

Article

Received: date: 06.03.2021

Accepted: date: 06.10.2021

Published: date: 28.11.2021

# Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu

Gamze ÖZTÜRK<sup>1,\*</sup>, Hasan Kıvanç AKSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, gamzeozturk787@hotmail.com

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, hkaksoy@ogu.edu.tr

Orcid: 0000-0002-6368-2753<sup>1</sup> Orcid: 0000-0001-7954-9327<sup>2</sup>

\* Correspondence Author, e-mail: gamzeozturk787@hotmail.com

**Öz:** 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. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde ağ yapısı karmaşık olup burada iade edilen ürünlerin geri kazanım miktarı, maliyeti, süresi ve geri dönüşüm oranı gibi belirsizlikler yer almaktadır. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde bu belirsizliklerden yola çıkarak toplam kâr ve geri kazanım oranının maksimizasyonu, toplam geri kazanım süresinin minimizasyonunu hedefleyen çok amaçlı optimizasyon problemi ele alınmıştır. Çok amaçlı optimizasyon modelinin çözümü için karşılaşılan zorluklardan biri de amaç fonksiyonundaki hedeflerin ağırlıklarının belirlenememesi ve buna bağlı olarak 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 çalışmada Kapalı Döngü Tedarik Zinciri problemi için yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip 3 farklı ürün ele alınmıştır. Uygulaması yapılan çok amaçlı optimizasyon modelinde optimal ürün seçeneği Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar iade edilen ürün sayısı, satış geliri, geri kazanım süresi ve geri kazanım oranındaki değişiklikler üzerinden üç farklı senaryo kullanılarak analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kapalı döngü tedarik zinciri, Doğrusal fiziki programlama, Çok amaçlı optimizasyon

## Close Loop Supply Chain Optimization with Linear Physical Programming Approach

**Abstract:** 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 the CLSC, network structure is complex, there are uncertainties such as the recovery amount, cost, time and recycling rate of the returned products. Based on these uncertainties in the CLSC, multi-objective optimization problem aimed at maximizing the total profit, recovery rate, minimizing the total recovery time was discussed. One of the difficulties encountered in the solution of the multi-objective programming model is that the weights of the goals in the objective function which aren't known and consequently 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 study, for the CLSC problem, 3 different remanufacturable products with common parts are considered. In the multi-objective optimization model applied, the optimal product option was determined with the LPP approach, the results were analyzed changes in the number of returned products, sales revenue, recovery time and recovery rate using three different scenarios.

**Keywords:** Closed loop supply chain, Linear physical programming, Multi-objective optimization

## 1. Giriş

Günümüzdeki işletmelerin çalışma süreçlerine bakıldığında tedarik zinciri kavramının işletmeler için çok önemli bir hal aldığı görülmektedir. Hızla ilerleyen teknoloji, değişen çevre koşulları ve artan rekabet durumu karşısında zorlu koşullarda ayakta kalabilen işletmeler ise Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusunda farklı yaklaşımlara yönelmişlerdir. Kimi işletmeler uygun yerlere geri kazanım tesisi açmaya yönelirken kimi işletmeler tedarik zincirindeki taşıma maliyeti ve taşıma süresini optimum seviyeye çekmeye çalışmıştır. Fakat ulaştırılması istenen ortak nokta müşteri taleplerinin en doğru şekilde karşılanabilmesidir.

Tedarik zincirinde ileri ve tersine olmak üzere iki tip akış vardır. İleri tedarik zincirinde akış yönü tedarikçi-müşteri iken tersine tedarik zincirinde bu yön müşteri-üretici şeklindedir. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, ileri ve tersine tedarik zinciri akışları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkararak geleneksel tedarik zinciri kavramını genişletir [3]. Tedarik zincirinde ağ yapısı üreticiden tüketiciye doğrusal bir yol izlerken Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde bu yol tüketiciden tekrar üreticiye ulaşım döngü halini almaktadır.

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ yapısı bu sistemi oluşturan en önemli unsurdur. Çünkü optimum maliyet ve zaman kullanarak işletmeye fayda sağlayacak olan döngü bu ağ yapısında şekillenecektir. Diğer bir yandan Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde ağ yapısı karmaşık olup burada müşteriler tarafından iade edilen ürünlerin geri kazandırılma miktarı, geri kazandırılma maliyeti, geri kazandırılma süresi ve geri dönüşüm oranı gibi belirsizlikler yer almaktadır. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde bu belirsizliklerden yola çıkarak toplam geri kazanım kâr miktarının maksimizasyonu ve toplam geri kazanım süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir optimizasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem çok amaçlı doğrusal programlama modeli olarak da düşünülebilir. Çok amaçlı doğrusal programlama modelinin çözümü için karşılaşılan zorluklardan biri de amaç fonksiyonundaki hedeflerin ağırlıklarının bilinmemesi ve buna bağlı olarak karar vericinin tutarsız sonuçlarla karşılaşabilmesidir. Bu noktada Doğrusal Fiziki Programlama (LPP) yaklaşımı bu probleme alternatif bir çözüm önerisi sunmaktadır. LPP yönteminde ulaştırılması istenen hedefler 4 farklı sınıf fonksiyonunda kategorize edilerek her bir hedefin tercih aralıkları tanımlanmaktadır. Sonuçta Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı, karar vericilerin tercih aralıklarını kullanarak hedefler için kriter ağırlıklarını tutarlı bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip 3 ürününün Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde geri kazanım süresinin minimizasyonu, toplam kârın ve geri kazanım oranının maksimizasyonunun sağlanmasıyla birlikte optimal ürün seçeneğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın geri kalan bölümleri aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

İkinci bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ile ilgili literatür araştırmasına değinilecektir. Üçüncü bölümde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ akışlarının belirlenmesiyle birlikte uygulanması öngörülen LPP yaklaşımı detaylı olarak açıklanacaktır. Dördüncü bölümde problem tanımına ve müşteriden iade edilen ürünlerin geri kazanım süresi, maliyet ve geri dönüşüm oranı belirsizliklerin bulunduğu çok amaçlı doğrusal programlama modeline yer verilecektir. Modelle ilgili zaman, maliyet kısıtları ve kalite düzeyleri sayısal bir örnek üzerinde analiz edilecektir. Beşinci bölümde ise uygulama sonuçları ve gelecekte yapılacak çalışmalar ile ilgili öneriler sunulacaktır.

## 2. Literatür Taraması

Avrupa' da 18. yy' da gelişen Endüstri Devrimi birçok teknik buluşun etkisini artırarak 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 yapısı ortaya çıkmıştır. Seri üretim ile hayatımızda tedarik zinciri, lojistik, pazarlama gibi kavramlar yer almıştır. Neticede müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasında en önemli unsurlardan biri iyi bir tedarik zinciri yönetiminin sağlanmasıdır.

İşletmelerin tüm çalışma süreçlerini yakından ilgilendiren tedarik zinciri; tüm ürün ve hizmetlerin tedarikçiden başlayıp en son aşamada müşteriye gidene kadarki süreci, bu yolda yer alan tüm faaliyetleri, insan kaynağını, teknolojiyi, firma yapısını ve kaynakları kapsayan kavramın adı olarak açıklanabilir [2]. Tersine tedarik zincirinde hammaddenin kaynağı son kullanıcı yani müşteridir ve

müşteriden üreticiye doğru bir malzeme/enerji akışı vardır. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ise 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 çözümlenmek için Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Mevcut çalışmalarda yer alan çözüm önerileri şu şekilde özetlenebilir:

Marin ve Pelegrin [10], geri dönüş tesisi için yerleşim problemini incelemiş, lagrange yöntemine dayalı sezgisel çözüm yöntemine yer vermiştir. Bunun yanı sıra Jayaraman vd. [8], 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 ve geri kazanılan ürünlerin ortaya çıkan akışları için uygun lojistik yapıların kurulmasını gerektiğini belirten Fleischmann vd. [5], bu konuyu dikkate alarak 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.

