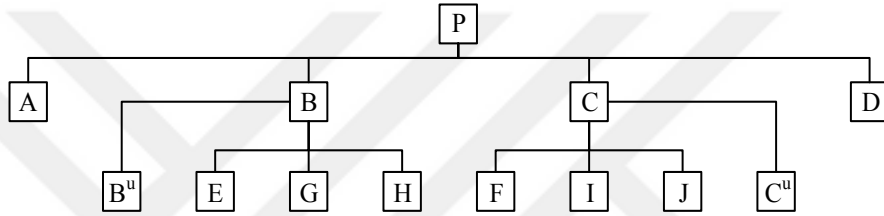
Örnek bir üretim/yeniden-üretim tesisine ilişkin yapıyı Şekil 2.10'daki gibi vermişlerdir.



**Şekil 2.10 :** Çalışmadan uyarlanan, ürün ayrıştırma ağ grafiği.

Bu sistem içerisinde, geri kazanım için yeniden işleme alt sistemine giren ürünlerin hangi iş istasyonlarında işlem görmesi gerektiği konusunda kontrol kuralları olması gerektiğini iletmişlerdir. Ayrıca geri kazanılan ürünün ne durumda olduğunun da dikkate alınması gerektiği üzerinde durmuşlar ve bir problem tanımlamışlardır.

Bunlarla birlikte üretim yeniden-üretim plânlaması içinde bütünleşik bir üretim plânlama yaklaşımı sunmuşlardır Bu yaklaşımda daha önceden varolan toplu üretim plânına dayalı ayrıştırma plânlama modellerinin tersinde bu yaklaşımda hem üretim hem de malzeme gereksinim plânlamayı aynı anda dikkate alan bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu örnek için dikkate aldıkları örnek bir yeniden üretilebilir ürün ağacı Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Çalışmadan uyarlanan, ürün birleştirme ağacı.

$P$  ana ürün iken  $B$  ve  $C$  yeniden üretilebilir bileşenleri ifade etmektedir.  $B^u$  ve  $C^u$  ise  $B$  ve  $C$  bileşenlerinin yeniden üretilmiş durumlarını,  $P^u$  ise yeniden üretilmiş ürünü ifade etmektedir. Modelde kullanılan terimler Çizelge 2.8’de sırasıyla verilmiştir.

Toplam mâliyeti enküçükle  $TC$ :

$$\begin{aligned}
 TC = & \sum_t \sum_i c_p^i \cdot p_{it} + \sum_t \sum_i c_r^i \cdot r_{it} + \sum_t \sum_j c_w^j \cdot w_{jt} \\
 & + \sum_t \sum_i h_s^i \cdot I_{it}^s + \sum_t \sum_i h_u^j \cdot I_{jt}^u
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Plânlama dönemleri arası bağlantı, stok denge denklemleri ile verilmiştir.

Kısıtlar:

$$I_{i,t+1}^s = I_{it}^s + p_{it} + r_{it} - \sum_k a_{ik} \cdot p_{kt} - d_{it} \quad \forall i,t \tag{2.8}$$

$$I_{j,t+1}^u = I_{jt}^u - w_{jt} - \sum_k b_{jk} \cdot r_{kt} - u_{jt} \quad \forall j,t \tag{2.9}$$

Güvence stoğu ve depolama kapasitesi kısıtları:

$$I_{it}^s \geq SI_i \quad \forall i,t \quad (2.10)$$

$$I_{jt}^u \leq DI_j \quad \forall j,t \quad (2.11)$$

**Çizelge 2.8 :** Çalışmaya ait modelde kullanılan terimler.

Terim	Açıklama
$p_{it}$	: Ürün “ $i$ ” için “ $t$ ” döneminde üretim
$r_{it}$	: Ürün “ $i$ ” için “ $t$ ” döneminde yeniden-üretim
$w_{jt}$	: Bileşen “ $j$ ” için “ $t$ ” döneminde atık miktarı
$I_{it}^s$	: Ürün “ $i$ ” için “ $t$ ” döneminde eldeki miktar
$I_{jt}^u$	: Bileşen “ $j$ ” için “ $t$ ” döneminde eldeki miktarı
$d_{it}$	: Ürün “ $i$ ” için “ $t$ ” döneminde talep
$u_{jt}$	: Ürün “ $i$ ” için “ $t$ ” döneminde geri dönüştürülebilir iade
$a_{ik}$	: Ürün “ $k$ ” üretimi için gerekli “ $i$ ” miktarı
$b_{jk}$	: Ürün “ $k$ ” yeniden-üretimi için gerekli “ $j$ ” miktarı
$SI_i$	: Ürün “ $i$ ” için güvence stoğu miktarı
$DI_j$	: Bileşen “ $j$ ” için en yüksek stok miktarı
$c_p^i$	: Ürün “ $i$ ” için birim değişken üretim mâliyeti
$c_r^i$	: Ürün “ $i$ ” için birim değişken yeniden-üretim mâliyeti
$c_w^j$	: Ürün “ $i$ ” için birim atık mâliyeti
$h_s^i$	: Ürün “ $i$ ” için elde tutma mâliyeti
$h_u^j$	: Geri dönüştürülebilir ürün “ $i$ ” için elde tutma mâliyeti

İlk denklem ile toplam üretim/yeniden-üretim mâliyetinin enküçüklemesi amacı tanımlanmıştır. Kısıtlarda öncelikle üretim/yeniden-üretim stoklarının dönemler arası denge denklemleri kurulmuştur. Ayrıca stok düzeylerine ilişkin kısıtlar da eklenmiştir. Son olarak tüm değişkenlerin negatif olmadığı kısıtı vardır.

Sunulan bu temel üretim ve malzeme gereksinim probleminin çözümüne ait doğrusal programlama modeli, aslında farklı gereksinimlere göre genişletilebilir. Bu model, bu

tez çalışmasının çok daha temel bir hâlini göstermektedir. Bu tezde yapılan çalışma, bu alan ile ilgili ve genişletilmiş bir çalışmadır.

Sunulan bu matematiksel modellemenin malzeme ve kapasite plânlama için yaygın şekilde kullanılmadığı, bunun yerine klasik MRP temelli yaklaşımların MRP-II sistemlerinde kapasiteyi de dikkate alarak kullanıldığından sözetmişlerdir. Bu nedenle klasik MRP yaklaşımını göstermek için sayısal bir örnek vermişlerdir. Şekil 2.11’de verilen ürün ağacına dayanarak, 4 dönem için bir MRP kaydı örneği vermişlerdir. Bu örnek, Çizelge 2.9’de verilmiştir.

Çizelge 2.9’da verilen MRP kaydında kalın yazı ile gösterilen değerler dışarıdan sağlanan girdileri, diğerleri ise plânlamayı göstermektedir.

**Çizelge 2.9 : Çalışmadan uyarlanmış, bileşen B için genişletilmiş MRP kaydı.**

	Başlangıç	Plânlama dönemleri			
		1	2	3	4
Brüt gereksinim	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	
Çizelgelenmiş üretim	<b>16</b>	-	-	-	
Çizelgelenmiş yeniden-üretim	<b>3</b>	-	-	-	
Eldeki ürün (Güvence stoğu = 5)	<b>8</b>	7	5	5	
Net gereksinim	0	8	5	15	
Beklenen geri dönüştürülebilir ürün iadesi	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
Eldeki geri dönüştürülebilir ürün iadesi (Stok sınırı = 10)	<b>5</b>	9	10	-	
Plânlı yeniden-üretim	-	5	5	10	
Plânlı üretim	-	-	0	5	
Plânlı atık onayı	0	2	0	-	
Plânlı yeniden-üretim onay	5	5	10	-	
Plânlı üretim onayı	3	0	5	-	

Bu çalışmalarına ek olarak yeniden işlemlerde kullanmak üzere, ekonomik yeniden işleme parti miktarını belirlemek için de stratejiler belirlemişlerdir. Önceki çalışmalarda bu ekonomik düzeyin belirlenmesi, örnek çalışmalarda verilmişti.

Inderfurth ve diğ. (2003) ileride yapılacak çalışmaların sayısal yöntemler tarafından desteklenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Grubbström (2007) yaptığı çalışmada Laplace dönüşümünü MRP yaklaşımı ile birleştirerek bir MRP çözüm yöntemi sunmuştur. Laplace dönüşümü tam ve parçalı diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan etkin bir yöntemdir. Grubbström, bu çalışmada bu yöntemi kullanarak MRP problemine ayrı bir çözüm yolu getirmiştir. Ayrıca yine aynı çalışmanın içerisinde yeniden üretim için bir stok modeli önermiştir. Önerdikleri yeniden üretim stok modelinde talep, yeniden üretim ve atık miktarlarını dikkate alarak bir dönüşüm denklemi kurmuşlardır.

MRP yöntemi olarak ise giriş-çıkış analizi yani faaliyet analizi yöntemini dikkate alarak bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemde talep, üretim ve satınalma durumunu dikkate almışlardır.

Üretim dönemlerini ve malzeme bileşenlerini dikkate alarak genel bir girdi matrisi oluşturmuşlardır. Uzun dönemli olarak yaptıkları talep, üretim içi stok ve üretim vektörleri ile de gereksinim plânlama modeli oluşturmuşlardır.

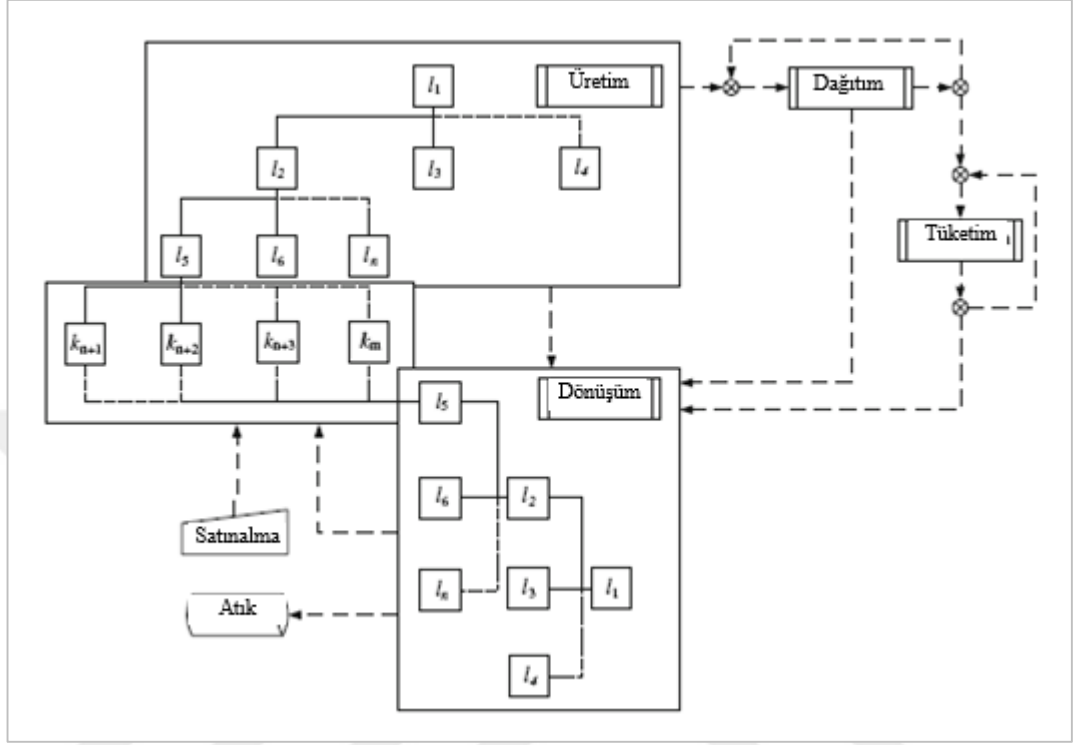
Sung ve Jeong (2014) yeniden üretim ortamında ayırtırma plânlaması için hazırlık mâliyeti, elde tutma mâliyeti, ayırtırma mâliyeti ve satınalma mâliyetlerini içeren bir matematiksel modelleme üzerinde çalışmışlar ve etkin bir çözüm için de plânlama dönemlerinin pencereler şeklinde ayrı ayrı çözümlendiği bir sezgisel önermişlerdir.

### **2.3.2.3 Genişletilmiş MRP yaklaşımı**

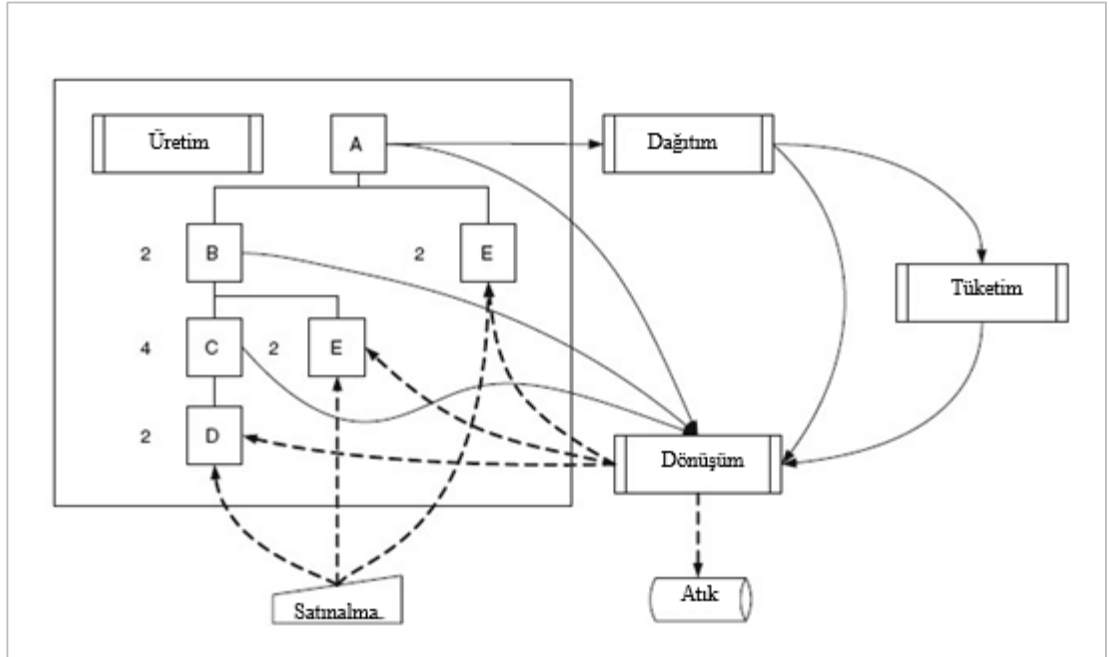
Kovacic ve Bogataj (2011) tarafından yapılan çalışmada, genişletilmiş MRP kuramı ile bağlantılı çevresel problemler incelenmiştir. Burada, bir alt geri dönüşüm sürecinde birkaç aşamada geri dönüşen her olası akışı dikkate alan bir girdi-çıkı modeli sunulmuştur. Genişletilmiş MRP kuramının asıl yararı, zamanlama ve bunun net güncel değer üzerine etkisini; çok katmanlı, çok kademeli üretim-stok sistemleri ve çok üretim hücresi içeren düzensiz üretim sistemleri içinde hesaplayabilmesidir. Kuram, bitmiş son ürünlerin geri dönüşümünü, ters lojistiğini de dikkate alarak genişletilmiştir. Her üretim hücresindeki faaliyette hurda oranları dikkate alınarak geri dönüşüm hesaba katılmıştır. Grubbström (2007)'ün çalışmasındaki gibi salt son ürünün değil, ara süreçlerin de geri dönüşümü dikkate alınmıştır. Genişletilmiş MRP kuramı, tersine lojistik problemlerinde geniş bir alanda



kullanılabilir. Şekil 2.12' de çalışmada sunulan genişletilmiş MRP kuramındaki olası tüm malzeme hareketleri görülebilir. Şekil 2.13' de de, sistemdeki ürün ağacını içeren olası tüm malzeme akışları görülebilir.



Şekil 2.12 : Çalışmadan uyarlanan genişletilmiş MRP yaklaşımındaki tüm malzeme hareketleri.



Şekil 2.13 : Çalışmadan uyarlanan ürün ağacını içeren olası tüm malzeme akışları.

Bu çalışmada sunulan bir girdi-çıkıktı modelidir ve geri dönüşümün net şimdiki değeri hesaplanmıştır. Tam olarak bir MRP modeli kurulmamıştır. Ancak yeni yapılacak ters yönlü hareketler için genişletilmiş MRP kuramı çalışmaları için temel oluşturabileceğinden sözetmişlerdir.

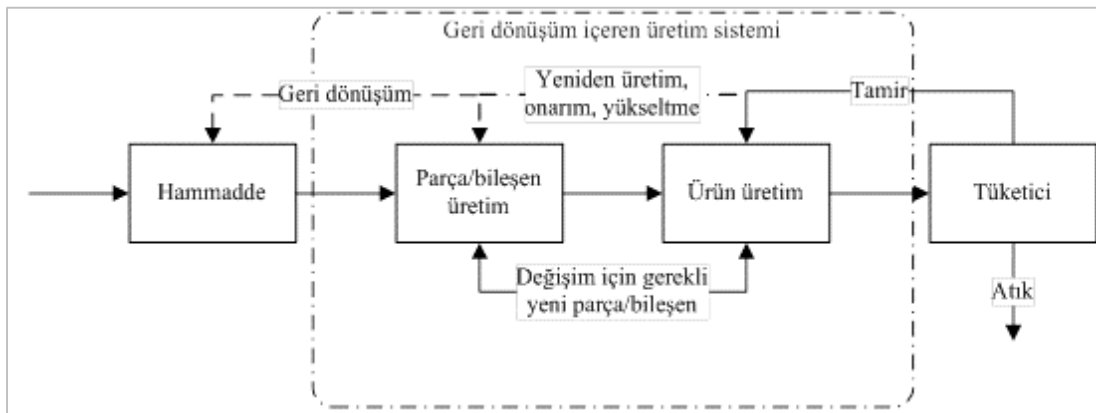
#### 2.3.2.4 Yeniden üretim ve geri dönüşüm ortamında çizelgeleme ve stok politikası çalışmaları

Guide Jr. ve diğ. (1997) yeniden üretim ve malzeme geri kazanımı ortamında ürün yapısının karmaşıklığı ve çizelgeleme politikası üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Kim ve diğ. (2013), çalışmalarında üretim, yeniden üretim ve geri dönüşümü bir arada optimize etmeye çalışan politikanın oluşturulması için bir sezgisel model sunmaya çalışmışlardır.

Guide Jr. ve diğ. (1997), yeniden üretim ve malzeme geri kazanımı ortamında ürün yapısının karmaşıklığı ve çizelgeleme politikası üzerine analitik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı, geri kazanımı içeren üretim ortamında ürün yapısının çizelgeleme üzerine etkisinin araştırılmasıdır.

Geri kazanılabilir üretim ortamını, ürün yaşam döngüsünün sonunda geri dönüşüm ile malzemelerin geri kazanılmasını ve ürün yaşam süresinin uzatılması için gerekli işlemlerin yapılmasını içermektedir. Bu sistem tanımı, Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Geri kazanılabilir üretim ortamının büyük bir kısmı, ürün onarımını ve yeniden üretimini içerir. Yeniden üretim, kullanılmış ürünlerin yeni ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.14 : Çalışmadan uyarlanan, geri dönüştürülebilir ürün ortamı.

Yeniden üretim için yapılması gerekli üretim plânlama ve kontrol süreçleri iki temel etmenden etkilenir: Olabilirselle geri kazanım oranları ve geri kazanılan malzemelerin durumları.

Yeniden üretim ortamı, melez bir üretim ortamı olarak nitelendirilebilir. Bu şekilde bir ortam, hem yeni hem kullanılmış malzemeleri içerdğinden, ÜPK süreçleri geleneksel ÜPK süreçlerine göre daha karmaşık ve zordur.

Çalışmada benzetim yöntemi kullanılarak, varolan kullanılan üretim plânlama ve kontrol kuralları, çalışmada analiz edilmiş ve çizelgeleme üzerine etkileri incelenmiştir. Dikkate alınan konular maddeler hâlinde verilmiştir.

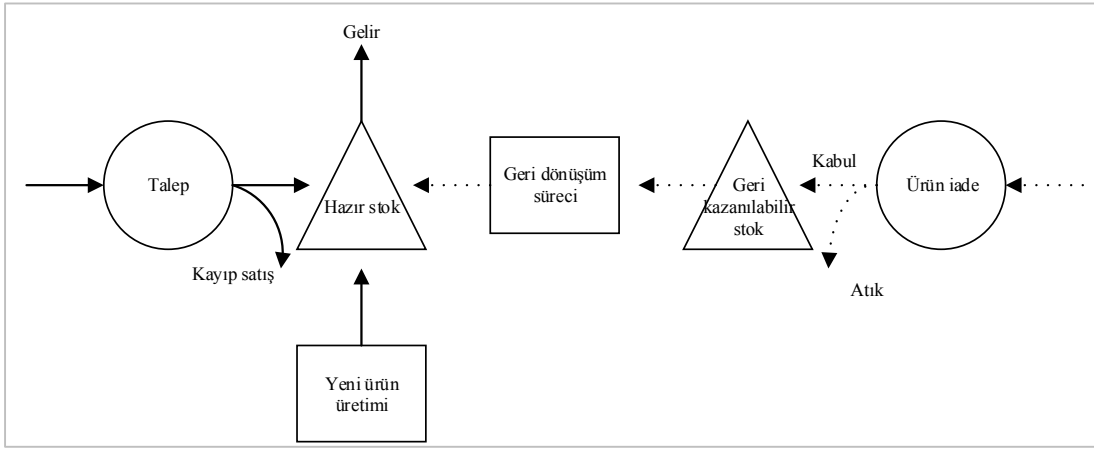
- Varış zamanı dağılımları
- İş akış karakteristiği
- İşleme zamanları dağılımları
- İstasyon yapılandırmaları
- Etkinlik göstergeleri
- Yeniden üretim istasyon yük düzeyleri
- Ürün yapıları ve karmaşıklık düzeyleri
  - Birleştirme karmaşıklığı
  - Derinlik karmaşıklığı
  - İş sıralama karmaşıklığı
- Son teslim ayarlama yöntemi
- Öncelik verme kuralları
- Ayrıştırma kararı verme yöntemi

Çalışmada ürün karmaşıklığının yeniden üretim süreçleri üzerine en çok etkisi olan durumu oluşturduğu görülmüştür.

Kim ve diğ. (2013) çalışmalarında üretim, yeniden üretim ve geri dönüşümü bir arada optimize etmeye çalışan politikanın oluşturulması için bir sezgisel model sunmaya çalışmışlardır.

Model ile bütünleşik olarak üretim, yeniden üretim ve atık kontrolünün uzun vâdeli olarak kârın enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Model bir markov karar süreci olarak modellenmiştir. Bu modelin uygulanması zor olduğundan, ayrıca daha basit olan bir

sezgiselde önerilmiştir. Modelde dikkate alınan melez üretim/yeniden-üretim sistemi Şekil 2.15’de verilmiştir.



**Şekil 2.15 :** Çalışmadan uyarlanan, dikkate alınan melez üretim/yeniden-üretim sistemi.

Çalışmada bir ürün için poisson dağılımı ile ulaşan talepler dikkate alınmıştır. Çalışmada yapılan diğer kabuller ve dikkate alınan mâliyetler, aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir:

- Karşılanan talepten elde edilen gelir ve kaybedilen sipariş mâliyetleri de modellenmiştir.
- Talep ve iade süreçleri bağımsız olarak kabul edilmiştir.
- İade ürünün yeniden üretimi veya atık mâliyetleri hesaplanmıştır.
- Yeni ürün ve iadeler için elde tutma mâliyetleri dikkat alınmıştır.

### **3. MALZEME GEREKSİNİM PLÂNLAMASI VE BELİRSİZLİK**

MRP ve belirsizliklerİ incelerken öncelikle üretim ortamını dikkate alan belirsizlikler üzerine yazın incelemesi yapmak gerekmektedir. Bununla birlikte kuyumculuk üretim ortamı kapalı döngü bir tedârik zinciri olarak çalıştığı için bu üretim ortamına hem müşteri hem tedârikçi hem de çevresel çok fazla etki olabilmektedir. Bunun yanında belirsizliklerin ele alınması ve belirsizlik içeren problemlerin çözümünde hangi yöntemlerin kullanıldığının saptanması için, tedârik zinciri genelinde ilgili yazın incelenerek başlanmıştır. Devamında ise ayrıntılı olarak üretim plânlama ve belirsizlik çalışmalarına bakılmış, son olarak ise MRP ve bulanıklık, ters yönlü hareketler ve bulanıklık incelenmiştir.

#### **3.1 Tedârik Zinciri Yönetimi, Belirsizlikler ve Yöntemler**

Tedârik zinciri içinde birçok organizasyon ve yapının seri bir şekilde bağlı bulunduğu, bununla birlikte malzeme, bilgi, işgücü, hizmet gibi birçok bileşenin içerisinde hareket ettiği organize olmuş büyük ölçekli karmaşık bir yapıdır. Etkin tedârik zinciri yönetimi, organizasyon içinde ve çevresinde iç ve dış birçok etkene, değişkene bağlıdır. Bu noktada talepteki, tedârikteki ve teknolojiadaki belirsizlikler, yönetilmesi gereken temel konular olarak karşımıza çıkar (Paulraj ve Chen, 2007). Belirsizlik, tedârik zinciri yönetiminde temel bir etkendir. Tedârik zinciri yönetimi, karmaşık ilişkilerin bulunduğu değişik ortamlardan kaynaklanan belirsizliklerden dolayı zordur.

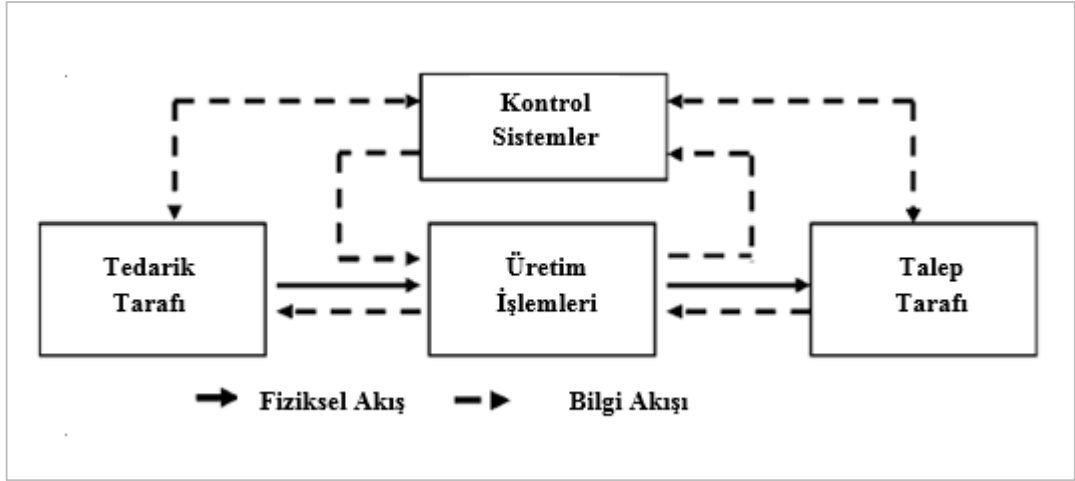
Bu belirsizlik, moda ve eğilimler ile ilişkili endüstrilerde daha çoktur. Moda endüstrisinde tedârik zinciri belirsizlik ve öngörülemez durumlar ile doludur. Bu endüstriler, özellikle çok değişken ve dönemsel bir yapı içerir. Bu onları diğer sektörlerden ayıran en önemli özelliklerden biridir. Choi (2007) bundan dolayı moda endüstrisindeki tedârik zinciri yönetiminin en büyük zorluğunun, müşterilerin talep belirsizliği olduğunu düşünmektedir. Bu tür sektörler aynı zamanda yaratıcı, yenilikçi ürünlerin olduğu sektörler olarak nitelenir. Yenilikçi ürünlerden dolayı moda sektöründe yüksek ürün çeşitliliği vardır. Yenilikçi ürünler ise genelde yüksek öngörülemezlik ve değişken talep içerir. Yüksek ürün çeşitliliği, kısa ürün yaşam

döngüsünü de beraberinde getirmektedir. Sonuç olarak bu tip endüstriler tedârik, üretim, dağıtım ve perakende uygulamalarında daha az değişken olan sektörlere göre farklılıklar arzemektedir.

Bu çalışmada, TZY'deki belirsizlikleri dikkate alarak yapılan çalışmalar ile yönetim için uygulanan yöntemleri içeren çalışmalar analiz edilmiştir. Çalışmalar incelenirken öncelikle TZY yapısı içinde inceleme yapılan operasyona göre çalışmalar şu açılardan, belirsizlikler ve sunulan yöntemleri içeren çalışmalar olarak sınıflandırılmışlardır:

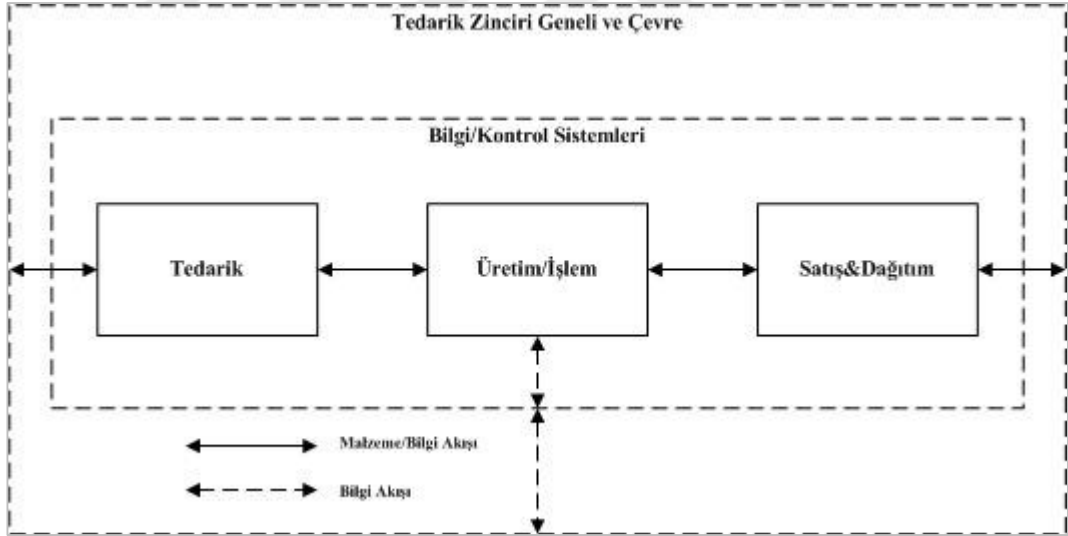
- Genel olarak tedârik zinciri
- Satış ve dağıtım
- Üretim
- Tedârik

Vorst J. ve Beulens (2002), TZY'de belirsizlik kaynakları üzerine yaptıkları çalışmada bu dört ana başlık altında üç farklı bakış açısı belirlemişlerdir. Yapılan yazın taramasında, çalışmaların bu gruplar altında toplandığını göstermiştir. Vorst J. ve Beulens (2002)'in çalışmasında da belirlenen başlıklar şu şekildedir: Tedârik, satış ve dağıtım, süreç (üretim), plânlama ve kontrol. Tedârik, satış ve dağıtım, süreç (üretim) konuları çalışmalarda genellikle ayrıştırılabilir konular olarak karşımıza çıktıkları için gruplandırılabilir. Plânlama ve kontrol kısmında yer alan belirsizlik bakış açısı ise bilgi eksikliği ve doğruluğudur. Bu tez çalışmasında TZ genel grubu altındaki çalışmalar bu konuyu içermekle birlikte, genel TZ belirsizlik çalışmaları ve ek olarak bilişim sistemlerinin bilgi belirsizliğini gidermesi üzerine yapılan çalışmaları da içermektedir. Ayrıca Childerhouse ve Towill (2004a) da çalışmalarında sundukları belirsizlik çemberi yaklaşımında, belirsizlik çemberi kaynaklarını süreç, tedârik, talep ve kontrol olarak sunmuşlardır. Mason-Jones ve Towill (1998)'in yaptığı belirsizlik çemberi ile tedârik zincirindeki belirsizliklerin azaltılması yaklaşımındaki belirsizlik kaynakları olarak da sunulan; süreç, tedârik, talep ve kontrol operasyonları, daha sonra Sanchez-Rodrigues ve diğ. (2008, 2010); Childerhouse ve Towill (2004a), Vorst ve Beulens (2002)'in çalışmalarında olduğu gibi birçok tedârik zincirinde belirsizlik çalışmasında yol gösterici olmuştur. Şekil 3.1'de, Mason-Jones ve Towill (1998)'in bu çalışmasında sunulan belirsizlik kaynakları yaklaşımı görülebilir. Bununla birlikte, sonrasında yapılan çalışmalar ile de bu çalışma geliştirilmiş ve çevresel belirsizlikler gibi yeni belirsizlik kaynakları da eklenmiştir (Sanchez-Rodrigues ve diğ., 2010).



**Şekil 3.1 :** Çalışmadan uyarlanan tedârik zinciri belirsizlik kaynakları.

Bu çalışmada da, yapılan yazın taramasında ortaya çıkan kaynakların bu yaklaşıma benzer kapsamda gruplandığı görülmüştür. Bununla kapsam dışında kalan çevresel belirsizlik ve stratejik konuyu inceleyen diğer kaynaklarda, tedârik zinciri genel konu başlığı altında değerlendirilmiştir. Şekil 3.2’de bu çalışma kapsamında genişletilmiş belirsizlik kaynakları gösterilmiştir.



**Şekil 3.2 :** Genişletilmiş tedârik zinciri belirsizlik kaynakları.

Yazın taraması için “tedârik zinciri ve belirsizlik” anahtar terimi ile yayınlar araştırılmıştır. Araştırma sonucunda özellikle yöneylem araştırması, yönetim bilimleri, üretim yönetimi ve tedârik zinciri yönetimi, matematiksel modelleme ve internet üzerinde “belirsizlik” içeren kaynaklardan ilgili yayınlar derlenmiştir. Çoğu süreli yayınlar arasından seçilen bu kaynaklar yardımıyla yapılan incelemeler ile bu yazın tarama çalışması oluşturulmuştur. Bu çalışmaya kaynaklık eden yayınlardan

bâzıları şunlardır: European Journal of Operational Research, OR Spectrum, Annals of Operations Research, Opsearch International, Computers & Operations Research, International Journal of Operations & Production Management, Omega, Supply Chain Management: An International Journal, The Journal of Supply Chain Management, IEEE, Journal of Business Research, Expert Systems with Applications, Mathematical and Computer Modelling, Journal of Manufacturing Technology Management, Journal of Intelligent Manufacturing, Int. J. Prod. Res, Journal of Production Economics, International Journal of Production Research, Journal of Mechanical Design, Computers & Industrial Engineering, Industrial Management & Data Systems, Applied Mathematical Modelling, Fuzzy Sets and Systems, Omega. Bu tip süreli yayınlar, kaynaklık eden başlıca yayınlar olarak sayılabilir.

Yapılan kaynak araştırmasında, kaynaklar genel olarak; tedârik zinciri yönetimini içeren kaynaklar olmakla birlikte tedârik zinciri üzerinden farklı noktaları özel olarak inceleyen kaynaklar da; tedârik zincirindeki belirsizlikleri üretim içerisinde inceleyen, satış içerisinde inceleyen ve son olarak da tedârik konulu belirsizlikleri işleyen çalışmalar olarak sınıflandırılmıştır.

Yayınların incelenmesinden sonra değerlendirmeler kısmında öncelikle yapılan sınıflandırmalar ile ilgili istatistikler, çalışmanın incelenen problem, operasyon, incelenen belirsizlik, karar düzeyi, sunulan çözüm yöntemi ve incelenen yayınların yıllara dağılımı ile ilgili istatistik bilgiler sunulmuş ve analiz olarak ilgili yorumlar yapılmıştır.

### **3.1.1 Tedârik zinciri odaklı genel çalışmalar**

Bu çalışmalara baktığımızda dört ana grup altında toplamak olanaklı olmuştur. Bunlardan ilki, TZ genelinde belirsizliğin azaltılması çalışmalarıdır. Bu çalışmalar, genel olarak tedârik zincirine ilişkin belirsizlik kaynakları, yöntemleri ve çerçeveleri ile ilgilenmişlerdir. Bir diğeri stratejik olarak tedârik zinciri yönetimi ve bu konuda karşılaşılan belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalardır. Bu çalışmalarda TZ de stratejik yönetim, stratejik plânlama; TZ stratejileri ve stratejik seçimlerinde belirsizliklerin giderilmesi üzerine yöntemler önermişler. Önerilen bu yöntemler ile belirsizliklerin azaltılması ve/veya yönetilmesi ile TZ başarısının artırılması amaçlanmıştır. Bir diğeri çalışma grubu ise belirsizlik altında TZ modellemesi ve ağ tasarımı olarak görülmüştür. Bu çalışmalar yöneylem araştırması yöntemlerinin kullanımı ile ağ tasarımı



problemini belirsizlik altında inceleyen çalışmalardır. Son olarak ise Mason-Jones R. ve Towill, D.R. (1998) ve sonraki çalışmalarda da bu çalışmada olduğu gibi ana belirsizlik kaynakları olarak sunulan kontrol süreçleri ile ilgili bilgi yönetimi sistemlerinin bilgi akışını hızlandırıp, bilgi doğruluğunu arttırarak belirsizliğin azaltılması ve TZ başarısının arttırılması üzerine çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışmalarda B2B, ERP, QR gibi bilgi yönetimi sistemlerinin kullanımı ve/veya ek olarak sunulan sistematik TZ plânlaması gibi yaklaşımlar ile birlikte belirsizliklerin azaltılıp TZ başarısının arttırılabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmalardan belli başlı bâzılarının incelemesi yapılmıştır. Ana çalışma gruplarını şu şekilde özetleyebiliriz:

- TZ genelinde belirsizlik kaynakları ve belirsizliğin azaltılması.
- Belirsizlik altında stratejik açıdan tedârik zinciri yönetimi.
- Belirsizlik altında TZ modellemesi ve ağ tasarımı.
- TZ’de belirsizlik ve kontrol sistemleri.

İncelen belirsizlikler şu şekilde gruplandırılabilir:

- TZ geneli
- Talep
- Tedârikçi
- Belirsizlik Yönetimi
- Tedârik süreleri
- Fiyat
- Üretim
- Çevre
- Kapasite
- Stok
- İade
- Geri dönüşüm

İncelen belirsizlik konuları şu şekilde gruplandırılabilir:

- TZ’de belirsizliğin azaltılması
- Belirsizliğin performans değerlendirmesi
- Belirsizlik yönetimi
- TZ plânlaması

- TZ davranışları
- TZ belirsizlik kaynakları
- TZ tasarımı
- TZ ağ tasarımı ve eniyilemesi
- TZ'nin güçlendirilmesi
- TZ bütünleşmesi
- TZ stratejisi
- TZ'ler arası ilişkiler
- KDTZ
- TZ koordinasyonu
- TZ esnekliği
- TZ'de karar verme

TZ genelinde belirsizliğin azaltılması ile ilgilenen çalışmalarından ilki McCaulley-Bell (1999), bulanık küme kuramı temelli akıllı ajanların kullanımı ile TZ içerisinde belirsizlik altında iletişimin başarılı bir şekilde yapılabileceğini göstermiştir. Hallikas ve diğ. (2002), TZ'de belirsizliğin kaynakları üzerine işlem mâliyeti yaklaşımı ile örnek bir inceleme çalışması yapmışlardır. Childerhouse ve Towill (2004b), TZ'de belirsizliğin azaltılması üzerine bir çerçeve olarak belirsizlik çemberi yaklaşımını sunmuşlardır. Kwakkell ve Cunningham (2008), belirsizlik yönetimi yöntemlerinden etmenlerin karışımı analizi (MFA) ile uygun yöntemin seçimi üzerine bir çalışma sunmuşlardır.

TZ'de stratejik tedârik zinciri yönetimi ve belirsizlik konularında ise Paulraj ve Chen (2007) stratejik yönetim kuramı ve kaynak bağımlı yaklaşımı sunmuşlardır. Soetanto ve Dainty Andrew (2009), stratejik plânlama ve belirsizlik yönetimi ile ilgili karar kuramı, bilişsel ve davranışsal psikolojiyi içeren yaklaşımları incelemişlerdir. Sun ve diğ. (2009)'nun çalışmasında, TZ stratejisi ve çevresel belirsizliğin TZ performansına etkisi, yapılan bir anket ile analiz edilmiştir. Hult ve diğ. (2010) ise stratejik seçimlerde risk belirsizliğini azaltmak için gerçek seçimler kuramını tedârik zinciri için genişletmişlerdir.

Belirsizlik altında TZ modellemesi ve ağ tasarımı konusunda Mahnam ve diğ. (2009)'nin çalışmaları, belirsizlik altında TZ'nin modellenmesi ile ilgilenmek ile birlikte, ek olarak taktik düzeyde stok politikasının belirlenmesi için de benzetim

içeren bir model sunmuşlardır. Peidro ve diğ. (2010), belirsizlik ortamında tedârik zinciri plânlaması için bulanık doğrusal programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Kara ve Onut (2010), geri dönüşüm belirsizliği altında tersine tedârik zinciri tasarımı için iki aşamalı stokastik karışık tamsayılı ve güçlü programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Pishvae ve Torabi (2010), TZ ağ tasarımını ve ileri ve geri yönlü malzeme akışlarını belirsizlik altında incelemiş ve iki amaçlı olabirsel karışık tamsayılı programlama modelini çözüm olarak sunmuşlardır. Yine Pishvae ve diğ. (2011), kapalı döngülü tedârik zinciri ağ tasarımı probleminde girdi verisinin belirsizliğini yönetmek için karışık tamsayılı doğrusal programlama ve güçlü yeni bir eniyileme modelini çözüm olarak sunmuşlardır.

TZ'nin kontrol kısmındaki bilgi akış hızı ve doğruluğunu arttırıp belirsizliği azaltmak için bilgi yönetimi sistemleri kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar da bu kısımda incelenmiştir. Iyer ve diğ. (2004) B2B kullanımı ile belirsizliğin azaltılması ve TZ performansının arttırılması üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Kannabiran ve Bhaumik (2005), kuyumculuk sektöründe yaptıkları çalışmalarında, bilişim eksikliği kaynaklı belirsizliğin TZY odaklı bilgi akışı tasarımı ile sistematik TZ plânlaması yapılarak belirsizliğin yönetilip azaltılabileceğini ve bu şekilde TZ performansının arttırılacağını göstermişlerdir. Lo, Hong ve Jeng (2008), moda sektöründe talep belirsizliğini azaltmak için çok ajanlı e-moda TZY modelini sunmuşlar ve hızlı yanıt sistemi (QR) bilgi sistemleri ile bilgi akışını hızlandırıp belirsizliği yönetmeye çalışmışlardır.

TZ genelini dikkate alan yayınların, genellikle bir çerçeve veya yaklaşım sunan yayınlar olduğu görülmektedir. Bu yayınlar, stratejik düzeyde TZ ile ilgilenmişlerdir. Kullanılan yöntemlerden öne çıkanlar; bulanık küme kuramı temelli akıllı ajanların kullanımı, belirsizlik çemberi yaklaşımı, gerçek seçimler kuramı yaklaşımlarıdır. Çerçeve sunan bu yaklaşımlara ek olarak da ağ tasarımı problemleri için belirsizlikleri içeren karışık tamsayılı programlama modeli, bulanık doğrusal programlama, güçlü programlama gibi yöntemler de kullanmıştır.

