

## **KALİTE VE MİKTAR BELİRSİZLİKLERİ ALTINDA GERİ DÖNÜŞÜM AĞ TASARIMI**

**Berk AYVAZ<sup>1</sup>, Bersam BOLAT<sup>2</sup>**

*Geliş: 05.04.2013 Kabul:03.05.2013*

### **ÖZET**

Günümüzde tersine lojistik (TL) önemli bir karlı ve sürdürülebilir iş stratejisi olarak giderek artan bir şekilde önem kazanmaktadır. İşletmeler ise politik, ekonomik ve çevresel baskılardan dolayı TL faaliyetlerini uygulamak zorunda kalmaktadırlar. TL ağlarının en karakteristik özelliği ise ağ tasarımında kullanılan bazı parametre değerlerinin bilinmediği durumlarda ortaya çıkan belirsizliktir. TL ağları geri dönen ürünün zaman, miktar ve kalitesi ile ilgili yüksek oranda belirsizlik içermektedir. Deterministik modeller ise doğasında belirsizlikleri içeren TL ağlarını tasarlamakta yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada belirsizlikler altında çok aşamalı, çok ürünlü, kapasite ve tesis sayısı kısıtlı iki aşamalı stokastik programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelin çözümünde örneklem yakınsama yaklaşımı şeması kullanılmıştır. Çalışmada geliştirilen genel TL ağ tasarım modeli Türkiye’de elektrikli ve elektronik atıkların geri dönüşümü alanında hizmet vermekte olan tersine lojistik firmasının ağ tasarım problemi için uygulanmıştır. Sonuçlar geliştirilen stokastik programlama modelinin ekonomik açıdan etkin olduğunu göstermekte ve belirsizlikleri gidererek yöneticilere stratejik yatırım kararı almada yardımcı olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** *Tersine Lojistik Ağ Tasarımı, Stokastik Programlama, Örneklem Ortalama Yakınsaması*

### **RECYCLING NETWORK DESIGN UNDER QUANTITY AND QUALITY UNCERTAINTIES**

### **ABSTRACT**

In recent years, reverse logistics (RL) has received increasing attentions in supply chain management area due to economic, political, and environmental reasons. In RL, the time, quantity, and quality of returned products have a high degree of uncertainty. Deterministic models for reverse network design lack the ability to incorporate such uncertainties. In this study, we considered reverse logistics network design (RLND) problem under return quantity and quality uncertainties. We presented multi-stage, multi-product and the capacity constrained two stage stochastic programming model to take into consideration uncertainties in RLND as a real world case study of waste of electric and the waste of electrical and electronic equipment recycling firm in Turkey to minimize total cost. Sample average approximation schema was developed in solution process. The results show that the developed two stage stochastic programming model provides acceptable solutions to make efficient decisions under quantity and quality uncertainties.

**KeyWords:** *Reverse Logistics Network Design, Stochastic Programming, Sample Average Approximation*

---

<sup>1</sup> *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Küçükalyalı, 34840 İSTANBUL, bayvaz@ticaret.edu.tr*

<sup>2</sup> *İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Maçka, 34367 İSTANBUL, bolat@itu.edu.tr*

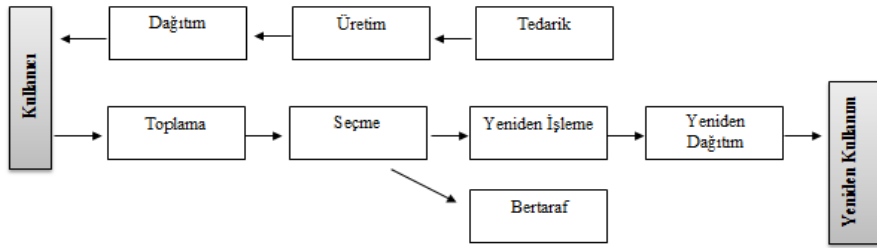
## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda yaşanan hızlı nüfus artışı, iklimsel değişimler, doğal kaynakların tükenmesi ve artan çevre bilinci ile birlikte sınırlı olan kaynakların ve üretilen ürünlerin daha etkin kullanımı ile bu ürün ve kaynakların yeniden kullanımına yönelik çalışmalara olan ilgi hızla artmaktadır. Artan tüketici bilinçliliği, hükümetler tarafından uygulanan yeşil kanunların ürünlerin geri getirilmesini zorlamaları, üreticilerin daha düşük işletme sermayesi ile maliyeti azaltmayı istemeleri, yeniden kullanılabilir konteynerlerin kullanımının artması, hizmet talebinin artması, kalite yükseltme, yeniden üretme, tamir etme vb. işlemlerden dolayı Tersine Lojistik (TL) işletmeler için ilgi çekici hale gelmiştir (Şengül, 2009).

Lojistik Yönetim Konseyi (The Council of Logistics Management), tersine lojistikle ilgili bilinen ilk tanımını 1990'lı yıllarda yapmıştır. TL kavramı; “ Hammaddelerin, halen süreçte bulunan envanterlerin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasından üretim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet etkin akışını planlama, yürütme ve kontrol etme sürecidir (Yongsheng ve Shouyang, 2008).

Tersine lojistik ağları genel olarak aşağıdaki adımları içermektedir (Fleischmann ve diğ., 2000):

- Toplama
- Muayene/Ayırma
- Yeniden işleme
- Elden çıkarma
- Yeniden dağıtım

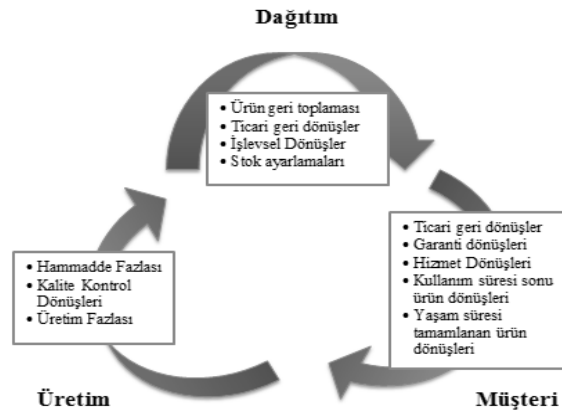


Şekil 1. Geri Kazanım Zinciri.

Ürün geri dönüşlerinin en tipik sebeplerini, hatalar, taşıma sırasındaki oluşan hasarlar, yeni model ürünlerin piyasaya sürülmesi, ürünü başka bir ürünle değiştirme, geri iade, tamir, geri çağırımlar ve hatalı teslimat şeklinde sıralamak mümkündür (Min ve diğ., 2006). Bununla birlikte, ürünlerin üretim aşamasında başlayarak müşterilere ulaştırılmaya kadar geçen tedarik zinciri hiyerarşisindeki çeşitli geri dönüş nedenleri aşağıdaki gibi üç ana grupta toplanabilir (Dekker ve diğ., 2004):

- Üretim geri dönüşleri
- Dağıtım geri dönüşleri
- Müşteri geri dönüşleri

Şekil 2 'de tedarik zincirinin üç katmanındaki (üretim, dağıtım ve müşteri) geri dönüş nedenleri görülmektedir (Dekker ve diğ., 2004).



**Şekil 2. Tersine lojistikte geri dönüş nedenleri.**

İleriye yönelik lojistik ağlarından farklı olarak, belirsizlik ürün TL ağlarının karakteristik bir özelliğidir (Fleischmann ve diğ., 2000). Belirsizlik kavramı parametrelerin kesin olarak belirlenmesinin zor olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır (Taha, 2003). Geleneksel deterministik modellerin ağ yapısındaki belirsizlikleri göz önüne almamasından dolayı dinamik gerçek hayat uygulamalarını doğru bir şekilde yansıtamadığı uzun zamanlardan beri bilinmekte olan bir olgudur (Dantzig ve Infanger, 2011). TL ağları ve kapalı tedarik zinciri ağları geri dönen ürünün zaman, miktar ve kalitesi ile ilgili yüksek oranda belirsizlik içermektedir (Chouinard ve diğ., 2008; Ilgin ve Gupta, 2010; Pishvae ve diğ., 2011). Özellikle geri dönen ürünün miktar ve kalitesinin hesaplanması ve kontrolü çok zordur (Qin ve Ji, 2010). Deterministik modeller ise TL ağlarının doğasında bulunan miktar, kalite, zaman, ürün yerine getirme süresi vb. belirsizlikleri içeren TL ağlarını tasarlamakta eksik kalmaktadır (Lee, 2009). Modeldeki bazı veya tüm parametreler belirsiz olduğu problemlere stokastik programlama problemleri adı verilir ( Hillier ve Lieberman 2001). Kall ve Wallace (1994) çalışmalarında ağ tasarımındaki belirsizlikle başa çıkmak için stokastik programların daha esnek ve etkin olduğunu belirtmektedir. Bunun için araştırmacılar belirsizlikleri gidermek için bazı stokastik model teknikleri geliştirmişlerdir (Ilgin ve Gupta, 2010).