İyi yönetilen tedarik zinciri yönetimini; atık, envanter ve lojistikte önemli tasarruf olarak tanımlayan Kannan vd. [9], sipariş üzerinden entegre edilen çok kademeli ve çok ürünlü kapalı döngü ağ modeli geliştirmiştir. Hindistan'ın güney kısmında bulunan plastik eşya üreten firmasında iki örnek olay için uygulaması yapılmıştır. Karma tamsayı doğrusal programlama modeli genetik algoritma ile çözülmüştür. Pishvae ve Torabi [11], belirsizlik ve risk altında Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ tasarımı için olasılıklı bir programlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada çok amaçlı olasılıklı karma tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelde ileri ve tersine tedarik zinciri stratejik ağ tasarımına entegre edilmiştir ve taktik malzeme akışına da karar verilmiştir. Karma tamsayı programlama modelini çözmek için etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Çözüm yaklaşımının uygulanabilirliğini göstermek için sayısal verilerle deneyler yapılmıştır.

Son dönemde firmaların klasik üretim planlama tekniğinden farklı olarak orta vadeli planlama faaliyetlerine yöneldiğini söyleyen Subulan vd. [12], 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 süreleri/ geri kazanımla üretim süreleri ve amaç fonksiyonundaki parametreler bulanık olarak hesaplanmıştır. Modelin çözümü ise ILOG OPL Studio 6.3 programı ile yapılmıştır. Zhang vd. [13], ürün iadelerini ve yeniden üretimi dikkate aldığı Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde sınırlı kapasitede parti büyüklüğü problemini incelemiştir. Karma tamsayı doğrusal programlama modelinde, çözüm önerisi olarak lagrange gevşetmeye dayalı bir yaklaşım sunmuştur. Kaliteli çözüm olduğu düşünülen bu yöntem amaç fonksiyonundaki değer alt sınırının daha düşük değerde olmasını sağlayabilmiştir.

Amin ve Zhang [1], birden fazla ürün içeren Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ tasarımı yapılandırıp belirsizlik altındaki durumları değerlendiren üç aşamalı model geliştirmişlerdir. Yeniden üretim ve yenileme işlemlerinde QFD modelini örnek alarak müşteri, parça ve süreç arasındaki ilişkileri analiz edip çok amaçlı karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modelini bulanık kümeler teorisi yaklaşımıyla ele almışlardır. Hajipour vd. [6], stokastik çok ürünlü Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli önermiştir. Kapalı döngü tedarik ağında Radyo Frekans 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 (Açgöz Rasgele Adaptif Arama Prosedürü) ve PSO (Parçaçık Sürü Optimizasyonu) olan bu iki algoritma kullanılarak farklı boyutlarda hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçta, GRASP'ın hem kâr hem zaman açısından PSO'dan daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

Tüm bu incelemeler kapsamında yapılan araştırmalarla, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri konusunun işletmeler için önemli hale geldiğinin ispatını mevcut çalışmalar ifade etmektedir. Mevcut çalışmalara

farklı bir bakış açısı getirerek 4. Bölümde sunulan KDTZ modelinin analizinde kullanılan Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı sonraki bölümde açıklanmıştır.

### 3. Doğrusal Fiziki Programlama (LPP) 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 (Ayrıştırılmaya Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma), PSA (Pareto Benzetimli Tavlama), MOSA (Çok Amaçlı Benzetimli Tavlama), Hedef Programlama, Dinamik Programlama ve LPP (Doğrusal Fiziki Programlama) yaklaşımları mevcuttur.

LPP yaklaşımı çok amaçlı optimizasyon probleminde karar vericiye ulaşılması istenen hedefler için kriter ağırlıklarını tutarlı bir şekilde hesaplamaktadır. LPP yaklaşımında her kriter için Soft durumda 1S, 2S, 3S ve 4S ve Hard durumda 1H, 2H 3H ve 4H olmak üzere 4 farklı sınıf fonksiyonu bulunmaktadır. Soft ve Hard durumları için sınıf fonksiyonları şu şekilde ifade edilir [7]:

Soft:

Sınıf 1S: Küçük olan daha iyi (min)

Sınıf 2S: Büyük olan daha iyi (max)

Sınıf 3S: Değer daha iyi

Sınıf 4S: Aralık daha iyi

Hard:

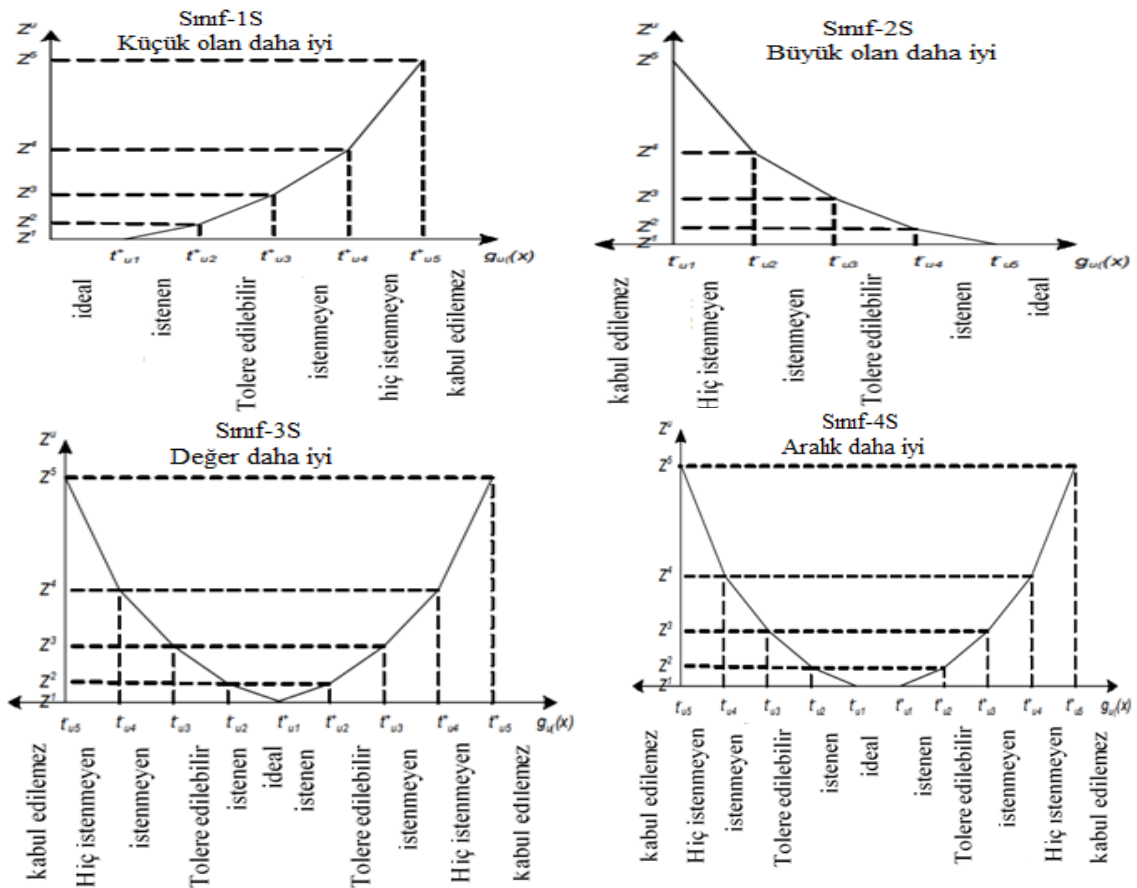
Sınıf 1H: Daha küçük olmalı

Sınıf 2H: Daha büyük olmalı

Sınıf 3H: Eşit olmalı

Sınıf 4H: Aralık içinde olmalı

Soft durumdaki sınıf fonksiyonları için Gupta ve Imtavanich [4]' in yaptığı bir çalışmada yer alan grafikler Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde yatay eksendeki  $g_u(x)$  kriterler için tercih aralıklarını, dikey eksende yer alan  $z_u(x)$  ise minimize edilmesi istenen sınıf fonksiyonunu ifade etmektedir.



