

ERZURUM KENTİ AMBALAJ ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜMÜ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞI TASARIMI VE BİR KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ

Sibkat KAÇTIOĞLU^(*)
Ümran ŞENGÜL^(**)

Özet: Doğayı koruma ve kirlenmesini önleme çabalarının en etkili yolu, yeni-lenemeyen kaynaklardan tasarruf etmektir. Atıkların hem üretim miktarını hem de ekonomik maliyetini azaltmak geri dönüşüm ile mümkündür. Bunun anlaşılmasıyla dünyada önemli girişimler başlamış ve başta ambalaj malzemeleri olmak üzere atık haline gelmiş tüm değerlendirilebilir malzemelerin, malzeme ve/veya enerji biçiminde geri kazanımı genel bir hedef haline gelmiştir. Günümüz şartlarında atıkların çevre ve ekonomi açısından en etkin değerlendirme şekli, kaynaktan geri dönüşümdür. Erzurum'da ambalaj atıklarının büyük bir bölümü geri dönüştürülmeden toplanmakta ve atıkların içerisindeki geri kazanılabilir ve değerlendirilebilir atıklar toprağa gömülmektedir. Bu ambalaj atıklarından faydalanabilmek için uygun bir tersine lojistik ağ oluşturmak gereklidir. Bu çalışmada, ambalaj atıklarının geri dönüşümü ile ilgili tersine dağıtım sisteminin planlanması ve işleyiş etkinliğinde karar almayı desteklemek için bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Model altı farklı senaryo için LINGO optimizasyon programı ile çözülmüştür.

Anahtar sözcükler: Tersine lojistik, Ağ tasarımı, Geri dönüşüm, Ambalaj atıkları, Tamsayılı Programlama.

Abstract: The best way of protecting and preventing the environmental pollution is to economize the unrenovable resources. It is possible to reduce the amount of the waste produced and its economical cost by conducting recycling. Important attempts started in the world by this and firstly the packets and all the recycling materials that will be used later became the general aim of the energy resource. Nowadays, the most useful way to evaluate of the waste with respect to environment and economics is recycle them in the resource. In Erzurum, the most part of the packing waste are accumulated without recycling and the recycling and wasteful materials in the waste are buried to the ground. It is necessary to compose suitable a reverse logistics network to make use of this packing waste. In this study a mixed integer programming model was developed to support decision making for effective design and operation of a reverse distribution system associated with packing waste recycling. The model was solved for six scenarios with the LINGO optimization program.

Key Words: Reverse Logistics, Network Design, Recycling, Packing Wastes, Integer Programming.

I.Giriş

Genel olarak; teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile paralel olarak yaşanan hızlı kentleşme ve nüfus artışı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de

^(*) Prof. Dr. Atatürk Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü

^(**) Arş. Gör. Kafkas Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü

insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını hızla arttırmaktadır. Bu süreçte üretim ve pazarlama faaliyetlerindeki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, sürekli artan tüketim eğilimi ile birlikte oluşan atıklar da, hem miktar hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Bu koşullarda, gelişen çevre bilincine paralel olarak çevrenin korunması bütün dünyada ülkelerin temel politika öncelikleri arasında giderek ön sıralara yerleşmekte ve atık yönetimi de çevre koruma politikaları arasında ağırlıklı bir yer tutmaktadır. Atık miktarlarının artması ve gömme kapasitelerinin azalmasından dolayı katı atık yönetim sistemleri, yönetim programlarının bir kısmını geri kazanım sistemlerine dönüştürmektedir. Bu açıdan geri kazanılmış malzemelerin toplanması, depolanması ve geri dönüşüm tesislerine nakliyesi için gerekli olan sistemi optimize eden bir karar alma yapısına ihtiyaç duyulmaktadır.

Atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geri kazanılabilecek olanlarının ekonomiye kazandırılması, atık yönetimi politikalarının temelini oluşturduğu halde, ülkemizde kaynağında ayrıştırma ve geri kazanım faaliyetleri çok düşük düzeydedir. Geri dönüşüm büyük ölçüde sokak toplayıcılığı sistemi ile çok sağlıksız koşullarda gerçekleştirilmekte geri dönüşüm zorunluluğu bulunan üretim ve dağıtım firmaları da, bu faaliyeti doğrudan üstlenmek yerine, çoğunlukla sokak toplayıcılığı sistemini finanse etmek suretiyle bildirim yükümlülüğünü (kotalarını) karşılamaktadır.

Atıkların tekrar kullanım, geri dönüşüm ve kompostlaştırma gibi yöntemlerle geri kazanılması, hem ekonomik değeri olan maddelerin ekonomiye yeniden bir girdi olarak dönmesini sağlamak suretiyle üretim maliyetlerinde, hem de atık miktarının azaltılması suretiyle atık bertaraf maliyetlerinde 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 her birinin (ekonomik etkilerinin yanında) insan sağlığı ve çevre üzerinde çok önemli pozitif etkiler doğuracağı açıktır.

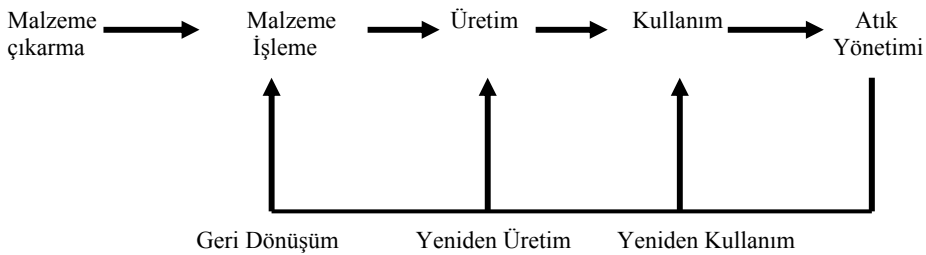
Ambalaj atıkları, kullanılan birçok ürünün bozulmadan uzun süre sağlıklı bir şekilde saklanması, taşıma ve kullanımda kolaylık ve ekonomi sağlaması, içinde bulunan ürünün tanıtılması amacı taşıyan ve genellikle yüksek verimde geri kazanılabilir olan atıklardır (Yaman,2007:31). Değişen tüketim alışkanlıkları, nüfus artışı, yükselen hayat standardı, ambalajlı ürün satışındaki artış ile birlikte katı atık kompozisyonundaki ambalaj atık miktarı değişmektedir. Atık kompozisyonundaki değişim daha çok atığın içindeki kâğıt, karton, cam, plastik, metal gibi ambalaj atıklarının artmasındandır. Satın alınan pek çok ürünün kâğıt, metal, cam ve plastik ambalaj malzemesi ile sunulduğu dikkate alındığında, katı atıkların kaynağında ayrı toplanarak bu

malzemelerin ekonomiye tekrar kazandırılması katı atık yönetiminin önemli bir adımıdır. Sağlıklı ve sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi, ambalaj atıklarının diğer atıklarla karışmadan kaynağında ayrı toplanması ve organize bir yapı içerisinde geri kazanım sürecinin gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Gelişmiş ülkelerde katı atık depolama alanına giden ambalaj atığı miktarını azaltmak için depolama vergisi alınmaktadır. Depolama vergisi arttıkça kaynakta ayrı toplama artmaktadır.

Bu çalışmada, Erzurum ilinin ambalaj atıklarının toplanması, sınıflandırılması ve taşınmasında ortaya çıkan maliyeti iyileştirmek ve geri dönüşümünü sağlamak için bir tersine lojistik ağ yapısı, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak kurulmuş ve LINGO 11.0 optimizasyon programı ile 6 senaryo için çözüm yapılmıştır.

II. Tersine Lojistiğin Tanımı

Tedarik zincirinde hammaddeler, bir “tedarikçi” den “üretici” ye gönderilir ve gönderilen hammaddelerden üretilen son ürün, pazarda ürünü sunacak olan “dağıtıcıya” nakledilir ve böylece “tüketici” ürüne ulaşır (Ammons v.d.,1999:548). Ekonomik ve ekolojik sebepler, kanuni zorlamalar ve sosyal sorumluluk gibi nedenler, tüketiciden üreticiye doğru geleneksel ileri akışın tersi yönde bir akışı meydana getirmiştir. Lojistik Yönetim Konseyi (The Council of Logistics Management), tersine lojistikle ilgili bilinen ilk tanımını 1990’lı yıllarda yapmıştır. Buna göre tersine lojistik kavramı “ *Hammaddelerin, halen süreçte bulunan envanterlerin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasından üretim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet avantajlı akışını planlama, yürütme ve kontrol etme sürecidir* (www.supply-chain.org).” Tersine lojistik, istenmeyen malzemelerin (atık madde, kutu, şişe, kğıt v.b.) geri dönüştürülmesi ve yeniden üretime kazandırılması ve iade veya defolu ürünlerin farklı satış kanallarında yeniden satışa sunulması ile değerlendirilmesi yönleriyle de *çevreye duyarlı lojistik* olarak da bilinmektedir (Koban v.d., 2007:87). Şekil:1’de Tersine Lojistiğin Atık Yönetimi Açısından Kapsamı gösterilmiştir.



