

# SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNDE AMBALAJ ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNE DOĞRUSAL PROGRAMLAMA UYGULAMASI

Ahmet ERGÜLEN <sup>1</sup>, Zeynep ÜNAL<sup>2</sup>

## ÖZ

Tüketicilerin isteklerini karşılayacak kaynaklar tükenme tehlikesiyle karşı karşıyayken, ambalaj atıklarının sürdürülebilir bir dünya için geri dönüştürülmesi gereği gündeme gelmiştir. Çalışmaya konu olan ildeki 4 toplama bölgesinden ambalaj atıklarının toplanarak Toplama-Ayırma Tesisine (TAT) sevkiyatında ortaya çıkan maliyetleri minimize etmek ve maliyetleri minimize edecek ambalaj atık miktarlarını belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ambalaj atıklarının toplanarak tesise sevkiyatında ortaya çıkan maliyetleri minimize edecek doğrusal programlama modeli kurulmuştur. Model LINDO 6.01 programıyla çözülmüştür. Çalışma sonucunda, modele ait veriler ile tesise ait veriler karşılaştırıldığında 22.730 TL tasarruf miktarının oluştuğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir Kalkınma, Geri Dönüşüm, Ambalaj Atıkları

---

\*Bu çalışma, 2011 yılında Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Prof. Dr. Ahmet Ergülen danışmanlığında tamamlanan Zeynep Ünal'ın "Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü: Bir Toplama-Ayırma Tesisinde Doğrusal Programlama Uygulaması" adlı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

<sup>1</sup>Prof. Dr. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Sayısal Yöntemler Ana Bilim Dalı, aergulen(at)konya.edu.tr

<sup>2</sup>Öğr. Gör. Nevşehir HBV Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, zeynepunal(at)nevsehir.edu.tr

# RECYCLING OF PACKAGING WASTE IN SUSTAINABILITY FRAMEWORK: APPLICATION OF LINEAR PROGRAMMING

## ABSTRACT

While the resources to meet consumer demands are in danger of exhaustion, packaging waste needs to be recycled for a sustainable world. It is aimed to collect the packaging waste from the 4 collection areas on the subject and to determine the packaging waste amounts to minimize the costs and minimize the costs of shipment to the Collection and Separation Plant (TAT). For this purpose, then a linear programming model was formulated to minimize the costs occurred in the network of collection and delivery of packaging waste. The model was solved with LINDO 6.01 program. At the end of study: between the facility cost and the model cost a saving amount of TL 22.730 were found.

**Keywords:** Sustainable Development, Recycling, Packaging Waste

Ergülen, Ahmet ve Ünal, Zeynep. “Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü Üzerine Doğrusal Programlama Uygulaması”. *ulakbilge* 6. 22 (2018): 279-296

Ergülen, A. Ünal, Z. (2017). Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü Üzerine Doğrusal Programlama Uygulaması. *ulakbilge*, 6(22), s.279-296.

## Giriş

“Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü” konusu literatüre girdiğinden bu yana dünyada bir çok çalışma yapılmıştır. Türkiye’de yapılan çalışmalarda ise, geri dönüşüm ve çevre konuları incelenmiş ancak, ambalaj atıklarının geri dönüşümü üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Türkiye’de ve yurtdışında, Sürdürülebilir Kalkınma ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü konuları üzerine ayrı olarak çalışmalar yapılmış; ancak, sürdürülebilir kalkınma ve ambalaj atıklarının geri dönüşümünü ilişkilendirerek inceleyen özel bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma, ambalaj atıklarının geri dönüşümünün sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde önemini ortaya koymak ve ambalaj atıklarının, toplama bölgelerinden, Toplama Ayırma Tesisine (TAT) sevkiyatında açığa çıkan maliyetleri minimize etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, uygulamaya konu olan veriler ve tesis kayıtları, yetkili görevli ile görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Aksaray’da faaliyette bulunan ambalaj atıklarını toplama ve ayırma tesisinde, ambalaj atıklarının toplama bölgelerinden tesise sevkiyatında açığa çıkan maliyetler minimize edilmeye çalışılmıştır.

## 2.Sürdürülebilir Kalkınma

Doğal kaynakların azalması gelecek nesillerin refahını tehlikeye atmaktadır. Bu doğrultuda, sürdürülebilirlik kavramı karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez, Brundtland Raporu’nda, bugünün ihtiyaçlarını, gelecekteki ihtiyaçları karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma olarak tanımlanmıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2018).

2004 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı’nın yayınladığı Türkiye Çevre Atlası’nda Türkiye’deki çöp toplama ve depolama alanlarının seçiminin gelişigüzel yapılması sonucunda geri dönüşümü sağlanabilecek ambalaj atıklarının kaynağından ayrı toplanamamasından ötürü büyük sorunlar yaşandığını ortaya koymuştur (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2018). Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma çevre politikaları ile paralel hareket alanı bulabilmek için kalkınma planları, yasal düzenlemeler ve sivil toplum kuruluşlarınca desteklenmiştir (Hobikoğlu, 2007: 71).

## 3.Ambalaj Atıkları ve Geri Dönüşüm

Küreselleşme, hızlı ve kontrolsüz artan dünya nüfusu ile birlikte insanların ihtiyaçlarının artması, işletmeleri daha fazla kaynak tüketmeye zorlamıştır. Artan kaynak tüketimi ile birlikte, doğal denge bozulmakta ve çevreye verilen zarar artmaktadır. İşte bu noktada geri dönüşümün önemi ortaya çıkmaktadır.

