İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 12 Sayı: 24 Güz 2013 s. 1-15

BELİRSİZLİKLER ALTINDA TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI LİTERATÜR TARAMASI

Berk AYVAZ[1] , Sibkat KAÇTIOĞLU[2], Kemal VAROL[3]
Geliş: 18.12.13 Kabul: 30.01.2014

ÖZET

Son yıllarda tersine lojistik üzerindeki çalışmalar ekonomik, sosyal ve devlet baskıları gibi faktörlerden dolayı akademik çevrelerde ve iş dünyasında hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Literatürdeki tersine lojistikle ilgili çalışmalar ağ tasarımı, geri dönüş oranı tahminleri, ekonomik ve çevresel performans, envanter yönetimi, araç rotalama vb. farklı perspektiflerden konuya yaklaşım göstermektedir. Tersine Lojistik (TL) ağ tasarımı ise bu konuda en çok araştırmanın yapıldığı alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Belirsizlik tersine lojistik ağlarının en temel özelliklerinden biridir. TL ağ tasarımı yapısında bulundurduğu çok sayıdaki belirsizlik nedeniyle ileri yöndeki lojistik ağ tasarımlarına göre çok daha karmaşık yapıdadır. Belirsizlikleri bertaraf etmek için stokastik programlama modeli ve robust optimizasyon son zamanlarda en çok tercih edilen yöntemlerdir. Bu çalışmada belirsizlikler altında TL ağ tasarımı ile ilgili literatür hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır. Literatür taraması neticesinde belirsizlikler altında stokastik TL ağ tasarım konusu ile ilgili boşluklar ortaya konularak bu alanda çalışacak olan araştırmacılara bir yol gösterilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tersine Lojistik Ağ Tasarımı, Belirsizlik, Stokastik Programlama

REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN UNDER UNCERTAINTIES: LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

In recent years, research in Reverse Logistics (RL) has rapidly grown in both academia environment and business world due to economic, social and governmental pressures. Academic researches related to RL focused on reverse logistics network design, estimates of the rate of return, economic and environmental performance, inventory management, vehicle routing etc. Reverse Logistics Network Design (RLND) is the most popular topic in RL literature. Uncertainty is one of the main characteristics of reverse logistics networks. RL network design and structure of the uncertainty are lots much more complicated structure based on the forward logistics network design. Stochastic programming and robust optimization are the most preferred methods by researchers in order to handle uncertainty. In this study, a comprehensive review of the literature on reverse logistics network design under uncertainty is presented. In addition, research gaps in RLND literature under uncertainty and opportunities are identified.

Keywords: Reverse Logistics Network Design, Uncertainty, Stochastic Programming

[1] *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Küçükyalı, 34840 İSTANBUL, bayvaz@ticaret.edu.tr*
[2] *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Küçükyalı, 34840 İSTANBUL, skactioglu@ticaret.edu.tr*
[3] *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Küçükyalı, 34840 İSTANBUL, kvarol@ticaret.edu.tr*

1. GİRİŞ

Tersine lojistik (TL) kavramı ekonomik, kanuni ve çevresel sebeplerden dolayı son zamanlarda artan bir şekilde ilgi görmektedir. Amerika Tersine Lojistik İcra Konseyi'nin TL tanımı şu şekildedir: "Hammadde, süreç içi envanterin, bitmiş ürün ve bunlarla ilişkili bilgilerin tekrar kazanımı veya uygun bir şekilde yok edilmesi amacıyla, tüketim noktasından kaynak noktasına doğru maliyet etkin ve etkili bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolü sürecidir" (Rogers ve Tibben-Lembke, 1999). Tersine lojistik, toplama, muayene/ayırma, yeniden işleme, elden çıkarma ve yeniden dağıtım faaliyetlerini içermektedir (Fleischmann vd., 2000).

TL'de ürün geri dönüşlerinin sebepleri, hatalar, taşıma sırasındaki oluşan hasarlar, yeni model ürünlerin piyasaya sürülmesi, ürünü başka bir ürünle değiştirme, geri iade, tamir, geri çağırmalar ve hatalı teslimat şeklinde sıralanmaktadır (Min vd., 2006). Üretim aşamasında müşterilere ulaştırılıncaya kadar geçen tedarik zinciri hiyerarşisinde ürün geri dönüşleri, üretim geri dönüşleri, dağıtım geri dönüşleri, müşteri geri dönüşleri şeklinde üç ana grupta toplanabilir (Dekker vd., 2004).

Tersine lojistik ağında, ileri lojistik ağında bulunan elemanlardan farklı olarak daha fazla birim yer almaktadır. Tersine akış içeren tedarik zinciri, ileri lojistik ağının tüm elemanlarına ek olarak, talep noktası olarak görev yapan 3. parti lojistik firmaları, ikincil pazarlar, bertaraf merkezleri, toplama noktaları ve daha fazlasından oluşmaktadır. Ürünlerin kullanıcılarından tesislere taşınması ve buradan da yeniden pazara sunulması için yerleşim yerlerinin tespiti, tesisler ve her bir tesis arasında taşınacak miktarlar, ürünlere hangi geri dönüşüm stratejilerinin uygulanacağı alınması gereken önemli kararlar arasındadır. Alınması gereken bu kararlar Tersine Lojistik Ağ Tasarımı (TLAT) konusunun önemine vurgu yapmaktadır.

