

Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu

Gamze Öztürk

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İstatistik Anabilim Dalı

Kasım 2021

Closed Loop Supply Chain Optimization with Linear Physical Programming Approach

Gamze Öztürk

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Statistics

November 2021

Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu

Gamze Öztürk

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

İstatistik Anabilim Dalı

Yöneylem Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Hasan Kıvanç Aksoy

Kasım 2021

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Hasan Kıvanç Aksoy danışmanlığında hazırlamış olduğum “Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 26/11/2021

Gamze Öztürk

ÖZET

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) sistemi, ileri ve tersine tedarik akışlarını bütün bir sistem üzerinde görmeyi sağlayarak üretici-müşteri ve müşteri-üretici ilişkilerini bir araya getirmektedir. Son yıllarda KDTZ kavramı çevresel farkındalık, müşteri talebi, tedarik maliyetinden kazanç, satış pazarlarındaki başarı gibi nedenlerle önem kazanmıştır. Bu nedenle birçok firma yeniden imalat, yenileme, geri dönüşüm ve bertaraf konularını içeren KDTZ konusuna odaklanmaya başlamışlardır. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusu incelendiğinde geri dönen ürünlerin miktarı, kalitesi, geri dönüşüm oranı ve tedarik süresi gibi belirsizliklerin yer aldığı görülmektedir. Bu belirsizliklerden yola çıkarak toplam kâr ve geri kazanım oranının maksimizasyonu ve tersine tedarik süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir optimizasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem çok amaçlı programlama modeli olarak ifade edilmektedir. Çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümü için karşılaşılan zorluklardan biri de amaç fonksiyonundaki hedeflerin ağırlıklarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak da karar vericinin tutarsız sonuçlarla karşılaşabilmesidir. Bu noktada Doğrusal Fiziki Programlama yöntemi karar vericilerin tercih aralıklarını belirleyerek hedefler için kriter ağırlıklarını tutarlı bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Bu tezde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri problemi için yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip 3 farklı ürün ele alınmıştır. Uygulaması yapılan çok amaçlı optimizasyon modelinde toplam kâr, tersine tedarik süresi ve geri kazanım oranı kriterleri göz önüne alınarak geri dönen ürünlerin stratejik önem dereceleri Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile belirlenmiş ve bir sonraki üretim periyodu için önem derecelerine göre üretim miktarları hesaplanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre toplam kâr değerinin stratejik önem seviyesinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı görülmüş. Ayrıca, toplam kârı etkileyen geri dönüş miktarı, ürün kullanım süresi, geri kazanım oranı ve talep faktörleri 3 farklı seviyede ele alınarak Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kapalı döngü tedarik zinciri, Doğrusal fiziki programlama, Çok amaçlı programlama, Taguchi yöntemi

SUMMARY

The Closed-Loop Supply Chain (CLSC) system brings together producer-customer and customer-producer relationships, by enabling the forward and reverse supply flows to be seen on a whole system. In recent years, the concept of CLSC has gained importance for reasons such as environmental awareness, customer demand, profit from procurement cost, success in sales markets. For this reason, many companies have started to focus on the CLSC issue, which includes remanufacturing, renovation, recycling and disposal issues. When the topic of Closed-Loop Supply Chain is examined, it is seen that there are uncertainties such as the amount of returned products, quality, recycling rate and lead time. Based on these uncertainties, an optimization problem emerges aimed at maximizing the total profit and recovery rate and minimizing the reverse logistics lead time. This problem is expressed as a multi-objective programming model. One of the difficulties encountered for solving the multi-objective optimization problem is determining the weights of the goals in the objective function and accordingly the decision maker may encounter inconsistent results. At this point, Linear Physical Programming method allow decision makers to calculate the weights of the goals in consistent manner, taking into account their preference ranges.

In this thesis we considered 3 different remanufacturable products with common parts for the Closed-Loop Supply Chain problem. In the applied multi-objective optimization model, the strategic importance degrees of the returned products were determined by the Linear Physical Programming approach taking into account the total profit, reverse logistics lead time and recovery rate of used products criteria. Then production quantities were calculated according to the importance degrees for the next production period. According to the results of numerical application, it was seen that the total profit value played significant role in determining the level of strategic importance. Additionally total profit values were analyzed by Taguchi method by considering the return amount of used products, product life time, product recovery rate and demand factors at 3 different levels.

Keywords: Closed loop supply chain, Linear physical programming, Multi-objective programming, Taguchi method

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri	20
3.1.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ile İlgili Temel Kavramlar	21
3.1.2. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Önemi	22
3.1.3. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri İşlemleri	23
3.2. Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı	25
3.2.1. Doğrusal Fiziki Programlama Adımları	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemi	31
4.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli	35
4.3. Sayısal Analiz	45
5. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ	50
5.1. Modelin Çözümü.....	50
5.2. DFP Yaklaşımı ile Önem Derecelerinin Belirlenmesi	51
5.3. Taguchi Yöntemi.....	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri işlemleri	24
3.2. DFP yaklaşımı için Soft sınıf fonksiyonları	28
4.1. X, Y ve Z ürünleri için parça ve bileşenler: a) X, b) Y, c) Z	32
4.2. KDTZ probleminin ileri ve tersine tedarik akışları	34
4.3. KDTZ problemi için (q) kalite sınıfındaki ürün yüzdeleri	41
5.1. X ürününün toplam kâr değeri için ana etkiler grafiği	62
5.2. Y ürününün toplam kâr değeri için ana etkiler grafiği	62
5.3. Z ürününün toplam kâr değeri için ana etkiler grafiği	63
5.4. X, Y ve Z ürünlerinin f_1 değerlerinin karşılaştırılması	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

2.1. KDTZ konusuna ilişkin literatür özeti	13
3.1. Soft ve Hard durumları için sınıf fonksiyonları	26
4.1. Modelde kullanılan indisler	36
4.2. Karar değişkenleri	37
4.3. Parametreler	38
4.4. X, Y ve Z ürünlerinin i. dönemdeki geri dönüşüm ve geri kazanım oranları	45
4.5. X ürününe ait bileşen maliyetleri	46
4.6. Y ürününe ait bileşen maliyetleri	46
4.7. Z ürününe ait bileşen maliyetleri	47
4.8. KDTZ problemi için geri kazanılan ürün miktarına bağlı talep durumu	48
5.1. X, Y ve Z ürünleri için çok amaçlı programlama modelinin çözümü	50
5.2. Kriter 1'e ilişkin tercih aralıkları ve değerleri	51
5.3. Kriter 2'ye ilişkin tercih aralıkları ve değerleri	52
5.4. Kriter 3'e ilişkin tercih aralıkları ve değerleri	52
5.5. DFP ağırlık algoritmasıyla hesaplanan ağırlıklar	53
5.6. X, Y, Z ürünleri için toplam sapma değerleri	54
5.7. X, Y, Z ürünleri için belirlenen faktör ve seviyeleri	57
5.8. L_9 ortogonal dizisi için faktörler ve seviyeleri	57
5.9. X ürünü için L_9 ortogonal dizimi	58
5.10. Y ürünü için L_9 ortogonal dizimi	59
5.11. Z ürünü için L_9 ortogonal dizimi	59
5.12. X ürünü için deney sonuçları	60
5.13. Y ürünü için deney sonuçları	60
5.14. Z ürünü için deney sonuçları	61
5.15. X, Y ve Z ürünlerinin (f_1) değerleri için optimum çözümü	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

S	Soft sınıf fonksiyonu
H	Hard sınıf fonksiyonu

Kisaltmalar

Açıklama

ABC	Artificial Bee Colony
DHD	De-montaj Hattı Dengeleme
GA	Genetik Algoritma
GABC	Genetic Artificial Bee Colony
GIF	Green Image Factor
GRASP	Greedy Random Adaptive Search Procedure
I&PP	Inventory and Production Planning
KDTZ	Kapalı Döngü Tedarik Zinciri
DFP	Doğrusal Fiziki Programlama
MOEA/D	Ayrıştırmaya Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma
MOSA	Çok Amaçlı Benzetimli Tavlama
M-WHR	Mobile Waste Heat Recovery
PSA	Pareto Benzetimli Tavlama
PSO	Particle Swarm Optimization
QFD	Quality Function Deployment
RFID	Radio Frequency Identification
RSM	Yanıt Yüzey Metodolojisi
SIMP	Solid Isotropic Material
SMEA	Kendi Kendini Düzenleyen Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma
VEGA	Vektör Değerlendirmeli Genetik Algoritma
WHR	Waste Heat Recovery
Yy	Yüzyıl

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Tedarik zinciri, ürünlerin veya hizmetlerin üretim aşamasından tüketiciye ulaşmasına kadar geçen süreç olarak tanımlanmaktadır. Tedarik zincirinde ileri ve tersine olmak üzere iki tip akış bulunmaktadır. İleri tedarik zincirinde akış yönü tedarikçi-müşteri iken tersine tedarik zincirinde bu yön müşteri-üretici şeklindedir. KDTZ, ileri ve tersine tedarik zinciri akışları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkararak geleneksel tedarik zinciri kavramını genişletmektedir (Çalık, 2016). Tedarik zincirinde üreticiden tüketiciye ileri yönlü akış faaliyetleri ayrı ayrı incelenirken Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde ileri ve tersine akış faaliyetleri bir arada ele alınmaktadır.

Günümüz dünyasında doğal kaynakların tükenme endişesi, ekolojik bozukluklar, çevreyi korumaya yönelik yönetmelikler ve hammadde tasarrufu gibi konular işletmeler için KDTZ kavramını üretimin planlanması açısından önemli duruma getirmektedir. Hızla ilerleyen teknoloji, değişen çevre koşulları ve artan rekabet durumu karşısında KDTZ konusuna yönelen araştırmacıların bu alanda yapılmış çalışmalarına bakıldığında; uygun yerlere geri kazanım tesisi açılması, maliyetin düşürülmesi ve taşıma süresinin optimum seviyeye getirilmesi gibi uygulamaların bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda doğru zamanda doğru miktarda yapılan üretimle müşteri taleplerini karşılamayı amaçlamışlardır.

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ileri ve tersine tedarik akışlarını bütün bir sistem üzerinde görmemizi sağlamaktadır. KDTZ ağ yapısı da bu sistemi oluşturan en önemli unsurdur çünkü optimum düzeyde maliyet ve zaman kullanarak işletmeye fayda sağlayacak olan döngü bu ağ yapısında şekillenecektir. Diğer taraftan optimum zamanda KDTZ faaliyetlerinin gerçekleşmesi, müşteri-dağıtıcı arasında geçen tersine tedarik süresinin minimum seviyeye ulaşmasına bağlıdır. KDTZ'deki ağ akışlarına bakıldığında geri dönen ürünlerin miktarı, geri dönüşüm oranı ve tersine tedarik süresi gibi belirsizliklerin yer aldığı görülmektedir. Ayrıca herhangi bir sebeple müşterilerin iade ettiği ürünler birçok parça ve bileşenden elde edilmiş olup bu parçaların hepsinin kullanım süresi ve yeniden kullanılabilirlik düzeyi aynı değildir. Bu sebeple yeniden kullanılabilirlik düzeyinin değerlendirilmesi için de-montaj merkezine gelen ürünlerin parça ve

bileşenlerine ayrılması gerekmektedir. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde geri dönen ürünlerin miktarı, geri dönüşüm oranı ve yeniden kullanılabilirlik düzeyi gibi belirsizliklerden yola çıkarak toplam kâr ve geri kazanım oranının maksimizasyonu ve tersine tedarik süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir optimizasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem çok amaçlı programlama modeli olarak da düşünülebilir. Çok amaçlı programlama problemlerinin çözümü için karşılaşılan zorluklardan biri de amaç fonksiyonundaki hedeflerin ağırlıklarının belirsizliği ve buna bağlı olarak karar vericinin tutarsız sonuçlarla karşılaşabilmesidir. Bu noktada Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yaklaşımı bu probleme alternatif bir çözüm önerisi sunmaktadır. DFP yönteminde ulaşılmaması istenen hedefler 4 farklı sınıf fonksiyonunda kategorize edilerek her bir hedefin tercih aralıkları tanımlanmaktadır. Sonuçta Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı, karar vericilerin tercih aralıklarını belirleyerek hedefler için kriter ağırlıklarını tutarlı bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

KDTZ ile ilgili önceki çalışmalara bakıldığında genellikle toplam kârın maksimizasyonu, taşıma maliyetlerinin minimizasyonu, geri kazanım tesisi için yer seçimi ve tesis açma maliyetlerinin minimizasyonunu amaçlayan karma tamsayılı programlama modellerinin ele alındığı görülmektedir. Fakat KDTZ konusu geniş kapsamlı olup iade edilen ürünlerin hangi oranda geri kazanıma sahip olacağının belirsizliği kurulan modelde yeniden üretilen ürün miktarının belirlenmesini ve talebi karşılama oranının hesaplanmasını güçleştirmektedir. Ayrıca tedarik akışında merkezler arasındaki tersine tedarik süresinin bilinmemesi yeniden üretim aşamalarında ürünün zamanında istenen yere ulaşmaması ve gecikmelerin yaşanmasına sebep olmaktadır.

Bu tezde aşağıdaki problemler ele alınmaktadır:

- Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde geri dönen ürünlerin, tersine tedarik süresinin minimizasyonu, toplam kârın ve geri kazanım oranının maksimizasyonu amaçlanmaktadır.
- KDTZ tedarik akışlarına bakıldığında, müşteri ihtiyaçlarının yeterli miktarda ve tam zamanında karşılanması için kaynakların verimli kullanılması önemlidir. Geri dönen ürünlerin stratejik önem derecelerinin bilinmemesi, sonraki üretim periyotlarında hangi üründen hangi miktarda üretileceğinin belirlenmesinde karar

verme sürecini karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca geri dönen ürünlerin stratejik önem dereceleri toplam kâr, geri kazanım oranı ve tersine tedarik süreleri ile belirlenmektedir. Bu sebeple toplam kâr, tersine tedarik süresi ve geri kazanım oranı kriterleri göz önüne alınarak geri dönen ürünlerin önem derecelerine göre üretim miktarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu tezin amacı; Kapalı Döngü Tedarik Zinciri probleminin çok amaçlı programlama modeli olarak ifade edilebilmesi ve çözüm alternatifi olarak Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımıyla karar vericinin daha tutarlı sonuçlara ulaşmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde mevcut çalışmalardan farklı olarak geri kazanım oranı ve tersine tedarik süresi gibi kritik amaçları da içeren modele yer verilerek geniş kapsamlı inceleme yapılmıştır. Tezde Doğrusal Fiziki Programlama yönteminin kullanılması KDTZ problemindeki tercih aralıklarına göre kriterlerin ağırlıklarını anlamlı bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır.

Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu ile ilgili bu tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ve Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile ilgili literatür araştırması sunulacaktır. Üçüncü bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusu açıklanarak problemde çözüm önerisi olarak kabul edilen Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımına ve uygulama adımlarına yer verilecektir. Dördüncü bölümde problem tanımı ve tersine tedarik süresinin minimizasyonu, toplam kârın ve geri kazanım oranının maksimizasyonunu amaçlayan çok amaçlı programlama modeli sunulacaktır. Modelle ilgili geri dönüşüm oranları, zaman ve maliyet kısıtları sayısal bir örnek üzerinde gösterilecektir. Beşinci bölümde uygulaması yapılan çok amaçlı optimizasyon modelinde geri dönen ürünlerin önem dereceleri Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile belirlenecek ve elde edilen sonuçlar Taguchi yöntemi ile analiz edilecektir. Altıncı bölümde ise uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi ve gelecekte yapılabilecek araştırma çalışmaları ile ilgili öneriler sunulacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Avrupa’da 18. yy’da gelişen Endüstri Devrimi birçok teknik buluşun etkisini arttırarak sanayileşmeye önem veren ülkelere ekonomik güç kazandırmıştır. Sermaye gücüne sahip olanlar ise hammadde ve pazar arayışına yönelmişlerdir. Üretim alanında yaşanan teknolojik gelişmelerle ürün çeşitliliği artmış ve seri üretim yapısını ortaya çıkarmıştır. Seri üretimle beraber hayatımızda tedarik zinciri, lojistik, pazarlama gibi kavramlar yer almıştır. Bugün müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasında en önemli unsurlardan biri iyi bir tedarik zinciri yönetimidir.

İşletmelerin tüm çalışma süreçlerini yakından ilgilendiren “Tedarik Zinciri”, tüm ürün ve hizmetlerin tedarikçiden başlayıp en son aşamada müşteriye ulaşana kadarki süreci; bu yolda yer alan tüm faaliyetleri, insan kaynağını, teknolojiyi, firma yapılarını ve kaynakları kapsayan kavramın adı olarak açıklanabilir (Logo Blog, 2017). Tersine tedarik zincirinde hammaddenin kaynağı son kullanıcı yani müşteridir ve müşteriden üreticiye doğru bir malzeme/enerji akışı vardır. Kapalı döngü tedarik zinciri, ürün ya da hizmetleri üretici-müşteri ve müşteri-üretici akışlarını bir bütün haline getirmektedir. Son yıllarda çevre koruma bilincinin daha fazla hissedilmesi, kaynakların daha verimli kullanılması, israfın önüne geçilerek maliyeti azaltma düşüncesi ve sıfır atık kampanyaları geri kazanım tesislerinin her alanda yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bütün bu sebeplerle beraber müşteri ihtiyaçlarını daha fazla karşılayabilmek, KDTZ ağ yapısındaki belirsizlikleri giderebilmek ve yeniden üretimde ortaya çıkan sorunları çözümlmek için literatürde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri’yle ilgili birçok çalışma mevcuttur. KDTZ alanındaki çeşitli problemlere araştırmacıların önerdiği optimizasyon modelleri aşağıda özetlenmiştir:

Marin ve Pelegrin (1998), geri dönüş tesisi için yerleşim problemini incelemiş, lagrange yöntemine dayalı sezgisel çözüm yöntemine yer vermiştir. Bunun yanı sıra Jayaraman vd. (1999), dağıtım merkezlerinin konumu, geri kazandırılmış ürünlerin optimal miktarlarının aktarılması, üretimi ve stoklanması için aynı anda çözülen 0-1 karma tamsayı problemi sunmuştur.

Kapalı çevrim tedarik zincirlerinin verimli bir şekilde uygulanması, kullanılmış ve geri kazanılan ürünlerin ortaya çıkan akışları için uygun lojistik yapıların kurulmasını

gerektirmektedir (Fleischmann vd., 2001). Bu konu dikkate alındığında, Fleischmann vd. (2001), ürünün geri kazanımı birçok durumda mevcut lojistik yapılarına etkin bir şekilde entegre edilerek lojistik ağını bütüncül bir şekilde yeniden tasarlamak için daha kapsamlı bir yaklaşıma yer vermiştir.

Amaro ve Barbosa-Povoa (2007), Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nin yapısal ve dinamik özelliklerini açıklayarak karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Modelde, iki karar seviyesini dikkate almıştır. İlkinde; tedarik, üretim, paketleme, nakliye ve dağıtım gibi operasyonlara fabrikalar, nakliye filoları, tesisler ve depolar atanarak müşteri talebi karşılanmaktadır. İkincisinde operasyonlarda zaman kavramını hesaba katarak önceki modeli daha ayrıntılı incelenmektedir. Modelin çözümü Dal-Sınır algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Eymen (2007), tedarik zinciri yönetimiyle ilgili kitabında başarı ilkelerine değinmiştir. Bu ilkelerin oluşturulmasında müşteri ihtiyaçlarının karşılanması için hizmet portföylerinin geliştirilmesi, lojistik ağ tasarımında envanter, nakliye gibi faaliyetlerin organizasyonu, pazar işaretleri ile talep tahmini yapmak, ürünleri müşteriye tanıtmak, stratejik yönetimle maliyeti azaltmak, birden fazla karar seviyesi ile malzeme, bilgi, hizmet akışı sunmak, uç kullanıcıya kadar ulaşarak performans ölçütlerini belirlemek gibi seçenekleri kullanmıştır.

Visich vd. (2007), RFID (radio frequency identification) sistemini kullanarak belirsizlik altındaki tersine tedarik zincirini optimize etmek için model önermişlerdir. Modelde, piyasa talebini tahmininin ve gerçek zamanının belirsizliğini iki aşama olarak ele almıştır. Gerekli bilgilerin toplanmasında RFID teknolojisi belirsizliği azaltarak çalışmaya büyük yarar sağlamıştır.

Nakıboğlu (2007), firmalar için tersine lojistiğin önemini vurgulayarak çevreci yaklaşımla daha etkin olabileceğini belirtmiştir. Firmaların tersine lojistiği hayata geçirmesiyle hammadde ve parça maliyetleri azaltılmış, sosyal sorumluluk yerine getirilmiş, rekabet etme gücü arttırılmış, yeni fırsatlar kazanabileceğini göstermiştir. Sürdürülebilir kalkınmada geri kazanımın önemini belirterek dünyadaki tersine lojistik faaliyetlerine değinmiştir.

Demirel ve Gökçen (2008), tedarik zincirinde ileri ve tersine akışları içeren yeniden üretim sistemi için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelde toplama, de-montaj ve dağıtım merkezlerinin yer problemi çözülürken ürünlerin üretim ve taşıma miktarları optimum değere ulaşmıştır. Model bir dizi deneysel veriyle test edilmiştir ve duyarlılık analizi yapılmıştır.

Gupta ve Evans (2008), kapalı döngü tedarik zincirinde artan elektronik atık seviyesi sorununun ele alınmasını ekonomik ve ekolojik yarar olarak düşünmüştür. Sorunu çeşitli bakış açısından inceleyerek hedef programlama modeli geliştirmiştir. Modelde, birçok ürün ve birden fazla alt montaj, parça ve malzeme seviyeleri ile ilgili işlemler mevcuttur. Modelin çözümünde hedeflere önceliklerine göre farklı ağırlıklar verilmiştir.

İyi yönetilen tedarik zinciri yönetimini atık, envanter ve lojistikte önemli tasarruf olarak tanımlayan Kannan vd. (2009), sipariş üzerinden entegre edilen çok kademeli, çok ürünlü kapalı döngü ağ modelini geliştirmişlerdir. Hindistan'ın güney kısmında bulunan plastik eşya üreten bir firmada iki örnek olay için uygulama yapılmıştır. Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli genetik algoritma ile çözülmüştür.

