

## Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Kazanımı İçin Belirsizlik Altında Ağ Tasarımı

Berk AYVAZ<sup>1</sup>, Duygu ERDOĞAN<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği,  
İstanbul, Türkiye

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-8098-3611

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-7532-2560

**Geliş Tarihi:** 02.12.2019

**\*Sorumlu Yazar e mail:** duygu.erdogann@hotmail.com **Kabul Tarihi:** 03.03.2020

**Atf/Citation:** Ayvaz, B. ve Erdoğan, D. "Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Kazanımı İçin Belirsizlik Altında Ağ Tasarımı", Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020, 3/1: 35-71.

*Araştırma Makalesi/ Research Article*

---

### Özet

Dünya genelinde doğal kaynakların küçümsenemeyecek boyutlarda tükenmeye başlaması ve yenilenebilmenin mümkün olmadığı bu zamanda, en ufak bir ürünün geri dönüşümünün çevresel faydası çok fazladır. Ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) geri kazanımı çevresel faydasının yanı sıra, içerdikleri geri dönüştürülebilir malzemeler nedeniyle ekonomik faydasıyla da dikkat çeken önemli kaynaklardır. Bu çalışmada, ÖTA için açık döngü tersine lojistik ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemi modellemek için ilk aşamada ağdaki tüm parametreler belirli olarak kabul edilip karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise son kullanıcılardan gelen ömrünü tamamlamış araçların miktarı belirsiz olarak kabul edilip deterministik model iki aşamalı stokastik programlama modeli olarak genişletilmiştir. İlk aşamada model söküm tesisleri ve işleme tesislerinin açılması gibi stratejik kararlar alınmıştır. Stokastik modelin ikinci aşamasında ise modele belirsizlik dahil edilerek toplama maliyetleri, taşıma maliyetleri, işleme maliyetleri gibi kararlar alınmıştır. Geliştirilen her iki modelin uygulaması Türkiye'nin Ankara ilinde yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ömrünü tamamlamış araç, Stokastik programlama, Tersine lojistik

## Network Design Under Uncertainty for the Recovery of End-of-Life Vehicles

### Abstract

The fact that natural resources are being depleted in a worldwide dimension and at a time when regeneration is not possible, the environmental benefit of recycling the smallest product is enormous. Recovery of end-of-life vehicles (ELVs), besides its environmental benefits, they are also important sources of economic benefit due to the recyclable materials they contain. In this study, it was considered open loop reverse logistics network design problem for ELV. In order to model the problem being addressed, in the first step it was developed a mixed integer linear programming model where all parameters in the network were considered to be specific. In the second stage, the amount of end-of-life vehicles from end users was considered uncertain and it was expanded the deterministic model as a two-stage stochastic programming model. In the first stage, it was decided strategically to open authorized dismantling facilities and reprocessing facilities. In the second stage of the stochastic model, it was included uncertainty in the model and made decisions such as collection costs, transportation costs and processing costs. The developed two models' application was made in the city of Ankara of Turkey and the results were evaluated.

**Keywords:** End of life vehicle , Stochastic programming , Reverse logistics

### 1. Giriş

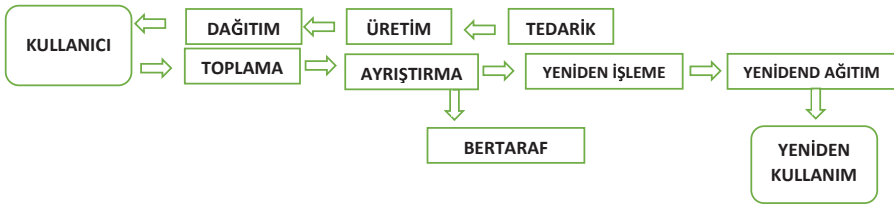
Hızla artan çevresel ve sosyal kaygılar üreticileri ürün geri kazanımı, atık yönetimi ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı gibi çevre koruma stratejilerine teşvik etmektedir. Ayrıca birçok ülkede firmaların tüm yaşam döngüsü boyunca ürettikleri ürünler için sorumluluk almaları yasalara tabiidir. Bu tür yasalar firmaları tersine lojistik uygulamalarına yöneltmektedir.

Başlangıçta tersine lojistik, geri kazanım yönetimi açısından, en üst düzeyde ekolojik ve finansal değeri elde etmek ve aynı zamanda azami atık miktarını azaltmak olarak tanımlanmıştır [1]. “Ters kanallar” veya “ters akış” gibi terimler yetmişli yılların bilimsel literatüründe yer almaktadır ve geri dönüşüm ile tutarlı bir bağlamdadır [2].

Amerikan Ters Lojistik Yönetim Konseyi tersine lojistik kavramını ise; “envanterdeki ham maddelerin, mamul malların ve kullanım noktasından menşe sonuna kadar ilgili bilgilerin etkin ve uygun maliyetli akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi süreci veya uygun şekilde elden çıkarılmasıdır” [3].

Tüm tersine lojistik ağlar, kendine özgü adımlar faaliyete göre değişmesine rağmen aşağıdaki faaliyetleri içerir: [4].

- Toplama
- Kontrol ve Ayıklama
- İşleme
- Elden Çıkarma ve Bertaraf
- Dağıtım



**Şekil 1.** Tersine Lojistik Geri Kazanım Zinciri

Günümüzde ömrünü tamamlamış ürünlere büyük önem verilmektedir. Günümüzde üreticiler, üretmiş oldukları çoğu ürünün belli bir oranını toplamak zorundadırlar. 1991 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğe göre Almanya’da faaliyet gösteren üretici firmalar sattıkları ürünlerin paketlerinin en az %60-75’ini geri dönüştürmek zorundadır [5]. Diğer taraftan, geri dönüşümün en açık örneği otomotiv sektöründe de görülmektedir. Ömrünü tamamlamış araçların kontrolü için uygulanan AB Direktifi, araçların geri dönüşüm ve kullanım ile geri kazanım ve kullanım oranları için 2006 ve 2015 yıllarını kapsayan hedefler belirlemiş olup bu hedeflere Tablo 1.’de yer verilmiştir [6].

**Tablo 1.** AB'nin ömrünü tamamlamış araç yönergesinde yer alan hedefleri

AB Direktifi Hedef Tarihi	Geri Dönüşüm ve Kullanım (%)	Toplam Geri Kazanım, Geri Dönüşüm, Kullanım (%)
2006	%80	%85 (%5 enerji geri kazanımını içerir)
2015	%85	%95(%10 enerji geri kazanımını içerir)

Çevre ve Orman Bakanlığı, Türkiye’de ömrünü tamamlamış araçların kontrolü için 30.12.2009 tarihli 27448 sayılı Resmi Gazetede Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmeliği yayınlamış ve bu yönetmelik 01.01.2011 tarihinde uygulanmaya başlanmıştır. İlgili yönetmeliğe göre, kullanım ve geri kazanım oranları ortalama araç ağırlığının en az % 85’ine, kullanım ve geri dönüşüm oranlarının ortalama araç ağırlığının en az % 80’ine, 01.01.2020 tarihinden itibaren ise kullanım-geri kazanım oranlarının ortalama araç ağırlığının en az % 95’ine ve kullanım-geri dönüşüm oranlarının ortalama araç ağırlığının en az % 85’ine çıkarılması hedeflenmiştir.

Literatürde ÖTA’ların geri dönüşümüne yönelik yapılan sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Schultmann ve diğ. [7], Almanya’da ÖTA geri dönüşüm ağı için kapalı döngü tedarik zinciri modeli geliştirmişler ve ÖTA’ların geri dönüştürülmesi sırasında elde edilen termoplastik parçalarının toplanması ve işlenmesi ile geri dönüşüm alanlarının planını birleştirmişlerdir. Choi ve diğ. [8], ÖTA’ların toplu geri dönüşüm işlemlerinin kârlılığını ve verimliliğini arttırmak için tersine lojistik ağ modelini geliştirip, gerçek bir geri dönüşüm problemi üzerine uygulamışlardır. Mansour ve Zarei [9], ÖTA’ların geri dönüşümü için açık döngü tersine lojistik ağ tasarlamışlardır ve tasarlanan ağın tesis kurulum ve taşıma maliyetlerini en küçüklenmesini hedeflemişlerdir. Cruz-Rivera ve Ertel [10], ÖTA’lar için kapalı döngü tersine lojistik ağ olarak tasarlanan ağın kurulum maliyetlerini ve aynı zamanda taşıma maliyetlerini minimum yapan matematiksel model