### **3.1.2 Satış ve dağıtım odaklı çalışmalar**

Tedârik zinciri içerisinde özel olarak satış dağıtım operasyonları ile ilgilenerek tedârik zinciri performansını arttırmaya çalışan yayınlarda incelenen belirsizlikler, satış kısmında müşteri talepleri ve iadeler ile ilgili belirsizlikleri içermekle birlikte, dağıtım kısmında da yine müşteriden gelen belirsizliklere ek olarak dağıtım yeri seçimleri ve

nakliye plânlaması gibi konulardaki belirsizlikler olduğu görülmüştür. İncelenen belirsizlik noktalarına baktığımızda temel konular talep, iade ve geri dönüşüm olmakla birlikte dağıtım kısmı için, dağıtımını etkileyen iç ve dış belirsizlikler ile birlikte stratejik olarak önemli olan müşteri gereksinimleri doğrultusunda ürün tasarımı ve gamı seçimini, müşteri ve pazar belirsizlikleri altında dikkate alan çalışma da yapılmıştır. Yayınlarla baktığımızda, karar verme düzeyi açısından çoğunlukla taktik olmak üzere stratejik ölçekte de TZ ile ilgilenen çalışmalar vardır.

Çalışmalara baktığımızda iki ana grup öne çıkmakla birlikte bu gruplar dışında kalan çalışmalar ise ayrı bir grup olarak verilmiştir. İlk olarak salt talep belirsizliği ile ilgilenen çalışmalar olarak bir grup oluşturmak olanaklıdır. Bu çalışmalar TZ içerisinde satış ve dağıtım alanında salt talep belirsizliği altında problemlere yaklaşan çalışmaları içermektedir. Talep belirsizliği altında karar verme, talep belirsizliğinin giderilmesi için bilgi sistemlerinin kullanımı, uygun talep tahmin dağılımlarının saptanması ve talep belirsizliğinin TZ'ye etkileri, bu çalışmaların konularını oluşturmaktadır. İkinci olarak talep belirsizliği ile birlikte iade ve/veya geri dönüşümü de dikkate alan TZ'de iki yönlü akışı içeren çalışmalardır. Bu çalışmalarda talep belirsizliği altında TZ ağı geri dönüşüm politikası ve talep, iade ve geri dönüşüm belirsizliği altında kapalı döngü TZ ağ tasarımı konuları işlenmiştir. Bunların dışında ise yalnızca iade ve/veya geri dönüşüm ile tedârikçiye iade konularını dikkate alan iade belirsizliği çalışmaları vardır. Ek olarak ise TZ'de ürün tasarımındaki belirsizlikleri dikkate alan bir çalışma ve dağıtım ile ilgili belirsizlikleri dikkate alan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan belli başlıları ayrıntılı olarak da verilmeye çalışılmıştır. Çalışma gruplarını özet hâlinde şu şekilde gruplandırabiliriz:

- Talep belirsizliği altında TZ içerisinde satış ve dağıtım alanındaki çalışmalar.
- Talep belirsizliği ile birlikte iade ve/veya geri dönüşümü de dikkate alan TZ'de iki yönlü akışı içeren çalışmalar.

İncelenen belirsizlikler şu şekilde gruplandırılabilir:

- Talep
- İade
- Ürün tasarımı
- Geri dönüşüm
- Dağıtım

İncelenen belirsizlik konuları şu şekilde gruplandırılabilir:

- TZ’de en uygun sipâriş düzeyi
- TZ’de iade politikası
- TZ’de ürün tasarımı
- TZ’de perakendeci kararları
- TZ’de geri dönüşüm politikası
- TZ’de talep belirsizliği
- TZ’de fiyat belirsizliği
- TZ’de dağıtım yerleri seçimi
- TZ’de teslîmat politikası
- TZ’de fiyat politikası

TZ’de belirsizlik kaynağı satış operasyonları olan çalışmalardan bir kısmı, yalnızca talep belirsizliğini dikkate alan çalışmalardır. Dong ve diğ. (2005)’nin çalışması, belirsiz talep altında TZ ağında çok ölçütlü karar verme yaklaşımı sunmuşlardır. Li, Huang ve Ge (2006), TZ’de talep belirsizliğinin satıcı ve perakendeci kararları üzerine etkisi incelenmiş ve matematiksel bir model sunulmuştur. Sichel (2008), moda sektöründe talep tahminlerindeki belirsizliği gidermek amacıyla POS (Satış Noktası) bilgi sistemlerinin kullanılmasını içeren bir çalışma sunmuşlardır. Gaffeo ve diğ. (2008) ise kitap sektörü gibi yaratıcı endüstrilerde, yeni ürünlerin talep belirsizliğini gidermek için kullanılabilir talep tahmin dağılımlarını incelemişlerdir. Hua ve Li (2008), talep belirsizliğinin TZ’de perakendeden üreticiye sipâriş adetleri ve fiyat üzerine etkisini oyun kuramı ve Nash’in pazarlık modeli ile incelemişlerdir.

Diğer bir çalışma grubu ise talep belirsizliği ile birlikte iade ve/veya geri dönüşüm belirsizliğini inceleyen çalışmalardır. Bu çalışmalardan birinde Chen ve diğ. (2008), çalışmalarında talep belirsizliği altında TZ ağı geri dönüşüm politikası için bir karışık tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Easwaran ve Üster (2010) çalışmalarında talep, iade ve geri dönüşüm belirsizliği altında KDTZ (Kapalı Döngü Tedârik Zinciri) ağ tasarımı için bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli sunmuşlardır.

Bu gruplamaların dışında yine satış ve dağıtım ile ilgili olan diğer çalışmalar da yalnızca iade ve/veya geri dönüşüm, tedârikçiye iade, ürün, dağıtım ile ilgili belirsizlikleri dikkate alan çalışmalardır. Bu çalışmalardan birinde Mantrala ve Raman (1999), müşteri talep ve tedârikçiye iade belirsizlikleri altında en uygun sipâriş düzeyi ve tedârikçi iade politikası için gazeteci çocuk problemi yaklaşımı ile birlikte yüksek doğrusal olmayan amaç fonksiyonu ile özel hata fonksiyonunu kullanmışlardır. Li ve Azarm (2002), müşteri ve pazar belirsizlikleri altında ürün tasarımı ve ürün gamı oluşturmak için genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır. Min ve diğ. (2006), iade belirsizliği altında tersine lojistik problemi için karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama ve genetik algoritma kullanmışlardır. Awasthi ve diğ. (2011), belirsizlik altında dağıtım merkezleri yer seçimi problemi için bulanık TOPSIS yaklaşımı sunmuşlardır.

TZ’de satış dağıtım kaynaklı belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalar, hem stratejik hem de taktik karar verme düzeylerinde belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalardır. Kullanılan yöntemlerden öne çıkanlar, karışık tamsayılı programlama modeli ve genetik algoritma yöntemleridir. Bununla birlikte bulanık TOPSIS, oyun kuramı gibi çözüm yöntemleri belirsizlik altındaki karar vericilere sunulmuştur. Ayrıca problemin modellenmesi ve amaç fonksiyonun için bulanık girdilerin bulunduğu matematiksel modeller de kullanılmıştır.

### **3.1.3 Üretim odaklı çalışmalar**

Üretim özelinde TZ içerisindeki belirsizlikleri dikkate alan çalışmalar; üretim kaynakları olan hammadde, işgücü, makina gibi kaynakların belirsizlikleri üzerinedir. Sunulan modeller; kaynak atamaları ve malzeme gereksinim plânlama problemlerinin belirsizlik altında incelenmesi üzerinedir.

Üretim kaynaklı olarak belirsizlikleri inceleyen bu çalışmaları iki grup altında incelemiştir. Bunlardan ilki, talep belirsizliğini dikkate alan üretim konulu çalışmalardır ki üretim plânlama konusu ile ilgilenmişlerdir. Diğer bir grup ise üretimdeki belirsizlikleri dikkate almışlar ve buna ek olarak doğrudan talep, stok ve tedârik belirsizliklerini de çalışmalarda birlikte işlemişlerdir. Bu çalışmalardan belli başlıları ayrıntılı olarak verilmeye çalışılmıştır. Gruplama şu şekilde özetlenebilir.

- Talep belirsizliğini dikkate alan üretim konulu çalışmalar.

- Üretim belirsizlikleri ile birlikte talep, stok ve tedârik belirsizliklerini dikkate alan çalışmalar.

İncelenen belirsizlikler şu şekilde gruplandırılabilir:

- Talep
- İade
- Üretim
- Kapasite
- Mâliyet
- Fiyat
- İade
- Stok

İncelen belirsizlik konuları şu şekilde gruplandırılabilir:

- Toplu üretim plânlama
- Ana üretim çizelgeleme
- Malzeme gereksinim plânlaması
- Kapasite belirleme
- Üretim plânlama
- Stok yönetimi
- İstasyon yükleme
- Üretim ve yeniden üretim
- KDTZ’de üretim plânlama
- Üretim-stok plânlama
- Üretim plânlama koordinasyonu

TZ’de belirsizlikleri özel olarak üretim kaynaklı inceleyen çalışmaların ilk grubu yalnızca talep belirsizliğini dikkate alan üretim plânlama çalışmalarıdır. Bunlardan Vörös (1999)’ün çalışmasında talep belirsizliği durumunda toplu üretim plânlama problemi incelenmiş ve iki aşamalı olasılıklı sıralamalı bir matematiksel model sunulmuştur. Tang ve Grubbström (2002), talep belirsizliği altında ana üretim çizelgeleme matematiksel modelini sunmuşlardır. Enns (2002), talep belirsizliği altında MRP problemi için bütünlük MRP yaklaşımını önermiştir. Bihlmaier ve diğ. (2009), belirsizlik altında stratejik ve taktik üretim plânlama problemini incelemişler,

stokastik ve deterministik birer model sunmuşlardır. Zhang ve Tseng (2009), talep belirsizliği altında MRP problemi için karışık tamsayılı programlama modelini önermişlerdir.

Üretim kaynaklı belirsizlikleri inceleyen yayınlarda diğer bir yayın gruplaması ise üretimdeki belirsizlikleri de dikkate alan çalışmalardır. Bu çalışmalarda üretim belirsizlikleri yalnız başına olabileceği gibi çoğunlukla diğer belirsizliklerden talep, stok ve tedârik belirsizlikleri ile birlikte incelenmişlerdir. Buxey (2003), talep ve üretim kapasite gereksinimi belirsizliği durumunda toplu üretim plânlama için üretim plânlama modellerini incelemiş ve en uygun model olarak değiştirilmiş kovalama plânlama modelini sunmuştur. Grabot ve diğ. (2005), talep belirsizliği altında MRP problemi için üretim ve stok kontrolündeki belirsizlikleri de dikkate alarak bulanık MRP yaklaşımı önermişlerdir. Li ve diğ. (2009a), belirsizlik ortamında yeniden imalat ve üretim plânlama problemi için stokastik dinamik programlama kullanmışlardır. Shi ve diğ. (2011), belirsiz talep ve iade altında çok ürünlü kapalı döngü tedârik zincirinde üretim plânlama problemi için Lagrange gevşetmesi ile çözülen bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Kenné ve diğ. (2012), üretim ve stok belirsizlikleri altında KDTZ üretim plânlama problemi için genetik Markovian olabilirsiz en uygun şekle sokma modeli geliştirmişlerdir.

Azadegan ve diğ. (2011) üretimde bulanık mantık kullanımı ile ilgili bir yazın taraması sunmuşlardır. Yazın taramasında üretimde bulanık mantık kullanan çalışmaları şu başlıklar altında gruplandırmışlardır:

- Süreç kontrol ve eniyilemesi.
- Üretim hücreleri ve makina kontrol.
- Çizelgeleme ve toplu plânlama.
- Üretim sistemlerinin esnekliği.
- Kalite kontrol ve takip.
- Bakım sistemleri.
- Talep tahmini.
- Üretim stratejileri ve tesis yeri belirleme kararları.
- Tedârik zinciri ve tedârikçi seçimi.

Bu sınıflama ile 104 yayını bu başlıklar altında gruplandırmışlardır.



Koh ve diğ. (2002) belirsizlik altında MRP üzerine bir yazın taraması yaparak ilgili yayınları gruplandırmaya çalışmışlardır. İlgili yayınları öncelikle girdi ve süreç belirsizliği olmak üzere iki ana gruba ayırmışlardır. Girdi belirsizliğini kendi içinde dış talep ve dış tedârik olmak üzere iki sınıfa ayırmışlardır. Süreç belirsizliğini de aynı şekilde iç talep ve iç tedârik olmak üzere ikiye ayırmışlar ve yayınları bu gruplar altında sınıflandırmışlardır. Bu çerçevede yayın yılları 1979 ile 1998 arasında değişen 38 yayını incelemişlerdir.

TZ'de üretim kaynaklı belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalar hem operasyonel düzeyde hem de taktik karar verme düzeyindeki belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalardır. Kullanılan yöntemlerden öne çıkanlar genelde probleme özel geliştirilen, belirsizliklerin bulanık, olasılıklı, olabirsel ve stokastik olarak modele dahil edildiği matematiksel modelleme yöntemleridir. Standart programlama yöntemlerinden de karışık tamsayı programlama ve stokastik dinamik programlama çalışmalarda kullanılmıştır. Algoritmalar ise genetik markovian bir model çözüm için kullanılmıştır. Bununla birlikte MRP çalışmalarına ek olarak bütünleşik MRP, bulanık MRP, kovalama üretim plânlama gibi yaklaşımlar sunulmuştur.

### **3.1.4 Tedârik odaklı çalışmalar**

Tedârik zinciri içerisindeki işletmenin tedârikçi ile ilgili olan operasyonlarını içeren tedârik kısmında yapılan çalışmalar talep belirsizliğinin tedârik üzerine etkileri, tedârikçi belirsizlikleri, tedârik belirsizliği, üretim belirsizliğinin tedârik üzerine etkileri, tedârikçiye iade belirsizliği gibi belirsizlik konuları ile ilgilenmişlerdir.

Tedârik kaynaklı olarak belirsizlikleri inceleyen bu çalışmaları genelde iki grup altında incelemiştir. Bunlardan ilki belirsizlik altında tedârikçi seçimi çalışmalarıdır. Diğer bir grup ise tedârikçi seçimi yanında sipâriş miktarını da belirleyen çalışmaları içermektedir. Bu çalışmalardan belli başlı bâzıları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Gruplama şu şekilde özetlenebilir:

- Belirsizlik altında tedârikçi seçimi
- Belirsizlik altında sipâriş düzeyi

İncelen belirsizlikler şu şekilde gruplandırılabilir:

- Talep
- Tedârik

- Tedârik süresi
- Tedârikçi
- Mâliyet

İncelen belirsizlik konuları şu şekilde gruplandırılabilir:

- Sipâriş miktarlarının modellenmesi
- Tedârikçi seçimi
- Stok kontrolü
- Stok politikaları
- Stok sistemleri

TZ'de belirsizlik noktası olarak tedârik kaynaklı yapılan çalışmalarda ilk olarak belirsizlik altında tedârikçi seçimi çalışmaları karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmalardan biri olan Ding ve diğ. (2008)'nin çalışmasında, belirsizlik altındaki karar verici ile tedârikçi seçimi problemi için bulanık eniyileme modelini kullanmıştır. Wu (2009), belirsizlik altında tedârikçi seçimi problemi için seçenekleri değiştirme yaklaşımını önermiştir. Li ve Zabinsky (2011), tedârikçi seçiminde belirsizlik konusunu stokastik programlama ve şans kısıtlı programlama ile incelemişlerdir. Başkır ve Türksen (2010), tedârikçi seçiminde belirsizliklerin analizi için bulanık c-ortalamaları (FCM) algoritmasını geliştirmişlerdir. Azadeh ve Alem (2010), mâliyet, kalite, teslimat zamanı belirsizlikleri altında tedârikçi seçimi benzetim ve bulanık veri zarfı analizi yaklaşımını kullanmışlardır. Díaz-Madroñero ve diğ. (2010), belirsizlik içeren ölçütler ile tedârikçi seçimi problemine bulanık çok amaçlı doğrusal programlama ile yanıt bulmaya çalışmışlardır.

Belirsizlik altında tedârikçi seçimi ile yapılan bu çalışmalara ek olarak tedârikçi seçimi yanında sipâriş miktarını da belirleyen çalışmalar yapılmıştır. Das Sanchoy ve Abdel-Malek (2003), talep belirsizliği altında sipâriş miktarlarının TZ'de modellenmesi ve tedârikçi seçimi için yaptıkları çalışmada matematiksel modelleme yaklaşımı kullanmışlardır. Kaur ve diğ. (2010), belirsizlik içeren ölçütler ile tedârikçi seçimi ve en uygun sipâriş miktarı problemi için bulanık öncelik programlama temelinde bulanık AHP yöntemini sunmuşlardır. Amin ve diğ. (2011), belirsiz sipâriş miktarları altında tedârikçi seçimi için bulanık SWOT ve bulanık doğrusal programlama yaklaşımlarını kullanmıştır.

Diğer bir çalışma grubu olarak tedârik operasyonunda alıcı karar verme belirsizliğini kavramsal olarak inceleyen Gao ve diğ. (2005)'nin çalışması ele alınabilir.

TZ'de tedârik kaynaklı belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalar genellikle tedârikçi seçimini içeren stratejik karar verme düzeyinde belirsizlikler ile ilgilenen çalışmalardır. Çalışmalarda çoğunlukla belirsizliklerin yönetilmesi için bulanık yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan bâzıları; bulanık çok amaçlı doğrusal programlama, bulanık öncelik programlama temelinde bulanık AHP, bulanık SWOT, bulanık doğrusal programlama, bulanık eniyileme modeli yöntemleridir. Bu çalışmaların yanında ayrıca matematiksel model kurarak problemleri çözen yaklaşımlar da vardır.

### **3.1.5 Genel yazın değerlendirmesi**

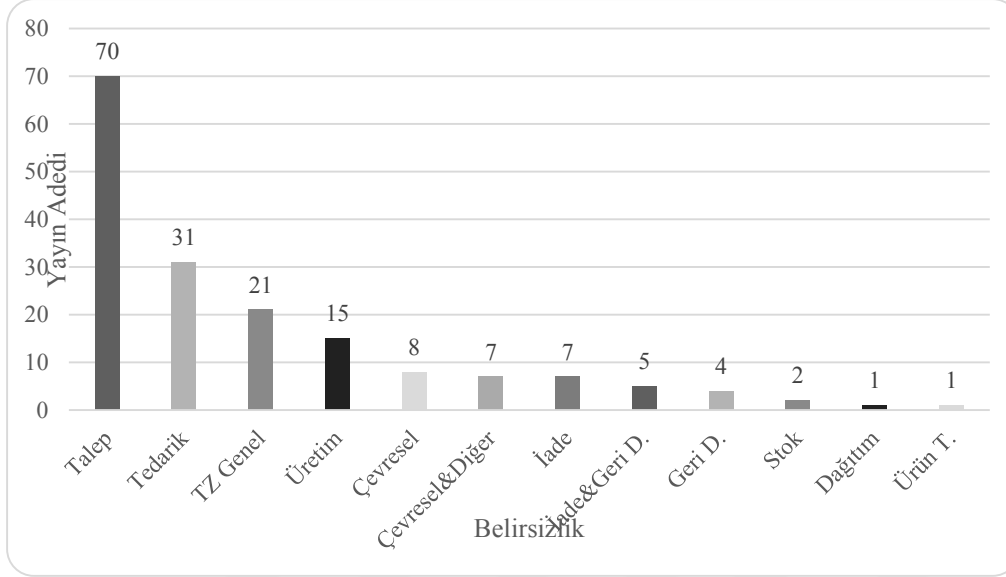
İlk yıllardaki yayınlara baktığımızda bunların genellikle TZ'de belirsizlik kaynaklarının analizi ve bu belirsizliklerin giderilerek performansın artırılması üzerine TZ genelinde çalışmalar oldukları görülmektedir. Bu çalışmalar TZ ve belirsizlik konusunun çerçevesini belirleyen çalışmalardır aslında. Bu ilk çalışmaların, problemi tanımlaması ve çerçeveyi belirleyip sonraki çalışmalara ışık tutması gayet doğaldır.

Sonraki yıllarda yapılan yayınları incelediğimizde çerçeve sunmak veya problemleri tanımlamaktan öte çözüme yönelik ve daha özel konularda çözümler geliştirmeye çalıştıkları görülmektedir. Bu çalışma, bu tür çalışmalara kaynaklık etmesi ve yönlendirmesi açısından önemli bir çalışmadır. Yapılan çalışmalara baktığımızda matematiksel modeller, algoritmalar, programlamalar ile çözüm yöntemlerinin sunulduğu görülmektedir. Son yıllarda yapılan bu çalışmalarda, daha özel konular dikkate alınarak ilgili çözümler geliştirilmiştir.

Çalışmalardan TZ geneli ile ilgilenenler ilk sırada gelmektedir. Bundan sonra en çok yapılan çalışma, üretim konusundaki çalışmalardır. Sonrasında ise satış konulu ve tedârik konulu çalışmalar da onu izlemektedir.

Şekil 3.3.'de belirsizliklerin incelenen yayınlar içerisindeki dağılımları görülebilir. Yayınların bâzılarında birden çok belirsizlik aynı anda işlenmiştir. Üzerinde en çok çalışılan belirsizlik konusu taleptir. Sonrasında ise tedârik konusunda yapılan çalışmalar gelmektedir. Bu iki konunun öne çıkmasının nedenlerinden biri de, işletmelerin diğer TZ ortakları ile arayüzlerinin olduğu noktalar olması ve bu

noktaların belirsizliğin görece daha çok olduğu yerler olmasıdır. Sonraki en çok çalışılan konu olarak üretim ile ilgili konular gelmektedir. Diğer konular ise iade ve geri dönüşüm, çevresel belirsizlikler gibi konulardır. TZ genelinin içindeki konular TZ’de belirsizlik ile ilgili çerçeve belirleme ve sunulan yöntemler ile bu belirsizliklerin azaltılması içerikli çalışmalardır.



**Şekil 3.3 :** Belirsizliklerin yayınlar içerisindeki dağılımları.

Talep ile ilgili yapılan çalışmaların en başta gelmesinin nedeni TZ’de müşteriden gelen bilginin tüm TZ boyunca iletilmesi ve tüm TZ’yi etkileyerek yeni belirsizliklere neden olmasıdır. Talep belirsizliğini konu olan çalışmalarda salt talep belirsizliği konusu işlendiği gibi, talep belirsizliği ile birlikte iade, geri dönüşüm, üretim ve hattâ talep belirsizliğinin tedârik belirsizliğine etkisi ile birlikte işlendiği çalışmalar yapılmıştır. Yalnızca talep belirsizliği ile ilgilenen çalışmaların konuları; talep belirsizliği altında karar verme, talep belirsizliğinin giderilmesi için bilgi sistemlerinin kullanımı, uygun talep tahmin dağılımlarının saptanması ve talep belirsizliğinin TZ’ye etkileri olarak öne çıkmaktadır.

Talep belirsizliği ile diğer belirsizliklerin birlikte olduğu çalışmalardan bâzıları, talep belirsizliği ile birlikte iade ve/veya geri dönüşümü de dikkate alan TZ’de iki yönlü akışı içeren çalışmalardır. Bu çalışmalarda talep belirsizliği altında TZ ağı geri dönüşüm politikası ve talep, iade ve geri dönüşüm belirsizliği altında kapalı döngü TZ ağ tasarımı konuları işlenmiştir.

Talep belirsizliği konusunda bir diğer çalışma grubu, talep belirsizliğini dikkate alan üretim plânlama çalışmaları olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca yine talep belirsizliği içeren alışmaları TZ genelini içeren çalışmalarda da görmek olanaklıdır.

Tedârik konusunda yapılan çalışmalar, belirsizlik altında tedârikçi seçimi çalışmaları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üretimdeki belirsizlikler üzerine yapılan çalışmalarda ise yapılan çalışmalar çoğunlukla üretim plânlama üzerine yapılmış olmakla birlikte; kapasite plânlama, hücre atama gibi problemler üzerinde de çalışılmıştır. Ana konu ise MRP'dir.

TZ ile genel olarak ilgilenen çalışmalara baktığımızda genel olarak tedârik zincirine ilişkin belirsizlik kaynakları, yöntemleri ve çerçeveleri ile ilgilenmişlerdir.

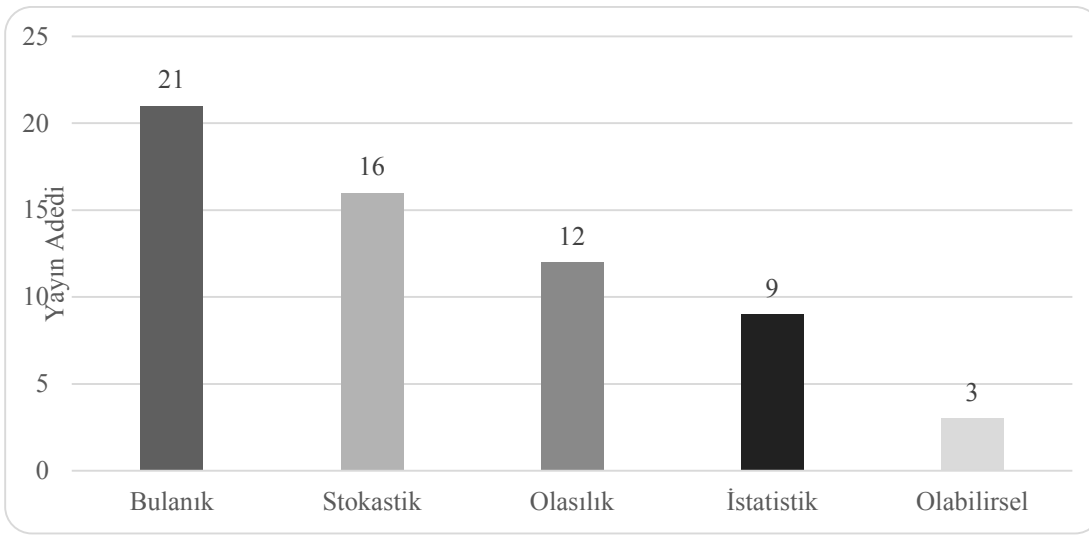
Bunların dışında yapılan çalışmalar da; iade ve/veya geri dönüşüm, tedârikçiye iade ile ilgili belirsizlikleri dikkate alan çalışmalardır. Ayrıca iade ile ilgili belirsizlikler talep ile ilgili konularda, talep belirsizliği ile birlikte de incelemiştir.

Çevresel ve diğer belirsizlikler kısmında ise çevresel belirsizlik, ürün, stok ve dağıtım konusundaki belirsizlikler konu edilmiştir.

Kuramsal olarak çalışmalar, ideal parametreler ve belirli ölçütler ve kabuller altında yapılırlar ve geliştirilen yöntem ve sunulan çözümler de bu ortamlara göredir. Gerçek yaşam koşulları ise tahmin edilemez, öngörülemezlik içeren birçok belirsizlik içerir. Bu çalışmada incelenen belirsizlik yazınında yapılan çalışmalar, kuram ile gerçekliğin arasında geçiş yapabilecek çalışmaları içermektedir. Çünkü bu çalışmalar, belirsizlik altında tedârik zincirini incelemişlerdir. Belirsizliği daha çok anlamamıza yardımcı olan bulanık mantık gibi yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerde, özellikle kısıtlar ve ölçütleri bulanık olarak sunan teknikler geliştirilmiştir. Çoğunlukla bulanık matematiğin sunduğu olanaklardan yararlanılmıştır. Çalışmalarda genel olarak bulanık matematiğe dayanan yöntemler kullanılarak belirsizliklerin tanımlanması ile birlikte AHP, doğrusal programlama ve diğer matematiksel modeller yardımcı ile problemler çözölmüştür.

şekil 3.4'de, yapılan çalışmalarda kullanılan verilerin eldesi için yaralanılan yöntemlerin kullanım adetleri verilmiştir. Yayınlarda belirsizliğin problem çözümünde sayısallaştırılması için kullanılan yöntemlerin başında şekil 3.4'de göröldüğu gibi bulanık yaklaşımlar gelmektedir. Diğer kullanılan yaklaşımlar ise

stokastik, olabilirsel ve olasılık yaklaşımlarıdır. Burada olasılık ve stokastik aynı anlamı ifade eden ve her ikisi de olasılık dağılımlarının kullanıldığı yaklaşım adlandırmalarıdır. Olabilirsel ve bulanık tanımları da yine aynı yaklaşımları ifade etmektedir. Olabilirsel dağılım bulanık yaklaşımda kullanılan üyelik fonksiyonlarını ifade etmektedir. İstatistik yaklaşımlar da yine olasılık dağılımların belirlenmesinde veya tahmin modellerinde kullanılan belirsizlik öngörme yaklaşımı olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma ile çalışmalarda kullanılan ana veri tanımlama yaklaşımı verilmeye çalışılmıştır. Amaç hangi yaklaşımın daha çok kullanıldığını görebilmektir.



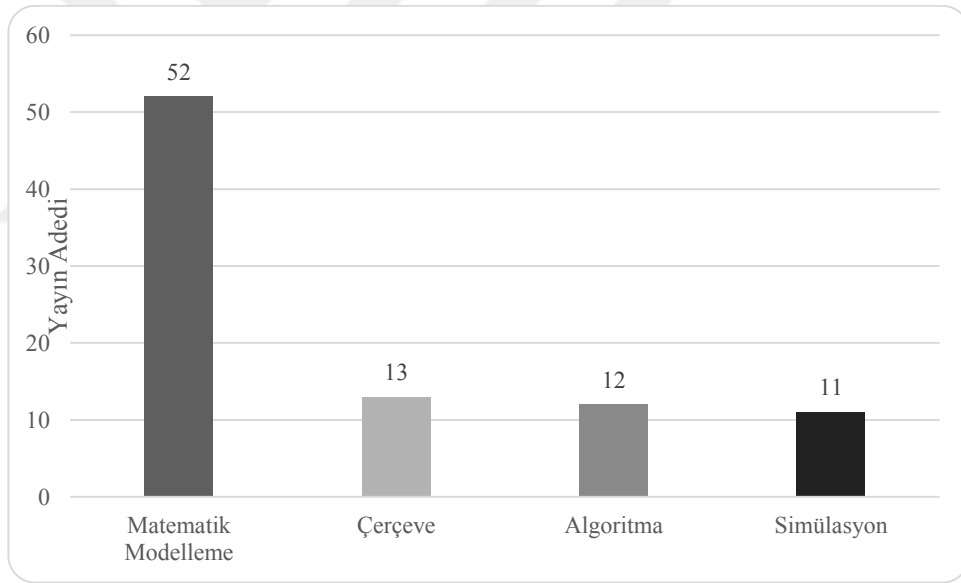
**Şekil 3.4 :** Kullanılan veri sağlama yaklaşımı.

Bulanık veri sağlama yaklaşımının kullanıldığı yöntemler arasında doğrusal programlama, TOPSIS, AHP, MRP, matematiksel modelleme, veri zarflama analizi ve çok amaçlı doğrusal programlama yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerin her biri, bulanık yaklaşımlar kullanılarak genişletilmiştir. Bu yöntemlerde kullanıldığı gibi başka yöntemlerde de yine veri sağlama yaklaşımları, belirsizlik içeren durumlarda bulanık yöntemler kullanılarak yeni bulanık problem çözüm yöntemleri geliştirilebilir. Bu noktada önemli olan konu, veri sağlamak için belirsiz durumlarda verinin bulanık olarak tanımının yapılmasıdır.

Stokastik yaklaşım ise karışık tamsayı programlama, matematiksel modelleme, dinamik programlama gibi çözüm yöntemleri ile birlikte veri sağlama yaklaşımı olarak kullanılmıştır. Olabilirsel yaklaşım, yine karışık tamsayı programlama ve genetik markovian en uygun şekilde sokma modeli ile birlikte sunulmuştur. Olasılıklı yaklaşım

ise yine matematiksel bir model ile birlikte kullanılmıştır. İstatistik ise veri toplama yaklaşımları ile birlikte sunulmuştur.

Şekil 3.5’de, yapılan çalışmalarda kullanılan ana yöntemlerin yayın adetlerine ilişkin grafik verilmiştir. Kullanılan ana çözüm yöntemi Şekil 3.4’de verilen veri sağlama yaklaşımları ile birlikte kullanılmışlardır. Kullanılan veri sağlama yaklaşımları ile birlikte; bulanık doğrusal programlama, stokastik karmaşık tamsayı programlama, olabirsel karmaşık tamsayı programlama, olasılıklı matematiksel model, olabirsel genetik algoritma, stokastik matematiksel model, bulanık matematiksel model yöntemleri geliştirilmiştir. Şekil 3.5’de sunulan matematiksel modelleme, algoritma ve sezgisel yaklaşım, simülasyon, daha ziyâde kullanılan çözüm yöntemlerini ifâde etmekteyken, çerçeve ise bir probleme bakış ve çözüm için bir çerçeve sunulmasını ifâde etmektedir. Çerçeve yaklaşımı genelde problemin incelenmesi ve stratejik düzeyde bir yaklaşım sunulmasından ibârettir.



**Şekil 3.5 :** Kullanılan ana yöntem.

Kullanılan yöntemlere baktığımızda, problemlere özel olarak geliştirilmiş matematiksel modellemeler öne çıkmaktadır. Problemlerin karmaşıklık düzeylerine göre, kullanılan yöntemlerin içerdiği karmaşıklığın artıyor olması doğaldır. Karmaşık tamsayı programlama modeli de yine en çok kullanılan yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğrusal programlama ve genetik algoritma da, yine devamında kullanılmış olan çözüm yöntemleridir. Bununla birlikte yine bu çözüm yöntemlerine, modellemelere ek olarak çözümü desteklemek için kullanılan yöntemler

de vardır. Bender ayrıştırması, karışık tamsayılı programlamanın çözümünde kullanılmıştır. Matematiksel modellerin çözümünde de Bender ayrıştırması ve Lagrange gevşetmesi kullanılmıştır.

Bu belirgin çözüm yöntemlerine ek olarak kullanılan yöntemler de vardır. Bunlar: gazeteci çocuk, oyun kuramı, Nash'in pazarlık modeli, bulanık TOPSIS, bulanık MRP ve geliştirilmiş başka MRP çözümleri, dinamik programlama, stokastik programlama, bulanık veri zarflama analizi, bulanık AHP ve bulanık SWOT yöntemleridir.

### **3.2 Üretim Plânlama ve Belirsizlik**

#### **3.2.1 Yazın araştırması**

Belirsizlikler, kaynakları ve kullanılan yöntemlere baktığımızda, en çok kullanılan veri ele alma şeklinin bulanıklık ve çözüm yönteminin ise matematiksel modelleme olduğu görülmüştü. Buradan yola çıkarak, üretim plânlama ve özellikle MRP konusunun; burada sözedilen MRP matematiksel modelleme, bütünlük ana üretim çizelgeleme ve malzeme gereksinim plânlamayı içermekte olduğu söylenebilir. Gerçek yaşamdaki belirsizliklerin MRP sürecinde dikkate alınması, bu yaklaşımı çok karmaşık bir duruma getirebilir (DePuy ve diğ., 2007).

Üretim ortamında karmaşık ürün yapıları ve çok kademeli üretim süreçleri, MRP sistemlerini üretim plânlama ve malzeme tedârik kararları için en çok kullanılan sistemler yapmıştır. Bununla birlikte gerçek yaşamda müşteri talebi, kapasite kısıtları ve mâliyetler ile ilgili birçok belirsizlik vardır (Mula ve diğ., 2006b).

Çalışmanın devamında, bu konu çerçevesinde farklı zaman aralıkları ile yapılan yazın taramaları verilecektir.

Murthy ve Ma tarafından (1991) MRP ve belirsizlikler üzerine yapılan yazın taramasında, belirsizliklerin ele alındığı MRP ortamında sözkonusu belirsizlikler ve bu belirsizlikler ile birlikte plânlama yapılması için kullanılan yöntemler incelenmiştir. MRP'nin doğası gereği birçok belirsizlik içeren üretim ortamının deterministik olarak ele alınması yerine, belirsizlikleri dikkate alacak şekilde ele alınması, gerçek yaşama daha uygundur. Yapılan yazın taramasında belirsizlikleri, çevresel ve sistemsel belirsizlikler olmak üzere iki başlıkta sınıflamışlardır.

- Çevresel belirsizlikler, talep ve tedârik kaynaklı belirsizlikleri içermektedir.



- Sistem belirsizliği ile üretim kaynaklı verim, kalite ve üretim süreleri konularındaki belirsizlikleri içermektedir.

Belirsizlik altında MRP için kullanılacak yöntemler ise; analitik ve benzetim yaklaşımları olarak sınıflandırmışlardır:

- Analitik yöntemler ve matematik programlama, daha az karmaşık problemler ve yalnızca bir belirsizlik içeren problemler için kullanılmaktadır.
- Benzetim yaklaşımı, daha karmaşık ve birden çok belirsizlik içeren problemlerde kullanılmaktadır.

Koh ve diğ. (2002), çalışmalarında MRP ile üretim plânlama ortamında belirsizlik kaynakları ve plânlamada kullanılan yöntemler üzerine bir yazın taraması sunmuşlardır. Belirsizlikleri girdi ve süreç belirsizlikleri olarak sınıflandırmışlardır. Girdi belirsizlikleri, aslında tedârik ve talep taraflı belirsizlikleri ifâde ederken, süreç belirsizlikleri ise üretim içi belirsizlikleri ifâde eder. Bununla birlikte belirsizlikleri gidermek için önerilen yöntemler ise, sipâriş güvenlik süreleri, tahmin, üretim sabitleme, bilgi geri besleme, yeniden çizelgeleme, uygun parti miktarı belirleme kuralları gibi yöntemlerdir.

Mula ve diğ. (2006b), 1983 ve 2004 arasında yer alan yazını inceleyerek, belirsizlik altında üretim plânlama için model önerileri içeren 87 çalışma belirlemiştir. Toplu üretim plânlama, hiyerarşik üretim plânlama, malzeme gereksinim plânlaması (MRP), kapasite plânlama, üretim kaynakları plânlaması, stok yönetimi ve tedârik zinciri üretim plânlama çalışmaları olmak üzere bu çalışmaları sınıflandırmışlardır. Bu çalışmalardan 29 tanesi MRP ve 11 tanesi de tedârik zinciri üretim plânlama üzerinedir. Önerilen çözüm yöntemlerini; kavramsal modeller, analitik modeller, yapay zekâ modelleri ve benzetim modelleri olarak sınıflandırmışlardır. Matematiksel programlama modelleri, analitik modeller altında sınıflandırılmıştır. MRP için yazında çalışılan analitik modeller; istatistiksel, stokastik ve doğrusal olmayan programlama içeren toplam 6 çalışmadan ibârettir.

Üretim plânlama ve belirsizlik konusunda da yazın taraması çalışmaları vardır.

Guiffrida ve Nagi (1998), bulanık küme kuramının üretim yönetimi araştırmalarında uygulamaları üzerine bir araştırma yapmışlardır. İnceleme 73 makale ve 9 kitabı içermektedir. Üretim yönetimi araştırmalarında bulanık küme kuramı uygulamaları

sınıflandırılmıştır. Mula ve diğ. (2006b), belirsizlik altında üretim plânlama yazını gözden geçirmişler ve üretim plânlama eniyilemesi için belirli bir MRP önermişlerdir. Dolgui ve Prodhon (2007), belirsizlik altında MRP ortamında tedârik plânlama üzerine ayrıntılı bir yazın taraması çalışması yapmışlardır.

Klir ve Yuan (1995), Lai ve Hwang (1992), Kacprzyk ve Orlovski (1987), Zimmermann (1978), Zimmermann ve Fullér (1993)  $\alpha$ -kestirimler ve kabul düzeyi temelli bir yumuşak kısıtlar yaklaşımını, bulanık değişken ve kısıtlar içeren problemlerin çözümünde bir çerçeve yaklaşım olarak önermişlerdir.

Tanaka ve diğ. (1973), Chanas (1983), Carlsson ve Korhonen (1986)'de bulanık doğrusal modellerin çözümü için alfa parametrik çözüm yöntemlerini kullanmışlardır.

Liang (2008), Liang ve Cheng (Liang ve Cheng, 2009) bulanık bir çok amaçlı doğrusal programlama probleminin çözümü için ağırlıklandırılmış ortalama ile durulaştırma yöntemini kullanmışlardır.

Bulanıklık içeren üretim plânlama çalışmalarında izlenen yöntemleri saptamak için bir yayın taraması yapılmıştır. Bu yayın taramasında genel olarak, problemin karmaşıklığından dolayı çözüme ulaşabilmek için bulanık doğrusal yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür.

### **3.2.2 Üretim plânlamada belirsizliği giderme yaklaşımları**

#### **3.2.2.1 Ağırlıklı ortalama durulaştırması**

Torabi ve diğ. (2010), yaptıkları çalışmada, gerçek sanayi vakalarındaki çok düzeyli karmaşık üretim plânlama ve çizelgeleme problemlerinin çözümünde, çok iyi bilinen hiyerarşik üretim plânlama yaklaşımının yerine, gerçekte belirsizlikler içeren pazar talebi, üretim kapasitesi ve birim mâliyet gibi bilgilerin modellenmesi için bulanık küme kuramı yaklaşımını kullanarak yeni bir yaklaşım oluşturmuşlardır. Torabi ve arkadaşlarına göre bulanık matematik problemleri iki ana sınıfta ele alınarak çözülebilirler.

- Esnek programlama
- Olabilirselleştirme

Esnek programlamada hedef ve kısıtlar, genel olarak tercih temeline dayanır ve karar vericiye göre değişebilir. Olabilirsnel programlamada, aksine olayların oluş dereceleri, geçmiş veriler ve olasılıklar, belirsizlikler üzerinde etkilidir.

Torabi ve diğ. (2010), çalışmalarında her iki modeli de içeren belirsizlikleri tanımlamışlardır. Modelin, çözülebilmesi için eş yardımcı belirli modele dönüştürülmesi gerektiğini belirtmişler ve çevirmişlerdir. Bunun için Lai ve Hwang (1992) tarafından önerilen etkin bir yöntemi kullanmışlardır.

Bu yöntemde göre amaç fonksiyonundaki her katsayı, üçgen olasılık dağılımı içerdiğinde, amaç fonksiyonu da üçgen olasılık dağılımında olacak ve üç nokta ile tanımlanabilecektir. Bu şekilde amaç fonksiyonu, bu üç noktayı eşzamanlı olarak yukarı itmeye çalışarak arttırılabilir. Ancak bunun gerçekleşmesi olanaklı olmayabilir. Bundan dolayı,  $Z_p$ ,  $Z_m$  ve  $Z_o$  bu noktalar ise, Lai ve Hwang (1992)  $Z_p$ ,  $Z_m$  ve  $Z_o$ 'yi aynı anda enbüyüklemek yerine, enbüyükle ( $Z_m$ ), enküçükle ( $Z_m - Z_p$ ) ve enbüyükle ( $Z_o - Z_m$ )'yi önermişlerdir. Böylece özgün bulanık amaç fonksiyonu yerine üç farklı belirli amaç fonksiyonu olur. Kısıtlar için de, durulaştırma yönetimi olarak da bilinen ağırlıklandırılmış ortalama yönetimini kullanarak, kısıtları belirli duruma getirmişlerdir.

Çözüm içinde etkileşimli bulanık programlama çözüm algoritması olan alfa kabul edilebilirlik düzeylerini kullanarak, yeğlenen sonuç çözümü elde etmişlerdir.

Liang (2008) ise çalışmasında TFN kullanarak belirsizlikleri karar verici ile tanımlamıştır. Karar verici; en kötü beklediği değer kabul düzeyini 0, en beklenen değer üyelik derecesini 1 ve en iyimser beklediği değer üyelik derecesini 0 olarak alır. TFN, kullanım kolaylığı ve karar vericilerin bu değerleri daha iyi belirleyebilmesinden dolayı en yaygın olarak kullanılan belirsizlik tanımlama yöntemidir. TFN bulanık sayıların belirli hâle getirilmesinde en çok kullanılan yöntem olan ağırlıklandırma yöntemini kullanmıştır. Bu durumda  $\alpha$  en düşük kabul edilebilir üyelik düzeyi olmak üzere :  $gdkf_h$  için bu ağırlıklandırma ile durulaştırma yöntemi,

$gdkf_h = w_1gdkf_{ha} + w_2gdkf_{hb} + w_3gdkf_{hc}$  olarak gösterilebilir.  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$  olup;  $w_1, w_2$  ve  $w_3$  en kötümser, en beklenen ve en iyimser ağırlıkları ifade eder. Bu çalışmada  $w_2 = 4/6$ ,  $w_1 = w_3 = 1/6$  ve  $\alpha = 0,5$  tüm bulanık değişkenler için kullanılmıştır. Uygulamada bu değerlerin karar verici ve uzmanlar tarafından her belirsizlik için ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini ancak kendi çalışmalarında bu şekilde değer

belirlediklerini bildirmişlerdir. En beklenen değer, genel olarak en yüksek ağırlığı alırken; diğer ağırlıkların ise daha küçük değer alması normaldir (Lai ve Hwang, 1992; Wang ve Liang, 2005). Bu şekilde problem, belirli duruma geldikten sonra çözülebilir.

