

## TERSİNE LOJİSTİK AĞ MODELİNİN TAMSAYILI PROGRAMLAMAYLA TASARIMI: ÖMRÜNÜNÜ TAMAMLAMIŞ LASTİK GERİ KAZANIM ÖRNEĞİ

Arzu ORGAN\*, İrfan ERTUĞRUL\*\* ve Özlem FEDAİ DENİŞ\*\*\*

### Özet

Ekonomik, yasal ve ekolojik nedenlerle iade edilen ürünlerin tedarik zinciri içindeki yönetimi önemli konulardan biri haline gelmiştir. Ürünlerin kullanıcılardan üreticilere doğru olan akışına tersine lojistik denmektedir ve bu konu gittikçe artan öneminden dolayı işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin üzerinde durdukları konulardan biri olmuştur.

Bu çalışmada Denizli’de ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanımı için tersine lojistik ağ tasarımı planlanmış ve karma tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak modellenmiştir. Model altı farklı senaryo için oluşturulmuş ve LINGO optimizasyon programıyla çözülmüştür. Her senaryo için toplama bölgelerinden toplanacak ömrünü tamamlamış atık lastik miktarı, taşıma maliyeti, geçici depo açma maliyeti ve elleçleme maliyetleri belirlenmiştir. Modeldeki amaç, ömrünü tamamlamış lastik geri kazanımı için tersine lojistik ağ modelini tasarlayarak, giderler ile gelir arasındaki farkı en küçükleyecek ürün akışını sağlamaktır. Bu çalışmada her senaryo için en uygun depo ve geri kazanım tesisi, kapasite ve konumu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tersine Lojistik, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, Ağ Tasarımı, Ömrünü Tamamlamış Lastik.

### Design of A Network Model by Integer Programming for The Recycling of Used Tires

#### Abstract

The management of the returned goods within the supply chain has become one of the significant issues due to economic, legal and ecologic reasons. Goods’ strain from users to produces is called reverse logistics; and this subject has been focused by managers and academics because of its increasing importance.

At this study the model was built for six different scenarios to be run by the LINGO optimization software. Amount of the collected used tires, costs of transportation, temporary warehouse and material handling are determined for six different scenarios. The purpose of the model is to design the reverse logistics network model for the recycling of the used tires in Denizli so that we obtain the strain of the goods which is minimizing the difference between incomes and expenses. For each scenario, an appropriate warehouse and recycling facility and their capacities and locations were determined.

**Key Words:** Reverse Logistics, Mixed Integer Linear Programming, Network Design, Used Tires.

\* Yrd.Doç. Dr. Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, aorgan@pau.edu.tr

\*\* Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, iertugrul@pau.edu.tr

\*\*\* Öğr.Gör., Pamukkale Üniversitesi, Buldan Meslek Yüksekokulu, ofedai@pau.edu.tr

## GİRİŞ

Tüketicilerin satın alma gücünün yükselmesi nedeniyle her geçen gün atık miktarı artmaktadır. Bunun sonucu olarak, doğal kaynakların gittikçe azalması, çevre konusunda endişeleri de artırmaktadır. Bu kapsamda hükümetlerin koymuş oldukları kanunlar ve kullanılmış ürünlerden elde edilen ekonomik yararların artması nedeniyle atıkların geri kazanımı önemli bir konu haline gelmiştir.

Geri dönüşüm ve kompostlaştırma gibi yöntemlerle atıkların geri kazanılması, ekonomik bir değer oluşturarak, üretim maliyetlerinde ve atık miktarının azaltılmasında önemli bir tasarruf sağlar. Geri kazanılan atıkların üretim girdileri içerisindeki oranının artması ile ekonomik faaliyetlerin doğal kaynaklar üzerindeki ve atıkların da çevre üzerindeki baskısı azalır. Bu yolla atık bertaraf alanlarına olan ihtiyaç azalır, bertaraf maliyetlerinde tasarruf sağlanır ve üretimde kullanılan girdilerin bileşiminin değişmesi ile girdi ve üretim maliyetleri önemli ölçüde düşer. Bu kazanımların ekonomik etkilerinin yanında, insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli pozitif etkiler yaratacağı açıktır (Kaçtıoğlu, Şengül, 2010:90).

Yöneticiler, geri kazanımın öneminin artması ile birlikte, ürünlerin son kullanıcıdan minimum maliyetle nasıl geri toplanacağı sorunu ile karşılaşmışlardır. Ürünlerin nereden, nasıl, kim tarafından ve ne zaman toplanacağı, toplanan ürünlerin nereye gönderileceği, toplama merkezlerinin olup olmayacağı, geri dönüşüm tesislerinin uzaklığı, önemli problemler olarak işletme yöneticilerinin karşısına çıkmıştır. Bu durum, tüm bu faaliyetleri gerçekleştirebilecek optimum ağ tasarımı ihtiyacını doğurmuştur.

Bu çalışmada, Denizli'de ortaya çıkan ömrünü tamamlamış lastik atıklarının toplanması, taşınması, depolanması, sınıflandırılması ve geri dönüşüm tesislerine gönderilmesi için gerekli olan tersine lojistik ağ tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ağın minimum maliyetle optimizasyonunun sağlanması için karma tamsayılı doğrusal programlama metodu kullanılarak bir model geliştirilmiştir.

## I. TERSİNE LOJİSTİK

Lojistik, müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, hammadde, yarı mamul, mamul ve ilgili bilgilerin üretim noktasından tüketim noktasına kadar, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde akışının ve depolanmasının, planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002: 271) .

Lojistik, tedarik zincirinin bir parçasıdır ve ürünlerin, servislerin, paranın ve bilginin ileri ve geri akışını kapsamaktadır. Lojistik yönetimi ülke içi ve ülke dışı nakliye, malzeme taşıma, depolama, stoklama, siparişleri yerine getirme,

dağıtım, üçüncü parti lojistiği ve tersine lojistiği kapsamaktadır (Stevenson, 1993:505).

Lojistik kavramını kendi içerisinde ileri lojistik ve ters lojistik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İleri lojistik, bir dağıtım kanalı içinde ürünlerin üreticilerden müşterilere doğru taşınmasıdır. Tersine lojistik ise bir dağıtım kanalı içinde ürünlerin müşterilerden tekrar geriye doğru üreticilere taşınmasıdır (Murphy, 1986:12). Tersine lojistik, daha çok, ürün iadelerini, kaynak azaltımını, geri dönüşümleri, materyal ikamelerini, malzemelerin yeniden kullanımını, atıkların imhasını, yenilemeleri, tamirleri ve yeniden üretim işlemlerini ifade eder (Stock, 2001: 6).

Tersine lojistik, kullanıcıya artık gerekmeyen kullanılmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadar tüm lojistik aktiviteleri kapsayan bir süreçtir. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel nakliyesini içerir. Sonraki adım geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülme işlemidir (Karaçay, 2005:318).

Literatürde tersine lojistik kavramı ile ilgili çok sayıda tanıma rastlanmaktadır. Örneğin; Dowlatshahi (2005), geri dönüşüm, yeniden üretim ve imha için gönderilen ürünlerin sistematik bir şekilde işlenmesini içine alan bir süreç olarak tanımlamıştır. Rogers ve Tibben-Lembke (1998), tersine lojistiği ürünlerin en son varış noktalarında değerlerini korumak ya da ürünleri doğru bir şekilde imha etmek için taşınma olarak ifade etmektedir. Jayaraman vd. (2003), tersine dağıtım, hem kusurlu ve çevreye zararlı ürünlerin, hem de kullanılabilir ama ömürlerinin sonuna gelmiş ürünlerin müşterilerin ellerinden alınıp taşınmasını kapsayan faaliyetler olarak ifade etmişlerdir (Jayaraman vd., 2003: 128). Tersine lojistik faaliyetleriyle ilişkili olarak en çok kullanılan tanım ise, kullanılmış ürünün en son kullanıcıdan üreticiye fiziksel olarak taşınması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Perakendeciler ve üreticiler de tersine lojistiği farklı olarak algılamaktadırlar. Perakendeciler tersine lojistiği, kullanılmış ürünlerin tüketicilerden kendilerine geri dönüşü olarak, üreticiler ise hatalı ürünlerin kullanıcılardan geri dönüşü olarak algılamaktadırlar.