Katı atıklar yönetiminin 3 temel ilkesi; atıkların az üretilmesi, geri dönüştürülmesi ve çevreye zarar vermeden yok edilmesidir (Yıldızbaş, 2007: 186).

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde Geri dönüşüm kavramı; enerji geri kazanımı ve yakıt olarak kullanımı ya da dolgu yapmak üzere atıkların tekrar işlenmesi hariç olmak üzere, organik maddelerin tekrar işlenmesi dâhil atıkların işlenerek asıl kullanım amacı ya da diğer amaçlar doğrultusunda ürünlere, malzemelere ya da maddelere dönüştürüldüğü herhangi bir geri kazanım işlemi olarak tanımlanmaktadır (Atık Yönetimi Yönetmeliği,2018).

Atık Yönetimi Yönetmeliği; hammaddeden işlenmiş ürüne kadar, bir ürünün üreticiden kullanıcıya veya tüketiciye ulaştırılması aşamasında, taşınması, korunması, saklanması ve satışa sunulması için kullanılan herhangi bir malzemeden yapılmış geri dönüşümü mümkün olmayan ürünler de dâhil tüm ürünleri, ambalaj (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2018) olarak tanımlamıştır.

Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliğinde “üretim artıkları hariç, Atık Yönetimi Yönetmeliğindeki atık tanımına uyan her tür ambalajı ve ambalaj malzemesini ambalaj atığı” olarak tanımlamıştır (Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2018). Geri dönüştürülebilir ambalaj malzemeleri kâğıt-karton, cam, plastik ve metal ambalaj malzemeleridir.

Ambalaj atıklarını geri kazanmak için ilk olarak, çöplerden ayrı biriktirilmesi ve geri dönüşüm kumbaralarına atılması gerekmektedir. Geri dönüşüm uygulaması yapan belediyeler, ambalaj atıklarını kaynağından ayrı olarak toplarlar ve toplanan ambalaj atıklarını geri dönüşüm endüstrisine gönderirler (ÇEVKO, 14.04.2017). Kaynağında ayrı toplanan bu atıklar TAT'ta türlerine göre ayrılırlar. Türlerine ayrılan atıklar tekrar işlenmek üzere geri dönüşüm tesislerine sevk edilir. Geri dönüşüm işlemi her atık türü için ayrıdır (Gürel, 2006: 26). Geri dönüştürülen ürün, yeniden kullanıma sunulur.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2014 yılında yayınladığı Ambalaj ve Ambalaj Atıkları bülteni verilerine göre piyasaya sürülen kâğıt-karton, plastik, metal ve cam ambalaj miktarları ile geri dönüşümü sağlanan ambalaj atığı miktar ve oranları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: 2014 Piyasaya Sürülen ve Geri Dönüşümü Sağlanan Ambalaj Atığı Miktar ve Oranları

| Atık Türü    | Piyasaya sürülen (ton) | Geri dönüştürülen (ton) | Geri dönüşüm oranı (%) |
|--------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Plastik      | 1.144.285              | 506.717                 | 44                     |
| Metal        | 160.975                | 80.747                  | 50                     |
| Kâğıt karton | 1.335.603              | 1.523.253               | 114                    |
| Cam          | 637.045                | 154.841                 | 24                     |

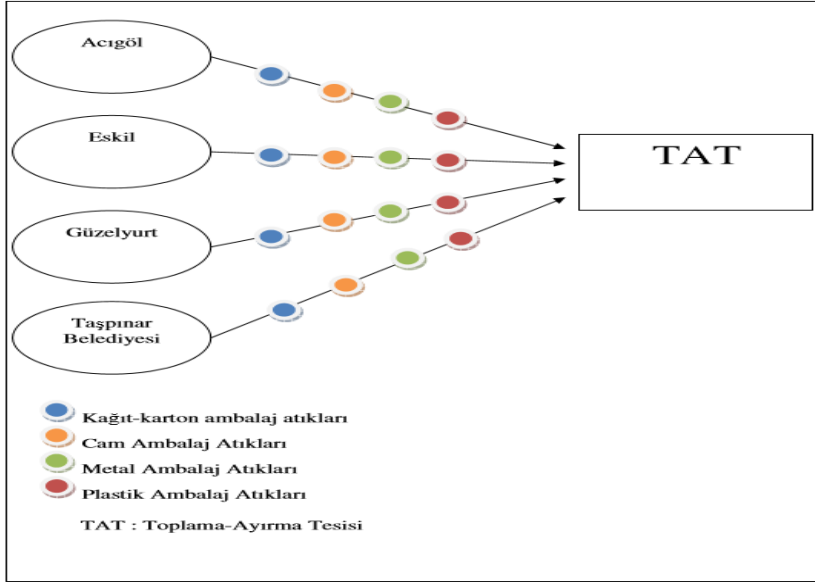
**Kaynak:** Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Bülteni, 2018.