Pishvae ve Torabi (2010), belirsizlik ve risk altında Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağı tasarımı için olasılıklı bir programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada çok amaçlı olasılıklı karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelde ileri ve tersine tedarik zinciri stratejik ağ tasarımına entegre edilmiştir ve taktik malzeme akışına da karar verilmiştir. Karma tamsayılı programlama modelini çözmek için etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Çözüm yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermek için sayısal verilerle deneyler yapılmıştır.

Akçalı ve Çetinkaya (2011), Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde ileri ve tersine tedarik ağını iyi koordine edebilmek için araştırmalar yapmıştır. Karşılaşılan problemlerde KDTZ' de I&PP (inventory and production planning)'in dikkate alınmasını belirterek talep ve geri dönüş süreçlerini stokastik model için incelemeler yapmışlardır.

Canlı ve Aylak (2012), savunma sektöründeki belirsizlik altındaki durumlar için tedarik zinciri yönetimi ile ilgili çalışma yapmıştır. Çalışmada örnek bir firmada analitik

karar metodolojisi uygulanmaktadır. Tedarik süreci oyun teorisi ile ele alınmış ve model Lindo programı ile çözülmüştür.

Çok çeşitli ürünlerin uzun taşıma mesafesi ve süresi gibi etkenlerle hızlı bozulmalar yaşayabileceğini savunan Özceylan (2012), karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş, geliştiren modeli Lindo 6.0 programında örnek veri üzerinde çözümlemiştir.

Son dönemde firmaların klasik üretim planlama tekniğinden farklı olarak orta vadeli planlama faaliyetlerine yöneldiğini söyleyen Subulan vd. (2012), yeniden üretime dikkat çekmişlerdir. Bu kapsamda Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde orta vadeli programlama ile ilgili bulanık karma tamsayı programlama modeli önermiştir. Önerilen model için iki üretim seçeneği, yeni üretilen ürünleri direkt olarak üretim tesislerinde üretmek veya müşteriden toplanan ürünlerin yeniden üretim tesislerinde iyileştirilerek geri kazanılması değerlendirilmiştir. Ayrıca geliştirilen modelde depoların kapasite durumları, toptancı ve perakendeci talepleri, iade ve kabul oranları, haftalık direkt üretim/ geri kazanımla üretim süreleri ve amaç fonksiyonundaki parametreler bulanık olarak hesaplanmıştır. Modelin çözümü ise ILOG OPL Studio 6.3 programı ile yapılmıştır.

Zhang vd. (2012), ürün iadelerini ve yeniden üretimi dikkate aldığında Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde sınırlı kapasitede parti büyüklüğü problemini incelemiştir. Karma tamsayılı doğrusal programlama modelinde, çözüm önerisi olarak Lagrange gevşetmeye dayalı bir yaklaşım sunmuştur. Kaliteli çözüm olduğu düşünülen bu yöntem amaç fonksiyonundaki değerin alt sınırının daha düşük değerde olmasını sağlayabilmiştir.

Amin ve Zhang (2013), birden fazla ürün içeren Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağı tasarısını yapılandırıp belirsizlik altındaki durumları değerlendiren üç aşamalı model geliştirmişlerdir. Yeniden üretim ve yenileme işlemlerinde QFD (quality function deployment) modelini örnek alarak müşteri, parça ve süreç arasındaki ilişkileri analiz edip çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelini bulanık kümeler teorisi yaklaşımıyla ele almışlardır.

Ayvaz ve Bolat (2013), kalite ve miktar belirsizlikleri altında geri dönüşüm ağ tasarımı ile ilgili çalışma sunmuştur. Sınırlı sayıda kapasite ve tesis sayısının olduğu, çok

ürün ve çok aşamanın bulunduğu iki aşamalı stokastik programlama modeli önermiştir. Modelin çözümünde ise örneklem ortalama yakınsaması yaklaşımını kullanmıştır. Önerilen model geri dönüşümlü elektronik atıkların yer aldığı tersine lojistik firmasında uygulanmıştır. Sonuçlar belirsizlikleri ortadan kaldırarak ekonomik açıdan faydalı olmaktadır.

Gu ve Liu (2013), tersine lojistik sisteminde nesnelerin interneti uygulanmasıyla ilgili çalışma yapmışlardır. Negatif ve pozitif lojistiğin sınır noktalarını birbirleriyle birleştirerek Kapalı Döngü Tedarik Zinciri oluşturulmuştur. Sistem, veri madenciliği ile tersine akıştaki talep tahmini değerlerine erişebildiği için iyi bir akış planı oluşturmuştur. Çalışma sonucunda nesnelerin interneti uygulamasının tersine lojistiğe kesin ve zamanındaki bilgi akışıyla yönetime katkı sağladığı ortaya konmuştur.

Özceylan (2013), doktora tezinde de-montaj ve hat dengeleme problemi için Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde ele almıştır. Tez çalışmasında Kapalı Döngü tedarik zinciri ağ tasarım ve De-montaj Hattı Dengeleme (DHD) problemlerinin entegrasyonlarının bulanık ve kesin parametrelerle analiz edilmesi amaçlanmıştır. Kapasite, müşteri talebi, geri dönüşüm oranları, amaç fonksiyonundaki katsayıların belirsizliği doğrultusunda bulanık programlama ile 6 model geliştirilmiştir ve sayısal veriler üzerinde test edilmiştir. Her modelde farklı talep ve farklı geri dönüşümün bulunduğu senaryolar yer almıştır. Geliştirilen modeller GAMS paket programı ile çözülmüştür.

Özmen (2013), yaptığı doktora tezinde KDTZ'nin cep telefonu sektöründe örnek bir uygulamasına yer vermiştir. Cep telefonlarının geri kazandırılıp yeni ürün olarak piyasaya sunulmasını amaçlayan çalışmada karma tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Öncelikle toplama/dağıtım merkezleri, distribütörler, geri dönüşüm tesisleri, atık bertaraf tesisleri, e-perakendeciler, toplu iş merkezileri, perakende zincirleri yarı mamul üreticileri ve servis noktalarının bulunduğu sistem tasarımı geliştirilmiştir. Deterministik, birden fazla ürün ve parçadan oluşan kapasiteli modelde müşteri satışlarından elde edilen kârın maksimizasyonu amaçlanmıştır. Model, örnek veriler üzerinde GAMS-CPLEX programları ile çözülmüştür. Sonuç olarak toplama, dağıtım ve yeniden üretim tesislerinin hangisinin açılıp açılmayacağına karar verilmiş ve sonuçların güvenilirliğini sağlamak için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Wei ve Zhao (2013), üretici, perakendeci ve üçüncü tarafın bulunduğu Kapalı Döngü Tedarik Zinciri modeli geliştirmişlerdir. Tüketici talebini, iade edilmiş ürünün toplama maliyetini ve ürünlerin yeniden üretim maliyetlerini bulanıkla ilişkilendirmiştir. Tersine tedarik zincirinde doğrudan müşteriyle, perakendeciye yaptırılarak ve sözleşme ile kullanılmış ürünlerin toplanması için üç çeşit yöntemi düşünülmüştür. Model, oyun teorisi ve bulanık küme teorisi yaklaşımı ile çözülmüştür.

Devika vd. (2014), KDTZ ağında sürdürülebilirlik için ekonomik ve çevresel etkilere bir arada bakarak çok amaçlı karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Problemin çözümünde rekabetçi algoritma ve değişken komşuluk aramasına dayanan üç hibrit meta-sezgisel yöntem geliştirmiştir. Sonuçların verimliliği için cam endüstrisinde bir vaka analizi yapılmıştır.

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı'nda çok ürünlü ve kapasiteli karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştiren Kaya (2014), talep ve geri kazanım işlemlerinden elde edilen kârın maksimizasyonunu hedeflemiştir. Bu kapsamda tesis açma/kapatma, akış miktarı gibi problemleri stratejik ve taktik seviyede ele almıştır.

Zeballos vd. (2014), Hammadde miktarında belirsiz seviyelerle 10 katmanlı bir ağ (5 ileri artı 5 ters akış) olarak yapılandırılmış çok dönemli, çok ürünlü kapalı döngü tedarik zincirinde (KDTZ'ler) malzeme tedarikleri ve müşteri taleplerini ele almak için bir tasarım ve planlama yaklaşımı önermiştir. Farklı ulaştırma modlarının operasyonel ve çevresel maliyetleri ile üretim, dağıtım ve depolamaya ilişkin kapasite limitleri gibi çeşitli gerçekçi tedarik zinciri gereksinimleri dikkate alındığı bu çalışmada beklenen maliyet en aza indirilmiştir.

Chen vd. (2015), atık olarak çevreye bırakılan kartuşların geri dönüş oranını ve kârını maksimize etmek için KDTZ modeli önermişlerdir. Geri dönüşümlü üretim için Hong Kong'daki mevcut durumu araştırarak kullanılmış ürünleri kaliteli ve kalitesiz olarak sınıflandırma yapmışlardır. Verileri tamsayılı programlama ile matematiksel olarak ifade ederek optimal çözüm için Genetik Algoritma (GA)'dan yararlanmışlardır.

Das ve Dutta (2015), kullanılmış ürünlerin etkili ve verimli bir şekilde değerlendirilebilmesi için Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağı tasarlamışlardır ve müşterilerin satın alma talebini arttırmak için indirim miktarının optimum seviyeye çekilmesi ve toplam kârı en üst seviyeye çıkarabilmek için matematiksel model oluşturmuşlardır. Çeşitli parametre değerlerini karşılaştırabilmek için duyarlılık analizi yapmışlardır.

Otay (2015), geri dönüşüm oranı, kalitesi ve müşteri talepleri gibi belirsizliklerin yer aldığı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş, modelin çözümünde bulanık kümeden faydalanmış ve GAMS 24.02 CPLEX solver ile çözmüştür.

Saeed ve Seyed (2015), küresel ekolojik hasar, kaynak kıtlığı ve çevre kirliliği gibi ciddi sorunların önüne geçebilmek için Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nin Sistem Dinamiği (SD) simülasyonunu kullanarak örnek bir çalışma yapmıştır. Simülasyon modelinde VENSIM PLE yazılımını kullanmıştır. İlk sonuca bakıldığında sistemde yeterli düzeyde müşteri memnuniyeti ve GIF (green image factor)'in olmadığı görülmüştür. Bu problemi çözmek için yeni bir toplama ve iyileştirme merkezli model sunmuştur. İyileştirilmiş modelde müşteri memnuniyeti artmıştır ve GIF seviyesi yükselerek geri kazanım miktarı artmıştır.

Şişman (2015), yaptığı doktora tez çalışmasında olabirsel doğrusal programlama yöntemi ile kapalı döngü ağı tasarımında kurumsal sosyal sorumluluğun etkisini incelemiştir. Toplam maliyetlerin minimizasyonunu ve tedarik zinciri için sosyal sorumluluğun maksimizasyonunu amaçlayan karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model olabirsel doğrusal programlama yöntemi olan yardımcı eşdeğer modele çevrilmiştir. Modelin çözümünde ϵ -kısıt yöntemi kullanılmıştır. Verimli sonuç alınabildiğini göstermek için beyaz eşya üreten bir firmada uygulaması yapılmıştır. Sonucunda ileri ve tersine yönlü ürün akışları dengelenmiş, uygun görülen yerlere toplama, üretim ve dağıtım merkezleri açılmıştır.

Demirdöğen ve Polater (2016), tedarik zincirindeki risk faktörlerini ve talep tahminini, tedarik zinciri esnekliğini sağlık sektöründe uygulayabilmek ve önemli etkenleri ölçmek için bir ölçme aracı geliştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda ölçeğin Cronbach Alfa ve Kaiser Meyer Olkin katsayısı değerinin sırasıyla 0.908 ve 0.776 olarak

hesaplamıştır. Doğrulayıcı faktör analizi ile ölçek 5 boyutlu ve 23 maddelik son haline ulaşmıştır.

Cui vd. (2017), talepteki belirsizlik ve iade edilen ürünlerin miktarındaki belirsizliği, daha verimli olmasını sağlamak için eş zamanlı olarak değerlendirerek yeni bir GABC (genetic artificial bee colony) algoritması önermiştir. Önerilen GABC modelinde keşif becerisini geliştirmek için genetik algoritmanın (GA) mutasyon ve çapraz geçiş işlemlerini kullanmıştır. GABC algoritmasında optimal parametre değerlerini Taguchi yöntemi ile hesaplamıştır. Önerilen algoritmanın performansının ABC (artificial bee colony) ve genetik algoritmadan (GA) daha iyi bir sonuç verdiği test edilmiştir.

Tersine tedarik zincirinde modüler yapıdaki ürünleri farklı geri kazanım imkânlarını inceleyen Jeihoonian vd. (2017), iki aşamalı bir stokastik karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Tersine tedarik ağındaki kalite düzeylerinin belirsizliğini hesaba katarak taşıma mesafelerinde Öklid bağıntısını kullanmıştır. Stokastik optimizasyon problemi pareto-optimal kesimlerle geliştirilmiş L şekilli algoritma yoluyla çözülmüştür.

Müşteri memnuniyetini arttırmak için önemli bir strateji izleyen Liao (2018), karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmiş ve problemin çözümünde hibrit genetik algoritmadan yararlanmıştır.

Ezici (2019), yaptığı tez çalışmasında tersine lojistik faaliyetleri tekstil sektöründeki firmalara uygulanma durumuna değinmiştir. Yapılan araştırmada, iade ürünlerin dönme nedenlerine, geri kazanım sürecinin işleyişine, geri kazandırılan ürünlerin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Anket ve görüşme tekniği ile nitel ve nicel veriler toplanmıştır. Toplanan veriler SPSS 22 programı ile analiz edilmiştir.

Hajipour vd. (2019), stokastik çok ürünlü kapalı döngü tedarik zincirinde karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli önermiştir. Kapalı döngü tedarik ağında radyo frekansı tanımlama (RFID) sistemi, satış sonrası elde edilen kârı arttırarak ürün kayıplarını ve genel teslim süresini azaltmıştır. Önerilen modeli çözmek için iki meta-sezgisel algoritma geliştirmiştir. GRASP (greedy random adaptive search procedure) ve PSO (particle swarm optimization) olan bu iki algoritma kullanılarak farklı boyutlarda

hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçta, GRASP' ın hem kâr hem zaman açısından PSO' dan daha iyi bir performans göstermiştir.

Kuvvetli ve Erol (2020), üretim rotalama probleminin KDTZ'de ele alındığı bir asimetrik şifreleme algoritması geliştirmiştir. Sıvı yağ üretimi yapan bir firmada uygulamasını yaparak maliyetlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Tang vd. (2020), rekabetçi pazar ortamında Stackelberg oyun çerçevesini, kapalı döngü tedarik zinciri ağı olarak düşünmüştür. Üretici ile perakendeci arasındaki koordine edilmiş kanalda analitik model geliştirmiştir. Kullanılmış ürünlerin toplanmasında bir transfer fiyatı uygulanabileceğinin planı yapılmıştır. Bu çevreci plan sayesinde, tüketicinin yeniden üretilen ürünleri satın alma talebinin arttığı görülmüştür.

Yang vd. (2020), endüstriyel atıkta ısıнын geri kazanımı için çok aşamalı kapalı döngü sistemi geliştirmiştir. Geleneksel WHR (waste heat recovery)'den farklı olarak M-WHR (mobile waste heat recovery) toplama ve dağıtımda maliyete daha duyarlı olduğu örnek bir vaka üzerinden görülmüştür. Sonuçta, üretim planını pazar ihtiyacına göre optimize ederek pareto durum dengesindedir ve üretim maliyeti, atık ürünler en aza indirilebilmiştir.

Tüm bu incelemeler kapsamında Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusuyla ilgili birçok araştırma yapıldığı ve farklı optimizasyon çalışmalarının uygulandığı görülmektedir. Çizelge 2.1'de KDTZ alanında yapılan çalışmaların özellikleri ve kullanılan matematiksel modeller özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. KDTZ konusuna ilişkin literatür özeti

Yazar	Yıl	Çalışmanın Amacı	Yöntem
Marin ve Pelegrin	1998	Geri dönüşüm tesisinin yerleşim yerinin optimizasyonu	Lagrange yöntemine dayalı sezgisel çözüm
Jayaraman vd.	1999	Geri kazandırılmış ürünlerin ve dağıtım merkezlerinin konumunun optimizasyonu	0-1 karma tamsayılı programlama
Fleischmann vd.	2001	Maliyet minimizasyonu	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
Amaro ve Barbosa-Povoa	2007	Depoların yerleşim yerinin ve geri dönüş süresinin optimizasyonu	Dal-Sınır algoritması
Eymen	2007	Tedarik zinciri yönetiminde başarı ilkelerinin tanımlanması	Performans ölçütlerinin belirlenmesi
Visich vd.	2007	Belirsizlik altındaki talep tahmininin ve gerçek zamanın optimizasyonu	RFID sistemi
Nakıboğlu	2007	Tersine lojistiğin uygulanması	Tersine lojistik faaliyetleri
Kannan vd.	2009	Kapalı döngü ağ modelinin geliştirilmesi	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama-Genetik Algoritma
Pishvae ve Torabi	2010	Kapalı döngü ağ tasarım modelinin geliştirilmesi	Bulanık çözüm yaklaşımı
Akçalı ve Çetinkaya	2011	KDTZ’de tedarik ağının koordine edilmesi	Envanter ve Üretim Planlaması (I&PP)
Canlı ve Aplaç	2012	Tedarik zinciri yönetimini belirsizlik altındaki durumlara uygulamak	Oyun Teorisi
Özceylan	2012	Çok çeşitli ürünlerin hızlı bozulmasının minimizasyonu	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli-Lindo 6.0
Subulan vd.	2012	KDTZ’de orta vadeli planlama	ILOG OPL Studio 6.3
Zhang vd.	2012	Kapasite sınırlı parti büyüklüğünün optimizasyonu	Lagrange gevşetmeye dayalı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

Çizelge 2.1. KDTZ konusuna ilişkin literatür özeti (devam)

Yazar	Yıl	Çalışmanın Amacı	Yöntem
Amin ve Zhang	2013	KDTZ’de ağ yapılandırması	Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama modeli-QFD
Ayvaz ve Bolat	2013	Belirsizlik altında geri dönüşüm ağ tasarımı	Örneklem ortalama yakınsaması yaklaşımı
Gu ve Liu	2013	Tersine lojistik sisteminde nesnelerin internetinin uygulanması	Veri madenciliği
Özceylan	2013	Demontaj ve hat dengeleme probleminin çözümü	Bulanık programlama-GAMS
Özmen	2013	Kâr maksimizasyonu	Karma Tamsayılı Programlama-GAMS-CPLEX
Wei ve Zhao	2013	Bulanık tüketici talebinin maksimizasyonu ve maliyetin minimizasyonu	Oyun teorisi ve bulanık küme teorisi yaklaşımı
Devika vd.	2014	KDTZ ‘de sürdürülebilirlik	Rekabetçi algoritma ve üç hibrid meta-sezgisel yöntem
Kaya	2014	Kâr maksimizasyonu	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
Zeballos vd.	2014	Maliyet minimizasyonu	Malzeme tedarikleri ve müşteri taleplerini ele alan tasarım ve planlama yaklaşımı
Chen vd.	2015	Geri dönüşüm oranı ve kâr maksimizasyonu	Karma Tamsayılı Programlama-GA
Das ve Dutta	2015	Ürün indirim miktarının ve kâr optimizasyonu	Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama Modeli
Otay	2015	Karma tamsayılı doğrusal programlama modelinin geliştirilmesi	Bulanık küme ve GAMS 24.02 CPLEX solver
Saeed ve Seyed	2015	Küresel ekolojik hasar, kaynak kıtlığı ve çevre kirliliği gibi ciddi sorunların önüne geçebilmek	Sistem Dinamiği simülasyonu

Çizelge 2.1. KDTZ konusuna ilişkin literatür özeti (devam)

Yazar	Yıl	Çalışmanın Amacı	Yöntem
Şişman	2015	Maliyet minimizasyonu ve sosyal sorumluluğun maksimizasyonu	C-kısıt yöntemi
Demirdöğen ve Polater	2016	Tedarik zincirinde risk faktörlerinin ve talep tahmininin ölçülmesi	Doğrulayıcı faktör analizi
Cui vd.	2017	Talepteki belirsizlik ve iade edilen ürünlerin eş zamanlı değerlendirilmesi	Genetik yapay arı kolonisi (GABC) algoritması
Jeihoonian vd.	2017	Tersine tedarik zincirinde modüler yapıdaki ürünleri farklı geri kazanım imkânlarının incelenmesi	Pareto-optimal kesimlerle geliştirilmiş L şekilli algoritma
Liao	2018	Müşteri memnuniyetinin artırılması	Hibrid genetik algoritma
Ezici	2019	Tekstil sektöründe tersine lojistiğin uygulanması	SPSS 22 programı
Hajipour vd.	2019	Kâr maksimizasyonu ve ürün kaybı ve teslim süresinin minimizasyonu	GRASP ve PSO
Kuvvetli ve Erol	2020	Maliyet minimizasyonu	DH algortması
Tang vd.	2020	Yeniden üretilen ürün talebinin artırılması	Transfer fiyatı uygulanması
Yang vd.	2020	Maliyetin ve atık bertaraf ürünlerin minimizasyonu	Pareto optimal çözüm

2.1. Doğrusal Fiziki Programlama ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yöntemi ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde birçok alanda mevcut uygulamanın olduğu görülmektedir.

Chen vd. (2000), uçak sistem tasarımında, farklı derecelerdeki tasarım performanslarının etkinliğini hesaplamak için Fiziksel Programlama yaklaşımına yönelmişlerdir. Çok amaçlı tasarım problemini çözmede fiziksel programlamanın klasik yöntemlerden daha üstün olduğunu belirten çalışmada konveks ve konkav sınırlar mevcut olup Pareto çözüm değeri ortaya çıkmaktadır.

Hernandez vd. (2001), farklı ürün ailelerinde ürün çeşitliliğini sağlamaya yönelik araştırmalar yapmışlardır. Niteliksel olan ürün platformunun yanı sıra ürünler arasındaki dağıtımı belirleyebilmek için nicel yöntem kullanmışlardır. Birden fazla faktör içeren karar destek probleminde DFP 'ye dayalı model formülasyonu geliştirmişlerdir. Çalışmanın uygulanmasında Chiller ürün ailesi örneğinden yararlanmışlardır.