Şekil 1. LPP yaklaşımı için Soft sınıf fonksiyonları

Şekil 1'de görüldüğü gibi her sınıf fonksiyonunun ideal değeri 0'dır yani sınıf fonksiyonunun en küçük değerler alması beklenir. Tercih aralıkları  $u$ . 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

$$\begin{aligned} g_u &\geq t_{u5}^+ \text{ (kabul edilemez aralık)} \\ t_{u4}^+ &\leq g_u \leq t_{u5}^+ \text{ (hiç istenmeyen aralık)} \\ t_{u3}^+ &\leq g_u \leq t_{u4}^+ \text{ (istenmeyen aralık)} \\ t_{u2}^+ &\leq g_u \leq t_{u3}^+ \text{ (tolere edilebilir aralık)} \\ t_{u1}^+ &\leq g_u \leq t_{u2}^+ \text{ (istenen aralık)} \\ g_u &\leq t_{u1}^+ \text{ (ideal aralık)} \end{aligned}$$

2S sınıf fonksiyonu için

$$\begin{aligned} g_u &\leq t_{u5}^- \text{ (kabul edilemez aralık)} \\ t_{u5}^- &\leq g_u \leq t_{u4}^- \text{ (hiç istenmeyen aralık)} \\ t_{u4}^- &\leq g_u \leq t_{u3}^- \text{ (istenmeyen aralık)} \\ t_{u3}^- &\leq g_u \leq t_{u2}^- \text{ (tolere edilebilir aralık)} \\ t_{u2}^- &\leq g_u \leq t_{u1}^- \text{ (istenen aralık)} \\ g_u &\geq t_{u1}^- \text{ (ideal aralık)} \end{aligned}$$

3S sınıf fonksiyonu için

$$\begin{aligned} g_u &\leq t_{u5}^- \text{ \& } g_u \geq t_{u5}^+ \text{ (kabul edilemez aralık)} \\ t_{u5}^- &\leq g_u \leq t_{u4}^- \text{ \& } t_{u4}^+ \leq g_u \leq t_{u5}^+ \text{ (hiç istenmeyen aralık)} \\ t_{u4}^- &\leq g_u \leq t_{u3}^- \text{ \& } t_{u3}^+ \leq g_u \leq t_{u4}^+ \text{ (istenmeyen aralık)} \\ t_{u3}^- &\leq g_u \leq t_{u2}^- \text{ \& } t_{u2}^+ \leq g_u \leq t_{u3}^+ \text{ (tolere edilebilir aralık)} \\ t_{u2}^- &\leq g_u \leq t_{u1}^- \text{ \& } t_{u1}^+ \leq g_u \leq t_{u2}^+ \text{ (istenen aralık)} \\ g_u &= t_{u1} \text{ (ideal değer)} \end{aligned}$$

4S sınıf fonksiyonu için

$$\begin{aligned} g_u &\leq t_{u5}^- \text{ \& } g_u \geq t_{u5}^+ \text{ (kabul edilemez aralık)} \\ t_{u5}^- &\leq g_u \leq t_{u4}^- \text{ \& } t_{u4}^+ \leq g_u \leq t_{u5}^+ \text{ (hiç istenmeyen aralık)} \\ t_{u4}^- &\leq g_u \leq t_{u3}^- \text{ \& } t_{u3}^+ \leq g_u \leq t_{u4}^+ \text{ (istenmeyen aralık)} \\ t_{u3}^- &\leq g_u \leq t_{u2}^- \text{ \& } t_{u2}^+ \leq g_u \leq t_{u3}^+ \text{ (tolere edilebilir aralık)} \\ t_{u2}^- &\leq g_u \leq t_{u1}^- \text{ \& } t_{u1}^+ \leq g_u \leq t_{u2}^+ \text{ (istenen aralık)} \\ t_{u1}^- &\leq g_u \leq t_{u1}^+ \text{ (ideal aralık)} \end{aligned}$$

Karar verici u. 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 ise ideal aralıkta, maliyet tutarı 7000\$ olan alternatif seçenek istenen aralıkta, maliyet tutarı 13986\$ olan seçenek tolere edilebilir aralıkta, maliyet tutarı 18750\$ olan alternatif seçenek istenmeyen aralıkta, maliyet tutarı 22500\$ olan alternatif seçenek hiç istenmeyen aralıkta ve maliyet tutarı 30000\$ olan alternatif seçenek kabul edilemez aralıktadır.

### 3.1. LPP Adımları

LPP (Doğrusal Fiziki Programlama) yöntemi uygulanırken 4 adım izlenir[7]:

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.
  - I. Ağırlıkları oluşturmak için LPPW (Doğrusal Fiziki Programlama Algoritması) kullanılır. Başlama:  $\beta = 1, 1$ ,  $w_{u1}^+ = 0$ ,  $w_{u1}^- = 0$ ,  $\tilde{z}^2 =$  küçük pozitif sayı (örneğin 0.1)  
 $u=0$ ;  $s=1$ ,  $n_{sc}$ = 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  $\beta'$  yı arttır ve II. Adıma git.
  - IV. Eğer  $s \neq 5$  ise III. Adıma git.
  - V. Eğer  $u \neq n_{sc}$  ise II. Adıma git.

Algoritmada u soft kriter indeksini,  $\beta$  dışbükeylik parametresi, s aralık indeksini,  $w_{us}^+$  u. kriterin s. aralıktaki pozitif ağırlığını,  $w_{us}^-$  u. kriterin s. aralıktaki negatif ağırlığını,  $\tilde{z}^s$  s. aralıktaki meydana gelen değişimi,  $\tilde{t}_{us}^+$  u. kriter için pozitif kenarındaki s. aralık uzunluğunu,  $\tilde{t}_{us}^-$  u. kriter için negatif kenarındaki s. aralık uzunluğunu,  $\tilde{w}_{us}^+$  pozitif normalleştirilmiş ağırlığı,  $\tilde{w}_{us}^-$  negatif normalleştirilmiş ağırlığı,  $\tilde{w}_{min}$ ,  $w_{us}^+$  ve  $w_{us}^-$  değerlerinin minimum değerini göstermektedir.  $w_{us}^+$ ,  $w_{us}^-$ ,  $\tilde{z}^s$ ,  $\tilde{t}_{us}^+$ ,  $\tilde{t}_{us}^-$ ,  $\tilde{w}_{us}^+$ ,  $\tilde{w}_{us}^-$  değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir:

$$\mathbf{w}_{us}^- = \frac{\tilde{z}^s}{\tilde{t}_{us}^-}; s = [2, 5] \quad (1)$$

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

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

$$\tilde{t}_{us}^+ = t_{us}^+ - t_{u(s-1)}^+; s = [2, 5] \quad (4)$$

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

$$\tilde{w}_{us}^+ = \frac{w_{us}^+}{\sum_{s=2}^5 w_{us}^+}; s = [2, 5] \quad (6)$$

$$\tilde{w}_{us}^- = \frac{w_{us}^-}{\sum_{s=2}^5 w_{us}^-}; s = [2, 5] \quad (7)$$

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

$$\min J = \sum_{u=1}^{n_{sc}} \sum_{s=2}^5 (\tilde{w}_{us}^- \cdot d_{us}^- + \tilde{w}_{us}^+ \cdot d_{us}^+) \quad (8)$$

$$g_u - d_{us}^+ \leq t_{u(s-1)}^+; d_{us}^+ \geq 0 \quad (9)$$

$$g_u \leq t_{u5}^+; 1S, 3S \text{ ve } 4S \text{ sınıflarındaki her } u \text{ için } u = 1, 2, \dots; s = [2, 5] \quad (10)$$