Tersine lojistik sistemlerinin stratejik faktörleri ise, stratejik maliyet, genel kalite, müşteri hizmeti, çevresel konular ve yasal zorunluluklardır. Tersine lojistikte işletmeye yönelik faktörler ise; fayda-maliyet analizi, taşıma, depolama, tedarik yönetimi, geri dönüşüm ve yeniden üretim ile paketleme olarak belirtilmiştir (Dinç, Erol ve Yüceer, 2008:328).

Tersine lojistik, tedarik ve dağıtım lojistiğinde de geçerli olan çeşitli yöntemler içermesine karşın, kendi içerisinde kendine özgü bazı yöntemleri de

barındırmaktadır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (Uslu ve Akçadağ, 2012:153) :

- **Toplama**, genellikle üretim alanı içinde dağılmış olan atıkların toplanması ile ilgili tüm aktiviteleri kapsar.
- **Ayrıştırma**, atıkların farklı işlemlerden geçirilmek üzere daha küçük hacimlere bölünmesini kapsar.
- **Taşıma ve aktarma**, atıkların imha veya yeniden değerlendirme işlemlerinin yapılacağı yerlere taşınmasını kapsar.
- **Depolama**, taşıma ve aktarmadan önce veya atıkların işlenmesinden önce yer alır. Depolama esas olarak, taşıma ve işleme faaliyetlerinden en yüksek verimliliğin sağlanacağı atık miktarının toplanması amacıyla kullanılır. Atıkların değeri olmadığından ya da düşük değerli olduklarından stoklara ayrılan sermaye, geleneksel depolama faaliyetlerinde olduğu gibi yüksek değildir.
- **İşleme**, atıkların yeniden kullanılabilir hale getirilmesi veya zararsız hale getirilmesi işlemlerini kapsar.

Tersine lojistikte geri dönüşüm bir çok üründe yapılabilmektedir. Örneğin, Barros vd. (1998), Hollanda'da ki inşaat artıklarından gelen kumun geri dönüşüm ağının tasarımını ele almışlardır. Tasarımlarında İki aşamalı lokasyon modelini önermişler ve sezgisel metot kullanarak optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Kleineidam vd. (2000), geri dönüşümü içeren üretim zinciri için bir modelleme yöntemini ele almışlardır. Modelleri kontrol teorisindeki metotları kullanılarak incelemişlerdir. Örnek olay olarak kağıt geri dönüşümünü seçmişlerdir. De Koster vd. (2001), beyaz ve kahverengi eşyaların geri dönüşümü üzerinde durmuş, çalışmalarında dokuz tedarikçi deposunun işlemlerini incelemişlerdir. Gelen ve giden akımları birleştirme ya da ayırma kararını verdiren faktörleri tespit ederek, uygulama için önerilerde bulunmuşlardır. Kaçtıoğlu ve Şengül (2010) da yaptıkları çalışmalarında Erzurum ilindeki ambalaj atıklarının geri kazanımları için tersine lojistik çalışması yapmışlar çalışmada tam sayılı doğrusal programlama yöntemini kullanmışlardır. Uslu ve Akçadağ (2012)'de yaptıkları çalışmalarında ise, ilaç sektöründe tersine lojistik ve dağıtımın rolünü incelemişlerdir.

Tersine ağa giren birçok ürünün önemi son yıllarda daha da iyi anlaşılmıştır. Ömrünü tamamlamış lastikler (ÖTL)'de bunlardan en önemlilerinden birisidir.

## II. UYGULAMA

Türkiye'de 2007 yılında yürürlüğe giren ÖTL Kontrolü Yönetmeliğinde<sup>1</sup>; bisiklet ve dolgu lastikleri hariç, ömrünü tamamlamış diğer tüm lastiklerin atıklardan ayrı olarak toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması, bertarafı, ithalatı, ihracatı ile transit geçişine ilişkin yasal sınırlama ve

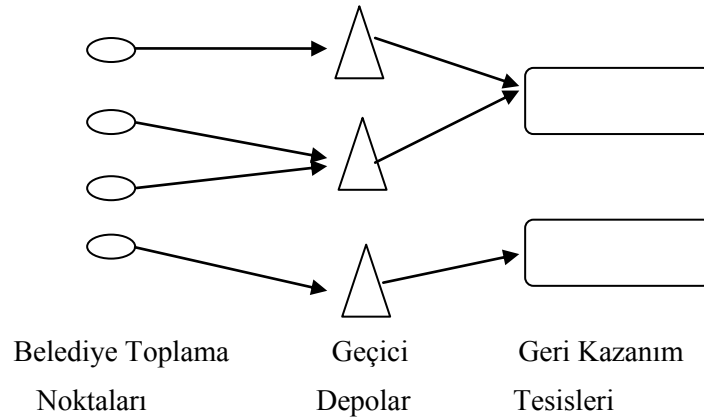
yükümlülükleri, alınacak önlemler, yapılacak denetimler, tabi olunacak hukuki ve cezai sorumluluklar belirlenmiştir.

Denizli’de, ÖTL Yönetmeliği’ne göre geçici depolama iznine sahip ya da bu konuda geri kazanım lisansı almış bir firma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Denizli’de ortaya çıkan ÖTL’nin toplanması için, bir tersine lojistik ağ tasarımı modellenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada, tersine lojistik ağ tasarımı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan karma tamsayılı doğrusal programlama (Mixed Integer Linear Programming: MILP) modeli uygulanmış ve LİNGO optimizasyon yazılımı kullanılarak optimum çözüme ulaşılmıştır.

Uygulama bölümü, aşağıda 4 aşamada anlatılmıştır. 1. olarak, ağ tasarımını yapabilmek için gerekli olan akışların tanıtımı yapılmış ve gerekli açıklamalara yer verilmiştir. 2. aşamada, modelin alt yapısını oluşturabilmek için verilerin elde edilmesi anlatılmış, 3. aşamada ise matematiksel model kurulmuş ve 4. aşamada sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### A. ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ LASTİK GERİ KAZANIMI PROBLEMİ

Ömrünü tamamlamış lastik geri kazanımı için oluşturulan ağ, temelde 2 akıştan oluşmaktadır. Bunlar belediyenin geçici toplama noktalarından (BTN) geçici depolara (GD) olan akış, geçici depolardan geri kazanım lisanslı tesislere (GKT) olan akıştır. Bu akış şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Toplanan ÖTL’nin Belediye Toplama Noktalarından Geçici Depolara ve Geri Kazanım Tesislerine Olan Akışı.

Tersine lojistik modeli, lastiği araçlarında kullanarak ÖTL oluşumuna sebep veren gerçek kişilerin ve lastik satışı yaptıkları için ellerinde ÖTL bulunan tüzel kişilerin, bu lastikleri belediyenin toplama noktalarına (BTN) getirmesi ile başlamaktadır. ÖTL, belediye toplama noktalarından geçici depolama tesislerine (GD) taşınır, daha sonra da ÖTL bu depolardan geri kazanım lisanslı tesislerine

(GKT) taşınmaktadır. Çeşitli işlemlerden geçtikten sonra yeni bir ürün şeklinde ortaya çıkar, ekonomik değeri olan ürünler piyasaya satılır ve bir gelir elde edilir. ÖTL için bu ağ tasarımının akışı ayrıntılı olarak aşağıda anlatılmıştır.