#### 4. Toplama-Ayırma Tesisinde Uygulama

Ambalaj atığı toplama ayırma tesisinde yapılan gözlem ve fayda-maliyet analizleri sonucunda, tesise maliyet anlamında fayda sağlamak için, toplama bölgelerinden Toplama-Ayırma Tesisine getirilecek olan ambalaj atıklarının miktarlarını belirleyerek aylık toplanan ambalaj atıklarının toplama, taşıma ve ayırma maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın lisanslı kuruluşu olarak Aksaray ilinde bulunan tesis; kâğıt, karton, plastik, metal ve cam ambalaj atığı toplama ve ayırma faaliyetlerini yerine getirmektedir. Ambalaj atıkları belediyeler tarafından doğrudan toplanabileceği gibi, belediye ile anlaşma yapan, lisanslı toplama ayırma tesisleri tarafından da toplanabilirler (Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği 24(2a)). Uygulamaya konu olan tesis de, belediye ile anlaşmalı olarak ambalaj atıklarını kendisi toplamaktadır. Örnek Atık toplama ve ayırma tesisi, bulunduğu ilde belediye ile anlaşmalı olarak faaliyette bulunmaktadır. Faaliyette bulunduğu ildeki hanelerden ambalaj atıklarının ve faaliyette bulunduğu ildeki fabrikalardan endüstriyel atıkların toplanması ve ayrılması faaliyetlerini yerine getirmektedir. Uygulamaya konu olan tesis verileri, tesisin kayıt alma eksikliğinden dolayı, yetkili kişi ile yapılan görüşmeler sonucunda şekillendirilmiştir.

Sistem temel olarak tek akıştan oluşmaktadır. Bu akış, toplama bölgelerinden TAT 'a olan akıştır. Bu durum Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Toplama Bölgelerinden TAT 'ne Akış

#### 4.1. Ambalaj atıklarının kaynağından ayrı toplanması.

Ambalaj atıklarının evlerden, işyerlerinden, hastanelerden, kamu kurum ve kuruluşlarından, okullardan, marketlerden vb. yerlerden toplanması işlemidir(Köse, 2009, s. 79). Uygulamada, Acıgöl, Eski, Güzelyurt ve Taşpınar Belediyesi olmak üzere 4 toplama bölgesi bulunmaktadır. Atıklar, konutlardan poşetlerle, kamu kurumlarından ise geri dönüşüm kutusu ve kumbaralar vasıtasıyla toplanmaktadır.

#### 4.2. Toplama bölgelerinden toplama-ayırma tesisine akış.

Toplama bölgelerinin her birinden, haftada bir kere olmak üzere belirlenen bir günde ambalaj atıkları toplanarak TAT'a getirilmektedir. Buradaki söz konusu maliyetler toplama ve taşıma maliyetleridir. Ambalaj atıkları TAT'a geldiğinde ve ayırma işlemine tabi tutulduğunda buradaki söz konusu maliyet ise ayırma maliyetidir.

#### 4.3. Doğrusal programlama modelinin kurulması.

Modelin amacı; Acıpınar, Eski, Güzelyurt ve Taşpınar Belediyesi'nde ambalaj atıklarının toplanarak TAT'a sevkياتında ortaya çıkan toplama, taşıma ve

ayırma maliyetleri minimum yapmak ve toplama bölgelerinden TAT'a getirilecek olan ambalaj atık miktarlarının belirlenmesidir. Doğrusal programlama modelinin çözümünde Lindo 6.01 yazılım paket programı kullanılmıştır. Kurulan model Lindo programıyla çözümlenerek sonuçlandırılmıştır.

Tablo 2'de uygulamaya konu olan toplama bölgelerindeki, atık üreticilerinin durumu gösterilmiştir.

**Tablo 2:** Acıgöl, Eski, Güzelyurt ve Taşpınar Belediyesi Atık Üreticilerinin Durumu

|                     | Nüfus | Konut Sayısı | İş Yeri Sayısı | İlköğretim Okulu | Kamu kurumu | Market sayısı | Alışveriş merkezi | Turistik tesis sayısı | Osib sayısı | Osib firma sayısı |
|---------------------|-------|--------------|----------------|------------------|-------------|---------------|-------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| Acıgöl              | 5821  | 3190         | 346            | 2                | 0           | 1             | 0                 | 0                     | 0           | 0                 |
| Eski                | 17393 | 5350         | 284            | 45               | 82          | 16            | 4                 | 0                     | 0           | 0                 |
| Güzelyurt           | 2800  | 1707         | 145            | 4                | 8           | 277           | 0                 | 9                     |             |                   |
| Taşpınar Belediyesi | 3588  | 897          | 10             | 3                | 8           | 11            | 0                 | 9                     | 1           | 176               |
| TOPLAM              | 29602 | 11144        | 785            | 54               | 98          | 305           | 4                 | 18                    | 1           | 176               |

Aşağıda Tablo 3'te uygulamaya konu olan toplama bölgelerindeki katı atık bileşenlerinin dağılımı gösterilmiştir. Tablo 3, atık karakterizasyonu çalışması sonucunda elde edilen verilerden oluşmaktadır.

**Tablo 3:** Acıgöl, Eski, Güzelyurt ve Taşpınar Bölgelerindeki Katı Atık Bileşenlerinin Dağılımı

|                   |                             | ACIGÖL | ESKİL | GÜZELYURT | TAŞPINAR BELEDİYESİ |
|-------------------|-----------------------------|--------|-------|-----------|---------------------|
| Atık Kompozisyonu | Organik Atık (%)            | 0,48   | 0,50  | 0,49      | 0,50                |
|                   | Geri Kazanılabılır Atık (%) | 0,35   | 0,35  | 0,33      | 0,32                |
|                   | Kül, curuf, taş vb. (%)     | 0,15   | 0,12  | 0,15      | 0,15                |

|  |           |      |      |      |      |
|--|-----------|------|------|------|------|
|  | Diğer (%) | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
|  |           | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Tablo 4’te Acıgöl, Eski, Güzelyurt ve Taşpınar Belediyesi gelir seviyelerine göre atık karakterizasyonu gösterilmiştir. Tablo 4’teki veriler, atık karakterizasyonu çalışması sonucunda elde edilen ambalaj atıklarının günlük, aylık ve yıllık değerlerinin toplanması sonucu elde edilmiştir.