geliştirilmişler ve ağ tasarımı kapasite kısıtsız tesis konumu problemi modeli önermişlerdir. Xiaolong ve diğ. [11], Çin’de ÖTA’lar için tersine lojistik ağ tasarımları ve tesislerin sayıları, konumları ve kapasiteleri ile ürünlerin akışı tahsis edilmiştir. Mansour ve diğ. [12], ÖTA’lar için ağ kurulum taşıma maliyetlerini minimize eden bir matematiksel model geliştirilmişlerdir. Harraz ve Galal [13], Mısır’da ÖTA’lar için sürdürülebilir bir geri dönüşüm ağı tasarımlarıdır ve geri dönüşüm ağının tasarımı ömrünü tamamlamış araçların mevzuatı hakkında bilgi elde edilmek için analiz edilmiştir. Mahmoudzadeh ve diğ. [14], ÖTA’lar için toplam maliyetlerinin en aza indirilmesini hedefleyen ters lojistik ağ tasarımlarıdır ve İran’ın mevcut durumundan alınan veriler ile önerilen model test edilmiştir. Simic ve Dimitrijevic [15] ÖTA geri dönüşüm tesisleri için bir üretim planlama modeli geliştirmişler ve daha sonra gerçek veriler kullanarak kapsamlı bir şekilde test etmişlerdir. Demirel ve diğ. [16] ÖTA tersine lojistik faaliyetlerini optimize etmek için tersine lojistik ağ modeli geliştirmişler, önerilen model Ankara’da uygulanarak doğrulanmıştır. Ene ve Öztürk [17] ÖTA’lar için karma tam sayılı, çok amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin amaçları, kar maksimumu ve ÖTA’ların geri dönüşümü esnasında çevresel etkiyi minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışma, doğru bir modelle, bu faaliyetlerin çevreyi korumaya ek olarak ekonomik faydalar ve teşvikler sağlayabileceğini göstermektedir. Phuc ve diğ. [18] ÖTA’ların geri kazanımı için tasarladığı tersine lojistik ağın toplam maliyetini minimize eden model oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelde bazı parametrelerin belirsiz olduğu kabul edilmiş ve bu nedenle modelde hem bulanık doğrusal programlama hem de tam sayılı doğrusal programlama yöntemi bir arada kullanılmıştır. Srinivasan ve Khan [19], ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü için iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuş ve hedef programlama yaklaşımı kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen model; çok ürünlü, çok dönemli ve çok kademeli kapalı döngü tedarik zinciri ağı problemidir. Demirel [20] ÖTA geri dönüşüm ağ yapısına ÖTA’ların geri kazanım/

geri dönüşüm hedeflerinin etkilerini analiz edilmiştir. Mevcut ağ tasarımı modellerine ek olarak yükseltilecek olan oranların sağlanması amacıyla ileri işleme teknolojilerini de içeren genel bir ÖTA geri dönüşüm ağı tasarlanmıştır. Geliştirilen model, Türkiye örneği için çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Matematiksel modellemede sistemin doğru bir şekilde ifade edilebilmesi, varsayımlar, parametre, kısıtlar, karar değişkenleri gibi problem girdi ve çıktılarının kesin ve doğru bir şekilde tanımlanması ile başarılabilir. Ancak, gerçek hayatta bahsedilen bu koşul, durum ve değerlerin kesin olarak belirlenebilmesi neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, her karar verici aslında belirsizlik ortamında hareket etmektedir. Literatürde stokastik programlama ile yapılmış olan çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Listeş [21] çalışmalarında talep ve geri dönen ürün miktarları belirsizliği altında kapalı döngü ağ tasarımı için hem tedarik, hem de geri dönüş kanallarını içeren genel bir stokastik programlama modeli önermektedir. Belirsizlik belirli sayıdaki senaryolarla ifade edilmiştir. Önerilen modelin çözümü için L-shapped tekniği kullanılmıştır. Salema vd. [22], tarafından tersine lojistik ağ tasarımı için önerilen model Fleischmann vd. (2001) tarafından önerilen modele dayanmaktadır. Modelde hem talep hem de getiriler belirsiz parametre olduğu varsayılarak minimum maliyet amaçlanmıştır. Listeş [23] çalışmasında talep ve geri dönen ürün miktarı parametreleri belirsizliği altında iki aşamalı stokastik programlama modeli önermiştir. Önerilen model tek ürünlü ve kapasite kısıtlarını içermektedir. Önerilen modelin çözümü için L-shapped tekniği kullanılmıştır. Chouinard vd. [24] çalışmalarında çok ürünlü, kapasite kısıtlı ve kapalı döngü olarak tasarlanan model talep miktarı, geri kazanım ve işleme belirsizlikleri altında iki aşamalı stokastik programlama modeli olarak geliştirilmiştir. Önerilen modelin çözümü için örneklem ortalama tahmini şeması kullanılmıştır. Francas ve Minner [25] çalışmalarında iki aşamalı iki adet stokastik programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelin ilkinde üretim ve işleme aynı tesiste yapıldığı ikincide ise farklı

tesislerde yapıldığı kabul edilmiştir. Her iki modelde de talep miktarı ve geri dönen ürün miktarı parametrelerinin belirsizliği altında kapalı döngü olarak tasarlanmıştır. Fonseca vd. [26] çalışmalarında nakliye maliyetleri ve atık miktarı belirsizliği altında tersine lojistik ağı için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model çok kademeli, çok ürünlü olarak tasarlanıp modelde, tesislerin neden olduğu zararlı etkileri en aza indirgemenin yanı sıra, ağların kurulması ve işletilme maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Pishvae vd. [27] çalışmalarında ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen model talep belirsizliği ve geri dönen ürün miktarı parametrelerinin belirsizliği altında stokastik programlama modeli olarak genişletilmiştir. Lee vd. [28] çalışmalarında, talep ve geri dönen ürün miktarları parametreleri belirsizliği altında sürdürülebilir tersine lojistik ağ tasarımı için iki aşamalı stokastik bir programlama modeli geliştirilmiştir. Çözüm için ise örnek ortalama yaklaşım şeması kullanılmıştır. Kara ve Önüt'ün [29] çalışmalarında talep ve geri dönen ürün miktarı parametreleri belirsiz olarak kabul edilmiş ve atık kağıt geri dönüşümü için iki aşamalı stokastik bir programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelde maksimum kâr amaçlanarak stokastik programlama modelinin birinci ve ikinci aşamalarında sırasıyla toplama merkezlerinin ve geri dönüşüm merkezlerinin konumlandırılması ve tesisler arası akış miktarları kararları alınmıştır. Gomes vd. [30] çalışmalarında, Salema vd. tarafından 2010 yılında önerilen modeli genişleterek iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Önerilen modelde geri dönen ürünlerin kalitesi parametresi belirsiz kabul edilerek belirsizlik üç adet senaryo ile ifade edilmiştir. Ramezani vd. [31] çalışmalarında fiyat, geri dönen ürün miktarları, üretim, işleme, toplama ve bertaraf maliyeti belirsiz olarak kabul edilerek ileri ve tersine lojistik ağı, iki aşamalı ve çok amaçlı stokastik programlama modeli önermişlerdir. Modelin amaçları sırasıyla, kâr maksimizasyonu, müşteriye cevap verme hızı ve kalite maksimizasyonudur.

Aşağıdaki Tablo 2’de sınıflandırmada yer alan kavramlar ve bu kavramların karşılıkları olan kısaltmalar, Tablo 3’de ömrümü tamamlamış araçlar ve Tablo 4’te stokastik programlama ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

**Tablo 2.** Sınıflandırmada yer alan kavramlar ve kısaltmaları

<b>Amaç Sayısı</b>	<b>Model</b>
<b>TA:</b> Tek Amaçlı	<b>DP:</b> Doğrusal Programlama
<b>ÇA:</b> Çok Amaçlı	<b>KTDP:</b> Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama
<b>Çözüm Yöntemi</b>	<b>KTDOP:</b> Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama
<b>K:</b> Kesin	<b>SP:</b> Stokastik Programlama
<b>S:</b> Sezgisel	<b>SKTDP:</b> Stokastik Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama
<b>YS:</b> Yarı Sezgisel	<b>Ağ Çevrimi</b>
	<b>A:</b> Açık Çevrim
	<b>K:</b> Kapalı Çevrim

#### **Amaç Fonksiyonu**

<b>MM:</b> Maliyet Minimizasyonu	<b>CSM:</b> Hizmet Seviyesi Maksimizasyonu
<b>KM:</b> Kar Maksimizasyonu	<b>KSM:</b> Kalite Seviyesi Maksimizasyonu
<b>EM:</b> Emisyon Minimizasyonu	<b>KEM:</b> Kötü Etki Minimizasyonu

#### **Belirsizlik**

<b>D:</b> Talep	<b>TC:</b> Taşıma Maliyeti
<b>R:</b> Geri Dönen Ürün Miktarı	<b>Q:</b> Kalite
<b>P:</b> Üretim hacmi	<b>V:</b> Değişken maliyetler
<b>RC:</b> Geri Dönen Öğe Miktarı	<b>SC:</b> Ürün Satış Fiyatı
<b>PC:</b> Üretim Maliyeti	<b>CC:</b> Toplama Merkezi Kapasitesi
<b>DC:</b> Bertaraf Maliyeti	<b>RR:</b> Geri Dönüş Oranı



**Tablo 3.** Ömrünü tamamlamış araçlar ile ilgili yapılmış çalışmalar

Kaynak	Ağ Şekli	Model	Amaç Sayısı	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonk.
Choi vd.	A	KTDP	TA	K	KM
Schultmann vd.	K	KTDP	TA	S	MM
Mansour ve Zarei	A	KTDP	TA	S	MM
Cruz-Rivera ve Ertel	K	KTDP	TA	K	MM
Xiaolong vd.	A	KTDP	TA	K	MM
Mansour vd.	A	KTDP	TA	YS	MM
Harraz ve Galal	A	KTDP	ÇA	K	MM
Mahmoudzadeh vd.	K	KTDP	TA	K	MM
Simic ve Dimitrijević(a)	A	KTDP	TA	YS	KM
Simic ve Dimitrijević(b)	A	DP	TA	YS	KM
Ene ve Öztürk	A	KTDP	TA	K	KM
Phuc vd.(2016)	K	KTDP	TA	K	MM
Srinivasan ve Khan	A	KTDP	ÇA	K	MM,EM
Demirel	A	KTDP	TA	K	MM