#### ***Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Belediye Toplama Noktalarında Toplanması***

ÖTL'in tüketiciler tarafından belediye toplama noktalarına bırakıldığı varsayılmıştır. Önerilen ağda 5 toplama noktasının olacağı varsayılmaktadır.

#### ***Belediye Toplama Noktasından Geçici Depoya Sevkiyat***

Lisans almış olan geçici depo tesisleri, belediyeler tarafından oluşturulmuş olan ÖTL toplama noktalarında toplanan ÖTL'yi alarak kendi geçici depolarına taşırlar. Bu işlem için taşıma maliyetleri belirlenmiştir.

#### ***Geçici Depo Noktasından Geri Kazanım Tesisine Sevkiyat***

Geçici depo yerlerinde ÖTL'nin en fazla 6 ay depolanacağı yasal düzenlemelerle sınırlandırılmıştır. Geçici depoda ÖTL'nin elleçlenmesi için gerekli olan işçi maliyetleri ve geçici depo açmak için sabit maliyetler hesaplanmıştır. Geçici deponun yerleri tespit edilip, kapasiteleri tahmin edilmiştir.

#### ***Geri Kazanım Tesisinden İkincil Pazara ya da Bertaraf Tesisine Sevkiyat***

Geri kazanım tesislerinde ÖTL genellikle, "kıрма" ve "piroliz" yöntemleriyle geri dönüştürülmektedir (<http://www.lasder.org.tr/> 13.10.2011). Kıрма yöntemi kısaca lastiklerin boyutlarının azaltılması anlamına gelir. Piroliz yöntemi ise, çöp yığınları içindeki cam ve metallerin ayrılmasından sonra geriye kalan ve işe yaramaz gibi görünen organik maddelerin; hava kullanılmadan ısıtılarak: gaz, sıvı yakıt ve kömür'e, yani karbon'a dönüştürülmesi işlemidir. Piroliz işlemi atıklara uygulanacak en kazançlı ve en güvenli yöntemdir. (Ağaç, <http://www.bedriagac.org/index.php/projelerdeneme/lastk-ger-doenuem-tess-13.10.2011>). Bu çalışmada daha fazla geri kazanım elde edildiği için, piroliz yöntemi tercih edilmiştir.

Piroliz uygulaması sonucunda ÖTL içindeki "gazlar", "yağlar", "çelik tel" ve "is karası" ayrıştırılmakta ve ekonomik değeri yüksek maddeler çıktı olarak elde edilmektedir.

Bu yöntemle elde edilen yüksek kalorifik değeri olan yağlar, olduğu gibi kullanılmakla beraber bir rafinaj işlemi sonrasında mazot ve benzeri akaryakıt olarak da kullanılabilir. Ayrıca yağlar, hiçbir değişikliğe gerek kalmadan "elektrik" üretiminde yakıt veya çimento fabrikalarında alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Piroliz yönteminin diğer çıktısı olan gazlar ise yanıcı olma özelliği nedeniyle istenirse kendi tesisinin enerji ihtiyacını karşılamada istenirse gaz olarak kullanım sağlanarak alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Diğer ürün olan “is/karbon karası” ise kauçuk bazlı birçok ürün için hammadde olarak kullanılabilir (http://www.lasder.org.tr/ anasayfa.aspx?MenuID= 34-13.10.2011) .

Ortaya çıkan ürünlerin ikincil piyasalara sevkiyatı alıcı firmalara ait olduğu için geri kazanım tesislerinden bu piyasalara olan taşıma maliyeti modele dahil edilmemiştir.

## B. MODELDEKİ VERİLERİN ELDE EDİLMESİ<sup>ii</sup>

Tersine lojistik ağ tasarımı modelini oluşturabilmek için, öncelikle ÖTL miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra geçici depo maliyetleri, taşıma maliyetleri, hesaplanması, geri kazanım tesislerinin konum kümelerinin belirlenmesi ve belirlenen geri kazanım tesislerine ÖTL'nin taşınması sırasında ortaya çıkan maliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda modelin oluşturulması için gerekli bilgilere yer verilmiştir.

### 1.Geri Kazanılması Beklenen Ömrünü Tamamlamış Lastik Miktarlarının Belirlenmesi

Uygulanan modelde Denizli ili için toplanan atık miktarını bulmak için her şehirde yılda kişi başına 1 atık lastik üretilir kuralı uygulanmıştır ( Strom, 1998:43, www.turcek.org.tr/.12.10.2011). 2011 yılına göre Denizli'nin nüfusu yaklaşık 930.000 kişidir.

Aynı zamanda toplanan atık lastiklerin % 90'nın otomobil lastiği ve % 10'nun kamyon lastiği olduğu kabul edilmiştir (Strom, 1998: 43). Atık bir kamyon lastiğinin ağırlığı yaklaşık 20 kg, bir otomobil lastiğinin ağırlığı ise 10 kg civarındadır (www.teknolojikarastirmalar.com /12.10.2011). Bu veriler ışığında Denizli iline ait hem otomobil lastiği olarak, hem de kamyon lastiği olarak, ömrünü tamamlamış lastiklerin ağırlık hesaplamaları yapılmış ve Tablo 1'de belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Denizli İline Ait Toplam Ömrünü Tamamlamış Lastik Ağırlık Hesaplamaları

	Lastik adedi	Lastik ağırlığı(kg)	Lastik ağırlığı(ton)
Otomobil lastiği	837.000	8.370.000	8.370
Kamyon lastiği	93.000	1.860.000	1.860
Toplam	930.000	10.230.000	10.230

Tablo 1'e göre, Denizli şehri için toplam ÖTL miktarı 10.230 adet olarak bulunmuştur. Denizli'de beş toplama noktası olacağı varsayılmıştır. Bu toplama noktaları ilçelerin yakınlıkları göz önüne alınarak oluşturulmuştur.

## 2. Geçici Depoların Özelliklerinin ve Konum Yerlerinin Belirlenmesi

Geçici depo kurabilmek için Çevre ve Orman Bakanlığı'nca lisans verilmiş olması gerekmektedir. Tasarlanan sistem için geçici depo alanları tespit edilirken, Denizli ilçelerine ait nüfus sayısı göz önüne alınmıştır. Nüfusu 20.000 üstünde olan ilçeler geçici depo konum yerleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca Denizli merkezde de 5 depo konum noktası belirlenmiştir. Tablo 2.'de nüfusu 20.000 üstünde olan ilçeler ve nüfus sayıları verilmiştir.

**Tablo 2.** Geçici Depo Konum Yerleri

İlçeler	Nüfus
Acıpayam	57.533
Buldan	27.092
Çal	22.249
Çameli	19.999
Çivril	61.815
Kale	21.840
Sarayköy	29.854
Tavas	50.703
Honaz	30.530

Tek bir ürün (lastik), söz konusu olduğu için depoların kapasitesi ürün tonajları ile tanımlanabilmektedir. Geçici depoların kapasiteleri ilçe depoları için yıllık 1.325 ton, merkez depolar için 1.855 ton olarak belirlenmiştir.