Literatürde TL ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, ağ tasarımı, geri dönüş oranı tahminleri, araç rotalama, ekonomik ve çevresel performans, stok yönetimi vb. farklı perspektiflerden konuya yaklaşım gösterildiği görülmektedir. Bununla beraber, problem alanlarından en çok üzerinde durulan problemin TLAT problemi olduğu görülmektedir.

Gerçek hayat koşullarında TL ağ tasarımında bir takım parametreler belirsizdir. Parametrelerin kesin olarak belirlenmesinin zor olduğu durumlarda ortaya çıkan belirsizlik kavramı TL ağlarının karakteristik bir özelliğidir (Fleischmann vd., 2000). TL ağları geri dönen atık ürünün zaman, miktar ve kalitesi ile ilgili yüksek oranda belirsizlik içermektedir (Chouinard vd., 2008; Ilgin ve Gupta, 2010; Pishvaee vd., 2011).

Yapısında belirsizlik olan tersine lojistik ağ tasarım problemleri için kullanılan modelleme yaklaşımları stokastik programlama (Listeş, 2002; Listeş ve Dekker, 2005; Salema vd., 2007; Listeş, 2007; Chouinard vd., 2008; Lee ve Dong, 2009; Pishvaee vd.,

2009; Mier vd., 2009; Wei-min ve Mei-jie, 2009; Fonseca vd., 2010; Kara ve Önüt, 2010b; El-Sayed vd., 2010; Ramezani vd., 2013) ve robust optimizasyondur (Realff vd., 2000; Hong vd., 2006; Realff vd., 2004; Pishvaee vd., 2011).

Çalışmada belirsizlikler altında TLAT problemi ele alınmış ve bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir. TLAT konusu son zamanlarda akademisyenlerin büyük ilgisini çekmektedir. Özellikle gerçek hayat koşullarına uygun olarak belirsizlikler içeren TLAT ile ilgili literatürdeki açık çalışma alanlarını göstererek akademisyenleri yönlendirecek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, belirsizlikler altında TLAT ile ilgili literatürün irdelenip açıkların tespit edilmesidir. Bilindiği kadarı ile bu çalışma TLAT hususunda belirsizlik literatürünü ele alıp detaylı bir şekilde inceleyen ve eksik noktaları tespit eden ilk çalışmadır. Bu açıdan çalışmanın belirsizlikler altında TLAT literatürünün gelişmesi ve bu alanda çalışan araştırmacılara yol göstermesi açısından literatüre büyük katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında, ikinci bölümde literatürdeki belirsizlik içeren TLAT çalışmaları belirsizliği gidermek için stokastik programlama modeli içeren çalışmalar ve robust optimizasyon içeren çalışmalar şeklinde ayrı ayrı ele alınarak incelenmiş ve sonuçlar özet tablo şeklinde sunulmuştur. Yine aynı bölüm içinde literatür taraması sonuçlarının değerlendirilmesi yapılarak literatürdeki boşluklar tespit edilmiştir. Son kısımda ise çalışmanın sonuçları tartışılarak, gelecek çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Genel olarak ağ tasarım modelleri deterministik ve stokastik modeller olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Deterministik modeller tersine lojistik ağlarındaki belirsizlikleri ihmal ederken, stokastik modeller tersine lojistik ağ tasarımındaki belirsizlikleri dikkate almaktadırlar (Ilgin ve Gupta, 2010).

Literatürde, Fleischmann vd. (2000) gelecek çalışmalar için yedi tavsiyede bulunmaktadır: Belirsizliklerin tersine lojistik ağ tasarımındaki etkilerini senaryo ve parametrik analizlerle tespit etmek, stokastik modeller geliştirmek, bütünleşik ağ tasarımları üzerine odaklanmak, araç rotalama problemini ele almak, çok kademeli ağ tasarımlarını ele almak, envanter yönetimi konusunu irdelemek ve global tedarik zinciri içinde tersine lojistiği incelemek. Bu tavsiye edilen konulardan üzerinde en çok durulan, belirsizliklerin ağ tasarımına etkisi ya da belirsizlikleri dikkate alarak tersine lojistik ağ tasarımı yapmak olmuştur. Chanintrakul vd. (2009) çalışmalarında 2000-2008 yılları arasında tersine lojistik ağ tasarımı ile ilgili kırk bir çalışmayı incelemişlerdir. Bu çalışmalardan on sekiz tanesi talep ve arzda ürün miktar, kalite ve zaman ile ilgili belirsizlikleri dikkate alan deterministik modellerin önerildiği çalışmalardır. Fakat bu literatür taramasında incelenen çalışmalardan sadece üç tanesi stokastik modelle

