



PARADOKS
Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi

PARADOKS Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi
PARADOKS, Journal of Economics, Sociology and Policy

Atıkların Geri Dönüşümü ve Tersine Lojistik

Recycling of Wastes and Reverse Logistics

Ümran ŞENGÜL

Arş. Gör., Kafkas Üniversitesi İ.İ.B.F. Sayısal Yöntemleri Ana Bilim Dalı

Ocak/January 2010, Cilt/Vol: 6, Sayı/Num: 1, Page: 73-86
ISSN: 1305-7979

© 2005- 2010

PARADOKS Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi
PARADOKS, Journal of Economics, Sociology and Policy

Ocak/January 2010, Cilt/Vol: 6, Sayı/Num: 1

ISSN: 1305-7979

Editör/Editor-in-Chief

Öğr.Gör.Dr.Elif KARAKURT TOSUN

Editör Yardımcıları/Co-Editors

Öğr.Gör.Dr.Sema AY
(Uludağ Üniversitesi)

Öğr.Gör.Hilal YILDIRIR
(Uludağ Üniversitesi)

Uygulama/Design

Yusuf Budak
(Kocaeli Üniversitesi)

Yayın ve Danışma Kurulu / Publishing and Advisory Committee

Prof.Dr.Veyssel BOZKURT (Uludağ Üniversitesi)

Prof.Dr.Recai ÇINAR (Gazi Üniversitesi)

Prof.Dr.R.Cengiz DERDİMAN (Uludağ Üniversitesi)

Prof.Dr.Zeynel DİNLER (Uludağ Üniversitesi)

Doç.Dr.Aşkın KESER (Kocaeli Üniversitesi)

Yrd.Doç.Dr.Emine KOBAN (Beykoz Lojistik Meslek Yüksek Okulu)

Yrd.Doç.Dr.Ferhat ÖZBEK (Gümüşhane Üniversitesi)

Yrd.Doç.Dr.Senay YÜRÜR (Yalova Üniversitesi)

Dr.Sema AY (Uludağ Üniversitesi)

Dr.Zerrin FIRAT (Uludağ Üniversitesi)

Dr.Elif KARAKURT TOSUN (Uludağ Üniversitesi)

Öğr.Gör.Hilal YILDIRIR KESER (Uludağ Üniversitesi)

*Dergide yayınlanan yazılardaki görüşler ve bu konudaki sorumluluk yazarlarına aittir.
Yayınlanan eserlerde yer alan tüm içerik kaynak gösterilmeden kullanılamaz.*

*All the opinions written in articles are under responsibilities of the authors.
None of the contents published can't be used without being cited.*

Atıkların Geri Dönüşümü ve Tersine Lojistik

Recycling of Wastes and Reverse Logistics

Ümran ŞENGÜL

Arş. Gör., Kafkas Üniversitesi İ.İ.B.F. Sayısal Yöntemleri Ana Bilim Dalı

Özet:

Kullanılmış ürün ve materyallerin geri kazanımı konusu, toprağa gömme ve yakma kapasitelerinin tükenmesinden dolayı, gittikçe artan bir ilgi görmektedir. Tersine lojistik kavramı, "tersine" ürün akışının yönetimi ile ilgili faaliyetlerdir. Genel bir tersine lojistik ağı tüketicilerden kullanılan ürünlerin toplanması, depolanması, yeniden işlenmesi ve geri dağıtılması süreçleri ile ilgili bulunmaktadır. Geri dönüşüm terim olarak, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır. Bu çalışmada tersine lojistik kavramı atıkların geri dönüşümü açısından incelenmiş ve bu tür geri dönüşüm ağlarında kullanılan optimizasyon metotları kısaca değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: *Tersine lojistik, Geri dönüşüm, Atık, Yöneylem araştırması.*

Abstract:

The recovery of used products and materials is receiving growing attention as a result of depleted landfill and incineration capacities. The concept of "reverse logistics" is concerned with the management of "reverse" goods flow. A generic reverse logistics network includes collecting the cores from customers, stocking, reprocessing and redistributing activities. As a term, recycling means that reusing recyclable waste materials as raw materials in manufacturing with varied recycling methods. In this paper are analysed the concept of reverse logistics in recycling of wastes and it is described briefly that these class recycling networks are applied optimization methods.

Key words: *Reverse Logistics, Recycling, Waste, Operations Research*

GİRİŞ

Tersine lojistik hammadde, yarı mamul, nihai ürün ve buna ilişkin bilgilerin tüketim noktasından orijin noktasına doğru, değer kazanımı ya da uygun şekilde yok edilmesini sağlamak amacıyla etkin akışını planlama, uygulama ve kontrol etme aktivesidir. Bu alanda; camın, tüketici ürünlerinin, alüminyum kapların, yeniden kullanılabilir ambalaj malzemelerinin, plastik kapların, kâğıtların v.b. kullanılmış ürünlerin geri kazanılması ve zarar görmüş, stokta kalmış, herhangi bir kazadan kurtarılmış malzemenin ise geri alınması ve fazla stoktan dolayı geri dönen ürünlerin işlenmesi şeklinde değerlendirilmektedir (Heine,1993:28-29).