Yapısında belirsizlik olan TL ve kapalı döngü ağ tasarım problemleri için kullanılan modelleme yaklaşımları şunlardır: Stokastik optimizasyon (Listes, 2002; Listes ve Dekker, 2005; Qiushuang ve Qiaolun, 2007; Salema ve diğ., 2007; Listes, 2007;

Chouinard ve diğ., 2008; Lee ve Dong, 2009; Pishvae ve diğ., 2009; Francas ve Minner, 2009; Mier ve diğ., 2009; Wang ve Zhao, 2009; Wei-min ve Mei-jie, 2009; Fonseca ve diğ., 2010; Kara ve Önüt, 2010a; Kara ve Önüt, 2010b; El-Sayed ve diğ., 2010; Denizel ve diğ., 2010; Gomes ve diğ., 2011; Ramezani ve diğ., 2013), Robust optimizasyon (Realff ve diğ., 2000; Hong ve diğ., 2006; Realff ve diğ., 2004; Pishvae ve diğ., 2011), KTDP modeli ile kuyruk modelinin birleşimi (Lieckens ve Vandaele, 2007), Simülasyon modelleri (Kara ve diğ., 2007). Bu çalışmada belirsizlikler altında tersine lojistik ağ tasarımı için stokastik bir model önerileceği için literatür taramasında bu yöndeki çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Bu çalışmada belirsizlikler altında TL ağ tasarımı problemi ele alınmış ve senaryo tabanlı iki aşamalı stokastik programlama modeli önerisinde bulunulmuştur. Önerilen model geri dönen ürün miktarı ve kalitesi belirsizlikleri altında, çok ürünlü, çok aşamalı senaryo tabanlı iki aşamalı stokastik programlama modelidir. Modelin çözümünde Örneklem Yakınsama Yaklaşımı (SAA) metodu kullanılmıştır. Çalışmanın amacı TL ağ tasarımı ile ilgili literatürün irdelenip açıkların tespit edilmesi ve özellikle problemin tabiatında bulunan belirsizliklerin dikkate alınarak bu yönde karar vericilere karar verme sürecini kolaylaştıran bir model önerilmesidir. Geliştirilen genel Geri Dönüşüm Ağ Tasarımı (GDAT) modelinin Türkiye’de Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (EEE) geri dönüşüm sektöründe faaliyet göstermekte olan bir TL firmasının verileri kullanılarak uygulaması yapılmıştır. Bildiğimiz kadarı ile bu çalışmada önerilen model kalite ve miktar belirsizliklerini çok ürünlü bir geri dönüşüm ağında ele alan ilk çalışmadır. Ülkemiz açısından bakıldığında tersine lojistik ağ tasarım literatürünün gelişmesinde büyük katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında, ikinci bölümde TL ağ tasarım literatürü hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın metodolojisinden bahsedilerek geliştirilen model ile birlikte çözüm aşamasında kullanılan örneklem yakınsama yaklaşımı hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde önerilen modelin uygulaması yapılarak modelin çözüm sonuçları aktarılmış ve duyarlılık analizlerine yer verilmiştir. Son kısımda ise çalışmanın sonuçları tartışılarak, gelecek çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

TL ağ tasarımında kullanılan deterministik model olarak en çok tercih edilen teknik karışık tamsayı doğrusal programlamadır (Ilgin ve Gupta, 2010). Aşağıda TL ağ tasarım literatürü ile ilgili örnek çalışmalar aktarılmaktadır.

Barros ve diğ. (1998) Hollanda’da kum geri dönüşümü için çok aşamalı, kapasite kısıtlı tesis yerleşim problemini ele almışlardır. Çalışmada talep belirsizliği altında Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama (KTDP) modeli geliştirilmiştir. Shih (2001) çalışmasında TL ağ akışı optimizasyonu için geri dönüş oranı ve operasyonel maliyetler belirsizlikleri altında kapasite kısıtlı Karışık Tamsayı Programlama (KTP) modeli önermiştir. Çalışma kapsamında belirsizlikler senaryolarla ifade edilmiştir. Min ve diğ. (2006) ürün geri dönüşleri için iki aşamalı, kapasite kısıtlı

TL ağ tasarımı problemini ele almışlardır. Çalışmada toplama noktalarının yer ve sayılarını tespit eden doğrusal olmayan KTDP modeli geliştirilmiştir. Modelin çözümü için genetik algoritma sezgiseli geliştirilmiştir. Demirel ve Gökçen (2008) ileri ve geri akışı içeren yeniden imalat sistemi için çok ürün, çok aşamalı yeni bir KTDP modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model üretim, yeniden üretim ve tesisler arası ürün taşıma miktarı ile beraber ayırıştırma, toplama ve dağıtım tesislerinin optimal yerlerini belirlemektedir. Çalışmada ayrıca farklı geri dönüş senaryoları üretilerek her bir senaryonun performanslarının karşılaştırılması yapılmış ve böylece planlamacılara daha iyi karar almalarında yardımcı olmak hedeflenmiştir. Pishvae ve diğ. (2010a) çalışmalarında ileri lojistik ve TL ağlarını içeren bütünleşik bir ağ tasarımı üzerinde durmuşlardır. Toplam maliyet minimize etmek ve lojistik ağın cevap verme yeteneğini maksimize etmek amaçlarını içeren iki amaçlı, tek ürünlü, çok aşamalı, tek periyot için, kapasite kısıtlı (tesisler için), deterministik talep yapısına sahip bir karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemin çözümünde genetik algoritma sezgiseli kullanılmıştır. Önerilen modeli çözmek için dinamik yerel arama mekanizmalı çok amaçlı memetik algoritması geliştirilmiştir. Memetik algoritmanın performansı çok amaçlı genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır. Li ve Tee (2012) çalışmalarında elektronik atıkların geri kazanımı için çok ürünlü, KTDP modeli önermişlerdir. Modelin amacı üretim maliyeti minimizasyonu ve TL kısmı için kar maksimizasyonudur. Çalışmada gerçek hayat koşullarındaki belirsizlikler dikkate alınarak belirsiz parametre için senaryo değeri ve buna karşılık gelen olasılık değerinin çarpımlarının kümülatif toplamı ile ifade edilen beklenen değer kısıtları modele eklenmiştir. Assavapokee ve Wongthatsanekorn (2012) geri kazanım aktivitelerinin gerçekleştirildiği TL ağı için KTDP modeli tasarlamışlardır. Önerilen model elektronik ürünlerin geri kazanımını yapan bir firmaya uygulanarak vaka çalışmasına adapte edilmiştir.

Çalışmanın buraya kadar olan kısmında tersine lojistik ağ tasarımında tüm parametrelerinin bilindiği varsayılan deterministik modellenmiş çalışmaları aktarıldı. Halbuki belirsizlik ürün geri kazanım ağlarının karakteristik bir özelliğidir (Fleischmann ve diğ., 2000). TL ağları ve kapalı tedarik zinciri ağları geri dönen ürünün zaman, miktar ve kalitesi ile ilgili yüksek oranda belirsizlik içermektedir (Chouinard ve diğ., 2008; Ilgin ve Gupta, 2010; Pishvae ve diğ., 2011). Kall ve Wallace (1994) çalışmalarında ağ tasarımındaki belirsizlikle başa çıkmak için stokastik programların daha esnek ve etkin olduğunu belirtmektedir. Bunun için araştırmacılar belirsizlikleri gidermek için bazı stokastik model teknikleri geliştirmişlerdir (Ilgin ve Gupta, 2010).

Listeş (2002) kapalı döngü TL ağ tasarımı için genel bir stokastik programlama modeli önermiştir. Modelde tek aşamalı ileri akış sisteminin iki aşamalı TL ağı ile birleştirilmesi düşünülmüştür. Model TL türlerinden yeniden imalat seçeneğini ele almaktadır. Problemin talep ve geri dönen ürün miktarı gibi tasarım parametrelerindeki belirsizlik belirli sayıda senaryolarla ifade edilmiştir. Önerilen modelin çözümü için kısımlara ayırma tekniği kullanılmıştır. Listeş ve Dekker (2005) kum geri dönüşüm ağ tasarımı için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında iki stokastik programlama modeli önermektedir. İlk formülasyon talep belirsizliği altında iki aşamalı stokastik optimizasyon modelidir.

Bu modelin ilk aşamasında tesis açılma kararları, ikinci aşamada ise talep belirlendikten sonra ilk aşamada açılması belirlenen tesislere olan atamalara karar verilmektedir. İkinci formülasyon ise talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında üç aşamalı stokastik optimizasyon modelidir. Geliştirilen her iki model de kâr maksimizasyonu amaçlı, iki aşamalı, tek ürünlü, açık döngü ve kapasite kısıtlı stokastik programlama modelleridir. Önerilen modelin Hollanda'da yıkım atıklarından kumun geri dönüştürüldüğü bir gerçek vaka için uygulaması yapılmıştır.

Listeş (2007), çalışmasında talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında kapalı döngü olarak adlandırılan tersine lojistik sistemlerinde imalat ve yeniden imalat konularını birlikte içeren ağı tasarımı için stokastik bir model önermiştir. Önerilen model iki aşamalı, tek ürünlü ve kapasite kısıtlı bir ağ için tasarlanmıştır. Çalışmada talep ve geri dönüşler gibi belirsiz olan önemli tasarım parametrelerinin kritik miktarlarını belirlemek için farklı senaryolar üretilmiştir. Ayrıca problemi etkin bir şekilde çözebilmek için kısımlara ayırma tekniği kullanılmıştır.