Şekil 1: Tersine Lojistiğin Atık Yönetimi Açısından Kapsamı
(Setaputra,2005:16)

Geri dönüşüm ve atık yönetimi kullanılmış ürünlerin geri kazanımını amaçladıklarından, kullanıcıdan geri dönüşüm merkezlerine doğru bir tersine akış oluştururlar.

A. Tersine Lojistik Ağ Yapısı

Genel bir tersine lojistik ağ, tüketicilerden kullanılmış ürünlerin toplanması, depolanması, yeniden işlenmesi ve geri dağıtılması faaliyetlerini içerir (Demirel, 2008:903). Tersine ağ, kullanılmış ürün ve malzemeler ile ilgilidir. Bu ağ, ya orijinal ileri kanal içinden ayrılan bir tersine ağda yada ileri ve tersine kanalın tek bir yapıda birleşmesi ile oluşan kapalı bir ağ içinde yer alır (Fleischmann,1997:4).

Gelişmiş etkili bir tersine lojistik ağın gerekleri aşağıdaki gibidir (Gaurang, 2006:10):

- 1) *Özel toplama merkezi*: Ürün tiplerinin fazlalığından dolayı randımanlı bir toplama merkezine gereksinim vardır.
- 2) *Sınıflandırma sistemi*: İyi tanımlanmış bir sınıflandırma sistemi, ürün çeşitliğinin çok olmasından gereklidir.
- 3) *Stok politikası*: Esnek bir stok politikası tersine lojistik akışı ile ilişkilendirilmiş elleçleme (seçerek ayırma) için gereklidir.
- 4) *Zamanlama politikası*: Öncelikle temel zamanlama politikası, hızlı bir şekilde varlıkların geri alınması ve çevreye verilecek zararın engellenmesi için gereklidir.
- 5) *Enformasyon akışı*: Yüksek verimli enformasyon akış sistemi geri dönüş işlemlerinin, izleme maliyetleri v.b. işlemler için gereklidir.
- 6) *Esneklik*: Uygulama, nakletme v.b. gibi kapasitenin de dâhil edildiği esnek bir sistem planlamak gereklidir.
- 7) *Çok parçalı koordinasyon*: Çeşitli katılımcıların koordinasyonu gereklidir.

B. Tersine Lojistik Ağ Yapısı Türleri

Tersine lojistik ağ planlanırken geri alınan ürünün tipi, kullanılacak olan geri kazanım fonksiyonu ve getirilen yasal zorunluluklar önemlidir. Tersine lojistik ağ yapısı türleri; Genel Tersine Lojistik Ağı, Özel Tersine Lojistik Ağı, Geri Alınması Zorunlu Ürünler için Tersine Lojistik Ağı, Yeniden Kullanım Ağı veya Yeniden Doldurulabilir Konteynerler için Ağlar, Yeniden İmalat Ağı, Geri dönüşüm Ağı ve Tamir Servis Ağı olmak üzere yedi şekilde sınıflandırılır (Şengül,2009:16-17).

III. Katı Atıkların Ekonomi ve Çevre Açısından Değerlendirme Aşamaları

Katı atıkların geri kazanımında 3R olarak sembolize edilen Reuse (Tekrar Kullanma), Remanufacturing (Yeniden Üretim) ve Recycling (Geri

Dönüşüm) dikkate alınmaktadır. Atıkların geri kazanım işlemlerini içeren 3R'yi oluşturan işlemler ve geri kazanım aşağıda kısaca ele alınmıştır.

- *Tekrar Kullanma*: Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasıdır. Cam şişelerin yıkanarak evlerde kullanılması tekrar kullanıma bir örnektir.

- *Yeniden Üretim*: Atıkların ayrıştırılmasından elde edilen parçaların yeni ürünlerin üretilmesinde hammadde olarak kullanılmasıdır.

- *Geri Dönüşüm*: Atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak orijinal amaçlı ya da enerji geri kazanımı hariç olmak üzere organik dönüşüm dahil diğer amaçlar için yeniden kullanılmasıdır. Geri dönüşüm ile katı atık içindeki değerlendirilebilir nitelikteki maddeler ekonomiye tekrar kazandırılır.

- *Geri Kazanım (Recovery)*: Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991:13). Kullanılmış plastiklerin parçalanarak karayollarında dolgu malzemesi olarak kullanılması geri kazanıma örnektir. Geri kazanım sistemi sürdürülebilir atık yönetiminde kaynaktan ayırma ve ayrı toplama ile sağlanmaktadır. Ancak bu, çok iyi eğitilmiş bir toplum ve iyi organizasyon gerektirmektedir (Hanay ve Koçer,2006:508).

A. Değerlendirilebilir Atıkların Lojistiği

Değerlendirilebilir atıkların geri kazanılmasındaki lojistik yaklaşım iki ana sisteme ayrılabilir. Bunlar; Entegre edilmiş ve İlâve toplama/ getir sistemleridir (www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr).

- Entegre toplama sistemlerinde, geri kazanılabilir ve değerlendirilemeyen atıkların toplanması, beraber ya da ortak bir yapı içerisinde gerçekleştirilmektedir.

- İlâve toplama/ getir sistemlerinde, değerlendirilebilir atıklar, değerlendirilemeyen atıklar için uygulanan toplama sisteminden lojistik olarak bağımsız şekilde toplanmakta ya da tüketiciler tarafından getirilmektedir. Geri dönüşüme konu olan ürünler genel olarak (Erdal v.d., 2008:503-504):

- Sanayi Atıkları,
- Evsel Atıklar,
- Ambalaj atıkları,

olarak sınıflandırılır. Çalışmanın temel konusu olan ambalaj atıkları aşağıda ele alınmıştır.

IV. Ambalaj Atıkları

Ambalaj, bir ürünün fabrikadan tüketiciye kadar ulaştırılması aşamalarında dağıtım zinciri olarak ifade edilen taşıma, depolama ve yükleme-

boşaltma işlemlerinde, içerdiği ürünü koruyan ve üzerinde yer alan bilgilerle iletişim sağlayan optimum maliyetli kaplar ve/veya sargılar olarak tanımlanmaktadır (www.cevreonline.com). Ambalaj içindeki ürüne ulaşıldıkta sonra çöpe atılan ambalaj “ambalaj atığı” olmaktadır. Ambalaj atıkları geri dönüş-türülebilir malzeme oranı yüksek olan atık türlerindedir.

Geri dönüşümde, malzemelerin yeniden kullanımlarının arkasındaki nedenler, ekonomik ve çevreseldir. Ambalaj atıklarının geri dönüşümü, tersine lojistik akışının ekonomik ve çevresel nedenlerine iyi bir örnektir. Ambalaj atıkları geri dönüşüm uygulamaları, artan nüfusa oranla atık miktarlarının artması ve çevre koruma işlemlerinin önem kazanması sebebiyle öne çıkmıştır. Ayrıca, geri kazanılmış ambalaj atıkları ya da diğer geri kazanılmış ürünler, toprağa gömülen atık miktarını azaltacağından, gömme alanlarının azalmasına ve düzenli depolama alanlarının verimliliğinin artmasına sebep olmaktadır.

Türkiye’de 1983 yılında çıkartılan 2872 sayılı Çevre Kanununda, 2006 yılında yapılan değişiklik ile ambalaj atıklarının kaynakta ayrı toplanması zorunluluğu getirilmiştir. Kanunun 11 inci maddesinde; atıkların geri kazanılması ve geri kazanılabilen atıkların kaynağında ayrı toplanmasının esas olduğu kabul edilmektedir. Ambalaj atıklarının toplanması konusundaki sorumluluklar ise 2004 yılında çıkartılan 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ile 2005 yılında çıkartılan 5393 sayılı Belediye Kanununda paylaştırılmıştır. Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ambalaj atıklarının yönetimine ilişkin usul ve esasları belirlemektedir. Yönetmeliğin amacı; belirli özelliklere sahip ambalajların üretimi, ambalaj atıklarının çevreye vereceği zararın önlenmesi, ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yolu ile bertaraf edilecek miktarının azaltılması ve ambalaj atıklarının belirli bir sistem içinde kaynağında ayrı toplanması, taşınması, ayrıştırılması konularında teknik ve idari standartların oluşturulması için gerekli prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenmesidir. Yönetmelik evsel, endüstriyel, ticari ve işyeri olmasına bakılmaksızın yurt içinde piyasaya sürülen:

- Plastik
- Metal
- Cam
- Kâğıt-karton
- Kompozit ve benzeri

malzemelerden yapılmış bütün ambalajları ve bu ambalajların atıklarını kapsamaktadır. Yönetmeliğe göre, ambalaj atıklarının ekonomiye kazandırılmasında sorumlu olan kuruluşlar;

- Ekonomik İşletmeler
 - 1) Ambalaj Üreticileri
 - 2) Piyasaya Süren İşletmeler
- Satış Noktaları

- Ambalaj Atığı Üreticileri
- Lisanslı İşletmeler
- Yetkilendirilmiş Kuruluş
- Belediyeler
- İl Çevre ve Orman Müdürlükleri ve
- Çevre Bakanlığı'dır (www.cevreonline.com).