Patel vd. (2003), mevcut yerel ve global seviyelerin bulunduğu sistem tasarımı için incelemeler yapmışlardır. Uçak endüstrisinde örnek bir uygulamaya yer veren çalışmada alternatif tasarımlar oluşturulmuştur. Maliyet minimizasyonunu amaçlayan modelde çözüm önerisi olarak Fiziksel Programlama yaklaşımı sunulmuştur. Sonuçta yerel ve global optimum değerleri hesaplanmış, farklı uçak tasarımları için senaryolar analiz edilmiştir.

Huang vd. (2005), çok aşamalı düz dişli redüksiyon üniteleri için çok amaçlı optimizasyon modeli önermişlerdir. Hacmin minimizasyonu ve yüzey ömrünün maksimizasyonunu hedefleyen model çözme için etkileşimli fiziksel programlama yöntemi kullanılmıştır. DFP yöntemi ile sınıf fonksiyonlarına ulaşılması istenen hedeflerdeki tercih sapmaları eklenmiştir ve optimal çözüm elde edilmiştir.

McAllister vd. (2005), çok amaçlı tasarım optimizasyonu için kendi aralarında çelişen hedefleri formalize edebilmek için DFP yaklaşımına yönelmişlerdir. Birim ve alt birimlerden oluşan fonksiyonel sistemde hedef programlama ile iş birliği içinde çalışan DFP yaklaşımının yarış arabası örneğinin üzerinde uygulaması yapılmıştır. Tur süresinin ve alt sistemdeki tekerlek kuvvetinin minimizasyonunu ve ağırlık dağılımının maksimizasyonu hedefleyen model DFP yöntemi ile analiz edilerek çözülmüştür.

Lai vd. (2006), ürün tasarım sürecinde müşteri memnuniyetini arttırmak için QFD (quality function deployment) optimizasyonunu ele almışlardır. Optimizasyon modelinde süre, maliyet, insan kaynağı gibi birçok kısıtlama mevcut olup hedeflerin önem dereceleri bilinmemektedir. Sayısal bir örnek üzerinden uygulaması yapılan çalışmada, DFP yöntemi ile her bir hedef için ağırlık katsayıları hesaplanarak önem düzeyleri belirlenmiştir.

Tian ve Zuo (2006), seri-paralel sistemlerdeki artıkları ayırmak için çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Maliyet ve ağırlığın minimizasyonunu, sistem performansının maksimizasyonunu amaçlayan modelde Fiziksel Programlama tekniğinden yararlanılmıştır. DFP ile ulaşılması istenen hedeflerin ağırlıkları hesaplanmış, Genetik algoritma ile model çözülmüştür.

Imtavanich ve Gupta (2007), sipariş üzerinden sökme planı oluşturmada maliyetleri düşürerek kârın maksimizasyonunu ve parça söküm süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir optimizasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Karmaşık yapıdaki problemi çözmek için DFP algoritması ve Genetik Algoritma teknikleri kullanılmıştır. Uygulama, sayısal bir örnek üzerinden desteklenerek analiz edilmiştir.

Kovach vd. (2008), sağlık sektörü üzerine üretim yapan şirketin sağlam tasarım modeline yönelik araştırmalar yapmıştır. Çok sayıda kalite özelliklerini değerlendirmek ve müşterilerin istedikleri doğru tasarım tercihinin belirleyebilmek gibi sorunlar karşısında Fiziksel Programlama ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Tasarımcılar için yanıt yüzey metodolojisini (RSM) ve deneysel tasarımı entegre ederek sayısal örnek üzerinden uygulaması ve duyarlılık analizi yapılmıştır.

Gülsün vd. (2009), üretim planlaması ile ilgili çok amaçlı model önermişlerdir. Maliyet ve işe alma/ işten çıkarma gibi kararların işgücüne etkisinin minimizasyonunu amaçlayan model DFP ile çözülmüştür. Çalışma için altı farklı üretim planı oluşturulmuş ve talep tahminine göre analiz edilmiştir. Çözüm sonucunda altı stratejik üretim planı arasından en uygun olanı seçilmiştir.

Konger ve Gupta (2009), kullanım ömrü sonlanmış elektronik ürünler için sipariş talebine göre söküm sistemini geliştirmişlerdir. Yeniden üretilen ürünleri müşterilere iletim süreci boyunca çeşitli gelir ve maliyet içeren işlemler modelde ifade edilmiştir. DFP algoritması ile modeldeki nitel veya nicel olan hedef değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca çevresel zarar en aza indirilip müşteri memnuniyeti üst düzeye çıkarılmıştır.

Kongsuwan ve Sangmun (2009), bilgi güvenliği sistemi için fiziksel programlamadan yararlanmışlardır. Kaynak kısıtları ve geliştirme maliyetleri sistem kalitesini etkilediğinden, çok kriterli problem olarak ele alınmıştır. Problemi çözmek için sabit bütçe üzerinden Fiziksel Programlama algoritması kullanılmıştır ve örnek bir vaka üzerinde uygulanmıştır.

Kumar vd. (2009), üretici ve tüketici arasındaki güvenilirlik ve kalite sorunlarına eğilerek ürün ihtiyacını giderilmesinde, çeşitli parametrelerin optimum değerlerine ulaşmasıyla sağlanabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle çok amaçlı optimizasyon problemini Fiziksel Programlama ve Birleşik analiz tabanlı artıklık tahsis modeli kullanarak formülasyon ile ifade etmiştir. Sistemdeki faydanın maksimizasyonu ve maliyet, ağırlık ve hacim değerlerinin minimizasyonu gibi ulaşılması istenen hedefler Fiziksel Programlamadaki sınıf fonksiyonlarında gösterilmiştir.

Lin vd. (2010), topoloji optimizasyonu için çok amaçlı mekanizmada SIMP (solid isotropic material) ve Fiziksel Programlama yaklaşımlarını ele almışlardır. Çalışmada SIMP ile uyumluluk, esneklik ve sağlamlılık gibi kriterler çok amaçlı optimizasyona dahil edilmiştir. Fiziksel Programlama ile tasarım hedefleri amaç fonksiyonunda matematiksel olarak gösterilmiş ve hedef değerleri hesaplanmıştır.

Li vd. (2011), sistem ve alt sistemden oluşan çok amaçlı optimizasyon yapısı için Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Bir mühendislik tasarımında uygulanması öngörülen optimizasyon modelinde alt sistem için genetik algoritma kullanılmıştır ve farklı fiziksel hedeflerin öncelik seviyeleri DFP ile hesaplanmıştır.

Önüt vd. (2011), enerji kaynakları konusunda araştırmalar yaparak çok amaçlı optimizasyon problemini DFP tekniğini kullanarak model oluşturmuştur. Çalışmada yer alan elektrik, LPG, linyit, doğal gaz, taşkömürü gibi enerji kaynakları incelendiğinde kaynak kıtlığı olan sistemin verimliliği, minimum maliyet, fiyat dalgalanması riskinin minimizasyonu, piyasaya enerji emisyonunun maksimizasyonu gibi hedefler üzerinden farklı senaryolar türetilmiştir. Hedeflerin ağırlıkları DFP ile hesaplanmıştır.

İlgın vd. (2015), bir hastanede personel seçim problemi için Doğrusal Fiziki Programlama yöntemini kullanmışlardır. Personel seçim sürecinde, karar vericiler tarafından farklı kriterler belirlenmiş, kriterlerin ağırlıkları ise DFP algoritması ile önem derecelerine göre hesaplanmıştır. Sonuçta, DFP modeli çözüldüğünde hedef sapması en küçük seçenek belirlenmiştir ve personel seçimi için önerilmiştir.

Li vd. (2016), çok amaçlı optimizasyon probleminde DFP yaklaşımını kullanmışlardır. Optimizasyon yapısı iki seviyeli olup, uyumluluk ve uyumsuzluk fonksiyonlar mevcuttur. Uyumsuzluk fonksiyonundaki ağırlıklar, DFP yöntemi ile hesaplanmıştır. Problemin daha iyi anlaşılabilmesi için bir mühendislik örneğine yer verilmiştir.

Yatsuka vd. (2019), araba tasarım problemini, karar vericiler için çok amaçlı matematiksel model olarak ele almışlardır. DFP ile optimizasyon modeli çözüldüğünde tesis, lojistik depoları ve perakende mağazaları için hedeflenen üretim ve taşıma miktarları hesaplanmıştır.

Yatsuka vd. (2020), DFP yöntemini kullanarak merkezi olmayan tedarik zinciri için CRE (common replenishment epochs) stratejisine dayalı çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada satıcı ve alıcının memnuniyetine göre ürünlerin kısıtlamaları ve indirim oranları düzenlenmiştir. Çok amaçlı optimizasyon modelinde DFP yöntemi ile amaç fonksiyonlarının tercih aralıklarını kullanarak ağırlık katsayıları hesaplanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri problemi için ilk önce yapılması gereken KDTZ ağını oluşturmak olmalıdır. Bu ağda; tedarikçiden-müşteriye, müşteriden-üreticiye olan döngü sisteminde üretim merkezi, depolar, toplama merkezleri, ayrıştırma merkezi, de-montaj merkezi, iyileştirme merkezi, atık bertaraf merkezi açık ve net bir şekilde gösterilmelidir. Bu ağ döngüsünde ileri ve tersine akışları belirledikten sonra birimler arasındaki tedarik süresi, yeniden kullanılabilirlik düzeyi, maliyet ve satış gelirlerine bakılarak ürünlerin maksimum kâr, geri kazanım oranı ve minimum tersine tedarik süresi üzerinden amaç fonksiyonu ifade edilecektir. Bu problem çok amaçlı programlama modeli olup öngörülen çözüm yöntemi ise amaç fonksiyonundaki kriterlerin DFP yaklaşımı ile ağırlıklarının belirlenmesidir. Ağırlık katsayıları hesaplanan kriter değerlerine sahip optimizasyon probleminin çözümü sonucunda tutarlı sonuca ulaşılabilecektir.

Bu bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'yle ilgili temel kavramlara, konunun önemine, temel işlemlerine yer verilip KDTZ probleminin çözümünde kullanılacak Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı sunulacaktır.

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, tedarikçiden ya da üreticiden hammaddenin alınmasıyla işlenip ürün/hizmet haline getirilerek müşteri ya da son kullanıcıya ulaşması, müşterinin ya da son kullanıcının iade ettiği ürün ya da bileşenleri iyileştirme ile geri kazanarak tekrar piyasaya sunulmasına kadar geçen sürecin tamamıdır.

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri kavramı ilk olarak Thierry vd. tarafından 1995 yılında yapılan “ürün geri kazanımı ile ilgili stratejik konular” isimli çalışmada “bütünleşik sistemler” olarak ifade edilmiştir. Ürün geri kazanımının ekonomik ve çevresel açıdan değer ifade ettiği ve önem kazanmaya başladığı süreçte ortaya çıkan bir kavramdır (Özmen, 2013).

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'ni farklı alanlarda çalışan kişiler, farklı şekilde tanımlayabilmektedir. Örneğin bir işletmeci tarafından “Hammadde ve yardımcı bileşen maliyetinden tasarruf etmeyi sağlayan, satış kârını arttırmaya yönelik geliştirilen sistem” olarak çevre dostu üretime yönelen kişilerce “Doğadaki atık birikiminin dolayısı ile CO₂ ve zararlı gazların çevreye yayılımının azaltılmasıyla temiz bir doğanın oluşması sistemi, lojistik üzerine kurulmuş firmalar için “Dağıtıcı-müşteri, müşteri-toplama merkezi arasındaki tedarik süresinin en aza indirilmesini yani zamandan kâr elde edilmesini sağlayan döngü sistemi”, bazı gruplar için “düşük stokla yüksek verimlilik elde elden sistem”, bazı gruplar için de “müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasında rol oynayan faaliyetlerin dinamik bir yapıda görülmesi” olarak tanımlanabilmektedir.

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri yönetimi genel olarak ürünün ya da hizmetin oluşturulmasını ve kullanım ömrü tükenmiş ürün ya da bileşenlerin tedarik ağına dahil edilmesiyle ilgili tüm süreçlerin verimli bir şekilde uygulanması olarak ifade edilebilir.

3.1.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ile İlgili Temel Kavramlar

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri incelendiğinde birçok farklı kavram karşımıza çıkmaktadır ve sistemin hem etkili hem de düzenli bir şekilde işlenebilmesi için bu kavramlar hakkında bilgi sahibi olunması gereklidir. Konuyla ilgili kavramlar aşağıda verilmiştir.

Tedarikçi: Bir ürün veya hizmetin oluşturulmasında gerekli olan hammaddenin, yardımcı bileşenin yani tüm girdilerin temin edildiği üreticilerdir.

Fabrika: Hammadde ve işlenmemiş bileşenleri insan ya da makine gücü ile bir araya getirerek piyasa satışına hazır duruma sokan sanayi yapıları/kuruluşlarıdır.

Tüketim: Ürün ya da hizmetin insanların ihtiyaç ve isteklerini karşılayacak biçimde harcanması/kullanılmasıdır.

Dağıtım: Üretimi tamamlanmış doğru miktardaki ürünlerin uygun zaman içinde talep edilen yerlere ulaştırılması olarak ifade edilebilir.

Toplama: Müşteri veya son kullanıcılar tarafından herhangi bir nedenle iade edilen ürünlerin toplama merkezlerine taşınması işlemidir.

Ayrıştırma: Geri kazanım tesislerinde ürünlerin ve parçaların niteliklerine veya kullanım durumlarına göre sınıflama yapılması işlemidir.

Stok: İşletmelerin kesintisiz üretim yapmasını sağlayan ve elde bulundurulanan hammadde ve bileşenlerin tümüdür.

Planlama: Mevcut verilerden yararlanarak üretim süreci içindeki maliyet, miktar ve zamanı dikkate alarak hangi faaliyetlerin nasıl olacağının belirlenmesidir.

Geri Dönüşüm: İyileştirme ve yenileme işlemleriyle geri kazandırılacak atıkların tedarik zincirine dahil edilmesidir.

Maliyet: Bir mamulün ortaya çıkması için harcanan emek, sermaye gibi girdilerin parasal olarak değeridir.

Bilgi akışı: Tedarik zincirindeki ürünle ilgili sipariş, maliyet, zaman, stok ve teslimat gibi bilgilerin ileri ve tersine yönünde gerekli merkezlere taşınmasıdır.

3.1.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nin Önemi

Üretici-tüketici arasındaki bilgi ve finans akışı, sürekli iyileşen ve gelişen işletmeler için sürdürülebilir kalkınmada yol gösterici olmuştur. Ürün veya hizmetin en verimli şekilde kullanılması hem bilgi hem de finans akışının ileri ve tersine yönlü ilerlemesiyle yani Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nin uygulanmasıyla mümkün olacaktır.

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri yeniden üretimi ve tersine lojistiği bütünleştiren, ortak sosyal sorumlulukların büyüyen taleplerini ve ekonomik ömrü süresince öz kaynak yoğunluğunu azaltma gibi daha geniş sosyal amaçları karşılamak için işletmelere imkân sağlayan önemli bir yapıdır. Kapalı döngü toplum, işletme ve çevre arasındaki üçlü ağın kurulmasında işletmeye imkân sağlar (Torğul, 2015).

Teknolojik faaliyetlerin ilerlemesi, elektronik ürünler üreten firmalara büyük yarar sağlasa da belirli bir kullanım ömrü olan ürünler zaman içinde atık olarak çevreye karışıp zarar verecektir. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, iade edilen ürünleri çevreye direkt olarak karışmasından önce değerlendirilebilecek hammadde ve bileşenleri toplayıp üretim ağına dâhil etmektedir. KDTZ, ürün üzerinden kazanılan hammadde ve bileşenlerle israf edilmesini önleyerek üretkenlik ve verimlilik seviyesini yükseltecektir. Ayrıca çevreye

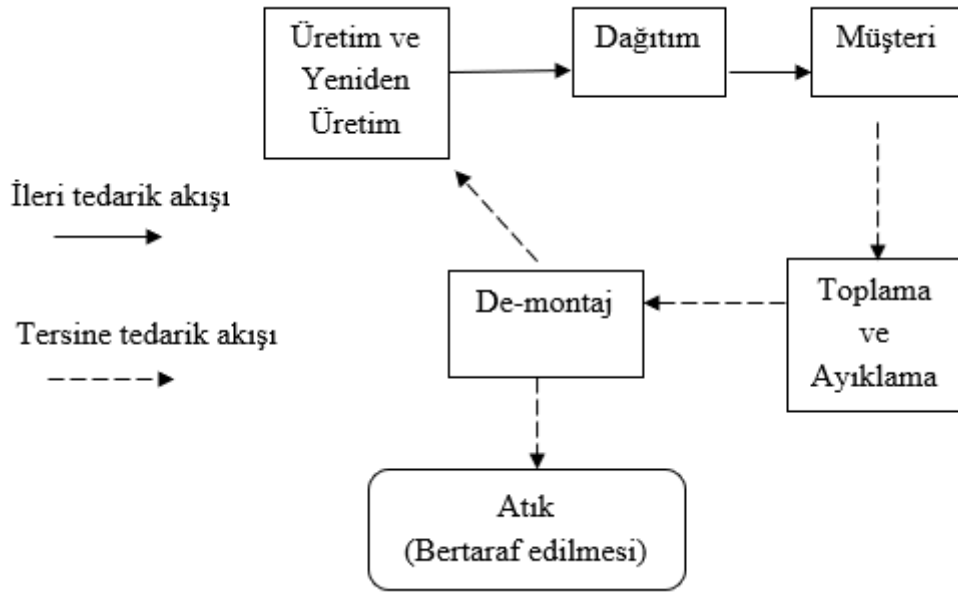
verilen zararın azaltılması, gelecek nesillere sağlıklı ve temiz bir dünya emanet etmek tüm bireylerin sorumluluğu olduğundan KDTZ bu açıdan önemli rol oynamaktadır.

Bilgisayarlar, tabletler, telefonlar, televizyonlar, beyaz eşyalar, fotokopi makinası vb. ürünler elektronik atık kapsamında düşünülebilir ve KDTZ, bu ürünlerin ortaya çıkmasında payı olan tasarımcılar, mühendisler, programcılar ve yöneticiler için alternatif seçenekler oluşturabilir. Diğer bir yandan müşteri taleplerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan ve kalite kontrol departmanlarının işini kolaylaştıracak tedarik yapısı uygun standartlarda kaliteli ve uzun ömürlü ürünler üretilmesini, iade edilen ürün sayısının azaltılmasını, müşteri memnuniyetinin artmasına katkısı olacaktır.

Son zamanlarda ortaya çıkan ürün satış kampanyaları, eski ürün modelini iade edip yeni ürün modeline daha indirimli fiyata sahip olma şeklinde müşteriye sunulup özellikle bu durum elektronik ürün alanında daha da yoğun ilgi görmektedir. Bu sebeple üretici firmalar, müşteri veya son kullanıcıların en çok talep ettikleri ürün modellerini belirleyip bu ürünlere yeni tasarımlar ekleyerek veya teknik özellikleri daha ileri bir seviyeye taşıyarak pazara sunmaktadır. Ayrıca üretici firmalar müşterilerin iade ettiği ürünleri değerlendirip kullanılabilir parça veya bileşenlerini üreteceği yeni ürünlerde de kullanarak tedarikçiden parça veya bileşen satın alma maliyetinden de tasarruf etmektedir. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri bu şekilde üretim yapan firmaların satış rakamlarını arttırırken tedarikçiden parça veya bileşen satın alma maliyetinden de tasarruf etme olanağı sunmaktadır.

3.1.3. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri İşlemleri

Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde ileri tedarik akışında üretim ve dağıtım işlemleri vardır ve sürecin tamamlanmasıyla ürün son kullanıcı yani müşteriye ulaştırılır. Tersine tedarik akışı iade edilen ürünlerin toplanmasıyla başlar, ayıklama ve de-montaj işlemleri sonrasında ürünler parça ve bileşenlerine ayrılarak yeniden üretime gönderilir. Geri kazanıma uğrayan parça ve bileşenler ürün haline getirilerek tekrar dağıtım bölümüne gönderilir. Değerlendirilmeye uygun görülmeyen parça ya da bileşenler ise atık bölümünde imha edilmektedir. Şekil 3.1' de bu sürecin şekilsel ifadesi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri işlemleri

Kapalı Döngü Tedarik ağındaki işlemler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

Üretim: Tedarikçiden alınan hammadde ve malzemelerin gerekli araç ve gereçlerle işlenip bir bütün haline getirilmesidir. Sistemin başlangıç merkezi bu kısımdır, girdi maliyetleri ve işleme maliyetleri üretim kısmında tanımlanır. Kalite kontrol faaliyetleri sonrası ürünler dağıtım birimine gönderilir.

Dağıtım: Gerekli işlemlerden geçmiş, test ve analiz kontrolleri tamamlanmış ürünler mevcuttur. Ürünle ilgili veriler girilerek paketleme işlemleri yapılır. Daha sonra lojistik araçlarla ürünler son kullanıcıya yani müşteriye gönderilir.

Toplama: Son kullanıcı ya da müşteriler herhangi bir nedenle iade etmek istediği ürünlerin geri dönüşüm toplama merkezine ulaştırılması işlemidir. Parça ya da bileşenleri yeniden üretime kazandırabilmek için stratejik noktalara toplama merkezlerinin kurulması önemlidir.

Ayıklama: Farklı konumdaki toplama merkezlerinden toplanan ürünler ayıklama işlemi ile kalitesine ve kullanım süresine göre ayrıştırılır. Ayrıştırılan ürünler de-montaj işleminin yapılması için de-montaj merkezine gönderilir. Bu işlem sırasında ayrıştırma

maliyeti ortaya çıkacaktır. Ayırıştırma maliyetinin minimum olması sürecin daha optimum seviyeye ulaşmasını sağlayacaktır.

De-montaj: Ayıklama işlemi tamamlanan ürünler de-montaj merkezinde analiz edilir. Geri kazanılabilir durumdaki parça veya bileşenler yeniden üretime gönderilir. İyileştirme ile geri kazandırılmayacak durumdaki parça ya da bileşenler atık bölümüne gönderilerek çevreye zarar verilmeden bertaraf edilmektedir.

Yeniden Üretim: Uygun durumdaki parça ya da bileşenler iyileştirme işlemi ile yeniden kullanıma hazır hâle getirilmiş olacaktır. Yeniden üretim süreci tamamlanan ürünler dağıtım birimine iletilerek satış noktalarına ulaştırılacaktır. Yeniden üretim işlemi sırasında iyileştirme ve taşıma maliyetleri ortaya çıkmaktadır ve sürecin verimliliği için minimum iyileştirme ve taşıma maliyetlerinin olması ve taşıma süresinin en kısa olması önemlidir.