**Tablo 4:** Acıgöl, Eski, Güzelyurt ve Taşpınar Belediyesi Gelir Seviyelerine Göre Atık Karakterizasyonu

| Katı Atık Bileşenleri               | Gelir Seviyeleri |      |       |      |        |      |
|-------------------------------------|------------------|------|-------|------|--------|------|
|                                     | Düşük            |      | Orta  |      | Yüksek |      |
|                                     | Brüt             | Dara | Brüt  | Dara | Brüt   | Dara |
| Mutfak Atıkları                     | 46.00            | 6.0  | 37.00 | 6.0  | 33.0   | 6.0  |
| Kağıt                               | 10.00            | 6.0  | 15.7  | 6.0  | 20.0   | 6.0  |
| Karton                              | 8.4              | 6.0  | 10.4  | 6.0  | 18.0   | 6.0  |
| Plastik                             | 8.4              | 6.0  | 12.4  | 6.0  | 15.4   | 6.0  |
| Cam                                 | 18.3             | 6.0  | 10.8  | 6.0  | 20.9   | 6.0  |
| Metal                               | 8.3              | 6.0  | 11.3  | 6.0  | 10.7   | 6.0  |
| Atık Elektrik ve Elektronik Ekipman | 0.0              | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0    | 0.0  |
| Tehlikeli Atık                      | 10.4             | 6.0  | 12.4  | 6.0  | 0.0    | 6.0  |
| Park ve Bahçe Atıkları              | 10.8             | 6.0  | 12.6  | 6.0  | 0.0    | 6.0  |
| Diğer Yanmayanlar                   | 20.4             | 6.0  | 22.4  | 6.0  | 10.0   | 6.0  |
| Diğer Yanabilenler                  | 16.6             | 6.0  | 10.6  | 6.0  | 12.6   | 6.0  |

Toplama bölgelerinde biriktirme yöntemi olarak sitelere poşetler dağıtılarak, işyerleri, fabrikalar ve okullarda ise iç mekân kutuları ile kafeslerde biriktirilerek toplama yapılmaktadır. Bazı fabrika ve işyerlerinin atık biriktirme yerleri müsait olduğundan kendi depolarında biriktirerek toplama tesisine vermektedir. Ambalaj atıkları karışık olarak toplanmakta ve toplanan ambalaj atıkları tesis de türlerine göre sınıflandırılmaktadır. Toplama işlemi için konutlara poşet; okullar, resmi kurumlar, iş yerleri ve fabrikaların ofis kısımları için de iç mekân kutuları ve poşet kullanılacaktır. Okullarda toplamının daha düzenli yapılabilmesi için okul bahçelerine kafesler yerleştirilmiştir. Kaynağında ayrı toplama yapılan yerlerden, ambalaj dışı olarak değerlendirilen gazete, dergi ve resmi

yazılarda kullanılan kâğıtlar özellikle konutlardan, okullardan ve ofislerden toplanmaktadır. Ancak aynı tarzdaki fabrikaların üretim artıkları bu sistemle toplanamamaktadır. Çünkü fabrikalar üretim artıklarını toplama sistemine dâhil etmeyerek satmaktadırlar. Toplanabilen ambalaj dışı bu atıklar için herhangi bir döküm çalışması olmadığından miktar ya da ambalaj atıkları içerisindeki yüzde (%) oranı belirtilememektedir.

Ambalaj atıkları, çöple karışmadan temiz bir şekilde organik atıklardan ayrı olarak toplanmaktadır. Toplanan ambalaj atıkları, tesiste sınıflarına göre ayrılmaktadır.

Model için belirlenen parametreler aşağıdaki gibidir:

- Açığa çıkan ambalaj atığı miktarının belirlenmesi,
- Açığa çıkan ambalaj atıklarının sınıflandırılması,
- Ambalaj atıklarının birim toplama maliyetlerinin belirlenmesi,
- Ambalaj atıklarının birim taşıma maliyetlerinin belirlenmesi,
- Toplama bölgelerinin belirlenmesi,
- Toplama Ayırma Tesisi kapasitesinin belirlenmesi,
- Toplama Ayırma Tesisi birim ayırma maliyetleri ve sabit maliyetinin belirlenmesi.

#### **4.3.1. Ambalaj atıklarının birim toplama maliyetleri ve birim taşıma maliyetleri ile ilgili parametrelerin belirlenmesi.**

Toplama işlemi için gerekli olan maliyetler; toplama personel maliyeti, kaynaktan TAT'a taşıma maliyeti ve donanım maliyetidir. Tesisin toplama gider maliyetleri içerisinde, toplam personel maliyeti, araç mazot gideri, araç bakım, araç kirası, araç yıpranma payı gideri, araç sigortaları, iletişim gideri ve sarf malzeme gideri mevcuttur. Tesisin aylık toplama maliyeti 39.323 TL'dir. Birim başına toplama maliyetleri her toplama bölgesi ve toplanan ambalaj atık türü için hesaplanmıştır ve Tablo 4'te gösterilmiştir. Tesis kayıtlarında atık türleri için ayrı olarak toplama maliyeti hesaplanmadığından, birim toplama maliyeti her atık türü için aynı kabul edilmiştir. Atıkların, toplama noktalarından TAT'a taşınmasını sağlayan araçlar 7 ton kapasiteli kamyonlardır. Kamyonlar aylık 1356 km yol yapmaktadırlar. Araçlar için kilometre başına mazot gideri 0.78 TL'dir. Tesisin aylık taşıma maliyeti 42.007,5 TL'dir. Birim başına taşıma maliyetleri her toplama bölgesi ve toplanan ambalaj atık türü için hesaplanmıştır (Tablo 6). Tesis kayıtlarında atık türleri için ayrı olarak taşıma maliyeti hesaplanmadığından, birim taşıma maliyeti her atık türü için aynı kabul edilmiştir. Toplama bölgeleri için birim başına maliyetler Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5: Toplama Bölgeleri İçin Birim Başına Maliyetler**