Lu ve diğ. (2015), çok ürünlü, çok aşamalı bütünleşik üretim plânlama problemi için yeni bir bulanık çok amaçlı karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. İlk aşamada bulanıklığın durulaştırılması için ortalama ağırlıklandırma ve bulanık sıralama yöntemleri kullanılmıştır. İkinci aşamada ise karar vericilerin tercihleri gözönünde tutularak, amaçların tatmin derecelerini hesaplayan bir etkileşimli çözümlenme yöntemi kullanılmıştır.

Wong ve Lai (2011) tarafından yapılan yayın tarama çalışmasında, bu tez çalışmasında da kullanılan ağırlıklı ortalama yönteminin, üretim plânlama problemlerinde diğerlerine göre daha çok kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca yine bu çalışmada, 2009 yılında bulanık sayılar ile belirsizliklerin kullanımı, önceki yıllara göre iki kat artmıştır. Bu çalışmalarda OECD ülkeleri arasında Türkiye ikinci ve tüm ülkeler arasında ise dördüncü sırada yer almaktadır. Bu da konunun son yıllarda artan önemini göstermektedir.

### **3.2.2.2 Alfa kestirimler ve parametrik doğrusal programlama yaklaşımı**

Klir ve Yuan (1995), Lai ve Hwang (1992), Kacprzyk ve Orlovski (1987), Zimmermann (1978), Zimmermann ve Fullér (1993) tarafından bulanık parametreler içeren matematiksel modellerin çözümünde alfa kestirimler ve tatmin derecesi yöntemleri ile çözülebilen yumuşak kısıtlar modeli (Soft Constraints Model) genel bir çerçeve olarak geliştirilmiştir. Tanaka ve diğ. (1973), Chanas (1983), Carlsson ve Korhonen (1986)'de bulanık doğrusal programlamaların çözümünde parametrik yöntemleri kullanmışlardır.

Bulanık üretim plânlama problemleri ise çoğunlukla Peidro ve diğ. (Mula ve diğ., 2010b; Peidro ve diğ., 2009, 2010) ve Mula diğ. (2006a, 2006b, 2007, 2010b; 2009, 2010) tarafından çalışılmıştır.

Peidro ve diğ. (2009) bulanık matematiksel programlama kullanarak tedârik zinciri plânlamasında değişik tedârik, talep ve üretim belirsizlikleri ile modelleme yapmışlardır. Programlamada bulanık katsayılar ve kısıtlar kullanılmıştır. Modeli çözebilmek için alfa kestirimler ve Yager (1981) sıralaması kullanılarak model

doğrusal duruma getirilmiş, etkileşimli bir şekilde alfa kestirimler ile parametrik bir şekilde çözülmüştür.

Jiménez ve diğ. (2007) tarafından sunulan modelde, belirsizliklerin belirli duruma getirilmesi için beklenen değer yöntemi, kabul edilebilirlik düzeyleri ile birlikte kullanılmış ve alfa parametrik kestirim denklemleri ile birlikte problem doğrusal olarak çözülmüştür.

Zhang ve diğ. (2014), belirsizlik altında bulanık aralıklar ile tanımlamaların yapıldığı genel bir üretim plânlama problemini tasarlamışlardır. Tanımından dolayı doğrusal olmayan bu problemin çözümü için alfa parametrik doğrusal programlama yaklaşımı ile modeli eş doğrusal belirli denklemler hâline çevirmişler ve bu çevrim içinde karar vericilerin bulanık aralıklar için olabilirlik derecelendirmelerini kullanmışlardır.

Srinivasan ve Geetharamani (2016) tip-2 belirsiz aralıklar içeren kapasite ve teknoloji kısıtları barındıran problemlerin çözümünde tatmin düzeyleri ile birlikte alfa kestirimleri kullanarak bu tür problemlerin doğrusal programlama çözümü üzerine bir çalışma sunmuşlardır.

### **3.2.2.3 Doğrusal olmayan modelleme ve algoritma ile çözüm**

Karmaşık tanımlamalar içeren modellemeler, tanım gereği doğrusal olmayan matematiksel modelleri ortaya çıkarabilir. Bu noktada doğrusal olmayan ifâdelerin doğrusallaştırılması, olanaklı ise gerekebilir. Al-E-Hashem ve diğ. (2013) tarafından önerilen üretim plânlama modelinde, bu tür bir tanımlamadan kaynaklı ortaya çıkan çok parçalı fonksiyon içeren kısıtların doğrusallaştırılması, önerilen bir matematiksel modelleme ile yapılmıştır.

Baykasoğlu ve Gökçen (2010), başka bir çalışmada verilmiş olan bir toplu üretim plânlama modelini ele alarak, modeldeki değişkenlere TFN (Triangular Fuzzy Numbers – Üçgen Bulanık Sayılar) kullanarak bulanıklık eklemiş ve çözüm içinde tabu arama algoritması ve farklı bulanık sayılar sıralama yöntemlerini kullanmışlardır. Bulanık parametreler içeren modeller için değişik en uygun şekle sokma algoritmaları önerildiğini bildirmişlerdir. Bunların çoğu, Zimmermann (1976) tarafından önerilen bulanık karar kavramına dayanır.

Diğer bir yaygın yaklaşım ise bulanık sıralama süreçlerini çözüm yönteminin bir parçası olarak kullanan bulanık matematik programlardır. Bu çözümlerin genelinde

matematiksel modeller eşdeğer belirli modellere çevrilerek klasik çözüm yaklaşımı ile çözümler elde edilmektedir. Bâzen bu yaklaşımda artan değişken sayısı nedeniyle çözüm süreci, uygulamada daha karmaşık bir durum alabilmektedir. Eklenen bulanık model çoğu zaman doğrusal olmayan bir hal aldığından, bunun çözümü için sezgisel algoritmalar kullanmak gerekir. Bundan dolayı bu bulanık problemin doğrudan çözümü için Tabu arama meta sezgisel algoritması ve bulanık sayıların sıralamasını içeren bir çözüm yöntemi önerilmiştir.

Bir matematiksel programlama probleminde parametrelerin herhangi biri bulanık olarak tanımlanabilir. Belirli bir sayı belirsiz bir sayı ile çarpıldığında, sonuçta belirsiz bir sayı olacaktır. Amaç fonksiyonunda herhangi bir katsayı bulanık olunca çözüm vektörleri de bulanık olacağından, en iyi çözüm vektörünün seçimi için bulanık sayıların sıralanması gereklidir. Aynı durum kısıtlar için de geçerlidir, sağ taraflı ve sol taraflı durumlar için de geçerlidir.

Farklı sıralama yöntemleri kullanmanın sonuç üzerinde fazla bir etkisi olmadığı ve bulunduğu sonuca göre modeli, belirli bir modele çevirmeden de sezgiseller ile çözülebileceğini göstermiştir.

### **3.2.3 MRP ve bulanıklık**

#### **3.2.3.1 Bulanıklığın esnek stok ve zaman politikaları ile giderildiği MRP**

Grabot ve diğ. (2005) genel bir MRP çalışmasının belirsizlik durumu için Bulanık-MRP yönteminin değiştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Günümüzde, üretim yönetiminin ana zorluklarından biri, artan müşteri talebi belirsizliğini dikkate almaktır. Bir MRP sisteminde bu belirsizlik, orta vâdede plânlamanın başarı gerçekleymesinde yönetilmiştir. Bu çalışmada belirsizliğin ve talep tutarsızlıklarının açıkça örneklenmesi için tüm üretim kaynakları plânlaması adımları (malzeme gereksinim plânlaması, yükleme plânlama, çizelgeleme) için yol sunulmaktadır. Bu yöntem, bulanık MRP olarak adlandırılır. Her adımın görüntülenmesi için karar vericilere biraz daha zengin bilgi oluşturur, salt kesin bilgileri değil aynı zamanda çeşitli olasılıkları da dikkate alır. Uzun bir hazırlık gerektiren kararlar (alt tedârikçi, bileşenlerin sipârişi, kapasite arttırımı gibi) sayısal veri temelinde daha erken alınabilir. Bir üretim işletmesinde üretim yönetimi; makina, işçi, hammadde ve bileşenler gibi üretim kaynaklarının müşteri sipârişinin karşılanmasında uygun kullanımını sağlamayı amaçlar. Çoğu

durumda üretim organizasyonunda talep biliniyordur veya az olasılık içerir. Üretim kaynaklarının plânlanması aslında malzeme gereksinim plânlamasının bir uzantısı olarak ortaya çıkmıştır. Bu işlemler de kurumsal kaynak plânlamanın ana parçalarını oluşturmaktadır. Bu yöntemde belirsizlikle ilişkili üç ana yol kullanılmıştır:

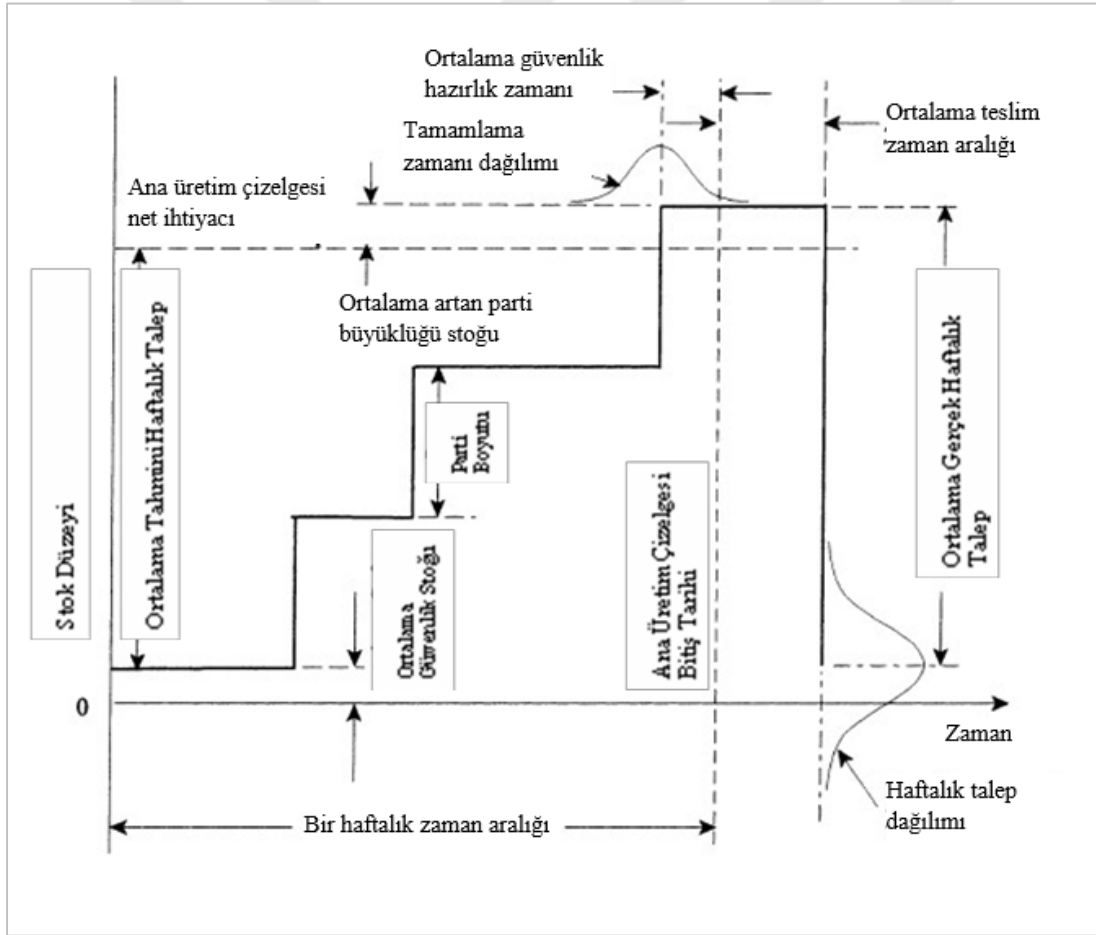
- Miktar belirlenmesinde ve gecikmelerde güven aralıkları.
- Çeşitli üretim plânlarının dönemlik yenilenmesi verilen zaman aralığında, kısa dönemli değişiklikleri uygun biçimde üretim plânına yansıtma için.
- Beklenmeyen talep artışları veya dağıtım sorunlarına karşı güvence stok düzeylerinin tahmini.

Genelde bu yollar için olasılık yaklaşımları kullanılır. Ancak bu olasılık yaklaşımları için gerekli veriye sahip olmak genelde çok zordur. Bulanık mantık belirsizlikler ile ilgilenmede çoklukla kullanılan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada belirsiz siparişlerin yönetilmesinde bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. MRP sistemine bulanık örnekleme yaklaşımı uygulayarak belirsiz ve tutarsız siparişlerin tüm plânlama düzeylerinde başarı eldesi için kullanılmıştır. Böylece sıradan MRP sistemine göre karar vericiye belirsizlikleri de gözönünde tutarak daha bilgilendirici sonuçlar sunar.

Enns (2002) makalesinde, talep belirsizliği durumunda MRP üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada tahmin sapmalarının ve talep belirsizliğinin partili üretim ortamındaki etkileri bütünlük malzeme gereksinim plânlama ve yürütme test ortamı ile araştırılmıştır. Tahmin hatalarını karşılamak için kullanılan şişirilmiş plânlı bitiş zamanları ve güvence stokları değerlendirilmiştir. İnceleme ana üretim plânı son tarihleri ve müşteri teslimat gereksinimlerinin her ikisi gözönünde tutularak yapılmıştır. Şekil 3.16'da çalışmada gözönünde tutulan etmenler görülmektedir. Tahmin sapmaları ve talep belirsizliğinin ana üretim plânını ve teslimat başarısına etkisinin farklılığı gösterilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda artan plânlı bitiş tarihleri ve güvence stoklarının teslimat başarısının artırılmasında etkin olduğunu göstermiştir. Eğer talep belirsizliği tamamlanma süresi değişkenliğine baskınsa, güvence stoklarının kullanımı daha az bitmiş ürün stoğu ile teslimat amacına ulaşacaktır. Stoğa çalışılan ortamda, yüksek düzeyde bitmiş ürün stoğu ile talebin karşılanmaya çalışılması kuşkusuz mâliyetleri arttıracaktır. Bundan dolayı amaç, en düşük stok miktarı ile teslimat başarısını sağlamaktır. Bundan dolayı da tahmin yöntemleri kullanılarak

uygun üretim çizelgeleri oluşturulur. Bu çalışmada da MRP mantığı çerçevesinde bu tahmin hataları araştırılmıştır.

Sonuçlar göstermiştir ki tahmin sapmaları ve talep belirsizliği müşteri dağıtım hizmet düzeyi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Tahmin-talep oranı artarken veya talepteki belirsizlik azalırken, dağıtım hizmet düzeyi artar. Bununla birlikte sapmanın etkisi ve talep belirsizliği, ana üretim çizelgesinde biraz farklıdır. İlk etkiler küçüktür. İkincisi, artan tahmin-talep oranı, ana üretim çizelgesinin son teslim tarihlerinde bozulmalara neden olmaktadır. Üçüncüsü, talep belirsizliğindeki artışın, ana üretim çizelgesi son teslim tarihi başarısında karışık bir etkisi vardır. Bu çalışma, tahminin, güvence stoğunun ve plânlı bitiş tarihlerinin ana üretim çizelgesi başarısındaki önemini göstermiştir.



Şekil 3.6 : Çalışmadan uyarlanmış ürün stoğunda belirleyici etmenler.

Tang ve Grubbström (2002) makalelerinde talep belirsizliği durumunda ana üretim çizelgesinin hazırlanması konusu incelenmişlerdir. Ana üretim çizelgesi, müşteri hizmet düzeyi ve MRP ortamında düzgün bir üretim plâni için temel oluşturur.



Geleneksel olarak ana üretim çizelgesi, bir talep tahmini ve toplu üretim plânından çıkarılır ama talep belirsizliğinden kaynaklanan mâliyetler hiç dikkate alınmaz. Ana üretim çizelgesindeki diğer bir zorluk da plânlama sıklığıdır. MPS'deki sık değişiklikler üretkenliği azaltır; öyle ki uzun dönemli sabit MPS, düşük hizmet düzeyi ve istenmeyen stok durumları ile sonuçlanır. Bu çalışmada, öncelikle olasılıklı talep durumunda MPS plânlaması için bir yöntem geliştirebilme olasılığı incelenmiştir. İkincil olarak yeniden plânlamaların değeri ölçülmüştür. Sonuçta da, yeniden plânlama aralıkları ve plâni sabitlemek için aralık uzunluğu gibi MPS'in değişkenlerini uygun olarak tahmin etmek için bir model sağlanmıştır.

### **3.2.3.2 Alfa kestirimler ve parametrik doğrusal programlama ile MRP / tip-1 belirsizlik**

Mula ve diğ. (2007), bulanık talepler içeren bir karışık üretim plânlama probleminin genel modellemesi üzerine çalışmışlardır. Temel amaçları, bulanık kümeler kullanarak üretim plânlama modelini klasik matematiksel programlama yöntemleri ile çok ölçütlü bir ortamda en iyi çözümü elde etmektir. Aralık bulanık kümeler yöntemi ile belirsizliği modele eklemişler ve bulanık doğrusal programlama, yâni yumuşak kısıtlar modeli kurmuşlardır.

Bu bağlamda, belirsizlik altında MRP ile ilgili çalışmalar vardır. Bulanık üretim plânlama problemleri üzerinde ise çoğunlukla Peidro ve diğ. (Mula ve diğ., 2010b; Peidro ve diğ., 2009, 2010) ve Mula diğ. (2006a, 2006b, 2007, 2010b; 2009, 2010) tarafından çalışılmıştır.

Mula ve diğ. (2006a), belirsizlik altında üretim plânlama için bulanık matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Bu model, bulanık kısıtlar ve bulanık katsayılar içermektedir.

Mula ve diğ. (2010b), kapasite kısıtlı MRP ortamında orta dönemli üretim plânlama için yeni bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu çok ürünlü, çok kademeli ve çok dönemli üretim ortamında, amaç fonksiyonu, piyasa talebi ve kullanılabilir kapasite kaynakları için üç bulanık tanımlama içermektedir.

Peidro ve diğ. (2010), bulanık matematiksel programlama yaklaşımının belirsiz talep altında bir tedârik zinciri plânlama probleminin modellenmesindeki etkinliğini göstermeye çalışmışlardır.

Bulanık kısıtların ve katsayıların matematiksel modellere eklenmesi, genel olarak modelleri doğrusal olmayan bir hâle dönüştürür. Doğrusal olmayan problemlerin çözüm zorluğu dikkate alınarak, çoğunlukla modellerin doğrusal olarak tutulabilmesi için  $\alpha$ -kestirimlerle bulanık parametrik doğrusal programlama yaklaşımı kullanılmıştır.

Şayet  $\tilde{A}_h$ , bir bulanık sayı ise, onun üyelik fonksiyonu denklem (3.1)'deki gibi verilebilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x:a,b,c) = \begin{cases} x - \frac{a}{b} - a, & \text{Eğer, } a \leq x \leq b \\ c - \frac{x}{c} - b, & \text{Eğer, } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{Eğer, } x > c \text{ or } x < a \end{cases} \quad (3.1)$$

Jiménez ve diğ. (2007), önerilen karar vericiler ile etkileşimli çözüm yöntemi kullanılarak ve doğrusallık korunarak problem çözülebilir.

Kullanılan etkileşimli çözüm yöntemi, bulanık katsayının kabul derecesini ifade eden bir  $\alpha$  içerir.  $\alpha_0$ , karar vericinin kabul etmeye razı olduğu en düşük kabul derecesidir.  $\alpha$ 'nın olabilirlik aralığı  $\alpha_0 \leq \alpha \leq 1$  'dir. Bu çalışmada, önerilen bir aralık olarak  $\alpha$  için 0,1 adım aralığı kabul edilmiştir. Denklem (3.2)'de,  $\alpha$  için belirlenen kabul düzeyleri kümesi verilmiştir.

$$M = \{\alpha_i = \alpha_0 + 0.1i \mid i=0,1, \dots, 1-\alpha_0/0.1\} \subset [0,1] \quad (3.2)$$

İlk adımda her  $\alpha_i$  için basit doğrusal denklemler çözülür. Sonucunda orijinal problemin kabul edilebilir en iyi çözüm kümesi, denklem (3.3)'de ifade edildiği gibi elde edilmiştir:

$$O = \{x^0(\alpha_i), \alpha_i \in M\} \quad (3.3)$$

Sonra  $\tilde{z}^0(\alpha_i)$ , amaç fonksiyonunun dağılımına ulaşılır. Olabilir bir çözüm bulmak için hem olabilirlik derecelerine, hem de amaç fonksiyonunun kabul edilebilir değerlerine dikkat etmek durumundayız.

Olabilirlik düzeyleri için parametrik doğrusal problemlerin çözümünden sonra ilgili  $\tilde{G}$  çözüm kümesi denklem (3.4)'de verildiği gibi elde edilir.

$$\mu_{\tilde{G}}(z) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer, } z \leq \underline{G}, \\ \lambda \in [0, 1], & \text{Eğer, } \underline{G} \leq z \leq \overline{G} \\ 0, & \text{Eğer, } z \geq \overline{G} \end{cases} \quad (3.4)$$

Her  $\alpha$ - kabul edilebilir en iyi çözümü için,  $\tilde{G}$  için tatmin düzeyleri hesaplanır. Her  $\alpha_i$  için karar verici tayini hesaplanmış olur.

$\alpha$ -parametrik doğrusal programların bulanık sayılar ve kümeler ile kullanımı, karar vericiler ile birlikte karmaşık problemlerin etkileşimli çözümünde kullanımı yeğlenen etkin bir yöntemdir.

Garcia ve diğ.(2012) bulanık talepler içeren karışık bir üretim plânlama probleminin genel modellemesi üzerine çalışmışlardır. Temel amaçları, bulanık kümeler kullanarak üretim plânlama modelini klasik matematiksel programlama yöntemleri ile çok ölçütlü bir ortamda çözmek ve en iyi çözüme ulaşmaktır. Aralık bulanık kümeler yöntemi ile belirsizliği modele eklemişler ve bulanık doğrusal programlama yâni yumuşak kısıtlar modeli kurmuşlardır.

Serna ve diğ. (2010), bir otomotiv endüstrisinde belirsizlik altında malzeme gereksinim plânlaması problemine bir çözüm sunmayı amaçlamışlardır. Problemi bulanık parametrik doğrusal programlama yaklaşımı kullanarak çözmüşlerdir.

Parra ve diğ. (2005), çok amaçlı olabilirselleştirme problemi için bulanık uzlaştırıcı programlama yaklaşımını kullanarak bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Çözüm yöntemleri, yumuşak ilgi ve ilgisizlik ilişkilerini ve bulanık sayıların  $\alpha$ -kestirimleri ortalamaları ile klasik gösterimi temeli üzerine kurulmuştur.

Doğrusal matematiksel modelleme çözümlerin yanısıra, bâzı çalışmalar bulanık üretim plânlama probleminin çözümü için algoritmalar kullanmışlardır.

Li ve diğ. (2009b), piyasa talebi ve üretim birim mâliyetinin bulanık değişken katsayılar şeklinde ifâde edildiği bir bulanık programlama modeli göstermişlerdir. Çözüm için yakınlaştırma yaklaşımı (approximation approach, AA) ve parçacık sürüsü eniyilemesi (particle swarm optimization, PSO) yaklaşımını birleştiren melez bir algoritma tasarlamışlardır.

Lan ve diğ (2009), hizmet düzeylerini dikkate alarak çok dönemli üretim plânlama ve kaynak plânlama problemi üzerine çalışmışlardır ve yakınlaştırma yaklaşımı, parçacık sürüsü eniyilemesi ve sinir ağları birleşimi olan melez bir algoritma tasarlamışlardır.

Srivastava ve Nema (2012), belirsizlik altında çok amaçlı geri dönüşüm problemi için bir bulanık parametrik modeli önermişlerdir.

Chen ve Huang (2014), bulanık çok ürünlü bir toplu üretim plânlama problemi için Zadeh'in genişleme ilkesinden yola çıkarak bulanıklığın durulaştırıldığı alfa kestirimler yöntemi ve parametrik doğrusal programlama çözüm yöntemini kullanmışlardır.

Madadi ve Wong (2014), gerçek kapasite ve ürün kalitesini dikkate alan çok amaçlı bulanık toplu üretim plânlama üzerinde çalışmışlardır. Çözüm için Jimenez ve diğ. (2007) tarafından önerilen alfa kestirimler ile çözüm yöntemini kullanmışlardır.

### **3.2.3.3 Alfa kestirimler ve parametrik doğrusal programlama ile MRP / tip-2 belirsizlik**

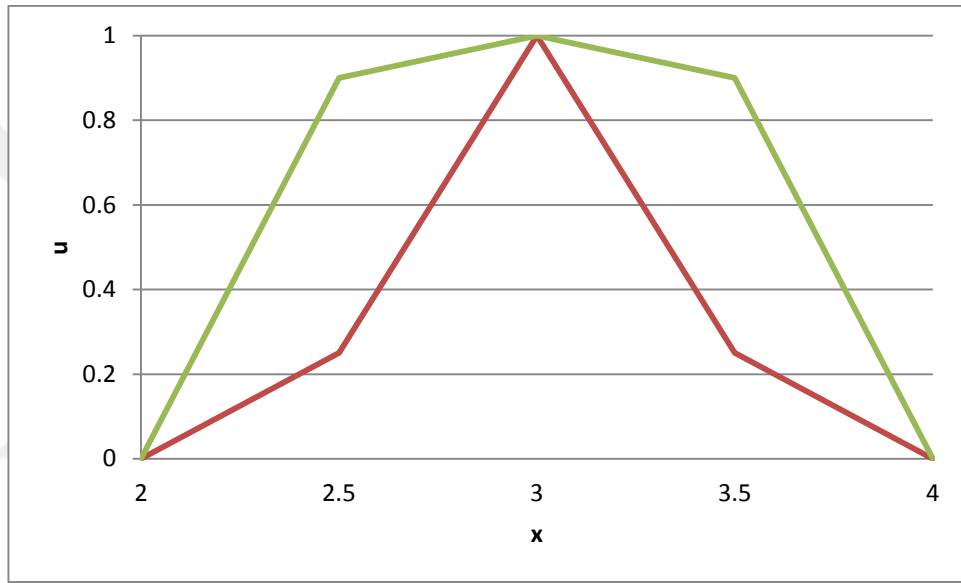
Srinivasan ve Geetharamani (2016), tip-2 belirsiz aralıklar içeren kapasite ve teknoloji kısıtları barındıran problemlerin çözümünde tatmin düzeyleri ile birlikte alfa kestirimleri kullanarak bu tür problemlerin doğrusal programlama çözümü üzerine bir çalışma sunmuşlardır.

Kundu ve diğ. (2014) iki sabit mâliyetli nakliye problemini tip-2 bulanık parametreler ile ele almışlardır. Bu çalışmalarında tip-2 bulanık mâliyetlerin durulaştırılmasında iki aşamalı bir durulaştırma yöntemi kullanmışlardır. İlk olarak tip-2 bulanık değerden tip-1'e indirgeme için kritik değer (CV-critical value) temelli indirgeme yaklaşımı kullanmışlardır. Tip-1'den de durulaştırma için sentroid yöntemini kullanmışlar ve parametrik denklemler ile deterministik duruma gelen modeli çözmeye çalışmışlardır.

Tip-2 üçgen bulanık aralık değişken  $\tilde{a}=(a_l, a_2, a_3; \theta_l, \theta_r)$  olarak gösterilir. Burada  $a_l, a_2$  ve  $a_3$  gerçek sayılar olup ilk derece belirsizliği göstermekle birlikte,  $\theta_l$  ve  $\theta_r$  tip-2 üçgen bulanık aralık değişkenin ilk düzey belirsizliğin belirsizlik dağılımı aralığını göstermektedir. İkinci düzeydeki bu belirsizlik dağılımı fonksiyonu  $\tilde{\mu}_{\tilde{a}}(x)$  olarak tanımlanır ve denklem (3.5)'deki şekilde ifade edilir.

$$\tilde{\mu}_a(x) = \begin{cases} \left( \frac{x-a_1}{a_2-a_1} - \theta_l \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, \frac{x-a_1}{a_2-a_1} + \theta_r \frac{x-a_1}{a_2-a_1} \right), & \text{Eğer } x \in \left[ a_1, \frac{a_1+a_2}{2} \right] \\ \left( \frac{x-a_1}{a_2-a_1} - \theta_l \frac{a_2-x}{a_2-a_1}, \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, \frac{x-a_1}{a_2-a_1} + \theta_r \frac{a_2-x}{a_2-a_1} \right), & \text{Eğer } x \in \left[ \frac{a_1+a_2}{2}, a_2 \right] \\ \left( \frac{a_3-x}{a_3-a_2} - \theta_l \frac{x-a_2}{a_3-a_2}, \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, \frac{a_3-x}{a_3-a_2} + \theta_r \frac{x-a_2}{a_3-a_2} \right), & \text{Eğer } x \in \left[ a_2, \frac{a_2+a_3}{2} \right] \\ \left( \frac{a_3-x}{a_3-a_2} - \theta_l \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, \frac{a_3-x}{a_3-a_2} + \theta_r \frac{a_3-x}{a_3-a_2} \right), & \text{Eğer } x \in \left[ \frac{a_2+a_3}{2}, a_3 \right] \end{cases} \quad (3.5)$$

Bu, Şekil 3.7’de belirsizlik aralığı dağılımı hesaplanarak ilgili tip-2 bulanık aralık değişkeninin belirsizlik aralığı elde edilebilir ve ayak değişken iz grafiği görülmektedir.



Şekil 3.7 : Örnek tip-2 bulanık aralık ayak izi grafiği.

Kundu ve diğ. (2014) tarafından önerilen iki aşamalı durulaştırma yöntemine göre bir mâliyet enküçükleme probleminde tip-2 bulanık mâliyet katsayıları ve kısıtların durulaştırılması aşağıdaki şekilde yapılabilir.

Temel enküçükleme problemi şu şekilde tanımlanabilir:

Amaç:

$$\text{Enküçükle } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\tilde{c}_{ij}x_{ij} + \tilde{d}_{ij}y_{ij}) \quad (3.6)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq \tilde{a}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq \tilde{b}_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } x_{ij} > 0 \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases} \quad (3.9)$$

Bu örnek problem için  $\tilde{c}_{ij}$ ,  $\tilde{d}_{ij}$ ,  $\tilde{a}_i$  ve  $\tilde{b}_j$  değişkenleri birbirinden bağımsız tip-2 bulanık üçgen değişkenler olmak üzere;  $\tilde{c}_{ij} = (c_{ij}^1, c_{ij}^2, c_{ij}^3; \theta_{l,ij}, \theta_{r,ij})$ ,  $\tilde{d}_{ij} = (d_{ij}^1, d_{ij}^2, d_{ij}^3; \theta'_{l,ij}, \theta'_{r,ij})$  ve diğerleri benzer şekilde tip-2 bulanık üçgen aralık olarak tanımlanır.

Kundu ve diğ. (2014) tarafından sunulan teorem-4'e göre model aşağıdaki şekilde belirli eş parametrik programlama problemleri olarak ele alınabilir. Burada bizim ele aldığımız örneğe ilişkin katsayı değişimini dikkate alıyoruz.

Durum 1:  $0 < \alpha \leq 0.25$   $\alpha$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur:

Enküçükle  $Z =$  (3.10)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{(1-2\alpha + (1-4\alpha)\theta_{r,ij})c_{ij}^1 x_{ij} + 2\alpha c_{ij}^2 x_{ij}}{1+(1-4\alpha)\theta_{r,ij}} + \frac{(1-2\alpha + (1-4\alpha)\theta'_{r,ij})d_{ij}^1 y_{ij} + 2\alpha d_{ij}^2 y_{ij}}{1+(1-4\alpha)\theta'_{r,ij}} \right]$$

Durum 1:  $0.25 < \alpha \leq 0.5$   $\alpha$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur:

Enküçükle  $Z =$  (3.11)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{(1-2\alpha)c_{ij}^1 x_{ij} + (2\alpha + (4\alpha-1)\theta_{l,ij})c_{ij}^2 x_{ij}}{1+(4\alpha-1)\theta_{l,ij}} + \frac{(1-2\alpha)d_{ij}^1 y_{ij} + (2\alpha + (4\alpha-1)\theta'_{l,ij})d_{ij}^2 y_{ij}}{1+(4\alpha-1)\theta'_{l,ij}} \right]$$

Durum 3:  $0.5 < \alpha \leq 0.75$   $\alpha$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur:

Enküçükle  $Z=$  (3.12)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{(2\alpha-1)c_{ij}^3 x_{ij} + (2(1-\alpha) + (3-4\alpha)\theta_{l,ij})c_{ij}^2 x_{ij}}{1+(3-4\alpha)\theta_{l,ij}} \right. \\ \left. + \frac{(2\alpha-1)d_{ij}^3 y_{ij} + (2(1-\alpha) + (3-4\alpha)\theta'_{l,ij})d_{ij}^2 y_{ij}}{1+(3-4\alpha)\theta'_{l,ij}} \right]$$

Durum 4:  $0,75 < \alpha \leq 1$   $\alpha$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur:

Enküçükle  $Z=$  (3.13)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{(2\alpha-1 + (4\alpha-3)\theta_{r,ij})c_{ij}^3 x_{ij} + 2(1-\alpha)c_{ij}^2 x_{ij}}{1+(4\alpha-3)\theta_{r,ij}} \right. \\ \left. + \frac{(2\alpha-1 + (4\alpha-3)\theta'_{r,ij})d_{ij}^3 y_{ij} + 2(1-\alpha)d_{ij}^2 y_{ij}}{1+(4\alpha-3)\theta'_{r,ij}} \right]$$

Bu parametrik denklemler kullanılarak, tip-2 belirsizlikler durulaştırılarak model doğrusal programlama ile çözüme uygun duruma getirilebilir.

### 3.2.4 Tersine hareketler ve bulanıklık

#### 3.2.4.1 Tersine MRP

Barba-Gutiérrez ve diğ. (2008) tersine MRP yaklaşımı ile belirsiz bir çevrede iyi tanımlanmış ürün ağaçlarına ilişkin parçaların ayrıştırma çizelgelemesi için bir MRP algoritması sunmuşlardır.

Srivastava ve Nema (2012), belirsizlik içeren çok amaçlı bir geri dönüştürme problemi için bir bulanık parametrik programlama modeli önermişlerdir.

#### 3.2.4.2 Kapalı döngü tedârik zinciri ve üretim plânlama

Geleneksel üretim plânlamaya ek olarak, bazı yazarlar, tersine hareketler için bulanıklık yaklaşımını kullanmışlardır. Pishvae ve Torabi (2010), hem ileri hem tersine yönlü tedârik zinciri ağlarında ağ tasarımı kararlarını birleştiren iki amaçlı olabilirsiz karmaşık tamsayı programlama yöntemini önermişlerdir. Karar verici ile

etkileşimli bir şekilde problemlerin çözümü için temel bir çözümleme yöntemi olan etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Olugu ve Wong (2012) kapalı-döngü tedârik zinciri için tersine hareketleri dikkate alan bulanık kural temelli verimlilik değerlendirme sistemini sunmuşlardır.

Matsumoto ve Komatsu (2015), yeniden üretim ortamında üretim planlamada kullanılmak üzere üretim taleplerinin belirlenmesinde üretim tahmini yöntemlerinin kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır.





## 4. ÖNERİLEN GENİŞLETİLMİŞ MRP MODELİ

### 4.1 Problemin Tanımlanması

#### 4.1.1 Problemin konusu

Bu çalışmada ele alınan temel konu, Türkiye'deki bir kuyumculuk üretim işletmesindeki geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretimin üretim süreci ile eşzamanlı olarak birlikte yönetilmesinin gerekli olduğu bir üretim plânlama problemidir.

- Bu mâliyet enküçükleme problemi; çoklu ürün, çoklu üretim yeri ve kapasite kısıtları içerisinde çok dönemli bir üretim plânlama içeren üretim ortamına aittir.
- Darboğazın temelini oluşturan bir hammaddenin, yâni altın madeninin ve bu hammadde altın ve bileşiminde altın olan yarı ürün ve ürünlerin geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretimlerinin üretim süreci ile birlikte eşzamanlı plânlaması amaçlanmaktadır.
- Problem, üretim süreci içerisindeki üretim, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretimlerden kaynaklı tüm bu malzeme hareketlerinin yanında, ayrıca üretim dışı tedârik, talep, iade ve altın tahsilatından kaynaklı malzeme hareketlerini de içerir.

Kuyumculuk üretimi, hem tedârikçi, hem de müşteri kaynaklı ve hem ileri hem de geri yönlü malzeme hareketlerini içerdiğinden, kapalı döngü bir tedârik zinciri üretimi olarak tanımlanabilir. Temel hammadde olan altın madeninin bu malzeme hareketlerinin üretime olan etkisinden dolayı plânlama sürecinin her aşamasında dikkate alınıp yönetilmesi gereklidir. Kapalı döngü bu kuyumculuk tedârik zincirine ilişkin üretimin ayrıntıları, izleyen bölümde verilmeye çalışılmıştır.

#### 4.1.2 Kuyumculuk üretimi

Kuyumculuk üretimi, geleneksel üretim sistemleri içinde “sipârişe göre üretim” kapsamına girer. Ürün çeşidi çok fazladır. Üretilen ürünlerin her birinden, özelliklerine

göre çok farklı şekilde ve sipariş üzerine üretilebilmesi olanaklıdır. Sahip olduğu ürünlerin kataloglama sırasında standart özellikleri ne olursa olsun, müşteri, ürünün belirli özelliklerini kendi isteğine göre şekillendirebilmektedir. Standart katalog üretimi yapıp stoğa almak, hammaddesi altın olan bir üretim işletmesi için yüksek stok mâliyetleri anlamına gelmektedir. Bu nedenle genellikle müşterinin isteğine göre sipariş tipi üretim yapılmaktadır. Toptan satış mağazaları için sınırlı düzeyde “stok için üretim” yapılmaktadır.

Çalışmadaki MRP modeline temel olan kuyumculuk üretim süreci Şekil 4.1’de sunulmuştur. İstendiği takdirde bu şema, üretim biçimine göre ilgili farklı istasyonlar eklenerek genişletilebilir.

Şekil 4.1’de hem üretim içindeki, hem de üretim dışındaki ileri ve geri yönlü hareketler gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.1’de yer alan öğelerin açıklamalarını ve önerilen MRP modeli ile ilişkilerini şu şekilde verebiliriz:

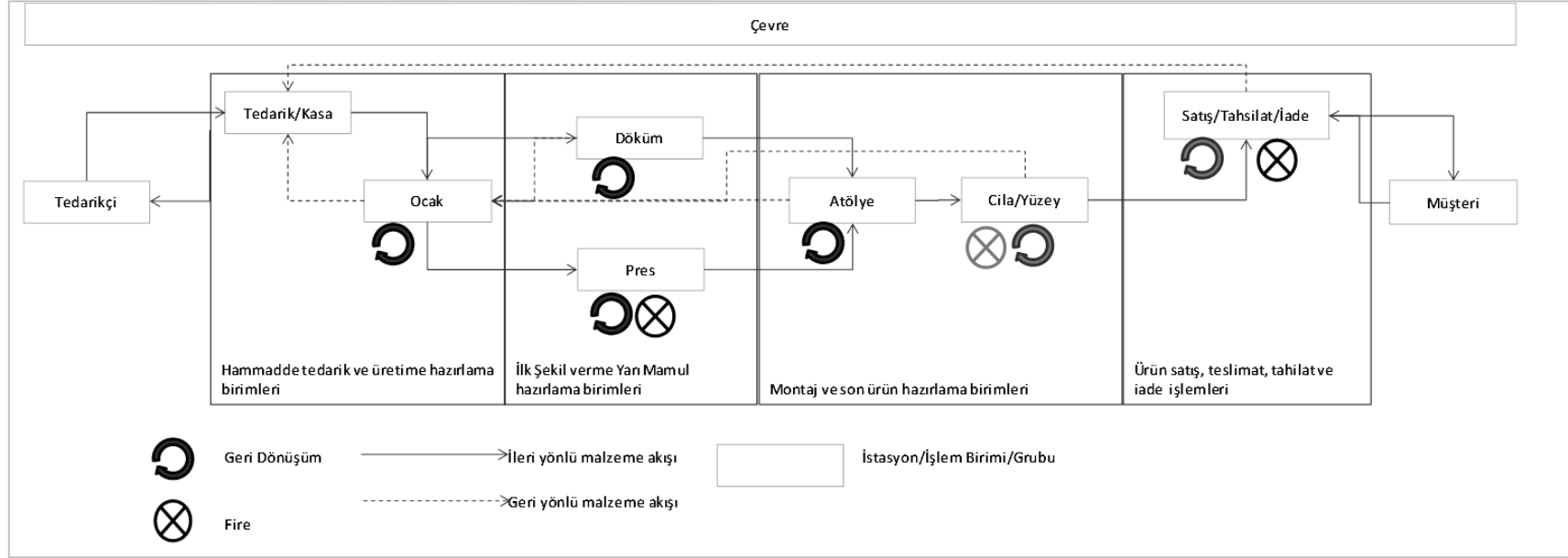
**Tedârikçi:** Maden tedârîği, günlük olarak, belirsiz ve değişken miktar ile tedârikçinin maden durumuna göre yapılır. Tedârikçi, talep eden firmaların bakiyeleri, firma bakiye limitleri ve maden geri dönüşümlerini dikkate alarak işlem yapar. Önerilen MRP modelinde tedârikçilerden hammadde tedârîği bölümünde bu nokta dikkate alınmıştır.

**Tedârik/Kasa:** Tedârik/Kasa birimi, maden yönetiminin yapıldığı yerdir. İleri ve geri yönlü üretim dışı tedârik zinciri malzeme akışları bu birim üzerinden olur. Hammadde tedârîğini yöneten ve gerekli kararları veren bölümdür.

**Ocak:** Tedârik sonrası madenin ilk işlendiği yerdir. Ayrıca üretim içi geri dönüşümlerin yapıldığı yerdir. Ocakta yapılan işlemlerden oluşan fire yok kabul edilebilir. Ocak istasyonuna tersine malzeme akışları kasa üzerinden olur. Önerilen MRP modelindeki hammadde, geri dönüşüm işleminin yapıldığı bölümdür.

**Döküm:** Madenin şekil verildiği ilk istasyonlardan biridir. Ayrıca hurda geri dönüşümüne neden olacak yarı ürün çıkışı olur. Fire yok kabul edilebilir. Önerilen MRP modelinde hurda çıkışının olduğu bölümlerden biri olarak dikkate alınır.

**Pres:** Madenin şekil verildiği ilk istasyonlardan biridir. Üretim sürecinde çalışana ve üretilen ürüne göre farklı miktarlarda “geri dönüştürülebilir hurda” oluşur. Üretimde çalışan kişilere göre fire miktarı değişebilir. Pres, önerilen MRP modelinde hurda ve fire oluşan bölümlerden biri olarak dikkate alınır.



**Şekil 4.1 : Kuyumculuk üretim süreci şeması.**

**Atölye:** Üretim içerisinde montajın yapıldığı istasyondur. Çok küçük miktarda fire olabilir. İşlemdeki ürüne göre ve çalışana göre değişen miktarlarda hurda geri dönüşümü olabilir.

Önerilen MRP modelinde kaynak kapasite plânlaması, işgücü açısından bu bölüm için plânlanır. Darboğaz olan kaynak kapasite bu bölüm için sözkonusudur.