Atık/Bertaraf Edilmesi: Kapalı Döngü tedarik yapısında parça ya da bileşenlerin en üst düzeyde geri dönüştürülerek üretime kazandırılması istense de mutlaka kullanılabilirlik ve kalite oranı çok düşük parça ya da bileşen olacaktır. Bu durumda yapılması gereken mevcut parça ya da bileşenlerin çevreye ve doğal kaynaklara zarar verilmeden bertaraf edilmesi ve ortaya çıkan enerjiden tasarruf edebilmektir. Birçok endüstriyel üründe patlayıcı, kimyasal, zararlı toksin ve zararlı gaz bulunduğundan dolayı atıkların yok edilmesi zor bir işlemdir. Çevreye olan duyarlılığın artmasıyla geri dönüşüm projelerinin geliştirilmesi bu işlemi yaygınlaştıran en büyük etken olmuştur.

3.2. Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde birçok alternatif yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlar arasında; VEGA (Vektör Değerlendirmeli Genetik Algoritma), SMEA (Kendi Kendini Düzenleyen Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma), MOEA/D (Ayırıştırmaya Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma), PSA (Pareto Benzetimli Tavlama), MOSA (Çok Amaçlı Benzetimli Tavlama), Hedef Programlama, Dinamik Programlama ve Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yaklaşımları mevcuttur.

Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yaklaşımı çok amaçlı optimizasyon probleminde karar vericiye ulaşılması istenen hedefler için kriter ağırlıklarını tutarlı bir şekilde hesaplamaktadır. Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımında her kriter için Soft ve Hard durumunda 4 farklı sınıf fonksiyonu bulunmaktadır. Soft ve Hard durumları için sınıf fonksiyonları Çizelge 3.1’de verilmiştir:

Çizelge 3.1. Soft ve Hard durumları için sınıf fonksiyonları

Soft durum için sınıf fonksiyonları		Hard durum için sınıf fonksiyonları	
1S	Küçük olan daha iyi (min)	1H	Daha küçük olmalı
2S	Büyük olan daha iyi (max)	2H	Daha büyük olmalı
3S	Değer daha iyi	3H	Eşit olmalı
4S	Aralık daha iyi	4H	Aralık içinde olmalı

DFP’ da Soft sınıf fonksiyonları ve karar verici için tercih aralıkları Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Imtavanich ve Gupta, 2006). Bu grafiklerde yatay eksenindeki $g_u(x)$ kriterler için tercih aralıklarını, dikey ekseninde yer alan $z_u(x)$ ise minimize edilmesi istenen sınıf fonksiyonunu ifade etmektedir. Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi her sınıf fonksiyonunun ideal değeri 0’dır yani sınıf fonksiyonunun en küçük değerler alması beklenir. Tercih aralıkları u’uncu kritere ilişkin değerleri kategorize etmektedir. Bu tercih aralıkları ideal, istenen, tolere edilebilir, istenmeyen, hiç istenmeyen ve kabul edilemez olarak tanımlanıp 1S, 2S, 3S, 4S sınıf fonksiyonları için aşağıda verilmiştir:

1S sınıf fonksiyonu için

$$g_u \geq t_{u5}^+ \text{ (kabul edilemez aralık)}$$

$$t_{u4}^+ \leq g_u \leq t_{u5}^+ \text{ (hiç istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u3}^+ \leq g_u \leq t_{u4}^+ \text{ (istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u2}^+ \leq g_u \leq t_{u3}^+ \text{ (tolere edilebilir aralık)}$$

$$t_{u1}^+ \leq g_u \leq t_{u2}^+ \text{ (istenen aralık)}$$

$$g_u \leq t_{u1}^+ \text{ (ideal aralık)}$$

2S sınıf fonksiyonu için

$$g_u \leq t_{u5}^- \text{ (kabul edilemez aralık)}$$

$$t_{u5}^- \leq g_u \leq t_{u4}^- \text{ (hiç istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u4}^- \leq g_u \leq t_{u3}^- \text{ (istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u3}^- \leq g_u \leq t_{u2}^- \text{ (tolere edilebilir aralık)}$$

$$t_{u2}^- \leq g_u \leq t_{u1}^- \text{ (istenen aralık)}$$

$$G_u \geq t_{u1}^- \text{ (ideal aralık)}$$

3S sınıf fonksiyonu için

$$g_u \leq t_{u5}^- \text{ \& } g_u \geq t_{u5}^+ \text{ (kabul edilemez aralık)}$$

$$t_{u5}^- \leq g_u \leq t_{u4}^- \text{ \& } t_{u4}^+ \leq g_u \leq t_{u5}^+ \text{ (hiç istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u4}^- \leq g_u \leq t_{u3}^- \text{ \& } t_{u3}^+ \leq g_u \leq t_{u4}^+ \text{ (istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u3}^- \leq g_u \leq t_{u2}^- \text{ \& } t_{u2}^+ \leq g_u \leq t_{u3}^+ \text{ (tolere edilebilir aralık)}$$

$$t_{u2}^- \leq g_u \leq t_{u1}^- \text{ \& } t_{u1}^+ \leq g_u \leq t_{u2}^+ \text{ (istenen aralık)}$$

$$g_u = t_{u1} \text{ (ideal değer)}$$

4S sınıf fonksiyonu için

$$g_u \leq t_{u5}^- \text{ \& } g_u \geq t_{u5}^+ \text{ (kabul edilemez aralık)}$$

$$t_{u5}^- \leq g_u \leq t_{u4}^- \text{ \& } t_{u4}^+ \leq g_u \leq t_{u5}^+ \text{ (hiç istenmeyen aralık)}$$

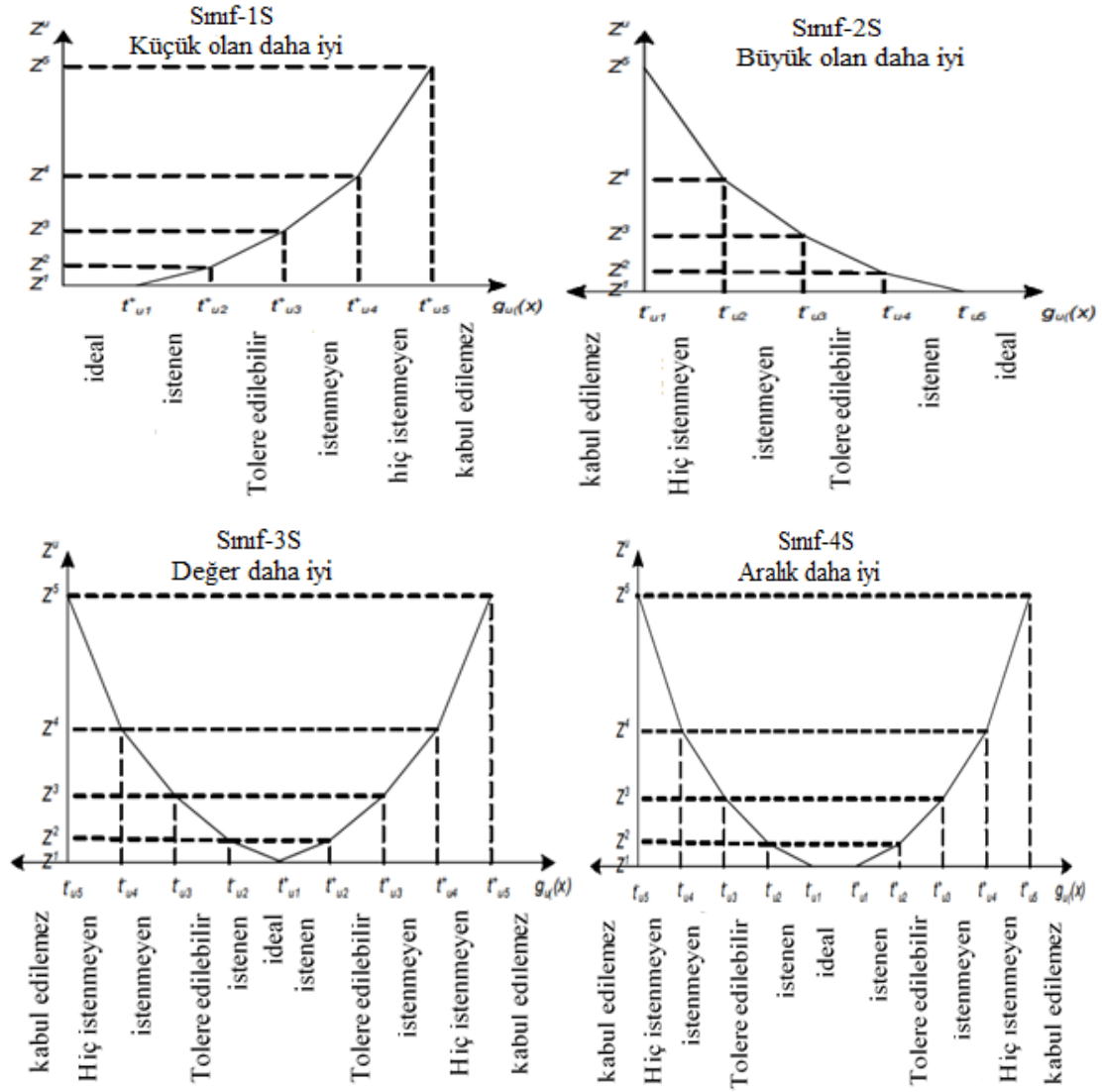
$$t_{u4}^- \leq g_u \leq t_{u3}^- \text{ \& } t_{u3}^+ \leq g_u \leq t_{u4}^+ \text{ (istenmeyen aralık)}$$

$$t_{u3}^- \leq g_u \leq t_{u2}^- \text{ \& } t_{u2}^+ \leq g_u \leq t_{u3}^+ \text{ (tolere edilebilir aralık)}$$

$$t_{u2}^- \leq g_u \leq t_{u1}^- \text{ \& } t_{u1}^+ \leq g_u \leq t_{u2}^+ \text{ (istenen aralık)}$$

$$t_{u1}^- \leq g_u \leq t_{u1}^+ \text{ (ideal aralık)}$$

Karar verici u'uncu kriter için t_{u5}^- 'den t_{u5}^+ 'e kadar bütün tercih değerlerini belirlemektedir. Örneğin 1S sınıfı için değerlendirilen kriter “maliyet” ve t_{u1}^+ 'den t_{u5}^+ 'e kadar olan tercih değerleri de sırasıyla 5000\$, 10000\$, 15000\$, 20000\$ ve 25000\$ olarak tanımlanırsa maliyet tutarı 3965\$ olan alternatif seçenek ideal aralıktadır, maliyet tutarı 7000\$ olan alternatif seçenek istenen aralıktadır, maliyet tutarı 13986\$ olan alternatif seçenek tolere edilebilir aralıktadır, maliyet tutarı 18750\$ olan seçenek istenmeyen aralıktadır, maliyet tutarı 22500\$ olan alternatif seçenek hiç istenmeyen aralıktadır ve maliyet tutarı 30000\$ olan alternatif seçenek ise kabul edilemez aralıktadır.



Şekil 3.2. DFP yaklaşımı için Soft sınıf fonksiyonları (Imtanavanich ve Gupta, 2006)

3.2.1. Doğrusal Fiziki Programlama Adımları

Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yöntemi uygulanırken 4 adım izlenir (İlgın vd., 2015):

1. Her bir kriterin Soft ya da Hard durumu için 4 sınıf fonksiyonundan biri belirlenir.
2. Her bir kriter için farklı derecelerdeki aralıkların hedef değerleri (yatay eksendeki $g_u(x)$ değerleri) tanımlanır.

3. Ağırlıkları oluşturmak için Doğrusal Fiziki Programlama Ağırlık Algoritması (DFPW) kullanılır.

I. Adım. Başlama:

$$\beta = 1.1, w_{u1}^+ = 0, w_{u1}^- = 0, \tilde{z}^2 = \text{küçük pozitif sayı (örneğin 0.1)}$$

$$u=0; s=1, n_{sc} = \text{kriter sayısı (soft)}$$

II. Adım. $u = u+1$

III. Adım. $s = s+1$

sırasıyla $\tilde{z}^s, \tilde{t}_{us}^+, \tilde{t}_{us}^-, w_{us}^+, w_{us}^-, \tilde{w}_{us}^+, \tilde{w}_{us}^-, \tilde{w}_{min}$ parametrelerini değerlendir.

Eğer $\tilde{w}_{min}$, küçük pozitif sayıdan daha küçük değerde ise β ' yı arttır ve II. Adıma git.

IV. Adım. Eğer $s \neq 5$ ise III. Adıma git.

V. Adım. Eğer $u \neq n_{sc}$ ise II. Adıma git.

Algoritmada u soft kriter indeksini, β dışbükeylik parametresi, s aralık indeksini, w_{us}^+ u 'uncu kriterin s 'inci aralıktaki pozitif ağırlığını, w_{us}^- u 'uncu kriterin s 'inci aralıktaki negatif ağırlığını, $\tilde{z}^s$ s 'inci aralıktaki meydana gelen değişimi, $\tilde{t}_{us}^+$ u 'uncu kriter için pozitif kenarındaki s 'inci aralık uzunluğunu, $\tilde{t}_{us}^-$ u 'uncu kriter için negatif kenarındaki s 'inci aralık uzunluğunu, $\tilde{w}_{us}^+$ pozitif normalleştirilmiş ağırlığı, $\tilde{w}_{us}^-$ negatif normalleştirilmiş ağırlığı, $\tilde{w}_{min}$, $\tilde{w}_{us}^+$ ve $\tilde{w}_{us}^-$ değerlerinin minimum değerini göstermektedir. Denklem (3.1)'de w_{us}^+ , (3.2)'de w_{us}^- , (3.3)'te $\tilde{z}^s$, (3.4)'te $\tilde{t}_{us}^+$, (3.5)'te $\tilde{t}_{us}^-$, (3.6)'da $\tilde{w}_{us}^+$, (3.7)'de $\tilde{w}_{us}^-$ değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir:

$$w_{us}^- = \frac{\tilde{z}^s}{\tilde{t}_{us}^-}; s = [2,5] \quad (3.1)$$

$$w_{us}^+ = \frac{\tilde{z}^s}{\tilde{t}_{us}^+}; s = [2,5] \quad (3.2)$$

$$\tilde{z}^s = \beta (n_{sc} - 1) \tilde{z}^{s-1}; s = [3,5]; (n_{sc} \geq 1); \beta > 1 \quad (3.3)$$

$$\tilde{t}_{us}^+ = t_{us}^+ - t_{u(s-1)}^+; s = [2,5] \quad (3.4)$$

$$\tilde{t}_{us}^- = t_{us}^- - t_{u(s-1)}^-; s = [2,5] \quad (3.5)$$

$$\tilde{w}_{us}^+ = \frac{w_{us}^+}{\sum_{s=2}^5 w_{us}^+}; s = [2,5] \quad (3.6)$$

$$\tilde{w}_{us}^- = \frac{w_{us}^-}{\sum_{s=2}^5 w_{us}^-}; s = [2,5] \quad (3.7)$$

1. Her bir alternatif için tüm kriterler ve aralıklarına göre toplam sapma değeri hesaplanır.

$$\min J = \sum_{u=1}^{n_{sc}} \sum_{s=2}^5 (\tilde{w}_{us}^- \cdot d_{us}^- + \tilde{w}_{us}^+ \cdot d_{us}^+) \quad (3.8)$$

$$g_u - d_{us}^+ \leq t_{u(s-1)}^+; d_{us}^+ \geq 0 \quad (3.9)$$

$$g_u \leq t_{u5}^+; 1S, 3S \text{ ve } 4S \text{ sınıflarındaki her } u \text{ için } u = 1, 2, \dots; s = [2, 5]$$

$$g_u + d_{us}^- \leq t_{u(s-1)}^-; d_{us}^- \geq 0 \quad (3.10)$$

$$g_u \leq t_{u5}^-; 2S, 3S \text{ ve } 4S \text{ sınıflarındaki her } u \text{ için } u = 1, 2, \dots; s = [2, 5]$$

Alternatif seçeneğinin u'uncu kriter için tercih aralığındaki kriter değerlerinin negatif ve pozitif yönündeki sapmaları sırasıyla d_{us}^- ve d_{us}^+ ifade etmektedir. Mutlak değeri en küçük sapma değerine eşit olan alternatif en iyi seçenek olarak belirlenir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

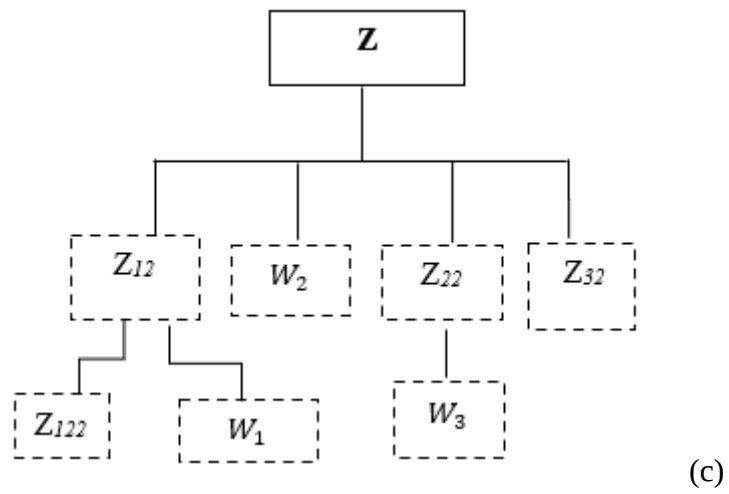
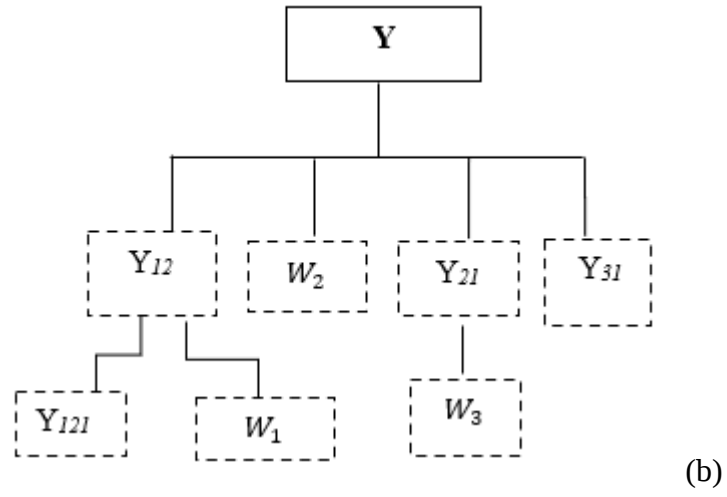
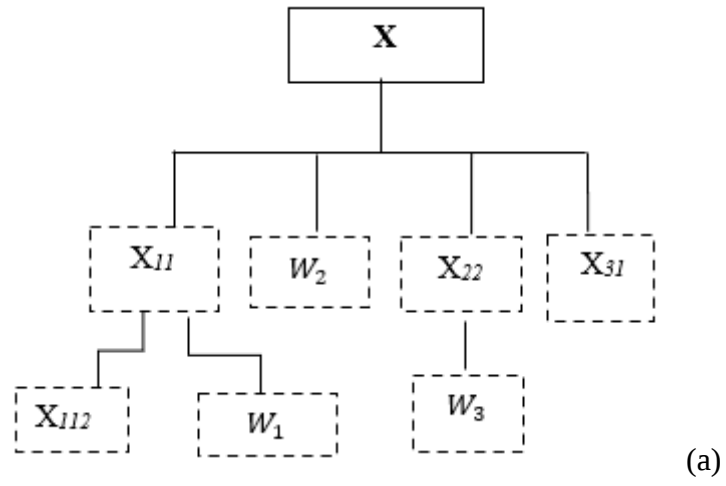
Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusunu ele alan bu tezde öncelikle geri kazanılabilir ürünlerin yer aldığı KDTZ problemi açıklanacak, ileri ve tersine tedarik akışlarını gösteren KDTZ ağı tanıtılacaktır. KDTZ problemi çok amaçlı optimizasyon modeli olarak ifade edilecektir. Yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip 3 farklı ürün için uygulaması yapılan çok amaçlı optimizasyon modelindeki hedefler göz önüne alınarak geri dönen ürünlerin stratejik önem dereceleri Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yaklaşımı ile belirlenecektir. Uygulama sonuçları 5. bölümde Taguchi yöntemi ile değerlendirilerek analiz edilecektir.

4.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemi

Bu bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri problemi için yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip 3 farklı X, Y ve Z ürünleri ele alınmıştır. Yeniden üretilebilir ürünlerde 3 çeşit ürün tipi, 3 çeşit parça no, 2 çeşit bileşen no ve 3 çeşit ortak parça bulunmaktadır. Yeniden üretilebilir X, Y ve Z ürünleri için kullanılması gereken parça ve bileşenler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Şekil 4.1’de belirtilen X, Y ve Z ürünlerine ait özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ X, Y ve Z olmak üzere üç çeşit ürün modeli mevcuttur ve X, Y, Z ürününe ait parçalar i, j, k indisleri ile tanımlanmıştır.
- ✓ X, Y, Z ürünleri için W ortak parça olarak tanımlanıp üç ürün için W_{ij} parçaları ortaktır ve ortak parçaların maliyetleri birbirine eşittir.
- ✓ $i \in I$ ve $I = \{1,2,3\}$ olmak üzere i ürün tipi’ ni ifade etmektedir.
- ✓ $j \in J$ ve $J = \{1,2,3\}$ olmak üzere j parça no’ yu ifade etmektedir.
- ✓ $k \in K$ ve $K = \{1,2\}$ olmak üzere k bileşen no’ yu ifade etmektedir.