**Tablo 4.** Stokastik programlama ile ilgili yapılmış çalışmalar

Kaynak	Ağ Şekli	Model	Amaç Sayısı	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonk.	Belirsizlik
Listeş	K	SKTDP	TA	K	MM	D,R
Salema vd.	K	SKTDP	TA	K	MM	D,R
Listeş	K	SP	TA	K	KM	D,R
Chouinard vd.	K	SP	TA	S	MM	D,P,RC
Francas ve Minner	K	SP	TA	K	KM	D,R
Fonseca vd.	K	SKTDP	ÇA	K	MM,KEM	TC,R
Pishvae vd.	K	SKTDP	TA	K	MM	D,R,Q,V
Lee vd.	K	SKTDP	TA	S	MM	D,R
Kara ve Önüt	A	SKTDP	TA	K	KM	D,R
Gomes vd.	K	SKTDP	TA	K	MM	Q
Ramezani vd.	K	SKTDP	ÇA	K	MM,- CSM, KSM	SC,PC,RC, CC,DC,D, RR

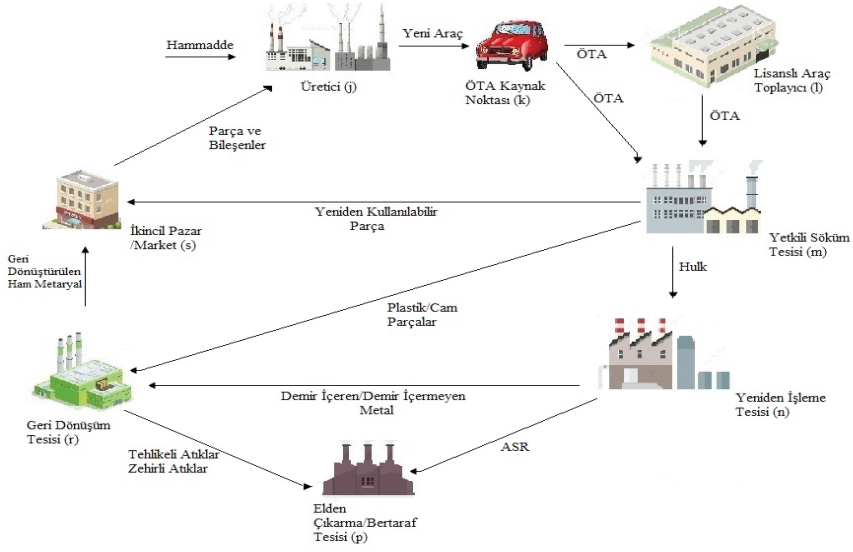
Bu çalışmada ÖTA'ların tersine lojistik ağ tasarım problemi ele alınmıştır. Model ilk aşamada deterministik olarak geliştirilmiş ve daha sonra iki aşamalı stokastik programlama modeli olarak geliştirilmiştir. İki aşamalı stokastik programlama modelinde son kullanıcılardan gelen hurda araç miktarı belirsizliği altında, tek ürünlü, tek amaçlı, iki aşamalı stokastik programlama modelidir. Çalışmada toplam ağ maliyetinin minimum olduğu bir stokastik karar verme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model GAMS 24.8.3 (General Algebraic Modeling System) içinde çalışan CPLEX ile çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Problemin tanımı

Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü kapsamında oluşturulan model açık döngü, tek amaçlı, tek ürünlü bir geri dönüşüm ağ tasarımı problemidir. Kurulan modelde hedef, toplam ağ maliyetini en aza indirmektir. Tesislerin açılması için gerekli olan sabit masraflar toplamının ve tesisler arası taşınan malzemelerden dolayı ortaya çıkan toplam ulaşım maliyetinin minimum tutulması hedeflenmiştir.

Genel bir ÖTA geri dönüşüm sürecinde, son kullanıcılar ve üreticiler ömrünü tamamlamış olan araçlarını araç toplayıcılarına ya da sökülme tesislerinden herhangi birine teslim etmek zorundadırlar. Araç toplayıcılarına teslim edilen ÖTA'lar hiçbir işlem yapılmadan sökülme tesislerine gönderilir. Burada arındırma işlemi uygulandıktan sonra, motor, diferansiyel, transmisyon (şanzıman), gövde paneller (kaporta, kapılar, tampon) ve tekerlekler doğrudan ikincil pazara gönderilmektedir. Geriye kalan araç "hulk" preslenerek işleme tesislerine gönderilmektedir. İşleme tesislerinde çeşitli işlemler sonrası elde edilen demirli ve demirli olmayan malzemeler geri dönüşüm tesislerine gönderilmekte, malzemeler geri dönüşüm tesislerine gönderilmekte, geriye kalan metal olmayan atıklar (ASR) ise bertaraf merkezine gönderilerek elden çıkarılmaktadır. ÖTA'ların geri kazanımı için genel ağ yapısı Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. ÖTA Geri Dönüşüm Süreci

## 2.2. Önerilen deterministik model

Önerilen modelde aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir:

- İldeki ömrünü tamamlamış araçların tamamı toplanmalıdır.
- Ömrünü tamamlamış araçlar araç toplama merkezlerine ya da söküm tesislerinden herhangi birine iade edilmelidir.
- Ağda yer alan tesisler kısıtlı kapasiteye sahiptir.
- Ağdaki tüm maliyetler bilinmektedir.
- Geri dönüşüm oranları ve ürün işleme-bertaraf oranları bilinmektedir.
- Ağdaki hiçbir tesiste stok tutmaya izin verilmez.

**Deterministik model formülasyonu****İndisler**

k	kaynak noktası
l	toplama merkezi
m	söküm tesisi
n	işleme tesisi
i	ikincil pazar/market
p	bertaraf tesisi
r	geri dönüşüm tesisi
e	bileşen/malzeme miktarı

**Parametreler**

$M_k$	k ÖTA kaynağında kaydı silinen araç miktarı
$d_{km}$	kaynak noktası k ve söküm tesisi m arası mesafe
$d_{lm}$	toplama merkezi l ve söküm tesisi m arası mesafe
$d_{mn}$	söküm tesisi m ve işleme tesisi n arası mesafe
$d_{mr}$	söküm tesisi m ve geri dönüşüm tesisi r arası mesafe
$d_{mi}$	söküm tesisi m ve ikincil pazar i arası mesafe
$d_{np}$	işleme tesisi p ve bertaraf tesisi p arası mesafe
$d_{nr}$	işleme tesisi n ve geri dönüşüm tesisi r arası mesafe
$d_{rp}$	geri dönüşüm tesisi r ve bertaraf tesisi p arası mesafe
$d_{ri}$	geri dönüşüm tesisi r ve ikincil pazar i arası mesafe
e1	ÖTA içerisindeki hulk ağırlık yüzdesi
e2	Hulk içerisindeki ASR'nin ağırlık yüzdesi
e3	ÖTA içerisindeki e öge/malzemenin kullanılabilir ağırlık yüzdesi
e4	ÖTA içerisindeki e öge/malzemenin kullanılmayacak olan ağırlık yüzdesi
e5	Hulk içerisindeki e materyalinin geri dönüştürülebilir ağırlık yüzdesi
e6	Geri dönüştürülebilir materyal içerisindeki e bertaraf ağırlık yüzdesi

**Kapasite parametreleri**

- $CP_l$  toplama merkezi l'nin kapasite miktarı  
 $CP_m$  söküm tesisi m'nin kapasite miktarı  
 $CP_n$  işleme tesisi n'nin kapasite miktarı  
 $CP_p$  bertaraf tesisi p'nin kapasite miktarı  
 $CP_r$  geri dönüşüm tesisi r'nin kapasite miktarı

**Maliyet parametreleri**

- $CS_{km}$  kaynak noktası k ve söküm tesisi m arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{kl}$  kaynak noktası k ve toplama merkezi l arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{ml}$  söküm tesisi m ve toplama merkezi l arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{mr}$  söküm tesisi m ve geri dönüşüm tesisi r arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{mn}$  söküm tesisi m ve işleme tesisi n arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{mi}$  söküm tesisi m ikincil pazar i arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{np}$  işleme tesisi n ve bertaraf tesisi p arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{nr}$  işleme tesisi n ve geri dönüşüm tesisi r arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{rp}$  geri dönüşüm tesisi r ve bertaraf tesisi p arası birim başına taşıma maliyeti  
 $CS_{ri}$  geri dönüşüm tesisi r ve ikincil pazar i arası birim başına taşıma maliyeti  
 $S_m$  söküm tesisi m'de birim başına sökme maliyeti  
 $S_n$  işleme tesisi n'de birim başına işleme maliyeti  
 $S_p$  bertaraf tesisi p'de bertaraf etme maliyeti  
 $S_r$  geri dönüşüm tesisi r'de birim başına geri dönüşüm maliyeti  
 $f_m$  söküm tesisi m'nin açılış maliyeti  
 $f_n$  işleme tesisi n'nin açılış maliyeti  
 $i_l$  toplama merkezi l'de bir araç toplama maliyeti  
 $i_m$  söküm tesisi m'de bir araç toplama maliyeti

**Sürekli karar değişkenleri**

$Q_{kl}$	kaynak noktası k'dan toplama merkezi l'e gönderilen öta miktarı
$Q_{km}$	kaynak noktası k'dan söküme tesisi m'e gönderilen öta miktarı
$Q_{lm}$	toplama merkezi l'den söküme tesisi m'e gönderilen öta miktarı
$Q_{mn}$	söküm tesisi m'den işleme tesisi n'e gönderilen hulk miktarı
$Q_{mr}$	söküm tesisi m'den geri dönüşüm tesisi r'e gönderilen e plastik/cam parça miktarı
$Q_{mi}$	söküm tesisi m'den ikincil pazar i'e gönderilen e kullanılabilir parça miktarı
$Q_{np}$	işleme tesisi n'den bertaraf tesisi p'e gönderilen asr miktarı
$Q_{nr}$	işleme tesisi n'den geri dönüşüm tesisi r'e gönderilen e metal miktarı
$Q_{rp}$	geri dönüşüm tesisi r'den bertaraf tesisi p'e gönderilen bertaraf miktarı
$Q_{ri}$	geri dönüşüm tesisi r'den ikincil pazar i'e gönderilen e geri dönüştürmüş parça miktarı