**Cila/Yüzey:** Ürün üzerinde yüzey işlemlerinin yapıldığı istasyondur. Büyük miktarda fire oluşur. Bu fireler belirli bir miktara ulaşıncaya kadar biriktirilir. Sonrasında geri dönüşüm için ifraz işlemine gönderilir. Hurda yok denecek kadar azdır. Cila/Yüzey, önerilen MRP modelinde, fire oluşan ana bölüm olarak dikkate alınır.

**Satış/Tahsilat/İade:** Satış biriminde bu işlemler yapılır. Satış siparişleri, müşteriden, bu birim üzerinden alınır. İade ve tahsilat işlemleri de yine bu birim üzerinden yapılır. İade, yeniden işleme veya hurda işlemleri için kasaya gönderme yapılır. Önerilen MRP modelinde satış siparişlerinin/taleplerinin olduğu bölümdür. Ayrıca ürün iadeleri ve tahsilatlar da bu bölümde oluşur.

**Müşteri:** Siparişler müşteriden gelir. İadeler de malzeme akışı üzerinde etkili olur. Tahsilat belli oranlar üzerinden yapılmak üzere plânlanır. Önerilen MRP modelindeki siparişlerin, iadelerin ve tahsilatların asıl kaynağıdır.

**Çevre:** Etkisi genel olarak maden fiyatının tedârik zincirine etkisi olarak ifade edilebilir. Fiyat piyasa tarafından belirlenir. Fiyat üzerindeki dalgalanmalar, aşağı ve yukarı yönlü hareketler, özellikle sipariş, tedârik, tahsilat ve iade gibi üretim dışı tedârik zincirindeki malzeme akışları üzerinde etkili olur. Önerilen MRP modelinde tedârik, tahsilat, sipariş/talep, iade gibi noktaları etkileyebilecek olan bölümdür.

Kuyumculuk üretiminde geri dönüşüm işlemleri önemlidir. Bundan dolayı çalışmada geri dönüşümler dahil çift yönlü hareketleri içeren genişletilmiş bir üretim plânlama modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

Geri dönüşüm işlemlerinde hurda geri dönüşümü, dönem sonu ocak bölümünde yapılır. Hurdalar, belli bir çevrim sayısınca üretim içinde yeniden hammadde yerine ikâme olarak kullanılabilir. Bununla birlikte belli bir çevrim sayısı sonunda geri dönüşüm (ifraz) işlemine girmeleri gerekir. Hammadde fireleri, belli bir birikmeden sonra ifraz işlemine gönderilir. Geri kazanılan firenin yanında kayıplar da oluşur. Bu işlem sonunda fire geri dönüş oranı ve kayıp oranı belli olur. Bu çalışmada en çok dikkate alınan, döküm ve pres işlemlerinden geriye kalan hurdaların geri dönüşümü ile birlikte

iade geri dönüşümüdür. Fire olarak dikkate alınan geri dönüşüm süreci ise cila/yüzey işlemlerinden geri dönüşümdür. Diğer hurda ve fireler çok küçük oldukları için dikkate alınmamıştır.

Ayrıca müşteriden gelen iadelerin yeniden işlenmesi veya hammaddeye geri dönüşümü de üretim plânlamada dikkate alınmaktadır. Hammadde kaynak gereksiniminin karşılanmasında veya müşteri siparişlerinin gelen iadelerden karşılanması da dikkate alınmalıdır.

Tedârikçiden hammadde tedâriği de, üretim plânlamada kaynak gereksiniminin karşılanmasında çift yönlü olarak dikkate alınır. Hem hurda ve firelerin geri dönüşümü, hem de yeni hammadde tedâriği tedârikçi üzerinden olur.

#### **4.1.3 Problemin ayrıntıları ve kabuller**

Probleme ele alınan kuyumculuk kapalı döngü tedârik zinciri içinde üretimin ayrıntıları ve yapılan kabuller, maddeler hâlinde ve tedârik zincirinde ilişkili oldukları yerler olan üretim, tedârikçi ve müşteri temelinde olmak üzere aşağıda verilmiştir:

Üretim ile ilişkili problem ayrıntıları ve kabulleri, aşağıda maddeler hâlinde sunulmuştur:

- Her ürün farklı üretim yerlerinde üretilebilir. Her ürün için farklı üretim yerlerinde gerekli olan tanımlanmış bir kapasite gereksinimi vardır. Eğer o üretim yerinde o ürünün üretimi yapılmıyorsa, gerekli kapasite yerine bir ceza mâliyeti tanımlanmıştır.
- Tüm mâliyet tahminleri, üretilen altının gramı cinsinden hesaplanmıştır. Altının kendisi ise bir mâliyet olarak kabul edilmemiştir. Alırken de, işlendikten sonra satılırken de içerikteki altın, gram fiyatı üzerinden işlem görür.
- Hammadde olarak yalnızca altın madeni dikkate alınmıştır. Bunun dışında kalan alaşım (alloy) içerikleri ve kullanılan süs taşları ise güvence stoğu ile yönetildiklerinden, üretim plânlama sürecinin bir parçası olarak ele alınmamıştır. Gerekli olur ise kolaylıkla modele eklenebilirler.
- Üretim süreci içerisinde kullanılan hammadde altın madeninden, yeniden kullanılabilir hurda ve geri kazanılabilir fire oluşur.
- Hurda, üretim süreci içerisinde yeniden kullanılabilir olarak ortaya çıkan parçalardır. Fire ise, üretim süreci içerisinde toz hâlinde ortaya çıkar ve farklı

yöntemler sayesinde üretim ortamında toplanıp yine özel yöntemler ile geri dönüştürülebilir.

- Hurda, fiziksel parçalar hâlinde toplanıp yeniden kullanılabilir. Bunun için fiziksel olarak döküm potasında eritilir ve yeniden üretimde kullanılabilir duruma getirilir.
- Fire geri dönüşümünde hammadde altın madeninin tozu, havadan, sudan ve yüzeylerden özel filtreler yardımı ile geri alınır ve konusunda uzman bir tedârikçi tarafından ifraz olarak adlandırılan özel bir kimyasal işlemde geçirilerek saf altın olarak belirli bir geri dönüşüm mâliyeti ile geri dönüştürülür.
- Fire geri dönüşümünde, işin sonunda biriken geri dönüştürülebilir firenin belirli bir ekonomik miktara ulaşması gereklidir.
- Hurda yeniden kullanımı sınırlıdır ve son ürün kalitesine olan etkisinden dolayı ancak belli bir döngü periyodunda kullanılabilir. Bu döngü periyodunun sonunda yeniden kullanılmış hurda saflaştırma için geri dönüşüm sürecine tâbi tutulmalıdır. Bu hurdayı diğer hammaddeden ayırmak zor olabilir. Bunun için altın kaynağı plânlayıcıları, üretimden toplanan hurdaları ayrıca izleyip bunların hammadde altın madeni kalitesine göre hurdalarını geri dönüşüm sürecine gönderir. Yeterli bir yeniden kullanım periyodundan sonra, kullanılmış hurda hammadde altın madeninin geri dönüşüme gönderilmesi varsayılarak yeniden kullanım periyodu değişkeni tanımlanmıştır.

Tedârikçi ile ilişkili problem ayrıntıları ve kabulleri, aşağıda maddeler hâlinde sunulmuştur.

- Altın madeni hammaddesinin tedârik edildiği tedârikçilerden, altın madeninin finansal değerinden dolayı bir borç bakiyesi sınırı vardır. Çünkü tedârikçi tarafından üreticiye verilen bu borç bakiyesi, finansal bir risk içerir.
- Altın madeni hammaddesinin kimyasal yöntemler ile geri dönüşümü, uzmanlık gerektirdiğinden ve yüksek bir yatırım mâliyeti içerdiğinden, genel olarak tedârikçiler tarafından yapılır.

Müşteri ilişkili problem ayrıntıları ve kabulleri, aşağıda maddeler hâlinde sunulmuştur:

- Üretim, müşteri talebine istinâden yapılır.
- Üretim plânlama süresince ertelenen talebin bir mâliyeti vardır. Üretim Plânlama dönemi sonunda ertelenmiş talep istenmemektedir.

- Müşteriden iadelerin geri dönüşümüne veya yeniden üretimine karar verilir.
- Tahsilatlar, müşteriden hammadde olan altın madeni şeklinde alınır. Bu, Türk kuyumculuk endüstrisinin farklı bir özelliğidir ve üretim plânlamada müşteriden gelen bu tahsilatlar, hammadde girişi olduğundan dolayı dikkate alınmalıdır.

Yukarıda verilen kuyumculuk üretiminin ayrıntıları, Şekil 4.1’de üretim, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim süreci ileri ve geri yönlü malzeme akışları olarak gösterilmiştir.

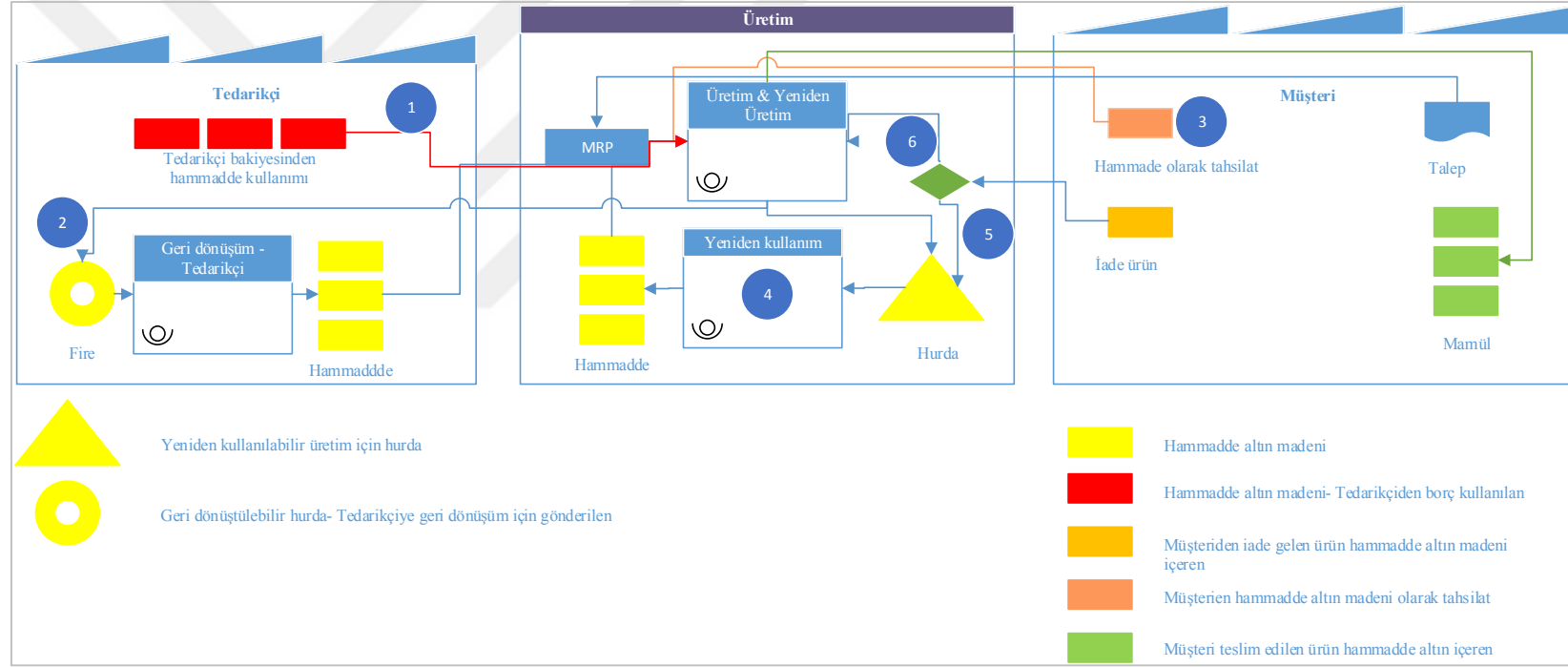
Şekil 4.2’de kullanılan gösterimlerin açıklamaları, yine şeklin altında belirtilmiştir. Şekilde özellikle numaralandırılmış olan malzeme akışlarının açıklamaları ise şu şekildedir:

- Numara 1 ile ifâde edilen malzeme akışı, tedârikçiden saf altın madeninin hammadde olarak tedârîğini gösterir.
- Numara 2, geri dönüştürülebilir hammadde altın madeninin geri dönüşümünü ifâde eder.
- Numara 3, müşteriden hammadde altın madeni olarak yapılan tahsilatları gösterir.
- Numara 4, yeniden kullanılabilir hammadde altın madenin hurdasının yeniden kullanımını ifâde eder.
- Numara 5 ve 6, müşteriden iade olarak gelen ürünün yeniden üretim veya geri dönüşüm kararı ile ilgilidir. Numara 6 yeniden üretim sürecini ifâde ederken numara 5 ise geri dönüşüm sürecini göstermektedir.

#### **4.2 Problemin Modellenmesi**

Önceki bölümde tanımlanan bu malzeme gereksinim plânlama (MRP) problemi için, bir karışık tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli tasarlanmıştır. Bu MILP MRP modeli, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim içeren temel hammaddesi altın madeni olan Türkiye kuyumculuk sektörü için geliştirilmiştir.

Önerilen genişletilmiş MILP MRP modeli; çok ürünlü, çok istasyonlu ve çok dönemli üretim ortamında; kapasite kısıtlı, hammadde ve ürün geri dönüşümleri, yeniden-kullanım ve yeniden-üretimlerin dikkate alındığı bir üretim plânlama problemi için mâliyet enküçükleme modeli olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.2 : Kuyumculuk üretim süreci ve malzeme akışları.



Önerilen model hem üretim içerisindeki geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim gibi, hem de üretim süreci dışındaki tedârikçideki geri dönüşüm, müşteriden hammadde altın madeni içeren iade ve tahsilat gibi ters yönlü malzeme hareketlerini gözönüne alır.

Kuyumculuk üretiminin hammaddesi altın madenidir. Altın madeni değerli bir maden olduğundan dolayı, üretim içinde ve dışında yönetilmesi ve geri dönüşümü önemlidir. Kuyumculuk üretiminde tüm üretim plânlamanın ana darboğazını altın hammaddesinin temini oluşturur. Bu darboğazı merkezine alan bir matematiksel model kurularak, plânlama problemi çözülmek istenmiştir.

Modelin temel çıktıları aşağıda maddeler hâlinde verildiği şekilde listelenebilir:

- Her plânlama dönemi içinde üretilmesi gereken ürün miktarı ve gerekli hammadde miktarını içeren ana üretim çizelgesi.
- Her plânlama dönemi sonunda beklenen ürün ve hammadde stok miktarları.
- Her plânlama dönemi sonunda her ürünün karşılanan talep miktarları.
- Kaynakların gerekli kapasite kullanım miktarları.
- Her plânlama döneminde hammadde altın madeni için plânlanan geri dönüşüm, geri dönüştürülebilir fire ve yeniden kullanılabilir hurda miktarları.
- Her plânlama döneminde plânlanan iade ürün geri dönüşüm ve yeniden işleme miktarları.
- Her plânlama dönemindeki gerekli hammadde altın madeni tedârik miktarı.

Modelin amaçlarını ise aşağıdaki gibi maddeler hâlinde sıralayabiliriz:

- Toplam üretim mâliyetlerinin enküçüklenmesi.
- Her plânlama döneminde geri dönüştürülebilir fire geri dönüşümleri ve yeniden kullanılabilir hurda yeniden kullanımlarının plânlanması.
- Hammadde altın madeni içeren ürün iade geri dönüşüm ve yeniden işleme miktarlarının plânlanması.
- Hammadde altın madeni tedâriğinin plânlanması.
- En az talep erteleme ve sipariş kaybı olmadan müşteri talebinin karşılanması.
- Bitmiş ürün ve hammadde stok düzeylerinin enküçüklenmesi.
- Varolan kaynakların kapasitesinin etkin kullanımı.

- Hammadde altın madeni olarak hurda yeniden kullanımı ve geri dönüştürülmesi, fire geri dönüştürülmesi, ürün iade geri dönüşümleri ve tahsilatlarını, plânlamada dikkate alarak tedârik mâliyetlerinin enküçüklenmesi.
- Ürün yeniden üretimlerini dikkate alarak toplam üretim mâliyetinin enküçüklenmesi.

Modelin kısıtları aşağıda ana başlıklar olarak maddeler hâlinde verilmiştir:

- Ürün için eldeki stok, üretimdeki miktar, yeniden üretim ve müşteri talep dengesinin sağlanması.
- Üretim için gerekli hammadde altın madenin tedârik, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve tahsilatlardan gelen hammadde ile sağlanması.
- Hammadde altın madenin tedârik ve stok dengesinin saplanması.
- Üretim süreci gerekli kaynak kapasitesinin; farklı üretim yerleri, normal ve fazla çalışma ile dengelenmesi.
- Karar değişkenlerine ilişkin negatif olmama, 0-1 olma, tamsayı olma kısıtları.

Önerilen karışık tamsayılı doğrusal programlama modelinin kümeleri, karar değişkenleri, parametre olarak mâliyet katsayıları ve gereksinim duyulan başlangıç verileri, izleyen bölümde gösterildiği şekilde modelleme için kullanılmışlardır.

Türkiye kuyumculuk sektörüne özgü bir durum olarak, Türkiye'deki kuyumculuk üretim sürecinde ve mâliyet hesaplamalarında kullanılan katsayılar, üretim yapılan miktarla orantılı olarak bindelik değerlerle altın gramı şeklinde ifâde edilmekte ve “milyem” olarak adlandırılmaktadır. Diğer ülkelerdeki gibi para birimi olarak ifâde edilmemektedir. Bundan dolayı, önerilen MRP modelinde kullanılan katsayılar hep bu şekilde verilmiştir. Ancak istenirse model, para birimlerini de ifâde edecek şekilde düzenlenebilir.

#### **4.2.1 Modelin terimleri**

Çalışmaya konu olan MRP probleminin çözümü için kullanılan model, doğrusal olmayan karışık tamsayılı matematiksel model olarak karşımıza çıkmıştır. Bu ise, çözümü zor bir problem olduğundan, doğrusal olmayan önerilen matematiksel model, 0-1 tamsayılı yeni değişkenler ve ceza puanları kullanılarak doğrusal bir modele dönüştürülmüştür.

Modelde kullanılan kümeler ve parametreler Çizelge 4.1’de ve Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Kullanılan ifâdeler, kuyumculuk üretimi dikkate alınarak geliştirilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Model terimleri: Kümeler.**

Kümeler	Açıklama
$D$	Plânlama dönemleri kümesi ( $d=1,2,\dots,D$ )
$H$	Hammaddeler kümesi ( $h=1$ ), ( $H=1$ hammadde altın madeni)
$U$	Ürünler kümesi ( $u=1,2,\dots,U$ )
$K$	Üretim kaynakları / üretim yerleri kümesi ( $k=1,2,\dots,K$ )

**Çizelge 4.2 : Model terimleri: Parametreler.**

Parametreler	Açıklama
$mu_u$	Ürün “ $u$ ” için bir birim üretmenin değişken üretim mâliyeti oranı
$muy_u$	Ürün “ $u$ ” için bir birim iade yeniden üretiminin değişken üretim mâliyeti oranı
$muisc_u$	Ürün “ $u$ ” için bir birim geri dönüştürmenin mâliyet oranı
$ms_u$	Ürün “ $u$ ” için bir birim stokta tutma dönemlik mâliyeti oranı
$mf_h$	Hammadde “ $h$ ” den bir birim firenin geri dönüşüm mâliyet oranı
$mh_h$	Hammadde “ $h$ ” den bir birim hurdanın yeniden kullanım mâliyet oranı
$gdkf_h$	Hammadde “ $h$ ” den bir birim firenin geri dönüşüm kaybı mâliyet oranı
$mb_h$	Tedârikçi için “ $h$ ” hammaddesinin birim arttırılan bakiye mâliyeti oranı
$met_u$	Ürün “ $u$ ” için bir birim ertelenmiş talebin mâliyeti
$mkks_k$	Kaynak “ $k$ ” için bir birim kullanmama mâliyeti
$mkfs_k$	Kaynak “ $k$ ” için bir birim fazla kullanma mâliyeti
$t_{ud}$	Ürün “ $u$ ” ve dönem “ $d$ ” için piyasa talebi
$b_{hu}$	Ürün “ $u$ ” için bir birim üretmede gerekli hammadde “ $h$ ” miktarı, $u=1$ olduğu için $b_h$ olarak gösterilebilir
$h_{hu}$	Ürün “ $u$ ” için bir birim üretim sonucu oluşan hurda hammadde “ $h$ ” miktarı”
$f_{hu}$	Ürün “ $u$ ” için bir birim üretim sonucu oluşan fire hammadde “ $h$ ” miktarı
$DU_u$	Ürün “ $u$ ” üretimi için gerekli üretim dönemi
$FGD_h$	Hammadde “ $h$ ” fire geri dönüşümü için gerekli ekonomik miktar
$DG_h$	Hammadde “ $h$ ” için hurda yeniden kullanım süresi
$TedBl_h$	“ $h$ ” hammaddesine ait tedârikçide izin verilen en yüksek bakiye limiti
$Uia_{ud}$	“ $u$ ” ürünü için “ $d$ ” döneminde müşteriden gelmesi beklenen iade miktarı
$Tah_{hd}$	“ $h$ ” hammaddesi cinsinden “ $d$ ” döneminde beklenen müşteriden tahsilat miktarı
$Dk_{uk}$	Ürün “ $u$ ” için bir birim üretmede gerekli “ $k$ ” kaynağı miktarı
$Dik_{uk}$	Ürün “ $u$ ” için bir birim yeniden üretmede gerekli “ $k$ ” kaynağı miktarı
$Kdk_{kd}$	Kaynak “ $k$ ” için “ $d$ ” döneminde kullanılabilir normal kapasite

Kullanılan kümeler; plânlama dönemi, hammaddeler, ürünler ve kaynaklardan oluşmaktadır. Hammadde kümesi yalnızca bir hammadde içirdiği için h indisi model içerisinde kullanılmayabilir. Bununla birlikte modelin genelleştirilmesi ve gelişime açık olabilmesi için h indisi eklenmiştir. Parametreler, veriler ve karar değişkenleri; üretim, stok, üretim kaynakları, geri dönüşüm, yeniden kullanım, tedârik ve yeniden üretimleri içermektedir. Görüldüğü gibi önerilen model, yalnızca üretim için parametreler ve karar değişkenleri ile değil, ek olarak kapalı döngü bir tedârik zincirinde yapılan bir malzeme gereksinim plânlama olduğu için tedârik zincirindeki müşteri ve tedârikçilere ait ileri ve geri yönlü malzeme akışlarından kaynaklı parametre ve karar değişkenlerini de içermektedir. Çizelge 4.3’de modele ait karar değişkenleri ve Çizelge 4.4’de ise gerekli başlangıç verileri sunulmuştur.

**Çizelge 4.3 : Model terimleri: Karar değişkenleri.**

Değişkenler	Açıklama
$Urun_{ud}$	“d” döneminde üretilecek “u” ürünü miktarı”
$Stok_{ud}$	“d” dönemi sonunda elde kalan “u” ürünü miktarı
$Stok_{hd}$	“d” dönemi sonunda elde kalan “h” hammadde miktarı
$Et_{ud}$	“d” dönemi sonunda “u” ürününün ertelenen talebi / bekleyen sipariş
$Kks_{kd}$	“d” döneminde “k” kaynağının kullanılmayan süresi
$Kfs_{kd}$	“d” döneminde “k” kaynağının fazla kullanılan süresi
$Ted_{hd}$	“d” döneminde hammadde “h” için tedârik miktarı
$GerD_{hd}$	“d” döneminde hammadde “h” için geri dönüşüm ve yeniden kullanım miktarı
$FireGD_{hd}$	“d” döneminde hammadde “h” için fire geri dönüşüm miktarı
$HurdaGD_{hd}$	“d” döneminde hammadde “h” için hurda geri dönüşüm miktarı
$HurdaD_{hd}$	“d” döneminde hammadde “h” için dönen hurda stok miktarı
$FireB_{hd}$	“d” döneminde hammadde “h” için birikmiş geri dönüştürülebilir fire miktarı
$TedB_{hd}$	Tedârikçi için “h” hammaddesine ilişkin “d” dönemindeki bakiye
$TedHB_{hd}$	Tedârikçide “h” hammaddesine ilişkin “d” döneminde bakiye sınırı fazlası
$Uiays_{ud}$	“d” döneminde “u” ürünü için yeniden işlenen iade miktarı
$Uiah_{ud}$	“d” döneminde “u” ürünü için hurdaya gönderilen iade miktarı
$Uias_{ud}$	“d” döneminde “u” ürünü için stoktaki iade miktarı
$Urun_{ukd}$	“d” döneminde üretilecek “u” ürünü için kullanılan “k” kaynağı
$Uiays_{ukd}$	“d” döneminde yeniden üretilen iade “u” ürünü için kullanılan “k” kaynağı

Kuyumculuk üretim plânlamasında darboğaz, altın hammaddesinde yaşanmaktadır. Bundan dolayı yalnızca altın hammaddesi, plânlamada dikkate alınmıştır. Tedârikçi ve müşteriler tek tek ele alınarak ayrıntıya girmek yerine, toplu olarak modele

eklenmişlerdir. Modelde tedârikçi konusunda önemli olan, hammadde için tedârik mâliyetleridir. Müşteri tarafında da önemli olan, modele veri sağlanmasıdır (sipariş, iade ve tahsilat bilgileri için ürün ve hammadde cinsinden). Üretim içerisinde kapasite plânlaması bazında atölye bir bütün olarak ele alınmıştır.

**Çizelge 4.4 :** Model terimleri: Başlangıç değerleri.

Başlangıç değerleri	Açıklama
$Stok_{u0}$	Ürün “ $u$ ” için “0” dönemindeki stok miktarı
$Stok_{h0}$	Hammadde “ $h$ ” için “0” dönemindeki stok miktarı
$FireB_{h0}$	Hammadde “ $h$ ” için “0” dönemindeki birikmiş geri kazanılabilir fire stok miktarı
$HurdaD_{h0}$	Hammadde “ $h$ ” için “0” dönemindeki yeniden kullanılmış hurda stok miktarı
$Et_{u0}$	Ürün “ $u$ ” için “0” dönemindeki ertelenmiş müşteri talebi
$TedB_{h0}$	Tedârikçi için “ $h$ ” hammaddesine ait “0” dönemindeki bakiye

Problemdede yer alan geri dönüşüm tedârik sürecindeki değişken tanımlamalarından dolayı, sunulan MRP modeli doğrusal olmayan ifâdeler içermektedir. Sonraki bölümde bu ifâdelerin doğrusal ifâdelere dönüşümü de sunulmuştur.

#### 4.2.2 Amaç fonksiyonu

$$\text{Enk } Z = \quad (4.1)$$

$$\sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (mu_u Urun_{ud} + ms_u Stok_{ud} + met_u Et_{ud}) * b_u \quad (4.1a)$$

$$+ \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D (mkks_k Kks_{kd} + mkfs_k Kfs_{kd}) \quad (4.1b)$$

$$+ \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \left( (mf_h + gdkf_h) * FireGD_{hd} \right) + mh_h HurdaGD_{h,d-DG_{h-1}} \quad (4.1c)$$

$$+ \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (muis_c_u Uiah_{ud} + muy_u Uiays_{ud} + ms_u Uias_{ud}) * b_u \quad (4.1ç)$$

$$+ \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D mb_h TedHB_{hd} \quad (4.1d)$$

Yukarıda verilen denklem (4.1) ile toplam üretim mâliyetinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır ve ifâde (4.1a), ifâde (4.1b), ifâde (4.1c), ifâde (4.1ç) ve ifâde (4.1d) olmak üzere beş farklı ifâdenin toplamından oluşmaktadır. Denklem (4.1) içerisinde ürün ve dönem bazında toplam ürün üretimi, eldeki stok ve ertelenen ürün talebini içeren ifâde (1.1)'de ürün üretim, stok ve talep erteleme mâliyetleri, dönem ve kapasite bazında toplamları içeren ifâde (1.2)'de ise üretim kapasite kullanım mâliyetleri vardır. İlk aşamada, ifâde (4.1a) ve ifâde (4.1b)'de yalnızca sipâriş üretim, stok ve kapasite kullanımı ile ilgili değişkenler eklenmiştir. Denklem (4.1) içerisine hammadde tedârik, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim mâliyetleri eklendiğinde, model istenen şekilde, ters yönlü hareketleri dikkate alarak genişletilmiş olur.

Hammadde ve dönem bazında toplam malzeme hareket miktarlarını içeren ifâde (4.1c)'de ise fire ve hurda geri dönüşüm ve hurda yeniden kullanım mâliyetleri ile birlikte fire kayıp mâliyetleri de vardır.

Ürün ve dönem bazında üretim, yeniden üretim ve geri dönüşüm ile malzeme hareket miktarlarının toplamlarını içeren ifâde (4.1ç) ise, ürün iade, yeniden üretim ve ürün geri dönüşüm mâliyetlerini içerir. Gelen iadenin yeniden satılabilir olmadığı varsayıp, doğrudan tüm gelen iade miktarı, geri dönüşüm işlemine tâbi tutulabilir. İade genel olarak ürün temelinde iade oranları şeklinde dikkate alınabilir. Bu ifâdede iade geri dönüşüm mâliyeti, iade yeniden işleme mâliyeti ve iade stokta bekleme mâliyetleri eklenmiştir.

Hammadde ve dönem bazında toplamları içeren ifâde (4.1d) ise tedârik mâliyetini ifâde eder. Bu ifâde sâyesinde tedârik ile hurda yeniden kullanımları, fire geri dönüşümleri ve iade geri dönüşümleri arasındaki denge, ilgili mâliyetleri dikkate alarak kurulmuş olur.

Ifâde (4.1a) ile ifâde (4.1ç)  $b_u$  yâni bir  $u$  ürünü içerisindeki altın miktarını, çarpan olarak içermektedir. Bunun nedeni, daha önce de sözedildiği gibi tüm mâliyet katsayılarının altın içerikli üretim miktarının bir oranı olarak ifâde ediliyor olmasıdır. Türkiye kuyumculuk sektörüne özgü bir durum olarak, Türkiye'deki kuyumculuk üretim sürecinde ve mâliyet hesaplamalarında kullanılan katsayılar, üretim yapılan miktarla orantılı olarak bindelik değerlerle altın gramı şeklinde ifâde edilmekte ve daha önce de geçtiği şekilde “milyem” olarak adlandırılmaktadır. İfade (4.1a), ifâde

(4.1ç) ve ifâde (4.1d)'de yer alan karar değişkenleri, hâlihazırda altın madeni miktarı olarak belirlenmektedir.

Amaç, bu mâliyetlerin toplamının enküçüklenmesidir. İlgili dönemin üretim, ürün stok ve kapasite kullanım mâliyetlerine ek olarak geri dönüşüm, fire kayıp, iade ve yeniden işleme mâliyetleri ve hammadde tedârik mâliyetlerini içermektedir. Önerilen model ile ilgili kısıtlar izleyen bölümde tanımlanmıştır.

### 4.2.3 Modelin kısıtları

Modele ait kısıtlar, bölümün başında problemin modellenmesi kısmında maddeler hâlinde listelendiği şekilde ilgili alt başlıklar altında verilecektir.

Ürün için stok, üretim ve talep denge kısıtları:

$$Stok_{ud} = Stok_{u,d-1} + Urun_{u,d-DU_u} - t_{ud} - Et_{u,d-1} + Et_{ud} + Uiays_{ud} \quad \forall u, d \quad (4.2)$$

$$Uias_{ud} = Uias_{u,d-1} + Uia_{ud} - Uiah_{ud} - Uiays_{ud} \quad \forall u, d \quad (4.3)$$

$$\sum_{u=1}^U \left( \sum_{d=1}^D (Urun_{u,d-DU_u} + Uiays_{ud}) - \sum_{d=1}^D t_{ud} \right) = 0 \quad (4.4)$$

Ürün için stok, üretim ve talep denge denklemi denklem (4.2)'de; önceki dönemden gelen stok, varolan dönem üretimi ve ertelenen talebin toplamından, dönem sonu stok ve önceki dönemden gelen ertelenen talebin toplamını çıkarttığımızda, varolan dönemin talebine ulaşmış oluruz. Denklem (4.2), talep denge denklemi olarak adlandırılabilir. Denklem (4.3) ile iade stok yönetim denklemini tanımlamış oluyoruz.

“Gelen iadenin ne kadarı geri dönüştürülecek?”, “ne kadarı stokta tutulacak?” ve “ne kadarı yeniden üretilecek?” kararları, bu denklem ile birbirine bağlanmaktadır.

$Uiays_{ud}$ , sipâriş yeniden işleme miktarı, aynı dönem içerisinde yapılan yeniden işleme olarak kabul edilmiştir. İstenirse sipâriş hazırlama süresi eklenerek model genişletilebilir. Denklem (4.4) ile de üretim ve talep dengesi kurulmuş olur.

Hammadde stok denge kısıtları:

$$Stok_{hd} = Stok_{h,d-1} + Ted_{hd} + GerD_{hd} - \sum_{u=1}^U (b_{hu} + h_{hu} + f_{hu}) Urun_{ud} - HurdaD_{h,d-1} \quad (4.5)$$

$$\forall h, d$$

$$GerD_{hd} = (1 - gdf_h / 1000) * FireGD_{hd} + HurdaD_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.6)$$

$$HurdaGD_{hd} = \sum_{u=1}^U h_{hu} Urun_{ud} \quad \forall h, d \quad (4.7)$$

$$HurdaD_{hd} = HurdaD_{h,d-1} + HurdaGD_{hd} - HurdaGD_{h,d-DG_h-1} \quad \forall h, d \quad (4.8)$$

$$FireB_{hd} = \sum_{u=1}^U f_{hu} Urun_{ud} + FireB_{h,d-1} - FireGD_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.9)$$

$$FireGD_{hd} = \begin{cases} FireB_{h,d-1}, & FireB_{h,d-1} \geq FGD_h \\ 0, & FireB_{h,d-1} < FGD_h \end{cases} \quad \forall h, d \quad (4.10)$$

Hammadde stok denge kısıtları, tedârik, hurda yeniden kullanımı ve fire geri dönüşüm işlemlerini içermektedir. Geri dönüşüm denklemi denklem (4.6), doğrudan (4.5) numaralı denklemde yerine konabilir.  $FireGD_{hd}$ , ifâdesi ile geri dönüşüm işlemi için yeterli fire miktarı olan ekonomik miktara ulaşılmışsa, stokta birikmiş olan fire miktarının dönüştürüleceği, değilse geri dönüştürülecek fire olmadığı ifâde edilmiştir. Yeterli miktar,  $FGD_h$  hammaddenin ekonomik olarak geri dönüştürülebilir olması için gerekli ideal miktarı ifâde etmektedir. Burada geri dönüşüm için öncelikle yeniden kullanılmış hurda ve üretimden kaynaklanan fireler biriktirilir ve istenen miktara ulaşıncaya da denklem (4.10) ile tanımlanan geri dönüşüm işleminin uygulanması için denklem (4.5) ile ifâde edilen hammadde denge denklemi ile tedârikçiden geri dönüştürülerek yeniden üretimde kullanıma hazır duruma getirilir. Hurda denklemi denklem (4.7), hurda yeniden kullanımı, tedârikçiye geri ödeme ve ifraz, yâni geri dönüşüm işlemleri için gereklidir. Denklem (4.8) ile doğrudan üretim içerisinde, ifraz yâni geri dönüşüm işlemine göndermeden yeniden kullanılabilir hurda miktarı, hurda yeniden kullanılabilir döngü dönemi dikkate alınarak tanımlanmıştır. Denklem (4.9) ile geri dönüşüm işleri için üretimde oluşan ve biriken fire miktarı formüle edilmiştir.



Denklem (4.10) ile geri dönüşüm işlemine alınacak fire miktarı ifâdesi sunulmuştur. Fire işlemleri için biriktirme ve ekonomik miktara ulaşınca geri dönüştürülüp sonraki dönemde kullanma işlemi uygulanır. Ürün üzerindeki firenin üretime başlanılan gün oluşma durumu dikkate alınmıştır. Bu fire; üretim tipine göre son gün veya ilk gün olacak şekilde yüzey işlemlerine göre oluşabilir. Değişken durumlar dikkate alınarak model genişletilebilir. Denklem (4.10), geri dönüştürülebilir fire ekonomik geri dönüşüm miktarına ulaşınca geri dönüşüm işlemine gönderilmesi gerekliliğini sağlayan temel kısıttır. Burada yönetilen ekonomik geri dönüşüm miktarına ulaşma tanımlaması, doğrusal olmayan bir ifâde içermektedir. Sonraki bölümde doğrusallaştırma işlemi de sunulacaktır.

Tedârik denge kısıtları:

$$TedB_{hd} = TedB_{h,d-1} - HurdaGD_{h,d-DG_{h-1}} - \sum_{u=1}^U (Uiah_{ud} * b_{hu}) - Tah_{hd} + Ted_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.11)$$

$$TedB_{hd} \leq TedBl_h \quad \forall h, d \quad (4.12)$$

$$TedHB_{hd} = \begin{cases} TedB_{hd} - TedB_{h,d-1}, & TedB_{hd} - TedB_{h,d-1} > 0 \\ 0, & TedB_{hd} - TedB_{h,d-1} \leq 0 \end{cases} \quad \forall h, d \quad (4.13)$$

Tedârik dengesini ifâde eden denklem (4.11)'de  $HurdaGD_{h,d-DG_{h-1}}$  terimi belli bir dönemden sonra “hurda yeniden kullanılmaz” ve  $DG_h$  dönem kullanıldıktan sonra “ifraz işlemi için ödeme olarak veya geri dönüşüm için tedârikçiye gönderilir” koşulunu ifâde etmektedir. Bu şekilde tedârikçideki hammadde altın madeninin değerinden kaynaklı kullanılan finansal bakiye de azaltılmış olur.  $Uiah_{ud}$ , terimi ile iade alınan ürünlerin geri dönüşümü ifâde edilmektedir.  $Tah_{hd}$  terimi ile hammadde altın madeni olarak yapılan müşteriden tahsilatlar ifâde edilmektedir. Herhangi bir dönüşüm mâliyeti eklenmemiştir. Çünkü alınırken dönüşüm mâliyetleri dikkate alınarak tahsilat yapılır. Üretimde doğrudan kullanılamaz. Dönüşüm için hurda olarak tedârikçiye gönderilir. Denklem (4.12)'de  $TedBl_h$  terimi ile tedârikçi bakiyesi sınırının aşılamayacağı kısıtı ifâde edilmiştir. Denklem (4.13)'deki  $TedHB_{hd}$  ile de tedârikçide arttırılan bakiye miktarı ifâde edilmektedir ve bunun bir mâliyeti vardır. Denklem (4.13)'deki ifâde, doğrusal olmayan bir yapıyı içermektedir. Sonraki bölümde doğrusallaştırma işlemi de sunulacaktır.

Üretim kapasitesi kısıtları:

$$\sum_{u=1}^U (Dk_{uk}Urun_{ukd} + Dik_{uk}Uiays_{ukd}) - Kfs_{kd} + Kks_{kd} = Kdk_{kd} \quad \forall k, d \quad (4.14)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U Urun_{ukd} = Urun_{ud} \quad \forall u, d \quad (4.15)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U Uiays_{ukd} = Uiays_{ud} \quad \forall u, d \quad (4.16)$$

$$Kfs_{kd} = \begin{cases} Kfs_{kd}, & Kks_{kd} = 0 \\ 0, & Kks_{kd} > 0 \end{cases} \quad \forall k, d \quad (4.17)$$

$$Kks_{kd} = \begin{cases} Kks_{kd}, & Kfs_{kd} = 0 \\ 0, & Kfs_{kd} > 0 \end{cases} \quad \forall k, d \quad (4.18)$$

Üretim kapasite kısıtları denklemleri olan denklem (4.14)'e, normal üretim kapasitesine ek olarak iade yeniden üretim kapasite gereksinimi de eklenmiştir. Denklem (4.15) ve denklem (4.16) ile ürün üretimi ve iade yeniden işlemenin tüm kaynakların toplam miktarının toplam üretim miktarını oluşturması gerektiği ifade edilmiştir. Denklem (4.17) ve denklem (4.18) ile de ya fazla kapasite kullanımı ya da az kapasite kullanımı olabileceği, aynı anda aynı kaynak için her ikisinin de olamayacağı durumu modele eklenmiştir. Denklem (4.17) ve denklem (4.18) ifadeleri doğrusal olmayan bir yapı içermektedir. Sonraki bölümde doğrusallaştırma işlemi de sunulacaktır.

Negatif olmama, 0-1 olma kısıtları:

$$Urun_{ud}, Stok_{ud}, Et_{ud}, Urun_{ukd}, Kks_{kd}, Kfs_{kd} \geq 0 \quad \forall u, k, d \quad (4.19)$$

$$Stok_{hd}, GerD_{hd}, FireGD_{hd}, HurdaGD_{hd}, HurdaD_{hd}, FireB_{hd} \geq 0 \quad \forall h, d \quad (4.20)$$

$$TedB_{hd}, TedHB_{hd}, Ted_{hd} \geq 0 \quad \forall h, d \quad (4.21)$$

$$Uiays_{ud}, Uiah_{ud}, Uias_{ud}, Uiays_{ukd} \geq 0 \quad \forall u, k, d \quad (4.22)$$

$$Et_{uD} = 0 \quad \forall u \quad (4.23)$$

$$Urun_{ud}, Stok_{ud}, Et_{ud}, Uiays_{ud}, Uiah_{ud}, Uias_{ud}, Uiays_{ukd}, Urun_{ukd} \in R \quad \forall u, k, d \quad (4.24)$$

Denklem (4.19)'da ürün üretim, stok, talep erteleme, kaynak kullanıp kullanmama için negatif olmama kısıtları verilmiştir. Denklem (4.20)'de hammadde altın madeni geri dönüşüm, fire, hurda miktarları için negatif olmama kısıtları verilmiştir. Denklem (4.21)'de tedârik negatif olmama kısıtları ve denklem (4.22)'de iade yeniden üretim ve geri dönüşüm miktarları negatif olmama kısıtları tanımlanmıştır. Denklem (4.23)'te plânlama dönemi sonu ertelenen sipariş kalmama kısıtı sağlanmıştır. Denklem (4.24)'te ürün ile ilgili karar değişkenlerinin 0'dan büyük olma kısıtı modele eklenmiştir, her kadar ürün üretimleri adet bazlı olarak yönetiliyor olsa da üretim plânlama periyotları ile kesilen bir süreç değildir ve toplam üretim tamsayı olmasına rağmen periyotlara ait üretim başlangıçları tamsayı olmak zorunda değildir.

Çift yönlü yâni hem ileri hem de geri yönlü üretim hareketleri olarak hurda yeniden kullanım ve fire geri dönüşümleri, çift yönlü tedârik zinciri hareketleri olarak iade ve tahsilat, aynı zamanda ürün yeniden üretimlerine örnek olarak iade yeniden üretimleri de dikkate alınarak genişletilmiş bir üretim plânlama modeli oluşturulmuştur.

Problemin çözümü için yapılan bu modellemede, tanımlamadan kaynaklı ortaya çıkan doğrusal olmayan parçalı denklemlerden dolayı çözümü zor bir model ortaya çıkmıştır. Çözümün kolay elde edilebilmesi için modelde doğrusallaştırma yapılacaktır. İzleyen bölümde bu doğrusallaştırma modellemesi gösterilecektir.

### 4.3 Doğrusal olmayan parçalı denklemlerin doğrusallaştırılması

Önerilen üretim plânlama modelinde doğrusal olmayan üç konu vardır. Bunlar fire geri dönüşümü, tedârik bakiye yönetimi ve kaynak kullanımı ile ilgili doğrusal olmayan eşitsizlikleri içermektedir. Mirzapour Al-E-Hashem ve diğ.(2013) tarafından farklı bir teknik kullanılarak doğrusallaştırma işlemi yapılmıştır. Bu çalışmada ise ceza mâliyeti ve 0-1 tamsayılı değişkenler kullanılarak, ilgili doğrusal olmayan ifâdeler doğrusal hâle getirilmiştir. Doğrusallaştırma işlemi için kullanılan ek ifâdeler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Model terimleri: Doğrusallaştırma parametre ve karar değişkenleri.