V. Literatür Araştırması

Tersine lojistik ağı tasarlanırken, ya ileri akıştan bağımsız bir şekilde ya da ileri lojistikle bütünleşik bir şekilde modellenir. Çeşitli işlemler kullanarak farklı ürünlerin geri kazanımını ele alan tersine lojistik ağların etkin bir şekilde tasarlanması ve modellenmesi çalışmaları genel olarak Location-Allocation modeller, araç rotalama modelleri, dinamik rotalama ve çizelgeleme modelleri olup karma tamsayılı matematiksel modelleme şeklinde formüle edilmiştir. Geleneksel yer seçimi ve atama modellerinden farklı olarak bu sistemler genellikle itme sistemi yapısındadır. Yani malzeme akışını belirlemede talepten çok arz faktörü etkili olmaktadır. Genel olarak nicel modeller fiziksel lojistik ağ planının coğrafik yerleşimleri, tesisler ve nakliye halkasının belirlenmesini desteklemek için geliştirilmektedir. Tersine lojistik yönetimini içeren planlama ve kontrol problemleri, karmaşık ve belirsizlik içeren problem yapısındadır. Bu nedenle yöneylem araştırmasının çeşitli yöntem ve teknikleri bu problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Araştırmacıların sayısal model geliştirme çabaları çoğunlukla ağ tasarımı konusundadır. İlk olarak 1975'te Guiltinan ve Nwokoye tersine dağıtım ağlarını çalışmışlardır. Tersine lojistik tesislerinin yerine saptamaya karar vermek için tamsayılı programlama modelleri kullanılmıştır. Ancak tersine lojistikte ürün geri dönüşlerinin belirsizliği dolayısıyla olasılıklı programlama modelleri gerekmektedir. Bu yüzden tersine lojistikte yer atama modelleri geleneksel yer atama modellerinden farklıdır (Brito,2002-21:6).

Katı atık yönetimini modellemek için kullanılan lineer optimizasyon metotları geri alınan malzemelerin iyileştirilmesinde ve yeniden kazanımını sağlamak amacıyla kullanılmışlardır. Geleneksel metotlarda atıklar toplanır, taşınır ve toprağa gömülür. Geliştirilen metotlarla atıklar kaynaktan sınıflandırılır, toplanır, işlenir ve arta kalan miktar toprağa gömülür. Bundan dolayı optimizasyon modelleri, katı atık yönetim sistemlerinin geri kazanım programlarının planlanmasında önemli rol oynamaktadır. Atık pillerin, şişe ve camların, plastik ve kâğıt malzemelerinin geri dönüşümü için bu atıkların katı atıklardan ayrı bir şekilde depolanıp geri dönüşüm merkezlerine gönderilmesinde tersine lojistik ağın kurulması gerekir. Geri dönüştürme işlemleri teknolojik olarak zor ve pahalı işlemlerdir. Ekonomik olarak fayda sağlaması için yeterli hacimlerde gerçekleştirilmesi gerekir (Brito,2002-21:5).

Katı atık yönetimi, amaçları birbiriyle çelişen farklı ilişkide konuları içerdğinden karmaşık bir yapıya sahiptir. Katı atık yönetim modelleri, büyük

miktarda atık miktarlarının ortaya çıkması sebebiyle ilk olarak 1960'lı yıllarda kurulmaya başlanmıştır. Son zamanlarda, bir çok modelin kurulması ve uygulanması, uygun optimizasyon modellerinin gelişmesiyle birlikte artmıştır (Gottinger,1988:353). Caruso ve diğerleri (Caruso v.d.,1993:19), İtalyanın Lombardyidi bölgesinde, evsel katı atık yönetim sistemini modellemek için location-allocation uygulamasını kullanmışlardır. Model, nakliye, işlemlerden geçirme ve atık aşamalarını içermektedir ancak depolama aşamalarını ele almamaktadır. Gottinger (Gottinger, 1998:353), bölgesel katı atık yönetim problemini modellemiştir. Yazar, sistemi iki temel alt sistem olarak sınırlandırmıştır. İlk sistemde, kaynakların yerine göre kamyonların rotalanması, toplama sıklığı, kamyon ve gerekli ekipman sayısı, yeniden ele geçirilen atığın transfer merkezine ve işleme tesislerine yada toprağa gömmeye nakliyesini içeren bir toplama sistemi tanımlamıştır. İkinci sistemde, bölgesel yönetim sisteminin, transfer noktalarını yerleşimi ve sayısı, işleme tesisleri ve toprağa gömme alanlarının kapasitesinin belirlenmesidir. Bloemhof-Ruwaard (Bloemhof-Ruwaard v.d., 2005:617) v.d. fabrikaların ve atık yok etme birimlerinin dağıtım ağının, ürün koordinasyonunun ve ağ içindeki atık akışının planlanması ile atık yok etme problemini çalışmışlardır. Problem iki durumlu karma tamsayı programlama modeli olarak kurulmuştur. Anderson ve Nigam (Gottinger,1998:353), transfer istasyonlarından toprağa gömme bölgelerine minimum maliyetle atıkların nakledilmesi problemini incelediler. Problemi çözmek için kesme düzlemi algoritmasını kullandılar. Modelin sonucuna göre toprağa gömme bölgelerinin sayısı üçten büyük olursa hesaplanan zaman üstel olarak artmaktadır. Chang ve Lin (Chang, v.d.,1997:2380) atık miktarı çok olan bir bölgeye, transfer istasyonlarının yerleşimini optimize etmek için bir model geliştirdiler. Baetz ve Neebe (Baetz v.d., 1994:1376), atık yönetim programının tüm maliyetlerini minimize etmek amacıyla karma tamsayıli lineer programlama modeli oluşturduklar. Lund (Lund, 1990:183), atığın toprağa gömme ömrünü uzatmak amacıyla, geri kazanma miktarı veri setini değerlendirmek ve çizelgelemek için lineer programlama modeli geliştirmiştir. Jacobs ve Everett (Jacobs v.d.,1992:422) geri dönüşüm programında toprağa gömme işlemlerinin optimalliğini sağlamak için deterministik lineer programlama modeli geliştirdiler. Modellerini uzun dönemli gömme ve geri dönüşüm maliyetleri için denediler. Modelleri, geri dönüşüm maliyetlerinin, toprağa gömme ve bertaraf maliyetlerini aşması durumunda bile maliyet etkinliğini sağlamıştır. Alidi (Alidi,1992:650), tehlikeli atıkların bertarafı için tamsayıli hedef programlama modeli oluşturmuştur. Pierce ve Davidson (Pierce v.d.,1982:1016), lineer programlama tekniklerinin tehlikeli maddelerin yönetiminde kullanılması yönünde çalışmalar yapmışlardır. Geliştirdikleri lineer programlama modeli ile nakliye rotasının, ayırma ve işleme tesislerinin düzenlenmesinde maliyetin azaltılmasını sağlamaya çalışmışlardır. Storm (Storm,1998:12), kullanılmış ve eskimiş araba ve kamyon lastiklerini geri kazanım işlemini optimize etmek için tersine lojistik model kurmuştur. Pati v.d.

(Pati v.d.,2008:406), toplam sistem maliyetinin yanı sıra kalitesi uygun olmayan atık kâğıt miktarını minimize etmeye çalışırken diğer taraftan geri dönüştürülen atık kâğıt miktarını maksimum yapmak için çok amaçlı programlama modeli oluşturmuşlardır. Lu v.d. (Lu v.d.,2004:25), konteyner, şişe ve paletlerin geri dönüşümü için genel bir ağ tasarımı ve tesis yeri seçimini belirlemek için karma tamsayılı lineer programlama modeli önermişlerdir. Wang v.d.(Wang, v.d.,1995:66), geri dönüştürülen kâğıtların taşınmasını konu alan bir model geliştirmişlerdir. Modelde taşıma maliyetlerinin optimazasyonu amacıyla işleme tesislerinin yerleri belirlenmiştir. Kılıç (Kılıç, 2005:12), Türkiye’de faaliyet gösteren bir beyaz eşya üreticisinin geri dönüşüm sistemi ağ tasarımını karma tamsayılı programlama modeli oluşturarak çözmeye çalışmıştır. Köse v.d.(Köse v.d.,2009:2), Türkiye için atık kıyartma yağlarının geri kazanımı için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır.