## 3. Depo Maliyetlerinin Belirlenmesi

Depolardaki en önemli maliyet kalemi sabit maliyetlerdir. Depoların Denizli merkezde ve ilçelerde oluşturulma maliyetleri farklı olacaktır. Stoklama alanı olarak ilçe depoları için 700 m<sup>2</sup> ve merkez için 1000 m<sup>2</sup> 'lik alanlar olarak planlanmıştır. Modelde 2 tip depo kategorisi belirlenmiştir. Yıllık sabit maliyetleri, amortisman giderleri, yıllık sabit enerji giderleri, yıllık sabit ofis giderleri, arsa satın alma maliyeti ve yönetim giderlerinin toplamı ile hesaplanmıştır. Geçici depoların yıllık sabit maliyetleri ilçe depolar için yıllık 62.331 TL ve merkez depolar için 138.266 TL olarak hesaplanmıştır.

Depolardaki bir diğer önemli maliyet kalemi elleçleme maliyetidir. Elleçleme maliyetleri geçici depolardaki işçi maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Geçici depolardaki işçi sayıları, merkez depoları için 10 ve ilçe depoları için 6 olarak belirlenmiştir. Her depoda bir çevre mühendisi çalışacağı kabul edilmiştir. Bu durumda ilçe depoların yıllık elleçleme maliyetleri 86.400 TL, merkez depolar için 120.000 TL olarak hesaplanmıştır.

Geri kazanım tesislerinin yıllık kapasiteleri bu işyerleriyle yapılan görüşmeler ışığında belirlenerek çalışmada yer almıştır.



#### 4. Taşıma Maliyetlerinin Belirlenmesi

Taşıma maliyetlerini hesaplariken, araçların kapasiteleri ve taşıma maliyetleri dikkate alınmıştır. Belediye toplama noktalarından, geçici depo tesislerine ve geçici depolardan da geri kazanım tesislerine ÖTL taşınmasını sağlayan araçlar ortalama 15 ton kapasiteli araçlardır. Tüm araçlar için kilometre başına taşıma maliyeti 1,5 TL olarak belirlenmiştir. Bu durumda toplama noktalarından geçici depolara taşıma maliyeti ve geçici depolardan geri kazanım tesislerine taşıma maliyeti km\*ton başına 0,1 TL olarak belirlenmiştir.

#### 5. Geri Kazanım Tesislerinin ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Mevcut durumda Türkiye’de 15 lisanslı geri kazanım tesis bulunmaktadır. Bu tesislerden sadece Aksaray, Erzincan ve Konya/Merkez’de bulunan firmalar, piroliz yöntemini kullanmaktadır. Modelde geri kazanım işlemi için piroliz yöntemi seçildiğinden bu üç firma geri kazanım tesisi olarak konumlandırılmıştır. Bu tesislerin kapasiteleri firmalarla ve LASDER yetkileriyle yapılan görüşmeler ışığında belirlenmiştir. Tablo 3’de geri kazanım tesislerinin konum kümeleri, kapasiteleri ve Denizli’ye olan uzaklıkları gösterilmiştir.

**Tablo 3:** Geri Kazanım Tesislerinin Konum Kümeleri, Kapasiteleri ve Denizli’ye Olan Uzaklıkları

Konum	Kapasite ((Ton/Yıl)	Denizli’ye Uzaklık (km)
Aksaray	6.000	559
Erzincan	20.000	1156
Konya/Merkez	2.000	415

#### 6. Geri Dönüşüm Sonucu Ortaya Çıkan Yararlı Maddelerin Ton Gelirlerinin Belirlenmesi

Geri dönüşüm sonucu ortaya çıkan yararlı maddelerin gelirlerinin belirlenmesi yaparken, ÖTL sonucu ortaya çıkan gaz, karbon siyahı, yağ ve çelik telin satılması sonucu elde edilen gelirler dikkate alınmıştır. İşleme giren lastik miktarına ve cinsine göre yaklaşık % 40 yağ , % 40 karbon siyahı, % 12 atık çelik tel, % 8 gaz ortaya çıkmaktadır. % 8 oranında ortaya çıkan gaz da ortalama 900-1000 m<sup>3</sup>/gün gaz üretimini sağlamaktadır. Modelde, bir ton yağın satış fiyatı 900 TL, bir ton karbon siyahının satış fiyatı 600 TL, bir ton atık çelik telin satış fiyatı 500 TL, 1000 m<sup>3</sup> gazın satış fiyatı 1.200 TL olarak dikkate alınmıştır.

### C. MATEMATİKSEL MODELİN KURULMASI

#### 1. Modelin Amacı

Modelin amacı, Denizli’de oluşan ÖTL’nin, belirlenen yerlerden toplanarak geçici depolara ve oradan da geri kazanım tesislerine gönderilmesi ağında ortaya çıkan maliyetleri minimum yapan akışları sağlamaktır. Bu amaç

doğrultusunda, olası geçici depo ve geri kazanım tesis noktaları kümesinden uygun olanlar seçilecektir.

### **İndisler**

$i$  : Belediye toplama noktaları (  $i = 1, 2, \dots, 5$  )

$j$  : Geçici ilçe depo noktaları (  $k = 1, 2, \dots, 9$  )

$k$  : Geçici merkez depo noktaları (  $k = 1, 2, \dots, 5$  )

$m$  : Geri kazanım tesisi noktaları (  $m = 1, 2, 3$  )

### **Karar Değişkenleri**

$X1_{ij}$ :  $i$ . belediye toplama noktasından  $j$ . geçici ilçe depo noktasına giden ürün miktarı (ton/yıl)

$X2_{ik}$ :  $i$ . belediye toplama noktasından  $k$ . geçici merkez depo noktasına giden ürün miktarı (ton/yıl)

$X3_{jm}$ :  $j$ . geçici ilçe depo noktasından  $m$ . geri kazanım tesisine giden ürün miktarı (ton/yıl)

$X4_{km}$ :  $k$ . geçici merkez depo noktasından  $m$ . geri kazanım tesisine giden ürün miktarı (ton/yıl)

$Y1_j$ :  $j$ . geçici ilçe depo noktasındaki ürün miktarı (ton/yıl)

$Y2_k$ :  $k$ . geçici merkez depo noktasındaki ürün miktarı (ton/yıl)

$z1_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisindeki ürün miktarı (ton/yıl)

$z2_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisindeki gaz miktarı (ton/yıl)

$z3_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisindeki yağ miktarı (ton/yıl)

$z4_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisindeki karbon siyahı miktarı (ton/yıl)

$z5_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisindeki çelik tel miktarı (ton/yıl)

$n1_j$ :  $j$ . geçici depo olma ya da olmama durumu (1/0)

$n2_k$ :  $k$ . geçici depo olma ya da olmama durumu (1/0)

$n3_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisi olma ya da olmama durumu (1/0)

### **Parametreler**

$a_i$ :  $i$ . belediye toplama noktasındaki atık ÖTL miktarı (ton/yıl)

$b1_{ij}$ :  $i$ . belediye toplama noktası ile  $j$ . geçici depo noktası arasındaki mesafe

$b2_{ik}$ :  $i$ . belediye toplama noktası ile  $k$ . geçici depo noktası arasındaki mesafe

$b3_{jm}$ :  $j$ . geçici depo noktası ile  $m$ . geri kazanım noktası arasındaki mesafe

$b_{4km}$ :  $k$ . geçici depo noktası ile  $m$ . geri kazanım noktası arasındaki mesafe

$c$ : belediye toplama noktalarından geçici depo noktalarına ve geçici depolardan geri kazanım tesisi noktalarına taşıma maliyeti