**0-1 Karar değişkenleri**

$O_m$	söküm tesisi m'nin açılıp açılmama kararı (1/0)
$O_n$	işleme tesisi n'nin açılıp açılmama kararı (1/0)

**Önerilen model:**

$$\begin{aligned}
\text{min} z = & \sum_m O_m f_m + \sum_n O_n f_n \text{ (Tesis sabit kurulum maliyetleri)} + \\
& (\sum_k \sum_l Q_{kl} CS_{kl} d_{kl} + \sum_k \sum_m Q_{km} CS_{km} d_{km} + \\
& \sum_l \sum_m Q_{lm} CS_{lm} d_{lm} + \sum_m \sum_n Q_{mn} CS_{mn} d_{mn} + \\
& \sum_m \sum_r Q_{mr} CS_{mr} d_{mr} + \sum_m \sum_i Q_{mi} CS_{mi} d_{mi} + \\
& \sum_n \sum_p Q_{np} CS_{np} d_{np} + \sum_s \sum_n \sum_r Q_{snr} CS_{nr} d_{nr} + \\
& \sum_d \sum_r \sum_p Q_{drp} CS_{rp} d_{rp} + \sum_s \sum_r \sum_i Q_{sri} CS_{ri} d_{ri} \text{ (Ürün taşıma} \\
& \text{maliyetleri)} + \\
& \sum_k \sum_l Q_{kl} i_l + \sum_k \sum_m Q_{km} i_m + \sum_l \sum_m Q_{lm} i_m \text{ (Ürün toplama mali-} \\
& \text{yeti)} + \\
& \sum_k \sum_m Q_{km} S_m + \sum_l \sum_m Q_{lm} S_m \text{ (Sökme Maliyeti)} + \\
& \sum_m \sum_n Q_{mn} S_n \text{ (İşleme Maliyeti)} + \\
& \sum_m \sum_r Q_{mr} S_r + \sum_s \sum_n \sum_r Q_{snr} S_r \text{ (Geri Dönüşüm Maliyeti)} + \\
& \sum_n \sum_p Q_{np} S_p + \sum_d \sum_r \sum_p Q_{drp} S_p \text{ (Ürün Bertaraf Maliyeti)} \quad (1)
\end{aligned}$$

Modelin açıklaması şu şekildedir; amaç fonksiyonu (1)'de toplam maliyet minimize edilmektedir. Oluşturulan amaç fonksiyonu 7 ögeye sahiptir. Birinci öge, sökülme tesisi ve işleme tesisinin tesis sabit açılış maliyetini göstermektedir. İkinci öge, ağın her aşamasındaki ulaşım maliyetini, üçüncü öge ÖTA toplama maliyetini, dördüncü öge sökülme tesisinde toplam sökülme maliyetini, beşinci öge işleme tesisinin toplam işleme maliyetini, altıncı öge geri dönüşüm tesisinde toplam geri dönüşüm maliyetini ve son olarak yedinci öge ise toplam bertaraf etme maliyetini göstermektedir.

### **Kısıtlar:**

#### **Denge kısıtları**

$$\sum_i Q_{ki} + \sum_m Q_{km} = M_k \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_k Q_{kl} = \sum_m Q_{lm} \quad \forall l \quad (3)$$

$$\sum_m \sum_n Q_{mn} = e_1 \cdot (\sum_k Q_{km} + \sum_l Q_{lm}) \quad \forall m \quad (4)$$

$$\sum_m \sum_i Q_{mi} = e_2 \cdot (\sum_k Q_{km} + \sum_l Q_{lm}) \quad \forall m \quad (5)$$

$$\sum_m \sum_r Q_{mr} = e_3 \cdot A \cdot (\sum_k Q_{km} + \sum_l Q_{lm}) \quad \forall m \quad (6)$$

$$\sum_p Q_{np} = (1-e_4) \cdot B \cdot \sum_m Q_{mn} \quad \forall n \quad (7)$$

$$\sum_s \sum_r Q_{srr} = e_4 \cdot C \cdot \sum_m Q_{mn} \quad \forall n \quad (8)$$

$$\sum_p Q_{rp} = e_5 \cdot (\sum_m Q_{mr}) \quad \forall r \quad (9)$$

$$\sum_p Q_{rp} = e_5 \cdot (\sum_s \sum_n Q_{srr}) \quad \forall r \quad (10)$$

$$\sum_s \sum_i Q_{sri} = (1-e_5) \cdot (\sum_m Q_{mr}) \quad \forall r \quad (11)$$

$$\sum_s \sum_i Q_{sri} = (1-e_5) \cdot (\sum_s \sum_n Q_{srr}) \quad \forall r \quad (12)$$

Kısıt (2), kaynak noktası k'dan toplama merkezi l'e ve sökülme tesisi m'e gönderilen araç miktarının, kaynak noktası k'da bulunan araç miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (3), kaynak noktası k'dan toplama merkezi l'e gönderilen araç miktarının, toplama merkezi l'den sökülme tesisi m'e gönderilen araç miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (4), sökülme tesisi m'den işleme tesisi n'e gönderilen hulk miktarının, toplama merkezi l'e ve kaynak noktası k'a gönderilen araçların sökülme işleminden sonra elde edilen

hulk miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (5), söküm tesisi m'den ikincil pazar i'ye gönderilen malzeme miktarının, toplama merkezi l'e ve kaynak noktası k'a gönderilen araçların sökme işleminden sonra elde edilen malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (6), söküm tesisi m'den geri dönüşüm tesisi r'ye gönderilen kullanılmayacak olan malzeme miktarının, toplama merkezi l'e ve kaynak noktası k'a gönderilen araçların sökme işleminden sonra elde edilen kullanılmayacak olan malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (7), işleme tesisi n'den bertaraf merkezi p'ye gönderilen metal olmayan atık miktarının, söküm tesisi m'den işleme tesisi n'ye gönderilen Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan metal olmayan atık miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (8), işleme tesisi n'den geri dönüşüm tesisi r'ye gönderilen demirli ve demir içermeyen metal miktarının, söküm tesisi m'den işleme tesisi n'ye Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan demirli veya demir içermeyen metal miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (9,10), geri dönüşüm tesisi r'den bertaraf merkezi p'ye gönderilen tehlikeli ve zehirli atık miktarının, söküm tesisi m'den işleme tesisi n'ye gönderilen malzemelerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan tehlikeli ve zehirli atık miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (11-12), geri dönüşüm tesisi r'den ikincil pazar i'ye gönderilen malzemelerin söküm tesisi m'den işleme tesisi n'ye gönderilen malzemelerdeki geri dönüştürülebilir malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır.

Kısıt (13-17) sırasıyla, toplama merkezlerinin, söküm tesislerinin, işleme tesisinin, geri dönüşüm tesisinin ve bertaraf merkezinin kapasitesinin aşılmama durumunu gösteren kısıttır.

### 2.3. İki aşamalı stokastik programlama

Stokastik programlama genel olarak belirsizlik altında karar vermek için kullanılabilecek matematiksel programlama modellerini kapsayan bir yöntemdir [32]. Aslında stokastik programlama; belirsizliği modele dahil ettiğinden matematiksel modeller ile karar verme modellerini bir araya getiren bir yaklaşımdır [33].



**Kapasite kısıtları**

$$\sum_k Q_{kl} \leq CP_l \quad \forall l \quad (13)$$

$$\sum_k Q_{km} + \sum_l Q_{lm} \leq CP_m \cdot O_m \quad \forall m \quad (14)$$

$$\sum_m Q_{mn} \leq CP_n \cdot O_n \quad \forall n \quad (15)$$

$$\sum_m Q_{mr} + \sum_s \sum_n Q_{snr} \leq CP_r \quad \forall r \quad (16)$$

$$\sum_n Q_{np} + \sum_r Q_{rp} \leq CP_p \quad \forall p \quad (17)$$

Rassal değişkenlerin çoğu, deney yapılmadan önce bilinemezler ancak  $\xi = \xi(\mathbf{w})$  deney sonucunda bilinebilir. Karar kümeleri;

1. Rassal deney yapılmadan alınan bazı kararlara **birinci aşama kararları** ve birinci aşama kararlarının periyoduna **birinci aşama** denir.
2. Rassal deney yapıldıktan sonra alınan bazı kararlara **ikinci aşama kararları** ve ikinci aşama kararlarının periyoduna ise **ikinci aşama** denir.

Birinci aşama ve ikinci aşama kararları sırasıyla  $x$  vektörü ve  $y$ ,  $y(\mathbf{w})$  ya da  $y(\mathbf{w}, x)$  gösterilir. Kararların gerçekleşmesi  $x \rightarrow \xi(\mathbf{w}) \rightarrow y(\mathbf{w}, x)$  şeklindedir. Kararların ne zaman alındığının belirlenmesi, değişkenin birinci aşama ya da ikinci aşama kararı olduğunu belirler [34].