$$g_u + d_{us}^- \leq t_{u(s-1)}^-; d_{us}^- \geq 0 \quad (11)$$

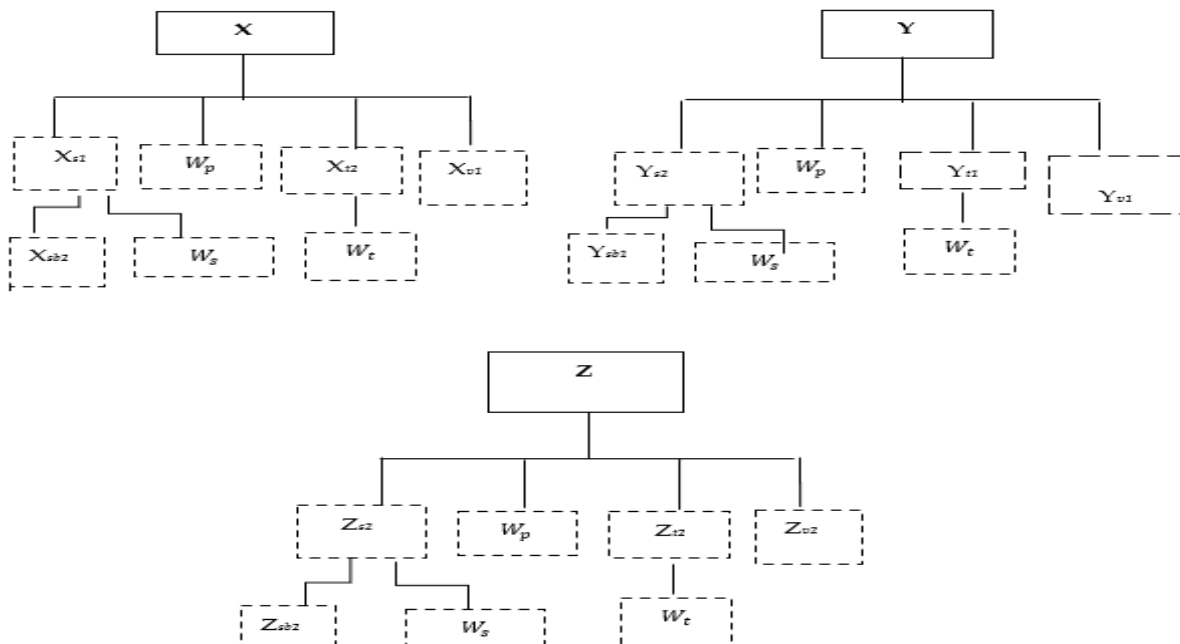
$$g_u \leq t_{u5}^-; 2S, 3S \text{ ve } 4S \text{ sınıflarındaki her } u \text{ için } u = 1, 2, \dots; s = [2, 5] \quad (12)$$

Alternatif seçeneğinin u. 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. Problem Tanımı

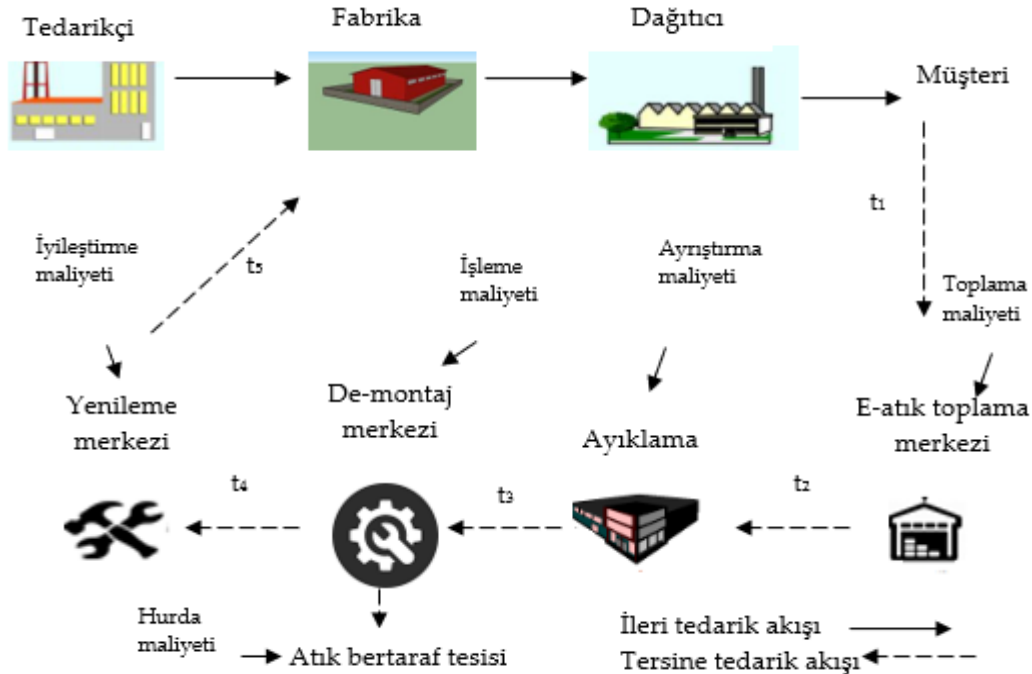
Bu çalışmada Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemi için yeniden üretilebilir ve ortak parçalara sahip 3 farklı X, Y ve Z ürünleri ele alınmıştır. Yeniden üretilebilir ürünler 4 farklı parça, 2 farklı bileşen tipi ve 2 farklı alt parçadan oluşmaktadır. Yeniden üretilebilir X, Y ve Z ürünleri için kullanılması gereken parça ve bileşenler Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de belirtilen X, Y ve Z ürünlerine ait özellikler aşağıda mevcuttur.

- ✓ X, Y ve Z olmak üzere üç çeşit ürün modeli mevcuttur ve X, Y, Z ürününe ait parçalar  $X_{ijk}, Y_{ijk}, Z_{ijk}$  biçiminde tanımlanmıştır.
- ✓ X, Y, Z ürünleri için  $W$  ortak parça olarak tanımlanıp üç ürün için  $W_{ij}$  parçaları ortaktır.
- ✓  $i \in I$  ve  $I = \{p, s, t, v\}$  olmak üzere  $i$  parça türünü ifade etmektedir.
- ✓  $j \in J$  ve  $J = \{a, b\}$  olmak üzere  $j$  bileşen tipini ifade etmektedir.
- ✓  $k \in K$  ve  $K = \{1, 2\}$  olmak üzere  $k$  (varsa) alt parça türünü ifade etmektedir.



Şekil 2. X, Y ve Z ürünleri için parça ve bileşenler

Tersine tedarik ağı müşteri- dağıtım merkezi arasında faaliyet gösterip ileri tedarik ağıyla bütünleşmesi sonucu KDTZ oluşmaktadır ve Şekil 3' de problemin ileri ve tersine tedarik akışları gösterilmektedir. Bu çalışmada örnek alınan 3 ürününün Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde geri kazanım süresinin minimizasyonunun, toplam kârın ve geri kazanım oranının maksimizasyonunun sağlanmasıyla birlikte optimal ürün seçeneğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 3. KDTZ probleminin ileri ve tersine tedarik akışları

#### 4.1. Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ağ tasarımı dikkate alındığında birimler arasında toplama, ayrıştırma, işleme, iyileştirme ve hurda maliyetleri olduğu, tersine tedarik akışında  $t_1, t_2, t_3, t_4$  ve  $t_5$  geri kazanım işlem sürelerinin bulunduğu görülmektedir. Model varsayımları kapsamında, müşterilerden geri dönen ürünlerin aynı kullanım süresinde ve aynı performansta olmadığı belirtilmiştir. Diğer varsayımlarla beraber de-montaj merkezinde farklı kullanım süresinde olan parçalar için 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 oranı  $Q_1$ , de-montaj merkezinden atık merkezine gönderilerek bertaraf edilen ürün oranı ise  $(1 - Q_1)$ ' dir. Diğer bir yandan müşterilerin iade ettiği X, Y ve Z ürünlerinin atık toplama merkezine ulaşması için gereken maliyet toplama maliyeti, farklı kullanım yüzdelerine göre sınıflama yapılması için gereken maliyet ayrıştırma maliyeti, de-montaj işlemiyle kalite 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 ve 3 yıldan daha uzun süre kullanımdır.
- ✓ Yeniden üretilen ürünlerin performansı fabrikadaki sıfır ürünlerin performansı ile aynıdır.
- ✓ Müşterilerin, geri kazandırılmış ürünlere olan talebinin pozitif olduğu dikkate alınmıştır.
- ✓ KDTZ merkezlerine gelen X, Y ve Z ürünleri için mevcut kapasitenin bulunduğu öngörülmüştür.
- ✓ Yenileme merkezinde iyileştirme işlemi yapılan parçalara ayrıca ek bileşen ihtiyacı duyulmadığı varsayılmıştır.

- ✓ Yok satma durumunun olmadığı varsayılarak elde bulundurmama maliyeti dikkate alınmamıştır.
- ✓ İade edilen ürünlerin geri kazandırılma süreci sonunda doğrudan satışa sunulduğu varsayılarak elde bulundurma maliyeti dikkate alınmamıştır.
- ✓ Satış geliri ve maliyetler dolar (\$) olarak alınmıştır.
- ✓ KDTZ merkezleri arasındaki geri kazanım süreleri gün olarak alınmıştır.