| Toplama Bölgeleri   | Atık Türleri                      | MALİYETLER       |                 |                 |
|---------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|                     |                                   | Toplama Maliyeti | Taşıma Maliyeti | Ayırma Maliyeti |
| Acıgöl              | Kâğıt-karton, cam, metal, plastik | 0,161            | 0.15            | 0.214           |
| Eskil               | Kâğıt-karton, cam, metal, plastik | 0.138            | 0.15            | 0.208           |
| Güzelyurt           | Kâğıt-karton, cam, metal, plastik | 0.151            | 0.15            | 0.142           |
| Taşpınar Belediyesi | Kâğıt-karton, cam, metal, plastik | 0.113            | 0.15            | 0.185           |

#### 4.3.2. Toplama bölgelerinin belirlenmesi ile ilgili parametrelerin belirlenmesi.

Toplama bölgeleri dört bölgeye ayrılmıştır. Acıgöl, Eskil, Güzelyurt ve Taşpınar Belediyesi'dir.

#### 4.3.3. Toplama ayırma tesisi kapasitesinin belirlenmesi ile ilgili parametrelerin belirlenmesi.

Çalışmada ölçü birimi kg'dır. Uygulamaya konu olan TAT tesisi, Aksaray OSB'de faaliyet göstermektedir. Tesisin kapasitesi 336.500 kg/ay'dır.

#### 4.3.4. Toplama ayırma tesisi birim ayırma maliyetleri ve sabit maliyetinin belirlenmesi ile ilgili parametrelerin belirlenmesi.

Tesisin ayırma gider maliyetleri içerisinde, ayırma personel maliyeti, ayırma personeli yemek gideri, tesis bakım gideri, tesis işletme giderleri, presleme gideri, ayırma sarf malzemesi gideri, nakliye giderleri mevcuttur. Tesisin toplam aylık ayırma maliyeti 52.410 TL'dir. Buna bağlı olarak, birim ayırma maliyetleri her atık türü için ayrı olarak hesaplanmıştır(Tablo 6). Tesis kayıtlarında atık türleri için ayrı olarak ayırma maliyeti hesaplanmadığından, birim ayırma maliyeti her atık türü için aynı kabul edilmiştir. İşletmenin aylık sabit maliyeti; aylık sabit enerji, ofis, yönetim maliyetleri ve amortisman giderleri toplanarak hesaplanmıştır. Tesisin aylık sabit maliyeti 11.856 TL 48 kuruş'tur.

#### 4.4. Modelin formülasyonu.

Doğrusal programlama modelinin formülasyonunda ilk olarak karar değişkenlerinin ve parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir(Ergülen, vd., 2005: 166).

### **İndisler:**

i: Toplama yerleri,  $i= 1,2,3,4$

j: TAT,  $j= 1$

k: Ambalaj atık türü,  $k=1,2,3,4$

### **Parametreler:**

TOMTB<sub>i</sub> : i. toplama bölgesindeki ambalaj atıklarının birim toplama maliyeti (TL/kg/ay)

TAMTAT : i. toplama bölgelerinden Toplama Ayırma Tesisine giden ambalaj atıklarının birim taşıma maliyeti (TL/kg/ay)

MSTAT<sub>ij</sub> : i. toplama bölgesi ile Toplama Ayırma Tesisi arasındaki mesafe (km)

TATAM<sub>j</sub> : Toplama Ayırma Tesisindeki ambalaj atıklarının birim ayırma maliyeti (TL/kg/ay)

SMTAT<sub>j</sub> : Toplama Ayırma Tesisi sabit maliyeti (TL/ay)

KATAT<sub>j</sub> : Toplama Ayırma Tesisi kapasitesi (kg/ay)

### **Karar Değişkenleri**

M<sub>ijk</sub> : i. toplama bölgesinden Toplama Ayırma Tesisine giden k. ambalaj atık miktarı (kg)

H<sub>k</sub> : Talep edilen ambalaj atık miktarı (kg)

T<sub>j</sub> : Toplama Ayırma Tesisindeki ambalaj atık miktarı (kg)

### **Model:**

### **Amaç Fonksiyonu**

$$\text{Toplama Maliyeti} = \sum_i \sum_j M_{ijk} * \text{TOMTB}_i$$

$$\text{Taşıma Maliyeti} = \sum_i \sum_j M_{ijk} * \text{MSTAT}_{ij} * \text{TAMTAT}$$

$$\text{Ayrırma Maliyeti} = \sum_i \sum_j M_{ijk} * \text{TATAM}_j$$

$$\text{TAT Aylık Sabit Maliyeti} = \sum_j \text{SMTAT}_j$$

$$\begin{aligned} \text{MINZ} = & \sum_i \sum_j (M_{ijk} * \text{TOMTB}_i) + \sum_i \sum_j (M_{ijk} * \text{MSTAT}_{ij} * \text{TAMTAT}) \\ & + \sum_i \sum_j (M_{ijk} * \text{TATAM}_j) + \sum_j \text{SMTAT}_j \end{aligned} \quad (3.1)$$

#### Sınırlayıcı Şartlar:

$$\text{Talep edilen atık kısıtı} = \sum M_{ijk} \geq H_k \quad \forall (k) \quad (3.2)$$

$$\text{Kapasite kısıtı} = T_j \leq \text{KATAT}_j \quad \forall (j) \quad (3.3)$$

#### Pozitiflik şartı:

$$M_{ijk}, H_k, T_j \geq 0 \quad \forall (i,j,k) \quad (3.4)$$

(3.1). Denklemi, amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu oluşan maliyetleri minimize etmektedir.