Parametreler	Açıklama
$pf_{hd}$	“ $d$ ” döneminde “ $h$ ” hammaddesi için geri dönüşüm süreci varlığı (0-1 ikili değişkeni)
$pt_{hd}$	“ $d$ ” döneminde “ $h$ ” hammaddesi için tedârik bakiye limiti üzerinden tedârik varlığı (0-1 ikili değişkeni)
$pk_{hd}$	“ $d$ ” döneminde “ $h$ ” üretim kaynağı için kapasite eksik kullanımı varlığı (0-1 ikili değişkeni)
$M$	Çok büyük bir sayı olarak ceza mâliyeti

Fire geri dönüşümlerinin yönetilmesinde firenin biriktirilmesi ve belirli bir miktara ulaşınca geri dönüşümünün ekonomik olmasından dolayı bekletilmesi sözkonusudur. Bir havuz mantığından sözedilebilir. Bu sistem, belli koşullar altında belli durumları ifade ettiğinden, ilk tanımlaması doğrusal olmayan ifadeler içermektedir.  $FireGD_{hd}$  için oluşturulan denklem (4.10), bu dönüşüm işlemini ifade etmektedir. Bu işlemin doğrusallaştırılması için çok büyük bir sayı ( $M$ ) ile  $pf_{h,d}$  0-1 değişkenleri kullanılarak doğrusallaştırma denklemleri oluşturulmuştur. Aşağıda verilen denklem (4.25) grubunda bu eşitsizlikler verilmiştir.

$$FGD_h - FireB_{h,d-1} \leq M * (1 - pf_{hd}) \quad \forall h, d \quad (4.25a)$$

$$FireB_{h,d-1} - FGD_h \leq M * pf_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.25b)$$

$$FireB_{h,d-1} - FireGD_{hd} \leq M * (1 - pf_{hd}) \quad \forall h, d \quad (4.25c)$$

$$FireGD_{hd} \leq M * pf_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.25ç)$$

$$FireGD_{hd} \leq FireB_{h,d-1} \quad \forall h, d \quad (4.25d)$$

$FireB_{h,d}$ , geri dönüşüm için ekonomik miktar olarak belirlenmiş  $FGD_h$ 'yi geçtiğinde ifraz, yâni geri dönüşüm işleminin gerçekleşmesi istenmektedir. Bunu ifade etmek için de  $FireB_{h,d-1}$  geri dönüşümün yapılacağı dönemde  $FireGD_{hd}$  yâni geri dönüşecek ekonomik miktar olmalıdır.  $pf_{hd}$ , ise “ $d$ ” döneminde geri dönüşüm işleminin yapılıp yapılmayacağını gösteren 0-1 tamsayılı değişkenimizdir. Denklem (25) grubu geri dönüşüm sürecinin ekonomik miktara ulaşınca yapılmasını bu şekilde sağlamış olur. Aşağıda  $pf_{hd}$ , terimi ile geri dönüşüm sürecinin nasıl doğrusal bir şekilde yönetildiği örnek ile gösterilmiştir.

$pf_{hd}=0$  , değeri için:

- Denklem (4.25a)'in sağ tarafı  $M'$ ye eşit olur.  $(FGD_h - FireB_{h,d-1})$  farkı  $M'$ den küçük herhangi bir sayı olmalıdır. Yâni birikmiş fire  $FireB_{h,d-1}$  miktarı, henüz geri dönüşüm için ekonomik miktar olarak belirlenmiş  $FGD_h$ 'ye ulaşmamıştır.
- Denklem (4.25b)'in sağ tarafı 0'a eşit olur.  $(FireB_{h,d-1} - FGD_h)$  farkı 0'dan küçük olmalıdır. Yâni birikmiş fire  $FireB_{h,d-1}$  miktarı, henüz geri dönüşüm için ekonomik miktar olarak belirlenmiş  $FGD_h$ 'ye ulaşmamıştır.
- Denklem (4.25c)'ün sağ tarafı  $M'$ ye eşit olur.  $(FireB_{h,d-1} - FireGD_{hd})$  farkı  $M'$ den küçük herhangi bir sayı olmalıdır.  $FireGD_{hd}$ , denklem (4.25ç)'de 0 olduğu için eşitlik sağlanır.
- Denklem (4.25ç)'ün sağ tarafı 0'a eşit olur.  $FireGD_{hd}$ , 0'dan küçük olmalıdır. Yâni  $FireGD_{hd}$  geri dönüşecek miktar 0'a eşittir.
- Denklem (4.25d)'e göre  $FireGD_{hd} \leq FireB_{h,d-1}$  olmalıdır.  $FireGD_{hd}$ , denklem (4.25ç)'de 0'a eşit olduğu için eşitlik sağlanır.

$pf_{hd} = 1$ , değeri için:

- Denklem (4.25a)'in sağ tarafı 0'a eşit olur.  $(FGD_h - FireB_{h,d-1})$  farkı, 0'dan küçük veya 0'a eşit olmalıdır. Yâni birikmiş fire miktarı  $FireB_{h,d-1}$ ,  $FGD_h$ 'ye ulaşmış veya geçmiştir.
- Denklem (4.25b)'nin sağ tarafı  $M'$ ye eşit olur.  $(FireB_{h,d-1} - FGD_h)$  farkı,  $M'$ den küçük herhangi bir sayı olmalıdır. Yâni birikmiş fire miktarı  $FireB_{h,d-1}$ ,  $FGD_h$ 'ye ulaşmış veya geçmiştir.
- Denklem (4.25c)'ün sağ tarafı 0'a eşit olur.  $(FireB_{h,d-1} - FireGD_{hd})$  farkı 0'dan küçük herhangi bir sayı olmalıdır.  $FireGD_{hd}$ ,  $FireB_{h,d-1}$ 'den büyük veya eşit olmalıdır.
- Denklem (4.25ç)'ün sağ tarafı  $M'$ ye eşit olur.  $FireGD_{hd}$ ,  $M'$ den küçük herhangi bir sayı olmalıdır. Yâni geri dönüşecek miktar ( $FireGD_{hd}$ ), 0'dan büyük olabilir.
- Denklem (4.25d)'e göre  $FireGD_{hd} \leq FireB_{h,d-1}$  olmalıdır. Denklem (4.25c)'e göre  $FireGD_{hd}$ ,  $FireB_{h,d-1}$ 'den büyük veya eşit olmalıdır. Bu denkleme göre tam tersi olduğundan, tek çözüm noktası  $FireGD_{hd} = FireB_{h,d-1}$  eşitliğidir. Bu durumda istenen amaca ulaşılmış olur.

Denklem (4.13)'de  $TedHB_{hd}$  terimi ile bir önceki döneme göre fazladan tedârik edilen hammaddeye ait miktar ifâde edilmektedir. Bakiye azalmışsa bu ifâde 0'a eşit olmalı, artmış ise aradaki fark kadar olmalıdır. Bu durum ise doğrusal olmayan koşullu bir ifâdeyi oluşturmaktadır. Bu işlemin doğrusallaştırılması için çok büyük bir sayı (M) ile  $pt_{hd}$  0-1 tamsayı değişkenleri kullanılarak doğrusallaştırma denklemleri oluşturulmuştur. Denklem (4.26) grubunda verilen eşitsizlikler grubu ile bu işlemin doğrusal ifâdesi oluşturulmuştur. Denklem (4.25) grubunda kanıtlandığı gibi, bu denklem grubunda da aynı şekilde  $pt_{hd}$  terimi 0 ve 1 değerleri için eşitsizlikleri sağlar ve istenen sonuca ulaşılır.

$$TedB_{hd} - TedB_{h,d-1} \leq M * pt_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.26a)$$

$$TedB_{h,d-1} - TedB_{hd} \leq M * (1 - pt_{hd}) \quad \forall h, d \quad (4.26b)$$

$$TedB_{h,d-1} - TedB_{hd} + TedHB_{hd} \leq M * (1 - pt_{hd}) \quad \forall h, d \quad (4.26c)$$

$$TedHB_{hd} \leq M * pt_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.26ç)$$

$$TedHB_{hd} \geq TedB_{h,d-1} - TedB_{hd} \quad \forall h, d \quad (4.26d)$$

Denklem (4.17) ve denklem (4.18), atölyeler içinde kapasite kullanımını ifâde eden  $Kfs_{kd}$  ve  $Kks_{kd}$  olarak, fazla kaynak kullanımı ve kaynak kullanılmaması durumunu göstermektedir. Bu iki durumdan yalnız biri varolabilir veya tam kapasite kullanımı durumunda her iki durum da varolmamalıdır. Bu durumun ifâdesinin doğrusallaştırılması, denklem (4.27) grubunda sunulmuştur. Denklem (4.25) grubunda kanıtlandığı gibi, bu denklem grubunda da aynı şekilde  $pk_{kd}$  terimi 0 ve 1 değerleri için eşitsizlikleri sağlar ve istenen sonuca ulaşılır.

$$Kfs_{kd} \leq M * (1 - pk_{kd}) \quad \forall k, d \quad (4.27a)$$

$$Kks_{kd} \leq M * pk_{kd} \quad \forall k, d \quad (4.27b)$$

Bu şekilde ilk model tasarımından kaynaklanan doğrusal olamayan parçalı denklemlerin doğrusal duruma getirilmesi için gerekli model geliştirmesi yapılmış olur.

## 4.4 Önerilen Bulanık Genişletilmiş MRP Modeli

### 4.4.1 Problemin Tanımlanması

Önceki bölümde sunulan genişletilmiş deterministik (belirli) modele ek olarak, önerilen model içerisinde yer alan belirsizlikler, bulanık bir karışık tamsayılı programlama modeli kullanılarak malzeme gereksinim plânlaması içinde dikkate alınmıştır. Bu şekilde, özellikle kuyumculuk üretiminin kapalı döngü tedârik zinciri olmasından kaynaklı ters yönlü hareketlerin içerdiği belirsizlikler modellenerek, malzeme gereksinim plânlamasında karar vericiye daha gerçekçi bir yaklaşımın sunulması amaçlanmıştır. Ters yönlü bu hareketler içerisinde özellikle geri dönüşüm sürecinin, geri dönüştürülebilir firenin toplanması ve geri dönüşüm sürecinin etkinliğinden kaynaklı geri kazanım oranının tahmin edilmesindeki zorluktan dolayı, bulanık olarak bu beklentinin modellenmesi ve plânlamada dikkate alınması, karar vericiye daha iyi bir bakış açısı sunacaktır.

Önceki bölümde önerilen modelde geri dönüşüm süreci, belirli bir oranda geri kazanım oranı dikkate alınarak modellenmiştir. Hâlbuki geri kazanım oranı, geri dönüştürülebilir firenin toplanması ve geri dönüşüm sürecinden kaynaklı birçok etmenden dolayı kesin olarak bilinemez ancak bulanık olarak karar verici tarafından ifade edilebilir. Bu bölümde bu bulanıklığın modellenmesi önerilecektir.

Bu geri dönüşüm belirsizliği sırasında yazın taramasında da ortaya çıkan talep, tedârik, üretim ve çevre kaynaklı birçok belirsizlik vardır. Bu belirsizlikler de aynı şekilde istendiğinde, burada önerilen yöntem kullanılarak dikkate alınabilir.

Önceki bölümde önerilen belirli karışık tamsayılı programlamalı malzeme gereksinim plânlama modeli, tanım olarak baştan doğrusal olmayan bir şekilde tanımlanmıştır. Bu çözümü zor bir problem olduğundan, 0-1 tamsayılı parametreler kullanılarak bu doğrusal olmayan ifâdeler doğrusal ifadelere dönüştürülmüştür. Bulanık ifâdeler de aynı şekilde doğrusal olmayan tanımlamalar içermektedir. Çözümü zor olan bu problem, bulanık doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak, tanımlamadan kaynaklı doğrusal olmayan bulanık modelin doğrusallaştırılması ile aşılmıştır. Bunun için tip-1 bulanık kümeler kullanılarak yapılan modelleme için, Jimenez ve diğ. (2007), Peidro ve diğ. (2010) ve Mula ve diğ. (2006a) tarafından önerilen  $\alpha$ -kestirimler ile parametrik doğrusal programlama ve karar verici ile etkileşimli çözümleme yöntemi kullanılmıştır. Tip-2 bulanık aralıklar ile belirsizliğin tanımlanarak modellenmesi ve

çözümü için ise Kundu ve diğ. (2014) tarafından önerilen tip-2 belirsizlikler içeren matematiksel modellemenin parametrik doğrusal programlama yöntemi ile modellenmesi kullanılarak, oluşan doğrusal olmayan model, doğrusal parametrik denklemlere çevrilerek modelin doğrusallaştırılması yapılmıştır.

#### 4.4.2 Tip-1 Bulanık Kümeler ile Modelleme ve Çözüm

Önerilen genişletilmiş MRP modelinde, geri dönüşüm süreci hem kısıtlarda ifade edilen denklem (4.6), hem de amaç fonksiyonu olarak verilen denklem (4.1) içerisinde bir mâliyet katsayısı olarak yer almaktadır.  $gdkf_h$ , bir birim “h” hammaddesi (önerilen modelde bu hammadde altın madenin bir gramıdır) için geri dönüşüm kayıp mâliyet oranını gösterir. Kuyumculuk sektöründe, birim mâliyetler altın hammaddesinin ağırlığının bir oranı olarak ifade edilir.  $gdkf_h$ , geri dönüşüm kayıp mâliyeti katsayısı da geri dönüşüm için üretim içerisinde oluşan firenin birim ağırlığının oranı olarak tanımlanmıştır.

Önerilen modelde, amaç fonksiyonunda bir mâliyet katsayısı olarak kullanılırken, aynı zamanda kısıtlar içerisinde de geri kazanım miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çünkü altın aynı zamanda hem hammadde olarak kullanılan bir malzeme, hem de finansal olarak kullanılan bir değerdir.  $gdkf_h$  geri dönüşüm kaybı, bir üçgen bulanık sayı olarak denklem (4.28)’de tanımlanmıştır.  $\widetilde{gdkf}_h$  nin en kötümser, en beklenen ve en iyimser değerleri sırasıyla  $gdkf_{ha}$ ,  $gdkf_{hb}$  ve  $gdkf_{hc}$  ile gösterilmiştir.

$$\widetilde{gdkf}_h = (gdkf_{ha}, gdkf_{hb}, gdkf_{hc}) \quad (4.28)$$

Bulanık bir kümenin tanımlanması için gerekli üyelik fonksiyonu olarak, denklem (4.29)’da gösterilen ve Gen ve diğ. (1992) tarafından sunulan üyelik fonksiyonu tanımlaması kullanılmıştır.

$$\mu_{\widetilde{gdkf}_h}(x) = \mu_{\widetilde{gdkf}_h}(x; gdkf_{ha}, gdkf_{hb}, gdkf_{hc}) = \begin{cases} \frac{x - gdkf_{ha}}{gdkf_{hb} - gdkf_{ha}}, & gdkf_{ha} \leq x \leq gdkf_{hb} \\ \frac{gdkf_{hc} - x}{gdkf_{hc} - gdkf_{hb}}, & gdkf_{hb} \leq x \leq gdkf_{hc} \\ 0, & x > gdkf_{hc}, x < gdkf_{ha} \end{cases} \quad (4.29)$$



Buradaki doğrusal olmayan tanımlamanın giderilmesi için Jimenez ve diğ. (2007), Peidro ve diğ. (2010) ve Mula ve diğ. (2006a) tarafından önerilen  $\alpha$ -kestirimler ile parametrik doğrusal programlama ve karar verici ile etkileşimli çözümlene yöntemi kullanılmıştır.  $\alpha_0$ , karar vericinin kabul etmeye hazır olduğu en küçük kabul edilebilirlik derecesini ifade eder.  $\alpha$ -kestirimler için kabul edilebilirlik aralığı  $\alpha_0 \leq \alpha \leq 1$  olmak üzere 0 ve 1 arasında tanımlanır. Bu belirsizlik düzeylerinin kabul edilebilirlik aralığını parametrik olarak tanımlamak için, Jimenez ve diğ. (2007) tarafından önerilen 0,1 değer aralıklarında bölünmüş, en az kabul edilebilir düzeyden tümüyle kabul edilebilir düzeye kadar olmak üzere bir belirsizlik aralığındaki belirli kabul edilebilirlik düzeylerindeki değerlere ilişkin kestirimler tanımlanır. Denklem (4.30)'da,  $\alpha$  için belirlenen kabul düzeyleri kümesi verilmiştir.

$$M = \{\alpha_i = \alpha_0 + 0.1i \mid i=0, 1, \dots, 1-\alpha_0/0.1\} \quad \alpha \in [0, 1] \quad (4.30)$$

Her belirsizlik kestiriminde, bu  $\alpha$ -kestirimlere ilişkin oluşan belirli denklemlerin kümesi, bir parametrik doğrusal ve belirli denklemler kümesi oluşturur. Her 0,1 değer kestirim aralığı için, önerilen parametrik genişletilmiş matematiksel program ile de sonuçlar elde edilebilir. Eş parametrik doğrusal denklemlerden denklem (4.31) denklem (4.1) olan amaç fonksiyonunun, denklem (4.32) ise denklem (4.6) olan geri dönüşüm kısıtının, Jiménez ve diğ. (2007; 2010) tarafından önerilen dönüştürme yöntemi ile dönüştürülmüş hâlidir.

Amaç fonksiyonu,  $\forall \alpha$  için:

$$\text{Enk } Z = \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (mu_u \text{Urun}_{ud} + ms_u \text{Stok}_{ud} + met_u \text{Et}_{ud}) * b_u \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D (mkks_k \text{Kks}_{kd} + mkfs_k \text{Kfs}_{kd}) \\ & + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \left( \left( mf_h + \left( (1-\alpha) * \frac{(gdkf_{hb} + gdkf_{hc})}{2} + \alpha * \frac{(gdkf_{ha} + gdkf_{hb})}{2} \right) \right) * FireGD_{hd} + mh_h \text{HurdaGD}_{h,d-DG_{h-1}} \right) \end{aligned}$$

$$+ \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (muis_{c_u} Uiah_{ud} + muy_u Uiays_{ud} + ms_u Uias_{ud}) * b_u$$

$$+ \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D mb_h TedHB_{hd}$$

Geri dönüşüm kısıtı,  $\forall \alpha, h, d$  için:

$$GerD_{hd} = \left( 1 - \left( (1 - \alpha) * \frac{(gdkf_{hb} + gdkf_{hc})}{2} + \alpha * \frac{(gdkf_{ha} + gdkf_{hb})}{2} \right) / 1000 \right) * FireGD_{hd} + HurdaD_{hd} \quad (4.32)$$

Belirsiz olarak tanımlanıp modele eklenen  $\widehat{gdkf}_h$  geri dönüşüm kayıp mâliyet oranını içermeyen diğer denklemler, belirli olduklarından yeniden verilmemiştir.

Çözüm için öncelikle her kabul edilebilirlik düzeyindeki belirsizlik kestiriminde, bu  $\alpha$ -kestirime ait oluşan belirli denklemlerin kümesi ile oluşturulan parametrik doğrusal denklemlerin çözümleri yapılır. Bu çözümler üzerinde karar verici tarafından her bir  $\alpha$ -kestiriminde yapılan parametrik çözüme ilişkin tatmin derecesi belirlenir. Bu tatmin derecelerinden yola çıkarak karar verici, yapılan MRP'ye toplam üretim mâliyeti üzerinde belirsizliğin etkisini, farklı tatmin derecelerindeki çözümler için görmüş ve daha iyi bir bakış açısı elde etmiş olur. Bu belirsizliğin MRP'ye olan etkilerini farklı belirsizlik kestirimleri için elde eden karar verici, böylece plânlamasını buradan yola çıkarak daha iyi bir öngörü ile yapabilir.

#### 4.4.3 Tip-2 Bulanık Aralıklar ile Modelleme ve Çözüm

Önceki bölümde tip-1 belirsizliklerde ele aldığımız geri dönüşüm belirsizliği, belirsizlikteki farklı boyutları da dikkate alarak tip-n bir belirsizlik olarak ele alınabilir. Örnek olarak çalışan kişinin fire geri dönüşüm oranına etkisi ve farklı ürün tiplerinin belirsizliği bir arada ele alınırsa bu, tip-2 belirsizlik olarak dikkate alınabilir. Üretim plânlamada tip-1 bulanık kısıt olarak bu katsayı (4.28) numaralı denklemde ifade edilmişti. Denklem (4.28)'de  $\widehat{gdkf}_h$  bulanık bir katsayıdır ve üçgen bulanık sayı olarak ifade edilmiştir. Tip-2 bulanık değişkende ise üçgen bulanık bir alan olarak tanımlanacaktır.

Kundu ve diğ. (2014) tarafından sunulan tip-2 aralıklar ve  $\alpha$ -kestirimler ile oluşturulan parametrik doğrusal denklemler kullanılarak önerilen genişletilmiş MRP modelinin

tip-2 belirsizlik ile modellenmesi geliştirilmiştir. Önceki bölümlerde verilen tip-2 bulanık üçgen belirsiz aralık tanımlama yöntemini kullanarak, fire geri dönüşüm oranını tip-2 üçgen belirsiz bir aralık olarak tanımlayabiliriz. Bu durumda  $\widetilde{gdfk}_h$  tanımı, aşağıdaki denklem (4.33)'deki şekildeki gibi gösterilir.

$$\widetilde{gdfk}_h = (gdfk_h^1, gdfk_h^2, gdfk_h^3; \theta_{l,h}, \theta_{r,h}) \quad (4.33)$$

Bulanık amaç parametrik fonksiyonları aşağıdaki gibi olur:

Durum 1:  $0 < \alpha \leq 0.25$   $\alpha$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli, amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur.

Amaç fonksiyonu,  $\forall \alpha$  için:

$$\text{Enk } Z = \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (mu_u \text{Urun}_{ud} + ms_u \text{Stok}_{ud} + met_u \text{Et}_{ud}) * b_u \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D (mkks_k \text{Kks}_{kd} + mkfs_k \text{Kfs}_{kd}) \\ & + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \left( \left( mf_h + \frac{(1-2\alpha + (1-4\alpha)\theta_{r,h})gdfk_h^1 + 2\alpha gdfk_h^2}{1 + (1-4\alpha)\theta_{r,h}} \right) * \text{FireGD}_{hd} \right. \\ & \quad \left. + mh_h \text{HurdaGD}_{h,d-DG_{h-1}} \right) \\ & + \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (muis_c_u \text{Uiah}_{ud} + muy_u \text{Uiays}_{ud} + ms_u \text{Uias}_{ud}) * b_u \\ & + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D mb_h \text{TedHB}_{hd} \end{aligned}$$

Geri dönüşüm kısıtı,  $\forall \alpha, h, d$  için:

$$\begin{aligned} \widetilde{GerD}_{hd} \cong & \left( 1 - \right. \\ & \left. \left( \frac{(1-2\alpha + (1-4\alpha)\theta_{r,h})gdfk_h^1 + 2\alpha gdfk_h^2}{1 + (1-4\alpha)\theta_{r,h}} \right) * \text{FireGD}_{hd} + \text{HurdaD}_{hd} \right) \end{aligned} \quad (4.35)$$

Durum 2:  $0,25 < \alpha \leq 0,5$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur.

Amaç fonksiyonu,  $\forall \alpha$  için:

Enk  $Z =$  (4.36)

$$\begin{aligned}
& \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (mu_u Urun_{ud} + ms_u Stok_{ud} + met_u Et_{ud}) * b_u \\
& + \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D (mkks_k Kks_{kd} + mkfs_k Kfs_{kd}) \\
& + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \left( \left( mf_h + \frac{(1-2\alpha)gdfk_h^1 + (2\alpha + (4\alpha-1)\theta_{l,h})gdfk_h^2}{1+(4\alpha-1)\theta_{l,h}} \right) * FireGD_{hd} \right. \\
& \quad \left. + mh_h HurdaGD_{h,d-DG_{h-1}} \right) \\
& + \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (muisc_u Uiah_{ud} + muy_u Uiays_{ud} + ms_u Uias_{ud}) * b_u \\
& + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D mb_h TedHB_{hd}
\end{aligned}$$

Geri dönüşüm kısıtı,  $\forall \alpha, h, d$  için:

$$\begin{aligned}
\widetilde{GerD}_{hd} & \cong \left( 1 - \right. \\
& \left. \left( \frac{(1-2\alpha)gdfk_h^1 + (2\alpha + (4\alpha-1)\theta_{l,h})gdfk_h^2}{1+(4\alpha-1)\theta_{l,h}} \right) * FireGD_{hd} + HurdaD_{hd} \right)
\end{aligned}$$
(4.37)

Durum 3:  $0,5 < \alpha \leq 0,75$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur.

Amaç fonksiyonu,  $\forall \alpha$  için:

Enk  $Z =$  (4.38)

$$\begin{aligned}
& \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (mu_u Urun_{ud} + ms_u Stok_{ud} + met_u Et_{ud}) * b_u \\
& + \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D (mkks_k Kks_{kd} + mkfs_k Kfs_{kd})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \left( \left( mf_h + \frac{(2\alpha-1)gdfk_h^3 + (2(1-\alpha) + (3-4\alpha)\theta_{l,h})gdfk_h^2}{1+(3-4\alpha)\theta_{l,h}} \right) * FireGD_{hd} \right) \\
& \quad + mh_h HurdaGD_{h,d-DG_{h-1}} \\
& + \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (muisc_u Uiah_{ud} + muy_u Uiays_{ud} + ms_u Uias_{ud}) * b_u \\
& \quad + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D mb_h TedHB_{hd}
\end{aligned}$$

Geri dönüşüm kısıtı,  $\forall \alpha, h, d$  için: (4.39)

$$\widetilde{GerD}_{hd} \cong \left( 1 - \left( \frac{(2\alpha-1)gdfk_h^3 + (2(1-\alpha) + (3-4\alpha)\theta_{l,h})gdfk_h^2}{1+(3-4\alpha)\theta_{l,h}} \right) \right) * FireGD_{hd} + HurdaD_{hd}$$

Durum 4:  $0,75 < \alpha \leq 0,1$  kestirimi aralığında eş parametrik programlama problemi modeli amaç fonksiyonu ve katsayıları şu şekilde olur.

Amaç fonksiyonu,  $\forall \alpha$  için:

Enk  $Z =$  (4.40)

$$\begin{aligned}
& \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (mu_u Urun_{ud} + ms_u Stok_{ud} + met_u Et_{ud}) * b_u \\
& \quad + \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D (mkks_k Kks_{kd} + mkfs_k Kfs_{kd}) \\
& + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \left( \left( mf_h + \frac{(2\alpha-1 + (4\alpha-3)\theta_{r,h})gdfk_h^3 + 2(1-\alpha)gdfk_h^2}{1+(4\alpha-3)\theta_{r,h}} \right) * FireGD_{hd} \right) \\
& \quad + mh_h HurdaGD_{h,d-DG_{h-1}} \\
& + \sum_{u=1}^U \sum_{d=1}^D (muisc_u Uiah_{ud} + muy_u Uiays_{ud} + ms_u Uias_{ud}) * b_u \\
& \quad + \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D mb_h TedHB_{hd}
\end{aligned}$$

Geri dönüşüm kısıtı,  $\forall \alpha, h, d$  için: (4.41)

$$\widetilde{GerD}_{hd} \cong \left( 1 - \left( \frac{(2\alpha-1 + (4\alpha-3)\theta_{r,h})gdfk_h^3 + 2(1-\alpha)gdfk_h^2}{1+(4\alpha-3)\theta_{r,h}} \right) \right) * FireGD_{hd} + HurdaD_{hd}$$

Farklı aralıklar için verilen  $\alpha$  kestirimi eş parametrik denklemler ile doğrusal parametrik denklemler grubu bu şekilde elde edilmiş olur. Bu parametrik denklemlerin çözülmesi ile elde edilen sonuçlara göre de plânlama sonuçları değerlendirilir.



## 5. ÖNERİLEN MODELİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI

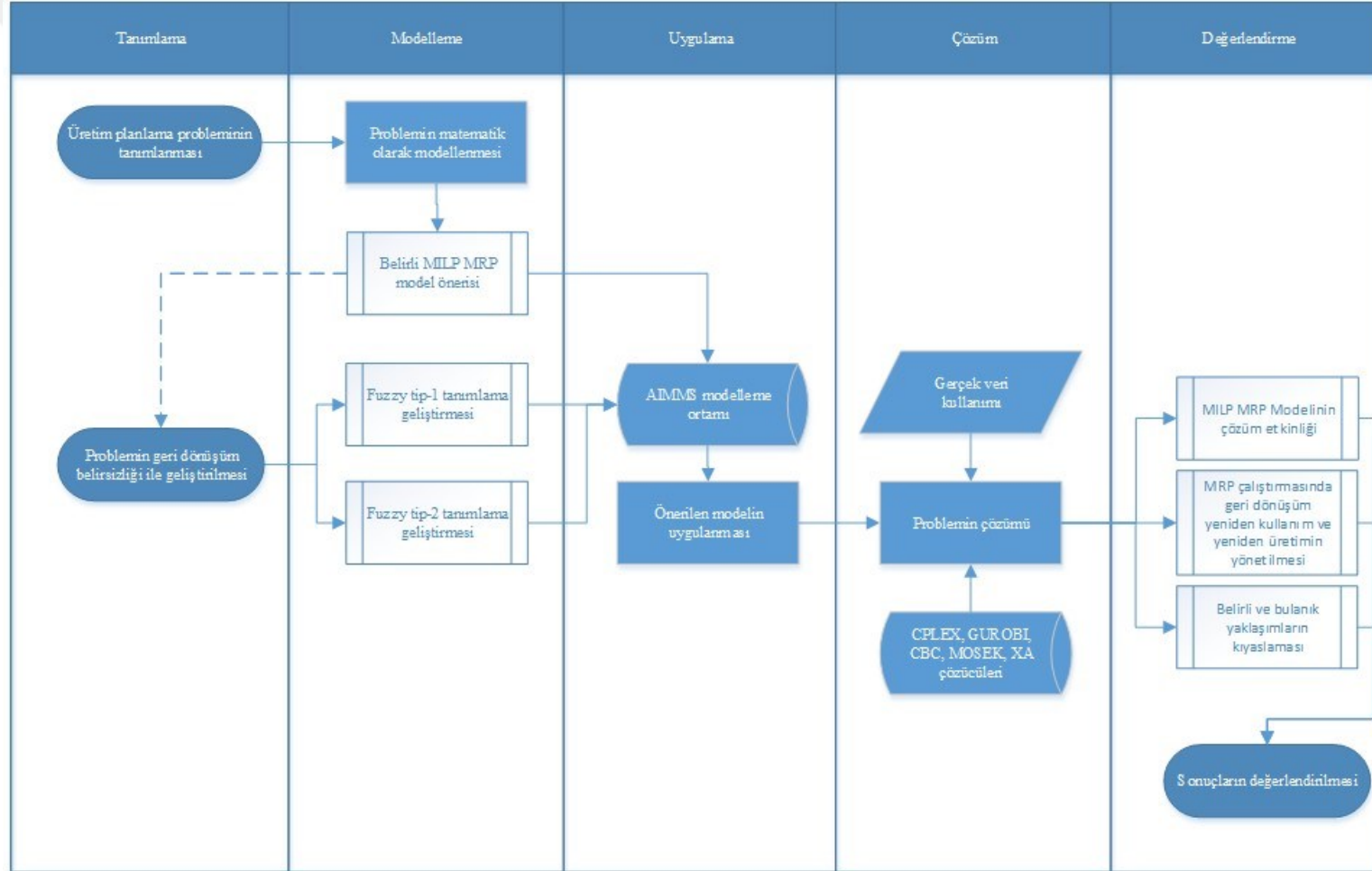
### 5.1 Uygulama Yöntemi

Modelin hazırlanması, uygulanması, çözümü ve sonuçların değerlendirilmesi için Şekil 5.1’de verilen iş akışı izlenmiştir. Öncelikle problemin tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlama önceki bölümlerde sunulmuştu. Problemin tanımından yola çıkılarak çözümü için matematiksel olarak modellenmesi, belirsizlikler dikkate alınmadan yapılmıştır. Daha sonra belirsizlikler dikkate alınarak model geliştirilmiştir. Önerilen matematiksel modelleme, etkin bir çözüm için yazılım ortamına aktarılmıştır. Yazılım için AIMMS modelleme paketi 4.1 ×64 sürümü kullanılmıştır. Yapılan bilgisayar destekli modelleme içerisinde vaka analizinde elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Değişik çözücü algoritmalar kullanılarak vaka analizinin çözümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen MRP modelinin çözüm etkinliği, problemin çözüm yeteneği ve belirsizliklerin yönetilmesi açısından değerlendirilmiştir.

Modelin uygulanmasında ve çözümünde, doğrusal olmayan ve doğrusal farklı çözümler ile çalışabilmesinden dolayı AIMMS modelleme paketi 4.1 (“AIMMS 4.1 ×64 AIMMS B.V., The Netherlands. www.aimms.com.”, 2014) sürümü ile birlikte kullanılmıştır. AIMMS aynı zamanda, modelin uygulanmasında ve vaka analizlerinde kullanılmak üzere esnek bir yapı sunmaktadır. Modelin çözülmesi ile elde edilen sonuçların raporlanmasında, kullanıcı dostu ve esnek bir raporlama ortamına sahiptir.

Veriler, hâlen kullanılmakta olan üretim plânlama programından alınmıştır. Öncelikle kümeler indeks olarak tanımlanmıştır. Bu indekslerin yardımı ile karar değişkenleri tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu mâliyet katsayıları, parametre olarak tanımlanmıştır. Denge denklemleri ve kısıtlardan eşitsizlik içerenler, kısıt tanımlaması ile modele eklenmiştir. Başlangıç verileri dönem 0’da kullanılmak üzere modele parametre olarak eklenmiştir.

Modelin uygulanmasında bir AIMMS proje dosyası oluşturulmuş ve doğrusal olmayan ve doğrusallaştırılmış modeller, iki farklı model olarak AIMMS proje dosyası içerisinde ayrıca tanımlanmıştır.



Şekil 5.1 : Genişletilmiş MRP modeli uygulanmasında izlenen yöntem.



Sunulan örnek vaka ile ilgili veriler AIMMS proje dosyasına vaka verisi olarak eklenmiştir. Bu şekilde, her iki model için de çözüm elde edilmiştir. Ayrıca ilgili vaka analizi için sözkonusu veriler Ek A'da tablolar hâlinde verilmiştir.

Problem için önerilen modelin etkinliğini görebilmek için değişik çözümler ile çözülmüş sonuçlar kıyaslanmıştır. Doğrusal olmayan modelin çözümünde MINOS, SNQPT 7.2, CONOPT 3.14V, IPOPT 3.10.1 çözümleri, çoklu başlangıç özelliği ile birlikte kullanılmışlardır. Çoklu başlangıç özelliği ile modelin çözümüne aynı anda birden çok başlangıç çözümü ile başlanarak, daha etkin bir çözüme ulaşılmaya çalışılır. Ayrıca doğrusal olmayan modelin çözümünde ön çözümler de pivot olmayan değişken ve kısıtların elenip çözümün etkinliğini arttırmak için kullanılmıştır. Doğrusal modelin çözümünde MOSEK 6.0, CBC 2.7.5, CPLEX 12.5, XA 15 ve GUROBI 5.5 çözümleri kullanılmıştır.

Çözüm için kullanılan bilgisayar ortamı Intel i5-2557M 1.70 Ghz Dual Core İşlemci 4 GB Ram Windows 7 x64 ve AIMMS 4.1 x64 yazılımında yer alan çözümlerdir. Şekil 5.2'de örnek olarak AIMMS modelleme yazılımında modellenmesi yapılan, önerilen MRP modeli görülmektedir.

## **5.2 Vaka Analizi Çalışması**

Önerilen MRP modeli, Türkiye'nin önde gelen kuyumculuk üreticilerinden olan, 23.000 m<sup>2</sup> üretim alanında yıllık 25 ton üretim kapasitesi olan bir işletmenin üretimi vaka konusu olarak alınıp geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Sözkonusu işletme, altın kuyum ürünleri üretimi yapmaktadır. Üretim plânlamada hâlihazırda standart MRP temelinde çalışan bir yazılım kullanılmaktadır. İşletme yurt içinde ürünlerini kendi markası altında bayileri aracılığı ile son müşteriye satmaktadır. Yurt dışında ise dağıtıcıları aracılığı ile kendi markasını üreterek veya diğer markalara fason üretim yaparak satış yapmaktadır. İşletme, siparişlerini bayilerinden ve yurt dışındaki dağıtıcılarından almaktadır. Alınan siparişler, son teslim tarihleri dikkate alınarak üretim plânına sokulmakta, haftalık plânlama dönemleri içinde üretim günlük olarak plânlanmaktadır. Plânlama üretim atölyeleri bazında kapasiteler dikkate alınarak yapılmaktadır. Plânlamada temel darboğaz altın hammaddesidir ve en etkin bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı altın hammaddesinin plânlaması, üretim plânlamanın temelini oluşturmaktadır.

AIMMS - Non-commercial Educational Stand-Alone Version (Erhan YAZICI)

File Edit View Data Run Settings Tools Window Help

Model Explorer: Dogrusal\_Extended\_MRP\_Doktor... x Urun Toplam\_Uretim\_Maliyeti x Stok\_ud x

Main Genisletilmis MRP Doktora

- Donem
- Kumeler
- Karar Degiskenleri
- Katsayilar Parametreleri
- Veriler Sabitler
- Kisiltlar ve Denge Denklemleri
  - toplam\_uretim(d,u)
  - Maliyeti\_En\_Kucukleme
  - Toplam\_Uretim\_Maliyeti
  - Stok\_ud(u,d)
  - Ulas\_ud(u,d)
  - Uretim\_Talep\_Denge\_Denklemi\_2\_2(u)
  - Toplam\_Uretim\_Talep\_Denge\_Denklem
  - Stok\_hd(h,d)
  - Gerd\_hd(h,d)
  - HurdaGD\_hd(h,d)
  - Uretim\_Talep\_Denge\_Denklemi\_2\_2(u)

Pages Model

Progress

READY

AIMMS : Dogrusal\_Extended\_MRP\_Doktora.ams  
 Math.Program : Maliyeti\_En\_Kucukleme  
 # Constraints : 5171  
 # Variables : 13961 (120 integer)  
 # Nonzeros : 37139  
 Model Type : MIP  
 Direction : minimize  
 SOLVER : CPLEX 12.5  
 Phase : Postsolving  
 Iterations : 6264  
 Nodes : 43 (Left: 0)  
 Best LP Bound : 4209923.051 (Gap: 0.00%)  
 Best Solution : 4209923.051 (Post: 4209923.051)  
 Solving Time : 2.32 sec (Peak Mem: 1.3 Mb)  
 Program Status : Optimal  
 Solver Status : Normal completion

Total Time : 2.64 sec  
 Memory Used : 144.1 Mb  
 Memory Free : 3967.6 Mb

Extend\_MRP\_Dokto | Act.Case: Gercek\_Vaka\_ilk\_gdkfh | READY

**Toplam\_Uretim\_Maliyeti**

Type: Variable

Identifier: Toplam\_Uretim\_Maliyeti

Index domain: [ ]

Text: [ ]

Range: free

Unit: [ ]

Default: [ ]

Property: ReducedCost, ValueRange, CoefficientRange

Priority: [ ]

Nonvar status: [ ]

Definition:

$$\text{sum} [(u,d), (mu_u(u)*Urun_ud(u,d) + ms_u(u)*Stok_ud(u,d) + met_u(u)*Et_ud(u,d)) * \text{sum} [(k,d), mkks_k(k) * Kks_kd(k,d) + mkfs_k(k) * Kfs_kd \text{sum} [(h,d), (mf_h(h)+gdkf_h(h)) * FireGD_hd(h,d) + mh_h \text{sum} [(u,d), (muisc_u(u)*Uiah_ud(u,d) + muy_u(u)*Uiays_ \text{sum} [(h,d), mb_h(h)*TedHB_hd(h,d)]$$

Comment: "Amaç Fonksiyonu"

**Stok\_ud**

Type: Variable

Identifier: Stok\_ud

Index domain: (u,d)

Text: (2)

Range: nonnegative

Unit: [ ]

Default: [ ]

Property: [ ]

Priority: [ ]

Nonvar status: [ ]

Definition:

$$\text{Stok\_ud}(u,d-1) + \text{Urun\_ud}(u,d) - \text{DU\_u}(u) - \text{t\_ud}(u,d) - \text{Et\_ud}(u,d-1) + \text{Et\_ud}(u,d)$$

Comment:

Talep\_Denge\_Denklemi\_2  
 Dönem \"t\" sonunda eldeki \"i\" hammaddede miktar\007"  
 $\text{Stok\_ud}(u,d-1) + \text{Urun\_ud}(u,d - \text{DU\_u}(u)) - \text{t\_ud}(u,d) - \text{Et\_ud}(u,d-1) + \text{Et\_ud}(u,d)$   
 $\text{Stok\_ud}(u,d-1) + \text{Urun\_ud}(u,d - \text{DU\_u}(u)) - \text{t\_ud}(u,d) - \text{Et\_ud}(u,d-1) + \text{Et\_ud}(u,d)$

Şekil 5.2 : AIMMS örnek model ekranı.

Bu vaka çalışmasının amacı, bu çalışmada önerilen MRP modeli uygulanarak, ürün geri dönüşümlerini ve yeniden üretimleri dikkate alarak etkin bir üretim plânlama yapılabileceğini göstermektir.

Plânlamada gözönünde tutulan diğer konular aşağıda farklı konu başlıkları altında özetlenmiştir:

Üretim ile ilgili olanlar:

- Vaka analizi çalışması kapsamında, sözkonusu işletmenin 4 üretim atölyesi ile ilgili üretim plânlaması dikkate alınmıştır.
- Plânlama dönemi 4 haftadır ve üretim plânlaması günlük olarak yapılmaktadır.
- Sözkonusu üretim atölyelerinin sözkonusu plânlama dönemleri içerisinde toplamda 7 farklı ürün grubundaki 45 farklı ürüne ilişkin siparişler vardır. Tüm dikkate alınmıştır.
- Plânlamada hammadde olarak yalnızca, darboğaz nedeni olan altın dikkate alınmıştır.
- Çalışmada kullanılan veriler, işletmede kullanılan üretim plânlama yazılımından elde edilmiştir.
- Üretimdeki tüm mâliyetler, gr altın olarak hesaplanmaktadır.
- Üretim sırasında kullanılan altın hammaddesinden hurda ve fire oluşmaktadır.
- Ürünler birden çok atölyede üretilebilir. Üretilebilecek atölyeler için kapasite gereksinimleri girilmiş. Üretilemeyecekleri göstermek için çok büyük bir kapasite  $Dk_{uk}$  gereksinimi tanımlanmıştır.
- Üretim içerisinde üretim için hiç bir stoğun olmadığı kabul edilmiştir.
- Geri dönüşüm belirsizliği; üçgen bulanık sayı (TFN) ve üçgen bulanık aralık (TFV) olarak, karar verici olan üretim yöneticileri tarafından tanımlanmıştır.

Müşteri ile ilgili olanlar:

- Müşterilerden gelen iadeler yeniden üretilmekte veya geri dönüştürülmektedir. Bu durum, önerilen MRP modelinde tedârik ve hammadde denge denklemleri ve amaç fonksiyonundaki mâliyet katsayıları ile kontrol edilmektedir.
- Ertelenen talebin plânlama içerisinde bir mâliyeti  $met_u$  vardır. Ancak plânlamanın sonunda ertelenen talep istenmemektedir.

Tedarik ile ilgili olanlar:

- Altın tedârîği konusunda tedârikçide altın borç bakiyesi limiti  $TedBl_h$  sözkonusudur.
- Altın tedârîği yapılan tedârikçiler tek bir tedârikçi ve ilgili altın borç bakiyesi limiti  $TedBl_h$  tek bir limit olarak kabul edilmiştir.
- Hurda geri dönüşümleri kısıtlı olarak yapılabilmekte ve ürün kalitesini etkilediğinden, belirli bir çevrim süresi  $DG_h$  sonunda ifraza gönderilmesi gerekmektedir.
- Birikmiş firelerin geri dönüşümleri için ekonomik bir geri dönüşüm miktarına  $FGD_h$  ulaşması gereklidir.