ilgilenerek belirsizlikleri dikkate almıştır. Pishvaee vd. (2009) çalışmalarında tersine lojistik ağ tasarımı ile ilgili geçmişte yapılmış çalışmaların en büyük dezavantajlarından birinin kritik parametreleri deterministik olarak varsaymaları olduğunu belirtmiştir. Hâlbuki ağ tasarımının birkaç yıllık bir süreci etkileyen stratejik bir karar olduğundan, bu zaman sürecinde iş çevresindeki müşteri talebi, geri dönen ürün miktar ve kalitesi gibi bazı parametrelerin belirsiz olarak dikkate alınması gerektiğini beyan etmişlerdir. Cimino vd. (2010) literatürdeki çalışmaların deterministik ve stokastik olarak iki gruba ayrılabileceğini belirtmektedir. Deterministik çalışmalar TL ağ tasarım süreci ile ilgili belirsizlikleri dikkate almayan, stokastik çalışmalar ise TL ağ tasarım sürecindeki belirsizlikleri modele dahil eden çalışmalar olarak tanımlanmıştır. Çalışmada ele alınan kırk çalışmanın çoğunun deterministik, stokastik çalışmaların ise çok kısıtlı sayıda olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılara, ağ tasarımındaki belirsizlikleri modele dâhil eden stokastik yapılı çalışmalar üzerine odaklanmaları tavsiye edilmiştir.

2.1 Stokastik Programlama

Listeş (2002) TLAT için genel bir stokastik programlama modeli önermiştir. Önerilen modelde iki aşamalı yeniden imalat tersine lojistik ağı, tek aşamalı ileri akış sistemine entegre edilmiştir. Problemdeki belirsiz parametreler talep ve geri dönen ürün miktarıdır. Listeş ve Dekker (2005) kum geri dönüşümü için önerilen TLAT için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında iki stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerilen ilk model talep belirsizliği altında iki aşamalı stokastik optimizasyon modelidir. Önerilen ikinci model ise talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında üç aşamalı stokastik programlama modelidir. Önerilen modeller kâr maksimizasyonu amaçlı, tek ürünlü, açık döngü ve kapasite kısıtlı stokastik programlama modelleridir.

Salema vd. (2007), Fleischmann vd. (2001) tarafından geliştirilen tek ürünlü, kapasite kısıtsız ve belirsizlikleri dikkate almayan iyileştirme ağı modeli temel alarak, çok ürünlü, kapalı döngü, kapasite kısıtlı, iki aşamalı, talep ve geri dönüş miktarı belirsizliklerini içeren genel bir iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Listeş (2007) talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında kapalı döngü imalat ve yeniden imalat konularını birlikte içeren ağın tasarımı için bir stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Önerilen model iki aşamalı, tek ürünlü ve kapasite kısıtlı bir ağ için tasarlanmıştır. Çalışmada talep ve geri dönüş miktarı parametreleri belirsiz olarak alınmıştır. Qiushuang ve Qiaolun (2007) çalışmalarında yeniden üretim süreci için bir ağ tasarım problemini ele almışlardır. Geri dönen ürün miktarı belirsizliği altında stokastik karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Chouinard vd. (2008) geri kazanım, yeniden işleme ve talep hacimleri belirsizlikleri altında iki aşamalı, çok ürünlü, kapasite kısıtlı, kapalı döngü TLAT için stokastik programlama modeli önerisinde bulunmuştur. Yazarlar önerilen modelin çözümü için örneklem ortalama yakınsaması metodunu kullanmışlardır.

Lee ve Dong (2009), talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında çok ürünlü, kapalı döngü ve çok periyotlu dinamik bir TLAT için iki aşamalı stokastik programlama modeli önermiştir. Geliştirilen model sezgisel bir algoritma olan tavlama benzetim algoritması kullanılarak çözülmüştür. Pishvaee vd. (2009) değişken maliyetler, talep miktarı, geri dönen ürün miktar ve kalitesi belirsizlikleri altında tek periyot, tek ürün, çok aşamalı kapalı döngü ağ tasarımı için iki aşamalı stokastik programlama modeli önermiştir. Francas ve Minner (2009) yeniden imalat opsiyonunu içeren talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında kapalı döngü bir tedarik zincirinin ağ tasarım problemini ele almışlardır. Bunun için çok ürünlü iki aşamalı stokastik programlama modeli önermişlerdir. Mier vd. (2009) tersine bir sistem için yer seçimi problemini ele almışlardır. Çalışmada önerilen stokastik programlama modelleri serpme araması yaklaşımı ile çözülmüştür. Geliştirilen modelde toplama ve taşıma maliyetleri ile geri dönüş miktarı belirsizlik içeren parametrelerdir. Wang ve Zhao (2009) elektrik güç sistemleri için TL ağ tasarımını ele almışlardır. Bu amaçla poisson dağılımına uyan geri dönen güç malzemeleri miktarı ve elektrik güç malzemeleri talebi belirsizlikleri altında stokastik ağ tasarımı modeli geliştirilmiştir. Wei-min ve Mei-jie (2009) belirsizlik altında üretim ve yeniden üretim bütünleşik lojistik ağlarının optimal tasarımı için tek ürün, kapasite kısıtlı, çok aşama, iki aşamalı bulanık programlama modeli geliştirmişlerdir. Belirsiz parametreler sürekli dağılımlı stokastik parametreler, bulanık üçgen ya da tolerans parametrelerinden oluşmaktadır. Bulanık şans kısıtlı programlama yaklaşımı uygulayarak önerilen model tamamen stokastik programlama modeli haline getirilmiştir. Bu modeli çözmek için de melez bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirilmiştir.