Chouinard ve diğ. (2008) geri kazanma, yeniden işleme ve talep hacimleri belirsizlikleri altında iki aşamalı, çok ürünlü, kapasite kısıtlı, kapalı döngü TL ağ tasarımı için stokastik programlama modeli önerisinde bulunmuştur. Yazarlar önerilen modelin çözümü için Monte Carlo yaklaşımı olarak da bilinen SAA tabanlı bir sezgisel kullanmışlardır. Pishvae ve diğ. (2009) değişken maliyetler, talep miktarı, geri dönen ürün miktar ve kalitesi belirsizlikleri altında tek periyot, tek ürün, çok aşamalı bütünleşik ileri ve ters lojistik ağ tasarımı için iki aşamalı stokastik programlama modeli önermiştir. Çalışmada ilk olarak deterministik bir model geliştirilmiş daha sonra bu model belirsizlikleri içerecek şekilde genişletilerek senaryo tabanlı stokastik programlama modeli elde edilmiştir. Francas ve Minner (2009) üretim ve yeniden üretim işlemlerinin gerçekleştirildiği kapalı döngü bir tedarik zincirinin ağ tasarım problemini ele almışlardır. Bu problem için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında çok ürünlü iki aşamalı stokastik programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada iki farklı genel ağ modeli ve iki farklı pazar yapısı olduğu düşünülmüştür. Birincisinde üretim ve yeniden üretim aynı tesiste, diğer modelde ise farklı tesislerde yapılmaktadır.

El-Sayed ve diğ. (2010), çok periyotlu, çok kademeli, tek ürün ve tek amaç için ileri ve TL ağ tasarımını aynı anda dikkate alan, talep ve geri dönüş oranları belirsizliği altında stokastik karışık tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Modelde toplam beklenen karın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Kara ve Önüt (2010a) talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizliklerini içeren ters lojistiği de bünyesinde bulunduran kapalı tedarik zinciri ağ tasarım problemini ele almıştır. Çalışmada ele alınan problem için iki aşamalı, tek ürünlü, kapasite ve tesis sayısı kısıtlı, iki aşamalı stokastik programlama modeli önerilmiştir. İlk aşama değişkenleri tesis açılıp kapanma kararları ikinci aşama değişkenleri ise tesisler arası ürün akış miktarlarını temsil etmektedir.

**Tablo 1. Tersine Lojistik Literatür İncelemesi**

Kaynak	Ağ Şekli		Model	Amaçlar	Ürün Adedi	Belirsizlik Türü
Barros vd. (1998)	Açık döngü	Deterministik	KTDP	Maliyet Min.	Çok	-
Shih (2001)	Açık döngü		KTP	Kar Mak.	Çok	Geri Dönüş Oranı
Min vd. (2006)	Açık döngü		KTROP	Maliyet Min.	Tek	-
Demirel ve Gökçen (2008)	Kapalı döngü		KTP	Maliyet Min.	Çok	Geri Dönüş Oranı
Pishvae vd. (2010)	Kapalı döngü		KTROP	Maliyet Min. ve Cevap Verme Yeteneğini Maks.	Tek	-
Lee ve Lee (2012)	Kapalı döngü		KTDP	Maliyet Min.	Tek	-
Assavapokee ve Wongthatsaneorn (2012)	Kapalı döngü		KTDP	Kar Mak.	Çok	-
Listeş (2002)	Kapalı döngü	Stokastik	SP	Maliyet Min.	Tek	Talep, Miktar
Listeş ve Dekker (2005)	Açık döngü		SP	Kar Mak.	Tek	Talep, Miktar
Listeş (2007)	Kapalı döngü		SP	Kar Mak.	Tek	Talep, Miktar
Chouinard vd. (2008)	Kapalı döngü		SP	Maliyet Min.	Çok	Talep, Geri kazanım Hacmi, İşleme Hacmi
Denizel vd. (2010)	Açık döngü		SP	Kar Mak.	Tek	Kalite
Pishvae vd. (2009)	Kapalı döngü		SP	Maliyet Min.	Tek	Miktar, Kalite, Değişken Maliyet
El Sayed vd. (2010)	Kapalı döngü		SP	Kar Mak.	Tek	Talep, Miktar
Kara ve Onut (2010)	Açık döngü		SP	Kar Mak.	Tek	Talep, Miktar
Lee vd. (2010)	Kapalı döngü		SP	Maliyet Min.	Çok	Talep, Miktar
Gomes vd. (2011)	Açık döngü		SP	Maliyet Min.	Çok	Kalite
Amin vd. (2012)	Kapalı döngü		SP	Maliyet Min.	Çok	Talep, Miktar
<b>Ayvaz ve Bolat (2013)</b>	<b>Açık döngü</b>		<b>SP</b>	<b>Maliyet Min.</b>	<b>Çok</b>	<b>Miktar, Kalite</b>

Lee ve diğ. (2010) sürdürülebilir lojistik ağının tasarımı için ilk olarak deterministik bir model geliştirilmiş. Çalışmada, önerilen deterministik modele talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri eklenerek iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada talep ve geri dönen ürün miktarları belirsiz parametrelerdir. Çözüm yaklaşımı olarak yüksek sayıdaki senaryolar için SAA metodu geliştirilmiştir.

Denizel ve diğ. (2010) çalışmalarında kalite belirsizliği altında kapasite kısıtlı, çok periyotlu yeniden üretim operasyonları için ürün planlama problemini ele almışlardır. Ele alınan problem için kar maksimizasyonu amaçlı stokastik programlama modeli önerilmiştir. Gomes ve diğ. (2011) çalışmalarında Salema ve diğ. (2010) tarafından önerilen çok ürünlü, çok periyotlu model geri dönen ürün kalitesi belirsizliği ilavesi ile genişletilerek, bu problem için iki aşamalı senaryo tabanlı bir stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Çalışmada müşterilerden gelen ürünün durumunda göre kalite için subjektif bir şekilde düşük, orta ve yüksek şekilde alternatif senaryolar üretilmiştir. Ürünün kalite durumu geri kazanım oranı ile ilişkilendirilerek herbir kalite senaryosu için farklı bir geri kazanım oranı varsayılmıştır. Amin ve diğ. (2012) kapalı döngü çok aşamalı tedarik zinciri ağı için ilk aşamada KTP modeli geliştirmişlerdir. İkinci aşamada ise bu modele talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizliklerinin eklenmesi ile model stokastik programlama modeli olacak şekilde genişletilmiştir.

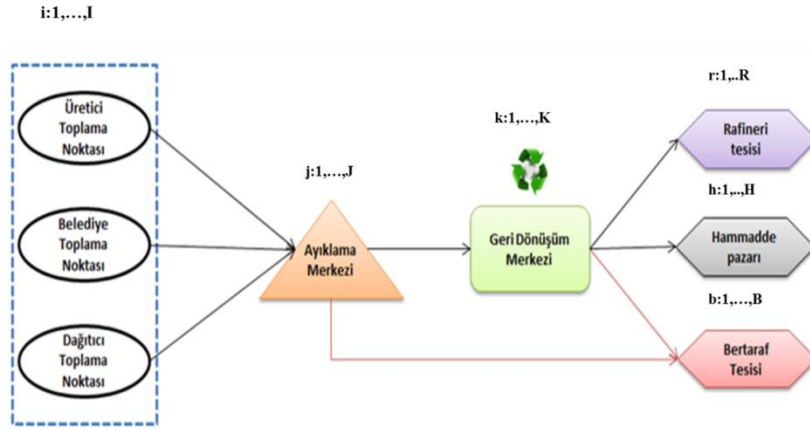
Bu sonuçlardan yola çıkarak, detaylı yazın taraması neticesinde çalışmalardaki eksik noktalar ve gelecek çalışmalar için yapılan önerilerden hareket ederek bu çalışmada, gerçek hayat koşullarına uygun olacak şekilde geri dönen ürün miktarı ve kalite belirsizlikleri altında çok aşamalı çok ürünlü TL ağ tasarımı problemi ele alınmıştır.

### **3. ÖNERİLEN TLAT MODELİNİN YAPISI**

Bu çalışmada ele alınan problem geri dönen ürün miktarı ve kalitesi belirsizlikleri altında, açık döngü, çok aşamalı, çok ürünlü, kapasite kısıtlı GDAT problemidir. Bu problem için ilk olarak ağıdaki tüm parametrelerin belirli olduğu varsayımı ile deterministik bir KTDP modeli önerilmiştir. İkinci aşamada ise geri dönen ürün miktar ve kalitesi parametreleri gerçek hayat koşullarına uygun olarak belirsiz olarak alınıp önerilen deterministik model genişletilmek suretiyle GDAT problemi için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir.

Önerilen model dağıtıcılar, belediyeler, üreticiler ve son kullanıcılardan oluşan müşteriler, toplama noktaları (TM), ayıklama tesisleri (AT), geri dönüşüm merkezleri (GDM), bertaraf merkezleri (BM), rafineri tesisi (RT) ve hammadde pazarlarından (HP) oluşmaktadır.