VI. Uygulama

A. Çalışmanın Amacı

2005 yılında yürürlüğe giren Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğine göre, ambalaj atıklarının çevreye vereceği zararların önlenmesi ve geri kazanılması için evsel atıklar içinden ambalaj atıkları ayrı toplanmalı, geri dönüştürülmeli ve şehrin düzenli depolama sahalarına alınmamalıdır. Bu işlemleri yapabilmek için belediye tarafından, Ambalaj Atıkları Yönetim Planı (AAYP) yapılır. AAYP’da, ambalaj atıklarının biriktirilmesi, toplanması, taşınması, ayrıştırılması ve geri dönüştürülmesi faaliyetlerinin çevre ile uyumlu şekilde gerçekleştirilmesine yönelik olarak yapılacak çalışmalar ile bu çalışmaların kimler tarafından nasıl, ne şekilde ve ne zaman yapılacağını gösteren detaylı eylem planıdır (www.tisk.org.tr,2008:18). AAYP’nın en önemli aşaması kaynakta ayrı toplama işlemidir. Kaynakta ayrı toplama ve ayırma, doğrudan belediyeler tarafından yapılabileceği gibi, bu çalışmalarının belediyeler tarafından doğrudan yapılamaması durumunda, belediyelerce bedel talep edilmeksizin lisanslı/geçici çalışma izinli toplama ayırma tesislerine yaptırılır ve ekonomiye kazandırılır (Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, 2007: 27(4)). Erzurum’da ambalaj atıklarının yönetimi için belediye tarafından oluş-turulan bir plan bulunmamaktadır (Erzurum Çevre Yönetim Planı, 2008:10). Erzurum’daki geri kazanılabilen atıklar resmi olmayan sektörler tarafından toplanmaktadır (www.cindil.net/tanimt.html). Bu çalışmada Erzurum şehrinde orta-ya çıkan ambalaj atıklarının toplanması için bir tersine lojistik ağ tasarımı geliştirilmiştir. Bu model tasarımlarıyla geri dönüştürülebilecek ambalaj atık miktarının minimum ve maksimum değerleri ele alınarak, atıkları taşıma, elleçleme ve işleme gibi giderleri ile geri dönüşümünden elde edilecek gelir arasındaki farkı minimize edecek, olası toplama noktaları ve olası geri dönüşüm tesislerinden uygun olanı seçilecektir. Bu amaçla tersine lojistik ağ tasarımı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan MILP (Mixed Integer Linear Programming- Karma Tamsayılı Programlama) modeli, ambalaj atıklarının geri

dönüşümü ağ yapısı için uygulanacak ve altı senaryo LINGO 11.0 (Linear, INteractive and General Optimizer- Doğrusal Etkileşimli Genel Eniyileyici) optimizasyon programı kullanılarak çözülecektir.

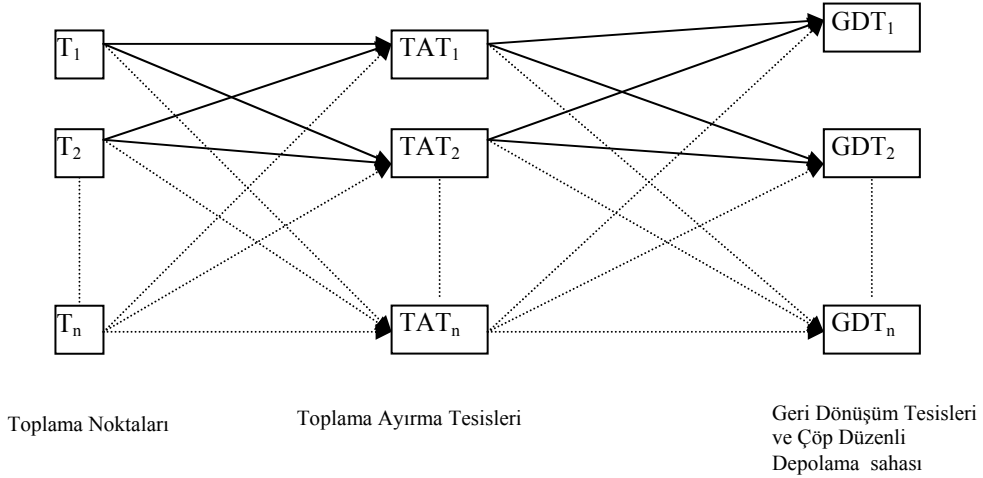
B. Sistemin İşleyişi

Erzurum ilinin ambalaj atıklarının geri kazanım çalışmalarına uygun modele karar vermek için geniş bir araştırma yapılmıştır. Tersine lojistik sistem modeli için, tüketiciden Toplama Ayırma Tesisine (TAT), oradan da Geri Dönüşüm Tesisine (GDT) ve şehrin düzenli depolama sahasına doğru olan akışta, ambalaj atıklarının akış ağının belirlenmesi gereklidir.

Ambalaj atıkları problemi; toplama alanlarının yerleşimleri, ambalaj atık talepleri ve elde edilebilirliklerinin belirlenmesi, nakliye ve toplama maliyetlerinin belirlenmesi, ambalaj atık tipine göre uygun toplama tesislerinin yerinin ve kapasitesinin belirlenmesi ve bu işlemlerin yapılması için ortaya çıkan maliyetlerin minimize edilmesi olarak tanımlanır.

Sistemde iki akış söz konusudur. Bu akışlar;

1. Toplama noktalarından TAT noktalarına olan akış,
 2. TAT noktalarından geri kazanılabilir ambalaj atıklarının GDT'ye ve geri kazanılamayan ambalaj atıklarının Çöp Düzenli Depolama sahasına olan akıştır.
- Durum Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Ambalaj Atıklarının Toplanması Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Modeli

C. Açığa Çıkan Ambalaj Atığı Miktarı

Erzurum'da, evsel atıklar Erzurum'un 7 km Güney batısında yer alan yeni düzenli katı atık depolama alanında toplanmaktadır (Çevre ve Orman Bakanlığı, Erzurum Çevre Durum Raporu, 2008:182). 2008 yılı itibariyle Erzurum

merkezde bulunan 346.644 kişi'den, 126.525 ton/yıl atık toplanmış ve düzenli depolama sahasına götürülmüştür (Atık Eylem Planı,2008-2012:166). Erzurum'da 2007 yılı şubat ayı itibariyle 2 adet ambalaj üreticisi firma ve 20 adet ambalajı piyasaya süren firma mevcuttur (Gürel,2007:4-5). Kurulacak olan model ortaya çıkan ambalaj atıklarının miktarına göre belirlenecektir. Ülkemizdeki ambalaj atığı miktarı, çöp üretimine oranla tahmin edilmektedir (Gönüllü,2009:4). Tablo 1'de 2009 yılı itibariyle Erzurum'da açığa çıkan ambalaj atık miktarları verilmiştir (Sağlam,2006:68).

Tablo 1: Erzurum Ambalaj Atık Miktarları (kg/kişi-gün)*

Ambalaj Maddeleri	Kâğıt	Karton	Plastik	Cam	Demir Metaller (demir-teneke)	Demir Dışı Metaller (Alüminyum)	Toplam
Kişi Başına Düşen Ambalaj Atık Miktarı	0,106	0,069	0,115	0,026	0,026	3,99.10 ⁻³	0,346

Bu oranlara göre, Erzurum'un katı atığının ağırlıkça %34,6'sını, hacimce %57,6'sını ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Atık oranlarının belirlendiği 2007 yılı itibariyle Erzurum Büyükşehir Belediyesine bağlı 4 ilçe kaymakamlığı bulunmaktadır. 2009 yılı itibariyle Erzurum Büyükşehir Belediyesine 3 ilçe kaymakamlığı bağlıdır. Bu kaymakamlıklar; Palandöken, Yakutiye ve Aziziye İlçe kaymakamlıklarıdır. Bu ilçelere ait bilgiler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2: Düzenli Katı Atıkları Toplanan Erzurum'un İlçeleri Hakkında Genel Bilgiler

Düzenli Katı Atıkları Toplanan Erzurum'un İlçeleri	Palandöken	Yakutiye	Aziziye	Toplam	
Nüfusu(TUİK-ADNKS 2008)	145.913	164.751	35.980	346.64	
Nüfusa göre konut sayısı	25.465	28.752	6.279		
Mahalle Sayısı	36	42	29	107	
Yıllık Çöp Miktarı	Hacimce(m ³)	177.527	200.447	43.776	421.75
	Ağırlıkça	53.258	60.134	13.133	126.52
Yıllık Ambalaj Atık Miktarı	Hacimce(m ³)	101.477	114.579	25.023	241.07
	Ağırlıkça	18.427	20.807	4.544	43.778
Günlük Ambalaj Atık Miktarı	Hacimce(m ³)	278	314	69	661
	Ağırlıkça	50	57	13	120

* 2006 yılına ait olan veriler 2009 yılı nüfusuna göre hesaplanmıştır

Bu çalışmada, sosyo ekonomik yapısının yüksek olması, apartman ve sitelerin yoğun olması dolayısıyla Palandöken ve Yakutiye İlçe kaymakamlıklarının ambalaj atıklarının toplanması ağı yapılacaktır. Kurulan model 6 senaryo üzerinde çalıştırılacaktır. Bu 6 senaryo; açığa çıkan atığın ağırlıkça; %1, %3, %6, %12, %24, %30'unun geri dönüştürülmesi durumlarıdır. Çalışmada ambalaj atıklarının toplanması için Palandöken ve Yakutiye İlçeleri nüfus yoğunlukları dikkate alınarak yedi bölgeye ayrılmıştır. Haftanın her günü bir bölgedeki ambalaj atıkları toplanacaktır ve her 1500 kişi için 1000 lt hacimli bir konteyner yerleştirilecektir (Toplam Atığın maksimum %30'unun toplanacağı varsayılarak hesaplanmıştır). Tablo 3'de ambalaj atıklarının toplama bölgeleri ve atık miktarları gösterilmiştir.