KDTZ probleminde ele alınan X, Y ve Z ürünleri için çok amaçlı optimizasyon modeli önerilmiştir. Modelde kullanılan kısaltmalar ve indisler aşağıda verilmiştir:

#### Notasyonlar:

$R_{Xi,Yi,Zi}$ : X, Y ve Z ürünlerinin i. dönemdeki iade edilen ürün miktarı	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$R_{T_{Xi,Yi,Zi}}$ : X, Y ve Z ürünlerinin birim toplama maliyeti	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$R_{A_{Xi,Yi,Zi}}$ : X, Y ve Z ürünlerinin birim ayrıştırma maliyeti	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$R_{K_{Xi,Yi,Zi}}$ : X, Y ve Z ürünlerinin birim işleme maliyeti	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$R_{L_{Xi,Yi,Zi}}$ : X, Y ve Z ürünlerinin birim iyileştirme maliyeti	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$R_{H_{Xi,Yi,Zi}}$ : X, Y ve Z ürünlerinin birim hurda maliyeti	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$S_{Xi,Yi,Zi}$ : X, Y ve Z ürünlerinin birim satış geliri	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$R_{R_{Xi,Yi,Zi}}$ : X, Y ve Z ürünlerinin geri dönüşüm oranı	$i \in I = \{1, 2, 3\}$
$P_{Xi,Yi,Zi}(q)$ : X, Y ve Z ürünlerinin $q$ sınıfı için geri kazanım oranı	
$t_{xj,yj,zj}$ : X, Y ve Z ürünleri için müşteri- fabrika arasındaki geri kazanım süresi ( $j = 1, 2, 3, 4, 5$ süre(gün))	
$q$ : kalite sınıfı	$q \in Q = \{0,1\}$
$Q_1$ : de-montaj merkezinden yenileme merkezine gönderilen ürün oranı	
$(1 - Q_1)$ : de-montaj merkezinden atık merkezine gönderilen ürün oranı	

Modelde kullanılan indisler:

$i$ : Ürünün kullanım süresi indisi	$i \in I = \{1, \dots, N_i\}$
$j$ : Geri kazanım süresi indisi	$j \in J = \{1, \dots, N_j\}$

Çok amaçlı optimizasyon modeli için hedefler 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)

$$= \sum_{i=1}^3 S_{Xi,Yi,Zi} \cdot R_{Xi,Yi,Zi} - (\sum_{i=1}^3 R_{T_{Xi,Yi,Zi}} \cdot R_{Xi,Yi,Zi} + \sum_{i=1}^3 R_{A_{Xi,Yi,Zi}} \cdot R_{Xi,Yi,Zi} + \sum_{i=1}^3 R_{K_{Xi,Yi,Zi}} \cdot R_{Xi,Yi,Zi} \cdot Q_1 \cdot R_{R_{Xi,Yi,Zi}} + \sum_{i=1}^3 R_{L_{Xi,Yi,Zi}} \cdot R_{Xi,Yi,Zi} \cdot Q_1 \cdot R_{R_{Xi,Yi,Zi}} + \sum_{i=1}^3 R_{H_{Xi,Yi,Zi}} \cdot (1 - Q_1) \cdot R_{R_{Xi,Yi,Zi}}) \quad (13)$$

$f_1$  hedefi toplam kâr olarak tanımlanıp toplam satış gelirinden toplama, ayrıştırma, işleme, iyileştirme ve hurda 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.

$$\text{Min } f_2: \text{ Toplam geri kazanım süresi} = \sum_{j=1}^5 t_{xj,yj,zj} \quad (14)$$

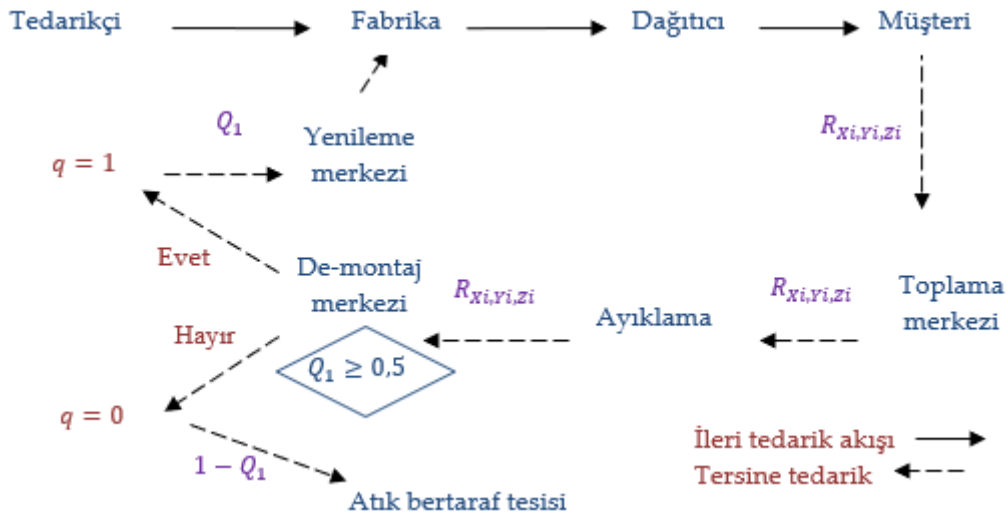
$f_2$  hedefi toplam geri kazanım süresi olarak tanımlanıp müşteri-toplama merkezi, toplama merkezi-ayıklama bölümü, ayıklama bölümü-de-montaj merkezi, de-montaj merkezi-yenileme merkezi, yenileme merkezi-fabrika arasında geçen sırasıyla  $t_1, t_2, t_3, t_4$  ve  $t_5$  sürelerinin toplamı olarak hesaplanmaktadır.  $t_j$  parametresindeki  $j$  indisi ise müşteri-fabrika arasındaki geri kazanım süresi olarak tanımlanıp sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 değerlerini almaktadır.

$$\text{Max } f_3: \text{ Geri kazanım oranı} = P_{Xi,Yi,Zi}(q) \quad (15)$$

$f_3$  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'te KDTZ



problemi için ( $q$ ) kalite sınıfındaki ürün oranları gösterilmiştir.



Şekil 4. KDTZ problemi için ( $q$ ) kalite sınıfındaki ürün oranları

Müşterilerden iade edilen  $X$  ürününün 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki ürün miktarı sırasıyla  $R_{X1}$ ,  $R_{X2}$  ve  $R_{X3}$ ,  $Y$  ürününün 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki ürün miktarı sırasıyla  $R_{Y1}$ ,  $R_{Y2}$  ve  $R_{Y3}$ ,  $Z$  ürününün 0-1 yıl, 1-3 yıl, 3 ve daha fazla yıl kullanım süresindeki ürün miktarı sırasıyla  $R_{Z1}$ ,  $R_{Z2}$  ve  $R_{Z3}$  olup değişken olarak ifade edilmektedir.

Modele ilişkin denge kısıtları şu şekildedir:

$$Q_1 + (1 - Q_1) = 1 \quad (16)$$

$$q = 1 \quad |0,5 \leq Q_1 \leq 1 \quad (17)$$

$$q = 0 \quad |0 \leq Q_1 < 0,5 \quad (18)$$

$$t_{x1,y1,z1} + t_{x2,y2,z2} + t_{x3,y3,z3} + t_{x4,y4,z4} + t_{x5,y5,z5} = t_{xj,yj,zj} \quad (19)$$

Modele ilişkin negatif olmama kısıtı şu şekildedir:

$$\sum_{i=1}^3 R_{T_{Xi,Yi,Zi}}, R_{A_{Xi,Yi,Zi}}, R_{K_{Xi,Yi,Zi}}, R_{L_{Xi,Yi,Zi}}, R_{H_{Xi,Yi,Zi}}, R_{R_{Xi,Yi,Zi}}, R_{X_{i,Yi,Zi}}, S_{X_{i,Yi,Zi}}, \sum_{j=1}^5 t_{xj,yj,zj}, \sum_{i=1}^3 P_{X_{i,Yi,Zi}}(q), Q_1, (1 - Q_1), q \geq 0 \quad (20)$$

#### 4.2. Sayısal Analiz

Bir önceki bölümde bahsedilen çok amaçlı optimizasyon modelini analiz edebilmek için sayısal bir örnek sunulmuştur.