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile paralel olarak yaşanan hızlı kentleşme ve nüfus artışı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını hızla arttırmaktadır. Bu süreçte üretim ve pazarlama faaliyetlerindeki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, sürekli artan ekonomik faaliyetler ve tüketim eğilimi ile birlikte oluşan atıklar da, hem miktar hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Atık miktarlarının artması ve gömme kapasitelerinin azalmasından dolayı katı atık yönetim sistemleri, yönetim programlarının bir kısmını geri kazanım sistemlerine dönüştürmektedirler. Bu açıdan geri kazanılmış malzemenin toplanması, depolanması ve geri dönüşüm tesislerine nakliyesi için gerekli olan sistemi optimize eden bir karar alma yapısına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu karar alma yapısı tersine lojistik ağ kurularak gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda önemi daha fazla ortaya çıkan bu alanda, ürünlerin geri dönüştürülmesi ile ilişkilendirilmiş lojistik faaliyetler tasarlanmakta ve geri alınan ürünlerin yeniden üretilip pazarlara yeniden dağıtılması sağlanmaktadır (Fleischmann v.d., 1997:2). Amaç, kullanılmış ürünlerden maksimum faydayı sağlarken, yüklem boşaltma giderlerini minimum seviyeye indirmektir (Gaurang, 2006:1).

Bu çalışmada “tersine lojistik”, atıkların geri dönüşümü açısından incelenmiş ve atık geri dönüşümünü sağlamak üzere kurulan tersine lojistik ağlarda kullanılan yöneylem araştırması metodlarında kısaca bahsedilmektedir.

1.TERSİNE LOJİSTİĞİN TANIMI

Tersine lojistik; 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 kavramı genellikle; geleneksel tedarik zincirinin aksi yönde malzemenin yeniden kazanılması ya da uygun yöntemle yok edilmesi amacıyla, ikincil malzeme depolarının, malzeme akışının ve buna ilişkin bilginin verimli ve etkili planlanması, uygulanması kontrol edilmesi işlemleri olarak tanımlanmaktadır (Fleischmann v.d.,2001:157). Ancak bu kavram, istenmeyen malzemelerin (atık madde, kutu, şişe, kâğıt v.b.) geri dönüştürülmesi ve yeniden üretime kazandırılması yönüyle de çevreye duyarlı lojistik olarak bilinmektedir (Koban v.d., 2007:87).

1.1. Tersine Lojistik Ağ Yapısı Türleri

Tersine lojistik ağ planlanırken; geri alınan ürünün tipi ve kullanılacak olan geri kazanım fonksiyonu ve getirilen kanuni zorunluluklar dikkate alınmaktadır. Aşağıda, tersine lojistik ağ türleri verilmiştir;

1)Genel Tersine Lojistik Ağı (Public Reverse Logistics Network): Yerel yönetimlerin atıklarının azaltmaları için kanunlar çerçevesinde kurdukları ağlardır. Bu ağlarda tersine lojistik geri kazanım faaliyetleri arasında yer alan; depolama, demontajlama ve geri dönüşüm işlemleri kullanılmaktadır. Örnek olarak, atık pillerin, şişe ve camların, plastik ve kâğıt malzemelerin geri dönüşümü için bu atıkların katı atıklardan ayrı bir şekilde depolanıp geri dönüşüm merkezlerine gönderilmesi gösterilebilir. Genel tersine lojistik

ağlar itme sistemleridir.

2) Özel Tersine Lojistik Ağı (Private Reverse Logistics Network) veya Katma Değerli Geri Kazanım için OEM Ağları (OEM Networks for Value Added Recovery) : Özel tersine lojistik ağlara katma değerli geri kazanım için OEM ağı da denilmektedir. Bu ağlar, geri kazanımı ekonomik olan ürünlerle ilgilenmektedir. Bu ağlar çekme sistemlerdir ve üreticiler, geri dönüşüm ve nakliye masraflarını ödemektedirler. Bu ağlarda kâr çok önemlidir ve geri dönüşümün ekonomik olması ürünün belirli hacimde olması ve ekonomik çekiciliği ile ilişki-lidir (Brito, 2002:4). Genel olarak OEM tarafından oluşturulan bu ağlarda ürün, bileşen ve malzeme seviyesinde kaliteye bağlı alternatif geri kazanım opsiyonları bulunmaktadır. Bu ağlarda heterojen akışlar oluşmakta ve geri kazanılan değer maksimum olması için test, de-recelendirme ve bölümler arası koordinasyon önemlidir olmaktadır (Fleischmann,2001:7).

3) Geri Alınması Zorunlu Ürünler için Tersine Lojistik Ağı (Reverse Logistics for Mandated Product Take-Back): Bu ağlar, çevreye zararlı olan kullanılmış ürünlerin, üreticileri tarafından toplatılması için çıkarılan kanunlardan dolayı kurulan ağlardır. Bu ağlarda ürünlerin tamamı kullanım ömrü sonuna geldiklerinden, ürünlerden değer elde etme ihtimali düşüktür. Zorunlu olan bu ağları kurmak için şirketler maliyetin düşürülmesine odaklanmaktadır. Bu açıdan, şirketler bu tip ağları kurmaktan ziyade, kullanılmış ürünlerini toplamak için, lojistik hizmet sağlayıcılarını ya da profesyonel geri dönüşüm şirketlerini kullanmaktadır. Diğer bir yöntem ise, belediyelerle işbirliği içerisinde hurda ürün bırakma noktalarını kullanmaktadır. Bu ağlarda test etme ve derecelendirme çok öncelik taşımamaktadır. Toplama alanında ürünler kabaca sınıflanmakta ve ileri derecede malzeme ayrımı geri dönüşüm sürecinde yapılmaktadır (Fleischmann,2001:8).