Tablo 3: *Ambalaj Atıkları Toplama Bölgeleri*

Yerleşim	Palandöken				Yakutiye			Toplam
2009 yılı	145.913				164.751			310.664
Günlük Çöp Miktarı (kg)	145.912				164.751			310.663
Toplama Bölgeleri	Yunusemre	Yenişehir-Doğu	Yenişehir-Batı	Yıldızkent	Yakutiye-Doğu	Merkez	Üniversite	
Toplama Bölge Nüfusları	20.301	50.162	60.250	15.200	30.250	84.251	50.25	310.664
Atık Kumbara Sayısı	14	34	40	10	20	56	34	208
Nüfusa göre atık miktarı (kg/gün)	20.301	50.162	60.250	15.200	30.250	84.251	50.25	310.664
Toplama Günleri	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	

D. Açığa Çıkan Ambalaj Atıklarının Toplama Maliyeti

Toplama maliyeti, katı atıkların kaynakta ayrı toplanmasından dolayı oluşan maliyeti kapsamaktadır. Erzurum şehrinin düşük gelir düzeyli toplum* olduğu kabul edilirse, toplama için ton başına 15-40 \$ (<http://www.geridonusum.org/m.talha-gonullu/cop-yonetimi> ve [ekonomisi.html](http://www.ekonomisi.html)),) harcama gereklidir. Bu değerler dikkate alındığında Erzurum'da ambalaj atıklarının toplanması için 25 \$/ton (0,025 \$/kg) değeri alınacaktır.

E. Ambalaj Atık Kategorilerinin Belirlenmesi

Model içerisindeki ambalaj atıkları evsel atıklardan ayrı olarak toplanacaktır. Ambalaj atıklarının tüketiciler tarafından konteynerlere getirildiği varsayılmıştır. Konteynerlerde karışık olarak toplanan ambalaj atıkları TAT tesislerinde kategorilerine göre ayrılacaktır. TAT'larda ambalaj atıkları:

* TÜİK verilerine göre (http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=56&ust_id=16 , erişim tarihi 05.09.2009) GSMH kişi başına Erzurum / GSMH kişi başına Türkiye geneli değeri 0,59 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre, Erzurum düşük gelir düzeyinde üst gruba isabet etmektedir.

- Kâğıt-karton
- Plastik
- Cam
- Metal (demir,çelik,alüminyum)
- Geri Dönüştürülemeyen atıklar

olarak sınıflandırılacaktır. Bu ambalaj atıklarının toplama konteyneri içinde bulunma yüzdeleri ise Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: *Toplanan Ambalaj Atıklarının Yüzde Dağılımları*

Ambalaj Atıkları	Kâğıt-Karton	Plastik	Cam	Metal	Artık	Toplam
Ambalaj Atık İçindeki Oran (Ağırlıkça)	50,576	33,226	7,516	8,662	0,02	100

F. Geri Dönüştürülebilir Ambalaj Atıklarının Ekonomik Değerleri

TAT’da türlerine göre ayrılan malzemeler GDT’ye satılarak gelir elde edilir. GDT’nin geri dönüştürülebilir malzemelere ödediği birim maliyetler Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5: *Ambalaj Atıklarının Gelirleri (Gönüllü,2009:38)*

Ambalaj	TL/ton	\$/kg
Kâğıt	140	0,093
Plastik	550	0,37
Cam	90	0,06
Metal	1.300	0,87

G.TAT Noktalarının Kapasitelerinin Belirlenmesi

TAT düzenli depolama sahasına 10 km uzaklıkta Tuzcu köyü mevkiinde kurulması düşünülmektedir. TAT’lar temelde iki tiptir. Bunlar; Küçük Ölçekli Ayırma Tesisi (KAT-6ton/gün) ve Orta Ölçekli Ayırma Tesisi (OAT-10 ton/gün) olup ÇEVKO’nun önerdiği tesis tipleridir. Bu TAT tesislerinin sayısı, gelen ambalaj atık miktarına göre arttırılacaktır. Buna göre; 6 tip TAT kullanılacaktır. Ambalaj atığının yoğunluğu yaklaşık olarak 56,37 kg/m³(Sağlam,2006: 68) alınarak, tesislerin minimum ve maksimum günlük kapasiteleri Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6: TAT'ların Günlük Kapasiteleri

TAT Türü	Ayırma Kapasitesi (ton/gün)	Ayırma Kapasitesi (m ³ /gün)	Minimum Kapasite (kg/gün)	Maksimum Kapasite (kg/gün)
1. Tip Tesis	6	106	100	6.000
2. Tip Tesis	10	177	6001	10.000
3. Tip Tesis	20	106	10.001	20.000
4. Tip Tesis	40	177	20.001	40.000
5. Tip Tesis	80	106	40.001	80.000
6. Tip Tesis	100	177	80.001	100.000

H. TAT Noktalarının Maliyetlerinin Belirlenmesi

Yıllık sabit maliyetleri oluşturan maliyetler şunlardır; (Amortisman giderleri + Yıllık sabit enerji giderleri + Yıllık sabit ofis giderleri + Yönetim giderleri)'dir. Amortisman süreleri Vergi Usul Kanunundan (www.aktifsmmm.com.tr) alınmıştır. Amortisman giderleri; Amortisman giderleri= [(Arsa satın alma maliyeti/50) + (Ofis yapım maliyeti/50) + (Stok alanı sundurma maliyeti/25) + (Ekipman maliyeti+IT donanım ve yazılım maliyeti)/5)+(Makine Teçhizat Maliyetleri/10)] şeklinde her iki tip ayırma tesisi için hesaplanmış olup Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7: TAT Yıllık ve Günlük Sabit Maliyetleri

	Maliyet (\$ /yıl)	Maliyet (\$ /gün)
KAT	62.616	171,55
OAT	87,828	240,62

Değişken maliyetler, işçilik maliyetleridir. Her bir ambalaj atığı için işçilerin elleçleme maliyetleri hesaplanmış ve Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8: TAT Türlerine Göre Birim kg Başına Ambalaj Atığı Elleçleme Maliyetleri

	İşçi Sayısı	Maliyet (\$/yıl)	Toplam günlük Elleçleme Maliyeti (\$/gün)	Birim ağırlık değişken Maliyet(Elleçleme Maliyeti) (\$/gün-kg)
KAT	5	33.840	92,71	0,015
OAT	7	47.376	129,80	0,012

I. GDT'nin Özelliklerinin Belirlenmesi

TAT'da kategorilerine göre ayrılan ambalaj atıkları türlerine göre GDT'ye gönderilir. Ambalaj atıkları 4 tip tesise gönderilecektir. Bu 4 tip tesis; kâğıt-karton, plastik, cam ve metal GDT'lerdir. Gönderilecek olan tesisler Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından lisans verilmiş tesisler içinden seçilecektir (www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr). Tablo 9'da örnek alınan liste gösterilmiştir.

Tablo 9: GDT Konum Kümeleri ve Kapasiteleri(kg/gün)

Şehir	Erzurum'a Uzaklık(km)	Tür	Min. Kapasite	Max. Kapasite
Kayseri	630	Kâğıt-Karton	1.000	15.000
Gaziantep	637	Kâğıt-Karton	500	15.000
Adana	805	Kâğıt-Karton	1.000	47.500
İstanbul	1225	Kâğıt-Karton	15.000	40.000
Manisa	1434	Kâğıt-Karton	5.000	100.000
İzmir	1452	Kâğıt-Karton	15.000	90.000
İğdır	294	Plastik	100	8.000
Kayseri	630	Plastik	100	3.000
Adana	805	Plastik	100	4.000
Ankara	873	Plastik	100	4.000
Mersin	874	Plastik	100	3.000
Konya	934	Plastik	100	1.000
Kocaeli	1114	Plastik	1000	20.000
İstanbul	1225	Plastik	100	3.000
Aksaray	786	Cam	100	2.000
Adana	805	Cam	1000	3.500
Ankara	873	Cam	100	2.500
Ankara	873	Alüminyum	100	8.200

K. Modelin Kurulması

Varsayımlar: Modelin kurulması aşamasında aşağıdaki varsayımlar yapılmış ve model çözümü sonucunda bulunan değerler bu varsayımlar doğrultusunda değerlendirilmiştir;

- *Amaç Fonksiyonunun Doğrusal ve Kantitatif Olarak İfade Edilebilmesi:*

Taşınan ambalaj madde miktarıyla, toplama maliyeti, taşıma maliyeti, elleçleme maliyeti ve sabit maliyet arasında doğru orantılı bir ilişki vardır ve bu doğru orantı her bir maliyetin ambalaj miktarına göre değişip değişmediğine bağlıdır. Birim maliyetlerin değişmediği kabul edildiğinden, toplam maliyetler ile taşınan miktar arasında doğru orantı vardır.