Sayısal örnekle ilgili kısıtlar şunlardır:

$$5000 \leq R_{X1} \leq 10500 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (21)$$

$$5500 \leq R_{X2} \leq 16500 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (22)$$

$$6000 \leq R_{X3} \leq 19500 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (23)$$

$$4500 \leq R_{Y1} \leq 9850 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (24)$$

$$5000 \leq R_{Y2} \leq 17750 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (25)$$

$$5500 \leq R_{Y3} \leq 19200 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (26)$$

$$4000 \leq R_{Z1} \leq 10250 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (27)$$

$$5000 \leq R_{Z2} \leq 15800 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (28)$$

$$6000 \leq R_{Z3} \leq 19750 \text{ adet (iade edilen ürün sayısı)} \quad (29)$$

Geri kazanım olasılığını belirlemede kullanılacak  $Q_1$  oranı, de-montaj merkezinden yenileme merkezine gönderilen ürün oranı ve  $(1 - Q_1)$  oranı da de-montaj merkezinden atık merkezine gönderilen ürün oranı olarak tanımlanmıştır. Diğer bir taraftan yenileme merkezine gönderilecek ürünlerin geri dönüşüm oranları ( $R_{RXi}$ ,  $R_{RYi}$ ,  $R_{RZi}$ ) ve  $q$  kalite sınıfı için geri kazanım oranları  $P_{Xi}(q)$ ,  $P_{Yi}(q)$ ,  $P_{Zi}(q)$  olup X, Y ve Z ürünlerinin  $i$ . dönemdeki kullanım süresi için aldığı değerler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** X, Y ve Z ürünlerinin  $i$ . dönemdeki geri dönüşüm ve geri kazanım oranları

Ürünler	X			Y			Z		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$R_R$	0,8	0,757	0,709	0,781	0,746	0,694	0,806	0,741	0,689
$P(q = 1)$	0,933			0,926			0,920		
$P(q = 0)$	0,067			0,074			0,08		

Sayısal örnek için çok amaçlı optimizasyon modelinde tanımlanan X, Y ve Z ürünlerinin toplama, ayrıştırma, işleme, iyileştirme ve hurda maliyetleri ile satış gelirlerinin alt ve üst sınır değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** X, Y ve Z ürünlerinin parametreler için alt-üst sınır değerleri

Parametreler (\$)	X		Y		Z	
	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır
Toplama maliyeti	60	-	60	-	60	-
Ayrıştırma maliyeti	50	85	48	80	55	75
İşleme maliyeti	200	250	215	260	230	270
İyileştirme maliyeti	210	245	220	246	205	247
Hurda maliyeti	50	67	54	65	58	69
Satış geliri	750	1000	800	1000	700	1000

X, Y ve Z ürünlerinin toplam geri kazanım süresinin hesaplanmasında kullanılan ve Şekil 3'teki KDTZ ağ tasarımında ifade edilen  $t_{1,2,3,4,5}$  sürelerinin alt-üst sınır değerleri Tablo 3'te ifade edilmiştir. Ayrıca X, Y ve Z ürünleri için müşteri-fabrika arasındaki geri kazanım süresinin 90 günü geçmemesi ( $t_{xj,yj,zj} \leq 90$ ) istenmektedir.

**Tablo 3.** X, Y ve Z ürünlerinin  $t_{1,2,3,4,5}$  sürelerinin alt-üst sınır değerleri

Geri kazanım süreleri (gün)	X		Y		Z	
	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır
$t_1$	10	12	8	12	10	12
$t_2$	8	10	8	12	11	12
$t_3$	10	18	12	18	14	18
$t_4$	15	26	16	26	18	26
$t_5$	15	24	16	24	17	24

#### 4.3. LPP Yaklaşımı ile Modelin Çözümü

Optimizasyon problemi için X, Y ve Z ürünleri arasından optimum seçeneğin belirlenmesinde kullanılan kriterler aşağıda verilmiştir. Kriterler:

1. Toplam kâr
2. Toplam geri kazanım 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), toplam geri kazanım süresi ( $f_2$ ) ise Sınıf 1S (küçük olan daha iyi) fonksiyonunda yer almaktadır.

Çok amaçlı doğrusal programlama modeli için  $f_1$ ,  $f_2$  ve  $f_3$  kriter değerlerinin hesaplanmasında alt ve üst sınır değerleri verilen maliyet, satış geliri, iade edilen ürün sayıları ve geri kazanım sürelerinin beklenen değerleri göz önünde bulundurularak POM- QM ve Excel Solver programları kullanılmıştır. POM- QM ve Excel Solver programları kullanılarak hesaplanmış X, Y ve Z ürünleri için kriter değerleri Tablo 4'de mevcuttur.

**Tablo 4.** Önerilen modeldeki X, Y ve Z ürünleri için kriter değerleri

Ürünler	Toplam kâr (\$)	Toplam geri kazanım süresi (gün)	Geri kazanım oranı (%)
X	17292898	75	93,3
Y	17728284	76	92,6
Z	15914634	82	92

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılacak olan tercih aralıkları Tablo 4'teki değerler ile belirlenmektedir. Toplam kâr için tercih aralıkları ve değerleri Tablo 5'te, toplam geri kazanım süresi ( $f_2$ ) için tercih aralıkları ve değerleri Tablo 6'da, geri kazanım oranı ( $f_3$ ) için tercih aralıkları ve değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Kriter 1'e ilişkin tercih aralıkları ve sınır değerleri

#### Kriter 1(u=1): Toplam kâr

##### Sınıf 2S

Tercih	Tercih aralığı	Limit	Limit değeri
Kabul Edilemez	$\leq t_{u5}^-$		
Hiç istenmeyen	$(t_{u5}^-, t_{u4}^-)$	$t_{u5}^-$	16000000
İstenmeyen	$(t_{u4}^-, t_{u3}^-)$	$t_{u4}^-$	16500000
Tolere edilebilir	$(t_{u3}^-, t_{u2}^-)$	$t_{u3}^-$	17000000
İstenen	$(t_{u2}^-, t_{u1}^-)$	$t_{u2}^-$	17500000
İdeal	$\geq t_{u1}^-$	$t_{u1}^-$	18000000

**Tablo 6.** Kriter 2'ye ilişkin tercih aralıkları ve sınır değerleri

#### Kriter 2(u=2): Toplam

##### geri kazanım 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	$\leq t_{u1}^+$	$t_{u1}^+$	

**Tablo 7.** Kriter 3'e ilişkin tercih aralıkları ve sınır değerleri

<b>Kriter 3(u=3): Geri kazanım oranı</b>			
<b>Sınıf 2S</b>			
<b>Tercih</b>	<b>Tercih aralığı</b>	<b>Limit</b>	<b>Limit değeri</b>
<b>Kabul Edilemez</b>	$\leq t_{u5}^-$		
<b>Hiç istenmeyen</b>	$(t_{u5}^-, t_{u4}^-)$	$t_{u5}^-$	91,5
<b>İstenmeyen</b>	$(t_{u4}^-, t_{u3}^-)$	$t_{u4}^-$	92
<b>Tolere edilebilir</b>	$(t_{u3}^-, t_{u2}^-)$	$t_{u3}^-$	92,5
<b>İstenen</b>	$(t_{u2}^-, t_{u1}^-)$	$t_{u2}^-$	93
<b>İdeal</b>	$\geq t_{u1}^-$	$t_{u1}^-$	93,5

Toplam kâr ( $f_1$ ), toplam geri kazanım 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 LPP ağırlık algoritması kullanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır.

Üç kriter için hesaplanan  $\tilde{w}_{us}^+$  ve  $\tilde{w}_{us}^-$  ağırlıkları Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 9'da X, Y ve Z ürünleri için toplam sapma değerleri verilmiş olup en küçük sapma değeri en iyi seçeneği belirlemektedir. Buna göre ürünleri sıralarsak birinci sırada Y, ikinci sırada X ve üçüncü sırada Z ürünü yer almıştır. Çok amaçlı optimizasyon modeli için normalleştirme işlemi yapıldığında X ürününün ağırlığı ( $w_1$ ) 0,3663, Y ürününün ağırlığı ( $w_2$ ) 0,3795 ve Z ürününün ağırlığı ( $w_3$ ) 0,2537 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda toplam sapma değeri en küçük olan Y ürünü optimal seçenek olarak belirlenmiştir.