Fonseca vd. (2010), çok aşamalı, çok ürünlü, teknoloji seçim alternatifli, taşıma maliyeti ve atık üretim miktarının belirsiz olduğu koşullarda TLAT için iki aşamalı stokastik karışık tamsayılı programlama modeli önerisinde bulunmuşlardır. Geliştirilen modelin amacı, maliyeti ve tersine lojistik tesislerini etkileyen kötü etkileri minimize etmektir. Çalışmada geliştirilen model İspanya'da kentsel katı atık, plastik, cam ve kâğıt ürünleri için bir TLAT problemine uygulanmıştır. El-Sayed vd. (2010), çok periyotlu, çok kademeli, tek ürün ve tek amaç için ileri ve geri lojistik ağ tasarımını aynı anda dikkate alan, talep ve geri dönüş oranları belirsizliği altında stokastik karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. 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. Kara ve Önüt (2010b) çalışmalarında büyük ölçekli kağıt geri dönüşüm firması için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizliği altında iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Lee vd. (2010) sürdürülebilir lojistik ağının tasarımı için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Çözüm yaklaşımı olarak yüksek sayıdaki senaryolar için ortalama örneklem yakınsaması şeması geliştirilmiştir. Denizel vd.

(2010) çalışmalarında kalite belirsizliği altında kapasite kısıtlı, çok periyotlu yeniden üretim ağı için kar maksimizasyonu amaçlı stokastik programlama modeli önerilmiştir.

Gomes vd. (2011) çalışmalarında Salema vd. (2010) tarafından önerilen çok ürünlü, çok periyotlu model geri dönen ürün kalitesi belirsizliğini ilave ederek, iki aşamalı senaryo tabanlı bir stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Geri dönen ürün kalite geri kazanım oranı ile ilişkilendirilerek düşük, orta ve yüksek kalite durumları için farklı bir geri kazanım oranı varsayılmıştır.

Amin vd. (2013) kapalı döngü çok aşamalı tedarik zinciri ağı için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizliği altında stokastik programlama modeli genişletilmiştir. Zeballos vd. (2012) kapalı döngü tedarik zinciri ağı için kalite ve geri dönen miktar belirsizlikleri altında senaryo tabanlı iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Hosseinzadeh ve Roghanian (2012) çok ürünlü, çok aşamalı TLAT problemi için olasılıklı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelde kapasite, talep ve geri dönen ürün miktarı parametreleri belirsiz olarak varsayılmıştır. Modelin çözümü için genetik algoritma sezgiseli geliştirilmiştir. Babazadeh vd. (2012) çok periyotlu, çok aşamalı ve çok ürünlü bütünleşik ağ için bir stokastik karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Modelde talep, geri dönüş oranı ve kalite parametrelerinin belirsiz olduğu varsayılmıştır. Modelin amaç fonksiyonu maliyet ve riskin minimizasyonundan oluşmaktadır. Ramezani vd. (2013) belirsizlik altında ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı için çok amaçlı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Modelin amaçları ağın kâr maksimizasyonu, müşteriye cevap verme yeteneği ve kalite seviyesi maksimizasyonudur. Çalışmada fiyat, üretim maliyeti, işleme maliyeti, toplama maliyeti, bertaraf maliyeti, talep ve geri dönüş oranı belirsizlikleri dikkate alınmıştır. Ayvaz ve Bolat (2013) çalışmalarında e-atık geri dönüşüm süreci için geri dönen ürün miktar ve kalitesi belirsizlikleri altında çok ürünlü, çok aşamalı iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerilen modelin çözümünde örneklem ortalama yakınsaması metodu kullanılmıştır.

2.2 Robust Optimizasyon

Yukarıda bahsedildiği gibi belirsizlikler altında optimizasyonda iki temel yaklaşım bulunmaktadır: stokastik programlama ve robust optimizasyon. Stokastik optimizasyonda belirsiz parametrelerin olasılık dağılımları bilinmekte ve amaç fonksiyonunda beklenen maliyetin minimizasyonu hedeflenmektedir. Robust optimizasyonda ise belirsiz parametrelerin olasılık dağılımları bilinmeyip, belirsiz parametreler birbirinden bağımsız olarak kesikli senaryolarla ifade edilmekte ve amaç fonksiyonu en kötü senaryo maliyetini ya da pişmanlığın minimize edilmesini hedeflemektedir (Snyder ve Daskin, 2006).

Realff ve diğ. (2000) çalışmalarında TLAT için MILP formülasyonu ve robust optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde farklı sayıdaki senaryoların optimal performansından ağın performansının maksimum sapmalarının minimizasyonu

amaçlanmıştır. Geliştirilen model Amerika'da halı sektöründe uygulanmıştır. Realff ve diğ. (2004) talep ve geri dönen ürün miktarları belirsizlikleri altında halı geri dönüşüm ağ tasarımı için robust optimizasyon modeli önermiştir. Model robust çözüm ve optimal çözüm arasındaki sapmayı minimize etmeyi hedeflemektedir.