Şekil 4.1. X, Y ve Z ürünleri için parça ve bileşenler: a) X, b) Y, c) Z

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, ileri yöndeki tedarik akışını ve tersine tedarik akışını bir bütün olarak ele almakla birlikte birçok aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar tedarik, üretim, dağıtım, toplama, ayrıştırma, de-montaj ve iyileştirme olup sırasıyla şu şekilde ifade edilmektedir: Üretici firma öncelikle tedarikçilerden gerekli parça ve bileşenleri tedarik edecektir. Tedarik edilen ürünler fabrikalarda gerekli montaj ve alt montaj işlemlerinden geçirilip kullanıma hazır hâle getirilecektir ve dağıtıcılara gönderilecektir. Dağıtıcılarda paketleme ve kutulama işlemleri tamamlanıp ürünün gerekli garanti ve kullanım kılavuzuyla birlikte satış bayilerine teslim edilecektir ve müşteri ya da son kullanıcı tarafından satın alma işlemi gerçekleştirilecektir. İleri tedarik aşamasının tamamlandığı bu kısımda tersine tedarik ağı müşteri ya da nihai kullanıcının, ürünün istenen tipte, boyutta ve kalitede olmaması, üründe kusur bulunması, garanti şikayetlerinin olması gibi nedenler ile iade ettiği ürünleri toplama merkezlerine göndermesiyle başlamaktadır. Toplama merkezlerine gelen ürünler ayrıştırma merkezlerine gönderilecektir. Ayrıştırma merkezlerinde X, Y ve Z ürünlerinin kullanım süresine bakılarak 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 ve daha fazla yıl olarak sınıflandırmasıyla birlikte de-montaj merkezine gönderilecektir. De-montaj merkezinde kullanım ömürlerine göre sınıflandırması yapılan ürünler için kalite sınıfı mevcuttur. Kalite sınıfı ürünlerin yeniden kullanılabilirlik düzeyi olarak tanımlanıp 0 değeri düşük kalite ve 1 değeri iyi kalite durumunu ifade etmektedir. De-montaj merkezinde gerekli işlemleri tamamlanan parçalar yenileme merkezine gönderilecektir ve kullanılmamış parçalarla aynı düzeye getirilecek şeklinde işlem yapılacaktır. İyileştirme ile yeniden üretimi tamamlanan parçalar ürün haline getirilerek kullanıma hazır durumda dağıtıcılara taşınacaktır.

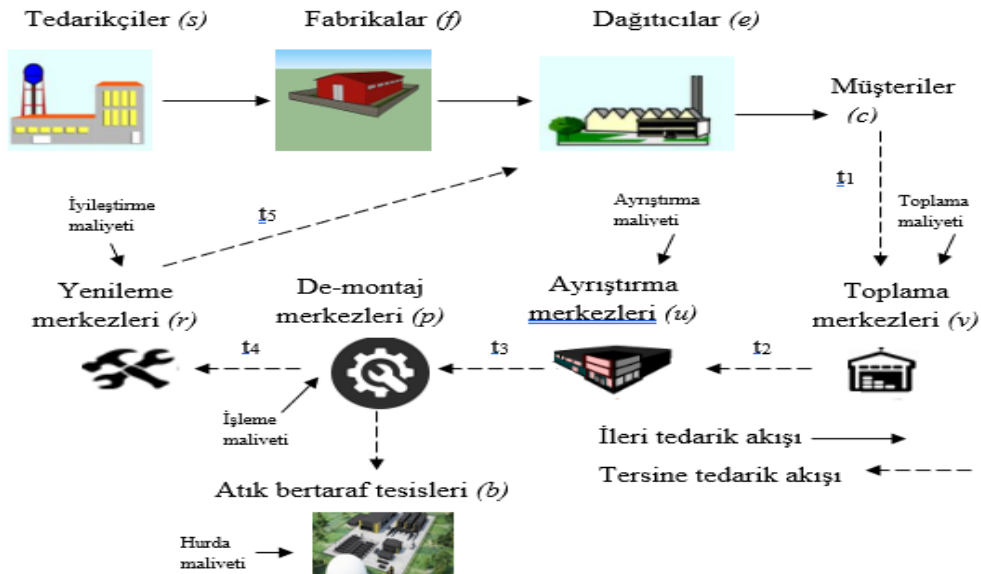
KDTZ ile ilgili önceki çalışmalara bakıldığında kapasite, taşıma mesafesi ve maliyeti, depo ve tesis yerlerinin belirlenmesi gibi sorunların ele alındığı ve genellikle toplam kârın maksimizasyonu, taşıma maliyetlerinin minimizasyonu, geri kazanım tesisi için yer seçimi ve tesis açma maliyetlerinin minimizasyonunu amaçlayan karma tamsayılı programlama modellerinin ele alındığı görülmektedir. Fakat KDTZ konusu geniş kapsamlı olup iade edilen ürünlerin hangi oranda geri kazanıma sahip olacağının belirsizliği kurulan modelde yeniden üretilen ürün miktarının belirlenmesini ve talebi karşılama oranının hesaplanmasını güçleştirmektedir. Ayrıca tersine tedarik zincirindeki merkezler arasındaki

tedarik süresinin belirsizliği yeniden üretim aşamalarında ürünün zamanında istenen yere ulaşmaması ve gecikmelerin yaşanmasına sebep olmaktadır.

Bu bölümde aşağıdaki problemler ele alınmıştır:

- Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde geri dönen ürünlerin, tersine tedarik süresinin minimizasyonu, toplam kârın ve geri kazanım oranının maksimizasyonu amaçlanmaktadır.
- KDTZ tedarik akışlarına bakıldığında, müşteri ihtiyaçlarının yeterli miktarda ve tam zamanında karşılanması için kaynakların verimli kullanılması önemlidir. Geri dönen ürünlerin stratejik önem derecelerinin bilinmemesi, sonraki üretim periyotlarında hangi üründen hangi miktarda üretileceğinin belirlenmesinde karar verme sürecini karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca geri dönen ürünlerin stratejik önem dereceleri toplam kâr, geri kazanım oranı ve tersine tedarik süreleri ile belirlenmektedir. Bu sebeple toplam kâr, tersine tedarik süresi ve geri kazanım oranı kriterleri göz önüne alınarak geri dönen ürünlerin önem derecelerine göre üretim miktarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Tersine tedarik ağı müşteri- dağıtım merkezi arasında faaliyet gösterip ileri tedarik ağıyla bütünleşmesi sonucu KDTZ oluşmaktadır ve Şekil 4.2' de problemin ileri ve tersine tedarik akışları gösterilmektedir.



Şekil 4.2. KDTZ probleminin ileri ve tersine tedarik akışları

4.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ yapısı dikkate alındığında tedarikçiler (s), fabrikalar (f), dağıtıcılar (e), müşteriler (c), toplama (v), ayrıştırma (u), de-montaj (p), yenileme (r) ve hurda (b) merkezlerinin bulunduğu ve birimler arasında toplama, ayrıştırma, işleme, iyileştirme ve hurda maliyetleri olduğu, tersine tedarik akışında t_1 , t_2 , t_3 , t_4 ve t_5 sürelerinin bulunduğu görülmektedir. Model varsayımları kapsamında, müşterilerden geri dönen ürünlerin aynı kullanım süresinde ve yeniden kullanılabilirlik düzeyinde olmadığı belirtilmiştir ve diğer varsayımlarla beraber de-montaj merkezinde farklı kullanım süresinde olan parçalar için yeniden kullanılabilirlik düzeyini belirleyen kalite sınıfı (q) oluşturulmuştur. Kalite sınıfına göre q değeri 0 (düşük kalite) veya 1 (iyi kalite) değerlerini almıştır. De-montaj merkezine gelen ürünlerin yenileme merkezine gönderilen ürün yüzdesi (%) Q_1 , de-montaj merkezinden atık merkezine gönderilen ürün yüzdesi (%) $(1 - Q_1)$ ve bu ürünler atık merkezinde bertaraf edilecektir. Diğer bir yandan müşterilerin iade ettiği X, Y ve Z ürünlerinin toplama merkezlerine ulaşması için gereken maliyet toplama maliyeti, farklı kullanım yüzdelerine göre sınıflama yapılması için gereken maliyet ayrıştırma maliyeti, de-montaj işlemiyle geri kazandırılma durumunun değerlendirilmesi için gereken maliyet işleme maliyeti, geri kazandırılabilir ürünlerin yenileme merkezinde iyileştirilmesi için gereken maliyet iyileştirme maliyeti ve kalite düzeyi düşük parçaların çevreye zarar vermeden bertaraf edilme maliyeti hurda maliyeti olarak tanımlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda KDTZ problemi için varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Müşterilerin iade ettiği X, Y ve Z ürünlerinin kullanım süreleri için 3 farklı dönem ele alınmıştır. Bu dönemler 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 yıldan daha uzun süre kullanımdır.
- ✓ Yeniden üretilen ürünlerin performansı fabrikada üretilen sıfır ürünlerin performansı ile aynıdır.
- ✓ Toplama ve ayrıştırma merkezlerinde ürünleri parçalara ayırma işlemi yapılmadığı için toplama ve ayrıştırma maliyetleri ürün için hesaplanmıştır.
- ✓ De-montaj, yenileme ve hurda merkezlerinde ürünleri parçalara ayırma işlemi yapıldığından işleme, iyileştirme ve hurda maliyetleri her bir bileşen için ayrı olarak hesaplanmıştır.

- ✓ X, Y ve Z ürünlerinin 3 farklı dönem için geri dönüş miktarları, ürün oranları, toplama, ayrıştırma, işleme, hurda, satın alma, elde bulundurma/bulundurmama maliyetleri, satış gelirleri, talep ve merkezler arası tedarik sürelerinin düzgün dağılıma uyduğu varsayılmıştır.
- ✓ c müşterilerinin talebi, e dağıtıcılarında bulunan ürünlerden karşılanamadığı takdirde elde bulundurmama maliyeti, talebin ürün sayısından az olduğu durumda ise elde bulundurma maliyeti ile karşılaşılmaktadır.
- ✓ KDTZ merkezlerine gelen X, Y ve Z ürünleri için kapasitenin yeterli olduğu bilinmektedir.
- ✓ X, Y ve Z ürünlerinin bütünü için ele alınan geri dönüşüm ve geri kazanım oranlarının önceden belirlenmiş sabit değerler aldığı bilinmektedir.
- ✓ X, Y ve Z ürünleri için geri dönüş miktarları, ürün oranları, maliyetler, satış gelirleri ve tersine tedarik sürelerinin önceden belirlenmiş aralıklı değerler aldığı bilinmektedir.
- ✓ Yenileme merkezlerinde, ürünlerin geri dönüşüm oranının belirli bir seviyenin altına inmesi durumunda ürünlere s tedarikçilerinden parça veya bileşen tedarik edilmektedir.
- ✓ Geri dönen ürünlerin miktarı ve c müşterilerinin talebi adet olarak alınmıştır.
- ✓ Satış geliri ve maliyetler dolar (\$) olarak alınmıştır.
- ✓ KDTZ merkezleri arasındaki tersine tedarik süreleri gün olarak alınmıştır.

KDTZ probleminde ele alınan X, Y ve Z ürünleri için çok amaçlı optimizasyon modeli önerilmiştir. Modelde kullanılan indisler Çizelge 4.1’de, karar değişkenleri Çizelge 4.2’de ve parametreler Çizelge 4.3’te verilmiştir:

Çizelge 4.1. Modelde kullanılan indisler

i	Ürünün kullanım süresi
j	Tersine tedarik süresi
s	Tedarikçiler kümesi
f	Fabrikalar kümesi
e	Dağıtıcılar kümesi
c	Müşteriler kümesi
v	Toplama merkezleri kümesi

Çizelge 4.1. Modelde kullanılan indisler (devam)

u	Ayrıştırma merkezleri kümesi
p	De-montaj merkezleri kümesi
r	Yenileme merkezleri kümesi
b	Atık bertaraf tesisleri kümesi

Çizelge 4.2. Karar değişkenleri

$Rcv_{xi,yi,zi}$	Müşterilerden toplama merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rvu_{xi,yi,zi}$	Toplama merkezlerinden ayrıştırma merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rup_{xi,yi,zi}$	Ayrıştırma merkezlerinden de-montaj merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rpr_{xi,yi,zi}$	De-montaj merkezlerinden yenileme merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rpb_{xi,yi,zi}$	De-montaj merkezlerinden atık bertaraf merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rcv_{xi,yi,zi}$	Müşterilerden toplama merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rvu_{xi,yi,zi}$	Toplama merkezlerinden ayrıştırma merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rup_{xi,yi,zi}$	Ayrıştırma merkezlerinden de-montaj merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rpr_{xi,yi,zi}$	De-montaj merkezlerinden yenileme merkezlerine gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları
$Rre_{xi,yi,zi}$	Yenileme merkezlerinden dağıtıcılara gelen i kullanım süresi için X, Y ve Z ürünlerinin miktarları

Çizelge 4.3. Parametreler

$RS_{j_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin s tedarikçilerinden satın alınan parça miktarı
$RS_{k_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin s tedarikçilerinden satın alınan bileşen miktarı
$RK_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1. tip 1/2 nolu parçasının işleme maliyeti
$RK_{111\backslash 112\backslash 121\backslash 122_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1. tip 1/2 nolu parçasının 1/2 nolu bileşeninin işleme maliyeti
$RK_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 2. tip 1/2 nolu parçasının işleme maliyeti
$RK_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 3. tip 1/2 nolu parçasının işleme maliyeti
$RK_{W1_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1 nolu W parçasının işleme maliyeti
$RK_{W2_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 2 nolu W parçasının işleme maliyeti
$RK_{W3_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 3 nolu W parçasının işleme maliyeti
$RL_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1'inci tip 1/2 nolu parçasının iyileştirme maliyeti
$RL_{111\backslash 112\backslash 121\backslash 122_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1'inci tip 1/2 nolu parçasının 1/2 nolu bileşeninin iyileştirme maliyeti
$RL_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 2'inci tip 1/2 nolu parçasının iyileştirme maliyeti
$RL_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 3'üncü tip 1/2 nolu parçasının iyileştirme maliyeti
$RL_{W1_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1 nolu W parçasının iyileştirme maliyeti
$RL_{W2_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 2 nolu W parçasının iyileştirme maliyeti
$RL_{W3_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 3 nolu W parçasının iyileştirme maliyeti
$RH_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1'inci tip 1/2 nolu parçasının hurda maliyeti
$RH_{111\backslash 112\backslash 121\backslash 122_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1'inci tip 1/2 nolu parçasının 1/2 nolu bileşeninin hurda maliyeti
$RH_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 2'inci tip 1/2 nolu parçasının hurda maliyeti

Çizelge 4.3. Parametreler (devam)

$RH_{31 \setminus 32_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 3'üncü tip 1/2 nolu parçasının hurda maliyeti
$RH_{W1_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 1 nolu W parçasının hurda maliyeti
$RH_{W2_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 2 nolu W parçasının hurda maliyeti
$RH_{W3_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin 3 nolu W parçasının hurda maliyeti
$R_{T_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin birim toplama maliyeti
$R_{A_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin birim ayırıştırma maliyeti
$R_{K_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin birim işleme maliyeti
$R_{L_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin birim iyileştirme maliyeti
$R_{H_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin birim hurda maliyeti
$R_{So_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin s tedarikçilerinden parça satın alma maliyeti
$R_{SN_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin s tedarikçilerinden bileşen satın alma maliyeti
$h_{f_{Xi,Yi,Zi}}$	e dağıtıcılarında X, Y ve Z ürünlerinin elde bulundurma maliyeti
$hn_{f_{Xi,Yi,Zi}}$	e dağıtıcılarında X, Y ve Z ürünlerinin elde bulundurmama maliyeti
$S_{Xi,Yi,Zi}$	X, Y ve Z ürünlerinin birim satış geliri
$dc_{Xi,Yi,Zi}$	c müşterilerinin i . dönemdeki X, Y ve Z ürün talebi
$R_{R_{Xi,Yi,Zi}}$	X, Y ve Z ürünlerinin geri dönüşüm oranı
$P_{Xi,Yi,Zi}(q)$	X, Y ve Z ürünlerinin q sınıfı için geri kazanım oranı
$t_{x1,y1,z1}$	X, Y ve Z ürünleri için müşteri-toplama merkezleri arası tedarik süresi
$t_{x2,y2,z2}$	X, Y ve Z ürünleri için toplama-ayırıştırma merkezleri arası tedarik süresi
$t_{x3,y3,z3}$	X, Y ve Z ürünleri için ayırıştırma-de-montaj merkezleri arası tedarik süresi
$t_{x4,y4,z4}$	X, Y ve Z ürünleri için de-montaj-yenileme merkezleri arası tedarik süresi
$t_{x5,y5,z5}$	X, Y ve Z ürünleri için yenileme merkezi-dağıtıcı arası tedarik süresi
$t_{xj,yj,zj}$	X, Y ve Z ürünleri için müşteri-dağıtıcı arası tersine tedarik süresi

Çizelge 4.3. Parametreler (devam)

q	kalite sınıfı (yeniden kullanılabilirlik düzeyi)
Q_1	de-montaj merkezinden yenileme merkezine gönderilen ürün oranı
$(1 - Q_1)$	de-montaj merkezinden atık merkezine gönderilen ürün oranı
α	elde bulundurma/bulundurmama durumuna göre 0 veya 1 değerlerini alan değişken
β	geri dönüşüm oranına göre 0 veya 1 değerlerini alan değişken

Optimizasyon modeli için amaç fonksiyonları aşağıda belirtilmiştir:

Max f_1 : Toplam kâr = Toplam satış geliri – (Toplam toplama maliyeti + toplam ayrıştırma maliyeti + toplam işleme maliyeti + toplam iyileştirme maliyeti + toplam hurda maliyeti + parça veya bileşen satın alma maliyeti + elde bulundurma maliyeti + elde bulundurmama maliyeti)

$$\begin{aligned}
\text{Max } f_1 = & \sum_i \sum_r \sum_e S_{Xi,Yi,Zi} \cdot Rre_{Xi,Yi,Zi} - (\sum_i \sum_c \sum_v R_{T_{Xi,Yi,Zi}} \cdot Rcv_{Xi,Yi,Zi} + \\
& \sum_i \sum_v \sum_u R_{A_{Xi,Yi,Zi}} \cdot Rvu_{Xi,Yi,Zi} + \sum_i \sum_u \sum_p R_{K_{Xi,Yi,Zi}} \cdot Rup_{Xi,Yi,Zi} \cdot R_{R_{Xi,Yi,Zi}} + \\
& \sum_i \sum_p \sum_r R_{L_{Xi,Yi,Zi}} \cdot Rpr_{Xi,Yi,Zi} \cdot R_{R_{Xi,Yi,Zi}} + \sum_i \sum_p \sum_b R_{H_{Xi,Yi,Zi}} \cdot Rpb_{Xi,Yi,Zi} + \\
& \sum_i \beta \cdot R_{SO_{Xi,Yi,Zi}} \cdot R_{SJ_{Xi,Yi,Zi}} + \sum_i \beta \cdot R_{SN_{Xi,Yi,Zi}} \cdot R_{SK_{Xi,Yi,Zi}} + \sum_i h_{f_{Xi,Yi,Zi}} \cdot \alpha + \\
& \sum_i hn_{f_{Xi,Yi,Zi}} \cdot \alpha
\end{aligned} \quad (4.1)$$

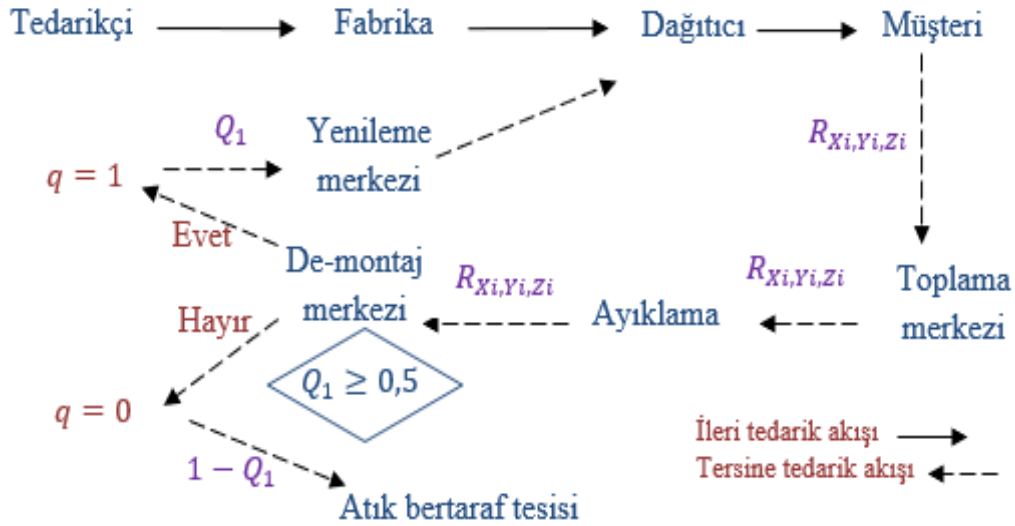
f_1 hedefi toplam kâr olarak tanımlanıp toplam satış gelirinden toplama, ayrıştırma, işleme, iyileştirme ve hurda, parça veya bileşen satın alma, elde bulundurma ve bulundurmama maliyetlerinin toplam değerinden farkını ifade etmektedir. Ayrıca i indisi 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 ve daha fazla yıl kullanım süresi olarak tanımlanıp sırasıyla 1, 2 ve 3 değerlerini almaktadır.

$$\text{Min } f_2: \text{Tersine tedarik süresi} = \sum_{j=1}^5 t_{xj,yj,zj} \quad (4.2)$$

f_2 hedefi tersine tedarik süresi olarak tanımlanıp müşteri-toplama merkezi, toplama merkezi-ayrıştırma merkezi, ayrıştırma merkezi-de-montaj merkezi, de-montaj merkezi-yenileme merkezi, yenileme merkezi-dağıtıcı arasında geçen sırasıyla t_1, t_2, t_3, t_4 ve t_5 sürelerinin toplamı olarak hesaplanmaktadır. t_j parametresindeki j indisi ise müşteri-dağıtıcı arasındaki tedarik süresi olarak tanımlanıp sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 değerlerini almaktadır.

$$\text{Max } f_3: \text{Geri kazanım oranı} = \sum_{i=1}^3 P_{Xi,Yi,Zi}(q) \quad (4.3)$$

f_3 hedefi ise geri kazanım oranı olarak tanımlanıp X, Y ve Z ürünlerinin (q) kalite sınıfı için yenileme merkezine gönderilen ürün oranı Q_1 , atık merkezine gönderilen ürün oranı $(1 - Q_1)$ 'na eşit veya 0,5'ten fazla olması durumunda $q = 1$ (iyi kalite) ve olasılık değeri $P_{Xi,Yi,Zi}(q = 1)$, Q_1 yüzde oranının 0,5'ten küçük olması durumunda $q = 0$ (düşük kalite) ve olasılık değeri $P_{Xi,Yi,Zi}(q = 0)$ 'dir. Şekil 4.3'te KDTZ problemi için (q) kalite sınıfındaki ürün oranları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. KDTZ problemi için (q) kalite sınıfındaki ürün yüzdeleri