### 5.3 Belirli Model İçin Sonuçlar

#### 5.3.1 Doğrusal olmayan belirli model çözümü

Çözüm performansı ve sonuçlarında, kullanılan çözücüler ayrıca verilmiştir. Öncelikle problemin çözümü NLP (Non Linear Program) – Doğrusal olmayan model için farklı çözücüler kullanılarak elde edilmiştir. Doğrusal olmayan problemin çözümünde, ön çözüm ve çoklu başlangıç algoritması, ilgili çözücüler ile birlikte kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.1’de çoklu başlangıç kullanılmadan ve Çizelge 5.2’de de çoklu başlangıç kullanılarak verilmiştir.

**Çizelge 5.1 :** Doğrusal olmayan modelin farklı çözücülerde çözüm sonuçları.

Çözücü	MINOS	SNQPT 7.2	CONOPT 3.14V
Adım Sayısı	12	23	157
Kısıtlar	5011	5011	5011
Değişkenler	13841	13841	13841
Tamsayılar	0	0	0
0 Olmayanlar	36725	36725	36725
Model Tipi	NLP	NLP	NLP
İşlem Süresi (sn.)	6,23	14,93	5,68
En İyi Çözüm	Yok	4212800	Yok
Çoklu Başlama	Yok	Yok	Yok
Çözüm Durumu	Olanaksız	Yerel En İyi	Olanaksız

Çizelge 5.1 ve 5.2'deki çözümler ile yapılan çözümlere bakıldığında en iyi çözümün SNQPT tarafından elde edildiği görülmektedir. Elde edilen sonuç 4.212.800 milyemdir. Milyem, altının gramının 1/1.000'ine eşit olan değeri ifade eder. Yani sonuç, "mâliyet 4.212,8 gram altına eşdeğerdir" şeklinde ifade edilebilir. 4.212,8 gram altın mâliyet, TL cinsinden kur olarak 1 gr. altının 100 TL olduğu varsayıldığında, 421.280 TL'ye eşdeğerdir.

**Çizelge 5.2 :** Doğrusal olmayan modelin çoklu başlangıç ile farklı çözümlerde çözüm sonuçları

Çözücü	MINOS	SNQPT 7.2	CONOPT 3.14V
Adım Sayısı	1	1503	403
Kısıtlar	5011	5011	5011
Değişkenler	13841	13841	13841
Tamsayılar	0	0	0
0 Olmayanlar	36725	36725	36725
Model Tipi	NLP	NLP	NLP
İşlem Süresi (sn.)	6,61	148,37	4,41
En İyi Çözüm	Yok	4212800	Yok
Çoklu Başlama	Var	Var	Var
Çözüm Durumu	Normal Bitiş	Yerel En İyi	Olanaksız

Kuyumculuk üretim mâliyeti, toplam mâliyetin altın gr cinsinden toplam üretim gramına oranı olarak düşünülmektedir. Bu örnek için plânlama süresince toplam üretim 100.382 gr altındır. Mâliyet hesabı ise mâliyet (altın) / üretim (altın) olduğundan, bu örnek için  $4.212,8 / 100.382 = 0,041948$  dir. Milyem hesabı 1.000'de üzerinden yapıldığından bu örnek için mâliyet milyeminin 42 milyem olduğu söylenebilir. Doğrusal olmayan programlamada elde edilen çözüm, yerel en iyiye ulaşılarak elde edilen bir çözümdür. Doğrusallaştırma sonucu elde edilen model ile yapılan çözümler de sonraki bölümde sunulmuştur.

### 5.3.2 Doğrusal belirli model çözümü

Doğrusal model için kullanılan tüm çözümler, etkin bir şekilde genişletilmiş kuyumculuk üretim plânlama modelini çözmüşlerdir. GUROBI ve CPLEX çözümlerinin, süre etkinliği olarak öne çıktıkları görülmektedir. Doğrusallaştırma sonucu elde edilen model ile yapılan çözümler Çizelge 5.3'de sunulmuştur.

Modelin sonuçlarına baktığımızda; üretim içi fire, üretim içi hurda ve iade ürün geri dönüşümleri ile ilgili modelde yer alan ifadelerin etkin bir şekilde işlediği ve plânlama içinde geri dönüşüm sisteminin etkin bir şekilde eşzamanlı olarak çalıştığı görülmüştür. Elde edilen sonuç 4.209.923,051 milyemdir. Milyem, altının gramının 1/1.000'ine eşit olan değerini ifade eder. Yani sonuç, 4.209,92 gram altın mâliyeti olduğu şeklinde ifade edilebilir.

**Çizelge 5.3 : Doğrusal modelin farklı çözücülerde çözüm sonuçları.**

Çözücü	CPLEX 12.5	CBC 2.7.5	GUROBI5.5	MOSEK 6.0	XA 15
Adım Sayısı	6264	2303	16701	37529	2970445
Kısıtlar	5171	5171	5171	5171	5171
Değişkenler	13961	13961	13961	13961	13961
Tamsayılar	120	120	120	120	120
0 Olmayanlar	37139	37139	37101	37101	37101
Model Tipi	MIP	MIP	MIP	MIP	MIP
İşlem Süre (sn.)	2,32	16,21	3,74	12,12	2933,65
En İyi Çözüm	4.209.923,051	4.209.923,051	4.209.923,051	4.209.923,051	4.209.923,051
Çoklu Başlama	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Çözüm Durumu	En İyi	En İyi	En İyi	En İyi	En İyi

Modelde sunulan tedârik işlemi, iade dönüşüm ve yeniden işleme süreçleri de aynı şekilde model içerisinde çalışarak ilgili denge denklemlerine uygun biçimde üretim plânını oluşturmuşlardır. İadeler ile ilgili olarak şunlar söylenebilir: Gerekli ise talebin bir kısmı karşılanmış, değil ise gereksinime göre hammaddeye dönüşmüş veya stokta tutulmuştur. Üretim talep karşılama, üretim miktarları ve ertelenen talep miktarları da elde edilmiştir.

### 5.3.2.1 Ürünlere ilişkin örnek sonuçlar

Yapılan üretime ilişkin ürün ile ilgili üretim plânlama sonuçları, Şekil 5.3'de ürün ve dönem bazında üretim ve ertelenen talep olarak sunulmuştur.  $U_{ud}$ ,  $Urun_{ud}$  üretilen talep karar değişkenini,  $E_{ud}$  ise  $Et_{ud}$  yani ertelenen talep değişkenini ifade etmektedir.  $U_{ud}$ , sütununda dönemlik plânlanan üretim miktarları ürün bazında görülmektedir.  $E_{ud}$  sütununda ertelenen talepler ürün bazında görülmektedir.

	donem-00		donem-01		donem-02		donem-03		donem-04		donem-05		donem-06		donem-07		donem-08		donem-09		donem-10		donem-11		donem-12		donem-13		donem-14		donem-15		donem-16		donem-17		donem-18		donem-19		donem-20				
	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud	U_ud	E_ud					
DT 103																	10																												
DT 112																	12																												
DT 117																	12																												
DT 118												1		2			8																												
DT 146															47																														
DT 70					27																																								
DT 76					172		28																																						
OG 33																																													
PT 1032							15			35																																			
PT 1101																																													
PT 1114																																													
PT 1158																																													
PT 1171A							21																																						
PT 1171B																																													
PT 1172A																																													
PT 1172B							7			1																																			
PT 1175																	1																												
PT 1176							70										100																												
PT 1178																																													
PT 1179							44																																						
PT 1180																																													
PT 1181																																													
PT 1188																																													
PT 441							8																																						
PT 496					260		262			294																																			
PT 556																																													
PT 968S																																													
SB 148							2																																						
SB 613							20																																						
SB 893 A							79																																						
SB 895																																													
SL 18																																													
SL 43							5																																						
TB 939																																													
TDT 116																																													
TDT 122																																													
TDT 130																																													
TDT 16																																													
TDT 194																																													
TDT 207																																													
TDT 208																																													
TDT 224																																													
TDT 237																																													
TDT 51																																													
TDT 66																																													

Şekil 5.3 : Ürünlere ilişkin plânlama sonuçları – AIMMS.

### 5.3.2.2 Hammaddeye ilişkin örnek sonuçlar

Yapılan üretime ilişkin hammadde altın ile ilgili üretim plânlama sonuçları Şekil 5.4'de, ürün ve dönem bazında üretim ve ertelenen talep şeklinde sunulmuştur.  $FireB_{hd}$  tablosunda, üretimden dolayı dönemler boyunca biriken firelerin arttığı görülmektedir.

$FireGD_{hd}$  tablosunda, ekonomik geri dönüşüm miktarı olan 2.000 gr altına ulaşılmadığı için hiç geri dönüşüm olmadığı görülmektedir.  $GerD_{hd}$  tablosunda geri dönen hurda miktarları görülmektedir.  $HurdaGD_{hd}$  de dönemlik olarak oluşan hurda miktarını göstermektedir. Bu tablolarda  $DG_h$  yâni 3 dönem sonra ilgili hurdanın  $HurdaGD_{hd}$ ,  $HurdaD_{hd}$ 'den ifraza gittiği görülebilir.  $Stok_{hd}$ 'de hammadde stoğu görülmektedir.  $Ted_{hd}$ 'de ise yapılan tedârik görülmektedir.

Modelde sunulan tedârik işlemi, iade dönüşüm ve yeniden işleme süreçleri de aynı şekilde model içerisinde çalışarak ilgili denge denklemlerine uygun biçimde üretim plânını oluşturmuşlardır. İadeler ile ilgili olarak şunlar söylenebilir: Gerekli ise talebin bir kısmı karşılanmış, değil ise gereksinime göre hammaddeye dönüşmüş veya stokta tutulmuştur. Üretim talep karşılama, üretim miktarları ve ertelenen talep miktarları da elde edilmiştir.

### 5.3.3 Duyarlılık analizi

Doğrusal programlamada model değişkenlerinde veya parametrelerinde oluşacak değişimlerin etkisi ile bulunan en iyi çözüm üzerinde oluşacak farklılıkların incelemesi “duyarlılık analizi” olarak tanımlanır. Bu sâyede, modelde yer alan değişken ve parametrelerin en iyi çözüme olan etkileri incelenebilir. Bu bölümde bâzı değişkenler üzerinde duyarlılık analizi sunulmuştur. Değişkenler, özellikle üretim plânlamasını etkileyen eldeki stok, tedârik limiti ve fire geri dönüşümü olarak seçilmiştir. Analizdeki mâliyetler “gr altın” cinsinden verilmiştir. Bu mâliyetlerin model çözüm sonucunda da gösterildiği gibi günlük altın TL kuru üzerinden hesaplanarak Türk Lirası cinsinden mâliyetler elde edilebilir.

Özellikle işletmede üretim için kullanılacak altın stoğu önemlidir. Altın stoğunun durumuna göre tedârik miktarlarını ve geri dönüşüm limitlerini değiştirmek gerekebilir.  $Stok_{h0}$  parametresinin, yâni başlangıçta eldeki stok miktarının azaltılması durumunda değişken üretim mâliyetinin arttığı görülmektedir.



	donem-00	donem-01	donem-02	donem-03	donem-04	donem-05	donem-06	donem-07	donem-08	donem-09	donem-10	donem-11	donem-12	donem-13	donem-14	donem-15	donem-16	donem-17	donem-18	donem-19	donem-20
Stok_hd																					
Altın	10000	94018	84948	76022	69748	70350	79717	73137	64371	55445	49551	59384	54863	48679	39743	33177	34840	28389	28389	28389	28389
HurdaD_hd																					
Altın	3000	3577	4572	5423	3021	2582	1648	1451	1790	2502	3005	2378	2075	2063	2360	3071	3231	3016	2155	1417	624
HurdaGD_hd																					
Altın	3000	577	995	851	598	138	61	655	936	850	563	28	634	838	861	738	794	624			
Ted_hd																					
Altın					3000	577	10995	851	598	138	61	10655	936	850	563	28	10634	838	861	738	794
TedHB_hd																					
Altın																					
FireB_hd																					
Altın	500	792	1362	1788	2087	69	100	442	966	1392	1675	1689	2006	420	855	1287	1684	2000	2000	2000	2000
FireGD_hd																					
Altın						2087															2006
Gerd_hd																					
Altın		3577	4572	5423	3021	4627	1648	1451	1790	2502	3005	2378	2075	4029	2360	3071	3231	3016	2155	1417	624
Tah_hd																					
Altın							10000					10000					10000				

Şekil 5.4 : Hammaddelere (altın) ilişkin plânlama sonuçları – AIMMS.

Örnek vaka için eldeki başlangıç stok miktarı 75.000 gr. olduğunda mâliyetin değişmediği görülür. Çünkü hammadde için elde bulundurma mâliyeti dikkate alınmamıştır. Eldeki başlangıç stok miktarı 70.000 gr.'a indiğinde, üretim için tedârîğin arttığı ve toplam mâliyetin 4.209,92 gr. altından 4.221,2 gr. altına değiştiği görülür. Toplam üretim mâliyeti %0,27 artar. Eldeki başlangıç stok miktarı 60.000 gr. altına indiğinde, toplam mâliyetin 4.291,2 gr. altına yükseldiği görülür. Toplam üretim mâliyeti %1,93 artar. Eldeki başlangıç stok miktarı 55.000 gr. altına indiğinde, toplam mâliyetin 4.375,8 gr. altına yükseldiği görülür. Toplam üretim mâliyeti %3,94 artar. Eldeki başlangıç stok miktarı 50.000 gr. altına indiğinde ise çözüm bulunamadığı görülmüştür. Bu, tedârik bakiyesinin belli bir limitinin olmasından kaynaklanmaktadır.

Altın stok miktarı ile birlikte fire geri dönüşüm limitleri  $FGD_h$  üzerinde analiz edildiğinde, fire geri dönüşüm limiti azaltıldığında mâliyetin arttığı görülür.  $FGD_h$  2.000 gr. altından 1.000 gr. altına düşürüldüğü ve altın başlangıç stoğunun 60.000 gr. altın olduğu durum için mâliyetin, 4.291,2 gr. altından 4.305,11 gr. altına çıktığı görülür. Toplam üretim mâliyeti %2,26 artar. Bu, model için elde stok varken geri dönüşüm işlemi yapmanın ek mâliyet getirdiğini göstermektedir. Çizelge 5.4'de karşılaştırmalı olarak ilgili parametreler ve toplam üretim mâliyetine etkileri gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Duyarlılık analizi yapılan parametreler ve toplam mâliyete etkileri.

$FGD_h$	$TedBl_h$	$Stok_{h0}$	Toplam üretim mâliyeti	
			(gr altın)	Yüzde mâliyet değişimi
2.000	15.000	75.000	4.209,9	0,00%
2.000	15.000	70.000	4.221,2	0,27%
2.000	15.000	60.000	4.291,2	1,93%
2.000	15.000	55.000	4.375,8	3,94%
1.000	15.000	60.000	4.305,1	2,26%
1.000	10.000	60.000	4.340,8	3,11%
5.000	15.000	75.000	-	-

Fire geri dönüşüm ekonomik miktar limiti ile eşzamanlı olarak tedârik limitleri de mâliyeti etkilemektedir.  $FGD_h$  2.000 gram altın iken, tedârik limiti  $TedBl_h$  5.000 gram altına düşürüldüğünde talep ertelemesine model izin vermediğinden altın yokluğu oluşur, bundan dolayı model çözümsüz kalır. Bu durumda tedârik limiti

$TedBl_h$  10.000 gram altına çıkarıldığında ise 4.340,8 gram altın mâliyet ile çözümün olduğu görülür. Toplam üretim mâliyeti %3,11 artar. Tedârik bakiye limiti, fire geri dönüşüm ekonomik miktar düzeyi ve altın stok mevcudunun toplam üretim mâliyeti üzerindeki etkilerinin bu şekilde eşzamanlı olarak ele alınması ile daha doğru bir analiz yapılabilir.

### 5.3.4 Çözüm etkinliği

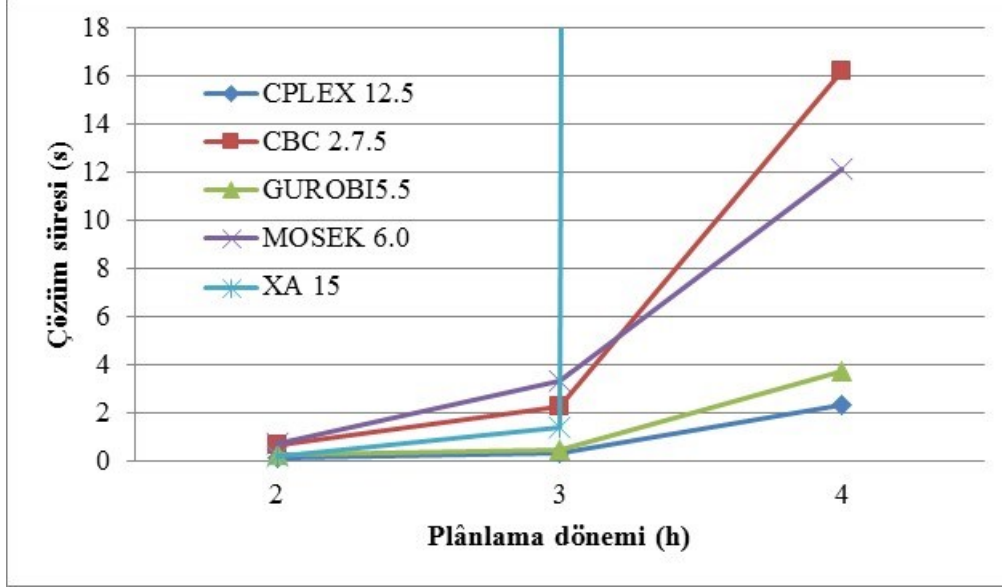
Öncelikle önerilen MILP MRP modeli için çözüm etkinliği araştırılmıştır. Bu vakaya ilişkin plânlama dönemi 2 haftadır. Altın madeni hammaddesinin malî değerinden dolayı müşteriler kısa dönemli siparişler ile ve en az stok ile çalışmayı yeğlerler. Bundan dolayı plânlama dönemi genellikle kısadır. Ancak bu çalışmada 3 ve 4 haftalık dönemler içinde modelin çözüm etkinliğini görebilmek için çalıştırma yapılmıştır. Amaç, plânlama döneminden bağımsız olarak önerilen modelin etkin bir şekilde çalıştığını göstermektir. Çizelge 5.5’de önerilen MILP MRP modelinin hesaplama çözüm etkinliği gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5 :** Uygulamanın farklı plânlama dönemleri ve çözücüler için etkinliği.

Dönem(h)	Çözücü	Adım	Kısıt	Değişken	Tamsayılı	0 olmayan	CPU süre (s)
2	CPLEX 12.5	1.413					0,11
	CBC 2.7.5	518					0,64
	GUROBI5.5	1.171	2.631	6.981	60	18.319	0,23
	MOSEK 6.0	5.115					0,70
	XA 15	1.016					0,19
3	CPLEX 12.5	2.808					0,28
	CBC 2.7.5	1.460					2,25
	GUROBI5.5	4.488	3.901	10.471	90	27.729	0,42
	MOSEK 6.0	15.588					3,32
	XA 15	5.342					1,36
4	CPLEX 12.5	6.264					2,32
	CBC 2.7.5	2.303					16,21
	GUROBI5.5	16.701	5.171	13.961	120	37.139	3,74
	MOSEK 6.0	37.529					12,12
	XA 15	2.970.445					2.933,65

Çizelge 5.5’de verilen veriler çözüm adım sayısı, kısıtlar, değişkenler, tamsayılı ve 0 olmayan değerler ile çözücülerin çözüm sürelerini içerir.

Şekil 5.5’de önerilen MILP MRP modelinin artan plânlama dönemleri için farklı çözücülerde oluşan çözüm süreleri ile uygulamanın etkinliğini karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.5 : Artan plânlama dönemlerinde farklı çözücüler için çözüm etkinliği.

### 5.3.5 Yeniden üretim, yeniden kullanım ve geri dönüşüm

Hesaplama etkinliğinin yanında, önerilen MILP MRP modelinde özellikle geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim sürecinin nasıl yönetildiği de sonuçlarda görülmektedir. Çizelge 5.6’da 4 haftalık plânlama dönemine ait hammadde altın ile ilişkili olan değişkenlere ait sonuçlar verilmiştir. Çizelge 5.6’da hammadde olarak verilen tüm değerler hammadde altın madeninin gramı cinsindedir. Ürün ile ilişkili olarak verilen değişkenlere ilişkin değerler ise adet olarak miktarları ifade etmektedir. Ters yönlü malzeme akışlarının nasıl yönetildiğinin gösterilebilmesi için özellikle uzun dönemli, 4 haftalık plânlama dönemi seçilmiştir.

Çizelge 5.6’nın verilmesindeki amaç, önerilen MILP MRP modeli ile MRP içinde geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim süreçlerinin nasıl yönetilebildiğinin gösterilmesidir. İlk iki sütunda plânlama dönemleri hafta ve gün olarak verilmiştir. Günlük olarak karar değişkenlerine ilişkin veriler tabloda verilmiştir.

Karar değişkeni  $FireB_{hd}$ , hammadde altın madeni olarak birikmiş geri dönüştürülebilir fire miktarını ifade etmektedir. Geri dönüşüm işlemi için belirlenmiş ekonomik birikmiş fire miktarı 2.000 gr altın madenidir. 4. plânlama gününün sonunda geri dönüştürülebilir birikmiş fire bu miktara ulaşır. 5. plânlama gününde  $pf_{hd}$  karar

değişkeni 1 olmuş ve geri dönüşüm sürecinin varlığını göstermiştir. Fire geri dönüşüm sürecindeki geri dönüşüm için miktar,  $FireGD_{hd}$  karar değişkeni olan geri dönüşüm miktarı değerinden izlenebilir. Ayrıca bu miktar, diğer bir karar değişkeni olan ve toplam geri dönüşüm ve yeniden kullanım miktarını ifade eden  $GerD_{hd}$  karar değişkenine de eklenir. Geri dönüşümü yapılan hammadde miktarı da  $Stok_{hd}$  karar değişkenini, yani toplam stoktaki hammadde miktarına eklenir.

**Çizelge 5.6 :** Uygulamanın 4 haftalık plânlama dönemine ait hammadde altın ile ilişkili olan değişkenlere ait sonuçlar.

Dönem	$FireB_{hd}$	$FireGD_{hd}$	$GerD_{hd}$	$HurdaD_{hd}$	$HurdaGD_{hd}$	$Stok_{hd}$	$Ted_{hd}$	$Tah_{hd}$	$pf_{h,t}$	$TedB_{hd}$	$Uia_{ud}$	$Uiays_{t,t}$	$Uias_{ud}$	$Uiah_{ud}$
(h)	(g)													
0	0	500		3.000	3.000	100.000								
1	1	792	3.577	3.577	577	94.018								
	2	1.362	4.572	4.572	995	84.948								
	3	1.788	5.423	5.423	851	76.022								
	4	2.087	3.021	3.021	598	69.748	3.000							
	5	69	2.087	4.627	2.582	138	70.350	577	1					
2	6	100	1.648	1.648	61	79.717	10.995	10.000						
	7	442	1.451	1.451	655	73.137	851							
	8	966	1.790	1.790	936	64.371	598							
	9	1.392	2.502	2.502	850	55.445	138							
	10	1.675	3.005	3.005	563	49.551	61							
3	11	1.689	2.378	2.378	28	59.384	10.655	10.000						
	12	2.006	2.075	2.075	634	54.863	936							
	13	420	2.006	4.029	2.063	838	48.679	850	1					
	14	855	2.360	2.360	861	39.743	563							
	15	1.287	3.071	3.071	738	33.177	28							
4	16	1.684	3.231	3.231	794	34.840	10.634	10.000						
	17	2.000	3.016	3.016	624	28.389								
	18	2.000	2.155	2.155		28.389					35	35		
	19	2.000	1.417	1.417		28.389								
	20	2.000	624	624		28.389								

Karar değişkenleri  $HurdaD_{hd}$  ve  $HurdaGD_{hd}$ ,  $GerD_{hd}$  karar değişkeni ile birlikte hammadde altın madeni yeniden kullanım sürecini yönetmektedirler. Ayrıca, yeniden kullanılan  $HurdaD_{hd}$ 'nin  $DG_h$  süresi sonunda geri dönüşüm işlemine gönderilmesini de yönetirler.

Ayrıca Çizelge 5.6'da yeniden üretim süreci içinde bir örnek bulmak olanaklıdır. 18. plânlama gününde  $Uia_{ud}$  ile ifade edilen müşteriden, bir üründen gelen 35 adet ürün,

$U_{iays_{ud}}$  karar değişkeni ile verilen yeniden üretim kararı, müşteri talebine istinâden yeniden üretim işlemine tâbi tutulmuştur.

## 5.4 Bulanık Model İçin Sonuçlar

### 5.4.1 Geri dönüşüm belirsizliği

Modele belirsizliklerin eklenmesinde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Bu sayıların tanımlanması, denklem (5.1) deki üçgen bulanık değerler ile yapılmıştır.

$$\overline{gdkf}_h = (0.1, 0.02, 0) \quad (5.1)$$

Geri dönüşüm sürecinin olabirlik düzeyi  $\alpha$ , M kümesi için karar vericinin Kabul etmeye hazır olduğu değeri ifâde eder. Denklem (5.2) karar vericinin kabul etmeye razı olduğu  $\alpha$  kümesini göstermektedir.

$$M = \{0.7, 0.8, 0.9, 1\} \quad (5.2)$$

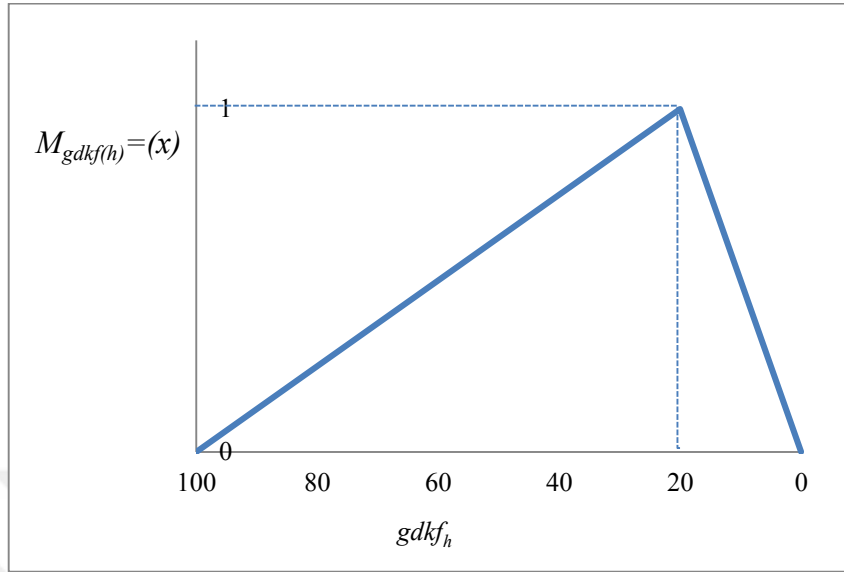
Eğer karar verici için birden çok ölçüt olursa, ağırlıklandırılmış değerler kullanılarak amaç fonksiyonu için karar vericinin tercihi bulunabilir. Bulanık çözümler, karar verici için daha çok gerçek dünyayı yansıtan çözümlerdir.

### 5.4.2 Tip-1 ve tip-2 ile çözümler

İkinci aşamada modele geri dönüşüm işleminin belirsizliği eklenerek model geliştirilmiştir. Geri dönüşüm kaybı mâliyeti  $\overline{gdkf}_h$ , karar verici tarafından bulanık tip-1 yaklaşımına uygun bir üçgen belirsiz sayı olarak tanımlayacak şekilde  $\overline{gdkf}_h = (100, 20, 0)$  belirlenmiştir. Geri dönüşüm kayıp mâliyet oranı, belirli model için 20 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.6'da geri dönüşüm kayıp mâliyet oranı  $\overline{gdkf}_h$ , bir bulanık üçgen sayı olarak verilmiştir. Geri dönüşüm sürecinin karar verici tarafından kabul edilebilir olabirlik düzeyi  $\alpha$ ,  $M_1$  kümesi ile tanımlanmıştır.  $M_1$  kümesi, karar verici tarafından bulanık tip-1 problemin Çizelge 5.7'de verilen çözümleri dikkate alınarak  $M_1 = \{0.7, 0.8, 0.9, 1\}$  olarak belirlenmiştir.

Diğer bir bakış açısı ile de geri dönüşüm kayıp mâliyet oranını tip-2 bulanık bir değişken olarak ele alıp inceleyebilmek için kuyumculuk işletmesindeki karar verici tarafından  $\overline{gdkf}_h = (100, 20, 0; 0.7, 0.3)$  olmak üzere tip-2 üçgen bulanık değişken

olarak tanımlanmıştır. Geri dönüşüm sürecinin karar verici tarafından kabul edilebilir olabilirlik düzeyi  $\alpha$ , bulanık tip-1 problemi ile aynı kabul edilmiştir.



**Şekil 5.6 :** Geri dönüşüm kayıp mâliyet oranı  $\overline{gdkf}_h$  nin TFN gösterimi.

Kabul edilebilirlik düzeylerine göre denklem (4.39) ile verilen durum 3 ve denklem (4.40) ile verilen durum 4, parametrik doğrusal denklemlerin oluşturulmasında dikkate alınacaktır. Şekil 5.7’de, geri dönüşüm kayıp mâliyet oranını tip-2 bulanık değişkeni  $\overline{gdkf}_h$ ’nin belirsizlik izdüşümü (FOU), verilen belirsizlik dağılım aralığı üyelik fonksiyonu  $\tilde{\mu}_{\overline{gdkf}_h}(x)$  kullanılarak verilmiştir. Geri dönüşüm sürecinin karar verici tarafından kabul edilebilir olabilirlik düzeyi  $\alpha$ ,  $M_2$  kümesi ile tanımlanmıştır.  $M_2$  kümesi, karar verici tarafından bulanık tip-2 problemin Çizelge 5.7’de verilen çözümü dikkate alınarak  $M_2 = \{0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8\}$  olarak belirlenmiştir. Burada kabul edilebilir  $\alpha$  aralığını doğru belirlemek önemlidir. Bununla birlikte karar verme aşamasında Jimenez ve diğ. (2007) tarafından ilgili çalışmada sunulan bulanık karar verme yöntemine göre tatmin düzeyleri  $\mathcal{A}$  her kabul edilebilir  $\alpha$  kestirimi için karar verici ile etkileşimli bir biçimde belirlenir. Her olabilir  $\alpha$  kestirimine ve ilgili çözüme ait tatmin düzeyleri  $\mathcal{A}$ ’ya ait kabul edilebilirlik dereceleri,  $\gamma_\alpha$  ve  $\gamma_\lambda$  karar vericinin olabilirlik riskine ve buna ait tatmine ilişkin verdiği ağırlıkların bir oranı ile toplanarak elde edilen derecelendirme ile bulunabilir. Bu görece olabilirlik ve tatmin arasındaki önem düzeyi  $\beta$  olarak tanımlanır ve 0,1 aralığında bir değer olarak belirlenir.

Belirli ve bulanık yaklaşımların geri dönüşüm sürecindeki etkinliklerinin toplam mâliyet üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için çözümler toplam mâliyet düzeyinde

özet olarak verilmiştir. Belirli model, belirli veri kullanılarak çözülmüş, bulanık yaklaşımlar ise aynı veride geri dönüşüm verisinin belirsiz olduğu dikkate alınarak çözülmüştür. Geri dönüşüm süreci, tip-1 bulanık yaklaşımda belirsizlik, üçgen bulanık sayı (TFN) olarak tanımlanmıştır. Tip-2 bulanık yaklaşımda ise üçgen bulanık aralık olarak tanımlanmıştır. Çözüm  $\alpha$  parametrik denklemler kullanılarak elde edilmiş ve devamında ise etkileşimli çözüm yöntemi karar verici tarafından belirlenen kabul edilebilirlik düzeyleri ve değişik  $\alpha$  kestirimlerdeki çözümlerin tatmin düzeyleri dikkate alınarak yapılmış ve izleyen kısımda ayrıntılar verilmiştir.

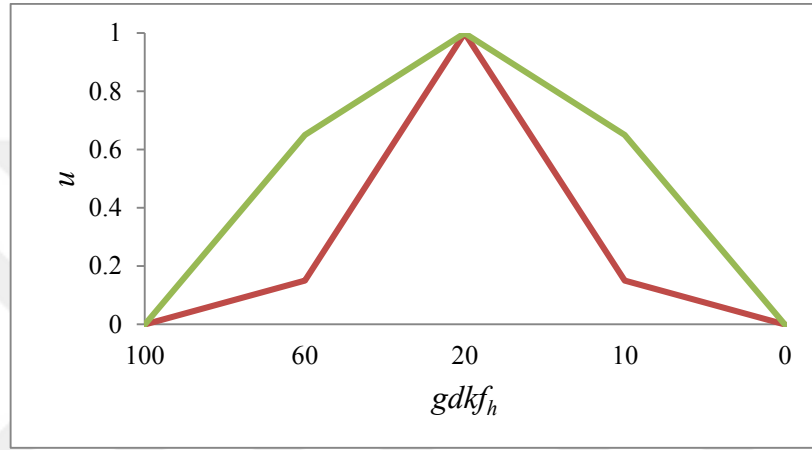
**Çizelge 5.7 :** Toplam üretim mâliyetleri; belirli, bulanık tip-1 ve tip-2 model çözümleri için.

Kabul edilebilirlik düzeyi	Toplam mâliyet (belirli)	Toplam mâliyet (bulanık tip-1)	Toplam mâliyet (bulanık tip-2)
0		1.569.539,96	1.649.539,96
0,1		1.559.539,96	1.622.421,31
0,2		1.549.539,96	1.589.162,60
0,3		1.539.539,96	1.545.680,31
0,4		1.529.539,96	1.511.573,54
0,5		1.519.285,69	1.488.291,57
0,6		1.508.954,32	1.482.458,80
0,7		1.498.622,94	1.473.734,89
0,8		1.488.291,57	1.462.446,86
0,9		1.477.924,93	1.449.223,49
1		1.467.540,91	1.446.772,86
Belirli	1.488.291,57		

Önerilen modelin çözüm etkinliğinin ölçülebilmesi için, problem 2, 3 ve 4 haftalık üretim dönemleri için dikkate alınmıştır. Gerçekte ise vaka konusu işletmede plânlama dönemleri 2 haftalıktır. Daha uzun dönemler için birçok güncelleme olmaksızın plânlama yapabilmek pek gerçekçi değildir. Bulanık modellerin problemin sonuçlarına etkisini görebilmek ve belirli model ile kıyaslayabilmek amacıyla 2 haftalık plânlama dönemleri için problem çözülmüştür. Bu kıyaslama için CPLEX



12.5 çözücüsünde elde edilen çözümler tüm değerlendirmeler için kullanılmıştır. Çünkü önerilen belirli model için en iyi çözüm etkinliği bu çözücü ile sağlanmıştır. Çözüm süreleri kıyaslama için ayrıca dikkate alınmamıştır. Çünkü bulanık modellerin çözümleri, hâlihazırda parametrik doğrusal denklemlerin çözümlerinden oluşmaktadır. Ve işlem süreleri her bir parametrik denklem için belirli çözüm ile neredeyse aynıdır. Bulanık çözüm sonuçları da CPLEX 12.5 çözücüsü kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge 5.7’de plânlı toplam üretim mâliyeti; belirli, bulanık tip-1 ve bulanık tip-2 modellerine ilişkin çözümler için verilmiştir.



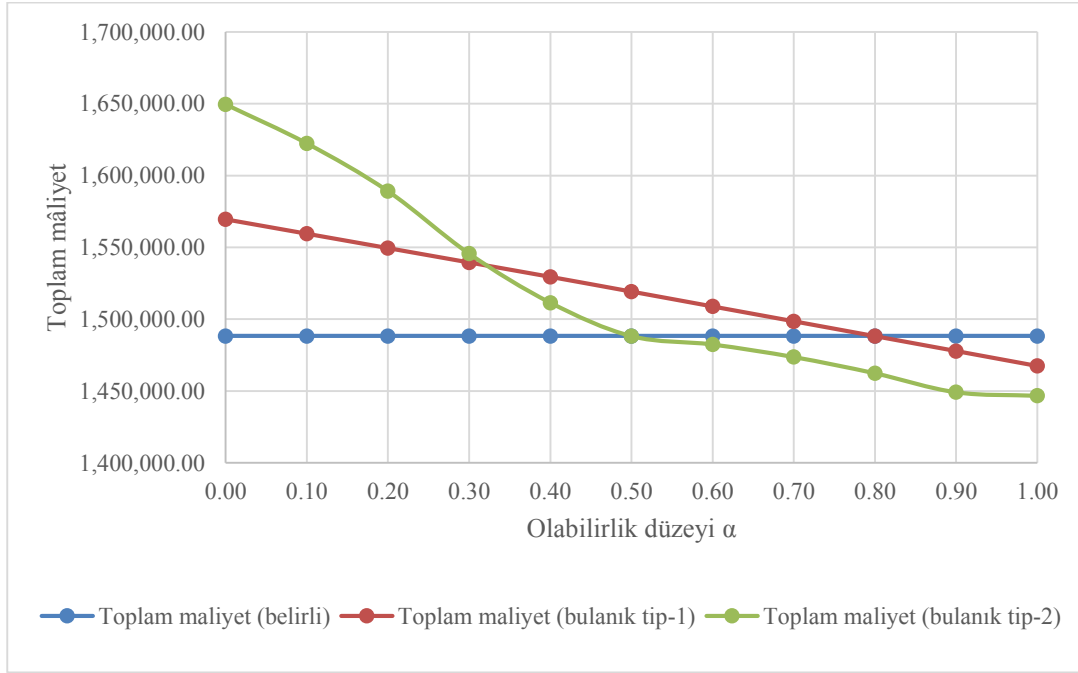
**Şekil 5.7 :** Tip-2 üçgen bulanık aralık gösterimi; geri dönüşüm kayıp mâliyet oranı  $gdkf_h$  'nin izdüşüm grafiği.

Şekil 5.8, toplam üretim maliyetinin, kabul edilebilirlik düzeyi  $\alpha$ 'ya göre bulanık ve belirli model çözümlerindeki kıyaslamayı göstermektedir. Bu gösterim ile karar verici, geri dönüşüm sürecinin toplam üretim mâliyetine etkisi hakkında daha iyi bir bakış açısına sahip olarak en doyurucu çözümü seçebilir.

Şekil 5.8’de belirli mâliyet bir kesin çözümdür ve karar verici geri dönüşüm kayıplarının üretim plânlamaya etkisini tam olarak analiz edemez. Bulanık tip-1 modelin kabul edilebilirlik düzeyi  $\alpha$ 'ya ait parametrik çözümlerindeki çözüm aralığı, karar vericiye daha iyi bakış açısı sağlar.

Şekil 5.8’de ayrıca bulanık tip-2 yaklaşımı, karar vericiye, geri dönüşüm kayıp mâliyet oranına ait belirsizliği dikkate alan daha iyi bakış açısı verir. Belirsizliğin kesin belirli çözüme göre nasıl bir değişkenlik içerebileceğini daha iyi bir şekilde sunar. Sonuç olarak karar verici en doyurucu kabul edilebilirlik düzeyi  $\alpha$ 'ya ait çözümü plânlama kararı olarak seçer.

Sonuçlar, önerilen MILP MRP modelinin, kuyumculuk üretimi problemini geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim gibi tersine hareketleri dikkate alarak çözebildiğini göstermektedir. Bu üretim plânlamanın temel amacı, eldeki hammadde altının, üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yeniden üretim süreçlerini dikkate alarak etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve aynı zamanda üretim plânlamada dikkate alınan talep ve kapasite gibi kısıtları da dikkate alarak etkin bir üretim plânlama yapabilmektir.



**Şekil 5.8 :** Toplam üretim mâliyetinin olabilirlik düzeyi  $\alpha$ 'ya göre bulanık ve belirli model çözümleri arasında kıyaslanması.

### 5.4.3 Durulaştırma ve diğer örnek belirsizlikler

Çalışmamızda önerilen kuyumculuk üretim plânlama modeline belirsizliklerin eklenmesinde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Liang (2008)'ın önerisinde kullandığı ve daha birçok çalışmada da kullanılmış olan ağırlıklandırılmış durulaştırma yöntemi kullanılarak belirsizlikler modele eklenmiştir. Bu yöntemde en iyimser, en beklenen ve en kötümser değerler ve bunların ağırlıkları karar verici tarafından belirlenir. Her ne kadar bulanıklığın durulaştırması için ağırlıklandırılmış durulaştırma yöntemi daha basite indirgenmiş bir yöntem olarak gözükse de, yine etkin bir şekilde birçok çalışmada kullanılmıştır. Burada da varolan kullanılan alfa parametrik doğrusal programlamaya bir seçenek olması açısından değerlendirme için ele alınmıştır. Tedârik bakiye limiti, geri dönüşüm kayıp oranı, normal kapasite ve

tahsilat miktarı belirsizlikleri birarada ele alınıp, model çözüm performansı ve sonuçlara etkisi gösterilmiştir.

Çalışmamızdaki örnek vaka için bu değerler karar verici tarafından,  $\overline{TedBl}_h$  için  $w_1=6/10$ ,  $w_2=3/10$  ve  $w_3=1/10$  olarak belirlenmiştir.  $TedBl_{hda}$ ,  $TedBl_{hdb}$  ve  $TedBl_{hdc}$  en beklenen, en iyimser ve en kötümser değerleri de sırasıyla örnek vaka için 15.000, 20.000, 12.000 olarak belirlenmiştir.

$$\overline{TedBl}_{hd} = w_1 TedBl_{hda} + w_2 TedBl_{hdb} + w_3 TedBl_{hdc} \quad (5.3)$$

Ayrıca bu yöntemde  $\overline{gdkf}_h$  için de karar verici tarafından  $w_1=7/10$ ,  $w_2=2/10$ , ve  $w_3=1/10$  olarak belirlenmiştir.  $gdkf_{ha}$ ,  $gdkf_{hb}$  ve  $gdkf_{hc}$  bir önceki yöntemde olduğu gibi sırasıyla 0.1, 0.02, 0 olarak belirlenmiştir.

$$\overline{gdkf}_h = w_1 gdkf_{ha} + w_2 gdkf_{hb} + w_3 gdkf_{hc} \quad (5.4)$$

İlgili denklemde yerine konularak denklem çözülmüş ve sonuca ulaşılmıştır. Modelin bu değerler için çözümü, Şekil 5.9'da program çıktısı olarak verilmiştir.

Progress	
READY	
AIMMS	: Dogrusal_Extended_MRP_Doktora.ams
Math.Program	: Maliyeti_En_Kucukleme
# Constraints	: 5191
# Variables	: 13981 (120 integer)
# Nonzeros	: 38059
Model Type	: MIP
Direction	: minimize
SOLVER	: CPLEX 12.5
Phase	: Postsolving
Iterations	: 7230
Nodes	: 35 (Left: 0)
Best LP Bound	: 4430956.391 (Gap: 0.00%)
Best Solution	: 4430956.391 (Post: 4430956.391)
Solving Time	: 1.84 sec (Peak Mem: 2.3 Mb)
Program Status	: Optimal
Solver Status	: Normal completion
Total Time	: 1.93 sec
Memory Used	: 106.9 Mb
Memory Free	: 3812.4 Mb

Şekil 5.9 : İki değişkenli bulanık AIMMS çözüm sonucu.

Bu değişkeni eklediğimizde aslında var olan hammadde darboğazı durumunu da dikkate alarak birlikte analiz etmek ve duyarlılıklara bakmak daha yararlı analiz sonuçları verecektir. Çünkü altın darboğazı ve hammadde tedârik limiti, birbiri ile güçlü bir ilişkiye sahiptir.