Hong ve diğ. (2006) AEEE ürünleri tersine lojistik ağı için optimal çözümden sapmayı minimum etmeyi amaçlayan senaryo tabanlı robust optimizasyon şeması geliştirmiştir. Pishvaee ve diğ. (2011) çalışmalarında geri kazanım, bertaraf gibi tersine lojistik faaliyetlerini içeren kapalı döngü tedarik zinciri tasarım problemi için geri dönen miktar, geri kazanılan ürüne olan talep ve taşıma maliyeti belirsizlikleri altında robust optimizasyon modeli önermiştir. İlk olarak MILP modeli geliştirilerek robust model elde edilmiştir. Geliştirilen modelin performansı farklı problem kümeleri için deterministik modelle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada yer alan sınıflandırmalarda yukarıda belirlenen her bir özelliğe ait ifadeler için, genellikle belli kısaltmalardan yararlanılmıştır. Söz konusu ifade ve karşılıkları çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Sınıflandırmada yer alan ifadeler ve karşılıkları.

<table>
<tr><th>Model</th><th colspan="2">Belirsizlikler</th></tr>
<tr><td>SP: Stokastik Programlama
RO: Robust Optimizasyon</td><td>R: Geri Dönen Ürün Miktarı
Q: Kalite</td><td>Pc: Üretim Maliyeti
Rpc: Yeniden İşleme Maliyeti</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Amaç Fonksiyonu</td><td rowspan="2">Rr: Geri Dönüş Oranı</td><td rowspan="2">Cc: Toplama Merkezi Kapasitesi</td></tr>
<tr><td rowspan="6">MM: Maliyet Min.
KM: Kâr Maks.
KEM: TL Tesislerini Etkileyen Kötü Etkilerin Min.
CSM: Müşteri Hizmet Seviyesi maks.
KSM: Kalite Seviyesi Maks.
RD: Risk Değeri</td><td>D:Talep</td><td>Dc: Bertaraf Maliyeti</td></tr>
<tr><td>Tc: Taşıma Maliyeti</td><td>Pv: Üretim hacmi</td></tr>
<tr><td>Vc: Değişken maliyetler</td><td>RcQ: Geri kazanılan ürün miktarı</td></tr>
<tr><td>Sc: Ürün Satış Fiyatı</td><td>Agm: Atık geri alma maliyeti</td></tr>
<tr><td>Aşama Sayısı</td><td>Çözüm Metodu</td></tr>
<tr><td>Karar Değişkenleri</td><td>2:İki Aşamalı
Ç:Çok Aşamalı</td><td>TÇ: Tam Çözüm Veren Metot
SE: Sezgisel Metot</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Y:Tesislerin Açılıp Açılmama Kararı
T:Herbir Tesise Gönderilecek Ürün Miktarı</td><td colspan="2">Ağ Yapısı</td></tr>
<tr><td colspan="2">AD: Açık Döngü KD: Kapalı Döngü</td></tr>
</table>

Çizelge 2. TLAT ve modellenmesi ilgili literatür çalışmaları.

Referans	Model	Çözüm Metodu	Aşama sayısı	Ağ Yapısı	Amaç Fonksiyonu	Ürün sayısı	Kapasite Kısıtı	Karar değişkenleri	Uygulama alanı	Belirsizlikler
Listeş (2002)	SP	TÇ	Çok	KD	MM	Tek	Var	Y,T	Kum	D, R
Listeş ve Dekker (2005)	SP	TÇ	2	AD	KM	Tek	Var	Y,T	Kum	D, R
Listeş (2007)	SP	TÇ	2	KD	KM	Tek	Var	Y,T	Elektronik ürün	D, R
Salema vd. (2007)	SP	TÇ	2	KD	MM	Tek	Var	Y,T		D, R
Chouinard vd. (2008)	SP	SE	Çok	KD	MM	Çok	Var	Y,T	-	Pv, RcQ, D
Lee ve Dong (2009)	SP	SE	2	KD	MM	Çok	Var	Y,T	-	D, R
Francas ve Minner (2009)	SP	TÇ	2	KD	KM	Çok	Var	Y,T	-	D, R
Pishvaee vd. (2009)	SP	TÇ	Çok	KD	MM	Tek	Var	Y,T	-	D, R, Q, Vc
Mier vd.. (2009)	SP	SE	2	AD	MM	Tek	Var	Y,T	-	Cc, Tc, R
Wang ve Zhao (2009)	SP	SE	2	KD	MM	Tek	Var	Y,T	Elektrik Güç Sistemleri	D, R
Wei-min ve Mei-jie (2009)	SP	SE	Çok	KD	MM	Tek	Var	Y,T	-	R, D
El-Sayed vd. (2010)	SP	TÇ	Çok	KD	KM	Tek	Var	Y,T	-	D, Rr
Fonseca vd. (2010)	SP	TÇ	Çok	AD	MM, KEM	Çok	Var	Y,T	Katı Atık	Tc, R
Lee vd. (2010)	SP	SE	2	KD	MM	Çok	Var	Y,T	Elektrikli Ürünler	D, R
Kara ve Önüt (2010b)	SP	TÇ	2	KD	KM	Tek	Var	Y,T	Katı Atık	D, R
Kara ve Önüt (2010a)	SP	TÇ	2	AD	KM	Tek	Var	Y,T	Kâğıt	R
Denizel vd. (2010)	SP	TÇ	2	AD	KM	Tek	Var	T	-	Q
Gomes vd. (2011)	SP	TÇ	Çok	KD	MM	Çok	Var	Y,T	Cam	Q
Zeballos vd. (2012)	SP	TÇ	Çok	KD	KM	Çok	Var	Y,T	Cam	R,Q
Hosseinzadeh ve Roghanian (2012)	SP	SE	Çok	KD	MM	Çok	Var	Y,T	-	D
Babazadeh vd. (2012)	SP	TÇ	Çok	KD	MM, RD	Çok	Var	Y,T	-	D, Rr, Q
Amin ve Zhang (2013)	SP	TÇ	Çok	KD	MM	Çok	Var	Y,T	-	D, R
Ayvaz ve Bolat (2013)	SP	SE	Çok	AD	MM	Çok	Var	Y,T	E-Atık	R, Q
Ramezani vd. (2013)	SP	TÇ	Çok	KD	MM, CSM, KSM	Çok	Var	Y,T	-	Sc, Pc, Rpc, Cc, Dc, D, Rr
Realff ve diğ. (2000)	RO	TÇ	Çok	KD	KM	Tek	Yok	Y,T	Halı	R
Realff ve diğ. (2004)	RO	TÇ	Çok	KD	KM	Tek	Yok	Y,T	Halı	R,D
Hong ve diğ. (2006)	RO	TÇ	Çok	KD	KM	Tek	Var	Y,T	Elektronik	R, Agm
Pishvaee ve diğ. (2011)	RO	TÇ	Çok	KD	MM	Tek	Var	Y,T	-	D, R,Tc