İki aşamalı stokastik programlama problemleri, kararların iki aşamada alındığı ve aralarında bazı rastgele olayların gözlemlendiği durumları ifade eder [34]. 1997 yılında Birge ve Louveaux'ın yapmış oldukları çalışmada iki aşamalı stokastik programlama aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\min c^T y + E[Q(y, \varepsilon)] \quad (18)$$

s. t.

$$Ay = b, y \geq 0 \quad (19)$$

Denklem (18-19)'de  $Q(y, \varepsilon)$ , ikinci aşama problemin optimal değeridir. Birinci aşama karar değişkeninin maliyeti,  $c$  vektörü ile belirtilir.  $Q(y, \varepsilon)$  ise aşağıda verilen probleminin optimal değeridir.

$$Q(y, \varepsilon) = \min q^T x \quad (20)$$

s. t.

$$Ty + Wx = h \quad (21)$$

$$y \geq 0$$

$y$  vektörünün birinci aşama kararlarını,  $x$  vektörü ikinci aşama kararlarını temsil eder.  $\varepsilon$  vektörü (20-21)'de, ikinci aşama probleminin  $T$ ,  $W$ ,  $h$  ve  $q$  olan parametrelerini içerir. Sadece ayrık dağılımları göz önüne aldığından,  $\varepsilon$  vektörünün sınırlı sayıda senaryosu vardır.

Bu nedenle, her senaryoya özgü  $\varepsilon_s = (T_s, W_s, h_s, q_s)$  gösterimi kullanılır ve  $s=1, \dots, S$  olmak üzere  $p_s$  her senaryonun olasılığını temsil eder. Sınırlı sayıda senaryo ve verilen olasılık değerlerini göz önüne alarak, aşağıdaki denklemi kullanarak beklenen değeri elde edebilir.

$$E[Q(y, \varepsilon)] = \sum_{s=1}^S p_s Q(y, \varepsilon_s) \quad (22)$$

(2.3.5) kullanılarak (2.3.4) düzenlenirse,

$$\min \sum_{s=1}^S p_s q_s^T x_s$$

s. t.

$$T_s y + W_s x_s = h_s, x_s \geq 0, \forall s \quad (23)$$

şeklinde olur (22-23).

### Tanım 1. Mükemmel bilginin beklenen değeri

Mükemmel bilginin beklenen değeri (MBD), karar vericinin doğru ve kesin bilgiye gelecekte ödeyeceği miktardır. Stokastik programlamada belirsizlik senaryolarla gösterilir ve  $\xi$  senaryoların gerçekleşmesini gösteren rassal değişken olsun.

$$\begin{aligned} \min z(y, \xi) &= c^T y + \min \{q^T x | Wy = h - Ty, x \geq 0\} & (24) \\ \text{s. t.} & \\ Ay &= b, x \geq 0 \end{aligned}$$

$\bar{y}(\xi)$ , (24) denklemin herhangi bir en uygun çözümü olsun. Senaryo yaklaşımında, her senaryoda problemin tüm  $\bar{y}(\xi)$  çözümleri ve  $\bar{y}(\xi)$  çözümlerinin amaç fonksiyonları  $z(\bar{y}(\xi), \xi)$  bulunur.  $\bar{y}(\xi)$  ve  $z(\bar{y}(\xi), \xi)$ 'nin dağılımını gösterdiğinden bu yaklaşım dağılım problemi olarak adlandırılır. Dağılım problemi, doğrusal programlamada duyarlılık ya da parametrik analizlerin genelleştirilmiş halidir.  $\bar{y}(\xi)$  ve  $z(\bar{y}(\xi), \xi)$  değerlerini hesaplandığı varsayılırsa, literatürde Bekle ve Gör(B-G) olarak adlandırılan, bu değerlerin beklenen değeri hesaplanır (25).

$$B-G = E\xi[\min_y(y, \xi)] = E\xi z(\bar{y}(\xi), \xi) \quad (25)$$

Burada ve Şimdi (B-Ş) çözümü ise geleceğin bilinmeden çözümün yapıldığı yani stokastik programlama çözümüdür. Artık, Bekle ve Gör (B-G) çözümü ile Burada ve Şimdi (B-Ş) çözümü karşılaştırılabilir. Mükemmel bilginin beklenen değeri (MBD), tanımından da çıkarılabildiği gibi Burada ve Şimdi (B-Ş) çözümü ile Bekle ve Gör (B-G) çözümü arası farktır (26).

$$MBD = (B-Ş) - (B-G) \quad (26)$$

## Tanım 2. Stokastik çözümün değeri

Birçok kişi Bekle-Gör çözümünün bulunmasının zor olduğuna inanmaktadır. Bu zorluk B-G çözümünün tek çözüm değeri yerine bir çözüm kümesi verdiği zamanlarda ortaya çıkmaktadır. Bu probleme beklenen değer (BD) problemi denilmekte ve şu şekilde ifade edilmektedir (27):

$$BD = E\xi z(\bar{y}(\xi), \xi) \quad (27)$$

$E[\xi]$ ,  $\xi$ 'nin beklenen değeridir. B-G'nin en uygun çözümü beklenen değer çözümü olarak adlandırılan  $\bar{y}(\xi^-)$  olsun. Gerçek hayattaki belirsizlikler hakkında bilgi sahibi olmak isteyen karar verici  $\bar{y}(\xi^-)$  hakkında karar alırken güvensizlik duyar.

Çünkü eğer  $\bar{y}(\xi^-)$   $\xi$  'den bağımsız olmazsa,  $\bar{y}(\xi^-)$ 'nin B-Ş 'nin çözümüne yakındır. Stokastik çözümün değeri B-Ş,  $\bar{y}(\xi^-)$ 'nin ne kadar iyi ya da kötü bir karar olduğu ölçen bir kavramdır. İlk olarak BD çözümünün beklenen değeri (BDÇBD) aşağıdaki gibi tanımlanır (28):

$$BD\check{C}BD = E_x z(\bar{y}(\xi^-), \xi) \quad (28)$$

$x(\xi^-)$ 'nin stokastik modelde nasıl bir performans gösterdiğini ölçen BDÇBD miktarı, ikinci aşama kararlarının  $\bar{y}(\xi^-)$  ve  $\xi^-$ 'nin fonksiyonları olarak en uygun şekilde seçilmesine izin verir. Böylece stokastik çözüm değeri SÇD şu şekilde hesaplanır (29):

$$S\check{C}D = BD\check{C}BD - B-\check{S} \quad (29)$$

Aşağıdaki temel eşitsizlikler Madansky (1960) tarafından oluşturulmuştur:

$$B-G \leq BS \leq BD\check{C}BD, \quad BD \leq B-G \\ 0 \leq MBD, \quad 0 \leq S\check{C}D, \quad S\check{C}D \leq BD\check{C}BD - BD, \quad MBD \leq BD\check{C}BD - BD$$

İncelenen durumlarda sonuçların bu eşitsizliklere uyup uymadığı kontrol edilmelidir [34].

## 2.4. Önerilen stokastik programlama modeli

Deterministik modelde kullanılan indislere, parametrelere ve değişkenlere ek olarak aşağıda verilen indisler, parametreler ve değişkenler modele dahil edilmiştir.

### İlave indisler

$s$  senaryo  $s = 1,2,3,\dots,S$

### İlave değişkenler

$Q_{skl}$	senaryo $s$ 'de $k$ kaynak noktasından $l$ toplama merkezine gönderilen öta miktarı
$Q_{skm}$	senaryo $s$ 'de $k$ kaynak noktasından $m$ söküm tesisi gönderilen öta miktarı
$Q_{slm}$	senaryo $s$ 'de $l$ toplama merkezinden $m$ söküm tesisi gönderilen öta miktarı
$Q_{smn}$	senaryo $s$ 'de $m$ söküm tesisinden $n$ işleme tesisine gönderilen hulk miktarı
$Q_{smr}$	senaryo $s$ 'de $m$ söküm tesisinden $r$ geri dönüşüm tesisine gönderilen e plastik/cam parça miktarı
$Q_{smi}$	senaryo $s$ 'de $m$ söküm tesisinden ve $i$ ikincil pazara gönderilen e kullanılabilir parça miktarı
$Q_{snp}$	senaryo $s$ 'de $n$ işleme tesisi ve $p$ bertaraf tesisine gönderilen asr miktarı
$Q_{senr}$	senaryo $s$ 'de $n$ işleme tesisi ve $r$ geri dönüşüm tesisine gönderilen e metal miktarı
$Q_{srp}$	senaryo $s$ 'de $r$ geri dönüşüm tesisinden $p$ bertaraf tesisine gönderilen bertaraf miktarı
$Q_{seri}$	senaryo $s$ 'de $r$ geri dönüşüm tesisinden $i$ ikincil pazara gönderilen e geri dönüştürülmüş parça miktarı

**Önerilen model:**

$$\begin{aligned}
\min z = & \sum_m O_m f_m + \sum_n O_n f_n \text{ (Tesis Sabit Kurulum Maliyetleri) } + \\
& p_s \cdot / \sum_s \sum_k \sum_l Q_{skl} CS_{kl} d_{kl} + \sum_s \sum_k \sum_m Q_{skm} CS_{km} d_{km} + \\
& \sum_s \sum_l \sum_m Q_{slm} CS_{lm} d_{lm} + \sum_s \sum_m \sum_r Q_{smr} CS_{mr} d_{mr} + \\
& \sum_s \sum_m \sum_i Q_{smi} CS_{mi} d_{mi} + \sum_s \sum_n \sum_p Q_{snp} CS_{np} d_{np} + \\
& \sum_s \sum_n \sum_r Q_{snr} CS_{nr} d_{nr} + \sum_s \sum_d \sum_r \sum_p Q_{sdrp} CS_{rp} d_{rp} + \\
& \sum_s \sum_\theta \sum_r \sum_i Q_{s\theta ri} CS_{ri} d_{ri} \text{ (Ürün Taşıma Maliyetleri) } + \\
& \sum_s \sum_k \sum_l Q_{skl} i_l + \sum_s \sum_k \sum_m Q_{skm} i_m + \sum_s \sum_l \sum_m Q_{slm} i_m \text{ (Ürün} \\
& \text{Toplama Maliyeti) } + \\
& \sum_s \sum_k \sum_m Q_{skm} S_m + \sum_s \sum_l \sum_m Q_{slm} S_m \text{ (Sökme Maliyeti) } + \\
& \sum_s \sum_m \sum_n Q_{smn} S_n \text{ (İşleme Maliyeti) } + \\
& \sum_s \sum_m \sum_r Q_{smr} S_r + \sum_s \sum_\theta \sum_n \sum_r Q_{s\theta nr} S_r \text{ (Geri Dönüşüm Ma-} \\
& \text{liyeti) } + \\
& \sum_s \sum_n \sum_p Q_{snp} S_p + \sum_s \sum_r \sum_p Q_{srp} S_p \text{ (Ürün Bertaraf Maliyeti)] (30)
\end{aligned}$$