**Tablo 8.** LPP ağırlık algoritmasıyla hesaplanan ağırlıklar

<b>Kriterler</b>	$\tilde{w}_{u2}^+$	$\tilde{w}_{u3}^+$	$\tilde{w}_{u4}^+$	$\tilde{w}_{u5}^+$	$\tilde{w}_{u2}^-$	$\tilde{w}_{u3}^-$	$\tilde{w}_{u4}^-$	$\tilde{w}_{u5}^-$
<b>u=1</b>					0.0529	0.1164	0.2560	0.5634
<b>u=2</b>	0.0530	0.1177	0.2591	0.5701				
<b>u=3</b>					0.0529	0.1164	0.2560	0.5634

**Tablo 9.** X, Y ve Z ürünleri için toplam sapma değerleri

<b>Ürünler</b>	<b>Toplam sapma değerleri</b>	<b>Sıralama</b>
<b>X</b>	902499	2
<b>Y</b>	869875	1
<b>Z</b>	1300209	3

Sonraki bölümde model için belirlenen parametrelerin hedef değerlerine olan etkisinin analiz edilebilmesi için üç farklı senaryo uygulanmış ve her bir senaryonun optimal çözüm değerleri hesaplanmıştır.

#### 4.4. Senaryo 1 Uygulaması

Çok amaçlı optimizasyon modelinde senaryo 1 için X ve Z ürünlerinin iade ürün miktarı sabit tutulup Y ürününün iade edilen ürün miktarı ( $R_{Yi}$ ) %10 azaldığında ve Y ürününün müşteri-toplama merkezi arası geçen geri kazanım süresi ( $t_1$ ) sabit tutulup X ve Z ürünlerinin müşteri-toplama merkezi arası geçen geri kazanım süresi ( $t_1$ ) iki kat artığında sonucun model çözümüne olan etkisi analiz edilmiştir. X, Y ve Z ürünlerinin değerlendirme sonucu için POM-QM ve Excel Solver programları kullanılarak hesaplanan X, Y ve Z ürünlerinin optimal değerleri Tablo 10'da mevcuttur.

Tablo 10'a bakıldığında Y ürününün iade edilen ürün miktarının azalması ( $R_{Yi}$ ), geri kazanım süresine ve geri kazanım oranına etki göstermeyip toplam kâr miktarının düşmesine sebep olduğu söylenebilir. Y ürünü için toplam kâr miktarı 17.728.284\$'dan 15.955.451\$'a düşmüş olup toplam kâr için ürünler

arasında Tablo 4'e göre karşılaştırma yapıldığında Y ürünü ilk sırada iken ikinci sıraya geçmiş olup X ürünü toplam kâr durumu açısından optimal seçenek olarak belirlenmiştir. Ayrıca X ve Z ürünlerinin müşteri-toplama merkezi arası geçen geri kazanım süresinin ( $t_1$ ) iki kat artması durumunda Z ürününün toplam geri kazanım süresi 93 gün olup hedef değerinde belirtilen 90 gün sınırını aşarak çok amaçlı programlama modelindeki ikinci hedefin yerine getirilememesine neden olmaktadır.

**Tablo 10.** Senaryo 1 için optimal çözüm değerleri

	X	Y	Z
$f_1$ (\$)	17292898	15955451	15914634
$f_2$ (gün)	86	76	93
$f_3$ (%)	93,3	92,6	92

#### 4.5. Senaryo 2 Uygulaması

Çok amaçlı optimizasyon modelinde senaryo 2 için X ve Y ürünlerinin satış geliri sabit tutulup Z ürününün satış geliri ( $S_{zi}$ ) %10 arttığında ve X ve Z ürünlerinin iyi kaliteli ürün oranı sabit tutulup Y ürününün iyi kaliteli ürün oranı %1 arttığında sonucun model çözümüne olan etkisi analiz edilmiştir. X, Y ve Z ürünlerinin değerlendirme sonucu için POM-QM ve Excel Solver programları kullanılarak X, Y ve Z ürünlerinin optimal değerleri Tablo 11'te mevcuttur.

Tablo 11'e bakıldığında Z ürününün satış geliri ( $S_{zi}$ ) %10 artırılması Z ürününün toplam kâr değerini yükselttiği ve ürünler arasında toplam kâr değerine göre kıyasla yapıldığında Y ürününün ilk sıradan ikinci sıraya gerilediği Z ürününün üçüncü sıradan ilk sıraya geçerek optimal seçenek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Y ürününün iyi kaliteli ürün oranı %1 artması sonucunda Tablo 4'e kıyasla ürünler arasındaki geri kazanım oranının büyükten küçüğe doğru sıralamasını Y, X ve Z olarak değiştirmiştir.

**Tablo 11.** Senaryo 2 için optimal çözüm değerleri

	X	Y	Z
$f_1$ (\$)	17292898	17728284	17827228
$f_2$ (gün)	75	76	82
$f_3$ (%)	93,3	93,6	92

#### 4.6. Senaryo 3 Uygulaması

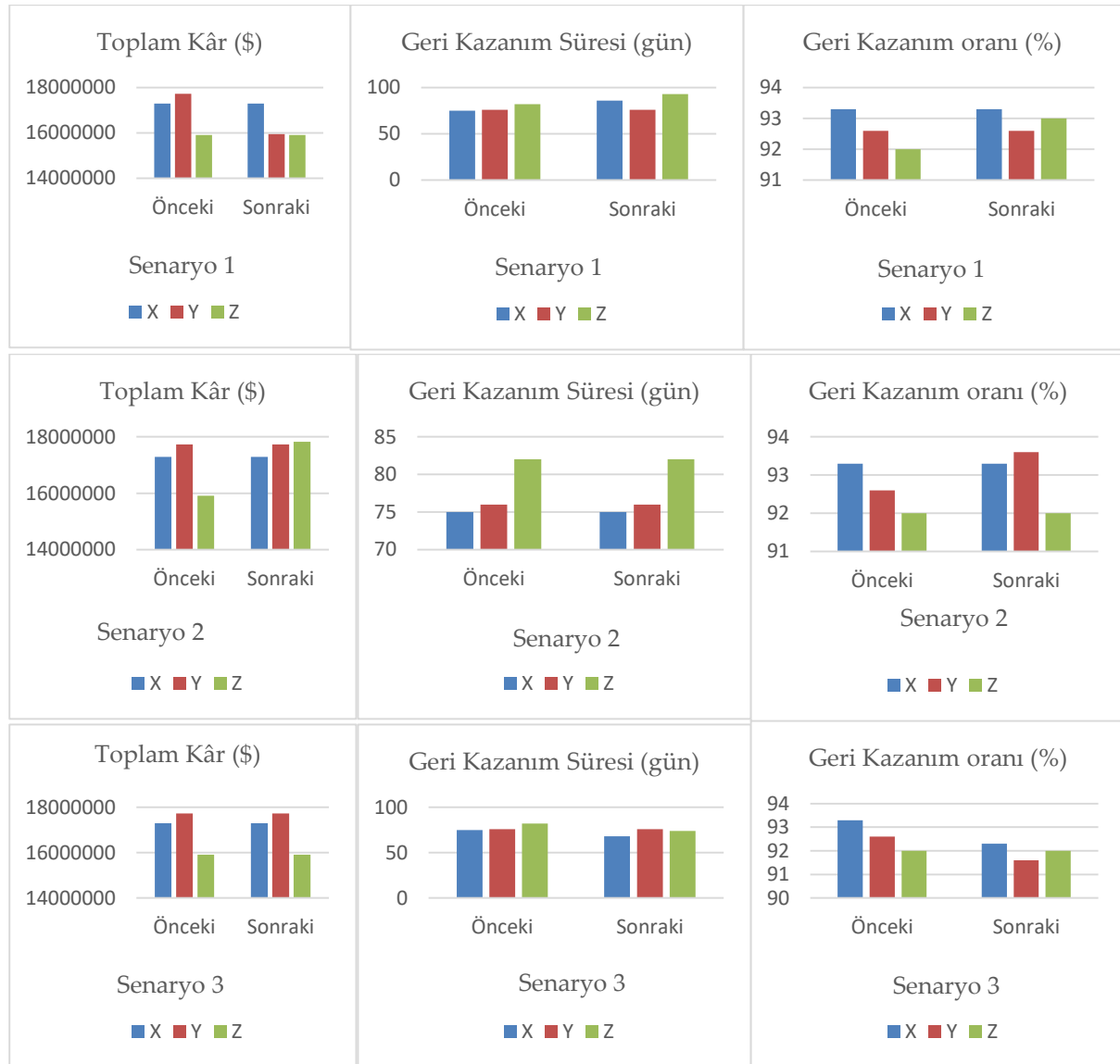
Çok amaçlı optimizasyon modelinde senaryo 3 için Z ürününün iyi kaliteli ürün oranı sabit tutulup X ve Y ürünlerinin iyi kaliteli ürün oranı %1 azaldığında ve Y ürününün ayıklama de-montaj merkezi arası geçen geri kazanım süresi sabit tutulup X ve Z ürünlerinin ayıklama de-montaj merkezi arası geçen geri kazanım süresi ( $t_3$ ) %50 azaldığında sonucun model çözümüne olan etkisi analiz edilmiştir. X, Y ve Z ürünlerinin değerlendirme sonucu için POM-QM ve Excel Solver programları kullanılarak hesaplanan X, Y ve Z ürünlerinin optimal değerleri Tablo 12'de mevcuttur.