- *Verilerin Aynı Ölçü Birimi ile İfade Edilebilmesi:* Doğrusal programlama modelinin uygulanabilmesi için, verilerin aynı ölçü birimi ile ifade edilebilmesi gerekir. Çalışmada ölçü birimi olarak kg alınmıştır.

- Ambalaj atığı işletme maliyetleri tüm TAT'lar için sabit varsayılmıştır.

- Ambalaj atığının tedariki, toplamada kullanılan çöp kamyonlarının kapasitesi ile ilişkilidir.

- Geri alınacak ambalaj atıkları için oluşan talep, geri dönüştürülecek malzemeyi kabul eden geri dönüşüm tesislerinin kapasitesi ile ilişkilidir.

- TAT, toplama noktalarında hiçbir karma toplama maliyetlerine (kuruluşlar, kira v.b) maruz kalmamaktadır.

Ambalaj atıklarının geri dönüşümü için kurulan tersine lojistik ağıın matematiksel modeli aşağıda tanımlanan indisler, karar değişkenleri ve

parametreler kullanılarak formüle edilmiştir. Formülasyon, karar değişkenlerinin bir kaçının tamsayı tanımlanmasından dolayı karma tamsayılı programlama problemi olarak kurulmuştur.

İndisler

i	Toplama bölgeleri, $i= 1, \dots, 7$
j	TAT noktası, $j= 1, \dots, 6$
k	Kâğıt-karton GDT noktaları, $k= 1, \dots, 9$
p	Plastik GDT noktaları, $p= 1, \dots, 5$
l	Cam GDT noktaları, $l= 1, \dots, 6$
m	Metal GDT noktaları, $m= 1$

Sabitler

$c1$	Ambalaj atığını $\text{kg} \cdot \text{km}$ taşıma maliyeti (\$) = $5,77 \cdot 10^{-5}$ \$/kg-km
$c2$	Kâğıt-Karton ambalaj atığını $\text{kg} \cdot \text{km}$ taşıma maliyeti (\$) = $5,77 \cdot 10^{-5}$ \$/kg-km
$c3$	Plastik ambalaj atığını $\text{kg} \cdot \text{km}$ taşıma maliyeti (\$) = $5,77 \cdot 10^{-5}$ \$/kg-km
$c4$	Cam ambalaj atığını $\text{kg} \cdot \text{km}$ taşıma maliyeti (\$) = $5,77 \cdot 10^{-5}$ \$/kg-km
$c5$	Metal Ambalaj atığını $\text{kg} \cdot \text{km}$ taşıma maliyeti (\$) = $5,77 \cdot 10^{-5}$ \$/kg-km

Karar değişkenleri

$x1_{ij}$	i 'inci toplama bölgesinden j 'inci TAT noktasına giden ambalaj atık miktarı (kg)
$x2_{jk}$	j 'inci TAT noktasından k 'inci GDT'ye giden kâğıt-karton miktarı (kg)
$x3_{jp}$	j 'inci TAT noktasından p 'inci GDT'ye giden plastik miktarı (kg)
$x4_{jl}$	j 'inci TAT noktasından l 'inci GDT'ye giden cam miktarı (kg)
$x5_{jm}$	j 'inci TAT noktasından m 'inci GDT'ye giden metal miktarı (kg)
$x6_{jn}$	j 'inci TAT noktasından " n " Düzenli depolama sahasına giden atık miktarı (kg)
$y1_j$	j 'inci TAT noktasında biriken ambalaj atık miktarı (kg)
$y2_j$	j 'inci TAT noktasında biriken kâğıt miktarı (kg)
$y3_j$	j 'inci TAT noktasında biriken plastik miktarı (kg)
$y4_j$	j 'inci TAT noktasında biriken cam miktarı (kg)
$y5_j$	j 'inci TAT noktasında biriken metal miktarı (kg)
$y6_j$	j 'inci TAT noktasında biriken atık miktarı (kg)
yk_k	k 'inci GDT'ye gönderilen kâğıt miktarı(kg)
yp_p	p 'inci GDT'ye gönderilen plastik miktarı(kg)
yl_l	l 'inci GDT'ye gönderilen cam miktarı(kg)
$z1_j$	j 'inci TAT noktası var ya da yok (1/0)
$z2_k$	k 'inci GDT var ya da yok (1/0)
$z3_p$	p 'inci GDT var ya da yok (1/0)
$z4_l$	l 'inci GDT var ya da yok (1/0)

Parametreler

a_i	i 'inci toplama bölgesinde biriken ambalaj atık miktarı(kg)
$b1_{ij}$	i 'inci toplama bölgesi ile j 'inci TAT noktası arası uzaklık (km)
$b2_{jk}$	j 'inci TAT noktası ile k 'inci GDT noktası arası uzaklık (km)
$b3_{jp}$	j 'inci TAT noktası ile p 'inci GDT noktası arası uzaklık (km)
$b4_{jl}$	j 'inci TAT noktası ile l 'inci GDT noktası arası uzaklık (km)
$b5_{jm}$	j 'inci TAT noktası ile m 'inci GDT noktası arası uzaklık (km)
$b6_{jn}$	j 'inci TAT noktası ile " n " GDT Düzenli Depolama Sahası arası uzaklık (km)
w_i	i 'inci toplama bölgesindeki toplama maliyeti (\$/kg-gün)
d_j	j 'inci TAT noktasındaki ambalaj atıklarını elleçleme maliyeti (\$/kg)
$g1$	Toplam ambalaj atıktaki kâğıt oranı (ağırlıkça)
$g2$	Toplam ambalaj atıktaki plastik oranı (ağırlıkça)
$g3$	Toplam ambalaj atıktaki cam oranı (ağırlıkça)
$g4$	Toplam ambalaj atıktaki metal oranı (ağırlıkça)
$g5$	Toplam ambalaj atık içindeki kullanılmayan ambalaj atık miktarı oranı
$e1$	Kâğıt ambalaj atığından elde edilen gelir (\$/kg)
$e2$	Plastik ambalaj atığından elde edilen gelir (\$/kg)
$e3$	Cam ambalaj atığından elde edilen gelir (\$/kg)
$e4$	Metal ambalaj atığından elde edilen gelir (\$/kg)
f_j	j 'inci TAT noktasının günlük sabit maliyeti (\$/gün)
$sal1_j$	j 'inci TAT noktasının minimum kapasitesi (kg/gün)
$syu1_j$	j 'inci TAT noktasının maksimum kapasitesi (kg/gün)
$sal2_k$	Kâğıt GDT'nin minimum kapasitesi (kg/gün)
$syu2_k$	Kâğıt GDT'nin maksimum kapasitesi (kg/gün)
$sal3_p$	Plastik GDT'nin minimum kapasitesi (kg/gün)
$syu3_p$	Plastik GDT'nin maksimum kapasitesi (kg/gün)
$sal4_k$	Cam GDT'nin minimum kapasitesi (kg/gün)
$syu4_k$	Cam GDT'nin maksimum kapasitesi (kg/gün)

Model

$$\begin{aligned}
Z_{\min} = & \sum_i \sum_j w_i * x1_{ij} + \sum_i \sum_j x1_{ij} * b1_{ij} * c1 + \sum_j \sum_k (x2_{jk} * b2_{jk} * c2) + \sum_j \sum_p (x3_{jp} * b3_{jp} * c3) + \\
& \sum_j \sum_l (x4_{jl} * b4_{jl} * c4) + \sum_j \sum_m (x5_{jm} * b5_{jm} * c5) + \sum_j \sum_n (x6_{jn} * b6_{jn} * c1) + \sum_i \sum_j x1_{ij} * d_j + \\
& \sum_j (f_j * z1_j) - \sum_j \sum_k (x2_{jk} * e1) - \sum_j \sum_p (x3_{jp} * e2) - \sum_j \sum_l (x4_{jl} * e3) - \sum_j \sum_m (x5_{jm} * e4) \dots \dots (1)
\end{aligned}$$

Kısıtlar;