(3.2). kısıtı, j. Toplama noktasından TAT ‘ne giden k ambalaj atık miktarının, talep edilen ambalaj atık miktarından büyük ya da eşit olduğunu göstermektedir.

(3.3). kısıtı, TAT’ndeki ambalaj atık miktarının TAT kapasitesine eşit ya da küçük olmasıdır.

(3.4). kısıtı, değişkenler için pozitif olma kısıtıdır.

#### 4.5. Modelin çözümü ve sonuçlarının değerlendirilmesi

Modelden elde edilen sonuca göre, optimum maliyete ulaşılmıştır. Modelde, kâğıt, cam, metal ve plastik ambalaj atık türleri için, toplama bölgelerinden Güzelyurt ilçesi sonucuna ulaşılmıştır. Ambalaj atıklarının aylık 277.350 kg’ının toplanması sonucunda toplam maliyet 122.866 TL olmuştur. TAT’nin topladığı ambalaj atık miktarı 280.050 kg’dır. Toplanan ambalaj atık miktarlarının 277.350 kg’ı talep edilmektedir. Oluşturulan model çözülürken, sistem talep edilen atık miktarının tamamını kullanmıştır. Toplama bölgelerinden toplanan ambalaj atık miktarları türlerine göre Tablo 6’de gösterilmiştir.

**Tablo 6:** Bölgelerden Toplanan Ambalaj Atık Miktarları

| Toplama Bölgeleri   | Atık Türleri | Aylık Toplanan Atık Miktarı (kg) |
|---------------------|--------------|----------------------------------|
| ACIGÖL              | Kağıt-karton | 37.500                           |
|                     | Cam          | 16.500                           |
|                     | Metal        | 3.750                            |
|                     | Plastik      | 5.700                            |
| ESKİL               | Kağıt-karton | 52.500                           |
|                     | Cam          | 15.000                           |
|                     | Metal        | 4.200                            |
|                     | Plastik      | 6.000                            |
| GÜZELYURT           | Kağıt-karton | 45.000                           |
|                     | Cam          | 15.000                           |
|                     | Metal        | 3.450                            |
|                     | Plastik      | 6.000                            |
| TAŞPINAR BELEDİYESİ | Kağıt-karton | 45.000                           |
|                     | Cam          | 15.000                           |
|                     | Metal        | 3.450                            |
|                     | Plastik      | 6.000                            |

Toplama-Ayırma tesisindeki ambalaj atık miktarları türlerine göre aşağıda Tablo 7’de verilmiştir.

**Tablo 7:** Toplama-Ayırma Tesisindeki Ambalaj Atık Miktarları

| Atık Türü    | TAT Ambalaj Atık Miktarı |
|--------------|--------------------------|
| Kağıt-karton | 180.000                  |
| Cam          | 61.500                   |
| Metal        | 14.850                   |
| Plastik      | 23.700                   |

Optimum çözüm planı ile TAT'ın planı karşılaştırıldığında, optimum çözüm planının olumlu yönde bir fark ortaya koyduğu aşağıda Tablo 8'da görülmektedir.

**Tablo 8:** Modele ve Tesise Ait Aylık Maliyetlerin Karşılaştırılması

|                                                                          | Tesise Ait Veriler | Modele Ait Veriler             |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Toplam Maliyet                                                           | 145.596 TL         | 122.866 TL                     |
| Toplanan Atık Miktarı                                                    | 280.050 KG         | 277.350 KG                     |
| Toplam Tasarruf<br>(Tesisin Toplam Maliyeti – Modele Ait Toplam Maliyet) |                    | 145.596-122.866<br>= 22.730 TL |

Bu durumda, Tablo 8'e bakıldığında Toplama Ayırma Tesisi toplam maliyetleri ile Modele ait toplam maliyet arasında aylık tasarrufun 22.730 TL olduğu görülmektedir. Bu da modelle yapılan toplama, ayırma, taşıma maliyetinin tesisin yaptığı toplama, ayırma ve taşıma maliyetine göre %16 oranında daha avantajlı olduğu görülmektedir. Oluşturulan Doğrusal Programlama modelinin Lindo 6.01 yazılım programı ile çözümü Ek-2'dedir.

## 5. SONUÇ

Doğal kaynakların dikkatli kullanılmadığında bir gün tükenecekleri gerçeği akıldan çıkarılmamalıdır. Üretim aşamasında ortaya çıkan atıkların geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu atıklar içerisinde hammaddesi doğal kaynaklar olan ve dikkat çekilmesi gereken atık türlerinden birisi de ambalaj atıklarıdır. Buradan yola çıkarak sürdürülebilir kalkınmanın devamlılığını sağlamak için ambalaj atıklarının toplanması ve geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Doğal

kaynaklarımızı ne kadar tasarruflu kullanırsak, gelecek nesillerde o kadar az kaynak sıkıntısı çekeceklerdir.