Modele ilişkin kısıtlar şu şekildedir:

Miktar kısıtları:

c müşterilerinden v toplama merkezlerine gönderilen ürün miktarı, v toplama merkezlerinden u ayrıştırma merkezlerine gönderilen ürün miktarı ve u ayrıştırma merkezlerinden p de-montaj merkezlerine gönderilen ürün miktarı birbirine eşittir.

$$Rcv_{Xi,Yi,Zi} = Rvu_{Xi,Yi,Zi} = Rup_{Xi,Yi,Zi} \quad (4.4)$$

p de-montaj merkezlerine gelen ürün miktarı ile Q_1 oranının çarpımı, r yenileme merkezlerine gönderilen ürün miktarına eşittir.

$$Rup_{Xi,Yi,Zi} \cdot Q_1 = Rpr_{Xi,Yi,Zi} \quad (4.5)$$

p de-montaj merkezlerine gelen ürün miktarı ile $(1 - Q_1)$ oranının çarpımı, b atık merkezlerine gönderilen ürün miktarına eşittir.

$$Rup_{Xi,Yi,Zi} \cdot (1 - Q_1) = Rpb_{Xi,Yi,Zi} \quad (4.6)$$

r yenileme merkezlerindeki ürün miktarı ile b atık bertaraf merkezlerindeki ürün miktarının toplamı p de-montaj merkezlerindeki ürün miktarına eşittir.

$$Rpr_{Xi,Yi,Zi} + Rpb_{Xi,Yi,Zi} = Rup_{Xi,Yi,Zi} \quad (4.7)$$

s tedarikçilerinden satın alınan parça miktarı, r yenileme merkezlerindeki ürünlerin geri dönüştürülmeyen oranı kadardır.

$$R_{Sj_{Xi,Yi,Zi}} = (1 - R_{R_{Xi,Yi,Zi}}) \times R_{pr_{Xi,Yi,Zi}} \quad (4.8)$$

s tedarikçilerinden satın alınan bileşen miktarı r yenileme merkezlerindeki ürünlerin geri dönüştürülmeyen oranı kadardır.

$$R_{Sk_{Xi,Yi,Zi}} = (1 - R_{R_{Xi,Yi,Zi}}) \times R_{pr_{Xi,Yi,Zi}} \quad (4.9)$$

Maliyet kısıtları:

s tedarikçilerinden bileşen satın alma maliyeti, parça satın alma maliyetinden küçük olmalıdır.

$$R_{SN_{Xi,Yi,Zi}} < R_{SO_{Xi,Yi,Zi}} \quad (4.10)$$

Talep kısıtları:

c müşterilerinin talebi, yenileme merkezlerinden dağıtıcılara gelen i. dönemdeki X, Y ve Z ürünlerinin miktarından daha az veya daha fazla olduğu takdirde elde bulundurma/ bulundurmama maliyetlerinin hesaplanması için değişkenin değeri 1, talebin ürün miktarına eşit olduğu durumda değişkeninin değeri 0 olmaktadır.

$$\alpha = 1, \begin{cases} dc_{Xi,Yi,Zi} < Rre_{Xi,Yi,Zi} \\ dc_{Xi,Yi,Zi} > Rre_{Xi,Yi,Zi} \end{cases} \quad (4.11)$$

$$\alpha = 0, \begin{cases} dc_{Xi,Yi,Zi} = Rre_{Xi,Yi,Zi} \end{cases} \quad (4.12)$$

Oran kısıtları:

X, Y ve Z ürünlerinin geri dönüşüm oranı %70 ve daha az olduğu durumda s tedarikçilerinden parça ve bileşen tedarik edilmesi için değişkenin değeri 1, %70 oranından büyük olması durumunda ise değişkenin değeri 0 olmaktadır.

$$\beta = 1, \{ R_{R_{Xi,Yi,Zi}} \leq 0,70 \} \quad (4.13)$$

$$\beta = 0, \{ R_{R_{Xi,Yi,Zi}} > 0,70 \} \quad (4.14)$$

De-montaj merkezinden yenileme merkezine gönderilen ürün oranı (Q_1) 0,5 ve daha büyük olması durumunda $q=1$ (iyi kalite) ve 0,5'ten küçük olması durumunda ise $q=0$ (düşük kalite) olmaktadır.

$$q = 1 \quad | 0,5 \leq Q_1 \leq 1 \quad (4.15)$$

$$q = 0 \quad | 0 \leq Q_1 < 0,5 \quad (4.16)$$

Denge kısıtları:

X, Y ve Z ürünlerinin 11/12, 111/112, 21/22, 31/32, W_1 , W_2 , W_3 parça ve bileşenlerinin işleme maliyetlerinin toplamı ürünlerin birim işleme maliyetine eşittir.

$$RK_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}} + RK_{111\backslash 112_{Xi,Yi,Zi}} + RK_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}} + RK_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}} + RK_{W1_{Xi,Yi,Zi}} + RK_{W2_{Xi,Yi,Zi}} + RK_{W3_{Xi,Yi,Zi}} = R_{K_{Xi,Yi,Zi}} \quad (4.17)$$

X, Y ve Z ürünlerinin 11/12, 111/112, 21/22, 31/32, W_1 , W_2 , W_3 parça ve bileşenlerinin iyileştirme maliyetlerinin toplamı ürünlerin birim iyileştirme maliyetine eşittir.

$$RL_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}} + RL_{111\backslash 112_{Xi,Yi,Zi}} + RL_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}} + RL_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}} + RL_{W1_{Xi,Yi,Zi}} + RL_{W2_{Xi,Yi,Zi}} + RL_{W3_{Xi,Yi,Zi}} = R_{L_{Xi,Yi,Zi}} \quad (4.18)$$

X, Y ve Z ürünlerinin 11/12, 111/112, 21/22, 31/32, W_1 , W_2 , W_3 parça ve bileşenlerinin hurda maliyetlerinin toplamı ürünlerin birim hurda maliyetine eşittir.

$$RH_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}} + RH_{111\backslash 112_{Xi,Yi,Zi}} + RH_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}} + RH_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}} + RH_{W1_{Xi,Yi,Zi}} + RH_{W2_{Xi,Yi,Zi}} + RH_{W3_{Xi,Yi,Zi}} = R_{H_{Xi,Yi,Zi}} \quad (4.19)$$

De-montaj merkezinden yenileme merkezine gönderilen ürün oranı ile de-montaj merkezinden atık merkezine gönderilen ürün oranının toplamı 1'e eşit olmaktadır.

$$Q_1 + (1 - Q_1) = 1 \quad (4.20)$$

Modele ilişkin negatif olmama kısıtı şu şekildedir:

$$Rcv_{Xi,Yi,Zi}, Rvu_{Xi,Yi,Zi}, Rup_{Xi,Yi,Zi}, Rpr_{Xi,Yi,Zi}, Rpb_{Xi,Yi,Zi}, Rre_{Xi,Yi,Zi}, RK_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}}, RK_{111\backslash 112_{Xi,Yi,Zi}}, RK_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}}, RK_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}}, RK_{W1_{Xi,Yi,Zi}}, RK_{W2_{Xi,Yi,Zi}}, RK_{W3_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{111\backslash 112_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{W1_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{W2_{Xi,Yi,Zi}}, RL_{W3_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{11\backslash 12_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{111\backslash 112_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{21\backslash 22_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{31\backslash 32_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{W1_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{W2_{Xi,Yi,Zi}}, RH_{W3_{Xi,Yi,Zi}}, R_{T_{Xi,Yi,Zi}}, R_{A_{Xi,Yi,Zi}}, R_{K_{Xi,Yi,Zi}}, R_{L_{Xi,Yi,Zi}}, R_{H_{Xi,Yi,Zi}}, R_{R_{Xi,Yi,Zi}}, Q_1,$$

$$(1 - Q_1), P_{Xi,Yi,Zi}(q), R_{SO_{Xi,Yi,Zi}}, R_{SN_{Xi,Yi,Zi}}, h_{f_{Xi,Yi,Zi}}, hn_{f_{Xi,Yi,Zi}}, R_{Sj_{Xi,Yi,Zi}}, R_{Sk_{Xi,Yi,Zi}}, t_{xj,yj,zj}, \\ S_{Xi,Yi,Zi}, dc_{Xi,Yi,Zi}, q, \alpha, \beta \geq 0 \\ \forall i,j,c,v,u,p,r,b,e,s \quad (4.21)$$

4.3. Sayısal Analiz

Bir önceki bölümde bahsedilen çok amaçlı optimizasyon modelini analiz edebilmek için sayısal bir örnek sunulmuştur. Bu örnek beş tedarikçi, dört fabrika, dört dağıtıcı, yüz müşteri, üç toplama merkezi, iki ayrıştırma merkezi, üç de-montaj merkezi ve üç yenileme merkezinden oluşmaktadır. Sayısal örnekte kullanılan X, Y ve Z ürünleri için gerekli bilgiler aşağıda verilmiştir.

Geri kazanım olasılığını belirlemede kullanılacak Q_1 oranının rassal bir değişken olduğu ve (0,5,1) aralığında değerler aldığı varsayılmaktadır. Diğer bir taraftan yenileme merkezine gönderilecek ürünlerin geri dönüşüm oranlarının $(R_{R_{Xi}}, R_{R_{Yi}}, R_{R_{Zi}})$ 0,5-1 aralığında kullanım sürelerine göre sabit değerler aldığı, $q = 1$ kalite sınıfı için geri kazanım oranlarının %80'nin üzerinde ve $q = 1$ kalite sınıfı için geri kazanım oranının %20'nin altında toplamının 1'e eşit olmasını sağlayan sabit değerler aldığı varsayılmaktadır. $R_{R_{Xi}}, R_{R_{Yi}}, R_{R_{Zi}}$ ve $P_{Xi}(q), P_{Yi}(q), P_{Zi}(q)$ oranlarının i . dönem için aldığı değerler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. X, Y ve Z ürünlerinin i . dönemdeki geri dönüşüm ve geri kazanım oranları

Ürünler	X			Y			Z		
i . Dönem	1	2	3	1	2	3	1	2	3
R_R	0,8	0,746	0,694	0,78	0,757	0,709	0,806	0,741	0,689
$P(q = 1)$	0,833			0,826			0,820		
$P(q = 0)$	0,167			0,174			0,18		

Çizelge 4.4'e bakıldığında kullanım süresi 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki X ve Z ürünlerinin geri dönüşüm oranının %70'ten daha az bir değere sahip olduğu

görülmektedir. Bu durumda X ve Z ürünlerinin yenileme merkezinde iyileştirme işlemi yapılması için s tedarikçilerinden parça ve bileşen satın alınması gerekmektedir.

Mevcut X, Y ve Z ürünlerine ait parça ve bileşenler için işleme, iyileştirme ve hurda maliyetlerinin aralığı sırasıyla Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. X ürününe ait bileşen maliyetleri

Parça/Bileşen	İşleme maliyet aralığı (\$)	İyileştirme maliyet aralığı (\$)	Hurda maliyet aralığı (\$)
X_{11}	30-36	33-37	9-12
X_{112}	30-39	32-36	8-10
X_{22}	34-41	36-40	7-10
X_{31}	29-36	31-36	8-10
W_1	24-32	27-35	6-8
W_2	26-31	24-32	6-8
W_3	27-35	24-32	6-8
Toplam	200-250 \$	210-246 \$	50-66 \$

Çizelge 4.6. Y ürününe ait bileşen maliyetleri

Parça/Bileşen	İşleme maliyet aralığı (\$)	İyileştirme maliyet aralığı (\$)	Hurda maliyet aralığı (\$)
Y_{12}	34-39	33-40	10-11
Y_{111}	34-40	32-39	9-10
Y_{21}	38-46	36-42	9-10
Y_{31}	33-41	31-39	9-10
W_1	24-32	27-35	6-8
W_2	26-31	24-32	6-8
W_3	27-35	24-32	6-8
Toplam	216-260 \$	220-248 \$	55-65 \$

Çizelge 4.7. Z ürününe ait bileşen maliyetleri

Parça/Bileşen	İşleme maliyet aralığı (\$)	İyileştirme maliyet aralığı (\$)	Hurda maliyet aralığı (\$)
Z_{12}	39-44	31-36	11-12
Z_{112}	37-42	30-36	10-11
Z_{22}	41-49	35-40	10-11
Z_{32}	35-43	31-38	10-11
W_1	24-32	27-35	6-8
W_2	26-31	24-32	6-8
W_3	27-35	24-32	6-8
Toplam	230-270 \$	205-247 \$	59-69 \$

X, Y ve Z ürünlerinin geri dönüş miktarlarının, rassal bir değişken olduğu ve ürün çeşidine göre şu aralıkta değerler aldığı varsayılmaktadır: X ürününün 0-1 yıl, 1-3 yıl ve 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki geri dönüş miktarları sırasıyla (5000, 10500), (5500,16500), (6000, 19500), Y ürününün 0-1 yıl, 1-3 yıl ve 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki geri dönüş miktarları sırasıyla (4500,9850), (5000,17750), (5500,19200) ve Z ürününün 0-1 yıl, 1-3 yıl ve 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki geri dönüş miktarları sırasıyla (4000,10250), (4800,16000), (6000,19750) aralığındadır. Model varsayımında önceden belirlenmiş aralıklı değer aldığı ifade edilen geri dönüş miktarları için ilerleyen kullanım süresine göre artan değer üretildiği görülmektedir.

X, Y ve Z ürünlerinin toplama, ayrıştırma, işleme, iyileştirme, hurda, parça ve bileşen satın alma, elde bulundurma/bulundurmama maliyetlerinin rassal bir değişken olduğu ve ürün çeşidine göre şu aralıkta değerler aldığı varsayılmaktadır: X, Y ve Z ürünlerinin toplama maliyeti (50,70), X, Y ve Z ürünlerinin ayrıştırma maliyeti sırasıyla (50,84), (48,80), (55,75), işleme maliyeti sırasıyla (200,250), (216,260), (230,266), iyileştirme maliyetleri sırasıyla (210,246), (220,248), (199,247), hurda maliyetleri sırasıyla (50,66), (55,65), (59,69), parça satın alma maliyeti sırasıyla (40,44), (30, 52), (45, 55), bileşen satın alma maliyeti sırasıyla (10,14), (11,15), (12,16), elde bulundurma maliyetleri sırasıyla (20,40), (25,45), (30,50), elde bulundurmama maliyetleri sırasıyla (60,80), (65,73), (70,74) aralığındadır. Model varsayımında önceden belirlenmiş aralıklı değer

aldığı ifade edilen maliyetler için ilerleyen kullanım süresine göre artan değer üretildiği görülmektedir.

X, Y ve Z ürünlerinin satış gelirleri ve talep miktarının rassal bir değişken olduğu ve ürün çeşidine göre şu aralıkta değerler aldığı varsayılmaktadır: X, Y ve Z ürünlerinin satış gelirleri ($S_{Xi,Yi,Zi}$) sırasıyla (756,1000), (800,1000), (810,1000) ve talep miktarları ($dc_{Xi,Yi,Zi}$) sırasıyla (7000,9000), (7250,9250), (7050,9450) aralığındadır. Model varsayımında önceden belirlenmiş aralıklı değer aldığı ifade edilen satış gelirleri ve talep miktarı için ilerleyen kullanım süresine göre azalan değer üretildiği görülmektedir.

Talep miktarı ile geri kazanılan X, Y ve Z ürünlerinin miktarı arasındaki ilişki KDTZ probleminde yer alan elde bulundurma/bulundurmama veya talebi karşılama durumlarını ortaya koymaktadır. Yenileme merkezlerinden dağıtıcılara gelen X, Y ve Z ürünlerinin miktarı, müşteri talebinden daha az olduğu takdirde elde bulundurmama, müşteri talebinden daha fazla olduğu takdirde elde bulundurma ve müşteri talebine eşit olduğu takdirde talebi karşılama durumu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca elde bulundurma durumunda talep fazlası ürünler için elde bulundurma maliyetiyle, elde bulundurmama durumunda ise talep eksikliği ürünler için elde bulundurmama maliyetiyle karşılaşılmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan yola çıkarak sayısal örnek için geri kazanılan X, Y ve Z ürünlerinin miktarına bağlı talep durumu Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Çizelge 4.8’de verilen geri kazanılan X, Y ve Z ürün miktarı, yenileme merkezlerinden dağıtıcılara gelen ürün miktarı olarak hesaplanıp bu değer geri dönüş miktarının Q_1 oranı ile çarpımına eşittir.

Çizelge 4.8. KDTZ problemi için geri kazanılan ürün miktarına bağlı talep durumu

Ürün/Kullanım süreleri		0-1 yıl	1-3 yıl	3 ve daha fazla yıl
X	dc_{Xi} (talep miktarı)	7000-9000 (adet)		
	Geri kazanılan ürün miktarı	5812 (adet)	8250 (adet)	9562 (adet)
	Durumu	$< dc_{Xi}$ Elde bulundurmama	$= dc_{Xi}$ Talebi karşılama	$> dc_{Xi}$ Elde bulundurma

Çizelge 4.8. KDTZ problemi için geri kazanılan ürün miktarına bağlı talep durumu (devam)

Ürün/Kullanım süreleri		0-1 yıl	1-3 yıl	3 ve daha fazla yıl
Y	dc_{Yi} (talep miktarı)	7250-9250 (adet)		
	Geri kazanılan ürün miktarı	5381 (adet)	8531 (adet)	9262 (adet)
	Durumu	$< dc_{Xi}$ Elde bulundurmama	$= dc_{Xi}$ Talebi karşılama	$> dc_{Xi}$ Elde bulundurma
Z	dc_{Zi} (talep miktarı)	7050-9450 (adet)		
	Geri kazanılan ürün miktarı	5343 (adet)	7800 (adet)	9656 (adet)
	Durumu	$< dc_{Xi}$ Elde bulundurmama	$= dc_{Xi}$ Talebi karşılama	$> dc_{Xi}$ Elde bulundurma

X, Y ve Z ürünlerinin merkezler arası tedarik sürelerinin rassal bir değişken olduğu ve ürün çeşidine göre şu aralıkta değerler aldığı varsayılmaktadır: X, Y ve Z ürünlerinin müşteri-toplama merkezi arası tedarik süreleri ($t_{x1,y1,z1}$) sırasıyla (10,12), (8,12), (10,12), toplama merkezi-ayrıştırma merkezi arası tedarik süreleri ($t_{x2,y2,z3}$) sırasıyla (8,10), (8,12), (11,13), ayrıştırma merkezi-de-montaj merkezi arası tedarik süreleri ($t_{x3,y3,z3}$) sırasıyla (10,18), (12,18), (14,18), de-montaj merkezi-yenileme merkezi arası tedarik süreleri ($t_{x4,y4,z4}$) sırasıyla (15,25), (16,26), (18,26), yenileme merkezi-dağıtıcı arası tedarik süreleri ($t_{x5,y5,z5}$) sırasıyla (14,26), (16,24), (15,25) aralığındadır. Ayrıca X, Y ve Z ürünleri için müşteri-dağıtıcı arasındaki tersine tedarik süresinin 90 günü geçmemesi ($t_{xj,yj,zj} \leq 90$) istenmektedir.

5. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde uygulaması yapılan çok amaçlı optimizasyon modeli çözülerek geri dönen ürünlerin stratejik önem dereceleri DFP yaklaşımı ile belirlenmiş ve bir sonraki üretim periyodu için önem derecelerine göre üretim miktarları hesaplanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre toplam kâr değerinin stratejik önem seviyesinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı görülmüş ve toplam kâr değerleri geri dönüş miktarı, ürün kullanım süresi, geri dönüşüm oranı ve talep faktörleri üzerinden 3 seviyede ele alınarak Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir.

5.1. Modelin Çözümü

Çok amaçlı programlama modeli için f_1 , f_2 ve f_3 kriter değerlerinin hesaplanmasında, düzgün dağılıma sahip maliyet, satış gelirleri, ürün miktarları ve oranları, talep ve tedarik sürelerinin beklenen değerleri göz önüne bulundurularak POM-QM ve Excel Solver programları kullanılmıştır. Düzgün dağılımın beklenen değeri denklem (5.1)'de verilmiştir:

$X \sim \text{Düzgün}(a,b)$, ise X a ve b aralığında değerler alır.

$$\text{Beklenen değer: } E(X) = \frac{a+b}{2} \quad (5.1)$$

POM-QM ve Excel Solver programları kullanılarak hesaplanmış X , Y ve Z ürünleri için çok amaçlı programlama modelinin çözümü Çizelge 5.1'de mevcuttur.

Çizelge 5.1. X , Y ve Z ürünleri için çok amaçlı programlama modelinin çözümü

Ürünler	f_1 (\$)	f_2 (gün)	f_3 (%)
X	7005656	74	83,3
Y	7063876	76	82,6
Z	6984133	81	82

5.2. DFP Yaklaşımı ile Önem Derecelerinin Belirlenmesi

KDTZ problemi için geri dönen ürünlerin stratejik önem derecelerinin belirlenmesinde Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımında kullanılan kriterler aşağıda verilmiştir:

Kriterler:

1. Toplam kâr
2. Tersine tedarik süresi
3. Geri kazanım oranı

Verilen kriterler çok amaçlı programlama modelinde ulaşılması istenen hedeflere göre belirlenmiş olup toplam kâr (f_1) ve geri kazanım oranı (f_3) Sınıf 2S (büyük olan daha iyi), tersine tedarik süresi (f_2) ise Sınıf 1S (küçük olan daha iyi) fonksiyonunda yer almaktadır.