**Şekil 3. Atık Elektrikli-Elektronik Ürünler İçin Önerilen Geri Dönüşüm Tersine Lojistik Ağ Yapısı.**

Müşterilerden garanti dönüşü, son kullanma süresi, geri iade vs. sebeplerle geri dönen ürünler belediye, üretici ve dağıtıcıların belirledikleri yerlerde konuşlandırılan ve toplama noktası adı verilen konteynerlerde toplanmaktadır. TM'lerde ürüne dair herhangi bir işleme yapılmayan ve sadece toplama amaçlı noktalarlardır. TM'lerin konuşlandırıldıkları yerler için herhangi bir ücret ödenmemektedir. TM'lerde toplanan ürünler belli periyotlarla geri dönüşüm firmasına ait özel lisanslı atık taşıma araçları ile alınmakta ve bu atıklar AT'lere gelmektedir. Ayıklama tesisleri hem merkezi toplama noktası olarak hem de geri dönüşüm işlemi öncesinde atıkların kalitesine göre bir ayıklamasının yapıldığı tesisler olarak kullanılmaktadır. Ürünlerin ayıklaması belirli bir maliyet ve zaman gerektirmektedir. Burada ürünler ayıklama işlemine tabi tutulmakta ve bir kısım ürün bertaraf merkezlerine gönderilerek kontrollü olarak imha edilmekte, bir kısım ürün ise geri dönüşüm tesislerinde geri dönüşüm işlemine tabi tutulmaktadır. Geri dönüşüm işleminde atık ürünlerden çıkan tehlikeli atık, işleme lisansı olmayan ürünler, işletme için getirisi olmayan ürünler dışında kalan ürünlerden geri dönüşüm işlemine tabi tutularak şekilde gösterilen malzemeler elde edilmekte ve bunlar satılmak üzere hammadde pazarlarına gönderilmektedir. Yine geri dönüşüm tesislerinde dönüştürülemeyen atıklar için iki alternatif bulunmaktadır. Bunlardan birincisi bu atıkların bertaraf tesislerine gönderilmesi, ikincisi ise değerli atık olup da (altın gibi) işleme lisansı olmayan ürünlerin lisanslı rafine tesislerine satılmasıdır. Hem AT'lerden hem de GDM'lerden bertarafa gönderilen ürünler için belirli bir imha maliyeti söz konusudur. Hammadde pazarına satılan ürünlerden ise bir gelir elde edilmektedir. Şekil 3, geri dönüşüm sürecini ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Önerilen modelde aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir:

- Müşterilerden toplama merkezlerine gelen tüm e-atıklar geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir.
- Envanter bağlı maliyetler ihmal edilmiştir.
- Ele alınan model tek periyotludur.
- Toplama, ayıklama ve geri dönüşüm tesislerinde stok bulunmamaktadır.
- Ağdaki tüm maliyetler ve ürün işleme- bertaraf oranları bilinmektedir.
- Toplama konteynerlerinin yer ve kapasiteleri bilinmektedir.
- Toplama, ayıklama ve geri dönüşüm tesislerinin yer, kapasite ve sayıları bilinmektedir.

### 3.1 Önerilen İki Aşamalı Stokastik GDAT Modelinin Formülasyonu

Bir çalışmada GDAT problemi için önerilen iki aşamalı stokastik programlama modeli aşağıdaki gibidir.

#### İndeksler

i: Potansiyel Toplama Merkezi (TM) İndeksi	$i \in I = \{1, \dots, N_i\}$
j: Potansiyel Ayıklama Tesisi (AT) İndeksi	$j \in J = \{1, \dots, N_j\}$
k: Potansiyel Geri Dönüşüm Merkezi (GDM) İndeksi	$k \in K = \{1, \dots, N_k\}$
b: Potansiyel Bertaraf Merkezi (BM) İndeksi	$b \in B = \{1, \dots, N_b\}$
r: Potansiyel Rafine Merkezi (RM) İndeksi	$r \in R = \{1, \dots, N_r\}$
h: Potansiyel 2. El Hammadde (HM) Pazarı İndeksi	$h \in H = \{1, \dots, N_h\}$
p: Ürün İndeksi	$p \in P = \{1, \dots, N_p\}$
m: Parça İndeksi	$m \in M = \{1, \dots, N_m\}$
s: Senaryo	

#### Parametreler

##### Tesis açılış maliyetleri

- $e_i$ : i. TM'nin sabit kurulum maliyeti  
 $f_j$ : j. AT'nin sabit kurulum maliyeti  
 $g_k$ : k. GDM'nin sabit kurulum maliyeti

##### Taşıma maliyetleri

- $tc_{ipj}$ : p. ürünün i. TM'den j. AT'ye taşıma maliyeti  
 $tr_{pjk}$ : p. ürünün j. AT'den k. GDM'ye taşıma maliyeti  
 $td_{pjb}$ : p. ürünün j. AT'den b. BM' ye taşıma maliyeti  
 $tr_{pkr}$ : p. ürünün k. GDM'den r. RM' ne taşıma maliyeti  
 $trm_{mkh}$ : m. malzemenin k. GDM'den h. HM pazarına taşıma maliyeti  
 $trd_{pkb}$ : p. ürünün k. GDM'den b. BM' ye taşıma maliyeti

##### Yeniden İşleme ve Toplama Maliyetleri

- $cc_{pi}$ : Ürün p'nin i. TM'de birim toplama maliyeti  
 $ic_{pk}$ : Ürün p'nin j. AT'de birim ön işleme maliyeti

$rc_{pk}$ : Ürün p'nin k. GDM'de birim geri dönüşüm maliyeti

$dc_{pb}$ : Ürün p'nin b. BM' de birim bertaraf maliyeti

AC: Bilinçlendirme ve tanıtım maliyeti

#### Kapasite Parametreleri

$KAT_{min_{jp}}$  : j. AT'nin maksimum kapasitesi (ton)

$KAT_{min_{jp}}$  : j. AT'nin minimum kapasitesi (ton)

$KGDM_{max_{kp}}$  : k. GDM'nin maksimum kapasitesi k (ton)

$KGDM_{min_{kp}}$  : k. GDM'nin minimum kapasitesi k (ton)

#### Tesisler Arası Mesafeler

$dci_{ij}$ : i. TM ile j. AT arası mesafe (km)

$dir_{jk}$ : j. AT ile k. GDM arası mesafe (km)

$did_{jb}$ : j. AT ile b. BM arası mesafe (km)

$drd_{kb}$ : k. GDM ile b. BM arası mesafe (km)

$drm_{kh}$ : k. GDM ile h. HM pazarı arası mesafe (km)

$drr_{kr}$ : k. GDM ile r. RM arası mesafe (km)

#### Tesis Sayıları

$N_j$ : Minimum AT sayısı

$N_k$ : Minimum GDM sayısı

#### Diğer Parametreler

$\beta_m$ : p. ürünün GDM'de geri dönüşüm oranı

$\gamma_p$ : GDM 'den bertaraf merkezine gönderilen malzeme oranı

$\delta_p$ : GDM 'den rafine merkezine gönderilen malzeme oranı

$r_{ips}$ : i. toplama merkezine gelen yıllık (ya da aylık) atık ürün p miktarı (Belirsiz)

$a_1$ : AT'de ürün p için GDM'ye gönderilmeye değer ürün oranı

$a_2$ : AT'de ürün p için BM'ye gönderilen ürün oranı

B: Yatırımlar için ayrılan bütçe

$R_{pm}$ : Herbir ürün gurubunda bulunan malzeme oranları

$\pi_s$ : Senaryo s'nin gerçekleşme olasılığı

#### Karar Değişkenleri

$X_{pijs}^{ci}$ : Senaryo s'de i. TM'den j. AT'e taşınan ürün p miktarı

$X_{pjks}^{ir}$ : Senaryo s'de j. AT'den k. GDM'ye taşınan ürün p miktarı

$X_{pjbs}^{id}$ : Senaryo s'de j. AT'den b. BM'ne taşınan malzeme m miktarı

$X_{pkrs}^{rr}$ : Senaryo s'de k. GDM'den r. RM'e taşınan malzeme m miktarı

$X_{mkhs}^{rm}$ : Senaryo s'de k. GDM'den h. HM pazarına taşınan malzeme m miktarı

$X_{pkbs}^{rd}$ : Senaryo s'de k. GDM'den b. BM'ne taşınan malzeme m miktarı

$W_i$ : i. TM'nin açılıp açılmaması (0,1)

$Y_j$ : j. AT'nin açılıp açılmaması (0,1)

$Z_k$ : k. GDM'nin açılıp açılmaması (0,1)

$V_{ij}$ : i. TM'nin j. AT'ye atanıp atanmaması (0,1)

Amaç Fonksiyonu: Maliyet Minimizasyonu

$$\begin{aligned}
 & \sum_i W_i \cdot e_i + \sum_j Y_j \cdot f_j + \sum_k Z_k \cdot g_k \quad (\text{Tesis Sabit Kurulum Maliyetleri}) + \\
 & \pi_s \cdot (\sum_p \sum_i \sum_j \sum_s X_{pijs}^{ci} \cdot tci_{pij} \cdot dci_{ij} + \sum_p \sum_j \sum_k \sum_s X_{pjks}^{ir} \cdot tir_{pjks} \cdot dir_{jk} + \\
 & \sum_p \sum_j \sum_b \sum_s X_{pjbs}^{id} \cdot tid_{pjbs} \cdot did_{jbs} + \sum_p \sum_k \sum_r \sum_s X_{pkrs}^{rr} \cdot trr_{pkrs} \cdot drr_{kr} + \\
 & \sum_m \sum_k \sum_h \sum_s X_{mkhs}^{rm} \cdot trm_{mkhs} \cdot drm_{kh} + \sum_p \sum_k \sum_b \sum_s X_{pkbs}^{rd} \cdot trd_{pkbs} \cdot drd_{kb} \\
 & (\text{Taşıma Maliyetleri}) + \\
 & \sum_p \sum_i \sum_j \sum_s X_{pijs}^{ci} \cdot cc_{pi} \quad (\text{Toplama Maliyeti}) + \\
 & \sum_p \sum_i \sum_j \sum_s X_{pijs}^{ci} \cdot ic_{pi} \quad (\text{Ayıklama Maliyeti}) + \\
 & \sum_p \sum_j \sum_k \sum_s X_{pjks}^{ir} \cdot rc_{pk} \quad (\text{Geridönüşüm maliyeti}) + \\
 & \sum_p \sum_j \sum_b \sum_s X_{pjbs}^{id} \cdot dc_{pb} + \sum_p \sum_k \sum_b \sum_s X_{pkbs}^{rd} \cdot dc_{pb} \quad (\text{Bertaraf maliyeti}) + AC \quad (1)
 \end{aligned}$$