4)Yeniden kullanım ağı (Reusable Network) veya Yeniden Doldurulabilir Konteynerler için

Ağlar (Networks for Refillable Containers): Geri dönen ürünler ve malzemeler yeni ürün üretmek için veya taşıma ekipmanı olarak tekrar kullanılmak üzere ya direkt olarak yeniden kullanılmakta yada temizleme, küçük çaplı tamir gibi yeniden işlemeye tabi tutulmaktadırlar (Demirel,2008:904). Çoğu akademik çalışmada ele alınan, yeniden kullanılabilen konteynerler, paketleme ürünleri ve şişeler bu ağ yapısı için tipik örneklerdir. Bu tip ürünler yeni ürüne göre daha düşük kalitededir ve endüstriyel pazarlarda bazı firmalar arasında değiş tokuşu yapılarak kullanılır.

5) Yeniden İmalat Ağı (Remanufacturing Network): Bu ağın amacı geri dönen ürünleri yeni duruma getirmektir. Yeniden üretim için genel olarak bir çok parça ve modül kullanılmaktadır. Test aşaması çok yoğun bir çalışma gerektirmektedir. Yeniden üretim tesisinin yer-leştirileceği yeri tespit etmek, yeniden üretilebilen ürünlerin sürdürülebilir hacmini yakalamak ve ürün tedarikinin belirsizliği, yeniden üretim ağının engellerinden bir kaçıdır (Brito, 2002:4). Yeniden imal edilmiş ürün, yeni ürün ile aynı özelliklere ve kalite standardına sahiptir. Otomobil parçalarının (Demirel, 2008:904), fotokopi makinelerinin, scanner, printer ve faks makinelerinin (Krikke v.d.,1999:6) yeniden üretimi örnek olarak verilebilir.

6) Geri Dönüşüm Ağı (Recycling Network): Bu ağ yapılarında sınıflandırma, demontajlama ve geri kazanım işlemleri yer almaktadır. Bu ağlarda ürün ve bileşenlerin özelliği ve fonksiyonları kaybolmaktadır. Geri dönüşüm ağları, düşük kâr marjlıdır çünkü büyük yatırım gerektirmektedir. Bu yüzden sadece ekonomik amaçlı kurulmuş olan yapılar, yasalar-dan ötürü kurulmuş olanlara göre daha az sayıdadır (Fleischmann,2001:s.7). Şişe, kâğıt, pil ve beyaz eşya ürünlerinin ve hurda arabalar içinde geri dönüşüm çalışmaları yapılmıştır (Brito, 2002:5).

7) Tamir Servis Ağı (Repair Service Network): Bu sistemler müşterilerin servis ihti-

yaçlarını karşılamak ve kusurlu ürünleri tamir etmek amacıyla kurulurlar. Bu aşda amaç geri dö-nen ürünü çalışır ve kullanılabilir duruma getirmektir (Demirel,2008,s. 905).

Tersine lojistik ağlar kullanılmış ürünlerin geri kazanılması ve ekonomiye tekrar girdi olarak kullanılması için kurulan ağlardır. Geri dönüştürülebilir atık malzemelerin kaynağında ayrı toplanarak yeniden değerlendirilebilir hale gelebilmesi ve gerekli tesislere ulaştırılabil-mesi için tersine lojistik ağlara ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil:1'de atık yönetimi açısından tersine lojistiğin alanına giren konular gösterilmiştir. Atık yönetiminde atıkların geri kazanımı için üç işlem uygulanmaktadır. Bunlar yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşümdür.

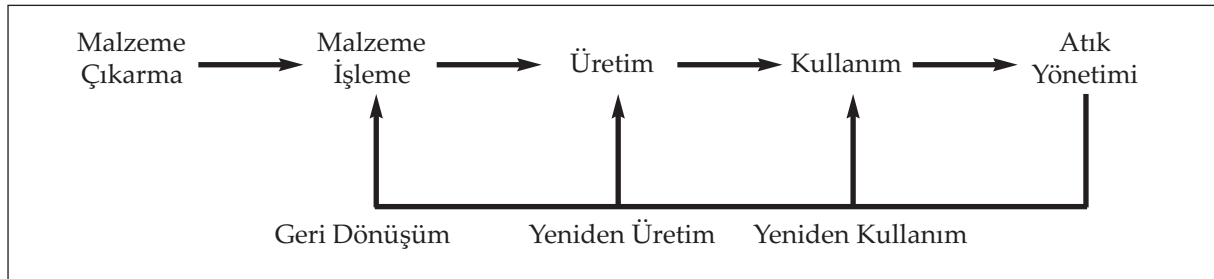
runmaksızın malzeme geri kazanılmaktadır (Fleishemann,2001:52). Atıklar açısından ise; Atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak orijinal amaçlı ya da enerji geri kazanımı hariç olmak üzere organik dönüşüm dâhil diğer amaçlar için yeniden kullanılmasıdır. Geri dönüşüm ile katı atık içindeki değerlendirilebilir nitelikteki maddeler ekonomiye tekrar kazandırılmaktadır.

2. DEĞERLENDİRİLEBİLİR ATIKLARDA TERSİNE LOJİSTİK

Değerlendirilebilir atıkların geri kazanılmasındaki tersine lojistik yaklaşımı iki ana sis-teme ayrılabilir. Bunlar; Entegre Edilmiş ve İlâve Toplama/ Getir sistemleri'dir (www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr).

Şekil 1

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



- *Yeniden Kullanım*; 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 kırılmış/eskiymiş parçaları kapsamlı bir şekilde incelenip, ürün tamamen demonte edilerek yeni ürün kadar kaliteli ürün elde edilmesi için gereken işlemlerinin yapılmasıdır.

- *Geri Dönüşüm*; Kullanılmış üründen kullanılabilir ürün ve parçaları ayırarak orijinal ürünün üretiminde kullanma ve yararlanma işlemleridir (Kumar v.d., 2006:1129). Geri dönüşüm işleminde ürünün yapısı ko-

- 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 dönüşümüne konu olan ürünler genel olarak (Erdal v.d., 2008:503-504).
- Sanayi Atıkları,
- Evsel Atıklar,
- Ambalaj atıkları,

şeklinde sınıflandırılabilir.