$d_1$ : geri kazanım işlemi ile oluşan gaz oranı

$d_2$ : geri kazanım işlemi ile oluşan yağ oranı

$d_3$ : geri kazanım işlemi ile oluşan karbon siyahı oranı

$d_4$ : geri kazanım işlemi ile oluşan çelik tel oranı

$e_1$ : gazdan elde edilen gelir

$e_2$ : yağdan elde edilen gelir

$e_3$ : karbon siyahından elde edilen gelir

$e_4$ : çelik telden elde edilen gelir

$f_j$ :  $j$ . geçici ilçe deposunun günlük sabit maliyeti

$f_k$ :  $k$ . geçici merkez deposunun günlük sabit maliyeti

$g_j$ :  $j$ . geçici ilçe deposunun günlük elleçleme maliyeti

$g_k$ :  $k$ . geçici merkez deposunun günlük elleçleme maliyeti

$h_j$ :  $j$ . geçici depo kapasitesi (ton/yıl)

$h_k$ :  $k$ . geçici depo kapasitesi (ton/yıl)

$h_m$ :  $m$ . geri kazanım tesisi kapasitesi (ton/yıl)

### **Modelleme**

#### Amaç Fonksiyonu

Minimum toplam maliyet = Taşıma Maliyetleri + Elleçleme maliyetleri + Geçici Depo Tesislerin Sabit Maliyetleri – Toplam Gelir

$$\begin{aligned}
 \text{Min}Z = & \sum_i \sum_j x_{1ij} * b_{1ij} * c + \sum_i \sum_k x_{2ik} * b_{2ik} * c + \\
 & \sum_j \sum_m x_{3jm} * b_{3jm} * c + \sum_k \sum_m x_{4km} * b_{4km} + \\
 & \sum_i \sum_j x_{1ij} * g_i + \sum_i \sum_k x_{2ik} * g_k + \sum_j f_j * dv_j + \sum_k f_k * dv_k \\
 & - \sum_m (z_{2m} * e_1) - \sum_m (z_{3m} * e_2) - \sum_m (z_{4m} * e_3) - \sum_m (z_{5m} * e_4) \quad (1)
 \end{aligned}$$

KısıtlarAkış kısıtları

$$\sum_i \sum_j x1_{ij} + \sum_i \sum_k x2_{ik} = a_i, i=1,2,\dots,5 \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j x1_{ij} = y1_j, k=1,2,\dots,9 \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_k x2_{ik} = y2_k \quad J=1,2,\dots,5 \quad (4)$$

$$\sum_j \sum_m x3_{jm} + \sum_k \sum_m x4_{km} = z1_m, m=1,2,3 \quad (5)$$

$$\sum_j \sum_m x3_{jm} = y1_j, j=1,2,\dots,9 \quad (6)$$

$$\sum_k \sum_m x4_{km} = y2_k, k=1,2,\dots,5 \quad (7)$$

$$z1_m * d1 = z2_m, m=1,2,3 \quad (8)$$

$$z1_m * d2 = z3_m, m=1,2,3 \quad (9)$$

$$z1_m * d3 = z4_m, m=1,2,3 \quad (10)$$

$$z1_m * d4 = z5_m, m=1,2,3 \quad (11)$$

Kapasite Kısıtları

$$\sum_j y1_j \leq h_j * n1_j, j=1,2,\dots,9 \quad (12)$$

$$\sum_k y2_k \leq h_k * n2_k, k=1,2,\dots,5 \quad (13)$$

$$\sum_m z1_m \leq h_m * n3_m, m=1,2,3 \quad (14)$$

Maksimum Depo ve Tesis Sayısı

$$\sum_j n1_j \leq 9, j=1,2,\dots,9 \quad (15)$$

$$\sum_k n2_k \leq 5 \quad k=1,2,\dots,5 \quad (16)$$

$$\sum_m n3_m \leq 3 \quad m=1,2,\dots,3 \quad (17)$$

Tamsayı Kısıtı

$$n1_j, n2_k, n3_m \in \{0,1\} \quad (18)$$

Negatif Olmama Kısıtı

$$x1_{ij}, x2_{ik}, x3_{jm}, x4_{km}, y1_j, y2_k, z1_m, z2_m, z3_m, z4_m \geq 0 \quad (19)$$

Eşitlik (1), tüm maliyetleri ve geliri içeren amaç fonksiyonudur. (2) *i*. toplama noktasından *j*. geçici ilçe depo noktalarına ve *k*. merkez depo noktalarına giden ürün miktarının *i*. toplama noktasındaki ürün miktarına denkliğini gösteren kısıttır. (3) *j*. Geçici ilçe depo noktalarına tüm *i*. toplama noktalarından gelen ürün miktarının geçici ilçe depodaki ürün miktarına denk olması kısıttır. (4) *k*. Geçici merkez depo noktalarına tüm *i*. toplama noktalarından gelen ürün miktarının geçici merkez depodaki ürün miktarına denk olması kısıttır. (5) *m*. geri kazanım tesisine tüm *j*. geçici ilçe depo noktalarından ve *k*. geçici merkez depo noktalarından gelen ürün akış miktarının *m*. geri kazanım tesisindeki ürün miktarına denk olması kısıttır. (6) *j*. geçici ilçe depo noktasından tüm *m*. geri kazanım tesislerine olan ürün akış miktarının *j*. ilçe depo noktasındaki ürün miktarına denk olması kısıttır. (7) *k*. geçici merkez depo noktasından tüm *m*. geri kazanım tesislerine olan ürün akış miktarının *k*. merkez depo noktasındaki ürün miktarına denk olması kısıttır. (8) tüm *m*. geri kazanım tesislerindeki ürün miktarından d1 ürün oranı ile elde edilen gaz miktarının *m*. geri kazanım tesisindeki gaz miktarına denkliği kısıttır. (9) tüm *m*. geri kazanım tesislerindeki ürün miktarından d2 ürün oranı ile elde edilen yağ miktarının *m*. geri kazanım tesisindeki yağ miktarına denkliği kısıttır. (10) tüm *m*. geri kazanım tesislerindeki ürün miktarından d3 ürün oranı ile elde edilen karbon siyahı miktarının *m*. geri kazanım tesisindeki karbon siyahı miktarına denkliği kısıttır. (11) tüm *m*. geri kazanım tesislerindeki ürün miktarından d4 ürün oranı ile elde edilen çelik tel miktarının *m*. geri kazanım tesisindeki çelik tel miktarına denkliği kısıttır. (12) *j*. geçici ilçe deposundaki ürün miktarının depo kapasitesine eşit ya da küçük olmasıdır. (13) *k*. geçici merkez deposundaki ürün miktarının depo kapasitesine eşit ya da küçük olmasıdır. (14) *m*. geri kazanım tesisindeki ürün miktarının geri kazanım tesisi kapasitesine eşit ya da küçük olmasıdır. (15) olması istenen maksimum *j*.geçici ilçe depo kısıttır. (16) olması istenen maksimum *k*.geçici merkez depo kısıttır. (17) olması istenen maksimum *m*. geri kazanım tesisi kısıttır. (18) geçici depo ve geri kazanım tesislerinin açılıp açılmaması gerekliliğini gösteren 0-1 tamsayı kısıttır. (19) negatif olmama kısıttır.

#### D. MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Gelişmiş ülkelerde atıkların toplanma oranları %80-90 civarındadır. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu oran çok düşüktür. Bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde bu oran en fazla % 60 oranına kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada ÖTL'nin % 45 ile % 65 oranında toplanması durumu dikkate alınarak senaryolar oluşturulmuş, ayrıca en iyi ihtimal olan % 90'nın toplanması durumu da eklenerek 6 senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolarla atık lastiklerin % 45, % 50, % 55, % 60, % 65 ve % 90'nın toplanması durumlarında ortaya çıkacak maliyetler minimize edilmeye çalışılmıştır.