Kısıtlar

Denge kısıtları

$$X_{pijs}^{ci} = r_{psi} \cdot V_{ij} \quad (\forall p \in P, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall s \in S) \quad (2)$$

$$\sum_k X_{pjks}^{ir} = \sum_i X_{pijs}^{ci} \cdot a1_p \quad (\forall p \in P, \forall k \in K, \forall s \in S) \quad (3)$$

$$\sum_b X_{pjbs}^{id} = \sum_i X_{pijs}^{ci} \cdot a2_p \quad (\forall p \in P, \forall j \in J, \forall s \in S) \quad (4)$$

$$\sum_h X_{mkhs}^{rm} = \sum_j \sum_p X_{pjks}^{ir} \cdot R_{pm} \cdot \beta_m \quad (\forall m \in M, \forall k \in K, \forall s \in S) \quad (5)$$

$$\sum_b X_{pkbs}^{rd} = \sum_j X_{pjks}^{ir} \cdot \gamma_p \quad (\forall p \in P, \forall k \in K, \forall s \in S) \quad (6)$$

$$\sum_r X_{pkrs}^{rr} = \sum_j X_{pjks}^{ir} \cdot \delta_p \quad (\forall p \in P, \forall k \in K, \forall s \in S) \quad (7)$$

Kapasite kısıtları

$$\sum_i X_{pijs}^{ci} \leq KATmax_{jp} \cdot Y_j \quad (\forall p \in P, \forall j \in J, \forall s \in S) \quad (8)$$

$$\sum_i X_{pijs}^{ci} \leq KATmin_{jp} \cdot Y_j \quad (\forall p \in P, \forall j \in J, \forall s \in S) \quad (9)$$

$$\sum_j X_{pjks}^{ir} \leq KGDMmax_{kp} \cdot Z_k \quad (\forall p \in P, \forall k \in K, \forall s \in S) \quad (10)$$

$$\sum_j X_{pjks}^{ir} \leq KGDMmin_{kp} \cdot Z_k \quad (\forall p \in P, \forall k \in K, \forall s \in S) \quad (11)$$

Mantık Kısıtları

$$\sum_j V_{ij} = 1 \quad (\forall i \in I) \quad (12)$$

$$\sum_p \sum_i X_{pijs}^{ci} \geq M \cdot Y_j \quad (\forall j \in J, \forall s \in S) \quad (13)$$

$$\sum_p \sum_j X_{pjks}^{ir} \geq M \cdot Y_k \quad (\forall k \in K, \forall s \in S) \quad (14)$$

Tesis sayısı kısıtları

$$\sum_j Y_j \leq SAT_j^{\max} \quad (15)$$

$$\sum_j Y_j \geq SAT_j^{\min} \quad (16)$$

$$\sum_k Z_k \leq SGDM_k^{\max} \quad (17)$$

$$\sum_k Z_k \geq SGDM_k^{\min} \quad (18)$$

Negatif olmama ve tamsayı kısıtları

$$X_{pijs}^{ci}, X_{pjks}^{ir}, X_{pjbs}^{id}, X_{mkhs}^{rm}, X_{pkbs}^{rd}, X_{pkrs}^{rr} \geq 0 \text{ ve } W_i, Y_j, Z_k, V_{ij} \in (0,1) \quad (19)$$

#### 4. ÇÖZÜM METODOLOJİSİ: ORTALAMA ÖRNEKLEM YAKINSAMASI (SAA)

Stokastik programların çözümündeki temel güçlük amaç fonksiyonu beklenen değeri hesaplamaktır (Santoso ve diğ., 2005). Bu problemle ilgili güçlüğü aşmak için kullanılan yöntemlerden birisi de SAA şemasıdır. Son zamanlarda özellikle büyük ölçekli stokastik programlama problemlerinin etkin çözümü için SAA'nın hem teorik hem de sayısal uygulamalarına rastlamak mümkündür (Mak ve diğ., 1999; Santoso ve diğ., 2005; Verweij ve diğ., 2002; Schütz ve diğ., 2009; Patil ve Ukkusuri, 2011). SAA senaryo sayısı yüksek olan büyük ölçekli stokastik programlama modellerini çözmekte tercih edilen bir metottur (Shapiro ve De Mello, 1998; Mak ve diğ., 1999; Kleywegt ve diğ., 2001).

SAA, stokastik programlamada amaç fonksiyonu beklenen değerinin, bir senaryo örnekleme için problemin çözülmesi yoluyla yaklaşık olarak hesaplandığı Monte Carlo simülasyonu tabanlı bir örneklem metodudur (Patil ve Ukkusuri, 2011). Bir örneklem için çözüm süreci çok defa tekrarlanmaktadır ve en iyi çözüm seçilir. SAA örneklem sayısının artışı ile beraber gerçek probleme üssel bir hızla yakınsar (Kleywegt ve diğ., 2001; Shapiro ve De Mello, 2001).

SAA'da, rastgele vektör  $\zeta$ 'nin N defa gerçekleşen bir rassal örnekleme olan  $\zeta^1, \dots, \zeta^N$  üretilir ve beklenen  $E[Q(Y, \zeta)]$  değeri örneklem ortalama hesaplayıcısı  $N^{-1} \sum_{n=1}^N Q(y, \xi^n)$  yoluyla hesaplanır. Senaryolar optimizasyon süreci dışında Monte Carlo örneklem metodu ile üretilmektedir. Farklı ağ yapıları için rassal faktörleri tanımlayan dağılım fonksiyonları tanımlanır (Chouinard ve diğ., 2008). Netice olarak gerçek problem aşağıdaki modelle hesaplanabilir:

$$\min \left\{ \hat{f}_N(y) := c^T y + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Q(y, \xi^n) \right\} \quad (20)$$

Problem (20) için  $v_N$  optimal değer ve  $\hat{y}_N$  optimal çözüm olsun.  $v_N$  ve  $\hat{y}_N$  rassal örnekleme ile ifade edilen fonksiyonlar olduğundan mantıken rassaldırlar. Bununla beraber rassal örneklemin gerçekleşen özel bir  $\xi^1, \dots, \xi^N$  için problem (20) deterministiktir ve uygun optimizasyon teknikleri ile çözülebilir (Santoso ve diğ., 2005).

Uygulamada SAA şeması, (20)'deki SAA probleminin bağımsız örneklemlemlerle tekrarlı bir şekilde çözülmesini içerir. İstatistiksel güven aralıkları yaklaşık çözümün kalitesini belirlemede kullanılır (Santoso ve diğ., 2005). SAA'da alt ve üst sınırlar aday çözümlerin kalitesini belirlemede kullanılmaktadır. Özellikle, aday çözümün ve optimal değer ile amaç değeri arasındaki fark olan optimal boşluğa karşılık gelen güven aralığı tanımlanmaktadır (Mak ve diğ., 1999). SAA süreci aşağıdaki gibidir (Kleywegt ve diğ., 2001):

**Adım 1:**  $i=1, \dots, N$  boyutunda  $j=1, \dots, M$  bağımsız örneklem kümeleri oluşturulur ve herbir küme ile ilgili problemler SAA'da çözülür. ( $\zeta^1, \dots, \zeta^N$ )

$$\min \left\{ c^T y + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Q(y, \xi_j^n) \right\} \quad (21)$$

$v_N$  ve  $\hat{y}_N$  sırasıyla optimal amaç fonksiyonu değeri ve örneklem  $j= 1, \dots, M$  için çözüm olsun.

**Adım 2:** Mak ve diğ. (1999) çalışmasında  $E[v_N] \leq v^*$  olduğunu göstermiştir. Burada  $E[v_N]$  gerçek problem optimal değerinin alt sınırınıdır. Bu adımda bu alt sınırı hesaplamak için aşağıdaki hesaplayıcı kullanılır.

$$\bar{v}_{N,M} := \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M v_N^j \quad (22)$$

Bu hesaplayıcının varyansı ise aşağıdaki varyans hesaplayıcı ile bulunur.

$$\sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2 := \frac{1}{(M-1)M} \sum_{j=1}^M (v_N^j - \bar{v}_{N,M})^2 \quad (23)$$

**Adım 3:** Adım 1’de elde edilenler arasından uygun bir çözüm  $\bar{y}$  seç. Aşağıdaki formülasyonu çözerek,  $N'$  ‘den çok daha büyük olan,  $N'$  boyutunda bir örneklem ile amaç fonksiyonu değeri hesapla.

$$\tilde{f}_{N'}(\bar{y}) := c^T \bar{y} + \frac{1}{N'} \sum_{n=1}^{N'} Q(\bar{y}, \xi^n) \quad (24)$$

$\tilde{f}_{N'}(\bar{y})$ ,  $f(\bar{y})$  ‘nin sapmasız bir hesaplayıcısıdır.  $\bar{y}$  gerçek problem için uygun bir çözümdür ve  $f(\bar{y}) \geq v^*$  ‘dir. Böylece  $\tilde{f}_{N'}(\bar{y})$  değeri gerçek problem amaç fonksiyonu  $v^*$  ‘nin hesaplanan üst sınırınıdır.