Ülkemizde geri dönüşüm; Çevre Kanunu ve bu kanuna istinaden çıkarılan yönetmeliklerle düzenlenmektedir. Bu yönetmelikler ise;

- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği (APAK)
- Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği
- Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği,
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik ve
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği şeklindedir.

3. GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİNİN AŞAMALARI

Atıkların içindeki geri dönüştürülebilir malzemelerin önemli bir bölümünü ambalaj atıkları olarak tanımlanan, yiyecek ve içecek ambalajlarında kullanılan metal, plastik ve cam atıklar ile kâğıt ve karton oluşturmaktadır. Bunun yanında kemik, tekstil parçaları da özel ayırma tesislerinde geri dönüştürülebilmektedir. Geri dönüşüm işlemleri aşağıdaki aşamaları içermektedir (Yaman T., s.35-37.);

- 1) **Toplama;** Atıkların geri dönüşüm süreci, ürünlerin tüketildiği anda başlar. Katı atık içindeki geri dönüştürülebilir bileşenler, hangi amaçla ve yöntemle geri kazanılacak olursa olsun, atıkların düzenli ve ekonomik bir biçimde belirli bir yerde toplanmasını gerektirmektedir. İki temel toplama yöntemi kullanılır; birincisi tüketicinin getirmesi, diğeri de tü-

keticiye ulaşıp alınmasıdır. Son zamanlarda özellikle ambalaj atıklarının toplanması için geliştirilen bir toplama sistemi de milk run'dır. Bu sistem de, ürünlerin dağıtıldığı araçlar ürünü bir noktaya (perakendeciye) bıraktıktan sonra aynı noktadan ambalaj ve diğer kullanılacak materyalleri toplamaktadırlar. Bu sayede firma üretimde kullandığı ambalaj malzemesinin büyük bölümünün dönüşümünü sağlayabilmektedir (Erdal M., v.d., s.512).

- 2) **Ayırma;** Geri dönüşüm amacı ile toplanan malzemelerin bu amaca hizmet edebilmeleri için, seçilen değerlendirme yönteminin gerektirdiği şekil ve titizlikte ayrılması şarttır. Ayrıca, toplanan malzemenin içine karışmış durumda olan istenmeyen maddeler de bu aşamada elimine edilmektedir. Ayırma çeşitleri; İlkel ayırma, Kaynakta ayırma; Toplama sırasında ayırma ve Ayırma tesisinde ayırma olmak üzere dört şekilde gerçekleştirilmektedir.
- 3) **Değerlendirme;** Ayrılmış, temizlenmiş ve yeniden işleme alınmış malzemelerin ekono-miye geri dönüşüm işlemidir. Bu işlemde malzeme kimyasal ve fiziksel olarak değişime uğrayarak yeni bir malzeme olarak ekonomiye geri dönmektedir.
- 4) **Yeni ürünü ekonomiye kazandırma;** Geri dönüştürülen ürünün yeniden kullanıma sunulması aşamasıdır.

4. ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ İÇİN KULLANILAN TERSİNE LOJİSTİK AĞLARDA KULLANILAN OPTİMİZASYON METOTLARI

Katı atık yönetimini modellemek için kullanılan doğrusal optimizasyon metotları geri alınan malzemelerin iyileştirilmesi ve yeniden kazanımı için kullanılmıştır. Geliştirilen metotlarla atıklar kaynakta sınıflandırılmakta, toplanarak işlenmekte ve arta kalan miktar toprağa gömülmektedir. Bundan dolayı optimizasyon metotları, katı atık yönetim sistemlerinin geri kazanım

programlarının planlanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu ağlarda tersine lojistik ağı geri kazanım işlemlerinden; depolama, demontajlama ve geri dönüşüm işlemlerine yönelik kurulmaktadır. 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 ağlardan faydalanılır. Bu ağda, hangi parçanın hangi maliyetle geri dönüştürüleceği detaylandırılmaktadır. Geri dönüştürme işlemleri teknolojik olarak zor ve pahalı işlemlerdir. Ekonomik olarak fayda sağlaması için yeterli hacimlerde gerçekleştirilmesi gereklidir (Brito, 2002-21:s.5.).

Yöneylem araştırması atık yönetimi alanında başarılıdır. Yazarların, etkili katı atık yönetim işlemlerini ve planlarını hesaplayan modelleri literatürde 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 kazanımını içeren modeller kurulmuştur. Çalışmaların büyük bir çoğunluğunda deterministik yapı söz konusudur, küçük bir kısmında ise geri kazanım sistemlerinin yapısında var olan geri dönen ürünlerin miktarı, zamanı ve kalitelerindeki belirsizliklerle baş edebilmek için stokastik yapıda modeller geliştirilmiştir, bazılarında ise simülasyon kullanılmıştır. Genel olarak kullanılan modeller; Location-Allocation modelleri, araç rotalama modelleri, dinamik rotalama ve çizelgeleme modelleri olup karma tamsayılı matematiksel modelleme şeklinde formüle edilmiştir. Locations (Yerini Saptama) modelleri, geri alma tesislerinin ve toplama noktalarının yerlerinin belirlemede, geriye dönen ürünler için gözden geçirme ya da işlem alanlarının belirlenmesinde ve kullanılmış ürünlerin toplanma şeklinin ilk kullanıcısından mı yoksa özel geri alma alanlarından mı olması gerektiğine karar vermede kullanılmıştır (Şengül, 2009:19).