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılacak olan tercih aralıkları Çizelge 5.1'deki değerler ile belirlenmektedir. Toplam kâr için tercih aralıkları ve değerleri Çizelge 5.2'de, tersine tedarik süresi için tercih aralıkları ve değerleri Çizelge 5.3'te, geri kazanım oranı için tercih aralıkları ve değerleri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Kriter 1'e ilişkin tercih aralıkları ve değerleri

Kriter 1(u=1):			
Toplam kâr			
Sınıf 2S			
Tercih	Tercih aralığı	Limit	Limit değeri
Kabul Edilemez	$\leq t_{u5}^-$		
Hiç istenmeyen	(t_{u5}^-, t_{u4}^-)	t_{u5}^-	6900000
İstenmeyen	(t_{u4}^-, t_{u3}^-)	t_{u4}^-	6950000
Tolere edilebilir	(t_{u3}^-, t_{u2}^-)	t_{u3}^-	7000000

Çizelge 5.2. Kriter 1'e ilişkin tercih aralıkları ve değerleri (devam)

Tercih	Tercih aralığı	Limit	Limit değeri
İstenen	(t_{u2}^-, t_{u1}^-)	t_{u2}^-	7050000
İdeal	$\geq t_{u1}^-$	t_{u1}^-	7100000

Çizelge 5.3. Kriter 2'ye ilişkin tercih aralıkları ve değerleri

Kriter 2(u=2): Tersine
tedarik süresi

Sınıf 1S

Tercih	Tercih aralığı	Limit	Limit değeri
Kabul edilemez	$\geq t_{u5}^+$		90
Hiç istenmeyen	(t_{u4}^+, t_{u5}^+)	t_{u5}^+	85
İstenmeyen	(t_{u3}^+, t_{u4}^+)	t_{u4}^+	80
Tolere edilebilir	(t_{u2}^+, t_{u3}^+)	t_{u3}^+	75
İstenen	(t_{u1}^+, t_{u2}^+)	t_{u2}^+	70
İdeal	$\leq t_{u1}^+$	t_{u1}^+	

Çizelge 5.4. Kriter 3'e ilişkin tercih aralıkları ve değerleri

Kriter 3(u=3): Geri
kazanım oranı

Sınıf 2S

Tercih	Tercih aralığı	Limit	Limit değeri
Kabul Edilemez	$\leq t_{u5}^-$		
Hiç istenmeyen	(t_{u5}^-, t_{u4}^-)	t_{u5}^-	81,5
İstenmeyen	(t_{u4}^-, t_{u3}^-)	t_{u4}^-	82

Çizelge 5.4. Kriter 3'e ilişkin tercih aralıkları ve değerleri (devam)

Tercih	Tercih aralığı	Limit	Limit değeri
Tolere edilebilir	(t_{u3}^-, t_{u2}^-)	t_{u3}^-	82,5
İstenen	(t_{u2}^-, t_{u1}^-)	t_{u2}^-	83
İdeal	$\geq t_{u1}^-$	t_{u1}^-	83,5

Toplam kâr (f_1), tersine tedarik süresi (f_2) ve geri kazanım oranı (f_3) kriterleri için sınıf fonksiyonları ve farklı derecelerdeki aralıkların hedef değerleri ($t_u(x)$ değerleri) belirlendikten sonra DFP ağırlık algoritması kullanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır. DFP ağırlık algoritması şu şekilde verilmiştir.

I. Başlama:

$$\beta = 1.1, w_{u1}^+ = 0, w_{u1}^- = 0, \tilde{z}^2 = \text{küçük pozitif sayı (örneğin 0.1)}$$

$$u=0; s=1, n_{sc} = \text{kriter sayısı (soft)}$$

II. $u = u+1$

III. $s = s+1$

sırasıyla $\tilde{z}^s, \tilde{t}_{us}^+, \tilde{t}_{us}^-, w_{us}^+, w_{us}^-, \tilde{w}_{us}^+, \tilde{w}_{us}^-, \tilde{w}_{min}$ parametrelerini değerlendir.

Eğer $\tilde{w}_{min}$, küçük pozitif sayıdan daha küçük değerde ise β' yı arttır ve II. Adıma git. ($w_{us}^+, w_{us}^-, \tilde{z}^s, \tilde{t}_{us}^+, \tilde{t}_{us}^-, \tilde{w}_{us}^+, \tilde{w}_{us}^-$ değerlerinin hesaplanması bölüm 3.2.1'de verilmiştir.)

IV. Eğer $s \neq 5$ ise III. Adıma git.

V. Eğer $u \neq n_{sc}$ ise II. Adıma git.

Çizelge 5.5. DFP ağırlık algoritmasıyla hesaplanan ağırlıklar

Kriterler	$\tilde{w}_{u2}^+$	$\tilde{w}_{u3}^+$	$\tilde{w}_{u4}^+$	$\tilde{w}_{u5}^+$	$\tilde{w}_{u2}^-$	$\tilde{w}_{u3}^-$	$\tilde{w}_{u4}^-$	$\tilde{w}_{u5}^-$
u=1					0.0535	0.1177	0.2590	0.5698
u=2	0.0535	0.1177	0.2590	0.5698				
u=3					0.0535	0.1177	0.2590	0.5698

Çizelge 5.6. X, Y ve Z ürünleri için toplam sapma değerleri

Ürünler	Toplam sapma değerleri	Sıralama
X	232680	2
Y	218190	1
Z	249130	3

Üç kriter için hesaplanan $\tilde{w}_{us}^+$ ve $\tilde{w}_{us}^-$ ağırlıkları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelge 5.6'da X, Y ve Z ürünleri için toplam sapma değerleri verilmiş olup en küçük sapma değeri stratejik önem seviyesi en yüksek olan seçeneği belirlemektedir. Buna göre ürünleri sıralarsak birinci sırada Y, ikinci sırada X ve üçüncü sırada Z ürünü yer almıştır. Sıralamaya bakıldığında toplam kâr(f_1) değeri en yüksek olan Y ürününün stratejik önem seviyesinin de en yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda toplam kâr değerinin stratejik önem seviyesinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı düşünülmektedir. Çok amaçlı optimizasyon modeli için normalleştirme işlemi yapıldığında X ürününün ağırlığı (w_1) 0,3324, Y ürününün ağırlığı (w_2) 0,3559 ve Z ürününün ağırlığı (w_3) 0,3117 olarak hesaplanmıştır.

Stratejik önem dereceleri belirlenen X, Y ve Z ürünlerinin bir sonraki üretim periyodu için üretim miktarlarının hesaplanmasında kullanılacak denklem aşağıda verilmiştir:

$$\alpha_{X,Y,Z} * \beta_{Xi,Yi,Zi} = \alpha_{Xi,Yi,Zi} * \beta_{X,Y,Z} \quad (5.2)$$

$\alpha_{X,Y,Z}$: X, Y ve Z ürünlerinin ilk durum için önem derecesi

$\alpha_{Xi,Yi,Zi}$: X, Y ve Z ürünlerinin sonraki durum için önem derecesi

$\beta_{X,Y,Z}$: X, Y ve Z ürünlerinin ilk durum için miktarı (adet)

$\beta_{Xi,Yi,Zi}$: X, Y ve Z ürünlerinin sonraki durum için miktarı (adet)

Denklem (5.2)'ye bakıldığında ürünlerin önem dereceleri ile üretim miktarları arasında doğru orantı olduğu görülmektedir. X, Y ve Z ürünlerinin ilk durum için önem

derecesi ($\alpha_{X,Y,Z}$) dikkate alınmadığından üç ürünün de eşit kabul edildiği varsayılarak hesaplanmaktadır. Bu durumda üç ürünün ilk durum için önem derecesi $\alpha_{X,Y,Z} = \% \frac{100}{3} = \%33$ olarak hesaplanmıştır. X, Y ve Z ürünlerinin sonraki durum için önem derecesi ($\alpha_{Xi,Yi,Zi}$), Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile bulunmuş olup X, Y ve Z ürünleri için sırasıyla 0,3324, 0,3559, 0,3117 olarak belirlenmiştir. X, Y ve Z ürünlerinin ilk durum için miktarı ($\beta_{X,Y,Z}$), 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki ürün miktarlarının toplamı olarak hesaplanmaktadır. KDTZ probleminde bulunması istenen X, Y ve Z ürünlerinin bir sonraki üretim periyodu için üretim miktarları ($\beta_{Xi,Yi,Zi}$) şu şekilde hesaplanmaktadır:

X ürünü için;

$$\alpha_X * \beta_{Xi} = \alpha_{Xi} * \beta_X \quad (5.3)$$

$$\alpha_X = 0,33$$

$$\alpha_{Xi} = 0,3324$$

$$\beta_X = 31500 \text{ adet}$$

$$0,33 * \beta_{Xi} = 0,3324 * 31500 \quad \beta_{Xi} \cong 31415 \text{ adet} \quad (5.4)$$

Y ürünü için;

$$\alpha_Y * \beta_{Yi} = \alpha_{Yi} * \beta_Y \quad (5.5)$$

$$\alpha_Y = 0,33$$

$$\alpha_{Yi} = 0,3559$$

$$\beta_Y = 30900 \text{ adet}$$

$$0,33 * \beta_{Yi} = 0,3559 * 30900 \quad \beta_{Yi} \cong 32995 \text{ adet} \quad (5.6)$$

Z ürünü için;

$$\alpha_Z * \beta_{Zi} = \alpha_{Zi} * \beta_Z \quad (5.7)$$

$$\alpha_Z = 0,3\bar{3}$$

$$\alpha_{Zi} = 0,3117$$

$$\beta_Z = 30400 \text{ adet}$$

$$0,3\bar{3} * \beta_{Zi} = 0,3117 * 30400 \quad \beta_{Zi} \cong 28430 \text{ adet} \quad (5.8)$$

Sonraki bölümde model için belirlenen değişkenlerin analiz edilmesi için deney tasarımı yöntemlerinden biri olan Taguchi yöntemi uygulanmış, X, Y ve Z ürünleri için elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.3. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi aynı anda birden fazla faktörün göz önünde bulundurulmasıyla birlikte daha az deney yapılarak optimum sonucun elde edilmesini sağlamaktadır. Taguchi yönteminde ortogonal diziler kullanılarak kontrol edilemeyen faktör etkileri minimize edilmeye çalışılmaktadır (Canıyılmaz ve Kutay, 2003).

Bir önceki bölümde Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile KDTZ probleminde ele alınan toplam kâr, geri kazanım oranı ve tersine tedarik süresi için kriter ağırlıkları hesaplanmış ve toplam kâr değerinin stratejik önem seviyesinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı görülmüştür. Bu bölümde Taguchi yöntemi için X, Y ve Z ürünlerinin toplam kâr (f_1) değerlerine etki eden 4 faktör belirlenmiştir.

Değerlendirilecek faktörler şunlardır:

- Geri dönüş miktarı
- Ürün kullanım süresi
- Geri dönüşüm oranı
- Talep

X, Y ve Z ürünlerinin değerlendirilmesi için 4 faktör seçilmiş ve bu faktörler için 3 seviye belirlenmiştir. Çizelge 5.7’de belirlenen faktörler ve seviyeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. X, Y ve Z ürünleri için belirlenen faktörler ve seviyeleri

<i>Ürün</i>	<i>Faktör</i>	<i>Seviyeler</i>		
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
X	Geri dönüş miktarı	7750	11000	12750
	Ürün kullanım süresi	0-1	1-3	3+
	Geri dönüşüm oranı	0,8	0,746	0,694
	Talep	7000	8000	9000
Y	Geri dönüş miktarı	7175	11375	12350
	Ürün kullanım süresi	0-1	1-3	3+
	Geri dönüşüm oranı	0,78	0,757	0,709
	Talep	7250	8250	9250
Z	Geri dönüş miktarı	7125	10400	12875
	Ürün kullanım süresi	0-1	1-3	3+
	Geri dönüşüm oranı	0,806	0,741	0,689
	Talep	7050	8250	9450

Taguchi yönteminde, X, Y ve Z ürünleri için değerlendirilecek faktör ve seviyeleri belirlendikten sonra uygun ortogonal dizinin seçilmesi gerekmektedir. Deney için $L_9(3^4)$ ortogonal dizimi kullanılarak 9 deney yapılmıştır. Çizelge 5.8’de X, Y ve Z ürünlerinin L_9 ortogonal dizimi için faktörler ve seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 5.8. L_9 ortogonal dizisi için faktörler ve seviyeleri

Deney No	Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2

Çizelge 5.8. L_9 ortogonal dizisi için faktörler ve seviyeleri (devam)

Deney No	Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

L_9 ortogonal dizimi seçilmesinde 3 seviyeli 4 faktör içeren bir yapıda deney sayısının azaltılması göz önüne bulundurulmuştur. Çizelge 5.9'da X ürünü, Çizelge 5.10'da Y ürünü, Çizelge 5.11'de Z ürünü için L_9 ortogonal dizimi gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. X ürünü için L_9 ortogonal dizimi

Deney No	Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep
1	7750	0-1	0,800	7000
2	7750	1-3	0,746	8000
3	7750	3+	0,694	9000
4	11000	0-1	0,746	9000
5	11000	1-3	0,694	7000
6	11000	3+	0,800	8000
7	12750	0-1	0,694	8000
8	12750	1-3	0,800	9000
9	12750	3+	0,746	7000

Çizelge 5.10. Y ürünü için L_9 ortogonal dizimi

Deney No	Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep
1	7175	0-1	0,780	7250
2	7175	1-3	0,757	8250
3	7175	3+	0,709	9250
4	11375	0-1	0,757	9250
5	11375	1-3	0,709	7250
6	11375	3+	0,780	8250
7	12350	0-1	0,709	8250
8	12350	1-3	0,780	9250
9	12350	3+	0,757	7250

Çizelge 5.11. Z ürünü için L_9 ortogonal dizimi

Deney No	Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep
1	7125	0-1	0,806	7050
2	7125	1-3	0,741	8250
3	7125	3+	0,689	9450
4	10400	0-1	0,741	9450
5	10400	1-3	0,689	7050
6	10400	3+	0,806	8250
7	12875	0-1	0,689	8250
8	12875	1-3	0,806	9450
9	12875	3+	0,741	7050

X, Y ve Z ürünlerinin Çizelge 5.9, 5.10 ve 5.11’de belirlenen 9 deney için toplam kâr değerleri hesaplanmış ve X, Y ve Z ürünlerinin hesaplanan değerleri sırasıyla Çizelge 5.12, 5.13 ve 5.14’te verilmiştir.

Çizelge 5.12. X ürünü için deney sonuçları

Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep	Toplam kâr (f_1)
7750	0-1	0,800	7000	6898184
7750	1-3	0,746	8000	6123157
7750	3+	0,694	9000	5579792
11000	0-1	0,746	9000	7830693
11000	1-3	0,694	7000	6899594
11000	3+	0,800	8000	7049741
12750	0-1	0,694	8000	7525089
12750	1-3	0,800	9000	7484762
12750	3+	0,746	7000	7078375

X ürünü için yapılan deney sonuçlarına bakıldığında geri dönüş miktarı ve geri dönüşüm oranının fazla olan deneylerde toplam kâr değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca toplam kâr değeri ürün kullanım süresinin 0-1 yıl olduğu deneylerde diğer kullanım sürelerine göre daha yüksek değer almaktadır.

Çizelge 5.13. Y ürünü için deney sonuçları

Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep	Toplam kâr (f_1)
7175	0-1	0,780	7250	7058702
7175	1-3	0,757	8250	6052905
7175	3+	0,709	9250	5665859
11375	0-1	0,757	9250	7814703
11375	1-3	0,709	7250	6758625
11375	3+	0,780	8250	6801884
12350	0-1	0,709	8250	7785348
12350	1-3	0,780	9250	7256541
12350	3+	0,757	7250	7088116

Y ürünü için yapılan deney sonuçlarına bakıldığında talebin yüksek ve geri dönüş miktarının fazla olduğu deneylerde toplam kâr değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca ürün kullanım süresinin 0-1 yıl olduğu durumda geri dönüşüm oranı yüksek olan deneylerde toplam kâr değeri daha yüksektir.

Çizelge 5.14. Z ürünü için deney sonuçları

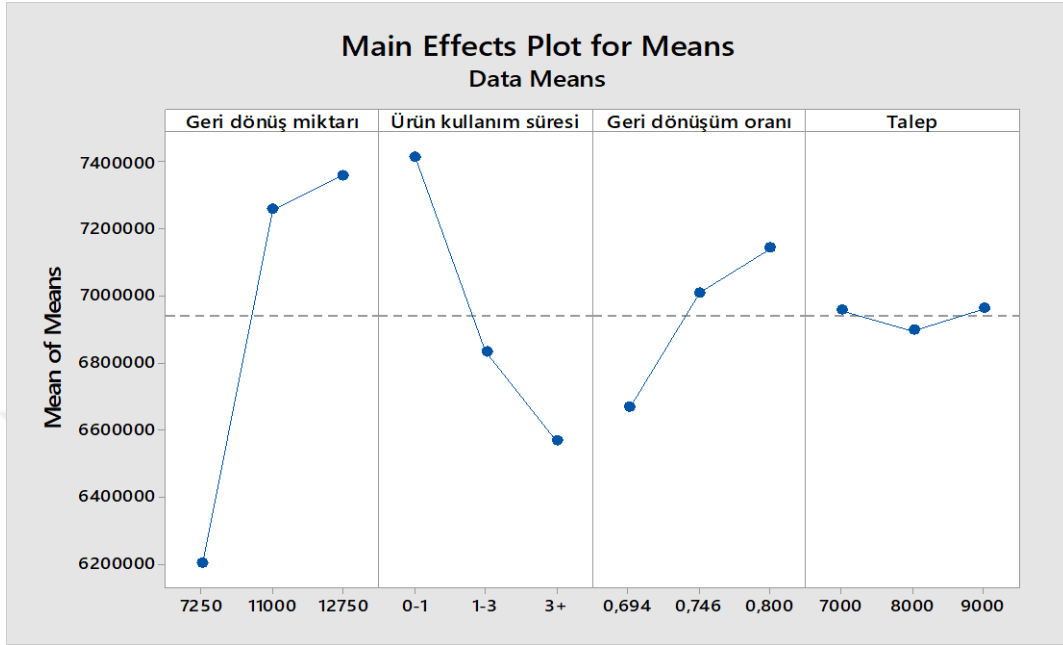
Geri dönüş miktarı	Ürün kullanım süresi	Geri dönüşüm oranı	Talep	Toplam kâr (f_1)
7125	0-1	0,806	7050	7002656
7125	1-3	0,741	8250	6151861
7125	3+	0,689	9450	5406956
10400	0-1	0,741	9450	7439114
10400	1-3	0,689	7050	6682714
10400	3+	0,806	8250	6724310
12875	0-1	0,689	8250	7584461
12875	1-3	0,806	9450	7673963
12875	3+	0,741	7050	7012281

Z ürünü yapılan deney sonuçlarına bakıldığında geri dönüşüm oranının düşük olduğu deneylerde toplam kâr değerinin de düşük değer aldığı görülmektedir. Ayrıca geri dönüş miktarı ve talebin en fazla olduğu deneylerde toplam kâr değeri en yüksek değeri almaktadır. Yapılan deneylere göre X, Y ve Z ürünlerinin (f_1) toplam kâr değeri için optimum çözümü Çizelge 5.15'te verilmiştir.

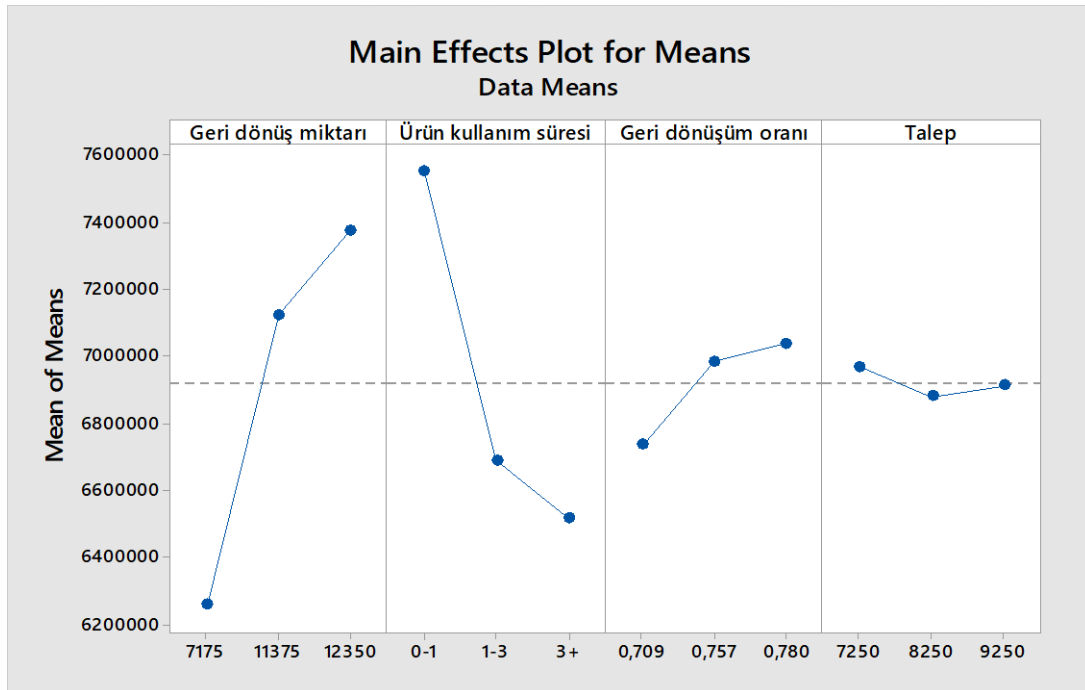
Çizelge 5.15. X, Y ve Z ürünlerinin (f_1) değerleri için optimum çözümü

Ürün	Geri dönüş miktarı (adet)	Ürün kullanım süresi (yıl)	Geri dönüşüm oranı	Talep (adet)	Toplam kâr (f_1)
X	11000	0-1	0,746	9000	7830693
Y	11375	0-1	0,757	9250	7814703
Z	12875	1-3	0,806	9450	7673963