Bu çalışmanın uygulama aşamasında kullanılan veriler, Aksaray'da faaliyette olan Toplama-Ayırma tesisinden sağlanmıştır. Ambalaj atıkları TAT ile yapılan görüşmeler sonucunda tesisin atık toplama sistemi ele alınıp, sistemi optimize edecek model oluşturuldu ve model oluşturulurken Doğrusal Programlama tekniği kullanılmıştır. Modelde toplama noktaları dört bölgeye ayrılmıştır. Burada ambalaj atıkları toplama bölgelerinden toplanarak, Toplama-Ayırma tesisine getirilmektedir. Modelde, çalışmaya konu olan ildeki 4 toplama bölgesinden ambalaj atıklarının toplanarak Toplama-Ayırma Tesisine (TAT) sevkiyatında ortaya çıkan maliyetleri minimize etmek ve maliyetleri minimize edecek ambalaj atık miktarlarını belirlemek amaçlanmıştır. Burada oluşan maliyetler; toplama maliyeti, taşıma maliyeti, ayırma maliyetidir. Doğrusal programlama modelinin çözümünde Lindo 6.01 yazılım paket programı kullanılmıştır. Çözüm sonucuna göre, maliyeti minimum yapacak olan, toplama bölgesi ve toplanacak ambalaj atık miktarları belirlenmiştir. Üçüncü bölgeden (Güzelyurt) aylık 178.520 kg kâğıt-karton ambalaj atığı, 60.950 kg cam ambalaj atığı, 14.430 kg metal ambalaj atığı, 23.450 kg plastik ambalaj atığı topladığı takdirde maliyeti minimize edeceği tespit edilmiştir. Tesise ait verilerle oluşturulan model çözülerek, çözüm sonuçları tesisin atık toplama sistemiyle karşılaştırılmış, TAT toplam maliyetleri ile Modele ait toplam maliyet arasında aylık tasarrufun 22.730 TL olduğu görülmüştür. Çalışma, geri dönüşüm problemleri için, doğrusal programlama modelinin kurulabileceğini göstermiştir.

Tesisteki en yüksek maliyetler ayırma maliyetlerine aittir. Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, ambalajların kaynağından ayrı olarak toplanması zorunludur. Ancak, kaynağından ayrı toplamada aksaklıklar yaşandığı görülmektedir. Kentlerde atık toplama alanlarının seçiminin gelişigüzel yapılması, geri kazanılabilecek ambalaj atık miktarını olumsuz yönde etkilemektedir. Şehirlerde(cadde, fabrika, işyeri, vb.) geri dönüşüm çöp ünitelerine atılan ambalaj atıkları aynı hazneye düşmektedir. Bu durumda ayırma maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır. Bu durumun düzeltilebilmesi ve sürdürülebilir kalkınmanın devamlılığı için atık geri dönüşümü bilincinin verilebileceği bir eğitim sistemi oluşturulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği (2017, 27 Aralık). , *Resmi Gazete* (Sayı: 30283).  
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/12/20171227-12.htm>  
Erişim Tarihi: 04/03/2018.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği, (2015, 2 Nisan). *Resmi Gazete* (Sayı: 29314).  
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>

Erişim Tarihi: 11.02.2018.

Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı, Kaynağından Ayrı Toplama, [http://www.cevko.org.tr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=260&Itemid=241](http://www.cevko.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=260&Itemid=241)

Erişim Tarihi: 14.04.2017.

Ergülen, A., Kazan, H., Kaplan, M., (2005). İşletmelerde Dağıtım Sistemi Maliyetleri Minimizasyonu İçin Çözüm Modeli: Bir Firma Uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (13):163-172.

Gürel, S. (2006), *Plastik Sektöründe Endüstriyel Atıklardan Geri Dönüşüm Sonucu Elde Edilen Mamullerin Maliyetlemesinde Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yönteminin Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.

Hobikoğlu, E. H. (2007). Türkiye’de Çevre Politikaları ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi. *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2:71-91.

Köse, Sevdâ (2009). Tersine Lojistik ve Atık Kızartma Yağları Geri Kazanım Ağı Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2014). Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Bülteni, <http://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editorosya/2014ambalajbultenRev.pdf>  
Erişim tarihi: 04/03/2018.

T.C. Dışişleri Bakanlığı, (2002), Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi [http://www.mfa.gov.tr/dunya-surdurulebilir-kalkinma-zirvesi\\_johannesburg\\_-26-agustos---4-eylul-2002\\_.tr.mfa](http://www.mfa.gov.tr/dunya-surdurulebilir-kalkinma-zirvesi_johannesburg_-26-agustos---4-eylul-2002_.tr.mfa)  
Erişim Tarihi: 02.03.2018.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, (2004), Türkiye Çevre Atlası, [http://traglor.cu.edu.tr/objects/objectFile/turkiye\\_cevre\\_atlasi\\_2004\\_2008\\_01\\_09.pdf](http://traglor.cu.edu.tr/objects/objectFile/turkiye_cevre_atlasi_2004_2008_01_09.pdf) Erişim tarihi: 04.03.2018.

Yıldızbaş, F. (2007). Karaman İlinde Atık Geri Dönüşümü ve Faydaları. *Selçuk Üniversitesi Karaman İ.İ.B.F. Dergisi*, Yerel Ekonomiler Özel Sayısı, 185-194, Mayıs 2007.