Katı atık yönetimi, amaçları birbiriyle çe-

lişen farklı ilişkide konuları içerdiğinden kar-ışık bir yapıya sahiptir. Katı atık yönetim modelleri, büyük miktarda atık miktarlarının ortaya çıkması sebebiyle ilk olarak 1960'lı yıllarda kurulmaya başlamıştır. Son zamanlarda, bir çok modelin kurulması ve uygulanması, uygun optimizasyon modellerinin gelişmesiyle birlik-te artmıştır (Gottinger, 1988:352).

Katı atık yönetim alanında, birkaç araştırmacı çeşitli durumları başarılı bir şekilde optimize etmek için doğrusal programlama tekniklerini kullanmışlardır. Caruso ve diğerleri (Caruso, 1993:16-30) İtalyanın Lombardy 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. Atık işlemleri şunlardır; atık çöp fırınına atılabilir, kompostlanabilir, yeniden kazanılabilir ya da uygun bir şekilde gömülebilir. Yazarlar, çok amaçlı ve çok kriterli bir model kurarak çevresel zararı minimize etmeye amaçlamışlardır. Sistemin kısıtları, işleme fabrikalarının kapasite kısıtları, toprağa gömme kapasite kısıtları, akışın korunması v.b. faktörleri içerir.

Gottinger (Gottinger, 1988:353), bölgesel katı atık yönetim problemini modellemiş ve 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 gömme bölgesine nakliyesini içeren bir toplama sistemi tanımlamıştır. İkinci sistemde, bölgesel yönetim sisteminin, transfer noktalarını yerleşimi ve sayısı, işleme tesisleri ve toprağa gömme alanlarının kapasitesinin belirlenmesidir. Bu modelin girdileri, işleme noktaları ve toprağa gömme bölgelerinin potansiyel yerleşimi, nakliye maliyetleri, işlem ve diğer karma maliyetler ve tedarik noktalarındaki atık miktarlarıdır.

Bloemhof-Ruwaard (Bloemhof-Ruwaard,

2005:615-629) ve diğerleri fabrikaların ve atık yok etme birimlerinin dağıtım ağının, ürünün koordinasyonunun ve ağ içindeki atık akışının planlanması ile atık yok etme problemini çalışmışlardır. Model de, fabrikanın kapasite kısıtları, atık yok etme birimleri ve sistemin servis ihtiyaçları göz önünde tutulmuştur. Modelin amacı, atık yok etme birimlerinin toplam karma maliyetlerini ve atık akış miktarı ile ilişkili çeşitli maliyetleri minimize etmektir. Problem iki durumlu karma tamsayılı programlama modeli olarak geliştirilmiştir. Birinci durum, belirli işleme fabrikasından belirli son kullanıcıya nakledilen atık akış miktarının belirlenmesini araştırmaktır. İkinci durum, birinci duruma ek olarak atıkların ortaya çıktığı yerde özel atık yok etme birimlerine karar vermeyi içermektedir.

Anderson ve diğerleri (Gottinger,1988:353), transfer istasyonlarından toprağa gömme bölgelerine minimum maliyetle atıkların nakledilmesi problemini çalışmışlardır. Problemi çözmek için kesme düzlemi algoritmasını kullanmışlardır. Modelin sonucuna göre toprağa gömme bölgelerinin sayısı üçten büyük olursa hesaplanan zaman üstel olarak artmaktadır.

Chang ve diğerleri (Chang,1997:2379-2401), atık miktarı çok olan bir bölgeye, transfer istasyonlarının yerleşimini optimize etmek için bir model kurdular.

Baetz ve Neebe (Baetz,1994:1374-1384), atık yönetim programının tüm maliyetlerini minimize etmek amacıyla karma tamsayılı lineer programlama modeli kurmuşlardır. Modelle-rinde, tekrar kazanılabilir madde miktarı ve yeniden kazanma programının yerleşimi için optimal bir yeniden kazanma programı seviyesi belirlemişlerdir. Model, toprağa gömme kapasitesi, geri kazanılan madde miktarı, toprağa gömme işlem maliyetleri, atık üretim miktarı, yeniden kazanılabilir madde özellikleri ve atık yönetim politikası seviyeleri gibi veriler içermektedir.

Katı atık yönetimi ve geri kazanım alanlarında Lund (Lund,1990:182-197), atığın

toprağa gömme ömrünü uzatmak amacıyla, geri kazanma miktarı veri setini değerlendirmek ve çizelgelemek için doğrusal programlama modeli kurmuştur. Modelin amacı, malzemenin yeniden kazanımı, toprağa gömme maliyetini ve atık yok etme maliyetini içeren bugünkü ve gelecekteki katı atık yönetim maliyetlerini minimize etmektir.

Jacobs ve Everett (Jacobs,1992:420-429), geri dönüşüm programında toprağa gömme işlemlerinin optimalliğini sağlamak için deterministik doğrusal programlama modeli geliştirdiler. Modellerini uzun dönemli toprağa gömme ve geri dönüştürme maliyetleri için çalıştırdılar. Modelleri, geri dönüşüm maliyetlerinin, toprağa gömme ve bertaraf maliyetlerini aşması durumunda bile maliyet etkinliğini sağlamıştır. Yüksek geri dönüşüm maliyetlerinde bile toprağa gömme maliyetlerinin düşürülebileceği sonucuna varmışlardır.