X ve Y ürünlerinin iyi kaliteli ürün oranlarının %1 azalması Tablo 4'e kıyasla ürünler arasındaki geri kazanım oranının büyükten küçüğe doğru sıralamasını X, Z ve Y olarak değiştirmiştir. Ayrıca X ve Z ürünlerinin ayıklama de-montaj merkezi arası geçen geri kazanım süresinin ( $t_3$ ) %50 azalması sonucunda minimum geri kazanım süresine sahip X seçeneği optimal seçenek olarak belirlenirken Tablo 4'teki geri kazanım süresine göre ikinci sırada yer alan Y ürününün Senaryo 3 uygulamasında üçüncü sıraya geçtiği görülmektedir. Bu durum ile X ve Z ürünlerinin Y ürününe göre müşterilere daha kısa sürede ulaştığı ve zaman açısından tasarruf elde edildiği tespit edilmiştir.

**Tablo 12.** Senaryo 3 için optimal çözüm değerleri

	X	Y	Z
$f_1$ (\$)	17292898	17728284	15914634
$f_2$ (gün)	68	76	74
$f_3$ (%)	92,3	91,6	92

X, Y ve Z ürünleri için toplam kâr ( $f_1$ ), geri kazanım süresi ( $f_2$ ) ve geri kazanım oranının ( $f_3$ ) çok amaçlı programlama modelindeki kriter değerleriyle Senaryo 1,2 ve 3 analizleri sonrası aldığı değerlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. X, Y ve Z ürünlerinin Senaryo 1,2 ve 3 analizlerinden önceki ve sonraki değerleri

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri için ileri ve tersine olmak üzere iki tip akış olduğu ve tersine akışta müşterilerden geri dönen ürünlerin miktarı, kalite düzeyleri, geri dönüşüm süresi ve toplam kazanç gibi belirsizliklerin yer aldığı belirtilmiştir. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri'nde bu belirsizliklerden yola çıkarak toplam geri kazanım kâr miktarının maksimizasyonu ve toplam geri kazanım süresinin minimizasyonunu hedefleyen bir optimizasyon problemini ortaya çıkardığını ifade ederken problem çok amaçlı doğrusal programlama modeli olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda sayısal bir örnekle uygulama için farklı ve ortak parçalara sahip 3 farklı ürün göz önüne alınmıştır. Modeldeki X, Y ve Z ürünlerinden optimum seçeneğin belirlenmesinde Doğrusal Fiziki Programlama yöntemi kullanılmış ve uygulama adımları açıklanmıştır. Doğrusal Fiziki Programlama yaklaşımı için toplam kâr, toplam geri kazanım süresi ve geri kazanım oranı kriterleri kullanılmıştır. Kriterlerin hedef değerleri ve tercih aralıkları kullanılarak üç ürün için toplam sapma miktarları hesaplanmıştır. Buna göre en küçük sapma değerine sahip Y ürünü optimal seçenek olarak belirlenmiştir. Bu durumda ileride tedarik edilecek stok miktarına karar verilirken Y ürün sayısının artırılmasının işletmeye stratejik açıdan fayda sağlayacağı

öngörülmektedir.

Çok amaçlı doğrusal programlama modeli için  $f_1$ ,  $f_2$  ve  $f_3$  kriter değerlerinin hesaplanmasında alt ve üst sınır değerleri verilen maliyet, satış geliri, iade edilen ürün sayıları ve geri kazanım sürelerinin beklenen değerleri göz önünde bulundurularak POM- QM ve Excel Solver programları kullanılmıştır. Programdan elde edilen verilere bakıldığında X, Y ve Z ürünleri için maksimum kâr değerleri elde edilerek  $f_1$  hedefi gerçekleştirilmiş, geri kazanım sürelerine bakıldığında optimal değerlerin 90 günü geçmemesi istendiğinden  $f_2$  hedefine ulaşılmış ve maksimum geri kazanım oranı elde edilerek  $f_3$  hedefinin de gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Çalışma iade edilen ürün sayısı, satış geliri, geri kazanım süresi ve geri kazanım oranındaki değişiklikler üzerinden üç farklı senaryo kullanılarak analiz edilmiştir. Senaryo 2’de Z ürünü için toplam kârın ve Y ürünü için geri kazanım oranının maksimum değer, Senaryo 3’te X ürünü için geri kazanım süresinin minimum değer aldığı belirlenmiştir.

**Yazar Katkıları:** Bu çalışmada G.Ö, literatür araştırması ve uygulama kısmının yapılması, H.K.A, çalışmanın yönetilmesi ve kontrol edilmesi; konularında katkı sağlamışlardır.

**Finansman:** Bu araştırma dışarıdan fon almadı.

**Çıkar çatışmaları:** Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

## Kaynakça

- [1] Amin, S. H., Zhang, G., “A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty,” *International Journal of Production Research*, vol.51, no. 5, 2013, pp.1405-1425. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.693643>.
- [2] Blog, L., “Tedarik zinciri nedir,” URL:<https://blog.logo.com.tr/tedarik-zinciri-ve-tedarik-zinciri-yonetimi-nedir-temel-evreleri-vefa-yaldalari-nelerdir>, visited on Jan.10,2020.
- [3] Çalık, A., “Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yeni Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımları,” Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [4] Gupta, S., Imtavanich, P., “Linear Physical Programming Approach for a Disassembly-To Order System under Stochastic Yields and Product’s Deterioration, Proceedings of the 2006 POMS Meeting”, MA 2006b, 2006, pp. 004-0213.
- [5] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Wassenhove, L., “The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design,” *Production Operations Management*, vol.10, 2001, pp. 156-173.
- [6] Hajipour, V., Tavana, M., Caprio, D. D., Akhgar, M., “An Optimization Model for Traceable Closed-Loop Supply Chain Networks,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 71, 2019, pp 673-699. [7] Ilgın, M. A., Değirmenci, E., Demirtepe, S., “Personel Seçim Problemi için Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı,” *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 28, 2015, pp. 15-28. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.007>.
- [7] Ilgın, M. A., Değirmenci, E., Demirtepe, S., “Personel Seçim Problemi için Doğrusal Fiziki Programlama Yaklaşımı,” *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 28, 2015, pp. 15-28.
- [8] Jayaraman, V., Guide, V., Srivastav, R., “A Closed Loop Logistics Model for Remanufacturing,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 50, 1999, pp. 497-508. Doi: <https://doi.org/10.2307/3009998>.
- [9] Kannan, G., Soleimani, H., Kannan, D., “Analysis of closed loop supply chain using genetic algorithm and particle swarm optimisation,” *International Journal of Production Research*, vol. 47, 2009, pp. 1175-1200. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00207540701543585>.
- [10] Marin, A., Pelegrin, B., “The Return Plant Location Problem: Modelling and Resolution,” *European Journal of Operational Research*, vol. 104, 1998, pp. 375-392.
- [11] Pisvae, M. S., Torabi, S. A., “A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 161, 2010, pp. 2668-2683. Doi: 10.1016/j.fss.2010.04.010.
- [12] Subulan, K., Taşan, A. S., Baykasoğlu, A., “Fuzzy mixed integer programming model for medium-term planning in a closed-loop supply chain with remanufacturing option,” *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 23, no. 6, 2012, pp. 345-368. Doi: <http://dx.doi.org/10.3233/IFS-2012-0525>.
- [13] Zhang, Z. H., Jiang, H., Pan, X., “A Lagrangian relaxation based approach for the capacitated lot sizing problem in closed-loop supply chain,” *International Journal of Production Economics*, vol. 140, 2012, pp. 249-2. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.018>