## **EKLER**

**Ek-1: Doğrusal Programlama Modeline Ait  $M_{ijk}$  Karar Değişkenlerinin Açıklamaları**

| <b>Karar Değişkenleri</b> | <b>Karar Değişkenlerinin Açıklamaları</b>                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------|
| $M_{111}$                 | : Acıgöl'den TAT'ne gelen kağıt-karton ambalaj atık miktarı    |
| $M_{112}$                 | : Acıgöl'den TAT'ne gelen cam ambalaj atık miktarı             |
| $M_{113}$                 | : Acıgöl'den TAT'ne gelen metal ambalaj atık miktarı           |
| $M_{114}$                 | : Acıgöl'den TAT'ne gelen plastik ambalaj atık miktarı         |
| $M_{211}$                 | : Eskil'den TAT'ne gelen kağıt-karton ambalaj atık miktarı     |
| $M_{212}$                 | : Eskil'den TAT'ne gelen cam ambalaj atık miktarı              |
| $M_{213}$                 | : Eskil'den TAT'ne gelen metal ambalaj atık miktarı            |
| $M_{214}$                 | : Eskil'den TAT'ne gelen plastik ambalaj atık miktarı          |
| $M_{311}$                 | : Güzelyurt'tan TAT'ne gelen kağıt-karton ambalaj atık miktarı |
| $M_{312}$                 | : Güzelyurt'tan TAT'ne gelen cam ambalaj atık miktarı          |
| $M_{313}$                 | : Güzelyurt'tan TAT'ne gelen metal ambalaj atık miktarı        |
| $M_{314}$                 | : Güzelyurt'tan TAT'ne gelen plastik ambalaj atık miktarı      |
| $M_{411}$                 | : Taşpınar'dan TAT'ne gelen kağıt-karton ambalaj atık miktarı  |
| $M_{412}$                 | : Taşpınar'dan TAT'ne gelen cam ambalaj atık miktarı           |
| $M_{413}$                 | : Taşpınar'dan TAT'ne gelen metal ambalaj atık miktarı         |

**Ek-2: Oluşturulan Doğrusal Programlama Modelinin LINDO 6.01 Yazılım Programı İle Çözümü****LP OPTIMUM FOUND AT STEP 0****OBJECTIVE FUNCTION****VALUE 1) 122.8660**

| <b>VARIABLE</b> | <b>VALUE</b> | <b>REDUCED COST</b> |
|-----------------|--------------|---------------------|
| M111            | 0.000000     | 0.082000            |
| M112            | 0.000000     | 0.082000            |
| M113            | 0.000000     | 0.082000            |
| M114            | 0.000000     | 0.082000            |
| M211            | 0.000000     | 0.053000            |
| M212            | 0.000000     | 0.053000            |
| M213            | 0.000000     | 0.053000            |
| M214            | 0.000000     | 0.053000            |
| M311            | 178.520004   | 0.000000            |
| M312            | 60.950001    | 0.000000            |
| M313            | 14.430000    | 0.000000            |
| M314            | 23.450001    | 0.000000            |
| M411            | 0.000000     | 0.005000            |
| M412            | 0.000000     | 0.005000            |
| M413            | 0.000000     | 0.005000            |
| M414            | 0.000000     | 0.005000            |
| L               | 0.000000     | 11.856000           |

|                                               |                    |                               |                               |
|-----------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| T1                                            | 0.000000           | 0.000000                      |                               |
| <b>NO.ITERATIONS= 0</b>                       |                    |                               |                               |
| <b>RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED</b> |                    |                               |                               |
| <b>OBJ COEFFICIENT RANGES</b>                 |                    |                               |                               |
| <b>VARIABLE</b>                               | <b>CURRENTCOF</b>  | <b>ALLOWABLE</b>              | <b>ALLOWABLE<br/>DECREASE</b> |
| M111                                          | 0.525000           | INFINITY                      | 0.082000                      |
| M112                                          | 0.525000           | INFINITY                      | 0.082000                      |
| M113                                          | 0.525000           | INFINITY                      | 0.082000                      |
| M114                                          | 0.525000           | INFINITY                      | 0.082000                      |
| M211                                          | 0.496000           | INFINITY                      | 0.053000                      |
| M212                                          | 0.496000           | INFINITY                      | 0.053000                      |
| M213                                          | 0.496000           | INFINITY                      | 0.053000                      |
| M214                                          | 0.496000           | INFINITY                      | 0.053000                      |
| M311                                          | 0.443000           | 0.005000                      | 0.443000                      |
| M312                                          | 0.443000           | 0.005000                      | 0.443000                      |
| M313                                          | 0.443000           | 0.005000                      | 0.443000                      |
| M314                                          | 0.443000           | 0.005000                      | 0.443000                      |
| M411                                          | 0.448000           | INFINITY                      | 0.005000                      |
| M412                                          | 0.448000           | INFINITY                      | 0.005000                      |
| M413                                          | 0.448000           | INFINITY                      | 0.005000                      |
| M414                                          | 0.448000           | INFINITY                      | 0.005000                      |
| L                                             | 11.856000          | INFINITY                      | 11.856000                     |
| T1                                            | 0.000000           | INFINITY                      | 0.000000                      |
| <b>RIGHTHAND SIDE RANGES</b>                  |                    |                               |                               |
| <b>ROW</b>                                    | <b>CURRENT RHS</b> | <b>ALLOWABLE<br/>INCREASE</b> | <b>ALLOWABLE</b>              |
| 3                                             | 60.950001          | INFINITY                      | 60.950001                     |
| 4                                             | 14.430000          | INFINITY                      | 14.430000                     |
| 5                                             | 23.450001          | INFINITY                      | 23.450001                     |
| 6                                             | 336.500000         | INFINITY                      | 336.500000                    |