##### Senaryo 1: ÖTL'nin % 45 Oranında Toplanması Durumu

ÖTL'nin % 45 oranında toplanmasına göre belediye toplama merkezlerinden, depolara gönderilen ÖTL miktarları Tablo 4'de verilmiştir. Depolardan da geri kazanım tesislerine gönderilen ÖTL miktarları Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 4:** Senaryo 1'e Göre Belediye Toplama Bölgelerinden Geçici Depolara Giden ÖTL Miktarları (Ton/Yıl)

Toplama Noktası	Sarayköy GD	Buldan GD	Honaz GD	Acıpayam GD
1. Bölge	425,7			
2. Bölge	478,55	234,25		
3. Bölge			435,6	
4. Bölge	420,75			
5. Bölge		1090,75		977,9

**Tablo 5:** Senaryo 1'e Göre Açılan Geçici Depolardan Geri Kazanım Tesislerine Giden ÖTL Miktarları (Ton/Yıl)

	Aksaray GKT	Erzincan GKT	Konya GKT
Sarayköy GD	1325		
Buldan GD			1325
Honaz GD			435,6
Acıpayam GD	738,5		239,4

LİNGO programından elde edilen verilere göre, belediye toplama bölgelerinden toplanan ÖTL'ler en iyi çözüm olarak Sarayköy, Buldan, Honaz ve Acıpayam geçici depolarına gönderilmiştir. Bu depolara gelen ÖTL de, önce Konya geri kazanım tesisine, sonra da Aksaray geri kazanım tesisine gönderilmiştir. ÖTL'nin % 45'inin toplanmasına göre maliyet 2.420.003 TL olarak bulunmuştur.

##### Senaryo 2: ÖTL'nin % 50 Oranında Toplanması Durumu

ÖTL'nin % 50 oranında toplanmasına göre belediye toplama merkezlerinden, depolara gönderilen ÖTL miktarları Tablo 6'da verilmiştir. Depolardan da geri kazanım tesislerine gönderilen ÖTL miktarları ise Tablo 7'de verilmiştir

**Tablo 6:** Senaryo 2 İçin Toplama Bölgelerinden Geçici Depolara Giden ÖTL Miktarları (Ton/Yıl)

Toplama Noktaları	Sarayköy GD	Buldan GD	Honaz GD	Acıpayam GD
1. Bölge	473			
2. Bölge	384,5	407,5		
3. Bölge			484	
4. Bölge	467,5			
5. Bölge		917,5	656	1325

**Tablo 7:** Senaryo 2'ye Göre Açılan Geçici Depolardan, Geri Kazanım Tesislerine Giden ÖTL Miktarları (Ton/Yıl)

	Aksaray GKT	Erzincan GKT	Konya GKT
Sarayköy GD	1325		
Buldan GD			1325
Honaz GD	465		675
Acıpayam GD	1325		

Senaryo 2 için belediye toplama bölgelerinden toplanan ÖTL en iyi çözüm için Sarayköy, Buldan, Honaz ve Acıpayam geçici depolarına gönderilmiştir. Bu depolara gelen ÖTL de, önce Konya geri kazanım tesisine daha sonra da Aksaray geri kazanım tesisine gönderilmiştir. ÖTL'nin %50'sini toplamayı öngören senaryo 2 için de maliyet 3.054.271 TL olarak bulunmuştur.

***Senaryo 3: ÖTL'nin % 55 Oranında Toplanması Durumu***

ÖTL'nin % 55 oranında toplanmasına göre belediye toplama merkezlerinden, depolara gönderilen ÖTL miktarları Tablo 8'de verilmiştir. Depolardan da geri kazanım tesislerine gönderilen ÖTL miktarları Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 8:** Senaryo 3 İçin Toplama Bölgelerinden Geçici Depolara Giden ÖTL Miktarları(Ton/Yıl)

Toplama Noktaları	Sarayköy GD	Buldan GD	Honaz GD	Acıpayam GD	Çal GD
1. Bölge	520,3				
2. Bölge	290,45	580,75			
3. Bölge			532,4		
4. Bölge	514,25				
5. Bölge		744,25	792,6	1325	326,15

**Tablo 9:** Senaryo 3'e Göre Açılan Geçici Depolardan Geri Kazanım Tesislerine Giden ÖTL Miktarları(Ton/Yıl)

	Aksaray GKT	Erzincan GKT	Konya GKT
Sarayköy GD	1325		
Buldan GD			1325
Honaz GD	1325		
Acıpayam GD	650		675
Çal GD	326,15		

Senaryo 3 için belediye toplama noktalarından toplanan ÖTL, senaryo 1 ve 2'ye göre açılan geçici depolara ek olarak Çal geçici deposuna da ÖTL göndermiştir. Bu depolara gelen ÖTL de önce Konya geri kazanım tesisine sonra da Aksaray geri kazanım tesisine gönderilmiştir. Senaryo 3'de ÖTL'nin % 55'inin toplanması öngörülmüş ve maliyet 3.363.008 TL olarak bulunmuştur.

*Senaryo 4: ÖTL'nin % 60 Oranında Toplanması Durumu*

ÖTL'nin % 60 oranında toplanmasına göre belediye toplama merkezlerinden, depolara gönderilen ÖTL miktarları Tablo 10'da verilmiştir. Depolardan da geri kazanım tesislerine gönderilen ÖTL miktarları Tablo 11'de verilmiştir.

**Tablo 10:** Senaryo 4 İçin Toplama Bölgelerinden Geçici Depolara Giden ÖTL Miktarları(Ton/Yıl)

Toplama Noktaları	Sarayköy GD	Buldan GD	Honaz GD	Acıpayam GD	Çal GD
1. Bölge	567,6				
2. Bölge	196,4	754			
3. Bölge			580,8		
4. Bölge	561				
5. Bölge		571	744,2	1325	838

**Tablo 11:** Senaryo 4'ye Göre Açılan Geçici Depolardan Geri Kazanım Tesislerine Giden ÖTL Miktarları(Ton/Yıl)

	Aksaray GKT	Erzincan GKT	Konya GKT
Sarayköy GD	1325		
Buldan GD	1325		
Honaz GD	650		675
Acıpayam GD			1325
Çal GD	838		

Senaryo 4 için belediye toplama noktalarından toplanan ÖTL, senaryo 1 ve 2'ye göre açılan geçici depolara ek olarak Çal geçici depoya da ÖTL göndermiştir. Bu depolara gelen ÖTL de önce Konya geri kazanım tesisine sonra da Aksaray geri kazanım tesisine gönderilmiştir. ÖTL'nin %60'sinin toplanmasını öngören senaryo 4 için maliyet 3.672.146 TL olarak hesaplanmıştır.

*Senaryo 5 : ÖTL'nin % 65 Oranında Toplanması Durumu*

ÖTL'nin % 65 oranında toplanmasına göre belediye toplama merkezlerinden, depolara gönderilen ÖTL miktarları Tablo 12'de verilmiştir. Depolardan da geri kazanım tesislerine gönderilen ÖTL miktarları ise aşağıdaki Tablo 13'de verilmiştir.



**Tablo 12:** Senaryo 5 İçin Toplama Bölgelerinden Depolara Giden ÖTL Miktarları(Ton/Yıl)

Toplama Noktaları	Sarayköy GD	Buldun GD	Honaz GD	Acıpayam GD	Çal GD	Tavas GD
1. Bölge	614,9					
2. Bölge	126,85	902,75				
3. Bölge			629,2			
4. Bölge	583,25					24,5
5. Bölge		422,25	695,8	1325	1325	

**Tablo 13:** Senaryo 5'ye Göre Açılan Geçici Depolardan Geri Kazanım Tesislerine Giden ÖTL Miktarları (Ton/Yıl)

	Aksaray GKT	Erzincan GKT	Konya GKT
Sarayköy GD	1325		
Buldun GD	1325		
Honaz GD	650		675
Acıpayam GD			1325
Çal GD	1325		
Tavas GD	24,5		

ÖTL'nin % 65 oranında toplanması senaryosuna göre, tüm geçici depolara ek olarak Tavas geçici deposu açılmıştır. Geçici depolara gelen ÖTL buralardan Aksaray ve Konya geri kazanım tesislerine gönderilmiş ve maliyet 3.981.260 TL olarak bulunmuştur.