Modelin açıklaması şu şekildedir; amaç fonksiyonu 30'de toplam maliyet minimize edilmektedir. Oluşturulan amaç fonksiyonu 7 ögeye sahiptir. Birinci öge, sökülme tesisi ve işleme tesisinin sabit kurulum maliyetini göstermektedir. İkinci öge, s senaryosunda ağırlık her aşamasında ulaşım maliyetini, üçüncü öge s senaryosunda ÖTA'lerin toplanma maliyetini, dördüncü öge s senaryosunda sökülme tesisine gönderilen ÖTA'lerin sökülme maliyetini, beşinci öge s senaryosunda işleme tesisinde işlem maliyetini, altıncı öge s senaryosunda geri dönüştürme maliyetini ve son olarak yedinci öge s senaryosunda bertaraf etme maliyetini göstermektedir.

## **Kısıtlar:**

### **Denge kısıtları**

$$\sum_l Q_{skl} + \sum_m Q_{skm} = M_{ks} \quad \forall s, k \quad (31)$$

$$\sum_k Q_{skl} = \sum_m Q_{slm} \quad \forall s, l \quad (32)$$

$$\sum_m \sum_n Q_{smn} = e_1 \cdot (\sum_k \sum_m Q_{skm} + \sum_l \sum_m Q_{slm}) \quad \forall s, m \quad (33)$$

$$\sum_m \sum_i Q_{smi} = e_2 \cdot (\sum_k \sum_m Q_{skm} + \sum_l \sum_m Q_{slm}) \quad \forall s, m \quad (34)$$

$$\sum_m \sum_r Q_{smr} = e_3 \cdot A \cdot (\sum_k \sum_m Q_{skm} + \sum_l \sum_m Q_{slm}) \quad \forall s, m \quad (35)$$

$$\sum_p Q_{snp} = (1 - e_4) \cdot B \cdot (\sum_m Q_{smn}) \quad \forall s, n \quad (36)$$

$$\sum_e \sum_r Q_{senr} = e_4 \cdot C \cdot (\sum_m Q_{smn}) \quad \forall s, n \quad (37)$$

$$\sum_r \sum_p Q_{srp} = e_5 \cdot (\sum_m Q_{smr}) \quad \forall s, r \quad (38)$$

$$\sum_r \sum_p Q_{srp} = e_5 \cdot (\sum_e \sum_n Q_{senr}) \quad \forall s, r \quad (39)$$

$$\sum_e \sum_i Q_{seri} = (1 - e_5) \cdot (\sum_m Q_{smr}) \quad \forall s, r \quad (40)$$

$$\sum_e \sum_i Q_{seri} = (1 - e_5) \cdot (\sum_e \sum_n Q_{senr}) \quad \forall s, r \quad (41)$$

Kısıt (31), s senaryosunda kaynak noktası k'dan toplama merkezi l'e ve söküme tesisi m'e gönderilen araç miktarının, kaynak noktası k'da bulunan araç miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (32), s senaryosunda kaynak noktası k'dan toplama merkezi l'e gönderilen araç miktarının, toplama merkezi l'den söküme tesisi m'e gönderilen araç miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (33), s senaryosunda söküme tesisi m'den işleme tesisi n'e gönderilen hulk miktarının, toplama merkezi l'e ve kaynak noktası k'a gönderilen araçların söküme işleminden sonra elde edilen hulk miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (34), s senaryosunda söküme tesisi m'den ikincil pazar i'e gönderilen malzeme miktarının, toplama merkezi l'e ve kaynak noktası k'a gönderilen araçların söküme işleminden sonra elde edilen malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (35), s senaryosunda söküme tesisi m'den geri dönüşüm tesisi r'e gönderilen kullanılmayacak olan malzeme miktarının,

toplama merkezi l'e ve kaynak noktası k'a gönderilen araçların sökme işleminden sonra elde edilen kullanılmayacak olan malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (36), s senaryosunda işleme tesisi n'den bertaraf merkezi p'e gönderilen metal olmayan atık miktarının, söküm tesisi m'den işleme tesisi n'e gönderilen Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan metal olmayan atık miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (37), s senaryosunda işleme tesisi n'den geri dönüşüm tesisi r'e gönderilen demirli ve demir içermeyen metal miktarının, söküm tesisi m'den işleme tesisi n'e Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan demirli veya demir içermeyen metal miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (38-39), s senaryosunda geri dönüşüm tesisi r'den bertaraf merkezi p'e gönderilen tehlikeli ve zehirli atık miktarının, söküm tesisi m'den işleme tesisi n'e gönderilen öğe/malzemelerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan tehlikeli ve zehirli atık miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt (40-41), s senaryosunda geri dönüşüm tesisi r'den ikincil pazar i'e gönderilen malzemelerin söküm tesisi m'den işleme tesisi n'e gönderilen malzemelerdeki geri dönüştürülebilir malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır.

### Kapasite kısıtları

$$\sum_k Q_{skl} \leq CP_l \quad \forall s, l \quad (42)$$

$$\sum_k Q_{skm} + \sum_l Q_{slm} \leq CP_m \cdot O_m \quad \forall s, m \quad (43)$$

$$\sum_m Q_{smn} \leq CP_n \cdot O_n \quad \forall s, n \quad (44)$$

$$\sum_m Q_{smr} + \sum_n Q_{senr} \leq CP_r \quad \forall s, r \quad (45)$$

$$\sum_n Q_{snp} + \sum_r Q_{srp} \leq CP_p \quad \forall s, p \quad (46)$$

Kısıt (42-46) sırasıyla s senaryosunda, araç toplayıcılarının, söküm tesislerinin, işleme tesisinin, geri dönüşüm tesisinin ve bertaraf merkezinin kapasitesinin aşılma durumunu gösteren kısıttır.



## 2.5. Çalışmada kullanılan veriler

Yapılan çalışma kapsamında ömrünü tamamlamış araçlar için geri dönüşüm modelinin uygulamasının Ankara ilinde yapılması kararlaştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan veriler Türkiye İstatistik Kurumu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve literatür araştırmaları kapsamında sağlanmıştır.

Ankara, 39.57 Kuzey enlemi ile 32,53 Doğu boylamları arasında yer alır. 26.897 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olan Ankara'nın ilçeleri; Altındağ, Çankaya, Mamak, Keçiören, Sincan, Yenimahalle, Akyurt, Beypazarı, Çamlıdere, Çubuk, Elmadağ, Etimesgut, Evren, Kazan, Gölbaşı, Bala, Ayaş, Güdül, Haymana, Kalecik, Kızılcahamam, Nallıhan, Polatlı, Pursaklar ve Şereflikoçhisar'dır.

Ankara iline bağlı 25 tane ilçe bulunmaktadır ve bu ilçelerin hepsi ÖTA kaynağı olarak kabul edilmiştir. 2018 yılında Ankara'daki ÖTA sayısı 3463 ve 2018 yılı itibariyle nüfus 5.503.985'dir. 2018 yılı ilçe verileri göz önünde bulundurularak ÖTA sayıları ilçelere dağıtılmıştır. Tablo 5'de Ankara ilçe nüfusu ile orantılı olarak hesaplanan ÖTA sayıları verilmiştir.

**Tablo 5.** Ankara ilçeleri enlem-boylam ve kaydı silinen araç sayıları

İLÇELER	ENLEM	BOYLAM	NÜFUS	KAYDI SİLİNEREN ARAÇ
<i>Akyurt</i>	40,1311	33,0827	34.588	22
<i>Altındağ</i>	39,9533	32,8612	370.024	233
<i>Ayaş</i>	40,0196	32,3325	15.540	10
<i>Bala</i>	39,5534	33,1238	33.644	21
<i>Bey pazarı</i>	40,1682	31,9203	48.274	30
<i>Çamludere</i>	40,4918	32,4766	15.148	10
<i>Çankaya</i>	39,9242	32,8613	920.890	579
<i>Çubuk</i>	40,2389	33,0328	89.046	56
<i>Elmadağ</i>	39,9223	33,2263	45.349	29
<i>Etimesgut</i>	39,9655	32,6848	570.727	359
<i>Evren</i>	39,0204	33,8058	3.606	2
<i>Gölbasi</i>	39,7984	32,8057	132.478	85
<i>Güdül</i>	40,2106	32,2456	10.074	6
<i>Haymana</i>	39,4343	32,4955	45.931	29
<i>Kalecik</i>	40,1066	33,4113	13.450	8
<i>Kazan</i>	40,2051	32,6812	53.522	34
<i>Keçiören</i>	39,9784	32,8682	909.787	572
<i>Kızılcahamam</i>	40,4705	32,6503	32.647	21
<i>Mamak</i>	39,9321	32,9119	647.252	407
<i>Nallıhan</i>	40,1889	31,3505	28.091	18
<i>Polatlı</i>	39,5851	32,1447	122.287	77
<i>Pursaklar</i>	40,0385	32,9034	143.055	90
<i>Sincan</i>	39,9669	32,5842	518.893	326
<i>Şereflikoçhisar</i>	38,9381	33,5387	32.202	22
<i>Yenimahalle</i>	39,9622	32,8103	663.580	418