Akış Kısıtları

$$\sum x1_{ij} = a_i \quad \forall(i) \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum x1_{ij} = y1_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (3)$$

$$y1_j * g1 = y2_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum x2_{jk} = y2_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (5)$$

$$\sum x2_{jk} = yk_k \quad \forall(k) \dots\dots\dots (6)$$

$$y1_j * g2 = y3_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (7)$$

$$\sum x3_{jp} = y3_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (8)$$

$$\sum x3_{jp} = yp_p \quad \forall(p) \dots\dots\dots (9)$$

$$y1_j * g3 = y4_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (10)$$

$$\sum x4_{jl} = y4_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (11)$$

$$\sum x4_{jl} = yl_l \quad \forall(l) \dots\dots\dots (12)$$

$$y1_j * g4 = y5_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (13)$$

$$\sum x5_{jm} = y5_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (14)$$

$$y1_j * g5 = y6_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (15)$$

$$\sum x6_{jn} = y6_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (16)$$

Kapasite Kısıtları

$$y1_j \geq sal1_j * z1_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (17)$$

$$y1_j \leq syu1_j * z1_j \quad \forall(j) \dots\dots\dots (18)$$

$$yk_k \geq sal2_k * z2_k \quad \forall(k) \dots\dots\dots (19)$$

$$yk_k \leq syu2_k * z2_k \quad \forall(k) \dots\dots\dots (20)$$

$$yp_p \geq sal3_p * z3_p \quad \forall(p) \dots\dots\dots (21)$$

$$yp_p \leq syu3_p * z3_p \quad \forall(p) \dots\dots\dots (22)$$

$$yl_l \geq sal4_l * z4_l \quad \forall(l) \dots\dots\dots (23)$$

$$yl_l \leq syu4_l * z4_l \quad \forall(l) \dots\dots\dots (24)$$

En Fazla TAT ve GDT Noktaları Sayısı Kısıtı

$$\sum_j z1_j \leq 6 \dots\dots\dots (25)$$

$$\sum_k z2_k \leq 6 \dots\dots\dots (26)$$

$$\sum_p z3_p \leq 8 \dots\dots\dots (27)$$

$$\sum_l z4_l \leq 3 \dots\dots\dots(28)$$

Tamsayı Kısıtı

$$z1_j, z2_k, z3_p, z4_l \in \{0,1\} \quad \forall(j,k,p,l) \dots\dots\dots(29)$$

Negatif Olmama Kısıtı

$$x1_{ij}, x2_{jk}, x3_{jp}, x4_{jo}, x5_{jm}, x6_{jn}, y1_j, y2_j, y3_j, y4_j, y5_j \quad \forall(i,j,k,p,l,m,n) \dots\dots\dots(30)$$

L. Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Model 6 senaryo için çalıştırılmıştır. Her bir senaryo sonucunda açığa çıkan ambalaj atık miktarları ve toplam maliyet değerleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 10: *Toplama Bölgelerinden Toplanan Ambalaj Miktarı (kg/gün)*

Toplama bölgeleri	Toplanan Ambalaj Atık Miktarı					
	1	2	3	4	5	6
Yunusemre	202	604	1212	2.423	4.846	6.058
Yenişehir-Doğu	503	1510	3020	6.039	12.079	15.098
Yenişehir-Batı	603	1809	3616	7.232	14.464	18.081
Yıldızkent	152	457	913	1.827	3.653	4.567
Yakutiye-Doğu	301	904	1808	3.616	7.233	9.040
Merkez	842	2526	5051	10.104	20.205	25.257
Üniversite	504	1510	3020	6.039	12.079	15.098

Tablo:11: *TAT'daki Ambalaj Atık Miktarları(kg/gün)*

Senaryo	TAT tesisi	Atık Miktarı	Kâğıt	Plastik	Cam	Metal
1	1. Tip Tesis	3.107	1.571,40	1.032,33	233,53	269,13
2	2. Tip Tesis	9.320	4.713,69	3.096,66	700,49	807,30
3	3. Tip Tesis	18.640	9.427,37	6.193,33	1.400,98	1.614,6
4	4. Tip Tesis	37.280	18.854,73	12.386,65	2.801,97	3.229,1
5	1. Tip Tesis	6.000	3.034,56	1.993,56	450,96	519,72
	2. Tip Tesis	10.000	5.057,60	3.322,60	751,60	866,20
	3. Tip Tesis	20.000	10.115,20	7.617,23	1.503,20	1.732,4
	4. Tip Tesis	38.559	19.501,60	12.811,61	2.898,09	3.339,9
6	1. Tip Tesis	5.998	3.034,56	1.993,56	450,96	519,72
	2. Tip Tesis	9.998	5.057,6	3.322,60	751,6	866,2
	5. Tip Tesis	77.203	39.044,17	25.650,14	5.802,28	6.686,9

Tablo 12: GDT Yerleri ve Gönderilen Ambalaj Atık Miktarları(kg/gün)

Şehir	Senarvo	Kâğıt	Plastik	Cam	Metal
Kayseri	1	1.571.396			
	2	4.713.683			
	3	9.427.366			
	4	15.000	3.000		
	5	15.000	3.000		
	6	15.000	3.000		
İğdır	1		1.032.332		
	2		3.096.663		
	3		6.193.326		
	4		8.000		
	5		8.000		
	6		8.000		
Aksaray	1			233.5251	
	2			700.4912	
	3			1.400.982	
	4			1.801.965	
	5			2.000	
	6			2.000	
Ankara	1				269.1283
	2				807.2984
	3				1.614.597
	4				3.229.194
	5		4.000	103.85	6.458.30
	6		4.000	1504.84	8.072.90
Aksaray	1			233.5251	
Gaziantep	1			233.5251	
	4	2.854.733			
	5	3.000			
	6	3.000			
Adana	1			233.5251	
	4	1.000	1.386.653	1.000	
	5	14.708.96	3127.77	3.500	
	6	14.136.3	4.000	3.500	
Manisa	1			233.5251	
	5	5.000			
Kocaeli	1			233.5251	
	5		5.772.97		
	6	11966.3			
İstanbul	1			233.5251	
	6	15.000			

VII. Sonuç

Dünyada giderek önemi artan kimi durumlarda çevresel nedenlerden dolayı zorunlu, kimi durumlarda işletmeler tarafından rekabetçi üstünlük sağlanabilmesi için uygulanan geri dönüşüm ve bunu gerçekleştirmeyi sağlayan tersine lojistik kavramı gün geçtikçe önemini arttırmaktadır.

Geri dönüşüm; atıkların yeni bir malzeme olarak kullanılması için sistematik bir şekilde toplanmasını, sınıflandırılmasını, kirletici maddelerden temizlenmesini kapsayan bir takım işlemler bütünüdür. Katı atık yönetim stratejilerinden en karmaşık olanı geri dönüşümdür.

Yöneylem araştırması atık yönetimi alanında başarılıdır. Yazarların, etkili katı atık yönetim işlemlerini ve planlarını hesaplayan modelleri literatür de yaygın bir şekilde yer almaktadır. Bu makalelerin birçoğu atık yönetim işlemleri ile ağ modellerinin kullanımını bir birine bağlamışlardır. Ayrıca, genel

atık yönetim sistemleri kapsamında malzemenin kurtarılmasını ve yeniden kazanımı içeren modeller kurulmuştur.

Modelde Erzurum yedi toplama bölgesine ayrılmıştır. Her bölgede çıkan ambalaj atık miktarı o bölgenin nüfusuna ve geri dönüşüm oranına bağlı olarak 6 senaryo kapsamında incelenmiştir. Bu senaryolar açığa çıkan atığın, %1, %3, %6, %12, %24 ve %30'unun geri dönüştürülmesi durumlarıdır. Modelin amacı, Erzurum'da oluşan ambalaj atıklarının, belirlenen yerlerden toplanarak Toplama Ayırma Tesislerine ve oradan da Geri Dönüşüm Tesislerine ve ambalaj niteliğinde olmayan atıkların şehrin düzenli depolama sahasına sevkiyatı açısından açığa çıkan maliyetleri minimum yapan akışları sağlamaktır. Bu amaçla sağlanan olası Toplama Ayırma Tesis ve Geri Dönüşüm Tesis noktaları kümesinden uygun olanlar seçilecektir. Burada söz konusu olan maliyetler, toplama maliyetleri, taşıma maliyetleri, elleçleme maliyetleri, Toplama Ayırma Tesislerinin sabit maliyeti ve işletme maliyetidir.

Model Karma Programlama Modellerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan LINGO 11.0 bilgisayar programıyla çözülmüş ve her bir senaryo için minimum maliyeti sağlayacak Toplama Ayırma Tesis ve Geri Dönüşüm Tesis yerleri belirlenmiştir. Senaryo1 durumunda sistemin toplam maliyeti 666,83 \$/gün, Senaryo2 durumunda 54,42 \$/gün, Senaryo3 durumunda 333,46 \$/gün, Senaryo4 durumunda 1672,41 \$/gün, Senaryo5 durumunda 2556,815 \$/gün ve Senaryo6 durumunda 8099,08 \$/gün olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre en düşük maliyet değeri atıkların %2'sinin, en yüksek maliyet değeri ise atıkların %30'unun geri dönüştürülmesi durumudur. Bu sonuçlara göre geri dönüştürülen ambalaj atık miktarının artması sistemi kârdan çok zarara itmektedir. Bunun nedenini anlamak için elleçleme, taşıma ve toplama maliyet değerlerinde %10 luk bir artış yapılarak toplam maliyet değerindeki artışın hangi maliyet değerinden etkilendiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Değerlere bakıldığında, Senaryo1, Senaryo2, Senaryo3 ve Senaryo5'de taşıma maliyetinin, Senaryo4 ve Senaryo6'da elleçleme maliyetinin diğer maliyetlere göre toplam maliyetin artmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan hurda malzeme alış fiyatlarında %10 luk bir artış yapılarak toplam maliyet değerlerine bakılmıştır. Bu durumda Senaryo 2 ve Senaryo3'de kar durumuna geçilmiş diğer senaryolarda da maliyet değerlerinde önemli düşüş sağlanmıştır. Bu denemeler sonucunda; toplam maliyet değeri üzerinde etkili olan parametreler önem sırasına göre taşıma, elleçleme ve toplama maliyetidir. Geri dönüştürülen ambalaj atık miktarı arttıkça, taşıma maliyetinin toplama maliyeti üzerinde etkili olmasının nedeni, Erzurum iline yakın olan şehirlerdeki Geri Dönüşüm Tesislerinin bu kapasiteyi karşılayamamasından dolayı daha uzak şehirlere gönderilmesidir. Senaryo6'da toplam maliyet üzerinde etkili olan maliyet elleçleme maliyetidir. Malzeme miktarı arttıkça daha çok işçiye ihtiyaç olunmaktadır ve buda maliyet değerini yükseltmektedir. Bunun sonucunda ancak düşük geri dönüşüm oranlarında kâr sağlanabilmektedir. Dünya üzerinde yapılan geri dönüşüm çalışmalarının büyük çoğunluğunda zarar söz konusudur.

Çünkü sistemin işletilmesi karşısında oluşan maliyete karşılık, yalnızca geri dönüştürülen malzemelerin satışından gelir elde edilmektedir. Geri dönüştürülen malzemeler hurda değerinde olduğundan ucuza satılmaktadır. Geri dönüşüm işi emek ağırlıklı bir iştir buda maliyetlerin yüksek olmasına sebep olmaktadır.

Genel olarak düşünüldüğünde geri dönüşüm ağının faydası yalnızca malzemelerin satılmasından elde edilen gelir değildir. Bunun yanı sıra; hava ve su kirliliğini azaltması, üretim aşamasında gerekli olan enerji ihtiyacını, su tüketimini ve hammadde kullanımını azaltması ile çöp depolama sahasının ömrünü uzatması v.b. bir çok faydası vardır. Bu faydalar Toplama Ayırma Tesisine kâr olarak yansımada, çevre kirliliği ve hammadde kaynak tüketiminin azaltılması açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu atıkların geri dönüşümü yasal gerekliliktir.

Kaynaklar

- Ammons, Jane C., Matheww J. Realf, David Newton (1999), "Reverse Production System Design And Operation For Carpet Recycling", Submitted For Publication Consideration To The European Journal Of Operational Research, 38(3), Ss.547-567.
- Alıdı Abdulaziz S., (1992), "An Integer Goal Programming Model For Hazardous Waste Treatment And Disposal" Applied Mathematical Modeling, Vol. 16, , S. 645-651.
- Baetz Brian W., Alan Neebe W., (1994), "A Planning Model Fort He Development Of Waste Material Recycling Programmes", Journal Of Operational Research Society, Vol. 45, S. 1374-1384.
- Bloemhof-Ruwaard, J.M., Van Wassenhove, L.N., Gabel, H.L., And Weaver, P.M., "An Environmental Life Cycle Optimization Model For The European Pulp And Paper Industry", 2005, Omega, Vol. 24(6), S. 615-629.
- Brito, M.P., Flapper, S.D.P., Dekker R., (2002), "Reverse Logistics: A Review Of Case Studies", Econometric Institute Report E1 2002-21.
- Caruso C.,A. Colomi, M. Paruccini, (1993), "The Regional Urban Solid Waste Management System: A Modeling Approach", European Journal Of Operational Research, , Vol. 70, S. 16-30.
- Chang Ni-Bin, Lin T.T., (1997), "Optimal Siting Of Transfer Station Locations In A Metropolitan Solid Waste Management System", Journal Of Environmental Science And Heath, Vol. A32 (8), , S. 2379-2401.
- Demirel, Özgün N, Gökçen H. (2008), "Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri İçin Lojistik Ağı Tasarımı: Literatür Araştırması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak.Der., (24)4. Ss. 905-912.
- Erdal Murat, Görçün Ömer Faruk, Görçün Özhan, Saygılı Mehmet Sıtkı, Entegre Lojistik Yönetimi, 2008, Beta Yayınları, 1. Baskı, S.503-504.
- Fleischmann, M., Jacqueline, M., Van Der Laan, E., Van Nunen, Jo A.E.E. And Van Wassenhove, L.N. (1997) ; "Quantitative Models For Reverse

- Logistics: A Review”, European Journal Of Operational Research, 103(2),Ss.1-17.
- Gaurang,S.Patel (2006),“A Stochastic Production Cost Model For Remanufacturing Systems”,The Doctor Of Philosophy Thesis, Umı Number: 1456981.
- Gönüllü M.Talha, (Temmuz 2009), “Ambalaj Atıklarının Sürdürülebilir Geri Dönüşümü Ve Tüm Taraflarla Birlikte Belediyelere Düşen Görevler”, T.C. Marmara Ve Boğazları Belediyeler Birliği, Marmara Sürdürülebilir Kalkınma Platformu, S.2.
- Gottinger W Hans, (1988), “A Computational Model For Solid Waste Management With Application”, European Journal Of Operational Research, Vol. 35, , S.350-364.
- Gürel Oğuz, (6-7 Aralık 2007), “İlimizde Ambalaj Atıkları Yönetimine İlişkin Uygulamalar Ve Karşılaşılan Sıkıntılar”, Türkiye’de Ambalaj Atıkları Yönetimi Ve Uygulamaları Semineri, Erzurum.
- Jacobs Timothy L., Evertt Jess W.,(1992) ,“Optimal Scheduling Of Consecutive Landfill Operations With Recycling”, Journal Of Environmental Engineering, Vol. 118, S. 420-429
- Lu Z., Bostel, N., Ve Dejax, P., (2004), “The Simple Plant Location Problem With Reverse Flows”. In: A. Dolgui, J.Soldek, O. Zaikin (Eds.), Supply Chain Optimization. Kluwer Academic Publishers, In Pres.
- Lund Jay R.,(1990) , “Least-Cost Scheduling Of Solid Waste Recycling”, Journal Of Environmental Engineering, Vol. 116, S. 182-197.
- Pati R.K., Vrat P., , Kumar P., (2008), “A Goal Programming Model For Paper Recycling System”, Omega, Vol. 36, S.406.
- Pierce, J.J., G.M. Davidson, (1982), “Lineer Programming İn Hazardous Waste Management”, Journal Of Environmental Engineering, Div. Asce, Vol. 108, S. 1014-1028.
- Özge Hanay, Koçer Nilüfer, (2006), “Elazığ Kenti Katı Atıkları Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi”, Fırat Üniv. Fen Ve Müh. Bil. Dergisi, , Cilt 18(4), S. 508.
- Kılıç Hüseyin Selçuk, (2005), “Tersine Lojistik Ve Bir Beyaz Eşya Üreticisi Firmada Geri Dönüşüm Sistemi Ağ Tasarımının Yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,S. 12.
- Koban , E, Keser H.Y,(2007), Dış Ticarete Lojistik, Ekin Yayınevi, Bursa, 1. Basım.
- Köse Sevda, Baskak Murat, “Atık Kızartma Yağları Geri Kazanımı İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı”, Yöneylem Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi, 2009.
- Sağlam Nihat, (2006), “Erzurum Şehir Merkezi Çevre Problemleri Çözüm Önerileri” Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

- Setaputra Robert, (2005), “Role Of Return Policy İn Reverse Logistics: Issues And Optimum Policies”, The Doctor Of Philosophy Thesis, The University Of Wisconsin, , S.16.
- Storm Jeffery R.,(19989, “Application Of A Reverse Logistics Model For Optimizing Scrap Tire Processing”, Master Of Science Thesis Submitted To The University Of Texas At El Paso, S.12.
- Şengül Ümran,2009, İletisim.Atauni.Edu.Tr/Eisemp/Html/ Tammetinler /273.Pdf: S.16-17.
- Yaman Turan, “İstanbul'da Kentsel Katı Atık Yönetimi Ve Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, S. 21.
- Wang. H., Even, J.C., Adams, S.K., (1995), “A Mixed Integer Linear Model For Optimal Processing And Transport Of Secondary Materials”, Resources, Conservation And Recycling, , Vol: 15, S. 65-78
- www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/evsel/16.doc, erişim tarihi; 25.02.2009, s.9-10
- www.cevreonline.com/atik2/ambalaj.htm
- www.supply-chain.org
- www.cowiprojects.com/4CountryEnvironmentalProject/.../UrbanEnvironmentalPlans/ERZURUM_%20UEMP_Final_3July08_
- www.tisk.org.tr/duyuru/erdem_gorgun_11_08.ppt, s.18
- www.cindil.net/tanimt.html
- www.geridonusum.org/m.-talha-gonullu/cop-yonetimi-ve-ekonomisi.html
- Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği,2007:27(4) sayı: 26562
- www.geridonusum.org/m.-talha-gonullu/cop-yonetimi-ve-ekonomisi.html
- www.aktifsmmm.com.tr/VUK/Tbl/vuktbl333.ek.htm
- www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/ambalaj/lisansli_firma_liste.htm