Diğer belirsizliklerde bulanık değerlerin belirlenmesi yöntemlerini kullanarak bunları modele ekleyebiliriz. Eklenebilecek diğer belirsizlikler olarak kaynak kapasiteleri de dikkate alınabilir.  $Kdk_{kd}$  parametresi döneme bağlı bir parametredir ve dönemsel olarak kaynağa göre değişmektedir. Bununla birlikte zamanla iş yerinde işe girip çıkmalar farklı nedenlerle olup, kaynak miktarını etkileyebilir. Aynı şekilde modelde bu durumu yine üçgen sayılar kullanarak ekleyebiliriz. Kaynağın kapasitesini üçgen bulanık sayı olarak tanımlayıp daha sonra durulaştırma işlemi ile modele ekleyebiliriz.

$\overline{Kdk}_{kd}$  için  $w_1=95/100$  ,  $w_2=1/100$  ve  $w_3=4/100$  olarak belirlenmiştir.  $Kdk_{kda}$  ,  $Kdk_{kdb}$  ve  $Kdk_{kdc}$  değerleri de sırasıyla örnek vaka için plânlama dönemi boyunca sabit kabul edilmiştir.

Bu da karar vericinin gerçeğe daha yakın mâliyetini görebilmesi için ve farklı işgücü durumlarına göre mâliyetin ne şekilde değişebileceğini göstermesi açısından önemli bir örnek durum oluşturmaktadır.

Diğer belirsizlikler ile birlikte tahsilat belirsizliği de dikkate alınabilir.  $Tah_{hd}$  parametresi her ne kadar önceden belirli kabul edilip plânlama yapılsa da, gerek miktarsal olarak, gerekse dönem olarak değişkenlik gösterebilir. Kuyumculuk sektöründe üretim plânlamada verilen beklenen tahsilat değerleri genelde iyimserlik içeren tahminlere dayanır ve belirsizlikler içerir.  $\overline{Tah}_{hd}$  tahsilat belirsizliği için  $w_1=6/10$  ,  $w_2=1/10$  ve  $w_3=3/10$  olarak belirlenmiştir. Tahsilatlarda beklenenin gerçekleşmesi durumunun neredeyse yarısı kadar gerçekleşmeme durumu dikkate alınmıştır.  $\overline{Tah}_{hd}$  tahsilat belirsizliği için en iyimser, en kötümser ve en beklenen değerler belirlenip, her döneme ilişkin bu değerler ağırlıklandırılmış durulaştırma işlemi için belirli duruma getirilmiştir. Vaka için belirli varsayılan durumdaki değerler ile bulanık sayılar kullanılarak belirsizliğin değerlendirilmesinde kullanılan tahmin edilen değerler, Çizelge 5.8'de verilmiştir.

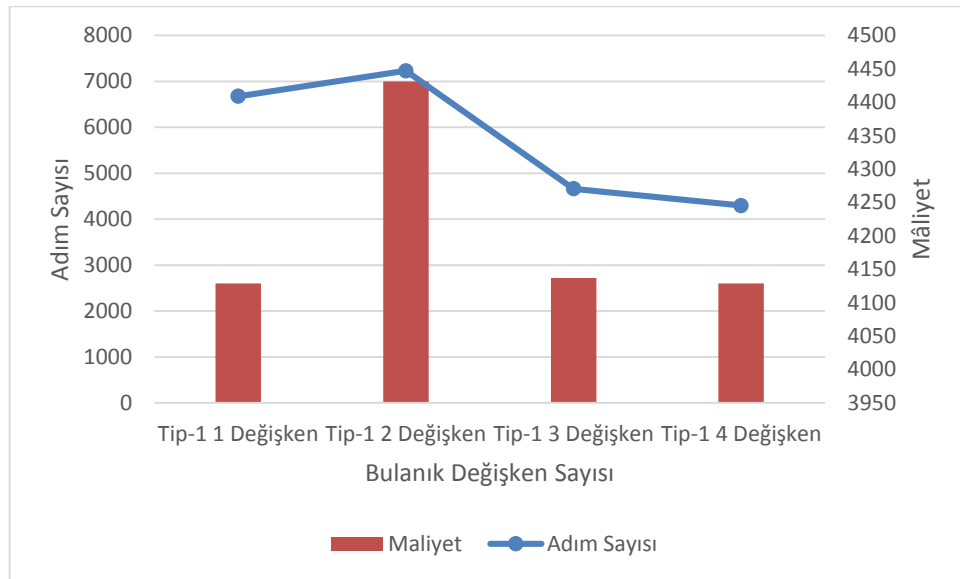
Karar vericiye değerleri belirleme şekli belirsizlik içerecek şekilde sunulunca karar vericinin sağladığı bilgiler bu şekilde değişiklik gösterecektir. Bu şekilde daha gerçekçi bir plânlama ve mâliyet yönetimi yapılabilir.

Bu örnek üzerinde fazla etkili görülmemekle birlikte, örnek üzerindeki parametrelerin durumuna göre karar vericinin seçimlerine göre etki düzeyi değişebilir.

**Çizelge 5.8 :** Tahsilat belirsizliğinin üçgen bulanık sayılar ile tanımlanması için örnek vaka değerleri.

Beklentiler/Dönemler	6. Dönem	11.Dönem	16. dönem
En iyimser	11000	10000	12000
En beklenen	5000	5000	7500
En kötümser	-	5000	5000
Belirli durum	10000	10000	10000

Şekil 5.10’da, aynı probleme farklı değişkenler için uygulanan bulanık bakış açılarının çözüme yansıtılmasının, problemin çözüm performansı ve sonuçları üzerinde farklı etkiler yapabileceği gösterilmiştir.



**Şekil 5.10 :** Bulanık farklı değişken adedine göre örnek bulanık AIMMS çözümü adımları.

Durulaştırma yöntemi olarak ortalama ağırlıklandırma yönetiminin kullanılması ile ilgili verilen bu örnekler her ne kadar temel örnekler olsa da, yazında yapılan birçok çalışmada temel belirsizlik giderme yöntemi olarak kullanılmışlardır.



## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada öncelikle kuyumculuk sektöründeki üretim plânlama problemine bir çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Kuyumculuk sektörü, üretimde hammadde olarak değerli metalleri kullanmasından dolayı kendine özgü farklılıklar içeren bir sektördür. Bu değerli hammadde hareketleri bütünleşik olarak bir kapalı döngü tedârik zinciri içerisinde olmaktadır. Geleneksel MRP yalnızca ileri yönlü hareketleri dikkate alarak, gereksinimlere uygun şekilde üretim sipârişlerini ve ilişkili gereksinimleri ortaya koyar. Bununla birlikte kuyumculuk üretimi yalnızca ileri yönlü malzeme hareketlerini içermez. Kapalı döngü tedârik zinciri içerisinde malzemelerin hareketleri ileri yönlü olarak tedârikçiden üretime ve üretimden müşteriye kadar etkin bir şekilde yönetilmesi gerektiği gibi, aynı şekilde de tersine yönlü olarak müşteriden üretime ve üretimden tedârikçiye etkin bir şekilde yönetilmelidir. Kuyumculuk sektörü ileri yönlü geleneksel malzeme hareketlerine ek olarak geri dönüşüm ve yeniden üretim süreçlerinden dolayı ters yönlü malzeme hareketleri içerir. Bu çalışma ile kuyumculuk üretimi plânlama problemi için ileri ve ters yönlü hareketleri dikkate alan ve ayrıca bu hareketlerden kaynaklı belirsizlikleri ele alabilen bir MRP matematiksel modeli önerilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile ilgili elde edilen sonuçlar, bu sonuçların değerlendirilmesi, yazına sağlanan katkılar ve gelecek araştırmalar için öneriler, bu bölüm içerisinde sunulmuştur.

Çalışmanın başlangıcında, çalışmaya kaynaklık etmesi için öncelikle çalışma ile ilgili yazın taramaları yapılmıştır. Yapılan yazın taramasını üç başlık altında gruplandırmak doğru olacaktır. Bunlardan ilki MRP, geri dönüşüm ve yeniden üretim ilgili yazın taramasıdır. Bu yazın taraması ile geri dönüşüm ve yeniden üretim içeren üretim ortamlarında üretim plânlama ve MRP problemlerine nasıl çözümler getirildiği araştırılmıştır.

Bu aşamada yazın taraması yaparken, bu çalışmada önerilen MRP modeli ile ilişkili ve/veya kaynaklık edebilecek çalışmalar araştırılmıştır. Bu ilişkiden yola çıkarak kuyumculuk ve benzer sektör ile ilgili çalışmalara da ayrıca bakılmıştır. Kuyumculuk

ile ilgili bir MRP çalışmasına ise yazın taramasında rastlanamamıştır. Bu durum, bu çalışmada kuyumculuk sektöründe bir MRP modeli sunulması için incelemeler yapmanın nedenlerinden biridir.

Ayrıca bu çalışma, çift yönlü hareketler olarak geri dönüşüm ve yeniden işlemler içerdiğinden üretim konusunda da içerisinde yeniden işleme ve geri dönüşüm geçen üretim plânlama ve MRP çalışmalarına bakılmıştır. Genel olarak kaynaklık etmesi için de MRP modelleme ve doğrusallaştırma çalışmalarına temel olacak yayınlara yer verilmiştir. Bu çalışmada incelenen yayınlar MRP ve matematiksel modelleme konusunda gerekli referansları içermektedir. Bu çalışma, standart MRP probleminin geri dönüşüm ve yeniden üretim ile genişletilmiş MRP şeklinde ele alınması ile ilgilendiğinden, çalışmanın devamında bu yazın ile ilgili araştırmalar sunulmuştur.

MRP ve belirsizlikler başlığı altındaki ikinci bir yazın taraması ile üretim ortamını etkileyen belirsizliklerin neler olduğu ve nasıl yönetildikleri incelenmiştir. MRP ve belirsizlikleri incelerken, öncelikle üretim ortamını inceleyen belirsizlikler üzerine yazın incelemesi yapılmıştır. Bununla birlikte kuyumculuk üretim ortamı kapalı döngü bir tedârik zinciri olarak çalıştığı için bu üretim ortamına hem müşteri hem tedârikçi hem de çevresel çok fazla etki olduğundan, belirsizliklerin ele alınması ve belirsizlik içeren problemlerin çözümünde hangi yöntemlerin kullanıldığının saptanması için tedârik zinciri genelinde ilgili yazın incelenerek başlanmıştır.

Yapılan kaynak araştırmasında, kaynaklar genel olarak; tedârik zinciri yönetimini içeren kaynaklar olmakla birlikte tedârik zinciri üzerinden farklı noktaları özel olarak inceleyen kaynaklar da; tedârik zincirindeki belirsizlikleri üretim içerisinde inceleyen, satış içerisinde inceleyen ve son olarak da tedârik konulu belirsizlikleri işleyen çalışmalar olarak sınıflandırılmıştır.

Yayınlara incelenmesinden sonra değerlendirmeler kısmında öncelikle yapılan sınıflandırmalar ile ilgili istatistikler çıkarılmıştır. İncelenen problem, operasyon, incelenen belirsizlik, karar düzeyi, sunulan çözüm yöntemi ve incelenen yayınların yıllara dağılımı ile ilgili istatistik bilgileri sunulmuş ve analiz olarak ilgili yorumlar yapılmıştır.

Belirsizlikler, kaynakları ve kullanılan yöntemler incelendiğinde en çok kullanılan veri ele alma şeklinin bulanıklık ve çözüm yönteminin ise matematiksel modelleme olduğu görülmüştür.



Devamında ise ayrıntılı olarak üretim plânlama ve belirsizlik çalışmalarına bakılmış, son olarak ise MRP ve bulanıklık, ters yönlü hareketler ve bulanıklık incelenmiştir. Bulanıklık içeren üretim plânlama çalışmalarında izlenen yöntemleri saptamak için bir yayın taraması yapılmıştır. Bu yayın taramasında genel olarak problemin karmaşıklığından dolayı çözüme ulaşabilmek için bulanık doğrusal yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür.

Bu araştırmadan yola çıkılarak çalışmada belirsizliklerin nasıl yönetilebileceği ile ilgili yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Son olarak ise belirsizlik üzerine yapılan çalışmalardan yola çıkarak, çözüm yöntemi olarak en çok yeğlenen bulanık modelleme saptaması ile bulanıklığın üretim plânlamada kullanımı üzerine yayınlar araştırılmıştır. Bu konuların araştırılması, yapılan bu çalışmaya ışık tutucu nitelikte olmuştur. Bu yazın araştırmalarının ışığında çalışma şekillendirilmiştir.

Çalışmanın devamında ise, önerilen genişletilmiş MRP modeli verilmiştir. Kuyumculuk üretim süreci, problemin tanımlanması, modellenmesi bu kısımda yapılmıştır. Modelin normal bir MRP'den farklı olarak, genişletilmiş MRP kavramı içerisinde üretim sırasında oluşan çift yönlü hareketler eşzamanlı olarak dikkate alınmış ve üretim plânlama içerisinde değerlendirilerek tüm kaynakların etkin olarak plânlaması amaçlanmıştır. Çift yönlü yâni hem ileri hem de geri yönlü üretim hareketleri olarak hurda yeniden kullanım ve fire geri dönüşümleri, çift yönlü tedârik zinciri hareketleri olarak iade ve tahsilat, aynı zamanda ürün yeniden üretimlerine örnek olarak iade yeniden üretimleri de dikkate alınarak genişletilmiş bir üretim plânlama modeli oluşturulmuştur.

İlk sunulan modellemede mantıksal olan ve doğrusal olmayan ifadeler geliştirilerek doğrusal biçime dönüştürülmüştür. Problemin çözümü için yapılan bu ilk modellemede, tanımlamadan kaynaklı ortaya çıkan doğrusal olmayan parçalı denklemlerden dolayı çözümü zor bir model ortaya çıkmıştır. Çözümün kolaylaştırılması için doğrusallaştırılması yapılarak model, çözümü daha kolay bir tasarım hâline getirilmiştir.

Geliştirilen modelin AIMMS ortamında uygulaması yapılmıştır. Hem doğrusal olmayan, hem de doğrusal olan model için farklı çözücülerde çözümler elde edilmiş, modelin performansı araştırılmıştır.

Çözümlere baktığımızda doğrusal olan modelin, olmayana göre daha etkin bir şekilde çözülebildiği görülmüştür. Çözüm sonuçlarına bakıldığında, üretim ile birlikte hammadde geri dönüşümlerinin plânlama içerisinde olduğu ve hammadde stoklarının geri dönüşümler dikkate alınarak şekillendiği görülmüştür. Aynı zamanda iade gelen ürünlerin yeniden işlenmesi veya dönüştürülmesi işlemi de plânlama içerisinde olmuş ve sipariş karşılama veya hammadde oluşumu olarak karşımıza çıkmıştır.

Bu ana konu ile birlikte, özellikle yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanım ile öne çıkan belirsizliklerin de dikkate alındığı bu çalışmada ikincil olarak belirsizlikler bu MRP içerisinde ele alınmıştır. Böylece önerilen modelin daha etkin bir şekilde gerçek yaşam uygulamalarında uygulanabilirliğinin sağlanması ve karar vericilere daha etkin bir plânlama ortamının sunulması amaçlanmıştır.

İlk olarak sunulan genişletilmiş deterministik (belirli) modele ek olarak, önerilen model içerisinde yer alan belirsizlikler, bulanık bir karışık tamsayılı programlama modeli kullanılarak malzeme gereksinim plânlaması içerisinde dikkate alınmıştır. Bu şekilde özellikle kuyumculuk üretiminin kapalı döngü tedârik zinciri olmasından kaynaklı ters yönlü hareketlerin içerdiği belirsizlikler modellenerek, malzeme gereksinim plânlamasında karar vericiye daha gerçekçi bir yaklaşımın sunulması amaçlanmıştır. Ters yönlü bu hareketler içerisinde, özellikle geri dönüşüm sürecinin, geri dönüştürülebilir firenin toplanması ve geri dönüşüm sürecinin etkinliğinden kaynaklı geri kazanım oranının tahmin edilmesindeki zorluktan dolayı bulanık olarak bu beklentinin modellenmesi ve plânlamada dikkate alınması ile karar vericiye daha iyi bir bakış açısı sunulmuştur.

Çözüm için öncelikle her kabul edilebilirlik düzeyindeki belirsizlik kestiriminde, bu  $\alpha$ -kestirimlere ilişkin oluşan belirli denklemlerin kümesi ile oluşturulan parametrik doğrusal denklemlerin çözümlenmesi yapılmıştır. Bu çözümler üzerinde karar verici tarafından her bir  $\alpha$ -kestiriminde yapılan parametrik çözüme ilişkin tatmin derecesi belirlenmiştir. Bu tatmin derecelerinden yola çıkarak karar verici, belirsizliğin yapılan MRP'ye ait toplam üretim mâliyeti üzerindeki etkisini, farklı tatmin derecelerindeki çözümler için görmüş ve daha iyi bir bakış açısı elde etmiştir. Burada etkileşimli çözümde karar verici ile birlikte doğru alfa kestirim değerinin seçilmesi ve plânlamanın buna göre uygulanması önemlidir. Bu belirsizliğin MRP'ye olan

etkilerini farklı belirsizlik kestirimleri için elde eden karar verici, böylece plânlamasını buradan yola çıkarak daha iyi bir öngörü ile yapabilmektedir.

Öncelikle tip-1 belirsizliklerde ele alınan geri dönüşüm belirsizliği, belirsizlikteki farklı boyutları da dikkate alarak tip-2 bir belirsizlik olarak ele alınmıştır. Ele alınan vaka için çalışan kişinin fire geri dönüşüm oranına etkisi ve farklı ürün tiplerinin belirsizliği bir arada ele alınarak burada tip-2 belirsizlik şeklinde dikkate alınmıştır.

İlk aşamada sunulan MRP modelinin geliştirilmesinde doğrusal olmayan ve doğrusal olan karışık tamsayı matematiksel modellemeler kullanılmıştır. Modellemeler AIMMS yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

İkinci aşamada ise temel olarak bulanık mantık ve bazı durulaştırma yöntemleri kullanılarak model, içerisindeki belirsizliklerin yönetilmesi için bu belirsizlikleri içerecek şekilde geliştirilmiştir. Modele belirsizliklerin eklenmesi genel olarak, modeli doğrusal olmayan bir hâle dönüştürdüğünden, bu durumda modelin çözümü zorlaşır. Bundan dolayı modeli doğrusal hâle getirip etkin bir çözüm elde etmek için, bulanık modelin çözümü için alfa kestirimler ile parametrik doğrusal programlama ve etkileşimli çözümleme yöntemleri kullanılmıştır.

Her iki aşamada da model çözümleri gerçek vaka üzerinde yapılarak önerilen modelin uygulanabilirliği sunulmuştur.

Modelin uygulanmasında bir AIMMS proje dosyası oluşturulmuş ve doğrusal olmayan ve doğrusallaştırılmış modeller iki farklı model olarak AIMMS proje dosyası içerisinde ayrıca tanımlanmıştır. Sunulan örnek vaka ile ilgili veriler AIMMS proje dosyasına vaka verisi olarak eklenmiştir. Bu vaka çalışmasının amacı, bu çalışmada önerilen MRP modeli uygulanarak, ürün geri dönüşümlerini ve yeniden üretimleri dikkate alarak etkin bir üretim plânlama yapılabileceğini göstermektir.

Öncelikle problemin çözümü, doğrusal olmayan model için farklı çözümler kullanılarak elde edilmiştir. Doğrusal olmayan programlamada elde edilen çözüm, yerel en iyiye ulaşılarak elde edilen bir çözümdür. Doğrusal model için kullanılan tüm çözümler, etkin bir şekilde genişletilmiş kuyumculuk üretim plânlama modelini çözmüşlerdir.

Modelin sonuçlarına bakıldığında; üretim içi fire, üretim içi hurda ve iade ürün geri dönüşümleri ile ilgili modelde yer alan ifadelerin etkin bir şekilde işlendiği ve

plânlama içinde geri dönüşüm sisteminin etkin bir şekilde eşzamanlı olarak çalıştığı görülmüştür.

Modelde sunulan tedârik işlemi, iade dönüşüm ve yeniden işleme süreçleri de, aynı şekilde model içerisinde çalışarak ilgili denge denklemlerine uygun biçimde üretim plânını oluşturmuşlardır. İadeler ile ilgili olarak şunlar söylenebilir: Gerekli ise talebin bir kısmı karşılanmış, değil ise gereksinime göre hammaddeye dönüşmüş veya stokta tutulmuştur. Üretim talep karşılama, üretim miktarları ve ertelenen talep miktarları da elde edilmiştir.

Yapılan uygulamada, bâzı değişkenler üzerinde duyarlılık analizi yapılmıştır. Değişkenler, özellikle üretim plânlamasını etkileyen eldeki stok, tedârik limiti ve fire geri dönüşümü olarak seçilmiştir. Tedârik bakiye limiti, fire geri dönüşüm ekonomik miktar düzeyi ve varolan altın stok miktarının toplam üretim mâliyeti üzerindeki etkileri eşzamanlı olarak ele alınarak, daha doğru bir analiz sunulmaya çalışılmıştır.

Değişik çözümler ve plânlama dönemleri için çözümlene yapılarak önerilen belirli modelin hesaplama etkinliği gösterilmiştir. Hesaplama etkinliğinin yanında, önerilen MILP MRP modelinde özellikle geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim sürecinin nasıl yönetildiği de sonuçlarda görülmektedir.

Belirli ve bulanık yaklaşımların geri dönüşüm sürecindeki sonuçlarının toplam mâliyet üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için çözümler toplam mâliyet düzeyinde özet olarak verilmiştir. Belirli model, belirli veri kullanılarak çözülmüş, bulanık yaklaşımlar ise aynı veride geri dönüşüm verisinin belirsiz olduğu dikkate alınarak çözülmüştür. Bulanıklığın tanımlanmasında doğru üyelik fonksiyonun belirlenmesi, belirsizliğin düzgün tanımlanıp modele aktarılabilmesi önemlidir. Bu çalışmada geri dönüşüm belirsizliğin tanımlanmasında, tip-1 bulanık yaklaşımda belirsizlik üçgen bulanık sayı olarak tanımlanmıştır. Tip-2 bulanık yaklaşımda ise üçgen bulanık aralık olarak tanımlanmıştır.

Her ne kadar bulanıklığın durulaştırması için ağırlıklandırılmış durulaştırma yöntemi daha basite indirgenmiş bir yöntem olarak gözükse de yine etkin bir şekilde birçok çalışmada kullanılmıştır. Burada da varolan kullanılan alfa parametrik doğrusal programlamaya bir seçenek olması açısından değerlendirme için ele alınmıştır. Tedârik bakiye limiti, geri dönüşüm kayıp oranı, normal kapasite ve tahsilat miktarı belirsizlikleri bir arada ele alınıp model, çözüm performansı ve sonuçlara etkisi

gösterilmiştir. Aynı probleme farklı değişkenler için uygulanan bulanık bakış açılarının çözüme yansıtılmasının, problemin çözüm performansı ve sonuçları üzerinde farklı etkiler yapabileceği gösterilmiştir. Durulaştırma yöntemi olarak ortalama ağırlıklandırma yönetiminin kullanılması ile ilgili verilen bu örnekler her ne kadar temel örnekler olsa da, yazında yapılan birçok çalışmada temel belirsizlik giderme yöntemi olarak kullanılmışlardır.

Sonuçlar, önerilen MILP MRP modelinin, kuyumculuk üretimi problemini geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim gibi tersine hareketleri dikkate alarak çözebildiğini göstermektedir. Bu üretim plânlamanın temel amacı, eldeki hammadde altının, üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yeniden üretim süreçlerini dikkate alarak etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve aynı zamanda üretim plânlamada dikkate alınan talep ve kapasite gibi kısıtları da dikkate alarak etkin bir üretim plânlama sunabilmektir.

Çözümler üzerinde duyarlılık analizleri ve kıyaslamalar yapılarak gerek belirli ve gerekse belirsizliklerin dikkate alındığı durumlar için önerilen modele ilişkin çözüm etkinlikleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen MRP modelinin çözüm etkinliği, problemin çözüm yeteneği ve belirsizliklerin yönetilmesi açılarından değerlendirilmiştir.

Özetlemek gerekirse, bu tez çalışmasında genişletilmiş bir MRP modeli, karışık tamsayılı programlama yöntemi kullanılarak, Türkiye kuyumculuk sektöründeki bir üretim plânlama problemine, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretimleri standart üretim plânlamanın yanında dikkate alarak çözüm önerilmiştir. Önerilen model hem ileri hem de geri yönlü kapalı döngü tedârik zinciri hareketlerini süreç, tedârik ve müşteri tarafını eşzamanlı olarak gözönünde tutarak dikkate almaktadır. Tip-1 ve tip-2 bulanıklık tanımlamaları dikkate alınarak, geri dönüşüm kaynaklı belirsizlik doğrusal bulanık programlama yöntemi ile dikkate alınarak model geliştirilmiştir. Bunlar yazına kazandırılan temel katkılardır.

Çalışmada hem doğrusal olmayan, hem de doğrusal olan model için farklı çözümlerde çözümler elde edilmiş, modelin performansı araştırılmıştır. Çözümlere baktığımızda doğrusal olan modelin, olmayana göre daha etkin bir şekilde çözülebildiği görülmüştür.

Sonuçlara bakıldığında, üretim ile birlikte hammadde geri dönüşümlerinin plânlama içerisinde olduğu ve hammadde stoklarının geri dönüşümler dikkate alınarak

şekillendiği görülmüştür. Aynı zamanda iade gelen ürünlerin yeniden işlenmesi veya dönüştürülmesi işlemi de plânlama içerisinde oluşmuş ve sipariş karşılama veya hammadde oluşumu olarak karşımıza çıkmıştır.

Önerilen model ve bulanık uygulamalar, kuyumculuk üretiminden gerçek bir vaka kullanılarak çözümlenmiştir. Değişik çözümler ve plânlama dönemleri için çözümlene yapılarak, önerilen belirli durum modelinin hesaplama etkinliği gösterilmiştir. Üretim plânlama çalışmalarının sonuçları, ters yönlü hareketlerin nasıl yönetildiğini göstermiştir. Belirli ve bulanık modellerin çözümleri değişik kabul düzeyleri için toplam mâliyet değişimleri düzeyinde kıyaslanmıştır. Bulanık yaklaşımın karar vericilere daha iyi bir bakış açısı sunduğu gösterilmiştir.

Ana amaç, hammadde altın madeninin etkin bir biçimde kullanımını ve üretim plânlamacılar için ana zorluk budur. Önerilen model, üretimin bu ana darboğazının yönetimi için bir çözüm önermiştir. Bu etkin üretim plânlama yaklaşımının şirket hissedarları ve üretim plânlamacılar için tatmin edici olduğu söylenebilir. Önerilen modelin uygulaması göstermiştir ki, hem etkin bir üretim plânlama, hem de hesaplama yükü açısından etkin ve kullanışlıdır.

Yapılan çalışmanın yazına temel katkılarından biri kuyumculuk üretimi üzerine yapılan ilk MRP uygulamasını içermesidir. Bunun yanında MRP içerisinde finansal kısıtları ve tedârikçi bakiye kısıtlarını dikkate alan ilk çalışmadır. Tedârikçi, müşteri ve üretim ile ilişkili çift yönlü malzeme hareketleri ilk kez bu çalışmada bir matematiksel modelleme içerisinde ve bu düzeyde işlenmiştir. Geri dönüşümü hem üretim içerisinde hem de tedârikçi tarafından ilk ele alınan MRP çalışmasıdır. Yine geri dönüşüm içerisinde ekonomik geri dönüşüm miktarı kısıtı, ilk olarak bu çalışma ile MRP ortamında ele alınmıştır. İadenin yeniden üretimi, geri dönüşümü veya stokta kararının MRP modelinde ele alınması, yine ilk kez bu çalışma ile yapılmıştır. Ayrıca, ürün ağacı ile birlikte geri dönüştürülebilir hurda ve fire miktarlarını ele alan ilk MRP çalışmasıdır. Geri dönüşüm belirsizliği ve MRP konusunda az sayıdaki yayından biridir. Üretim ve yeniden üretim ortamında MRP konusundaki yazına bir katkı sağlanmıştır. Ek olarak üretim ve yeniden üretim ortamında geri dönüşümde dikkate alınmıştır. Yalnızca üretim içi geri dönüşüm değil, tedârikçide yapılan geri dönüşüm de bu modelde dikkate alınmıştır. Bunlar yazına yapılan temel katkılar olarak sayılabilir.

Bu çalışmada yazına sağlanan katkıların yanı sıra, hiç kuşkusuz bu çalışmada sunulan bilgilerin geliştirilmesi ve üzerine yeni bilgilerin inşa edilmesi gereklidir. Yazının, bu çalışmanın sağladığı bilgi ile geliştirilebilmesi adına gelecek araştırmacılar için olası yönlendirmeleri, aşağıda maddeler hâlinde verilmeye çalışılmıştır.

- Ana darboğaz olan hammadde altın madeni yanında tüm ürün ağacı dikkate alınarak, model standart üretim plânlamadaki gibi genişletilebilir. Ele alınan örnekte diğer hammadde ve yarı ürünler güvence stoklu olduğu için bu dikkate alınmamıştır.
- Diğer geri dönüştürülebilir hammaddeler de (değerli taşlar ve alaşımlar/alloylar gibi) modele eklenerek model geri dönüştürülebilir ve geri dönüştürülemez malzemeler ile genişletilebilir. Ayrıca hammadde bazında geri dönüşüm kuralları, gerekli görüldükçe modele eklenebilir.
- Tüm tedârikçi, müşteri ve üretim yerleri modelde ayrı ayrı tanımlanıp kapalı döngü tedârik zinciri yönetimi daha etkin yapılabilir.
- Belirsizlik içerebilen değişkenler için daha farklı belirsizlik çözüm yöntemleri ve bulanık modellemeler ile karar vericinin deneyiminin daha iyi bir şekilde modele eklenmeye çalışılması yararlı olabilir.
- Diğer belirsiz değişkenlerin modele eklenmesi, bizi daha gerçekçi bir çözüme doğru ulaştırabilir. Yol göstermek adına, süreç, talep ve tedârik kaynaklı değişkenlerdeki belirsizlikler de dikkate alınabilir.
- Bu tez çalışmasında önerilen model, diğer ülkelerdeki kuyumculuk sektörlerine veya üretimde maden kullanan benzer sektörlerle de uyarlanabilir.

Yapılan bu çalışmanın, sunulan bu öneriler doğrultusunda yeni araştırma kapıları açacağı ve konu hakkında yapılacak gelecek çalışmalara kaynaklık ederek onlara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.





## KAYNAKLAR

- Ada, E., Erol, C., Baklaci, H. F., Kazançoğlu, Y. ve Sağnak, M.** (2012). *Uluslararası rekabetçiliğin geliştirilmesi projesi ihtiyaç analizi, İzmir Ekonomi Üniversitesi, Kuyumculuk Sektörü - Sektör Raporu.*
- AIMMS 4.1 ×64** AIMMS B.V., The Netherlands. www.aimms.com. (2014). The Netherlands: AIMMS B.V. www.aimms.com adresinden erişildi.
- Alaykırın, K. ve Güner, E.** (2013). Çok Ürünlü Geri Dönüşüm Ağ Tasarımı İçin Bir Matematiksel Model. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 28(1), 151–159.
- Amin, S. H., Razmi, J. ve Zhang, G.** (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 334–342. doi:10.1016/j.eswa.2010.06.071
- Arenas Parra, M., Bilbao Terol, A., Pérez Gladish, B. ve Rodríguez Uría, M. V.** (2005). Solving a multiobjective possibilistic problem through compromise programming. *European Journal of Operational Research*, 164(3), 748–759. doi:10.1016/j.ejor.2003.11.028
- Awasthi, A., Chauhan, S. S. ve Goyal, S. K.** (2011). A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(1-2), 98–109. doi:10.1016/j.mcm.2010.07.023
- Ayres, R. U.** (1997). Metals recycling: Economic and environmental implications. *Resources, Conservation and Recycling*, 21(3), 145–173. doi:10.1016/S0921-3449(97)00033-5
- Azadegan, A., Porobic, L., Ghazinoory, S., Samouei, P. ve Saman Kheirkhah, A.** (2011). Fuzzy logic in manufacturing: A review of literature and a specialized application. *International Journal of Production Economics*, 132(2), 258–270. doi:10.1016/j.ijpe.2011.04.018
- Azadeh, A. ve Alem, S. M.** (2010). A flexible deterministic, stochastic and fuzzy Data Envelopment Analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7438–7448. doi:10.1016/j.eswa.2010.04.022
- Barba-Gutiérrez, Y. ve Adenso-Díaz, B.** (2009). Reverse MRP under uncertain and imprecise demand. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(3-4), 413–424. doi:10.1007/s00170-007-1351-y
- Barba-Gutiérrez, Y., Adenso-Díaz, B. ve Gupta, S. M.** (2008). Lot sizing in reverse MRP for scheduling disassembly. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 741–751. doi:10.1016/j.ijpe.2007.03.017
- Başkır, M. B. ve Türkşen, I. B.** (2010). An uncertainty analysis of supplier selection by fuzzy logic. *International Conference on Fuzzy Systems* içinde (ss. 1–8). IEEE. doi:10.1109/FUZZY.2010.5584731

- Baykasoglu, A. ve Gocken, T.** (2010). Multi-objective aggregate production planning with fuzzy parameters. *Advances in Engineering Software*, 41(9), 1124–1131. doi:10.1016/j.advengsoft.2010.07.002
- Bihlmaier, R., Koberstein, A. ve Obst, R.** (2009). Modeling and optimizing of strategic and tactical production planning in the automotive industry under uncertainty. *OR Spectrum*, 31(2), 311–336. doi:10.1007/s00291-008-0147-2
- Billington, P. J., McClain, J. O. ve Thomas, L. J.** (1983). Mathematical Programming Approaches to Capacity-Constrained MRP Systems: Review, Formulation and Problem Reduction. *Management Science*, 29(10), 1126–1141. doi:10.1287/mnsc.29.10.1126
- Buxey, G.** (2003). Strategy not tactics drives aggregate planning. *International Journal of Production Economics*, 85(3), 331–346. doi:10.1016/S0925-5273(03)00120-8
- Carlsson, C. ve Korhonen, P.** (1986). A parametric approach to fuzzy linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 17–30. doi:10.1016/S0165-0114(86)80028-8
- Chanas, S.** (1983). The use of parametric programming in fuzzy linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229–241. doi:10.1016/S0165-0114(83)80083-9
- Chen, M. ve Abrishami, P.** (2014). A mathematical model for production planning in hybrid manufacturing-remanufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(5-8), 1187–1196. doi:10.1007/s00170-013-5538-0
- Chen, S. ve Huang, W.** (2014). Solving Fuzzy Multiproduct Aggregate Production Planning Problems Based on Extension Principle. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 2014, 1–18. doi:10.1155/2014/207839
- Chen, X., Huang, Y. ve Murata, T.** (2008). Optimization Method of Short Life Cycle Product Supply Chain Network with Recycle Flow and Dispersed Markets. *Ieee/Soli'2008: Proceedings of 2008 Ieee International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, Vols 1 and 2 içinde* (ss. 26–31).
- Childerhouse, P. ve Towill, D. R.** (2004a). Reducing uncertainty in European supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(7), 585–598. doi:10.1108/17410380410555835
- Childerhouse, P. ve Towill, D. R.** (2004b). Reducing uncertainty in European supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(7), 585–598. doi:10.1108/17410380410555835
- Corominas, A., Lusa, A. ve Olivella, J.** (2012). A manufacturing and remanufacturing aggregate planning model considering a non-linear supply function of recovered products. *Production Planning & Control*, 23(2-3), 194–204. doi:10.1080/09537287.2011.591651

- Das, S. K. ve Abdel-Malek, L.** (2003). Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 171–181. doi:10.1016/S0925-5273(03)00108-7
- David, F., Pierreval, H. ve Caux, C.** (2005). Enterprise resource planning systems in the aluminium conversion industry. *Production Planning & Control*, 16(8), 785–795. doi:10.1080/09537280500181012
- DePuy, G. W., Usher, J. S., Walker, R. L. ve Taylor, G. D.** (2007). Production planning for remanufactured products. *Production Planning & Control*, 18(7), 573–583. doi:10.1080/09537280701542210
- Díaz-Madroño, M., Peidro, D. ve Vasant, P.** (2010). Vendor selection problem by using an interactive fuzzy multi-objective approach with modified S-curve membership functions. *Computers & Mathematics with Applications*, 60(4), 1038–1048. doi:10.1016/j.camwa.2010.03.060
- Dolgui, a ve Prodhon, C.** (2007). Supply planning under uncertainties in MRP environments: A state of the art. *Annual Reviews in Control*, 31, 269–279. doi:10.1016/j.arcontrol.2007.02.007
- Dong, J., Zhang, D., Yan, H. ve Nagurney, A.** (2005). Multitiered Supply Chain Networks: Multicriteria Decision—Making Under Uncertainty. *Annals of Operations Research*, 135(1), 155–178. doi:10.1007/s10479-005-6239-3
- Easwaran, G. ve Uster, H.** (2010). A closed-loop supply chain network design problem with integrated forward and reverse channel decisions. *IIE Transactions*, 42(11), 779–792. doi:10.1080/0740817X.2010.504689
- Enns, S. T. T.** (2002). MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 138(1), 87–102. doi:10.1016/S0377-2217(01)00134-5
- Figuroa-García, J. C., Kalenatic, D. ve Lopez-Bello, C. A.** (2012). Multi-period Mixed Production Planning with uncertain demands: Fuzzy and interval fuzzy sets approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 206, 21–38. doi:10.1016/j.fss.2012.03.005
- Fullér, R. ve Zimmermann, H.-J.** (1993). Fuzzy reasoning for solving fuzzy mathematical programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 60(2), 121–133. doi:10.1016/0165-0114(93)90341-E
- Gaffeo, E., Scorcu, A. E. ve Vici, L.** (2008). Demand distribution dynamics in creative industries: The market for books in Italy. *Information Economics and Policy*, 20(3), 257–268. doi:10.1016/j.infoecopol.2008.04.001
- Gao, T., Sirgy, M. J. ve Bird, M. M.** (2005). Reducing buyer decision-making uncertainty in organizational purchasing: can supplier trust, commitment, and dependence help? *Journal of Business Research*, 58(4), 397–405. doi:10.1016/S0148-2963(03)00137-1
- Gen, M., Tsujimura, Y. ve Ida, K.** (1992). Method for solving multiobjective aggregate production planning problem with fuzzy parameters. *Computers & Industrial Engineering*, 23(1-4), 117–120. doi:10.1016/0360-8352(92)90077-W

- Grabot, B., Geneste, L., Reynoso-Castillo, G. ve Vérot, S.** (2005). Integration of uncertain and imprecise orders in the MRP method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16(2), 215–234. doi:10.1007/s10845-004-5890-x
- Grubbström, R. W.** (2007). Transform methodology applied to some inventory problems. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 77(3), 297–324. doi:10.1007/s11573-007-0022-7
- Guide Jr., V. D. R.** (2000). Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of Operations Management*, 18, 467–483. doi:10.1016/S0272-6963(00)00034-6
- Guide Jr., V. D. R., Srivastava, R. ve Kraus, M. E.** (1997). Product structure complexity and scheduling of operations in recoverable manufacturing. *International Journal of Production Research*, 35(11), 3179–3200. doi:10.1080/002075497194345
- Guiffrida, A. L. ve Nagi, R.** (1998). Fuzzy set theory applications in production management research: a literature survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9(1), 39–56. doi:10.1023/A:1008847308326
- Gupta, S. M. ve Taleb, K. N.** (1994). Scheduling disassembly. *International Journal of Production Research*, 32(8), 1857–1866. doi:10.1080/00207549408957046
- Gürel, D.** (2010). Altın mücevherat. *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi*.
- Gürsel, A. S. ve Maddisetty, S.** (2005). A mathematical model to identify cell types in a probabilistic cellular environment. *35th International Conference on Computers and Industrial Engineering* içinde (ss. 1831–1836).
- Hallikas, J., Virolainen, V. M. ve Tuominen, M.** (2002). Understanding risk and uncertainty in supplier networks - a transaction cost approach. *International Journal of Production Research*, 40(15), 3519–3531. doi:10.1080/00207540210146512
- Hua, Z. ve Li, S.** (2008). Impacts of demand uncertainty on retailer's dominance and manufacturer-retailer supply chain cooperation. *Omega*, 36(5), 697–714. doi:10.1016/j.omega.2006.02.005
- Hult, G. T. M., Craighead, C. W. ve Ketchen, D. J.** (2010). Risk uncertainty and supply chain decisions: A real options perspective. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 41(3), 435–458. doi:10.1111/j.1540-5915.2010.00276.x
- Inderfurth, K., Flapper, S. D. P., Lambert, a. J. D., Pappis, C. P. ve Voutsinas, T. G.** (2003). Production Planning for Product Recovery Management. *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, 249–274.
- Iyer, K. N. S., Germain, R. ve Frankwick, G. L.** (2004). Supply chain B2B e-commerce and time-based delivery performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(8), 645–661. doi:10.1108/09600030410557776

- Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A. ve Rodríguez, M. V.** (2007). Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599–1609. doi:10.1016/j.ejor.2005.10.002
- Juan, L., Huang, P. ve Ge, J.** (2006). Demand Uncertainty and Supplier's Buybacks in the Price Dependent Newsvendor Model. *2006 International Conference on Management Science and Engineering*, 276–281. doi:10.1109/ICMSE.2006.313901
- Junior, M. L. ve Filho, M. G.** (2012). Production planning and control for remanufacturing: literature review and analysis. *Production Planning & Control*, 23(6), 419–435. doi:10.1080/09537287.2011.561815
- Kacprzyk, J.Orlovski, S. A. (Ed.)**. (1987). *Optimization Models using Fuzzy Sets and Possibility Theory*. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-009-3869-4
- Kannabiran, G. ve Bhaumik, S.** (2005). Corporate turnaround through effective supply chain management: the case of a leading jewellery manufacturer in India. *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(5), 340–348. doi:10.1108/13598540510624160
- Kara, S. S. ve Onut, S.** (2010). A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6129–6137. doi:10.1016/j.eswa.2010.02.116
- Kaur, P., Verma, R. ve Mahanti, N. C.** (2010). Selection of vendor using analytical hierarchy process based on fuzzy preference programming. *Opsearch*, 47(April 2009), 16–34. doi:10.1007/s12597-010-0002-5
- Kenné, J.-P., Dejax, P. ve Gharbi, A.** (2012). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 81–93. doi:10.1016/j.ijpe.2010.10.026
- Kim, E., Saghafian, S. ve Van Oyen, M. P.** (2013). Joint control of production, remanufacturing, and disposal activities in a hybrid manufacturing–remanufacturing system. *European Journal of Operational Research*, 231(2), 337–348. doi:10.1016/j.ejor.2013.05.052
- Kim, H.-J., Lee, D.-H. ve Xirouchakis, P.** (2007). Disassembly scheduling: literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4465–4484. doi:10.1080/00207540701440097
- Klir, G. J. ve Yuan, B.** (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Koh, S. C. L., Saad, S. M. ve Jones, M. H.** (2002). Uncertainty under MRP-planned manufacture: Review and categorization. *International Journal of Production Research*, 40(10), 2399–2421. doi:10.1080/00207540210136487