Bir araç ağırlığı 1000 kg olarak kabul edilmiştir. Araç parça öğeleri kapsamında 2006 yılında yapılmış ve hala geçerliliğini koruyan veriler kullanılmış ve bu veriler Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** ÖTA bileşimi [35]

Malzeme	Kodu	Ağırlık
Demir içeren metal	a1	650
Plastik	a2	120
Demir içermeyen metal	a3	90
Lastik	a4	30
Cam	a5	30
Sıvı	a6	17
Akü	a7	13
Tekstil	a8	10
Kauçuk	a9	20
Diğer	a10	20
<b>Toplam</b>		<b>1000</b>

2018 yılı itibari ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı onaylı Ankara'da hizmet veren 29 adet lisanlı araç toplayıcıları, 5 adet söküm tesisi ve 13 adet işleme tesisi modele eklenmiştir. 34 adet geri dönüşüm tesisi ve 6 adet elden çıkarma/bertaraf tesisi için Türkiye'de çeşitli illerde hizmet veren firmalar modele dahil edilmiştir.

Aşağıda Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9, Tablo 10'da modele dahil edilen sırasıyla tesis sayıları, tesis kapasiteleri, malzeme miktarları ve maliyetler verilmiştir.

**Tablo 7.** Modele dahil edilen veriler

Tesis Adı	Adet
Lisanslı Toplama Merkezi	29
Yetkili Söküm Tesisi	5
İşleme Tesisi	13
Geri Dönüşüm Tesisi	34
İkincil Pazar	9
Elden çıkarma/Bertaraf Tesisi	6

**Tablo 8.** Tesis kapasiteleri

Tesis Adı	TON
Araç toplayıcı	3000
Söküm tesisi	4000
İşleme tesisi	8000
Geri Dönüşüm Tesisi	11000
Elden çıkarma/Bertaraf Tesisi	25000

**Tablo 9.** Malzeme miktarları

Malzeme	Kodu	Ağırlık
Hulk miktarı	e1	810
ASR miktarı	e2	185
yeniden kullanılabilir malzeme miktarı	e3	137
yeniden kullanılamayan malzeme miktarı	e4	864
Geri dönüştürülebilir malzeme miktarı	e5	815
Bertaraf miktarı	e6	150

**Tablo 10 . Maliyetler**

<b>Tesis Adı</b>	<b>TL</b>
Söküm tesisi açılış maliyeti	625 000
Sökme maliyeti	490
İşleme maliyeti	135
Bertaraf etme maliyeti	500
Geri dönüşüm maliyeti	250
Toplama merkezi ÖTA toplama maliyeti	200
Söküm tesisi ÖTA toplama maliyeti	100
ÖTA taşıma maliyeti(TL/km*ton)	1
Toplama merkezleri ile söküm tesisi arasındaki taşıma maliyeti(TL/km*ton)	0,4
Hulk taşıma maliyeti(TL/km*ton)	0,2
ASR taşıma maliyeti(TL/km*ton)	0,5

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın bu bölümde stokastik programlama modeli ile deterministik modelin çözümleri karşılaştırılmaktadır. Modelde son kullanıcılar-  
dan gelen ürün miktarı belirsiz olarak kabul edilerek belirsizlik yirmi  
senaryo ile ifade edilmiştir. Bu senaryolar üretilirken Tablo 5’de ve-  
rilen 2018 yılı verilerinden faydalanılarak alt ve üst sınır belirlenmiş  
ve dağılımın uniform dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Her senaryonun  
gerçekleşme olasılığı ise kolaylık sağlaması için eşit alınmış ve bu de-  
ğer 0.05’dir.

Deterministik ve stokastik modellerin çözümü sonucunda aşağı-  
daki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 11 modelin özetini göstermektedir.  
Burada deterministik olarak gösterilen veriler, yirmi adet senaryonun  
gerçekleştiği varsayılarak deterministik olarak çözülen modellerin or-  
talama değerleridir.

**Tablo 11.** Deterministik ve stokastik modellerin çözümü

	Deterministik Model	Stokastik Model
<b>Amaç Fonksiyonu</b>	11.139.248 TL	11.569.225 TL
<b>Çözüm Süresi</b>	66 sn	266 sn
<b>İterasyon Sayısı</b>	410	21449
<b>Sürekli Değişken Sayısı</b>	12422	248079
<b>Kesikli Değişken Sayısı</b>	18	18
<b>Kısıt sayısı</b>	910	18181

Stokastik modele göre açılması planlanan söküm tesisleri m1, m2, m5 ve işleme tesisleri ise n13 olarak bulunmuştur.

Bulunan söküm tesisleri ve işleme tesisleri Ankara’da endüstri olarak yoğun bölgeler olduklarından tutarlı olarak bulunmuştur fakat yirmi adet senaryonun verileri kullanılarak çözülen deterministik modelin geçerlilik analizinin yapılması gerekmektedir. Tablo 12 deterministik olarak hesaplanan amaç fonksiyonlarını özetlemektedir.

**Tablo 12.** Deterministik amaç fonksiyonları değerleri

<b>1.Amaç F.</b>	10.578.486	<b>11.Amaç F.</b>	11.442.103
<b>2.Amaç F.</b>	10.432.994	<b>12.Amaç F.</b>	10.378.479
<b>3.Amaç F.</b>	9.990.382	<b>13.Amaç F.</b>	9.775.807
<b>4.Amaç F.</b>	9.596.130	<b>14.Amaç F.</b>	11.463.063
<b>5.Amaç F.</b>	10.222.145	<b>15.Amaç F.</b>	11.352.872
<b>6.Amaç F.</b>	10.530.562	<b>16.Amaç F.</b>	13.704.135
<b>7.Amaç F.</b>	9.857.597	<b>17.Amaç F.</b>	10.726.331
<b>8.Amaç F.</b>	10.849.913	<b>18.Amaç F.</b>	11.201.168
<b>9.Amaç F.</b>	12.497.336	<b>19.Amaç F.</b>	10.546.270
<b>10.Amaç F.</b>	12.149.705	<b>20.Amaç F.</b>	10.489.491

Senaryoların gerçekleşme olasılıkları eşit alındığından tüm senaryolar en az bir kere gerçekleştiği varsayımı ile, burada Bekle-Gör değeri bulunan yirmi adet deterministik değerlerin ortalama değeridir ve bu değer  $B-G=11.139.248$  olarak hesaplanmıştır.

Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri ise hesaplanan stokastik modelleme değerinin Bekle-Gör (B-G) değerinden çıkartılması ile elde edilir. Hesaplanan stokastik sonuç  $11.569.225$  TL'dir. Burada ve Şimdi değeri stokastik programlama çözümüdür ve  $MBD=B-Ş-B-G=429.976$  olarak hesaplanmıştır.

İkinci değer olan Stokastik Çözümün Değerini hesaplamak için ise yirmi adet senaryo değerlerinin ortalamasının alınarak, bulunan verileri deterministik modele dahil edilip elde edilen Beklenen Değer(BD) hesaplanır. Yapılan hesaplamalarda  $BD=10.930.817$  olarak hesaplanmıştır. Açılması planlanan sökülme tesisi m1 ve m2, işleme tesisi ise n13 olarak bulunmuştur.

Elde edilen birinci aşama değişkenleri stokastik modele dahil edilir ve  $BD\ÇBD$  değeri hesaplanır. Hesaplanan  $BD\ÇBD$  değeri  $12.194.225$  olarak hesaplanmıştır. Stokastik Çözümün Değeri( $S\ÇD$ ) =  $BD\ÇBD-B-Ş=625.000$  olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan durumlarda sonuçların aşağıdaki eşitsizliklere uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir [34].

$$1) B-G \leq B-Ş \leq BD\ÇBD$$

$$11.139.248 \leq 11.569.225 \leq 12.194.225$$

$$2) BD \leq B-G$$

$$10.930.817 \leq 11.139.248$$

$$3) 0 \leq MBD \text{ ve } 0 \leq S\ÇD$$

$$0 \leq 429.976 \text{ ve } 0 \leq 625.000$$

$$4) S\ÇD \leq BD\ÇBD - BD$$

$$625.000 \leq 12.194.225 - 10.930.817$$

$$625.000 \leq 1.263.408$$

**5)  $MBD \leq BD\check{C}BD - BD$**

$$429.976 \leq 12.194.225 - 10.930.817$$

$$429.976 \leq 1.263.408$$

Son olarak yukarıdaki eşitsizliklerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiş ve tüm eşitsizliklerin sağlandığı görülmüştür. Yirmi adet senaryonun verileri kullanılarak oluşturulan deterministik model sonuçları tutarlı olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 13 yirmi adet deterministik modelin seçtiği alternatifleri göstermektedir.