*Senaryo 6: ÖTL'nin % 90 Oranında Toplanması Durumu*

ÖTL'nin % 90 oranında toplanmasına göre, belediye toplama merkezlerinden, depolara gönderilen ÖTL miktarları aşağıdaki Tablo 14'de verilmiştir. Depolardan da geri kazanım tesislerine gönderilen ÖTL miktarları aşağıdaki Tablo 15'de verilmiştir.

**Tablo 14:** Senaryo 6 İçin Toplama Bölgelerinden Depolara Giden ÖTL Miktarları(Ton/Yıl)

Toplama Noktaları	Sarayköy GD	Buldun GD	Honaz GD	Acıpayam GD	Çal GD	Tavas GD	Kale GD	Çameli GD
1. Bölge	851,4							
2. Bölge	473	566,2					385,8	
3. Bölge								871,5
4. Bölge						841,5		
5. Bölge		758,8	1325	1325	1325	483,5		

**Tablo 15:** Senaryo 6'ye Göre Açılan Depolardan Geri Kazanım Tesislerine Giden ÖTL Miktarları (Ton/Yıl)

	Aksaray GKT	Erzincan GKT	Konya GKT
Sarayköy GD			1325
Buldan GD	118	1207	
Honaz GD	1325		
Acıpayam GD	650		675
Çal GD	1325		
Tavas GD	1325		
Kale GD	385,8		
Çal GD	871,2		

Senaryo 6'da ÖTL'nin % 90'nın toplanmasıyla elde edilen ÖTL miktarı göz önüne alınarak LINGO programı çalıştırılmış, bu durumda ilave olarak Kale ve Çameli geçici depoları açılmıştır. Depolardan Aksaray ve Konya geri kazanım tesisine ek olarak, Erzincan geri kazanım tesisine de ürün gönderilmiş ve toplam maliyet 5.600.767 TL olarak bulunmuştur. İlk beş senaryo da toplam maliyetler birbirine yakındır, senaryo 6 da ise açılan depo sayısının artması ve Erzincan geri kazanım tesisine de ürün gönderilmesi, maliyetlerin oldukça yükselmesine neden olmuştur.

En düşük maliyet ÖTL'nin % 45'inin toplanması senaryosuna göre bulunmuştur. Maliyet senaryo 1 için 2.420.003 TL olarak bulunmuştur. Toplanan ÖTL miktarı senaryo 2'de % 5 arttırılmış, bu durumda yeni depo açılmadığı için sabit maliyetler değişmemiş ancak taşıma ve elleçleme maliyetlerindeki artış nedeniyle toplam maliyette 634.268 TL'lik bir artış ortaya çıkmış ve toplam maliyet 3.054.271 TL olarak bulunmuştur. Senaryo 3 ve 4 ise ilave olarak yeni iki depo daha açılması senaryo 3 için toplam maliyetin 3.363.008 TL ve senaryo 4 için de 3.672.146 TL olmasına yol açmıştır. Senaryo 5 de ise ilave olarak bir depo daha açılmış ve yine sabit maliyetlerde ki artış nedeniyle toplam maliyet 3.981.260 TL olarak bulunmuştur. İlk beş senaryoda Aksaray ve Konya geri kazanım tesisine ürün gönderilmiştir. ÖTL'nin % 90'nın toplanmasını öngören Senaryo 6 için ise sekiz geçici depo açılmış ve üç geri kazanım tesisine de ürün gönderildiği için en yüksek toplam maliyet değeri olan 5.600.767 TL bulunmuştur. Bu durum da toplanan ÖTL miktarının artmasının toplam maliyetleri yükselttiğini göstermiştir.

Her beş senaryoda da merkez depolara ürün gönderilmemiştir. Bunun nedeni merkezde depo açmanın maliyetinin ilçelerde depo açma maliyetinden daha yüksek olmasıdır.

## SONUÇ

Çalışmada ÖTL'nin çevreye en az zarar verecek şekilde geri kazanımını sağlayan piroliz yöntemi seçilerek geri dönüşüm ağ tasarımı ele alınmıştır. Literatürde ÖTL geri kazanımı için ağ tasarımı içeren her hangi bir kavramsal modele rastlanmamıştır. Yapılan bu tersine lojistik ağ tasarımı çalışmasıyla,

açılacak geçici depolama noktalarının ve geri kazanım tesis noktalarının konum kümelerinin seçilmesi, toplanan ÖTL'nin belediye toplama noktalarından geçici depolara ve oradan da geri kazanım tesislerine gönderilecek miktarlarının ve taşıma maliyetlerini belirlenmesi, açılacak depo ve tesislerin sabit ve işleme maliyetlerinin belirlenmesi yapılmıştır.

Modelde Denizli beş bölgeye ayrılmış ve her bölge bir toplama bölgesi olarak düşünülmüştür. Denizli'deki nüfusu 20.000 geçen ilçeler geçici depo noktası olarak düşünülmüştür. Nüfusu 20.000 altında olan ilçelerde kendilerine yakın olan ilçelere dahil edilmiştir. Kişi başına bir atık lastiğin ortaya çıktığı kabul edilmiştir

Bu çalışmada ortaya çıkacak ÖTL miktarının % 45, % 50, % 55, % 60, % 65 ve % 90'nının toplanması durumunda toplam maliyetlerin ne olacağı, dikkate alınarak 6 senaryo incelenmiştir. ÖTL'nin % 45 toplanması durumunda, toplam maliyet 2.420.003 TL, ÖTL'nin % 50 toplanması durumunda 3.054.271 TL, ÖTL'nin % 55 toplanması durumunda, 3.363.008 TL, ÖTL'nin % 60 toplanması durumunda 3.672.146 TL, ÖTL'nin % 65 toplanması durumunda 3.981.260 TL ve ÖTL'nin % 90 toplanması durumunda 5.600.767 TL bulunmuştur.

En düşük maliyet, ÖTL'nin % 45'inin toplanması öngörülmesi olan senaryo 1 için 2.420.003 TL olarak bulunmuştur. Toplanan ÖTL miktarı senaryo 2'de % 5 arttırılmış, bu durumda yeni depo açılmadığı için sabit maliyetler değişmemiş ancak taşıma ve elleçleme maliyetlerindeki artış nedeniyle toplam maliyette 634.268 TL'lik bir artış ortaya çıkmış ve toplam maliyet 3.054.271 TL olarak bulunmuştur. Senaryo 3 ve 4 ise ilave olarak yeni iki depo daha açılması senaryo 3 için toplam maliyetin 3.363.008 TL olmasına ve senaryo 4 için de 3.672.146 TL olmasına yol açmıştır. Senaryo 5 de ise ilave olarak bir depo daha açılmış ve yine sabit maliyetlerde ki artış nedeniyle toplam maliyet 3.981.260 TL olarak bulunmuştur. Her beş senaryoda da Aksaray ve Konya geri kazanım tesisine ürün gönderilmiştir. ÖTL'nin % 90'nın toplanmasını öngören senaryo 6 için sekiz geçici depo açılmış ve üç geri kazanım tesisine de ürün gönderildiği için en yüksek toplam maliyet değeri olan 5.600.767 TL bulunmuştur.