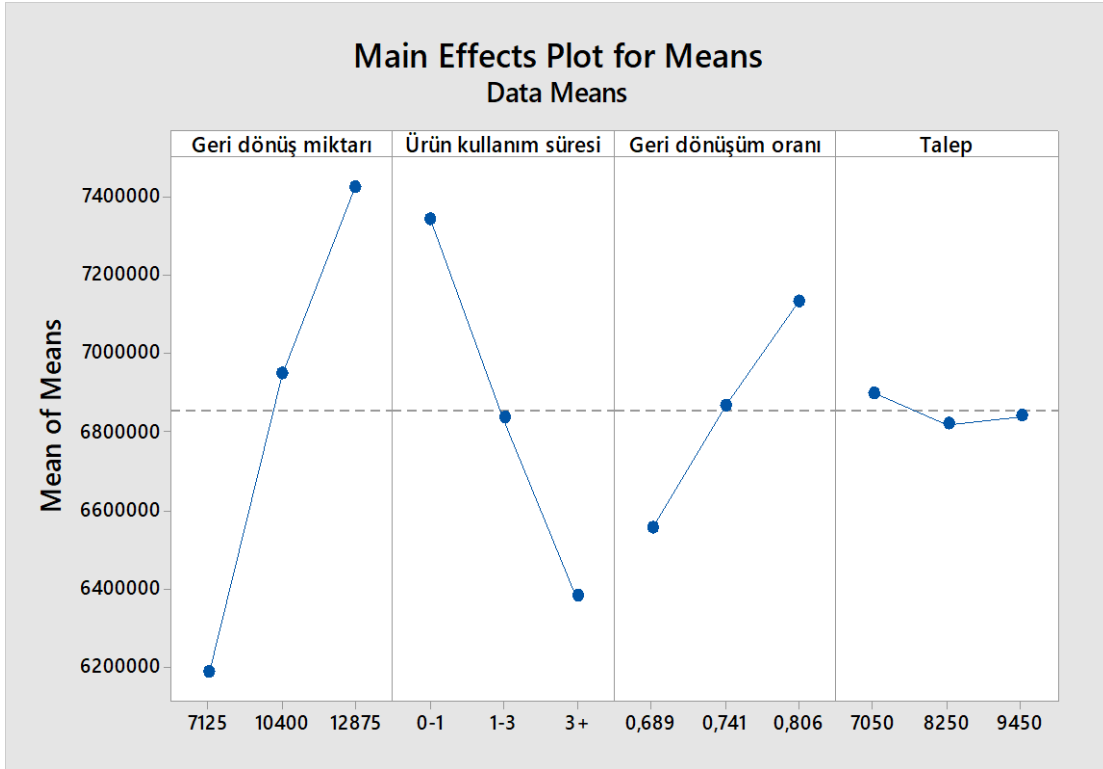
X, Y ve Z ürünlerinin toplam kârını etkileyen faktörler için ana etkiler grafikleri sırasıyla Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.1. X ürününün toplam kâr değeri için ana etkiler grafiği



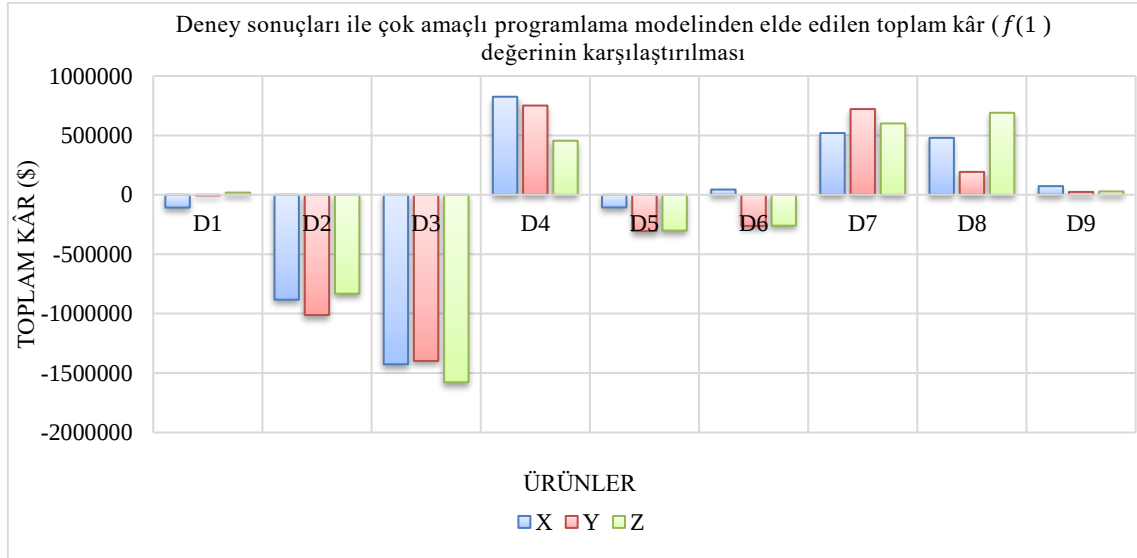
Şekil 5.2. Y ürününün toplam kâr değeri için ana etkiler grafiği



Şekil 5.3. Z ürününün toplam kâr değeri için ana etkiler grafiği

Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'teki ana etkiler grafikleri incelendiğinde X, Y ve Z ürünlerinin toplam kâr değerleri için etkin faktörlerin sıralaması geri dönüş miktarı, ürün kullanım süresi, geri dönüşüm oranı ve talep olarak belirlenmiştir. Toplam kâr için en etkin faktörün geri dönüş miktarı olduğu ve ayrıca grafiklerdeki geri dönüş miktarına bakıldığında Z ürününün ikinci ve üçüncü seviyedeki geri dönüş miktarının mutlak farkı, X ve Y ürünlerine göre daha fazla olduğundan grafikte daha az kırılmanın olduğu görülmüştür.

Yukarıda X, Y ve Z ürünlerinin Taguchi yönteminden elde edilen f_1 (toplam kâr) değerlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 5.4 'te Taguchi yöntemi için yapılan deney sonuçları ile çok amaçlı programlama modelinden elde edilen toplam kâr (f_1) değerinin karşılaştırılması grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. X, Y ve Z ürünleri için f_1 değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.4'e bakıldığında Deney 1, 2, 3 ve 5 için X ürününün, Deney 1, 2, 3, 5 ve 6 için Y ürününün, Deney 2, 3, 5 ve 6 için Z ürününün toplam kâr değerleri, temel çözümdeki toplam kâr değerinden küçük olduğundan grafiğin negatif yönde, Deney 2, 4, 6, 7, 8 ve 9'da X ürününün, Deney 4, 7, 8 ve 9'da Y ürününün, Deney 1, 4, 7, 8 ve 9'da Z ürününün toplam kâr değerleri, temel çözümdeki toplam kâr değerinden büyük olduğundan grafiğin pozitif yönde olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknolojik gelişmeler ve artan rekabet ortamında işletmeler için Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusuna yeni yaklaşımlar getirmenin önemli olduğu açıklanmıştır. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri için ileri ve tersine olmak üzere iki tip akış olduğu ve tersine akışta müşterilerden geri dönen ürünlerin miktarı, yeniden kullanılabilirlik düzeyi, geri dönüşüm süresi ve toplam kazanç gibi belirsizliklerin yer aldığı belirtilmiştir. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde bu belirsizliklerden yola çıkarak geri kazanılan ürünlerden elde edilen toplam kârın ve geri kazanım oranının maksimizasyonu ve tersine tedarik süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir optimizasyon problemini ortaya çıkardığını ifade ederken problem çok amaçlı programlama modeli olarak ele alınmıştır.

Çok amaçlı programlama modelinin çözümü için amaç fonksiyonundaki hedeflerin ağırlıklarının belirsizliği ve buna bağlı olarak da karar vericinin tutarsız sonuçlarla karşılaşabilmesi gibi zorlukların olduğu düşünülerek bu noktada Doğrusal Fiziki Programlama (DFP) yaklaşımının problemi kolaylaştırıcı etken olacağına karar verilmiştir. DFP yöntemi ile ulaşılması istenen hedefler 4 farklı sınıf fonksiyonunda kategorize edilmiştir ve her bir hedefin tercih aralıkları tanımlanmıştır. Bu kapsamda KDTZ problemi için sayısal bir örnek ele alınarak çok amaçlı optimizasyon modeli öngörülmüştür. Bu model incelendiğinde;

1. Üç farklı ürün olan X, Y ve Z'nin parça ve bileşenleri tanıtılmıştır. Ürünlerde bulunan ortak ve farklı parçalar açıklanmıştır.
2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri için ileri ve tersine tedarik akışlarını ifade eden ağ yapısı gösterilmiştir.
3. Müşterilerden geri dönen ürünlerin 0-1 yıl, 1-3 yıl ve 3 ve daha fazla yıl şeklinde farklı kullanım sürelerine sahip olduğu belirtilmiştir.
4. Farklı kullanım süresinde olan parçalar için kalite sınıfı (q) oluşturulmuştur. Kalite sınıfına göre q değeri 0 (düşük kalite) veya 1 (iyi kalite) değerlerini almıştır.
5. Modele ilişkin karar değişkenleri, parametreler, kısıtlar ve amaç fonksiyonları tanımlanıp problem çok amaçlı programlama modeli olarak ifade edilmiştir.

6. Modeldeki yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip X, Y ve Z ürünlerinin stratejik önem derecesinin belirlenmesinde Doğrusal Fiziki Programlama yöntemi kullanılmış ve uygulama adımları açıklanmıştır.

Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı için çok amaçlı programlama modelinde hedeflenen toplam kâr, tersine tedarik süresi ve geri kazanım oranı kriterleri kullanılmıştır. Kriterlerin hedef değerleri ve tercih aralıklarını kullanarak üç ürün için stratejik önem derecesi hesaplanmıştır. Buna göre X ürününün ağırlığı (w_1) 0,3324, Y ürününün ağırlığı (w_2) 0,3559 ve Z ürününün ağırlığı (w_3) 0,3117 olarak bulunmuştur. Stratejik önem dereceleri belirlenen X, Y ve Z ürünlerinin bir sonraki üretim periyodu için üretim miktarları hesaplanmıştır. Buna göre üretim miktarları X ürünü için 31415 adet, Y ürünü için 32995 adet, Z ürünü için 28430 adet olarak belirlenmiştir.

Uygulama sonuçlarına göre toplam kâr değerinin stratejik önem seviyesinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı görülmüş ve toplam kâr değerleri geri dönüş miktarı, ürün kullanım süresi, geri dönüşüm oranı ve talep faktörleri üzerinden 3 seviyede ele alınarak Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. X, Y ve Z ürünlerinin Taguchi yönteminden elde edilen optimum çözüm değerleri sırasıyla 7.830.693\$, 7.814.703\$ ve 7.673.963\$ olarak bulunmuştur. X, Y ve Z ürünlerinin toplam kârını etkileyen faktörler için ana etkiler grafikleri oluşturulmuştur ve en etkin faktörün geri dönüş miktarı olduğu görülmüştür.

Bu kapsamda KDTZ konusuyla ilgili ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler şu şekilde verilmiştir:

- ✓ Bu çalışmadaki ürün yelpazesi genişletilerek farklı ürünlerde de KDTZ döngüsü oluşturulabilir.
- ✓ Atık merkezine gönderilen ürün bileşenleri detaylı olarak incelenerek en çok görülen hata tipi belirlenebilir ve ileri tedarik zincirinde olan istatistiksel kalite kontrol analizi detaylı olarak yapılabilir.
- ✓ Doğrusal Fiziki Programlama yönteminde ele alınan kriterlere ek olarak yeni kriterler belirlenebilir.
- ✓ Modelde kullanılan diğer parametreler için varyans analizi yapılabilir, parametrelerin düşük ve yüksek seviyeleri ele alınarak deney tasarımı uygulanabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akçalı, E., Çetinkaya, S., 2011, Quantitative Models for Inventory and Production Planning in Closed-Loop Supply Chains, *International Journal of Production Research*, 49, 2373-2407.
- Amaro, A. C. S., Barbosa-Povoa, A. P. F. D., 2007, Optimal Planning of Closed Loop Supply Chains: A Discrete Versus a Continuous-time Formulation, *Computers Aided Chemical Engineering*, 24, 673-678.
- Amin, S. H., Zhang, G., 2013, A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty, *International Journal of Production Research*, 51, 5, 1405-1425.
- Ayvaz, B., Bolat, B., 2013, Kalite ve Miktar Belirsizlikleri Altında Geri Dönüşüm Ağ Tasarımı, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23, 55-77.
- Blog, L., 2017, Tedarik zinciri nedir, <https://blog.logo.com.tr/tedarik-zinciri-ve-tedarik-zinciri-yonetimi-nedir-temel-evreleri-ve-faydalari-nelerdir>, erişim tarihi: 01.10.2020.
- Canıyılmaz, E., Kutay, F., 2003, Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 18, 51-63.
- Canlı, A. K., Aplaç, H. S., 2012, Belirsizlik İçeren Tedarik Zinciri Yönetimi Karar Süreçlerinde Savunma Sektörüne Yönelik Bir Uygulama, *Güvenlik Stratejileri*, 24, 71-109.
- Chen, W., Sahaı, A., Messac, A., Sundararaj, G., 2000, Exploration of the Effectiveness of Physical Programming in Robust Design, *Journal of Mechanical Design*, 122, 155-163.
- Chen, Y., Chan, F., Chung, S., 2015, An integrated closed-loop supply chain model with location allocation problem and product recycling decisions. *International Journal of Production Research*, 10, 3120-3140.
- Cui, Y., Guan, Z., Saif, U., Zhang, L., Zhang, F., Mirza, J., 2017, Close loop supply chain network problem with uncertainty in demand and returned products: Genetic artificial bee colony algorithm approach, *Journal of Cleaner Production*, 162, 717-742.
- Çalık, A., 2016, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yeni Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımları, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 178 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Das, D., Dutta, P., 2015, Design and analysis of a closed-loop supply chain in presence of promotional offer, *International Journal of Production Research*, 1, 141-165.
- Demirdöğen, O., Polater, A., 2016, Sağlık Sektöründe Tedarik Zinciri Yönetimi ve Müşteri İsteklerini Karşılatabilme Yeteneğinin İncelenmesi: Ölçek Geliştirme Çalışması, *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2, 39-54.
- Demirel, N. Ö., Gökçen, H., 2008, A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39, 1197-1206.
- Devika, K., Jafarian, A., Nourbakhsh, V., 2014, Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques, *European Journal of Operational Research*, 235, 594-615.
- Elsayed, A., Kongar, E., Gupta, S., 2016, Fuzzy Linear Physical Programming for Multiple Criteria Decision-Making Under Uncertainty, *International Journal of Computers Communications & Control*, doi:10.15837/ijccc.2016.1.2083 (inpress).
- Eymen, U. E., 2007, Tedarik Zinciri Yönetimi, e-kitap, 15-20, <https://docplayer.biz.tr/7766517-Tedarik-zinciri-yonetimi-u-erman-eymen.html>, erişim tarihi: 02.10.2020.
- Ezici, H., 2019, Tekstil işletmelerinde tersine lojistik uygulamaları üzerine bir çalışma, Yüksek lisans tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 84 s.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Wassenhove, L. 2001, The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design, *Production Operations Management*, 10, 156-173.
- Gu, Y., Liu, Q., 2013, Research on the application of the internet of things in Reverse Logistics Information Management, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 963-973.
- Gupta, A., Evans, G. W., 2009, A Goal Programming Model for The Operation of Closed-Loop Supply Chains, *Engineering Optimization*, 41(8), 713-735.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., Tuzkaya, U. R., Önüt, S., 2009, An Aggregate Production Planning Strategy Selection Methodology based on Linear Physical Programming, *International Journal of Industrial Engineering*, 16, 135-146.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hajipour, V., Tavana, M., Caprio, D. D., Akhgar, M., 2019, An Optimization Model for Traceable Closed-Loop Supply Chain Networks, *Applied Mathematical Modelling*, 71, 673-699.
- Hernandez, G., Allen, J. K., Mistree, F., 2001, The Compromise Decision Support Problem: Modeling the Deviation Function as in Physical Programming, *Engineering Optimization*, 33, 445-471.
- Huang, H. Z., Tian, Z. G., Zuo, M., 2005, Multiobjective Optimization of Threestage Spur Gear Reduction Units using Interactive Physical Programming, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19, 1080-1086.
- İlgin, M. A., Değirmenci, E., Demirtepe, S., 2015, Personel Seçim Problemi için Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 15-28.
- Imtavanich, P., Gupta, S. M., 2006, Linear Physical Programming Approach for a Disassembly-to-Order System under Stochastic Yields and Product's Deterioration, *Proceedings of the 2006 POMS Meeting*, 2, 4-213.
- Jayaraman, V., Guide, V., Srivastav, R. 1999, A Closed Loop Logistics Model for Remanufacturing, *Journal of the Operational Research Society*, 50, 497-508.
- Jeihoonian, M., Zanjani, M. K., Gendreau, M., 2017, Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products, *International Journal of Production Economics*, 183, 470-486.
- Kannan, G., Soleimani, H., Kannan, D., 2009, Analysis of closed loop supply chain using genetic algorithm and particle swarm optimisation, *International Journal of Production Research*, 47, 1175-1200.
- Kaya, A., 2014, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı, Yüksek lisans tezi, Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 96 s.
- Konger, E., Gupta, S. M., 2009, Solving the disassembly-to-order problem using linear physical programming, *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 1, 504-531.
- Kongsuwan, P., Sangmun, S., 2009, Integrating Physical Programming to Information Security System Management, *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology*, 1, 143-148.
- Kovach, J., Cho B. R., Antony, J., 2008, Development of an experiment-based robust design paradigm for multiple quality characteristics using physical programming, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, 1100-1112.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kumar, V., Tripathi, M., Pandey, M., Tiwari, M., 2009, Physical Programming and Conjoint Analysis based Redundancy Allocation in Multi-state Systems: A Taguchi Embedded Algorithm Selection and Control (TAS&C) Approach, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 223, 215-232.
- Kuvvetli, Y., Erol, R., 2020, Kapalı Döngü Üretim Rotolama Problemi için Bir Karar Destek Sistemi Önerisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35, 2, 333-344.
- Lai, X., Xie, M., Tan, K. C., 2006, QFD Optimization using Linear Physical Programming, Engineering Optimization, 38, 593-607.
- Liao, T. Y., 2018, Reverse logistics network design for product recovery and remanufacturing, Applied Mathematical Modelling, 60, 145-163.
- Li, H., Ma, M., Jing, Y., A New Method based on LPP and NSGA-II for Multiobjective Robust Collaborative Optimization, Journal of Mechanical Science and Technology, 25, 1071-1079.
- Li, H., Ma, M., Zhang, W., 2016, Multi-objective collaborative optimization using linear physical programming with dynamic weight, Journal of Mechanical Science and Technology, 30, 763-770.
- Lin, J., Luo, Z., Tong, L., 2010, A New Multiobjective Programming Scheme for Topology Optimization of Compliant Mechanisms, Structural and Multidisciplinary Optimization, 40, 241-255.
- Marin, A., Pelegrin, B. 1998, The Return Plant Location Problem: Modelling and Resolution, European Journal of Operational Research, 104, 375-392.
- McAllister, C. D., Simpson, T. W., Hacker, K., Lewis, K., Messac, A., 2005, Integrating linear physical programming within collaborative optimization for multiobjective multidisciplinary design, Structural and Multidisciplinary Optimization, 29, 178-189.
- Nakıboğlu, G., 2007, Tersine lojistik: önemi ve dünyadaki uygulamaları, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9 (2), 181-196.
- Otay, İ., 2015, Geri Kazanımlı Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri için Dağıtım Planlama, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 304 s.
- Önüt, S., Tuzkaya, U. R., Tuzkaya, G., Gülsün, B., 2011, A Multiobjective Energy Resource Allocation Model for Turkish Manufacturing Industry using Linear Physical Programming, International Journal of Innovative Computing, 7, 3147-3169.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özceylan, E., 2012, Çok Ürünlü Bozulma Faktörlü Kapalı Döngü Esnek Bir Tedarik Zinciri için Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 27, 3, 87-98.
- Özceylan, E., 2013, Demontaj Hattı Dengeleme Problemi İçeren Kapalı Çevrim Tedarik Zincirlerinin Bulanık Ortamda Modellenmesi ve Optimizasyonu, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 213 s.
- Özmen, A., 2013, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Türkiye Cep Telefonu Yeniden Üretimi Karma Tamsayılı Model Önerisi, Doktora tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 112 s.
- Patel, M., Lewis, K., Maria, A., Messac, A., 2003, System design through subsystem selection using Physical Programming, AIAA Journal, 41, 1089-1096.
- Pisvae, M. S., Torabi, S. A., 2010, A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty, Fuzzy Sets and Systems, 161, 2668-2683.
- Saeed R. G., Seyed M. Z., 2015, System Dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain, Simulation Modelling Practice and Theory, 53, 88-102.
- Subulan, K., Taşan, A. S., Baykasoğlu, A., 2012, Fuzzy mixed integer programming model for medium-term planning in a closed-loop supply chain with remanufacturing option, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 23(6), 345-368.
- Şişman, B., 2015, Olabilirsell Doğrusal Programlama ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımında Kurumsal Sosyal Sorumluluğun Etkisinin Belirlenmesi, Doktora tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 230 s.
- Tang, S., Wang, W., Zhou, G., 2020, Remanufacturing in a competitive market: A closed-loop supply chain in a Stackelberg game framework, Expert Systems with Applications, 161, 113655.
- Thierry M., Salomon M., Von Nunen J., Wassenhove L., 1995, Strategic issues in product recovery management, California Management Review, 37, 114-135.
- Tian, Z., Zuo, M., 2006, Redundancy Allocation for Multi-state Systems using Physical Programming and Genetic Algorithms, Reliability Engineering & System Safety, 91, 1049-1056.
- Torğul, B., 2015, Nesnelerin İnterneti ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu: Yeni Bir Model Önerisi, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, 65 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Visich, J. K., Li, S., Khumawala, B.M., 2007, Enhancing Product Recovery Value in Closed-loop Supply Chains with RFID, *Journal of Management Issues*, 19(3), 436–452.
- Wei, J., Zhao, J., 2013, Reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain, *Applied Mathematical Modelling*, 37, 1502-1513.
- Yang, J., Zhang, Z., Chen, J., Hong, M., Li, H. vd., 2020, Investigating the economic returns of mobile heat storage devices in the multi-stage closed-loop supply chain, *Energy Reports*, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.023> (in press).
- Yatsuka, T., Ishigaki, A., Kinoshita, Y., Yamada, T., Inoue, M., 2019, Linear Physical Programming Iteration Method of Multi-player Multi-objective Decision Making Supply Chain, *Procedia Manufacturing*, 39, 1649-1657.
- Yatsuka, T., Ishigaki, A., Gupta, S. M., Kinoshita, Y., Yamada, T. vd., 2020, Collaboration Strategy for a Decentralized Supply Chain Using Linear Physical Programming, *International Journal of Automotive Technology*, 14, 5, 723-733.
- Zeballos, L. J., Méndez, C. A., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A. Q., 2014, Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand, *Computers and Chemical Engineering*, 66, 151–164.
- Zhang, Z. H., Jiang, H., Pan, X., 2012, A Lagrangian relaxation based approach for the capacitated lot sizing problem in closed-loop supply chain, *International Journal of Production Economics*, 140, 249-255.