Alidi (Alidi,1992:645-651), tehlikeli atıkların bertarafı için tamsayılı amaç programlama modeli kurmuştur. Model, tehlikeli maddeleri işleme tesislerinin, toprağa gömme alanlarının, yakma tesisinin ve geri kazanılmış malzeme pazar yerlerinin optimalliğini maliyet minimizasyonu amacıyla sağlamaya çalışmaktadır. Modelin 10 amacı vardır. Bu amaçlardan bazıları; bütçe, işleme, toprağa gömme, yakma ve pazar kapasitelerinin tahsis edilmesidir. Amaç fonksiyon, karar alıcının listelediği amaçlara göre yazılmıştır. Modeli test etmek için rastgele örnekler kullanılmıştır.

Ammons ve diğerleri (Ammons,1999:550), hem ileri hem de geri akışları farklı bir ağda birleştirerek elde edilen geri dönüştürülmüş malzemeleri ileri tedarik sisteme nakletmek için gerekli olan ağı çalışmışlardır. Yazarlar ABD'de halının geri dönüşümünü ve yeniden üretimi sağlayan bir tersine üretim sistem ağını tasarlamışlardır. Kurdukları tamsayılı programlama modelinin amacı halı üreticilerinin ağ üzerindeki kârını maksimum yapmaktır. Halının geri kazanımı için temel etkenler, üretim değerinin geri kazanımı,

halı üreticilerin halıyı yeni-den kullanmasına yön verilmesi ve atık kullanım maliyetlerinin önlenmesidir. Halının tersine üretim sistemindeki akışı tüm ABD’de yerleştirilen toplama noktalarında kullanılmış halının toplanması ile başlar. Yazarlar, kullanılmış halı toplanma hedefi için iki farklı alternatif sun-dular. Birinci senaryo, kullanılmış halının bertaraf edildiği yerde toprağa gömmek için nak-letmektir. Bu stratejinin alternatifi, tersine üretim sisteminin başlangıcında olmasıdır. İlk ola-rak ürün, naylon halı ve ‘diğer’ halılar şeklinde ayrılarak, depolama merkezlerine kamyonla nakledilir. ‘Diğer’ halılar mobilya üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılması için kumaş tiftiği malzemesine dönüştürülen yerdeki yakın bir işletme alanına nakledilir. Naylon halılar birleşmiş naylon, birleşmiş polypropilen ve latex elde etmek gerekli işletmeye iletilir. Yazar-lar farklı durumlar altında tersine sistemin davranışını araştırmak için dört olay üzerinde ça-lışmışlardır. Özellikle modellerinde, toplanan halının hacminin, toplama maliyeti üzerindeki etkisi; toplanana halı hacminin, sınıflandırma maliyetleri üzerindeki etkisi; ek işletme alanla-rının kurulumu ve hammadde yeniden kazanma fabrikalarının kurulumunu incelemişlerdir.

Louwers ve diğerleri (Louwers,2005:856), Ammons v.d. gibi halı geri dönüşümünü ça-lışmışlardır. Çalışmalarında halı malzemele-rinin toplanması, yeniden işlenmesi ve tekrar dağı-tımı için tesis yer seçimi ve atama problemi geliştirmişlerdir. Modeli Avrupa ve ABD’de uy-gulamışlardır.

Benzer şekilde, Hollanda da, inşaat atıklarının geri kazanımı ve kumun, ülkenin İnşaat Atıklarını Yeniden Kazanım Örgütü (BRBS)’ye ulaştırılması için bir lojistik ağın kurulması-dır. Avrupa da, inşaat atıklarının elden çıkarılması ile ilgili yeni mevzuatlar-dan dolayı, inşaat atıkları geri kazanılmaktadır. Barros ve diğerleri (Barros,1998:200), kum problemi için iki aşamalı ağ modeli geliştirdiler ve sezgisel bir prosedür kullanarak optimum sonuçları elde ettiler. Bu problem içinde tersine kanal, farklı tedarik noktalarında inşaat atıklarının üretimi ile

başlamaktadır. Bu noktalar çeşitli inşaat böl-gelerini göstermektedir. Yeni düzenlemeler-den dolayı, ilk olarak tüm inşaat atıkları; geri kullanılabilir ve geri kullanılamaz malzemele-rin ayırt edildiği sınıflandırma merkezle-rine gönderilmelidir. Eğer atık, çoğunlukla taş malzeme-lerden oluşuyorsa, atık doğrudan geri dönüştürülebilir kum içinde ezme işletmelerine nakledi-lir. Aksi takdir de, atık birkaç malzemenin karışımından oluşuyorsa, geri dönüşümsüz olanlar ile geri dönüştürülebilir malzemeler ayırt etmek için ayırma tesislerine gönderilir. Daha sonra geri dönüştürülebilir malzemeler daha kul-lanılabilir kum üreten işletme tesislerine gönderilir. İşlenen inşaat atıklarından üç tip yeniden kazanılmış kum elde edilir. Bunlar; temiz kum, yarı temiz kum ve kirli kumdur. Yaklaşık olarak toplam hacmin %40’ı temiz kum olarak çıkmak-tadır ve bu kum hiçbir kısıtlama olmaksızın yeniden kullanılabil-mektedir. Yaklaşık olarak hacmin %40’ı yarı temiz olarak çıkmaktadır ve bu kumda özel önlemler altında kullanılır. Diğer taraftan kirli kum doğrudan kullanılamaz. Tersine ağın sonu, yeniden kazanılmış ku-mun talep noktalarıdır. Talepler, setler, kanallar ve köp-rülerin bakımı için bölümlerin farklı tasarımları ile oluşturulur. Hem inşaat atığının tedarikinde hem de yeniden kullanılabilir kum, talebinin bilindiği ve değişmez olduğu kabul edilir. Kum geri kazanım ağının amacı, sistemin toplama maliyetinin minimize edilmesi ve ağda işletme sistemlerinin sayısına tipine ve yerle-şimine karar verilmesidir. Ek olarak, model, sistemin sabit ve değişken maliyetleri ve dağıtım maliyetlerini minimize eden kum miktarını oluşturmak ve işletmek için atık miktarına karar verir.