2.3 Literatür Taraması Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Literatür taraması sonuçlarına göre yapısında belirsizliği ele almakta stokastik programlama modeli öneren yirmi dört adet çalışma ve robust optimizasyon modeli öneren dört adet çalışma olmak üzere toplamda yirmi sekiz çalışma incelenmiştir. İlk bakışta literatürde robust programlama modeli öneren çalışmalar açısından geliştirilmeye açık bir boş alan bulunduğu dikkati çekmektedir.

TL ağ tasarımı ve modellenmesiyle ilgili yapılmış olan çalışmalar ağ türüne göre iki kategoride sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki sadece tersine akışın ele alındığı açık döngülü modeller ile ileri ve geri akışın birlikte ele alındığı kapalı döngülü modeller olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu açıdan literatür taraması analiz edildiğinde incelenen yirmi sekiz adet çalışmadan altı tanesi açık döngü üzerinde çalışırken, geriye kalan yirmi iki çalışmada kapalı döngülü modellere odaklanılmıştır.

Amaç sayısı açısından çalışmalar incelendiğinde, yirmi sekiz adet çalışmadan yirmi beş tanesinin tek amaçlı, sadece üç tanesinin çok amaçlı modeller olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak çok amaçlı bir yapının hali hazırda karmaşık olan bir stokastik programlama ve robust optimizasyon modellerinin çözümünü daha da karmaşık hale getirmesi düşünülmektedir.

Çizelge 3. Literatürdeki SP modelli çalışmaların amaç sayısına göre sınıflandırılması.

Amaç Sayısı	Literatür Çalışmaları	Adet
Çok Amaçlı	Fonseca vd. (2010); Ramezani vd. (2013); Babazadeh vd. (2012)	3
Tek Amaçlı	Listeş (2002);Listeş (2007);Salema vd. (2007);Chouinard vd. (2008);El-Sayed vd. (2010);Lee ve Dong (2009);Francas ve Minner (2009);Pishvaee vd. (2009);Kara ve Önüt (2010b);Lee vd. (2010);Gomes vd. (2011);Zeballos vd. (2012);Hosseinzadeh ve Roghanian (2012); Amin ve Zhang (2013); Wang ve Zhao (2009);Wei-min ve Mei-jie (2009); Listeş ve Dekker (2005); Kara ve Önüt (2010a); Denizel vd. (2010); Mier vd. (2009); Ayvaz ve Bolat (2013), Realff ve diğ. (2000), Realff ve diğ. (2004), Hong ve diğ. (2006), Pishvaee ve diğ. (2011)	25

TLAT modellerinin amaç fonksiyonlarına bakılacak olursa, yirmi sekiz adet çalışmanın on yedi tanesinde maliyet minimizasyonu, on bir tanesinde kâr maksimizasyonu, bir adet çalışmada tersine lojistik tesislerini etkileyen kötü etkilerin minimizasyonu, bir adet çalışmada risk değeri, bir adet çalışmada kalite seviyesi maksimizasyonu ve müşteri hizmet seviyesi maksimizasyonu ele alınmıştır.

Ele alınan çalışmalar modeldeki atık ürün sayısı açısından incelendiğinde incelenen yirmi dört sekiz çalışmanın on iki tanesi çok ürünlü, on beş tanesi tek ürünlü modeller öneren çalışmalar olduğu görülmektedir.

Belirsizlikler altında tersine lojistik ağ tasarımı literatüründe incelenen yirmi adet çalışmada optimal çözüm veren metotların kullanılmasına karşılık, sekiz adet çalışmada model yapısındaki karmaşıklıktan ötürü sezgisel metotlar tercih edilmiştir.