**Tablo 13.** Deterministik modellerin seçtiği alternatifler

Model	Y. Söküm Tesisi (m)					İşleme Tesisi (n)													
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Stokastik model	*	*			*														*
1.Deterministik		*			*														*
2. Deterministik		*			*														*
3.Deterministik	*	*																	*
4.Deterministik		*			*														*
5.Deterministik	*	*																	*
6.Deterministik	*	*																	*
7.Deterministik		*			*														*
8. Deterministik	*	*																	*
9.Deterministik	*	*			*														*
10. Deterministik	*	*			*														*
11. Deterministik		*			*														*
12. Deterministik		*			*														*
13. Deterministik		*			*														*
14. Deterministik		*			*														*
15. Deterministik		*			*														*
16. Deterministik	*	*			*														*
17. Deterministik	*	*																	*
18. Deterministik	*	*																	*
19. Deterministik	*	*																	*
20. Deterministik	*	*																	*



Yukarıdaki Tablo 3.3 incelendiğinde açılması planlanan işleme tesisi hem tüm deterministik modellerde hem de stokastik modelde n13 olarak bulunmuştur. Fakat sökülme tesisi için deterministik modeller kendi aralarında farklı alternatifler sunmaktadır. %55 ihtimalle m1, %100 ihtimalle m2, %60 ihtimalle ise m5 sökülme tesisinin açılma ihtimali hesaplanmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Son zamanlarda hızla artan nüfus, doğal kaynakların azalması çeşitli ekonomik ve çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. Yeniden değerlendirilme imkânı olan atıkların geri dönüştürülmesi ekonomiye direkt olarak katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada ele alınan ağ tasarımı kapsamında sökülme tesisi ve işleme tesisi için uygun lokasyonun seçimi ve ağ içindeki tesisler arasında taşınacak ürün miktarlarının belirlenmesi kararları ile toplam ağ maliyetinin en az olması hedeflenmiştir. İlk olarak önerilen deterministik model tüm parametrelerin belirli olduğu varsayımı ile çözülmüştür. Fakat gerçek hayatta tüm parametreler kesin olarak bilinemez. Stokastik programlamada kesin olarak bilinmeyen parametreler senaryolarla ifade edilir. Kurulan ağ tasarımında kaynak noktasına gelen hurda araç sayısı belirsiz olarak kabul edilmiştir. Belirsizliğin giderilmesi için yirmi adet senaryo üretilmiştir. Stokastik programlamanın üstün yanı, deney yapılmadan önce ve sonra karar alınabildiği için karar vericiye fayda sağlamasıdır.

Geliştirilen model, tüm amaç fonksiyonları için GAMS yazılımının CPLEX çözücü ile çözümlenmiştir. İlk aşamada deterministik model yirmi adet senaryonun ortalaması alınarak bulunmuştur ve değer 11.139.248 TL olarak hesaplanmıştır. Deterministik modelin sonuçlarına göre m1, m2 ve m5 numaralı sökülme tesisinin ve n13 numaralı işleme tesisinin açılması planlanmıştır. İkinci aşamada ise miktar belirsizliği yirmi adet senaryo ile ifade edilmiş olup stokastik modelin optimal amaç fonksiyonu değeri 11.569.225 TL olarak hesaplanmıştır.

Stokastik modelin sonuçlarına göre m1,m2 ve m5 numaralı söküme tesisinin ve n13 numaralı işleme tesisinin açılması planlanmıştır. Mevcut veriler de sonuçların doğruluğunu desteklemektedir.

Belirsizlik altında veren her karar vericinin ileride ödemeyi göze aldığı bir maliyet söz konusudur. Stokastik modelin geçerliliğini kontrol etmek için Madansky tarafından 1960 yılında önerilmiş olan eşitsizliklere uyup uymadığı kontrol edilmiştir. Geliştirilen model stokastik modelin kullanılabilir bir model olduğu gösterilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda miktar belirsizliğine ek olarak taşıma maliyeti, işleme maliyeti, tesis kapasiteleri vb. parametrelerin belirsiz olması modele dahil edilebilir. Bu durumda daha karmaşık olan bu modellerin çözümü için farklı yöntemler kullanılıp sonuçlarının karşılaştırılmalı analizi yapılabilir. Yine aynı şekilde açık döngü olarak geliştirilen bu model kapalı döngü olarak tasarlanabilir.

Bu çalışma, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programında devam ettiğim “Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Kazanımı İçin Belirsizlik Altında Ağ Tasarımı” başlıklı tezden üretilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Mimouni, F., Abouabdellah, A., ve Mharzi, H., Study of the Reverse Logistics' Break- Even in a Direct Supply Chain, (2015).1-24.
- [2] Guiltinan J.,Nwokoye,N., Reverse channels for recycling: an analysis for alternatives and public policy implications. R.G. Curhan(ed.), New marketing for social and economic progress, Combined Proceedings, American Marketing Association., (1974), 1419-1427.
- [3] Rogers, D., Tibben-Lembke, R., Going backwards: reverse logistics trends and practices. Pittsburgh :RLEC Press., (1999).
- [4] Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R. ve Flapper, S.D.P., A characterization of logistics networks for product recovery, Omega, 28, (2000), 653-666.
- [5] Demirel H. Ö., Gökçen H., Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı: literatür araştırması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 23(4), (2008), 903-912.

- [6] Anonim, Directive 2000/53/Ec Of The European Parliament and Of The Council, (2000), 1–15.
- [7] Schultmann F., Zumkeller M. ve Rentz O., Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry, *European Journal of Operational Research*, (2006), 10-20.
- [8] Choi J., Stuart J. A. ve Ramani K., Modeling of Automotive Recycling Planning in the United States. *International Journal of Automotive Technology.*, 6(4), (1997), 413-419.
- [9] Mansour S., Zarei M., A multi-period reverse logistics optimisation model for end-of-life vehicles recovery based on EU Directive, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(7), (2008), 764-777.
- [10] Cruz-Rivera R., Ertel J., Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, (2009), 930–939.
- [11] Xiaolong J., Rui F., Wang L., The Location Selection of Automobile Reverse Logistics Network within Closed-loop Supply Chains. *Scholl of Automobile Chang'an University.*, (2009),1-20.
- [12] Mansour S., Zarei M., Husseinzadeh Kashan A. ve Karimi B., Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery. *Mathematical Problems in Engineering.*, (2010), 1–16.
- [13] Harraz N. A., Galal N. M., Design of Sustainable End-of-life Vehicle recovery network in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, (2011), 211-219.
- [14] Mahmoudzadeh M., Mansour S. ve Karimi B., A Decentralized Reverse Logistics Network for End of Life Vehicles from Third Party Provider Perspective. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology*, 2, (2011), 338–342.
- [15] Simic V., Dimitrijevic B., Modelling production processes in a vehicle recycling plant. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association. ISWA.*, 30(9), (2012), 1-21.
- [16] Demirel E., Demirel N. and Gökçen H., A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey., *Journal of Cleaner Production*, 112, (2016), 2101–2113.
- [17] Ene S., Öztürk N., Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. *Waste Management Elsevier Ltd.*, 38(1), (2015), 284–296.
- [18] Phuc K., Nguyen P., Yu V. F., Tsao Y.C., (2016), Optimizing fuzzy reverse supply chain for end-of-life vehicles. *Computers & Industrial Engineering.*, (2016), 1-20.

- [19] Srinivasan S., Khan S. H., Environmentally Conscious Optimization of Closed Loop Supply Chain Network with Vehicle Routing. *Advances in Theoretical and Applied Mathematics.*, 11(3), (2016), 223–243.
- [20] Demirel N ., Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Dönüşümünde Yükseltilmiş Yönetmelik Hedeflerini Karşılama İçin Ağ Tasarımı ve Modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* , 5 (3), (2017), 223-236.
- [21] Listeş, O., . A decomposition approach to a stochastic model for supply and return network design. *Erasmus*, (2002), 1-27.
- [22] Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q., Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework. *European Journal of Operational Research*, 203, (2010), 336–349.
- [23] Listeş, O., A generic stochastic model for supply-and-return network design. *Computers & Operations Research*, 34, (2007), 417-442.
- [24] Chouinard, M., D'Amours, S., Ait-Kadia, D., A stochastic programming approach for designing supply loops. *International Journal of Production Economics*, 113, (2008), 657–677.
- [25] Francas, D., Minner, S., Manufacturing network configuration in supply chains with product recovery. *Omega*, 37, (2009), 757 – 769.
- [26] Fonseca M.C., Sánchez A.G., Mier M.O., Da Gama F.S., A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics, *Business and Economics*, 18(1), (2010), 158-184.
- [27] Pishvae, M.S., Farajani, R.Z., Dullaert, W., A memetic algorithm for biobjective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers & Operations Research*, 37, (2010), 1100-1112.
- [28] Lee, D., Dong, M., Bian, W., The design of sustainable logistics network under uncertainty. *Int. J. Production Economics*, 128, (2010),159–166.
- [29] Kara, S. S., Onut, S., A stochastic optimization approach for paper recycling reverse logistics network design under uncertainty. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 7 (4), (2010), 717-730.
- [30] Gomes, M. I., Povoa, A. P. B., Novais, A. Q., Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal. *Waste Management*, 31, (2011), 1645–1660.
- [31] Ramezani, M., Bashiri, M., Moghaddam, R. T., A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 37, (2013), 328–344.
- [32] Wallace S. W., Ziemba W.T., editors, *World Wide Asset and Liability Management*, Cambridge University Press., (1998), 173-189.
- [33] Bienstock D., Shapiro J., Optimizing resource acquisition decisions by stochastic programming, *Management Science*, 34(2), (1988), 215-229.

- [34] Birge, J.R., Louveaux, F.V., Introduction to stochastic programming, New York: Springer-Verlag,(1997),103-156.
- [35] GHK, A study to examine the benefits of the end of life vehicles directive and the costs and benefits of a revision of the 2015 targets for recycling, reuse and recovery under the ELV directive. Final report to DG Environment, Birmingham, USA., (2006), 3-4.