- Kovačić, D. ve Bogataj, L.** (2011). Multistage reverse logistics of assembly systems in extended MRP Theory consisting of all material flows. *Central European Journal of Operations Research*, 19(3), 337–357. doi:10.1007/s10100-010-0168-1
- Kundu, P., Kar, S. ve Maiti, M.** (2014). Fixed charge transportation problem with type-2 fuzzy variables. *Information Sciences*, 255, 170–186. doi:10.1016/j.ins.2013.08.005
- Kwakkel, J. ve Cunningham, S.** (2008). Techniques and methods for uncertainty management. *PICMET '08 - 2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology*, (c), 1085–1097. doi:10.1109/PICMET.2008.4599718
- Lai, Y.-J. ve Hwang, C.-L.** (1992). A new approach to some possibilistic linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*. doi:10.1016/0165-0114(92)90318-X
- Lan, Y. F., Liu, Y. K. ve Sun, G. J.** (2009). Modeling fuzzy multi-period production planning and sourcing problem with credibility service levels. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 231(1), 208–221. doi:10.1016/j.cam.2009.02.009
- Li, C., Liu, F., Cao, H. ve Wang, Q.** (2009a). A stochastic dynamic programming based model for uncertain production planning of re-manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3657–3668. doi:10.1080/00207540701837029
- Li, H. ve Azarm, S.** (2002). An approach for product line design selection under uncertainty and competition. *Journal of Mechanical Design*, 124(3), 385–392. doi:Doi 10.1115/1.1485740
- Li, L. ve Zabinsky, Z. B.** (2011). Incorporating uncertainty into a supplier selection problem. *International Journal of Production Economics*, 134(2), 344–356. doi:10.1016/j.ijpe.2009.11.007
- Li, T., Lin, P., Sun, G. J. ve Liu, H. H.** (2009b). Application of fuzzy programming with recourse in material requirement planning problem. *2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2009*, 2, 546–549. doi:10.1109/ICMTMA.2009.568
- Li, X., Baki, F., Tian, P. ve Chaouch, B. a.** (2014). A robust block-chain based tabu search algorithm for the dynamic lot sizing problem with product returns and remanufacturing. *Omega (United Kingdom)*, 42(1), 75–87. doi:10.1016/j.omega.2013.03.003
- Liang, T.-F.** (2008). Fuzzy multi-objective production/ distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 676–694. doi:10.1016/j.cie.2008.02.008
- Liang, T.-F. ve Cheng, H.-W.** (2009). Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3367–3377. doi:10.1016/j.eswa.2008.01.002

- Lo, W. S., Hong, T. P. ve Jeng, R.** (2008). A framework of E-SCM multi-agent systems in the fashion industry. *International Journal of Production Economics*, 114(2), 594–614. doi:10.1016/j.ijpe.2007.09.010
- Lu, S., Su, H., Xiao, L. ve Zhu, L.** (2015). Application of Two-Phase Fuzzy Optimization Approach to Multiproduct Multistage Integrated Production Planning with Linguistic Preference under Uncertainty. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1–20. doi:10.1155/2015/780830
- Madadi, N. ve Wong, K. Y.** (2014). A Multiobjective Fuzzy Aggregate Production Planning Model Considering Real Capacity and Quality of Products. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–15. doi:10.1155/2014/313829
- Mahnam, M., Yadollahpour, M. R., Famil-Dardashti, V. ve Hejazi, S. R.** (2009). Supply chain modeling in uncertain environment with bi-objective approach. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4), 1535–1544. doi:10.1016/j.cie.2008.09.038
- Mantrala, M. K. ve Raman, K.** (1999). Demand uncertainty and supplier's returns policies for a multi-store style-good retailer. *European Journal of Operational Research*, 115(2), 270–284. doi:10.1016/S0377-2217(98)00302-6
- Mason-Jones, R. ve Towill, D. R.** (1998). Shrinking the supply chain uncertainty circle. *Control*, 24(7), 17–22.
- Matsumoto, M. ve Komatsu, S.** (2015). Demand forecasting for production planning in remanufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(1-4), 161–175. doi:10.1007/s00170-015-6787-x
- McCauley-Bell, P.** (1999). Intelligent agent characterization and uncertainty management with fuzzy set theory: a tool to support early supplier integration. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10(2), 135–147. doi:10.1023/A:1008968419061
- Melnyk, S. A., Sroufe, R. P., Montabon, F. L. ve Hinds, T. J.** (2001). Green MRP: Identifying the material and environmental impacts of production schedules. *International Journal of Production Research*, 39(8), 1559–1573. doi:10.1080/00207540010022980
- Min, H., Ko, C. S. ve Ko, H. J.** (2006). The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2), 309–320. doi:10.1016/j.cie.2006.02.010
- Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J., Baboli, a. ve Sazvar, Z.** (2013). A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions. *European Journal of Operational Research*, 230(1), 26–41. doi:10.1016/j.ejor.2013.03.033
- Morgan, S. D. ve Gagnon, R. J.** (2013). A systematic literature review of remanufacturing scheduling. *International Journal of Production Research*, 51(16), 4853–4879. doi:10.1080/00207543.2013.774491

- Mula, J., Peidro, D., Diaz-Madonero, M. ve Vicens, E.** (2010a). Mathematical programming models for supply chain production and transport planning. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 377–390. doi:10.1016/j.ejor.2009.09.008
- Mula, J., Peidro, D. ve Poler, R.** (2010b). The effectiveness of a fuzzy mathematical programming approach for supply chain production planning with fuzzy demand. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 136–143. doi:10.1016/j.ijpe.2010.06.007
- Mula, J., Poler, R. ve Garcia, J. P.** (2006a). MRP with flexible constraints: A fuzzy mathematical programming approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(1), 74–97. doi:10.1016/j.fss.2005.05.045
- Mula, J., Poler, R., García-Sabater, J. . ve Lario, F. C.** (2006b). Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 271–285. doi:10.1016/j.ijpe.2005.09.001
- Mula, J., Poler, R. ve Garcia-Sabater, J. P.** (2007). Material Requirement Planning with fuzzy constraints and fuzzy coefficients. *Fuzzy Sets and Systems*, 158(7), 783–793. doi:10.1016/j.fss.2006.11.003
- Murthy, D. N. P. ve Ma, L.** (1991). MRP with uncertainty: a review and some extensions. *International Journal of Production Economics*, 25(1-3), 51–64. doi:10.1016/0925-5273(91)90130-L
- Olugu, E. U. ve Wong, K. Y.** (2012). An expert fuzzy rule-based system for closed-loop supply chain performance assessment in the automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 375–384. doi:10.1016/j.eswa.2011.07.026
- Omar, M. ve Yeo, I.** (2014). A production–repair inventory model with time-varying demand and multiple setups. *International Journal of Production Economics*, 155(2001), 398–405. doi:10.1016/j.ijpe.2013.12.034
- Paiva, R. P. O. ve Morabito, R.** (2009). An optimization model for the aggregate production planning of a Brazilian sugar and ethanol milling company. *Annals of Operations Research*, 169(1), 117–130. doi:10.1007/s10479-008-0428-9
- Paulraj, A. ve Chen, I. J.** (2007). Environmental Uncertainty and Strategic Supply Management : A Resource Dependence Perspective and Performance Implications. *The Journal of Supply Chain Management*, Summer, 29–42.
- Peidro, D., Mula, J., Jiménez, M. ve del Mar Botella, M.** (2010). A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 65–80. doi:10.1016/j.ejor.2009.11.031
- Peidro, D., Mula, J., Poler, R. ve Verdegay, J. L.** (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2640–2657. doi:10.1016/j.fss.2009.02.021



- Pishvaei, M. S., Rabbani, M. ve Torabi, S. A.** (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637–649. doi:10.1016/j.apm.2010.07.013
- Pishvaei, M. S. ve Torabi, S. a.** (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20), 2668–2683. doi:10.1016/j.fss.2010.04.010
- Plenert, G.** (1999). Focusing material requirements planning (MRP) towards performance. *European Journal of Operational Research*, 119(1), 91–99. doi:10.1016/S0377-2217(98)00339-7
- Pochet, Y. ve Wolsey, L. A.** (2006). Production Planning Models and Systems. *Production Planning by Mixed Integer Programming* içinde (ss. 39–75). Springer New York. doi:10.1007/0-387-33477-7\_3
- Polotski, V., Kenne, J.-P. ve Gharbi, A.** (2015). Optimal production scheduling for hybrid manufacturing–remanufacturing systems with setups. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 703–714. doi:10.1016/j.jmsy.2015.02.001
- Raupp, F. M. P., Angeli, K. De, Alzamora, G. G. S. ve Maculan, N.** (2015). Mrp Optimization Model for a Production System With Remanufacturing. *Pesquisa Operacional*, 35(2), 311–328. doi:10.1590/0101-7438.2015.035.02.0311
- Riezebos, J.** (2003). Work order release and capacity balancing in synchronous manufacturing. *Group Technology/Cellular Manufacturing World Symposium* içinde . Columbus, OH.
- Sanchez-Rodrigues, V., Naim, M. M. ve Potter, A. T.** (2010). Evaluating the causes of uncertainty in logistics operations. *The International Journal of Logistics Management*, 21(1), 45–64. doi:10.1108/09574091011042179
- Sanchez-Rodrigues, V., Stantchev, D., Potter, A., Naim, M. ve Whiteing, A.** (2008). Establishing a transport operation focused uncertainty model for the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 388–411. doi:10.1108/09600030810882807
- Serna, M. D. A., Serna, C. A. ve Ortega, G. P.** (2010). Parametric linear programming for a materials requirement planning problem solution with uncertainty. *Ingenieria e Investigacion*, 30(3), 96–105.
- Shi, J., Zhang, G. ve Sha, J.** (2011). Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return. *Computers & Operations Research*, 38(3), 641–650. doi:10.1016/j.cor.2010.08.008
- Sichel, B.** (2008). Forecasting Demand With Point of Sales Data-a Case Study of Fashion Products. *The Journal of Business Forecasting*, 27(4), 15–16.
- Soetanto, R. ve Dainty, A. R. J.** (2009). Integrating Uncertainty Management in Strategic Planning Practice. *Construction Research Congress 2009* içinde (ss. 309–219). Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/41020(339)32

- Srinivasan, A. ve Geetharamani, G.** (2016). Linear Programming Problem with Interval Type 2 Fuzzy Coefficients and an Interpretation for Its Constraints. *Journal of Applied Mathematics*, 2016(A4), 1–11. doi:10.1155/2016/8496812
- Srivastava, A. K. ve Nema, A. K.** (2012). Fuzzy parametric programming model for multi-objective integrated solid waste management under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 4657–4678. doi:10.1016/j.eswa.2011.09.022
- Suer, G. A. ve Dagli, C.** (2005). Intra-cell manpower transfers and cell loading in labor-intensive manufacturing cells. *Computers & Industrial Engineering*, 48(3), 643–655. doi:10.1016/j.cie.2003.03.006
- Sun, S., Hsu, M. ve Hwang, W.** (2009). The impact of alignment between supply chain strategy and environmental uncertainty on SCM performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(3), 201–212. doi:10.1108/13598540910954548
- Sung, J. ve Jeong, B.** (2014). A Heuristic for Disassembly Planning in Remanufacturing System. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–10. doi:10.1155/2014/949527
- Süer, G. a., Arikan, F. ve Babayiğit, C.** (2009a). Effects of different fuzzy operators on fuzzy bi-objective cell loading problem in labor-intensive manufacturing cells. *Computers and Industrial Engineering*, 56(2), 476–488. doi:10.1016/j.cie.2008.02.001
- Süer, G. a., Cosner, J. ve Patten, A.** (2009b). Models for cell loading and product sequencing in labor-intensive cells. *Computers and Industrial Engineering*, 56(1), 97–105. doi:10.1016/j.cie.2008.04.002
- Süer, G. A. ve Sánchez-Bera, I.** (1997). Common cell size determination and cell loading in labor-intensive manufacturing cells. *Computers & Industrial Engineering*, 33(1-2), 221–224. doi:10.1016/S0360-8352(97)00079-X
- Tanakaç, H., Okuda, T. ve Asai, K.** (1973). On Fuzzy-Mathematical Programming. *Journal of Cybernetics*, 3(4), 37–46. doi:10.1080/01969727308545912
- Tang, O., Grubbström, R. W. ve Grubbstrom, R. W.** (2002). Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 78(3), 323–334. doi:10.1016/S0925-5273(00)00100-6
- Torabi, S. a., Ebadian, M. ve Tanha, R.** (2010). Fuzzy hierarchical production planning (with a case study). *Fuzzy Sets and Systems*, 161(11), 1511–1529. doi:10.1016/j.fss.2009.11.006
- Van der Vorst, J. G. A. J. ve Beulens, A. J. M.** (2002). Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 409–430. doi:10.1108/09600030210437951
- Vörös, J.** (1999). On the risk-based aggregate planning for seasonal products. *International Journal of Production Economics*, 59(1), 195–201. doi:10.1016/S0925-5273(98)00100-5

- Wang, R. C. ve Liang, T. F.** (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning. *International Journal of Production Economics*, 98(3), 328–341. doi:10.1016/j.ijpe.2004.09.011
- Wei, C., Li, Y. ve Cai, X.** (2011). Robust optimal policies of production and inventory with uncertain returns and demand. *International Journal of Production Economics*, 134(2), 357–367. doi:10.1016/j.ijpe.2009.11.008
- Wen, H., Liu, M., Liu, C. ve Liu, C.** (2015). Remanufacturing production planning with compensation function approximation method. *Applied Mathematics and Computation*, 256, 742–753. doi:10.1016/j.amc.2015.01.070
- Wong, B. K. ve Lai, V. S.** (2011). A survey of the application of fuzzy set theory in production and operations management: 1998-2009. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 157–168. doi:10.1016/j.ijpe.2010.09.013
- Wu, L.-C.** (2009). Supplier selection under uncertainty: a switching options perspective. *Industrial Management & Data Systems*, 109(1-2), 191–205. doi:10.1108/02635570910930091
- Xiong, Y., Zhao, Q. ve Zhou, Y.** (2016). Manufacturer-remanufacturing vs supplier-remanufacturing in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 176, 21–28. doi:10.1016/j.ijpe.2016.03.001
- Xiong, Y., Zhou, Y., Li, G., Chan, H.-K. ve Xiong, Z.** (2013). Don't forget your supplier when remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 230(1), 15–25. doi:10.1016/j.ejor.2013.03.034
- Yager, R. R.** (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information Sciences*, 24(2), 143–161. doi:10.1016/0020-0255(81)90017-7
- Yenisey, M. M.** (2006). A flow-network approach for equilibrium of material requirements planning. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 317–332. doi:10.1016/j.ijpe.2005.04.002
- Ying Ding, Yixiang Yue ve Xiacong Wang.** (2008). Optimal vendor selection by fuzzy optimization. *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics* içinde (ss. 2357–2362). IEEE. doi:10.1109/SOLI.2008.4682930
- Zhang, Q. ve Tseng, M. M.** (2009). Modelling and integration of customer flexibility in the order commitment process for high mix low volume production. *International Journal of Production Research*, 47(22), 6397–6416. doi:10.1080/00207540802266474
- Zhang, X., Zhang, F., Chen, X. ve Wan, Z.** (2014). Polymorphic Uncertain Linear Programming for Generalized Production Planning Problems. *Journal of Optimization*, 2014, 1–10. doi:10.1155/2014/896756
- Zimmermann, H.-J.** (1976). Description and Optimization of Fuzzy Systems. *International Journal of General Systems*, 2(4), 209–215. doi:10.1080/03081077608547470

**Zimmermann, H.-J.** (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45–55.  
doi:10.1016/0165-0114(78)90031-3



## **EKLER**

**EK A:** Vaka analizi için söz konusu kuyumculuk işletmesinin MRP verileri

**EK B:** Önerilen modelin AIMMS ortamında modellenmesi – metin gösterimi



**EK A : Vaka analizi için söz konusu kuyumculuk işletmesinin MRP verileri**  
**Bütün katsayılar milyem cinsinden, değerler ise gr altın cinsinden verilmiştir.**

Ürünlere ilişkin veriler:

**Çizelge A.1 : Ürünlere ilişkin katsayılar ve başlangıç değerleri.**

Ürünler/Parametreler	$mu_u$	$mu_{isc_u}$	$ms_u$	$ms_{sc_u}$	$met_u$	$DU_u$	$Stok_{u0}$	$Et_{u0}$
DT 103	40	15	100	1	2	4	0	0
DT 112	40	15	100	1	2	4	0	0
DT 117	40	15	100	1	2	4	0	0
DT 118	40	15	100	1	2	4	0	0
DT 146	40	15	100	1	2	4	0	0
DT 70	40	15	100	1	2	4	0	0
DT 76	40	15	100	1	2	4	0	0
OG 33	45	20	90	1	2	3	0	0
PT 1032	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1101	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1114	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1158	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1171A	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1171B	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1172A	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1172B	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1175	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1176	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1178	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1179	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1180	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1181	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 1188	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 441	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 496	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 556	30	10	90	1	2	3	0	0
PT 968S	30	10	90	1	2	3	0	0
SB 148	25	5	80	1	2	4	0	0
SB 613	25	5	80	1	2	4	0	0
SB 893 A	25	5	80	1	2	4	0	0
SB 895	25	5	80	1	2	4	0	0
SL 18	20	5	70	1	2	4	0	0
SL 43	20	5	70	1	2	4	0	0
TB 939	35	15	80	1	2	4	0	0
TDT 116	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 122	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 130	55	25	120	1	2	5	0	0

**Çizelge A.1 (devam): Ürünlere ilişkin katsayılar ve başlangıç değerleri.**

Ürünler/Parametreler	$mu_u$	$muisc_u$	$ms_u$	$ms_u$	$met_u$	$DU_u$	$Stok_{u0}$	$Et_{u0}$
TDT 16	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 194	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 207	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 208	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 224	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 237	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 51	55	25	120	1	2	5	0	0
TDT 66	55	25	120	1	2	5	0	0

**Çizelge A.2 : Ürünlere ilişkin talep ve iade değerleri.**

Ürün/dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DT 103												10								
DT 112												12								
DT 117												12								
DT 118												12								
DT 146												47								
DT 70						27														
DT 76						200														
OG 33												5							24	
PT 1032						30														
PT 1101																			22	
PT 1114																			77	
PT 1158																			26	
PT 1171A						21													40	
PT 1171B																			20	
PT 1172A																			30	
PT 1172B						8						7							20	
PT 1175												100								
PT 1176						70						30								
PT 1178												75							105	
PT 1179						44						176							45	
PT 1180												75							25	
PT 1181																			170	
PT 1188																			75	
PT 441						8														
PT 496						817						363						35*	63	
PT 556																			1	
PT 968S																			10	
SB 148						2														
SB 613						20														
SB 893 A						79														
SB 895												55							15	

**Çizelge A.2 (devam): Ürünlere ilişkin talep ve iade değerleri.**

Ürün/dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SL 18												105								
SL 43						5														
TB 939																				100
TDT 116																				80
TDT 122						55						40								75
TDT 130					4															
TDT 16												30								
TDT 194						45														
TDT 207						45														
TDT 208						50														
TDT 224			25									75								50
TDT 237						6														
TDT 51																				20
TDT 66						50														50

Not : \* değerler iadeleri göstermektedir.

Hammadelere ilişkin veriler:

**Çizelge A.3 : Hammadelere (altın) ilişkin katsayılar ve başlangıç değerleri.**

Parametreler/hammaddeler	1(Altın)
$mf_h$	1
$mh_h$	4
$gdkf_h$	20
$mb_h$	7
$FGD_h$	2000
$DG_h$	3
$TedBl_h$	15000
$HurdaD_{h0}$	3000
$Stok_{h0}$	100000
$FireB_{h0}$	500

**Çizelge A.4 : Hammadde (altın) ve ürünlere ilişkin veriler.**

Ürün/Hammadde(Altın)	$b_{hv}$	$h_{hv}$	$f_{hv}$
DT 103	6,60	0,99	0,66
DT 112	7,75	1,16	0,78
DT 117	6,00	0,90	0,60
DT 118	5,33	0,80	0,53
DT 146	9,89	1,48	0,99
DT 70	9,33	1,40	0,93
DT 76	5,80	0,87	0,58
OG 33	9,03	1,36	0,90
PT 1032	8,80	0,88	0,44



**Çizelge A.4 (devam):** Hammadde (altın) ve ürünlere ilişkin veriler.

Ürün/Hammadde(Altın)	$b_{hu}$	$h_{hu}$	$f_{hu}$
PT 1101	53,68	5,37	2,68
PT 1114	35,00	3,50	1,75
PT 1158	38,50	3,85	1,93
PT 1171A	42,44	4,24	2,12
PT 1171B	43,65	4,37	2,18
PT 1172A	47,27	4,73	2,36
PT 1172B	48,09	4,81	2,40
PT 1175	26,86	2,69	1,34
PT 1176	25,50	2,55	1,28
PT 1178	25,39	2,54	1,27
PT 1179	42,42	4,24	2,12
PT 1180	43,90	4,39	2,20
PT 1181	38,35	3,83	1,92
PT 1188	35,36	3,54	1,77
PT 441	11,00	1,10	0,55
PT 496	9,98	1,00	0,50
PT 556	14,00	1,40	0,70
PT 968S	6,70	0,67	0,34
SB 148	23,00	3,45	2,30
SB 613	7,80	1,17	0,78
SB 893 A	18,00	2,70	1,80
SB 895	13,74	2,06	1,37
SL 18	12,86	1,93	1,29
SL 43	4,60	0,69	0,46
TB 939	25,00	3,75	2,50
TDT 116	36,25	7,25	3,63
TDT 122	52,79	5,28	2,64
TDT 130	5,50	0,55	0,28
TDT 16	38,20	3,82	1,91
TDT 194	32,56	3,26	1,63
TDT 207	51,84	5,18	2,59
TDT 208	48,66	4,87	2,43
TDT 224	39,46	3,95	1,97
TDT 237	10,33	1,03	0,52
TDT 51	42,50	4,25	2,13
TDT 66	63,18	6,32	3,16

**Çizelge A.5 :** Hammaddelere (altın) ilişkin tahsilat verileri  $Tah_{hd}$ .

Hammadde(altın)/Dönem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1						10000					10000					10000				

İstasyonlara ilişkin veriler:

**Çizelge A.6 :** İstasyonlara ilişkin mâliyet katsayıları.

İstasyonlar	AT-1	AT-2	AT-3	AT-8
$mkks_k$	100	100	100	100
$mkfs_k$	200	200	200	200

**Çizelge A.7 :** İstasyonda işlemek için ürünlere ilişkin gerekli kapasite miktarı  $Dk_{uk}$ .

Ürün/İstasyon	AT-1	AT-2	AT-3	AT-8
DT 103	1000,00	1000,00	6,60	1000,00
DT 112	1000,00	1000,00	7,75	1000,00
DT 117	1000,00	1000,00	6,00	1000,00
DT 118	1000,00	1000,00	5,33	1000,00
DT 146	1000,00	1000,00	9,89	1000,00
DT 70	1000,00	1000,00	1000,00	9,33
DT 76	1000,00	5,80	1000,00	1000,00
OG 33	1000,00	1000,00	9,03	1000,00
PT 1032	1000,00	8,80	1000,00	1000,00
PT 1101	1000,00	1000,00	53,68	1000,00
PT 1114	1000,00	1000,00	35,00	1000,00
PT 1158	1000,00	1000,00	38,50	1000,00
PT 1171A	1000,00	1000,00	42,44	1000,00
PT 1171B	1000,00	1000,00	43,65	1000,00
PT 1172A	1000,00	1000,00	47,27	1000,00
PT 1172B	1000,00	1000,00	48,09	1000,00
PT 1175	1000,00	1000,00	26,86	1000,00
PT 1176	1000,00	1000,00	25,50	1000,00
PT 1178	1000,00	1000,00	25,39	1000,00
PT 1179	42,42	1000,00	1000,00	1000,00
PT 1180	1000,00	1000,00	43,90	1000,00
PT 1181	1000,00	38,35	38,35	38,35
PT 1188	1000,00	35,36	35,36	35,36
PT 441	1000,00	11,00	11,00	11,00
PT 496	1000,00	9,98	9,98	9,98
PT 556	1000,00	14,00	14,00	14,00
PT 968S	1000,00	6,70	6,70	6,70
SB 148	1000,00	23,00	23,00	23,00
SB 613	1000,00	7,80	7,80	7,80
SB 893 A	1000,00	18,00	18,00	18,00
SB 895	1000,00	13,74	13,74	13,74
SL 18	1000,00	12,86	12,86	12,86
SL 43	1000,00	4,60	4,60	4,60
TB 939	1000,00	25,00	25,00	25,00
TDT 116	36,25	36,25	1000,00	36,25

**Çizelge A.7 (devam):** İstasyonda işlemek için ürünlere ilişkin gerekli kapasite miktarı  $Dk_{uk}$ .

Ürün/İstasyon	AT-1	AT-2	AT-3	AT-8
TDT 122	52,79	1000,00	1000,00	1000,00
TDT 130	5,50	5,50	1000,00	5,50
TDT 16	38,20	38,20	1000,00	38,20
TDT 194	32,56	1000,00	1000,00	1000,00
TDT 207	51,84	1000,00	1000,00	1000,00
TDT 208	48,66	48,66	1000,00	48,66
TDT 224	39,46	39,46	1000,00	39,46
TDT 237	10,33	10,33	1000,00	10,33
TDT 51	42,50	42,50	1000,00	42,50
TDT 66	63,18	1000,00	1000,00	1000,00

**Çizelge A.8 :** İstasyona ilişkin kapasite verileri  $Kdk_{kd}$ .

İstasyon/Dönemler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AT-1	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
AT-2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
AT-3	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
AT-8	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

## EK B : Önerilen modelin AIMMS ortamında modellenmesi – metin gösterimi

```
DeclarationSection Donem {
  Parameter Plânlama_Suresi {
    Range: {
      {1..inf}
    }
    InitialData: 20;
  }
  Horizon Plânlama_Donem {
    Index: d;
    CurrentPeriod: 'donem-01';
    IntervalLength: 20;
    Definition: {
      { 'donem-00' } + ElementRange( 1,20 , prefix: "donem-" )
    }
    Comment: "\10 günlük plânlama döneminde MRP modeli çözülmü\"";
  }
}
```

```
DeclarationSection Kumeler {
  Set ActiveVariables {
    SubsetOf: AllVariables;
  }
  Set Hammadde {
    Index: h;
    Comment: "\h = 1 Altin\"";
  }
  Set Ana_urun {
    Index: u;
    Comment: "\ U = 3 Ürün tanimi\"";
  }
  Set Is_istasyonlari_Kaynaklar {
    Index: k;
    Comment: "\K = 1 Tek atolye\"";
  }
}
```

```
DeclarationSection Karar_Degiskenleri {
  Variable Et_ud {
    IndexDomain: (u,d);
    Text: "E_ud";
    Range: nonnegative;
    Comment: {
      "Dönem \t\ sonunda \j\" ürününün ertelenen talebi / bekleyen sipari
      Rd_jt"
    }
  }
}
```

```

Variable Uiah_ud {
  IndexDomain: (u,d);
  Range: nonnegative;
}
}

```

```

DeclarationSection Katsayilar_Parametreler {
  Parameter mu_u {
    IndexDomain: u;
  }
  Parameter muy_u {
    IndexDomain: u;
  }
  Parameter muisc_u {
    IndexDomain: u;
  }
  Parameter ms_u {
    IndexDomain: u;
  }
  Parameter mf_h {
    IndexDomain: h;
  }
  Parameter mh_h {
    IndexDomain: h;
  }
  Parameter gdkf_h {
    IndexDomain: h;
  }
  Parameter mb_h {
    IndexDomain: h;
  }
  Parameter met_u {
    IndexDomain: u;
  }
  Parameter mkks_k {
    IndexDomain: k;
  }
  Parameter mkfs_k {
    IndexDomain: k;
  }
}
}

```

```

DeclarationSection Veriler_Sabitler {
  Parameter t_ud {
    IndexDomain: (u,d);
  }
  Parameter b_hu {
    IndexDomain: (h,u);
  }
}

```

```

}
Parameter h_hu {
  IndexDomain: (h,u);
}
Parameter f_hu {
  IndexDomain: (h,u);
}
Parameter DU_u {
  IndexDomain: u;
}
Parameter FGD_h {
  IndexDomain: h;
}
Parameter DG_h {
  IndexDomain: h;
}
Parameter TedBl_h {
  IndexDomain: h;
}
Parameter Uia_ud {
  IndexDomain: (u,d);
}
Parameter Tah_hd {
  IndexDomain: (h,d);
}
Parameter Stok_u0 {
  IndexDomain: u;
}
Parameter Stok_h0 {
  IndexDomain: h;
}
Parameter FireB_h0 {
  IndexDomain: h;
}
Parameter HurdaD_h0 {
  IndexDomain: h;
}
Parameter Et_u0 {
  IndexDomain: u;
}
Parameter TedB_h0 {
  IndexDomain: h;
}
Parameter Dk_uk {
  IndexDomain: (u,k);
}
Parameter Dik_uk {
  IndexDomain: (u,k);
}
}

```

```

DeclarationSection Kisitlar_ve_Denge_Denklemi {
  Variable toplam_uretim {
    IndexDomain: (d,u);
    Range: free;
    Definition: Urun_ud(u,d)* b_hu('Altin',u);
  }
  MathematicalProgram Mâliyeti_En_Kucukleme {
    Objective: Toplam_Uretim_Mâliyeti;
    Direction: minimize;
    Constraints: AllConstraints;
    Variables: AllVariables;
    Type: Automatic;
    Comment: “\”En Küçükle:\””;
  }
  Variable Toplam_Uretim_Mâliyeti {
    Range: free;
    Property: ReducedCost, ValueRange, CoefficientRange;
    Definition: {
      sum
      [(u,d),(mu_u(u)*Urun_ud(u,d)+ms_u(u)*Stok_ud(u,d)+met_u(u)*Et_ud(u,d))*b_hu(
      'Altin',u)] +
      sum [(k,d),mkks_k(k)* Kks_kd(k,d) + mkfs_k(k)*Kfs_kd(k,d)]
    +
      sum [(h,d),(mf_h(h)+gd_kf_h(h))*FireGD_hd(h,d) +
      mh_h(h)*HurdaGD_hd(h,d-DG_h(h)-1)] +
      sum [(u,d),
      (muisc_u(u)*Uiah_ud(u,d)+muy_u(u)*Uiays_ud(u,d)+ms_u(u)*Uias_ud(u,d))*b_hu(
      'Altin',u)] +
      sum [(h,d),mb_h(h)*TedHB_hd(h,d)]
    }
    Comment: “\”Amaç Fonksiyonu\””;
  }
  Variable Stok_ud {
    IndexDomain: (u,d);
    Text: “(2)”;
    Range: nonnegative;
    Definition: Stok_ud(u,d-1) + Urun_ud(u,d - DU_u(u))- t_ud(u,d) -Et_ud(u,d-
    1)+ Et_ud(u,d) + Uiays_ud(u,d);
    Comment: {
      “Talep_Denge_Denklemi_2
      Dönem \\\”t\\\” sonunda eldeki \\\”i\\\” hammadde miktar\007\”
      Stok_ud(u,d-1) + Urun_ud(u,d - DU_u(u))- t_ud(u,d)-Et_ud(u,d-
      1)+Et_ud(u,d)+Uiays_ud(u,d)
      Stok_ud(u,d-1) + Urun_ud(u,d - DU_u(u))- t_ud(u,d) -Et_ud(u,d-1)+
      Et_ud(u,d) + Uiays_ud(u,d)”
    }
  }
  Variable Uias_ud {

```

```

IndexDomain: (u,d);
Text: "(3)";
Range: nonnegative;
Definition: Uias_ud(u,d-1)+Uia_ud(u,d)-Uiah_ud(u,d)-Uiays_ud(u,d);
Comment: {
  "\Iade_Stok_Yonetim_Denklemi_2_1
  ?Pias?_jt      : Dönem \\\t\\" de ki \\\j\\" ürün için eldeki iade
miktar\\"
}
}
Constraint Uretim_Talep_Denge_Denklemi_2_2 {
  IndexDomain: u;
  Text: "(4)";
  Definition: {
    sum[d,Urun_ud(u,d-DU_u(u))]+sum[d,Uiays_ud(u,d)]- sum[d,t_ud(u,d)]=0 ;
  }
}
Constraint Toplam_Uretim_Talep_Denge_Denklemi_2_2 {
  IndexDomain: u;
  Definition: {
    sum [d,Urun_ud(u,d)]+ sum [d,Uiays_ud(u,d)]- sum [d,t_ud(u,d)]=0 ;
  }
}
Variable Stok_hd {
  IndexDomain: (h,d);
  Text: "(5)";
  Range: nonnegative;
  Definition: Stok_hd(h,d-1)+Ted_hd(h,d)+GerD_hd(h,d)-sum [u,b_hu(h,u)*
Urun_ud(u,d)]-sum [u,h_hu(h,u)* Urun_ud(u,d)]-sum [u,f_hu(h,u)* Urun_ud(u,d)]-
HurdaD_hd(h,d-1);
  Comment: "Dönem \\\t\\" sonunda eldeki \\\i\\" hammadde miktar\\007";
}
Variable Gerd_hd {
  IndexDomain: (h,d);
  Text: "(6)";
  Range: nonnegative;
  Definition: (1-gdkf_h(h)/1000)*FireGD_hd(h,d)+HurdaD_hd(h,d);
  Comment: {
    "\Hammadde_Geri_Donusum_Deklemi_3_1
    ?GerD?_it      : Dönem \\\t\\" deki hammadde \\\i\\" geri dönüÜö"
  }
}
Variable HurdaGD_hd {
  IndexDomain: (h,d);
  Text: "(7)";
  Range: nonnegative;
  Definition: sum[u,h_hu(h,u)*Urun_ud(u,d)];
  Comment: {
    "\Hammadde_Olusan_Hurda_Denklemi_3_2

```



```

HurdaGD?_it : Dönem \\t\\ deki hammadde \\i\\ hurda geri dönü\\
;”
}
}
Variable HurdaD_hd {
IndexDomain: (h,d);
Text: “(8)”;
Range: nonnegative;
Definition: HurdaD_hd(h,d-1)+HurdaGD_hd(h,d)-HurdaGD_hd(h,d-DG_h(h)-
1);
Comment: “\\?HurdaD?_i0 : Dönem \\0\\ deki hammadde \\i\\ dönen
hurda stok miktarLi\\005\\”;
}
Variable iadeHurda_hd {
IndexDomain: (h,d);
Text: “(8)”;
Range: nonnegative;
Definition: Sum[u,Uiah_ud(u,d)*b_hu('Altin',u)];
Comment: “\\?HurdaD?_i0 : Dönem \\0\\ deki hammadde \\i\\ dönen
hurda stok miktarLi\\005\\”;
}
Variable FireB_hd {
IndexDomain: (h,d);
Text: “(9)”;
Range: nonnegative;
Definition: sum[u,f_hu(h,u)*Urun_ud(u,d)]+FireB_hd(h,d-1)- FireGD_hd(h,d);
Comment: {
“: \\”Hammadde_Biriken_Fire_Denklemi_3_4
FireB_it : Dönem \\t\\ deki hammadde \\i\\ birikmi\\”;
}
}
Variable TedB_hd {
IndexDomain: (h,d);
Range: nonnegative;
Definition: {
TedB_hd(h,d-1)-HurdaGD_hd(h,d-DG_h(h)-1)-
Sum[u,Uiah_ud(u,d)*b_hu('Altin',u)]-Tah_hd(h,d)
+Ted_hd(h,d)
}
Comment: {
“: \\”Tedârik Denge Deklemi 4
?TedB?(it) : Tedârikçi için \\i\\ hammaddesine ait \\t\\
dönemindeki bakiye\\”
}
}
Constraint Tedârik_Bakiye_Denklemi_4_1_13 {
IndexDomain: (h,d);
Property: Bound, ShadowPrice, RightHandSideRange, ShadowPriceRange,
Level, Basic;
Definition: TedB_hd(h,d)<=TedBl_h(h);

```

```

}
Parameter Kdk_kd {
  IndexDomain: (k,d);
  Range: nonnegative;
}
Constraint Kdk_kd_kapasite_dengesi {
  IndexDomain: (k,d);
  Definition: {
    Kdk_kd(k,d) = Sum[u,Dk_uk(u,k)*Urun_ukd(u,k,d)
    +Dik_uk(u,k)*Uiays_ukd(u,k,d)]
    -Kfs_kd(k,d)+ Kks_kd(k,d)
  }
}
Variable Urun_ukd {
  IndexDomain: (u,k,d);
  Range: nonnegative;
}
Variable Uiays_ukd {
  IndexDomain: (u,k,d);
  Range: nonnegative;
}
Variable Urun_ud {
  IndexDomain: (u,d);
  Text: "U_ud";
  Range: nonnegative;
  Definition: sum[k,Urun_ukd(u,k,d)];
  Comment: {
    "\P_jt : Dönem \t\ de üretilecek \j\ ürün miktar\";
    sum[k,Urun_ukd(u,k,d)]
    Stok_ud(u,d+DU_u(u)) - Stok_ud(u,d-1+DU_u(u)) + t_ud(u,d+DU_u(u)) +
    Et_ud(u,d-1+DU_u(u))- Et_ud(u,d+DU_u(u)) - Uiays_ud(u,d+DU_u(u))"
  }
}
Variable Uiays_ud {
  IndexDomain: (u,d);
  Range: nonnegative;
  Definition: sum[k,Uiays_ukd(u,k,d)];
}
Variable Ted_hd {
  IndexDomain: (h,d);
  Range: nonnegative;
  Comment: {
    "\Hammadde_Stok_Denge_Deklemi_3
    ?Ted?(it) : Dönem \t\ deki hammadde \i\ tedârik miktar"
  }
}
}
}
}

```

```

DeclarationSection Dogrusallastirma {
  Parameter M {
    InitialData: 1000000;
  }
  Variable pf {
    IndexDomain: (h,d);
    Range: binary;
  }
  Variable pt {
    IndexDomain: (h,d);
    Range: binary;
  }
  Variable pr {
    IndexDomain: (k,d);
    Range: binary;
  }
  Variable FireGD_hd {
    IndexDomain: (h,d);
    Range: nonnegative;
    Comment: {
      “”Hammedde_Geri_Donusen_Fire_Denklemi_3_5
      ?FireGD?_it : Dönem “”t“” deki hammadde “”i“” Hurda-Fire geri
      dönü\”“
    }
  }
  Constraint Fire_Dogrusal_1 {
    IndexDomain: (h,d);
    Definition: FGD_h(h)-FireB_hd(h,d-1)<= M*(1-pf(h,d));
  }
  Constraint Fire_Dogrusal_2 {
    IndexDomain: (h,d);
    Definition: FireB_hd(h,d-1)-FGD_h(h)<=M*pf(h,d);
  }
  Constraint Fire_Dogrusal_3 {
    IndexDomain: (h,d);
    Definition: FireB_hd(h,d-1)-FireGD_hd(h,d)<=M*(1-pf(h,d));
  }
  Constraint Fire_Dogrusal_4 {
    IndexDomain: (h,d);
    Definition: FireGD_hd(h,d)<=M*pf(h,d);
  }
  Constraint Fire_Dogrusal_5 {
    IndexDomain: (h,d);
    Definition: FireGD_hd(h,d)<=FireB_hd(h,d-1);
  }
  Variable TedHB_hd {
    IndexDomain: (h,d);
    Range: nonnegative;
    Comment: {
      “Tedârik_Bakiye_Arttirim_Deklemi_4_2

```

```

?TedHB?_it : Tedârikçide \\\i\\\\" hammaddesine ait \\\t\\\\" döneminde
bakiye fazlas\''
}
}
Constraint Tedârik_Dogrusal_1 {
  IndexDomain: (h,d);
  Definition: TedB_hd(h,d)-TedB_hd(h,d-1)<=M*pt(h,d);
}
Constraint Tedârik_Dogrusal_2 {
  IndexDomain: (h,d);
  Definition: TedB_hd(h,d-1)-TedB_hd(h,d)<=M*(1-pt(h,d));
}
Constraint Tedârik_Dogrusal_3 {
  IndexDomain: (h,d);
  Definition: TedB_hd(h,d-1)-TedB_hd(h,d)+TedHB_hd(h,d)<=M*(1-pt(h,d));
}
Constraint Tedârik_Dogrusal_4 {
  IndexDomain: (h,d);
  Definition: TedHB_hd(h,d)<=M*pt(h,d);
}
Constraint Tedârik_Dogrusal_5 {
  IndexDomain: (h,d);
  Definition: TedHB_hd(h,d)>=TedB_hd(h,d)-TedB_hd(h,d-1);
}
Variable Kks_kd {
  IndexDomain: (k,d);
  Range: nonnegative;
  Comment: {
    "Dönem \\\t\\\\" de \\\r\\\\" kayna
    Toc_rt"
  }
}
Variable Kfs_kd {
  IndexDomain: (k,d);
  Range: nonnegative;
  Comment: {
    "Dönem \\\t\\\\" de \\\r\\\\" kayna"
    Tex_rt"
  }
}
Constraint Kaynak_Dogrusal_1 {
  IndexDomain: (k,d);
  Definition: Kks_kd(k,d)<=M*(1-pr(k,d));
}
Constraint Kaynak_Dogrusal_2 {
  IndexDomain: (k,d);
  Definition: Kfs_kd(k,d)<=M*pr(k,d);
}
}

```

```

Procedure MainInitialization {
  Body: {
    !This will clear the values of all variables in the subset ActiveVariables
    !After the empty statement, the set itself will still contain elements!
    rebuild ;
    empty ActiveVariables ;
    Stok_ud (u,'donem-00')      := Stok_u0(u);
    Stok_hd (h,'donem-00')      := Stok_h0(h);
    FireB_hd (h,'donem-00')     := FireB_h0(h);
    HurdaGD_hd (h,'donem-00')   := HurdaD_h0(h);
    HurdaD_hd (h,'donem-00')   := HurdaD_h0(h);
    Et_ud (u,'donem-00')       := Et_u0(u);
  }
}

```

```

Procedure MultiStart_MainExecution {
  Body: {
    ShowProgressWindow;
    MYgmp := GMP::Instance::Generate( Mâliyeti_En_Kucukleme );

    !MulStart::IterationLimit := 20;
    MulStart::UsePresolver := 1;
    MulStart::DoMultiStart( MYgmp, 10, 5 );
    Solve Mâliyeti_En_Kucukleme;
    if ( Mâliyeti_En_Kucukleme.ProgramStatus <> 'Optimal' ) then return;
  endif;
}
Comment: {
  “\”Problem Çözme\”
  Mâliyeti_En_Kucukleme.CallbackAOA := \OuterApprox::BasicAlgorithm\;
  OuterApprox::IterationMax := 10; ! Optional
  solve Mâliyeti_En_Kucukleme;
  if ( Mâliyeti_En_Kucukleme.ProgramStatus <> \Optimal\ ) then return;
endif;”
}
}

```

```

Procedure MainExecution {
  Body: {
    ShowProgressWindow;
    Solve Mâliyeti_En_Kucukleme;
    if ( Mâliyeti_En_Kucukleme.ProgramStatus <> 'Optimal' ) then return; endif;
  }
  Comment: {
    “\”Problem Çözme\”
    Mâliyeti_En_Kucukleme.CallbackAOA := \OuterApprox::BasicAlgorithm\;
    OuterApprox::IterationMax := 10; ! Optional
  }
}

```

```
    solve Mâliyeti_En_Kucukleme;  
    if ( Mâliyeti_En_Kucukleme.ProgramStatus <> 'Optimal' ) then return;  
endif;”  
    }  
}
```

```
Procedure MainTermination {  
    Body: {  
        return 1;  
    }  
}
```



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Erhan Yazıcı

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 01/04/1980 Akçaabat/Trabzon

**E-posta** : erhan.yazici@technoroma.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2002, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1998-2002 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Programı'nda lisans eğitimini 3 yılda (6 yarıyıl) lisans eğitimini tamamladı.
- 2002-2005 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nı "Kobi'lerde Endüstri Mühendisliği ve Uygulama Örnekleri" başlıklı tezi ile tamamladı.

### DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Yazıcı E.**, Baskak M. ve Büyüközkan G. (2012). Uncertainties And Handling Methods In Supply Chain: A Literature Review. *FLINS 2012:10th International FLINS Conference on Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making*, Aug 27-29, 2012 Istanbul, Turkey.

- **Yazıcı E.**, Baskak M. ve Büyüközkan G. (2013). Kuyumculuk sektörü için genişletilmiş MRP modeli. *Proceedings of International IIE Conference & YAEM 2013*, Haziran 26-28, 2013 İstanbul, Turkey.
- **Yazıcı E.**, Baskak M. ve Büyüközkan G. (2013). A Fuzzy Extended MRP model approach for jewelry industry. *The 3rd International Fuzzy Systems Symposium*, October 24-25, 2013 İstanbul, Turkey.
- **Yazıcı E.**, Büyüközkan G. ve Baskak M. (2016). A New Extended MILP MRP Approach to Production Planning and Its Application in the Jewelry Industry, *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