İncelenen yirmi sekiz adet çalışmanın on tanesinde cam (Gomes vd., 2011; Zeballos vd., 2012), elektrik güç sistemleri (Wang ve Zhao, 2009), elektrikli ve elektronik ürünler (Ayvaz ve Bolat, 2013), elektrikli ürünler (Listeş, 2007), elektronik ürünler (Lee ve diğ, 2010; Hong ve diğ, 2006), kağıt (Kara ve Önüt, 2010a), kum (Listeş, 2002; Listeş ve Dekker, 2005), katı atık (Fonseca ve diğ, 2010; Kara ve Önüt, 2010b), halı (Realff ve diğ, 2000; Realff ve diğ, 2004) ürünleri için tersine lojistik ağı tasarlanmıştır. Geriye kalan on üç çalışmada ise deneysel veriler kullanılarak model önerisinde bulunulmuş ve herhangi bir ürün ya da ürün grubu için tasarlama yapılmamıştır. İncelenen literatür çalışmalarında ele alınan belirsizlikler çizelge 9'da gösterilmektedir.

Çizelge 4. Literatürdeki SP modelli çalışmaların belirsizlik türüne göre sınıflandırılması.

Belirsiz Parametre	**Literatür Çalışmaları**	**Adet**
Geri Dönen Ürün Miktarı	Listeş (2002); Listeş ve Dekker (2005);Listeş (2007);Salema vd. (2007);Fonseca vd. (2010);Lee ve Dong (2009);Francas ve Minner (2009);Pishvaee vd. (2009);Kara ve Önüt (2010b);Kara ve Önüt (2010a);Lee vd. (2010);Zeballos vd. (2012);Amin ve Zhang (2013);Mier vd. (2009);Wang ve Zhao (2009);Wei-min ve Mei-jie (2009);Realff vd. (2000);Hong vd. (2006);Pishvaee vd. (2011); Ayvaz ve Bolat (2013)	20
Talep	Listeş (2002);Listeş ve Dekker (2005);Listeş (2007);Salema vd. (2007);Chouinard vd. (2008);El-Sayed vd. (2010);Lee ve Dong (2009);Francas ve Minner (2009);Pishvaee vd. (2009);Kara ve Önüt (2010b);Lee vd. (2010);Hosseinzadeh ve Roghanian (2012);Babazadeh vd. (2012);Amin ve Zhang (2013);Ramezani vd. (2013);Wang ve Zhao (2009);Wei-min ve Mei-jie (2009); Pishvaee vd. (2011)	18
Toplama Merkezi Kapasitesi	Ramezani vd. (2013); Mier vd. (2009)	2
Taşıma Maliyeti	Fonseca vd. (2010); Mier vd. (2009)	2
Kalite	Pishvaee vd. (2009); Denizel vd. (2010); Gomes vd. (2011); Zeballos vd. (2012); Babazadeh vd. (2012); Ayvaz ve Bolat (2013)	6
Değişken maliyetler	Pishvaee vd. (2009)	1
Geri Dönen Bileşen Miktarı	Xanthopoulos ve Iakovou (2009)	1

Çizelge 4(devam). Literatürdeki SP modelli çalışmaların belirsizlik türüne göre sınıflandırılması.

Belirsiz Parametre	**Literatür Çalışmaları**	**Adet**
Geri Dönüş Oranı	El-Sayed vd. (2010);Babazadeh vd. (2012);Ramezani vd. (2013)	3
Geri kazanılan ürün miktarı	Chouinard vd. (2008)	1
Atık geri alma maliyeti	Hong vd. (2006)	1
Bertaraf maliyeti	Ramezani vd. (2013)	1
Ürün Satış Fiyatı	Ramezani vd. (2013)	1
Üretim Maliyeti	Ramezani vd. (2013)	1
Yeniden İşleme Maliyeti	Ramezani vd. (2013)	1

Yukarıda aktarılan literatür taraması neticesinde belirsizlikleri ele almada tercih edilen stokastik programlama modeli çalışmalarında aşağıdaki hususlarda literatürde boşluklar tespit edilmiştir:

Gerçek hayat koşullarında TLAT bünyesinde birçok belirsizliği barındırmaktadır. Bununla beraber belirsiz parametre sayısındaki artış stokastik programlama modeli çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu sebepten araştırmacılar çalışmalarında geri dönen ürün miktarı, talep, kalite gibi temel belirsizlikleri tek tek ele almayı tercih etmektedirler. Oysaki ağ yapısındaki diğer belirsizliklerin de aynı anda ele alınarak gerçek hayat koşullarına uygun bir şekilde çok sayıda belirsiz parametre içeren modellerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Literatürdeki bir diğer açık nokta da geliştirilen modellerin uygulaması hususunda görülmektedir. Buna göre gerçek verilerle yapılan uygulama sayısı yeterli düzeyde değildir.

TLAT modeli geliştirirken gerçek hayat koşullarını göz önünde bulundurarak çok ürünlü ve çok amaçlı modellerin önerilmesi gerekmektedir. İncelenen çalışmalarda genellikle tek amaçlı modeller önerilmiştir. Bu ise gerçek hayat koşullarına tam olarak uygun değildir. Çünkü işletmeler TL faaliyetlerini ekonomik sebepler dışında, çevresel sorumluluk, müşteri hizmetleri, yasal yükümlülükler vs. nedenlerden dolayı da uygulamaktadırlar. Bunun için TL ağları geliştirilirken bu hususlara ilişkin amaçlar da optimize edilmeye çalışılarak çok amaçlı yapılar geliştirilmelidir.

Çok ürünlü, çok amaçlı ve çok belirsizlik içeren stokastik modellerin çözüm aşaması optimal çözüm veren yöntemlerle çok uzun sürebilir ya da çözüm bulunamayabilir.

Bu gibi durumlarda sezgisel çözüm metotları geliştirilerek yaklaşık sonuçlar elde edilebilir.

TLAT'da belirsiz parametreleri ele almak için stokastik programlama modeli belirsiz parametreye ilişkin olasılık dağılımı bilindiği durumlarda tercih edilmektedir. Fakat her zaman belirsiz parametre için olasılık dağılımı mevcut olmayabilir. Bu gibi durumlarda belirsizlikleri ele almak için bulanık programlama ve robust programlama gibi modelleme teknikleri kullanılmalıdır.

3. SONUÇLAR

Son yıllarda, ekonomik, çevresel faktörler, hükümetlerin koydukları kanunlar, yasal düzenlemeler ve sosyal sorumluluk gibi sebeplerden dolayı firmalar tersine lojistik faaliyetlerini sistemlerine entegre etmek durumunda kalmışlardır. TL ile ilgili literatür çalışmaları son zamanlarda giderek artmakla beraber bu çalışmaların özellikle TLAT konusunda olduğu dikkati çekmektedir. Bununla beraber TLAT literatüründeki açıkları ve çalışma alanlarını göstererek akademisyenleri yönlendirecek çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

TLAT literatüründeki çalışmaları modelleme şekli açısından deterministik modelli çalışmalar ve stokastik programlama modelli çalışmalar olarak iki genel sınıfa ayırmak mümkündür. SP modelli çalışmalar belirsizlikleri ele almakta tercih edilmektedir. Gerçek hayat koşullarında TL ağ tasarımında bir takım parametreler belirsizdir. TL ağlarının karakteristik bir özelliği olan belirsizlik en çok geri dönen atık ürünün zaman, miktar ve kalitesi açsından ortaya çıkmaktadır.

Yapısında belirsizlik olan tersine lojistik ve kapalı döngü ağ tasarım problemleri için kullanılan modelleme yaklaşımları şunlardır: Stokastik programlama, robust optimizasyon. Bu çalışmada belirsizlikler altında TLAT literatürü incelenirken sadece stokastik programlama modeli ve robust optimizasyon modeli öneren yirmi sekiz adet çalışma ele alınmıştır. Çalışmanın amacı belirsizlikler altında TLAT ile ilgili literatürün irdelenip açıkların tespit edilmesidir. Bildiğimiz kadarı ile bu ülkemizde TL ağ tasarımı hususunda belirsizlik literatürünü ele alıp inceleyen ve eksik noktaları tespit eden ilk çalışmadır. Bu açıdan çalışmanın belirsizlikler TLAT literatürünün gelişmesinde ve bu alanda çalışan araştırmacılara yol göstermesi açısından literatüre büyük katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda TLAT için belirsizlikleri ele almada kullanılan diğer yöntemler olan bulanık programlama, bulanık-stokastik programlama modeli öneren çalışmalar da incelenerek daha geniş kapsamlı bir literatür taraması yapılabilir.

KAYNAKLAR

Amin, S.H. ve Zhang, G.,2013, 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.

Ayvaz B. ve Bolat B., (2013), Kalite ve miktar belirsizlikleri altında geri dönüşüm ağ tasarımı, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı:23, s.55-77.

Babazadeh, R., Moghaddam, R. T. ve Razmi, J., 2012, A complex design of the integrated forward-reverse logistics network under uncertainty, International Journal of Industrial Engineering & Production Research, 23, No: 2, 113-123.

Chanintrakul P., Mondragon A.E.C., Lalwani C. ve Wong C.Y. ,2009, Reverse logistics network design: a state-of-the-art literature review, Int. J. Business Performance and Supply Chain Modelling, 1, No. 1, 61-81.

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

Cimino, A., Longo, F. ve Mirabelli, G.,2010, Logistic network design with products returns: a state of the art overview. Proceedings of The International Workshop on Applied Modeling & Simulation, Buzios, Rio de Janeiro: May 5-7, 310-316.

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

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.

Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. ve Van Wassenhove, L.N., 2001, The impact of product recovery on logistics network design, Production and Operations Management, 10(2), 156-173.

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., Povoa, A. P. B. ve Novais, A. Q. , 2011,Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal, Waste Management, 31, 1645–1660.

Hong, I.H., Assavapokee, T., Ammons, J., Boelkins, C., Gilliam, K., Oudit, D., Realff, M. J., Vannícola, 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.

Hosseinzadeh, M. ve Roghanian, E., 2012, An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment using genetic algorithm, International Journal of Business and Social Science, 3, No. 12, 249-264.

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.

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.

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.

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.

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.

Pishvaee, M.S., Jola, F. ve Razmi, J., 2009, A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design, Journal of Manufacturing Systems, 28 (4), 107-114.

Pishvaee, 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.

Rogers, D. ve Tibben-Lembke, R., 1999, Going backwards: reverse logistics trends and practices, Pittsburgh: RLEC Press.

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., Amnions, 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.

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P. ve Novais, A.Q. , 2010, Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework, European Journal of Operational Research, 203, 336–349.

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.

Zeballos, L.J., Gomes, M. I., Povoa, A. P. B. ve Novais, A. Q., 2012, Addressing the uncertain quality and quantity of returns in closed-loop supply chains, Computers and Chemical Engineering, 47, 237– 247.