Listes ve Dekker (Listes,2005:269), Barros ve arkadaşlarının yaptıkları geri dönüşüm olayını örnek almışlardır. Karma tamsayıli modellerini, geri dönüşümlü ağ tasarımı için deterministik tesis yer seçimi problemine, belirsizlikleri dâhil ederek stokastik bir yak-laşım ile kurmuşlardır.

Storm (Storm,1998:12), kullanılmış araba ve kamyon lastiklerini geri kazanım işlemini optimize etmek için tersine lojistik ağ modeli

kurmuştur. Texas şehrindeki kanunlar atık lastiklerini elden çıkarma işlemini sınırladıklarından dolayı yeni sanayiler, otomobil ve kamyon lastiklerinin yeniden kullanımını ele almak için oluşturulmuşlardır. Bu firmalar yazara göre, eskimiş lastiğin geri dönüşüm zorluklarını yönetmek için karma tersine sistemlerin kurulması gerektiğini belirtmişlerdir. Eskimiş lastikler lastik türevli yakıt (tire-derived fuel:TDF) olarak kullanılabilir. Ayrıca, arabada tampon, eksoz takozu ve ayakkabı üretiminde özel şekilli malzemeleri kesme ya da zımbalamayı içerir. Geri kazanılmış araba ve kamyon lastikleri yol inşasında da kullanılır. Bu seçeneklerde geri kazanılamayan tekerler son seçenek olarak tamamı ayrıştırılarak geri kazanılır. Parçalanmış lastiklerin, ayrıştırılarak geri kazanımı sayesinde, yeni lastik üretimi için gerekli olan hammadde kullanımı azalır. Lastiği oluşturan elementler; %70 lastik, %20 çelik ve %10 polye ester liftir. Lastiklerin geri kazanımı için kurulan RL modelin amacı; gerekli olana işletme maliyetlerini minimum düzeyde tutarken en yüksek pazar fiyatını elde edecek olan uygun miktardaki kullanılmış lastiği işleyecek işletmenin kârını maksimum yapmaktır. Ayrıca yeni lastik üretimi için işlemlerden geçecek olan optimum ürün karmasının miktarına karar vermektir. Modelin kısıtları ise; hammaddeyi elde edebilme, tesis kurmak için işletme maliyetleri ve son malzeme gereksinimleridir. Modelde bunlara ek olarak, geri kazanım tesisinin işlemsel maliyetine karşı geri kazanılmış ürünün fiyat duyarlılığı test edilmiştir.

Pati ve diğerleri (Pati,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 kurmuşlardır.

Kılıç (Kılıç,2005:12), Türkiye’de faaliyet gösteren bir beyaz eşya üreticisinin geri dönüşüm sistemi ağ tasarımını karma tamsayı programlama modeli kurarak çözmeye çalışmıştır. Modeldeki amaç, elektrikli

ve elektronik ekipmanların belediyelere ait toplama noktalarından ikincil malzeme pazarı veya nihai işleme tesislerine kadar en uygun akışını ilgili maliyetleri minimize ederek sağlamaktır. Model dört farklı senaryo için GAMS optimizasyonu programı ile çözülmüştür. Her senaryo için optimum depo ve tesisi konumları belirlenmiştir.

Köse ve diğerleri (Köse,2009:79), Türkiye için atık kı zartma yağlarının geri kazanımı için karma tamsayı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır. Modellerinde, atık kı zartma yağlarının geri kazanımı ile elde edilecek gelir ile belediye toplama noktalarından imha tesislerine ve ikincil pazarlara kadar olan süreçte oluşacak giderler arasındaki farkı enbüyükleyecek ürün akışını sağlamaya çalışmışlardır. Modellerini GAMS optimizasyonu programı ile dört senaryo için çözmüşlerdir. Senaryo sonuçlarına göre, açılan geri kazanım tesisi, geçici depo sayısı ve sistemin kârı, toplanan atık kı zartma yağı miktarı arttıkça artmaktadır.

5. SONUÇ

Dünya nüfusunun hızla artması ve bu artışa paralel olarak tüketimin artması kullanılabilir kaynakların hızla azalmasına sebep olmaktadır. Hayatın sürdürülebilirliği açısından kaynakların sınırlı miktarlarda bulunması insan geleceğini tehdit etmektedir. Teknolojik ilerleme-lerin hızlı olmasına karşılık kıtlık, açlık, sera etkisi v.b. küresel sorunlar, yerel yönetimlerin, işletmecilerin, tüketicilerin kısaca tüm insanlığın çevreye karşı ilgisinin artmasına sebep olmuştur. Dünyada giderek önemi artan kimlik durumlarında çevresel nedenlerden dolayı zorunlu, kimi durumlarda işletmeler tarafından rekabetçi üstünlük sağlanabilmesi için uygulanan kullanılmış malzemelerin geri dönüşümü 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. Tersine lojistik ağ ise; atık yöne-

timi stratejisi açısından, geri dönüştürülebilir atıkların, atık ayrıştırma tesislerine ve oradan da geri dönüşüm tesislerine iletilmesi ağında gerekli işlemler içermektedir. Yöneylem araştırması atık yönetiminde tersine lojistik ağ kurmada başarılıdır. Yazarların, etkili katı atık yönetim işlemlerini ve planlarını hesaplayan modelleri literatürde yaygın bir şekilde yer almaktadır. Bu makalelerin birçoğu atık yönetim işlemleri ile ağ modellerinin kullanımını bir birine bağlamışlardır.