Bu hesaplamının varyansı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\sigma_{\tilde{f}_{N'}(\bar{y})}^2 := \frac{1}{(N'-1)N'} \sum_{n=1}^{N'} (c^T \bar{y} + Q(\bar{y}, \xi^n) - \tilde{f}_{N'}(\bar{y}))^2 \quad (25)$$

**Adım 4:**  $\bar{Y}$  çözümünün optimal boşluğunun değerini hesapla.

$$gap_{N,M,N'}(\bar{y}) = \tilde{f}_{N'}(\bar{y}) - \bar{v}_{N,M} \quad (26)$$

Yukarıdaki boşluk hesaplayıcısının varyansı şu şekilde bulunur:

$$\sigma_{gap}^2 = \sigma_{\tilde{f}_{N'}(\bar{y})}^2 + \sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2 \quad (27)$$

Hesaplanan boşluk makul değilse, örneklem büyüklüğü  $N$  test edilmelidir.

Santoso ve diğ. (2005) normal dağılımda optimal boşluk güven aralığı için aşağıdaki formülü önermektedir.

$$\tilde{f}_{N'}(\bar{z}) - \bar{v}_{N,M} + z_\alpha (\sigma_{\tilde{f}_{N'}(\bar{z})}^2 + \sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2)^{1/2} \quad (28)$$

SAA yaklaşımı stokastik tesis yerleşim ve ağ tasarım problemlerinin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aydın ve Murat, 2012).

Yukarıdaki süreçten  $(1-\alpha)$  güven aralığının optimal boşluğunu hesaplayabiliriz.  $(n-1)$  bağımsızlık derecesinde  $t$  dağılımından elde edilen  $t_{n-1,\alpha/2}$  ile aşağıdaki değerler hesaplanabilir.

$$\tilde{\epsilon}_l = t_{n-1,\alpha/2} \frac{\sigma_{\bar{v}_N}}{\sqrt{R}} \text{ ve } \tilde{\epsilon}_u = t_{n-1,\alpha/2} \frac{\sigma_{\bar{v}}}{\sqrt{N'}} \quad (29)$$

Optimalite boşluğu şu şekilde oluşturulur:

$$[0, \{\hat{v}_{N'} - \bar{v}_N\}^+ + \tilde{\varepsilon}_l + \tilde{\varepsilon}_u] \quad (30)$$

Örnekleme hatasından sebebiyle  $\hat{v}_{N'} < \bar{v}_N$  olabilir. Bundan dolayı denklem (30) vasıtasıyla elde edilen güven aralığı daha konservatif sınırlar sağlar. Bu yaklaşım Mark ve diğ. (1999) tarafından önerilmektedir.

## 5. ÖRNEK UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında yukarıdaki bölümde geliştirilen GDAT modelinin Türkiye’de elektrikli ve elektronik atıkların geri dönüşümü üzerine faaliyet gösteren bir işletmede uygulama yapılmıştır. Geri Dönüşüm firması e-atıkları, belediyeler, elektrikli ve elektronik ürün dağıtıcıları ve üreticilerden toplanmaktadır.

Metodoloji kapsamında oluşturulan stokastik programlama modeli ile GDAT için potansiyel AT ve GDM’lerin açılıp açılmayacağı, hangi TM’lerin hangi AT’ye bağlanacağı, tesisler arası ürün/malzeme taşıma miktarları kararları alınacaktır. Bu kararlar alınırken toplam GDAT maliyetinin minimize edilmesi istenmektedir.

Elektronik atıklar için geliştirilen GDAT’ da İstanbul, Balıkesir, Bursa, Edirne, İzmit, Sakarya, Tekirdağ, Yalova, Aydın, Çanakkale, İzmir, Kütahya, Manisa, Muğla, Afyon, Ankara, Eskişehir, Kırıkkale, Konya, Niğde, Adana, Antalya, Mersin, Erzurum, Diyarbakır, Samsun, Trabzon ve Zonguldak’ın içinde bulunduğu 28 adet ilde dağıtıcılar, belediyeler, üreticiler ve son kullanıcılar tarafından üretilen e-atıklar, dağıtıcılar, belediyeler, üreticilerin belirlediği yerlerde konumlandırılan konteynerlerde toplanmaktadır. Çalışmada TM’lerde toplanan e-atıkların ilk olarak sevk edildikleri İzmit, Tekirdağ, Erzurum, Antalya, Kayseri, Diyarbakır ve Zonguldak’ da potansiyel yerlerinde açılması planlanan yedi adet potansiyel AT bulunmaktadır. E-atıklar AT’lerden geri dönüşüm işlemi için İzmit, Ankara, İzmir, Adana ve Samsun’daki beş adet potansiyel GDM’ye gönderilmektedir. Bertaraf tesisi olarak İzmit’te bulunan İzaydaş ile çalışılmaktadır. GDM’ lere lisans probleminin dolayı işlenemeyen değerli malzeme içeren ürünler Belçika’daki RT’ ye gönderilmektedir.

**Tablo 2. TL Ağının yapısı**

TL Ağının Üyeleri	Sayı
Ürün Sayısı	4
Toplama Noktası	28
Ayıklama Tesisi	7
Geri Dönüşüm Merkezi	5
Bertaraf Merkezi	2
Rafine Tesisi	1
Hammadde Pazarı	2

### 5.1 SAA Çözümü

Çalışmanın bu bölümde Monte Carlo tabanlı SAA metodu kullanılarak elde edilen çözümlere yer verilmiştir. Bu yöntemde stokastik programlama modeli ile deterministik modelin çözümleri karşılaştırılmaktadır. Orta değer problemi olarak bilinen deterministik model belirsiz olan miktar ve kaliteyi ifade eden parametrelerin ortalama değerleri kullanılarak elde edilmektedir. SAA uygulaması için istatistiksel amaçlar için yeterince iyi olduğu görüldüğünden her bir örneklem büyüklüğü için tekrar sayısı  $M=20$  olarak seçilmiştir (Kiya ve Davoudpour, 2012). TL ağındaki geri dönen miktarı tarihsel veriler kullanılarak  $E$  ortalama ve  $\sigma^2$  varyans ile üssel dağılıma, kalite ise  $E$  ortalama ve  $\sigma^2$  varyans ile normal dağılımına uyduğu tarihsel veriler kullanılarak tespit edilmiştir.

Çalışmada stokastik model için en iyi aday seçilmiş ve bu çözümler için istatistiksel değerler hesaplanmıştır. Bu istatistiksel değerler deterministik çözümlerle karşılaştırılmıştır. Örneklem büyüklükleri sırasıyla  $N=20, 40$  ve  $60$  olarak belirlenmiştir.  $N^*=1000$  için referans örneklem kurulmuştur. Bir başka deyişle,  $N^*=1000$  ile her bir örneklem için üst sınır değerleri hesaplanmıştır. Tablo3 'te sırasıyla  $N=20, 40$  ve  $60$  örneklem büyüklükleri için ortalama değer problemi ve stokastik programlamanın SAA çözümleri aktarılmıştır. Ayrıca bu örneklemelerin amaç fonksiyonu için maksimum, minimum, ortalama değerleri ile varyans değerleri de verilmiştir.

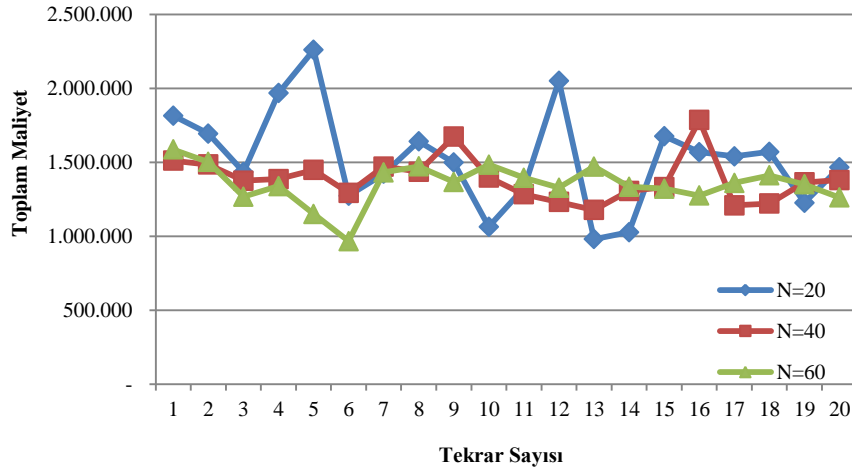
**Tablo 3.  $N=20, 40$  ve  $60$  örneklem büyüklükleri için elde edilen sonuçlar.**

Tekrar	20 Senaryo		40 Senaryo		60 Senaryo	
	Deterministik	SAA	Deterministik	SAA	Deterministik	SAA
1	1.524.046	1.815.182	1.259.731	1.511.191	1.318.374	1.587.164
2	1.410.682	1.694.091	1.243.025	1.485.937	1.238.377	1.502.946
3	1.194.424	1.434.561	1.160.928	1.376.478	1.063.303	1.268.329
4	1.650.406	1.968.232	1.162.174	1.386.688	1.123.271	1.339.718
5	1.720.686	2.260.869	1.216.968	1.448.477	964.746	1.150.898
6	1.178.770	1.274.824	1.084.749	1.294.439	889.521	966.851
7	1.198.192	1.423.145	1.289.906	1.472.016	1.203.970	1.432.248
8	1.374.280	1.643.058	1.195.474	1.436.988	1.230.638	1.472.115
9	1.252.308	1.498.601	1.391.605	1.673.830	1.136.115	1.367.597
10	1.055.848	1.064.690	1.184.337	1.397.793	1.235.806	1.485.064
11	1.031.838	1.327.336	1.119.278	1.284.581	1.079.036	1.395.501
12	1.723.656	2.051.133	1.080.858	1.232.528	1.073.163	1.328.372
13	939.399,50	981.473	1.042.804	1.177.981	1.140.284	1.471.261
14	961.241,42	1.027.441	1.095.055	1.307.002	1.119.100	1.335.143
15	1.418.350	1.677.374	1.104.458	1.331.791	1.150.125	1.321.848
16	1.301.536	1.568.591	1.559.045	1.786.651	1.117.380	1.275.866
17	1.293.251	1.540.607	1.011.161	1.209.881	1.130.743	1.360.908
18	1.314.347	1.570.751	1.033.710	1.221.401	1.095.134	1.412.396
19	1.132.843	1.226.937	1.192.572	1.364.368	1.178.557	1.351.966
20	1.227.353	1.466.592	1.156.519	1.380.594	1.054.700	1.262.827
Min.	939.399	981.473	1.011.161	1.177.981	889.521	966.851



Maks.	1.723.656	2.260.869	1.559.045	1.786.651	1.318.374	1.587.164
Ort.	1.295.173	1.525.774	1.179.218	1.389.031	1.127.117	1.354.451
Varyans	5,31E+10	1,12E+11	9,44E+09	1,52E+05	9,44E+09	1,35E+05
Standart Sapma	2,30E+05	3,35E+05	9,72E+04	2,30E+10	9,72E+04	1,83E+10
Üst sınır	1,31E+06	1,58E+06	1,22E+06	1,44E+06	1,17E+06	1,38E+06
Varyans		1,25E+17		8,90E+16		8,53E+16
Standart Sapma		3,54E+08		2,98E+08		2,92E+08
Optimal Boşluk	18.232,05	56.801,29	69.803,12	47.016,35	40.184,27	27.278,99
% Boşluk	1%	3,59%	6%	3,274%	3%	1,974%
Varyans	5,31E+10	1,25E+17	9,44E+09	8,90E+16	9,44E+09	8,53E+16
Standart Sapma	2,30E+05	3,54E+08	9,72E+04	2,98E+08	9,72E+04	2,92E+08

SAA metodunun yakınsama gerçekliği örneklem büyüklüğüne bağlı olduğu bilinen bir gerçektir (Long ve diğ., 2012). Bunun için bu çalışmamızda bu durumu dikkate alarak değişen örneklem büyüklükleri için çözümler yapılmıştır.



Şekil 4. Amaç fonksiyonu değeri değişimi.

Açıktır görüldüğü gibi stokastik çözümler deterministik ortalama maliyetten çok daha küçüktür. Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi örneklem sayısı artışı ile beraber ortalama maliyet düşmekte, üst sınır ve alt sınır arasındaki optimalite boşluğu

azalmakta ve varyans düşmektedir. Buna göre en iyi çözüm 1.354.451,39 TL ile N=60 örneklem büyüklüğü için elde edilmiştir. Aynı şekilde N=60 için en küçük standart sapma değeri hesaplanmıştır. Küçük optimalite boşluğu çözüm kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir (Long ve diğ, 2012). Tablodaki sonuçlarda en küçük optimalite boşluk 1,974 % ile N=60 örneklem büyüklüğü için elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuç %90 ve %95 güven aralığı için yapılan t testinde anlamlı görülmektedir. Sonuçlara göre uygun ve iyi çözümler elde edebilmek için senaryo sayısının hesaplanan varyans değerinin yeteri kadar küçük olmasını sağlayacak şekilde artırılması gerektiği görülmektedir. Bu metot kullanılarak elde edilen sonuçlara göre geliştirilen stokastik model deterministik modellere göre daha kabul edilebilir ve daha iyi sonuçlar vermektedir. Buradan geliştirilen SP' nin belirsizliklerle başa çıkmada kullanılabilir bir model olduğu ortaya çıkmaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Son zamanlarda, ekonomik, çevresel faktörler, hükümetlerin koydukları kanunlar, yasal düzenlemeler ve sosyal sorumluluklar gibi sebeplerden dolayı firmalar TL faaliyetlerini sistemlerine entegre etmek durumunda kalmışlardır. TL faaliyetlerinin yerine getirildiği tesislerin kurulum maliyetlerinin yüksek olması firmaları bu tür faaliyetleri dışarıya üçüncü parti firmalara vermek zorunda bırakmaktadır. Bu önemli faktörden dolayı son yıllarda üçüncü parti TL hizmeti veren firma sayısında dikkati çeken bir artış yaşanmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan GDAT kapsamında potansiyel AT ve GDM 'ler için en uygun lokasyonun seçimi ve ağ içindeki tesisler arasında taşınacak ürün miktarlarının belirlenmesi kararları alınmaktadır. Yazında çalışmalarında yapılan detaylı analizler neticesinde gerçek hayat koşulları gereği olarak GDAT sürecinin geri dönen atık miktarı, kalitesi ve zamanı başta olmak üzere işleme maliyeti, taşıma maliyeti, toplama maliyeti, hammadde pazarları ya da ikinci el ürün pazarlarında satış maliyeti vb. birçok belirsiz parametreyi bünyesinde barındırdığı tespit edilmiştir. Özellikle TL ağlarının stratejik tasarımında belirsizlik dikkate alınması gereken bir husustur. Belirsizlik kavramı parametrelerin kesin olarak belirlenmesinin zor olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Belirsizliğin GDAT için en temel özelliklerden biri olduğu ise bilinen bir gerçektir. Belirsizlikleri göz önüne almadığı için gerçek hayat uygulamalarını doğru bir şekilde yansıtamayan deterministik modeller yerine çalışmada, yerine belirsizlikler altında karar verebilmek için stokastik programlama modeli kullanılmıştır.

Bununla birlikte yazında belirsizlikler altında TL tasarımını ele alan stokastik programlama modeli ile yapılan çalışmaların çok az sayıda olduğu dikkati çekmektedir. Bu çalışmalarda ise stokastik programlama modelinin yapısındaki karmaşıklığı önlemek ve çözüm sürecini basite indirgemek için tek ürün ve tek belirsizlik varsayımları altında çalışmalar yoğunlaştırılarak gelecekteki çalışmaların gerçek hayat koşullarına uygun olarak çok ürün ve çok belirsizlik içeren çalışmalar olması gerektiği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada belirsizlikler altında TL ağ tasarımı problemi ele alınarak iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen model geri dönen ürün miktarı ve kalitesi belirsizlikleri altında, çok ürünlü, çok aşamalı, kapasite ve tesis sayısı kısıtlı iki aşamalı stokastik programlama modelidir. Çalışmanın amacı TL ağ tasarımı ile ilgili literatürün irdelenip açıkların tespit edilmesi ve özellikle problemin tabiatında bulunan belirsizliklerin dikkate alınarak bu yönde karar vericilere karar verme sürecini kolaylaştıran bir model önerilmesidir.

Çalışmada literatüre katkısı, incelenen çalışmalar göz önüne alındığında bir geri dönüşüm ağı için literatürdeki ilk, miktar ve kalite belirsizlikleri altında çok ürünlü, çok aşamalı, kapasite ve tesis sayısı kısıtlı senaryo tabanlı iki aşamalı stokastik programlama modeli olmasıdır. Çalışma literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında miktar belirsizliği yanında kalite belirsizliğini de dikkate alan ilk çalışmadır. Ayrıca önerilen model çok ürünlü, kapasite kısıtlı ve çok aşamalı olan e-atıkların geri dönüşümü için tasarlanan ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır.

Belirsizlikler büyük sayıda senaryo ile ifade edilecek şekilde sürekli olasılık dağılımları ile ifade edilerek SAA yöntemi çözüm sürecinde kullanılarak yazında bu alanda katkıda bulunulmuştur. Çalışmanın belirsizliklerin karar almada yöneticilerin işini çok zorlaştırdığı gerçek hayat koşullarında yönetici ve uzmanların karar verme aşamalarını destekleyecek modeller sunulmuştur.

Ayrıca çalışmada geliştirilen model İzmit'te e-atık geri dönüşümü alanında hizmet vermekte olan üçüncü parti lojistik firmasının ağ tasarım problemine uygulanmıştır. Sonuçlar geliştirilen stokastik modelin ekonomik açıdan etkin olduğunu göstermekte ve geri dönen ürün miktarı ve ayıklama oranı ile ifade edilen kalite belirsizliklerini gidererek yöneticilere stratejik yatırım kararı almada yardımcı olmaktadır.

Önerilen model GAMS 23.5.1/CPLEX 12.2 optimizasyon programı ile çözülmüştür. Farklı senaryo sayıları ile yapılan SAA çözümlerinde en düşük maliyet 60 senaryo için 1.354.451,39 TL olarak hesaplanmıştır. İzmit, Tekirdağ ve Kayseri lokasyonları AT olarak seçilirken, GDM olarak İzmit lokasyonu seçilmiştir. SAA yaklaşımı örneklem yaklaşımı olduğu için elde edilen sonuçların %95 ve %90 anlamlılık derecelerine göre kabul edilme durumlarına bakılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar her iki güven düzeyinde de anlamlı bulunmuştur. Açıkça görülmektedir ki geliştirilen SAA yaklaşımı belirsizlikle başa çıkmada uygun ve kabul edilebilir sonuçlar vermektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, miktar ve kaliteye ek olarak zaman başta olmak üzere, taşıma maliyeti, işleme maliyeti, toplama fiyatı, tesis kapasiteleri ve yerleri vb. parametrelerin belirsiz olması durumu modele dahil edilebilir. Bu durumda ise model karmaşık hale geleceğinden çözüm sürecinde sezgisel metotlar kullanılarak çözülmelidir. Belirsizlikleri ele almada stokastik programlamaya ek olarak bulanık programlama, robust programlama ile bulanık-stokastik programlama ve robust-stokastik programlama modelleri geliştirilerek çözümler karşılaştırılmak suretiyle farklı yaklaşımların performansı değerlendirilebilir. Yine aynı şekilde çevresel etki, geri dönüşüm performansı, müşteri memnuniyeti, aynı anda hem kar

maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu vb. amaçlar beraber düşünülerek çok amaçlı bir model düşünülebilir.

#### **KAYNAKÇA**

Amin, S.H. ve Zhang, G.,2012, A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return, *Applied Mathematical Modelling*, 37, Issue 6, 4165–4176.

Assavapokee, T., ve Wongthatsanekorn, W., 2012, Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas. *Computers & Industrial Engineering*, 62, 129–140.

Aydın, N. ve Murat A., 2012, A swarm intelligence based sample average approximation algorithm for the capacitated reliable facility location problem, *Int. J. Production Economics* (November 2012), doi:10.1016/j.ijpe.2012.10.019.

Barros, L., Dekker, R. ve Scholten, V., 1998, A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research*, 110, 199-214.

Chouinard, M., D'Amoursa, S. ve Ait-Kadia, D., 2008,A Stochastic Programming Approach For Designing Supply Loops, *Int. J. Production Economics*, 113, 657–677

Dantzig, G. B. ve Infanger, G., 2011, A Probabilistic Lower Bound for Two-Stage Stochastic Programs, *International Series in Operations Research & Management Science*, 150, 13-35

Dekker, R., Inderfurth, K., van Wassenhove, L.N., Fleischmann, M. , 2004,Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Demirel, Ö. N. ve Gökçen, H., 2008, Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı: literatür araştırması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 903-912.

Denizel, M., Ferguson, M. ve Souza, G.C., 2010, Multiperiod Remanufacturing Planning With Uncertain Quality of Inputs, *IEEE Transactions On Engineering Management*, 57, No. 3, 394-404.

El-Sayed, M., Afia, N. ve El-Kharbotly, A., 2010, A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk, *Computers & Industrial Engineering*, 58, 423-431.

Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R. ve Flapper, S.D.P., 2000, A characterization of logistics networks for product recovery, *Omega*, 28, 653-666.

Fonseca M.C., Sánchez A.G., Mier M.O. ve Da Gama F.S., 2010, A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics, *Business And Economics*, Top 18(1), 158-184.

- Francas, D. ve Minner, S., 2009, Manufacturing network configuration in supply chains with product recovery , *Omega*, 37, 757 – 769.
- Gomes, M. I., Povoia, A. P. B. ve Novais, A. Q. , 2011,Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal, *Waste Management*, 31, 1645–1660.
- Hiller, F.S. ve Lieberman G.J., 2001, *Solution Manuel to accompany Introduction to Operation research 7<sup>th</sup> Edition*, McGraw Hill, Boston.
- Hong, I.H., Assavapokee, T., Ammons, J., Boelkins, C., Gilliam, K., Oudit, D., Realff, M. J., Vannicola, J. M. ve Wongthatsanekorn W., 2006, Planning the e-Scrap Reverse Production System Under Uncertainty in the State of Georgia: A Case Study, *IEEE Transactions On Electronics Packaging Manufacturing*, Vol. 29, No. 3, 150-162.
- Ilgin, M.A. ve Gupta, S. M., 2010, Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art, *Journal of Environmental Management*, 91, 563–591.
- Kall, P. ve Wallace, S.W. , 1994, *Stochastic programming*, John Wiley and Sons, Chichester, U.K.
- Kara, S. S. ve Onut, S., 2010a, A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling, *Expert Systems with Applications*, 37, 6129–6137.
- Kara, S. S. ve Onut, S., 2010b, A stochastic optimization approach for paper recycling reverse logistics network design under uncertainty, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 7 (4), 717-730.
- Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernick, H., 2007, Simulation modeling of reverse logistics networks, *Int. J. Production Economics*, 106, 61–69.
- Kleywegt, A. J., Shapiro A. ve De Mello ,T. H., 2001, The sample average approximation method for stochastic discrete optimization, *SIAM Journal of Optimization*, 12, No. 2, 479–502.
- Lee, D., Dong, M. ve Bian, W., 2010, The design of sustainable logistics network under uncertainty, *Int. J. Production Economics*,128, 159–166.
- Lee, D.H. ve Dong, M., 2009, Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty, *Transportation Research, Part E*. 45, 61-71.
- Lee, Y.J. , 2009, *Integrated Forward-Reverse Logistics System Design: An Empirical Investigation*, Doctor Of Philosophy Washington State University College of Business, May 2009.
- Li, R. C. ve Tee, T. J. C. , 2012, A Reverse Logistics Model For Recovery Options Of Ewaste Considering the Integration of the Formal and Informal Waste Sectors, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*,40, 788 – 816.

- Listeş, O., 2002, A decomposition approach to a stochastic model for supply-and-return network design, *Erasmus*, 1-27.
- Listeş, O., 2007, A generic stochastic model for supply-and-return network design, *Computers & Operations Research*, 34, 417-442.
- Listeş, O. ve Dekker, R., 2005, A stochastic approach to a case study for product recovery network design, *European Journal of Operational Research*, 160, 268-87.
- Long, Y., Lee L.H. ve Chew, E. P., 2012, The sample average approximation method for empty container repositioning with uncertainties, *European Journal of Operational Research*, 222, Issue 1, 65–75.
- Mak, W.K., Morton, D. P. ve Wood, R. K. ,1999, Monte Carlo bounding techniques for determining solution quality in stochastic programs, *Operations Research Letters*, 24, 47-56.
- Mier, M.O., Hipolito, J.D. ve Sanchez, A.G., 2009, Scatter search for locating a treatment plant and the necessary transfer centers in a reverse network, *Metaheuristics in the service industry, lecture notes in economics and mathematical systems*, 624, 63-81.
- Min, H., Ko, H.J. ve Ko, C.S., 2006, A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns, *Omega*, 34, 56-69.
- Patil, G. ve Ukkusuri, S., 2011, Sample Average Approximation Technique for Flexible Network Design Problem, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(3), 254–262.
- Pishvae, M.S., Farajani, R.Z. ve Dullaert, W., 2010a, A memetic algorithm for biobjective integrated forward/reverse logistics network design, *Computers & Operations Research*, 37, 1100-1112.
- Pishvae, M.S., Jola, F., and Razmi, J., 2009, A Stochastic Optimization Model for Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design, *Journal of Manufacturing Systems*, 28 (4), 107-114.
- Pishvae, M.S., Rabbani, M. ve Torabi, S.A., 2011, A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Applied Mathematical Modelling*, 35, 637–649.
- Qin, Z. ve Ji, X., 2010, Logistics network design for product recovery in fuzzy environment, *European Journal of Operational Research*, 202, 479-490.
- Qiushuang, C. ve Qiaolun, G., 2007, Analysis of Quantity Uncertainty of Returns on Remanufacturing Logistic Network Using a Stochastic Programming Model, *IEEE International Conference on Control and Automation*, Guangzhou, China.
- Ramezani, M., Bashiri, M. ve Moghaddam, R. T., 2013, A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level, *Applied Mathematical Modelling*, 37, 328–344.

- Realff, M. J., Ammons, J. C. ve Newton, D., 2000, Strategic design of reverse production systems, *Computers and Chemical Engineering*, 24, 991-996.
- Realff, M.J., Ammons, J. C. ve Newton, D. J., 2004, Robust reverse production system design for carpet recycling, *IIE Transactions*, 36, Issue 8, 767-776.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P. ve Novais, A.Q., 2007, An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077.
- Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M. ve Shapiro A., 2005, A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 167, 96-115.
- Schütz, P., Tomaszgard, A. ve Ahmed S., 2009, Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition, *European Journal of Operational Research*, 199, 409-419.
- Shapiro, A. ve De Mello, T. H., 1998, A simulation-based approach to two-stage stochastic programming, *Mathematical Programming*, 81, 301-325.
- Shih, L.H., 2001, Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 55-72.
- Şengül, Ü., 2009, Tersine Lojistik Kavramı Ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı, *10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, Palandöken/Erzurum 27-29 Mayıs 2009*.
- Taha, H.A., 2003, Operation Research: An Introduction, 8<sup>th</sup> Edition, *Pearson Prentice Hall*, New Jersey.
- Verweij, B., Ahmed, S., Kleywegt, A. J., Nemhauser, G. ve Shapiro A., 2002, The Sample Average Approximation Method Applied to Stochastic Routing Problems: A Computational Study, *Computational Optimization and Applications*, 24, 289-333.
- Wang, X. ve Zhao, L., 2009, Network Design of Reverse Logistics Integrated with Forward Logistics, *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2009, Asia-Pacific* .1, 27-31.
- Wei-min, D. ve Mei-jie, W., 2009, Optimal Design of Manufacturing/Remanufacturing Logistics Network Based on Uncertain Programming, *International Conference on Management Science & Engineering* (16th), pp.867-873, doi: 10.1109/ICMSE.2009.5318205.
- Yongsheng Z. ve Shouyang W., 2008, Generic Model of Reverse Logistics Network Design, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8, Issue 3, 71-78.