Yapılan çalışmada çıkan sonuçların kar yerine zarar getirmesi anlaşılabilir bir durumdur. Bunun nedeni, geri dönüşüm sonucu ortaya çıkan ürünler genellikle hurda değerinde olduğundan piyasa satış fiyatları oldukça düşüktür. Yapılan işlemler emek yoğun ağırlıklı bir süreç içerdiğinden elleçleme maliyetleri yüksektir. Yine geçici depo ve geri dönüşüm tesislerini açmak için yapılan sabit maliyetlerin yüksek olması toplam maliyetlerin de yüksek olmasına neden olmuştur.

Geri dönüşüme sadece ekonomik değer olarak bakmak yeterli değildir. Bu durum geri dönüşümün diğer boyutlarının göz ardı edilmesine neden olacaktır. Özellikle çevre açısından yararları mutlaka göz önüne alınmalıdır.

ÖTL geri dönüşümü gerçekleştirilirken en önemli konu atıkların toplanması aşamasında ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan ÖTL miktarı kaynağında toplanmalıdır. Etkin bir toplama işlemi yapabilmek için lastik kullanıcıları yasal durumdan haberdar edilip çevre konusunda bilinçlendirilmelidir. Bu bilinçlenme geri kazanımdaki yüksek elleçleme maliyetlerinin düşmesine de yardımcı olacaktır.

ÖTL maliyetlerinde en önemli kalemlerden biri taşıma maliyetleridir. Taşıma maliyetlerini düşük tutmak için geçici depoların ve geri dönüşüm tesislerinin yeri iyi belirlenmelidir. Depoların ve geri dönüşüm tesislerinin toplama noktalarına yakın kurulması taşıma maliyetlerini düşürebilecektir.

Geçici depo ve geri kazanım tesisi açmak maliyetli olduğu için bu tip tesisler kurulurken sadece kurulduğu ilin değil çevre illerinde atık lastik miktarı göz önüne alınabilir. Böylece birkaç tane tesis açmak yerine yüksek kapasiteli tesis açarak ölçek ekonomilerinden yararlanılabilir.

Geçici depo ve geri kazanım tesisi açmak maliyetli olduğu için, tesis kurulumları için Çevre ve Şehircilik Bakanlığından teşvik alınarak maliyetler düşürülebilir.

Bu çalışmada kullanılan ağ tasarımı geliştirilerek tüm illerin atık lastiklerinin geri kazanımını kapsayan bir çalışmada kullanılabilir. Ayrıca modele ikincil piyasalara taşıma ağıda ilave edilebilir. Buna benzer tersine lojistik konusunda ki çalışmalar arttıkça geri kazanım konusunda önemli gelişmeler gerçekleşecektir.

#### **KAYNAKLAR**

- AĞAÇ, B. (2011), “Lastik Geri Dönüşüm Tesisi”, <http://www.bedriagac.org/index.php/projelerdeneme/lastk-ger-doenuuem-tess>, (13.10.2011)
- BARROS, A.I., R. DEKKER, V. SCHOLTEN,(1998) ,“A Two-Level Network For Recycling Sand: A Case Study”, European Journal of Operational Research 110, 199-214
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2011), <http://atikyonetimi.cevreorman.gov.tr>, (01.11.2011)
- DE KOSTER, M.B.M., M.A. Van De VENDEL and M.P. BRİTO (2001), “How to Organise Return Handling: An Exploratory Study With Nine Retailer Warehouses” , ERIM Report Series in Management, ERS-2001-49-LIS, Erasmus University Rotterdam (International Journal of Retail & Distribution Management, Fortcoming)

- DİNÇ, K., S. EROL ve Ü. YÜCEER (2008), “Tersine Dağıtım Sistemlerinde Yeni Bir Model”, 1. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Ün., Ankara, 327-336
- DOWLATSHAHI, S. (2005), “A Strategic Framework For The Design And Implementation Of Remanufacturing Operations İn Reverse Logistics”, , International Journal Of Production Research, 43: 16, 3455-3480
- FEDAİ DENİŞ, Özlem (2012), “Tersine Lojistik ve Denizli İlinde Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanımı İçin Tersine Lojistik Ağ Modelinin Tamsayı Programlamayla Tasarımı”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üni. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- FLEİSCHMANN, M., J.M. BLOEMHOF-RUWAARD (1997), “Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review”, European Journal of Operational Research, 103, 1-17
- JAYARAMAN,V., R. A. PATTERSON and E. ROLLAND (2003), “The Design Of Reverse Distribution Networks: Models And Solution Procedures”, European Journal Of Operational Research 150, 128–149.
- KAÇTIOĞLU, S. ve Ü. ŞENGÜL (2010), “Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı Ve Bir Karma Tamsayı Programlama Modeli”, Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 24, Sayı: 1, 89-112
- KARAÇAY, G. (2005), “Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş”, <http://sosyalbilimler.cukurova.edu.tr/dergi/dosyalar/2005.14.1.215.pdf>, (15.09.2012)
- KLEİNEİDAM, U., A.J.D. LAMBERT, J. BLANSJAAR, J.J. KOK and R.J.J. HEIJNİNGEN (2000) “Optimising Product Recycling Chains By Control Theory”, International Journal of Production Economics, 66, 2, 185-195
- LASDER (2011), <http://www.lasder.org.tr/> (13.10.2011)
- Lojistürk (2011), [http://www.lojisturk.net/haber.php?hid=1308815977-\(9.10.2011\)](http://www.lojisturk.net/haber.php?hid=1308815977-(9.10.2011))
- ERTURGUT, Ramazan (2008), “Enerji Dönüşümü ve Geri Kazanımı Açısından Akü ve Pillerin Enerji Dönüşümü ve Geri Kazanımı Açısından Akü ve Pillerin Kullanım Döngüsünün Tedarik Zinciri Ve Tersine Lojistik Yönüyle İrdelenmesi”, 10. International Combustion Symposium, Sakarya Üniversitesi, [www.teknolojikarastirmalar.com](http://www.teknolojikarastirmalar.com),(12.10.2011)
- RLEC (2011) <http://www.rlec.org> (11.10.2011)
- ROGER DALE, S. and R.S. TİBBEN-LEMBKE (1998), Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices, University of Nevada, Reno Center for Logistics Management.

- STEVENSON, W. J. (1993), Production/Operation Management, Richard D. Irwin Inc., New York
- STOCK, J.R.. (2001), The 7 Deadly Sins Of Reverse Logistics, Material Handling Management, 56, 3, ABI/INFORM Global: MH, 5-11
- TİBBEN-LEMBKE, R.S. and, D.S, ROGERS (2002), “Differences Between Forward And Reverse Logistics İn A Retail Environment”, Supply Chain Management: An İnternational Journal Volume 7, Number 5, 271-282
- TÜRÇEK (2011), [www.turcek.org.tr/](http://www.turcek.org.tr/), (20.11.2011)
- TURKO, (2011), <http://www.turkorecycling.com> (12.10.2011)
- USLU, Ş. ve M. AKÇADAĞ ( 2012), “İlaç Sektöründe Tersine Lojistik ve Dağıtımın Rolü: Bir Uygulama”, Nigde Üni. İİBF. Dergisi, Sayı:1,149-158

---

**Notlar:**

<sup>i</sup> 25.11.2006 tarih ve 26357 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır.

<sup>ii</sup> Çalışmanın uygulama bölümünde yer alan veriler, Fedai Deniş, Ö. (2012),“Tersine Lojistik ve Denizli İlinde Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanımı İçin Tersine Lojistik Ağ Modelinin Tamsayılı Programlamayla Tasarımı”, adlı yayımlanmamış yüksek lisans tezinden alınmıştır.