Ülkemizde, çıkartılan kanunlarla geri dönüştürülebilir atık malzemelerinin geri kazanımı zorunlu hale getirilmiştir. Geri dönüşüm zor ve pahalı bir işlemdir. Ayrıca yeterli miktarlarda atık geri dönüşüm tesislerine ulaşılmadıkça ekonomik olarak fayda sağlaması düşünülmemektedir. Ancak geri dönüşüme yalnızca ekonomik fayda sağlama aracı olarak bakılması yanlıştır. Geri dönüşümün en önemli getirisi çevre kirliliğini azaltıcı etkilerinin olmasıdır. Gelecek kuşaklara temiz bir dünya bırakmanın olmazsa olması atıkların geri dönüşümünü sağlamaktır. Atıkların geri dönüşümü için kurulacak olan tersine lojistik ağların optimizasyonu için yöneylem araştırması teknikleri kullanılmaktadır.

KAYNAKÇA

- ALIDI Abdulaziz S.,(1992)“An Integer Goal Programming Model for Hazardous Waste Treatment and Disposal” *Applied Mathematical Modeling*, Vol. 16, , s. 645-651.
- AMMONS, Jane C., Matheww J. Realff, David Newton(1999, “Reverse Production System Design and Operation for Carpet Recycling”, Submitted for Publication consideration to the *European Journal of Operational Research*,s. 547-567.
- BAETZ Brian W., W. Neebe Alan(1994), “A Planning Model for the Development of Waste Material Recycling Programmes”, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 45, s. 1374-1384.
- BARROS, A.I., Dekker, R., and Scholten, V.(1998),“ A two-level Network for Recycling Sand: A Case Study” *European Journal of Operational Research*,Vol: 110, s.200.
- BRITO, M.P., Flapper, S.D.P., Dekker R., (2002), “Reverse logistics: a review of case studies”, *Econometric Institute report EI 2002-21*.
- BLOEMHOF-RUWAARD, J.M., Van Wasenhove, L.N., Gabel, H.L., and Weaver, P.M.(2005), “An Environmental Life Cycle Optimization Model for the European Pulp and Paper Industry”,*Omega*, Vol. 24(6), s. 615-629.
- CARUSO C.,A. Colorni, 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, T.T. Lin(1997), “Optimal Siting of Transfer Station Locations in a Metropolitan Solid Waste Management System”, *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. A32 (8), s. 2379-2401.

- DEMİREL, Özgün N, GÖKÇEN H. (2008), "Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri için 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(2008), Entegre Lojistik Yönetimi, Beta yayınları, 1. baskı.
- FLEISCHEMANN, 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.
- FLEISCHEMANN, M., Beullens P., Bloemhof-Ruwaard J.M. and Wassenhove L.V. (2001), "The impact of product recovery on logistics network design", Production and Operations Management, 10(2),ss. 156-173
- FLEISCHEMANN, M (2001), "Reverse Logistics Network Structures and Design", Erim Reports Series Research in Management, ERS-2001-52-LIS.
- GAURANG,S.Patel (2006),"A Stochastic Production Cost Model For Remanufacturing Systems",the doctor of philosophy thesis, UMI Number: 1456981.
- GOTTİNGER Hans W., (1988), "A Computational Model for Solid Waste Management with Application", European Journal of Operational Research, Vol. 35,s.350-364.
- HEINE,Hans (1993), "Reducing Waste Through Reverse Logistics", Foundry Management & Technology, ss.28-29.
- JACOBS TimothyL., Jess W. Evertt(1992), "Optimal Scheduling of Consecutive Landfill Operations with Recycling", Journal of Environmental Engineering, Vol. 118,s. 420-429
- KILIÇ 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, 2005, s. 12.
- KRIKKE, H.(1998) "Recovery Strategies and Reverse Logistics Network Design";Institute for Business Engineering and Technology Application, PhD Thesis.
- KÖSE Sevda, Murat Baksak(2009), "Atık Kızırtma Yağları Geri Kazanımı için Tersine Lojistik Ağı Tasarımı", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi.
- KOBAN , E, KESER H.Y,(2007), Dış Ticarete Lojistik, Ekin yayınevi, Bursa, 1. basım.
- KUMAR S, Malegeant P, (2006), "Strategic alliance in a closed-loop supply chain, a case of manufacturer and eco-non-profit organization", Technovation, 26(10), ss.1127-1135.
- PATI R.K., P.Vrat, P.Kumar(2008), "A Goal Programming Model for Paper Recycling System", Omega, Vol. 36, s.406.
- LISTES O., ve R. Dekker, "A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design", European Journal of Operational Research, 2005, Vol. 160, s. 269.
- LOUWERS D.,v.d.(2005),"A facility location allocation model for reusing carpet material", Computers and Industrial Engineering,Vol:36(4), s. 855-869.
- LUND Jay R.,(1990),"Least-Cost Scheduling of Solid Waste Recycling", Journal of Environmental Engineering,Vol. 116, s. 182-197
- SETAPUTRA Robert, (2005), "Role of Return Policy in Reverse Logistics: Issues and Optimum Policies", the Doctor of Philosophy Thesis, The University of Wisconsin.

ŞENGÜL Ümran (2009), iletisim.atauni.edu.tr/eisemp/html/tammetinler/273.pdf.

STORM Jeffery R.(1998), "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.

YAMAN Turan(2007), "İstanbul'da Kentsel Katı Atık Yönetimi ve Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mü-hendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 21.

www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr