



## SELECTION OF WASTE FACILITY LOCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: APPLICATION ON CEMENT INDUSTRY

Pinar Gurol<sup>1</sup>, Karahan Kara<sup>2</sup>, Nilay Yucel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Namık Kemal University, [pinargurol@gmail.com](mailto:pinargurol@gmail.com)

<sup>2</sup>Canakkale 18 Mart University, [karahan.kara@hotmail.com](mailto:karahan.kara@hotmail.com)

<sup>3</sup>Canakkale 18 Mart University, [nkoleoglu@yahoo.com](mailto:nkoleoglu@yahoo.com)

### Keywords

Cement industry,  
facility location  
selection,  
reverse logistics,  
sustainable  
development,  
waste management.

### JEL Classification

L91, C61

### ABSTRACT

Government agencies and civil society organizations works available in order to protect world's heritage. One of that works is sustainable development model(meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs)which is applied by T.R. Ministry of Development. As stated in the Johannesburg Declaration, in order to minimize adverse effects on the environment and improve resource efficiency, it must be prevent and minimize waste and maximize reuse, recycling and use of environmentally friendly alternative materials, with the participation of government authorities and all stakeholders. In waste management approach, wastes, which will be a part of production process, can be used substitution of original raw materials. In cement industry production process, wastes can be used raw material, alternative fuel. Co-processing alternative fuels provides a solution in terms of reducing fossil fuel dependency as well as a contribution towards a lowering of emissions (CEMBUREAU,2009). Using waste raises the problem of waste collection,storage and transportation to production facility.In Turkey, some of municipalities invest biological waste water treatment and municipal solid waste processing facility, whereas they are not enough, and for that reason some cement factories try to overcome the problems with negotiation of local authorities (Engin et al., 2013). In this study, we aim to solve the problem of where could be the waste collection centers(which can be collect the waste in countries and distribute the cement factories which producing clinker)in reverse logistics network by using a mathematical model with objective function of cost(distance) minimization.

## SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLI ATIK TOPLAMA TESİSİ YER SEÇİMİ: ÇİMENTO SANAYİ UYGULAMASI

### Anahtar Kelimeler

Atık yönetimi,  
çimento sanayi,  
sürdürülebilir  
kalkınma,  
tesis yeri seçimi,  
tersine lojistik.

### ÖZET

Dünya miraslarını korumaya yönelik devlet kurumlarının ve sivil toplum kuruluşlarının mevcut çalışmaları olduğunu bilmekteyiz. Bu çalışmalardan birisi ülkemizde T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından uyarlaması yapılan, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin günümüz kuşaklarının ihtiyaçlarını karşılayabilmek amaçlı geliştirilmiş sürdürülebilir kalkınma modelidir. Johannesburg Deklarasyonunda da belirtildiği üzere; hükümet yetkilileri ve tüm paydaşların katılımıyla kaynak verimliliğini arttırmak ve olumsuz etkileri indirgemek için atık oluşumunu önleme ve en aza indirme sürecinde; yeniden kullanım, geri dönüşüm ve çevre dostu alternatif malzemelerin kullanım oranı en üst düzeye çıkarılmalıdır. Atık yönetimi olarak karşımıza çıkan bu yaklaşımda toplanan atıklar arasından yeniden üretim sürecine dâhil edilebilecek ürünler ilk üretim alanında veya farklı bir üretim alanında orjinal hammaddenin ikamesi olarak kullanılabilir. Çimento sanayisinin üretim sürecinde atıkların hammadde, alternatif yakıt olarak kullanıldığını görmekteyiz. Atıkların yakıt olarak kullanılmasıyla fosil yakıtlara olan bağımlılık ve karbondioksit salınımının azalmasına katkı sağlamaktadır (CEMBUREAU,2009). Atık kullanımı beraberinde atıkların toplanması, depolanması ve üretim tesisine ulaştırılması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizde, belediyeler tarafından biyolojik atık su arıtma ve evsel katı atık işleme tesisi yatırımları yapılsa da mevcut durumda bunların yetersiz kaldığı ve bu nedenle bazı çimento fabrikalarının yerel yönetimlerle ve ilgili kurumlarla ortaklaşa hareket ederek bu sorunları aşmaya çalıştığı görülmektedir (Engin vd.,2013). Ortaya çıkan bu probleme çözüm bulmak amaçlı yapılan bu çalışmada, illerden elde edilen atıkların Toplanma Merkezlerine toplatılması ve toplanılan atıkların klinker üreten çimento fabrikalarına ulaştırması amacıyla oluşturulacak tersine lojistik ağı içerisinde Toplama Merkezlerinin nerelerde olması gerektiği sorusuna, amaç fonksiyonu maliyet (mesafe) minimizasyonu olan bir matematiksel modelleme ile cevap bulunmuştur.

### JEL Sınıflandırması

L91, C61

## 1. GİRİŞ

Yaşam kalitesini artırmak için gelişen ve değişen üretim ve tüketim alışkanlıkları beraberinde doğal kaynakların kullanım hızını artırdığı gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Bu kullanım hızının azaltılması ve sürdürülebilir hale getirilmesi için ülkelerin yasal düzenlemeler ile vatandaşlarını bilgilendirerek ve eğiterek davranış değişiklikleri kazandırmayı hedeflediğini görmekteyiz. Ülkemizde ise 1983 yılında yürürlüğe giren 2872 sayılı çevre kanunuyla günümüzün ve gelecek kuşakların ihtiyaç duyacağı doğal kaynakların varlığını ve kalitesini tehlikeye atmadan sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma kapsamında; çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler arasında denge kurularak korunması ve geliştirilmesinin hedeflendiği anlaşılmaktadır.

Ülkemizin 2004 yılında taraf olduğu Kyoto Protokolü olarak bilinen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde; çevresel değerleri olumsuz olarak etkileyen küresel ısınma, deniz seviyesinde yükselme, anormal hava değişimleri, su çekilmeleri ve sel baskınlarına sebebiyet veren sera gazları ve öncül maddelerinin atmosfere salınmasının iklim değişikliklerine neden olduğu belirtilmiştir (Zhou, 2012). Bu protokol kapsamında Çevre ve Şehircilik Bakanlığının bünyesinde halen bulunan komisyonlar tarafından "Emisyon Kontrolünün Geliştirilmesi" projesinin yürütüldüğü de bilinmektedir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, 2012). Ayrıca 25 Nisan 2012 tarihli ve

28274 sayılı "Sera Gazı Emisyonlarının Takibi" hakkındaki yönetmelik ile ulusal sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmını teşkil eden elektrik ve buhar, demir-çelik, seramik, kireç, kağıt, cam ve çimento üretim sektörlerinde ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının tesis seviyesinde izlenmesine yönelik çalışmaların bulunduğu bilinmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012). Bu çalışma kapsamında çimento üretiminde günlük kapasitesi 500 ton ve üzeri döner fırınlarında veya günlük kapasitesi 50 tonu aşan diğer ocaklarda klinker üretiminin tesis seviyesinde izlenmeye alındığı da bilinmektedir (28274 sayılı yönetmelik, 2012).

Çimento sanayisi ele alındığında; farklı oranlarda klinker miktarına sahip çimentoların üretiminde kullanılan yakıtlardan elde edilen karbondioksit emisyon miktarlarının farklı olduğu gözlenmiştir. Tablo 1'de 1kg çimento üretiminde kullanılan yakıt cinsine ve klinker kullanım yüzdesine göre açığa çıkan karbondioksit emisyon miktarları kg cinsinden verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde kullanılan yakıt türlerinden en az karbondioksit emisyon miktarını ortaya çıkaran yakıt türünün "atık yakıt" türü olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 1: Klinker ve Yakıt Türlerine Göre Çimento Üretiminde Oluşan Karbondioksit Emisyonları (kg) (Hendriks vd., 2003).**

Klinker/ Çimento Oranı	Proses Emisyonları	Kuru Proses				Yaş Proses			
	Klinker	Kömür	Fuel Oil	Doğal Gaz	Atık	Kömür	Fuel Oil	Doğal Gaz	Atık
55%	0,28	0,55	0,47	0,47	0,36	0,67	0,59	0,53	0,36
75%	0,38	0,72	0,61	0,61	0,47	0,88	0,77	0,69	0,47
95% (Portland)	0,49	0,89	0,81	0,75	0,57	1,09	0,95	0,9	0,57

Atık yönetimi kapsamında; atıkların sadece imha edilmesi gereken maddeler olduğu şeklinde olan bakış açısının sürdürülebilir çevre anlayışı içerisine girmediği (Seadon, 2010) bunun yerine elde edilen atıkların farklı enerji kaynaklarına çevrilerek geri kazanımlarının sağlanması anlayışının artması ve entegre atık yönetimi anlayışı ile çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilirliğin sağlanması gerekliliğinin ortaya çıktığı görülmektedir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2008).

Avrupa çevre ajansının 2005 yılında yayınladığı atık önleme ve geri dönüşüm tematik stratejisinde atık yönetimi ile ilgili geliştirilmesi istenen konular arasında "yaşam döngüsü analizi yaklaşımının atık yönetiminin de uygulanması" hususu yer almıştır (European Commission, 2011). Bunun üzerine AB27'de atıkların farklı enerji kaynağına dönüştürülerek toplam enerji üretimi içerisinde %1,3 seviyesine gelmesi atıkların yaşam döngüsünün uzatıldığını ve elde edilen faydanın arttığını göstermektedir (European Commission, 2011). Ülkemizin AB üyelik kriterleri kapsamında enerji verimliliğinin artırılması hususunda ki kriterini karşılayabilmesi için atıkların farklı bir enerji kaynağına dönüştürme oranının artırılması gerekliliğinin de ortaya çıktığı görülmektedir (Demirbaş, 2006).

Ülkemizde mevcut çimento sanayisi ele alındığında; çimento üretiminde Avrupa da birinci, dünyada ise altıncı sırada olduğu, dünya ihracatında ise %12'lik payı ile ilk sırada olduğu görülmektedir (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2013). Dünyada hem üretim de hem de ihracat dalında başarısının yüksek olduğu bu sektörün maliyet kalemlerini incelediğimizde ise karşımıza %38'lik büyük bir oranla beraber "yakıt tüketim" maliyet

kaleminin ilk sırada olduğu görülmektedir (Engin vd., 2013; Rehan ve Nehdi, 2005; Worrell vd. 2001). Kullanılan yakıt tipine baktığımızda ise hammadde hazırlaması ve çimento üretim safhalarında elektrik enerjisinin kullanıldığı klinker üretim safhasında ise her türlü yakıtın kullanıldığı fakat büyük oranda fosil yakıt kullanımı tercih edildiği gözlenmektedir (Akçansa, 2011). Klinker üretim safhasında kullanılan enerjinin toplam çimento üretimi enerji kullanımı içerisindeki oranının %70-80 olması nedeniyle kullanılan fosil yakıtların büyük bir maliyet kalemi oluşturduğu anlaşılmaktadır (Worrell vd., 2001).

Yüksek kullanım oranına sahip fosil yakıtların hem maliyetlerinin yüksek hem de hızla tükenen bir konumda olması sebebiyle, çimento üretiminde önemli bir maliyet konumunda bulunan fosil yakıt kullanımı yerine farklı alternatif yakıt kullanımının daha az maliyetli ve daha fazla çevreci olacağı görülmektedir (Utlı vd., 2006). Atıkların yakıt olarak kullanımının bu alternatifler içerisinde yer alması ise çimento sanayisinde maliyetleri düşürebileceği gibi sürdürülebilir çevre kapsamında da çevre korunumuna yardımcı olabilecektir (Schneider vd., 2011). Dışa bağımlılık açısından değerlendirildiği zaman ise Türkiye'de mevcut enerji kaynaklarının yeterli olmaması ve çimento üretimi için ihtiyaç olan bu enerjinin ithal edilmesi çimento sektörü ve ülke için dışa bağımlılığa neden olmaktadır. Bu bağımlılığı azaltmak ve maliyetleri düşürmek için alternatif yakıt kullanımının artırılması gerekmektedir (Erdoğan, 2008).

Uygulama sahasına bakıldığında; çeşitli atıkların yakıt maliyetini düşürmek amacıyla klinker üretiminde yakıt olarak kullanılmaya başlandığını ve giderek yaygınlaştığını söyleyebiliriz (Erdoğan, 2008). Bu şekilde atıkların farklı enerjilere dönüştürülerek geri kazanımlarının sağlanması "Atıkların Yakılması ve Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC)" direktiflerine göre mevcut olan en iyi teknik olduğu kabul edilmektedir (CEMBUREAU, 2009). Bu teknikte kullanılan atıkların neler olduğuna baktığımızda karşımıza araç lastikleri, endüstriyel atık plastikleri, kontamine atıklar, evsel arıtma çamuru, ağartma toprağı, atık yağ, sintine atıkları ve belediye atıkları çıkmaktadır. Diğer yandan kullanımının yasak olduğu atıklara baktığımızda ise tıbbi atıklar, nükleer atıklar, bataryalar ve işlemden geçmemiş belediye atıklar olduğu görülmektedir (Engin vd., 2013).

Atıkların yakıt olarak çimento sanayisinde kullanılması ile ekonomik anlamda değer kazanacağı, karbondioksit emisyonunu azaltacağı, kül ya da uçucu küllerin açığa çıkmayacağı, suya ve toprağı herhangi bir emisyon oluşmasını önleyici faydalarının oluşacağı görülmektedir (Engin vd., 2013). Fakat bu faydaları elde etmek amacı beraberinde yakıt olarak kullanılacak atıkların çimento fabrikalarına getirilmesi problemi doğurmaktadır. Atıkların çimento sanayisinde yakıt olarak kullanım oranının düşük olması nedenleri arasında bu problemde olması, atıkların yakıt olarak kullanımını artırmak için karşımıza çıkan problem için çözüm yollarının ortaya koyulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Literatüre baktığımızda tesis yer seçimi ile ilişkili benzer çalışmaların olduğu görülmektedir (Spengler vd., 1997; Barros, 1998; Shih, 2001; Autry, 2005; Nagurney ve Toyasaki, 2006; Salema vd., 2007; Pati vd., 2008; Ares ve Aksen, 2008; Mutha ve Pokharel, 2009; Kannan vd., 2012; Dat vd., 2012; Kara vd., 2013).

Bu çalışmada ise atıkların yakıt olarak çimento sanayisinde kullanımını artırmak amacıyla, kara yolları ulaşım hatları ve çimento fabrikalarının kurulum yerleri göz önüne alınarak 9 bölgeye ayrılmış olan Türkiye'de, mevcut iller tarafından elde edilen atıkların o

bölgede mevcut olan çimento fabrikalarına ulaştırılması için bölgesel toplama merkezlerinin nerelerde kurulması gerekliliği araştırılmıştır. Araştırmanın amaç fonksiyonlarını her bölge için ayrı ayrı atıkların en kısa yoldan toplanarak en kısa yol ile fabrikalara ulaştırılmasını hedefleyen mesafe minimizasyonu oluşturmaktadır. Kurulan model ise Excel Solver programı ile çözümlenerek optimal sonuç elde edilmiştir.

## **2. UYGULAMA**

Çalışma da kullanılan uygulama 3 aşamalı olarak sunulacaktır. İlk aşamada çimento sektöründe atıkların yakıt kullanımının artırılmasında ortaya çıkan problemin ne olduğu ve problemin çözülme gerekliliği ortaya konulacaktır. Problemin ne olduğu ortaya konulduktan sonra ikinci aşamada problemin çözüme kavuşturulması için problemin sonucunda ulaşılmak istenen amaç fonksiyonu ve bu amaç fonksiyonu oluşturan kısıtlar ve alternatifler indeks seti ve parametreler şeklinde ortaya koyulacaktır. Modelin oluşturulması aşamasından sonra model Excel Solver programı ile çözümlenecek ve optimal sonuçlar elde edilerek çalışma tamamlanacaktır.

### **2.1. Problemin Tanımlanması**

Sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma kapsamında doğal kaynakların tüketim hızını azaltmak ve sürdürülebilir kaynak olarak kalmasını sağlamak için kullanılan kaynaklar yerine alternatif kaynakların kullanılması gerekliliğinin olduğu görülmektedir. Ayrıca atıkların alternatif enerji kaynağı olması ve bu enerjinin çimento sanayisinde kullanılabilmesi de bilinmektedir. Çimento fabrikalarının atıkları toplamakta zorluklar yaşaması nedeniyle çimento endüstrisinde atık kullanım oranının düşük seviyede olduğu kullanım oranlarında gözlemlenmektedir. Atık kullanım oranının artırılması için mevcut atıkların çimento fabrikalarına ulaştırılması gerekmektedir. Bu ulaşımın sağlanabilmesi için atıkların belirli noktalarda Bölgesel Toplama Merkezi(BTM) oluşturularak toplanması ve bu noktalardan fabrikalara gönderilmesi veya fabrikaların bu noktalarda toplanan atıkları kendi imkânları ile alması gerekmektedir. Bu gereklilik BTM'nin nerelerde kurulması problemini karşımıza çıkarmaktadır. Bu problemin çözülmesi ile ulaşılmak istenen amaç atıkların çimento fabrikalarına ulaştırmak için önce illerden toplanması ve toplanan atıkların bölgede mevcut olan fabrikalara gönderilmesi için BTM'lerin hangi ilde kurulması gerektiği sorusuna cevap vermektir.

### **2.2. Problemin Kapsamı**

*Oluşturulacak tersine lojistik ağ akışı:* önce illerde bulunan atıkların BTM'lerinde toplanacak ve BTM'lerden bölgede mevcut olan çimento fabrikalarına gönderileceği kabul edilmektedir.

*Oluşturulacak tersine lojistik ağ bölgeleri:* Karayolları güzergahları ve çimento fabrikalarının bulunduğu iller esas alınarak A,B,C,D,E,F,G,H VE I bölgeleri olmak üzere Türkiye Cumhuriyeti coğrafyası toplam 9 bölgeye ayrılmıştır (Ek A).

*Bölgelerde kurulması planlanan BTM miktarı:* Her bölgede toplam 1 adet toplama merkezinin açılacağı varsayılmıştır.

*Bölgelerde kurulması planlanan BTM kapasiteleri:* Kurulacak olan BTM'lerin toplama kapasitelerinin ve hizmet koşullarının aynı olduğu kabul edilmiştir.

*Bölge illerde elde edilen atık miktarları:* İllerin atık miktarları T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012) kaynak verilerine göre alınmıştır.

*Atıkların taşınma şekli:* Toplanacak atıkların tek tip ambalajlar içinde olduğu varsayılarak malzeme ağırlıkları tonaj üzerinden hesaplanacaktır.

*Atıkları taşıma araç tipi:* Tersine lojistik ağ içerisinde malzemelerin toplanarak BTM'lere götürülmesi için 40 m<sup>3</sup> ve 12 ton kapasiteli araç tipi kullanılacaktır.

*Atıkların taşınma prensipleri:* Taşıma amaçlı kullanılacak araçlar tam doluluk prensibine göre çalışacak ve tam dolum yapılan kadar iller de bekletileceği ve hepsinin yakıt harcama miktarlarının aynı olduğu kabul edilerek yakıt tüketiminin sadece mesafeye bağlı olarak değişeceği ve maliyeti bu şekilde etkileyeceği kabul edilmiştir.

*Çimento fabrikalarının belirlenmesi:* Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğine kayıtlı klinker üreten çimento fabrikaları çalışmaya dahil edilmiştir

*Çimento fabrikalarının atık kullanım kapasite miktarları:* Çimento fabrika kapasitelerine firmaların ilgili departmanları aranarak ulaşılmıştır.

### 2.3. Modelin İndeks Seti

Ele alınan problemin her bir bölge için bölge içerisindeki illerde bölgesel toplama merkezlerinin açılma alternatiflerinin matematiksel ifadesi aşağıda yer almaktadır.

a = {1,..., 10}	A Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
b = {1,...,11}	B Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
c = {1,...,13}	C Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
d = {1,...,9}	D Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
e = {1,..., 8}	E Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
f = {1,...,11}	F Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
g = {1,...,9}	G Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
h = {1,...,7}	H Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri
ı = {1,...,4}	I Bölgesi Toplama Merkezi açma alternatifleri

### 2.4. Modelin Değişkenleri

Her bölge için o bölgenin her hangi bir ilinde bölgesel toplama merkezlerinin açılması veya açılmamasını ortaya koyan değişkenlerin matematiksel ifadeleri aşağıda yer almaktadır.

$Y_a = \{0,1\}$	A bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $a \in A$
$Y_b = \{0,1\}$	B bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $b \in B$
$Y_c = \{0,1\}$	C bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $c \in C$
$Y_d = \{0,1\}$	D bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $d \in D$
$Y_e = \{0,1\}$	E bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $e \in E$
$Y_f = \{0,1\}$	F bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $f \in F$
$Y_g = \{0,1\}$	G bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $g \in G$
$Y_h = \{0,1\}$	H bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $h \in H$
$Y_i = \{0,1\}$	I bölgesinde, bölgesel toplama merkezi açma, $i \in I$

## 2.5. Modelin Parametreleri

Bölge içerisindeki illerin birbirlerine olan mesafeleri tanımlayan matematiksel ifadeler aşağıda yer almaktadır.

Bölge içi mesafe

$C_a$	= A Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $a \in A$
$C_b$	= B Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $b \in B$
$C_c$	= C Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $c \in C$
$C_d$	= D Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $d \in D$
$C_e$	= E Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $e \in E$
$C_f$	= F Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $f \in F$
$C_g$	= G Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $g \in G$
$C_h$	= H Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $h \in H$
$C_i$	= I Bölgesel toplama merkezi için bölge içi taşıma mesafesi, $i \in I$

Bölge illerde belediyeler tarafından toplanan atık miktarlarını gösteren matematiksel ifadeler aşağıda yer almaktadır.

Bölgelerde oluşan atık miktar oranları

$P_a$	= A Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları, $a \in A$
$P_b$	= B Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları, $b \in B$
$P_c$	= C Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları, $c \in C$
$P_d$	= D Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları, $d \in D$
$P_e$	= E Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları, $e \in E$
$P_f$	= F Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları, $f \in F$

$P_g$  = G Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları,  $g \in G$

$P_h$  = H Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları,  $h \in H$

$P_i$  = I Bölgesi illeri için oluşan atık miktar oranları,  $i \in I$

Bölge de mevcut olan çimento fabrikalarının diğer bölge illerine karayolu mesafesini gösteren matematiksel ifadeler aşağıda yer almaktadır.

**Tablo 2: Çimento Fabrikalarının Diğer Bölge İllerine Olan Karayolu Mesafesinin**

**Matematiksel İfadeleri**

A Bölgesi	B Bölgesi
$C_{gA1}$ = Fabrika A1 ile A bölgesi illeri arası mesafe, $aM1 \in A$	$C_{bB1}$ = Fabrika B1 ile B bölgesi illeri arası mesafe, $bB1 \in B$
$C_{gA2}$ = Fabrika A2 ile A bölgesi illeri arası mesafe, $aM2 \in A$	$C_{bB2}$ = Fabrika B2 ile B bölgesi illeri arası mesafe, $bB2 \in B$
$C_{gA3}$ = Fabrika A3 ile A bölgesi illeri arası mesafe, $aM3 \in A$	$C_{bB3}$ = Fabrika B3 ile B bölgesi illeri arası mesafe, $bB3 \in B$
$C_{gA4}$ = Fabrika A4 ile A bölgesi illeri arası mesafe, $aM4 \in A$	$C_{bB4}$ = Fabrika B4 ile B bölgesi illeri arası mesafe, $bB4 \in B$
$C_{gA5}$ = Fabrika A5 ile A bölgesi illeri arası mesafe, $aM5 \in A$	
$C_{gA6}$ = Fabrika A6 ile A bölgesi illeri arası mesafe, $aM6 \in A$	
C Bölgesi	D Bölgesi
$C_{cC1}$ = Fabrika C1 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC1 \in C$	$C_{dD1}$ = Fabrika D1 ile D bölgesi illeri arası mesafe, $dD1 \in D$
$C_{cC2}$ = Fabrika C2 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC2 \in C$	$C_{dD2}$ = Fabrika D2 ile D bölgesi illeri arası mesafe, $dD2 \in D$
$C_{cC3}$ = Fabrika C3 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC3 \in C$	$C_{dD3}$ = Fabrika D3 ile D bölgesi illeri arası mesafe, $dD3 \in D$
$C_{cC4}$ = Fabrika C4 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC4 \in C$	$C_{dD4}$ = Fabrika D4 ile D bölgesi illeri arası mesafe, $dD4 \in D$
$C_{cC5}$ = Fabrika C1 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC5 \in C$	
$C_{cC6}$ = Fabrika C2 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC6 \in C$	
$C_{cC7}$ = Fabrika C3 ile C bölgesi illeri arası mesafe, $cC7 \in C$	
E Bölgesi	F Bölgesi
$C_{eE1}$ = Fabrika E1 ile E bölgesi illeri arası mesafe, $eE1 \in E$	$C_{fF1}$ = Fabrika F1 ile F bölgesi illeri arası mesafe, $fF1 \in F$
$C_{eE2}$ = Fabrika E2 ile E bölgesi illeri arası mesafe, $eE2 \in E$	$C_{fF2}$ = Fabrika F2 ile F bölgesi illeri arası mesafe, $fF2 \in F$
$C_{eE3}$ = Fabrika E3 ile E bölgesi illeri arası mesafe, $eE3 \in E$	$C_{fF3}$ = Fabrika F3 ile F bölgesi illeri arası mesafe, $fF3 \in F$
	$C_{fF4}$ = Fabrika F4 ile F bölgesi illeri arası mesafe, $fF4 \in F$
	$C_{fF5}$ = Fabrika F5 ile F bölgesi illeri arası mesafe, $fF5 \in F$
G Bölgesi	H Bölgesi
$C_{gG1}$ = Fabrika G1 ile G bölgesi illeri arası mesafe, $gG1 \in G$	$C_{hH1}$ = Fabrika H1 ile H bölgesi illeri arası mesafe, $hH1 \in H$
$C_{gG2}$ = Fabrika G2 ile G bölgesi illeri arası mesafe, $gG2 \in G$	$C_{hH2}$ = Fabrika H2 ile H bölgesi illeri arası mesafe, $hH2 \in H$
$C_{gG3}$ = Fabrika G3 ile G bölgesi illeri arası mesafe, $gG3 \in G$	$C_{hH3}$ = Fabrika H3 ile H bölgesi illeri arası mesafe, $hH3 \in H$
$C_{gG4}$ = Fabrika G4 ile G bölgesi illeri arası mesafe, $gG4 \in G$	$C_{hH4}$ = Fabrika H4 ile H bölgesi illeri arası mesafe, $hH4 \in H$
$C_{gG5}$ = Fabrika G5 ile G bölgesi illeri arası mesafe, $gG5 \in G$	$C_{hH5}$ = Fabrika H5 ile H bölgesi illeri arası mesafe, $hH5 \in H$
I Bölgesi	
$C_{iI1}$ = Fabrika I1 ile I bölgesi illeri arası mesafe, $iI1 \in I$	
$C_{iI2}$ = Fabrika I2 ile I bölgesi illeri arası mesafe, $iI2 \in I$	
$C_{iI3}$ = Fabrika I3 ile I bölgesi illeri arası mesafe, $iI3 \in I$	
$C_{iI4}$ = Fabrika I4 ile I bölgesi illeri arası mesafe, $iI4 \in I$	

Bölgelerde mevcut olan fabrikaların atık kullanım kapasitelerini gösteren matematiksel ifadeler aşağıda yer almaktadır.

**Fabrika kapasite seviyeleri**

$P_A$  = A Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $A \in A$

$P_B$  = B Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $B \in B$

$P_C$  = C Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $C \in C$

$P_D$  = D Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $D \in D$

$P_E$  = E Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $E \in E$



$P_F$  = F Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $F \in F$

$P_G$  = G Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $G \in G$

$P_H$  = H Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $H \in H$

$P_I$  = I Bölgesi illeri için fabrika kapasite seviyesi,  $I \in I$

## 2.6. Modelin Kısıtları

Model içerisinde bölgesel toplama merkezlerinin kurulmasını veya kurulmamasını ifade eden kısıtların matematiksel ifadeler aşağıda gösterilmektedir.

Bölgelerde bir tane BTM açılma kısıtlaması

$$\begin{array}{lll} \sum_{a \in A} Y_a = 1 & a \in A & \sum_{b \in B} Y_b = 1 & b \in B & \sum_{c \in C} Y_c = 1 & c \in C \\ \sum_{d \in D} Y_d = 1 & d \in D & \sum_{e \in E} Y_e = 1 & e \in E & \sum_{f \in F} Y_f = 1 & f \in F \\ \sum_{g \in G} Y_g = 1 & g \in G & \sum_{h \in H} Y_h = 1 & h \in H & \sum_{i \in I} Y_i = 1 & i \in I \end{array}$$

$Y_a, Y_b, Y_c, Y_d, Y_e, Y_f, Y_g \in \{0,1\}$

## 2.7. Model

Ele alınan problemin bölgelere ait amaç fonksiyonları ve ortaya konulan modeller aşağıda matematiksel ifadeler ile gösterilmektedir.

**Tablo 3: Bölgelerin amaç fonksiyonlarının matematiksel modellemesi**

<p><u>Min A Bölgesi</u>  <math>\sum_{a \in A} [C_{aP_a} + C_{aA1}P_A + C_{aA2}P_A + C_{aA3}P_A + C_{aA4}P_A + C_{aA5}P_A + C_{aA6}P_A]</math>  <math>a \in A</math></p>	<p><u>Min B Bölgesi</u>  <math>\sum_{b \in B} [C_bP_b + C_{bB1}P_B + C_{bB2}P_B + C_{bB3}P_B + C_{bB4}P_B]</math>  <math>b \in B</math></p>
<p><u>Min C Bölgesi</u>  <math>\sum_{c \in C} [C_cP_c + C_{cC1}P_C + C_{cC2}P_C + C_{cC3}P_C + C_{cC4}P_C + C_{cC5}P_C + C_{cC6}P_C + C_{cC7}P_C]</math>  <math>c \in C</math></p>	<p><u>Min D Bölgesi</u>  <math>\sum_{d \in D} [C_dP_d + C_{dD1}P_D + C_{dD2}P_D + C_{dD3}P_D + C_{dD4}P_D]</math>  <math>d \in D</math></p>
<p><u>Min F Bölgesi</u>  <math>\sum_{f \in F} [C_fP_f + C_{fF1}P_F + C_{fF2}P_F + C_{fF3}P_F + C_{fF4}P_F + C_{fF5}P_F]</math>  <math>f \in F</math></p>	<p><u>Min E Bölgesi</u>  <math>\sum_{e \in E} [C_eP_e + C_{eE1}P_E + C_{eE2}P_E + C_{eE3}P_E]</math>  <math>e \in E</math></p>
<p><u>Min G Bölgesi</u>  <math>\sum_{g \in G} [C_gP_g + C_{gG1}P_G + C_{gG2}P_G + C_{gG3}P_G + C_{gG4}P_G + C_{gG5}P_G]</math>  <math>g \in G</math></p>	<p><u>Min I Bölgesi</u>  <math>\sum_{i \in I} [C_iP_i + C_{iI1}P_I + C_{iI2}P_I + C_{iI3}P_I + C_{iI4}P_I]</math>  <math>i \in I</math></p>
<p><u>Min H Bölgesi</u>  <math>\sum_{h \in H} [C_hP_h + C_{hH1}P_H + C_{hH2}P_H + C_{hH3}P_H + C_{hH4}P_H + C_{hH5}P_H]</math>  <math>h \in H</math></p>	

## 2.8. Modelin Çözülmesi

Problemin amaç fonksiyonları belirlendikten sonra Microsoft Office Excel programında mevcut olan Excel Solver yardımı ile doğrusal model kapsamında; 0,000001 duyarlılık ile, %5 tolerans ile, 0,0001 yakınsama ile, 100 yenileme ve 100 saniye parametreleri kullanılarak modeller çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre BTM'lerin açılması gereken iller Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 4: Modelden Elde Edilen Sonuçlar**

A. Bölgesi: İzmir	B. Bölgesi: İstanbul Asya	C. Bölgesi: Ankara
D. Bölgesi: Samsun	E. Bölgesi: Erzurum	F. Bölgesi: Diyarbakır
G. Bölgesi: Adana	H. Bölgesi: Konya	I. Bölgesi: İstanbul Avrupa

## 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; sürdürülebilir çevre yönetimi kapsamında, çimento sektörünün önemli bir maliyet kalemini oluşturan yakıt tüketim maliyetinin azaltılması için atık yönetimi kapsamı içerisine giren ve farklı enerji kaynaklarına dönüştürülebilen atıkların kullanımını artırmak hedeflenmiştir. Bu kullanım oranını artırmak için atıkların fabrikalara en kısa yol ile sistematik bir şekilde nasıl ulaştırılabilir sorusu sorulmuştur. Bu soru kapsamında, illerde meydana gelen atıkların BTM'ler de toplanarak konsolidasyonu yapıp fabrikalara ulaştırılması için BTM'nin hangi illerde kurulması gerektiği araştırılmıştır. Hedeflenen çözüme Tam Sayılı Programlama modelinden yararlanarak ulaşılmıştır.

Modelin çalıştırılması ile elde edilen bulguları değerlendirecek olursak 1. bölge için karşımıza bölge içerisinde en fazla atık meydana getiren ve bünyesinde iki adet çimento fabrikası olan "İzmir" ili çıkmaktadır. 2. bölgede bünyesinde çimento fabrikası bulunmamasına rağmen atık meydana getirme oranının diğer illere göre çok yüksek miktarda olması nedeniyle "İstanbul Asya" ili karşımıza çıkmaktadır. 3. bölgede belirlenen bölge içerisinde mesafe olarak diğer illere eşit uzaklıkta olan ve il içerisinde mevcut çimento fabrikalarının atık kullanım kapasitesinin diğer çimento fabrikalarına karşı yüksek seviyede olması nedeniyle "Ankara" ili BTM için en uygun il olarak karşımıza çıkmaktadır. 4. bölgede ise il içerisinde mevcut çimento fabrikasının atık kullanım oranı diğer çimento fabrikalarına göre az olmasına rağmen bölge içerisinde en fazla atık miktarı meydana gelen il olması nedeniyle "Samsun" ili karşımıza BTM kurulumu için en uygun il olarak çıkmaktadır. 5. bölgede çimento fabrika miktarlarının ve meydana gelen atık miktarlarının birbirine çok yakın olan Erzurum ve Elazığ illeri arasında ise Erzurum da bulunan çimento fabrikasının atık kullanma kapasitesinin Elazığ da bulunan çimento fabrikasının atık kullanım kapasitesinin hemen hemen iki katı olması nedeniyle optimum çözüm olarak karşımıza "Erzurum" ili çıkmaktadır. 6. bölgede ise bünyesinde bulundurduğu çimento fabrikasının atık kullanım kapasitesinin diğer fabrikalara göre az olmasına rağmen hem kendi atık meydana getirme oranını yüksek olması hem de komşu illerinde meydana gelen atık oranlarının yüksek olması nedeniyle en uygun çözüm olarak karşımıza "Diyarbakır" ili çıkmaktadır. 7. bölgede ise bölge içerisinde hem atık meydana getirme oranı açısından hem de mevcut fabrikanın atık kullanım oranının diğerlerine göre yüksek miktarda olması

nedeniyle "Adana" ili karşımıza çıkmaktadır. 8. bölgede atık meydana getirme oranı en fazla olan "Konya" ili karşımıza çıkmaktadır. 9. bölge ise Trakya da mevcut olan iller arasında atık meydana getirme açısından diğer illerin toplamının 6 kat büyük olması nedeniyle "İstanbul Avrupa" ili BTM kurmak için optimum il olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ele alınan bu çalışma ile atıkların farklı enerji kaynaklarına dönüştürülerek geri kazanım miktarlarının artırılması için BTM'lerin kurulmasının gerekli olduğuna ve kurulacak bu toplama merkezlerinin yer tespitinin yapılmasında meydana gelen atık miktarlarının önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda mevcut çimento fabrikalarının atık kullanım miktarlarının da kurulacak olan toplama merkezleri için diğer bir önemli etken olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak çimento fabrikalarının kullanım sınırlarına giren atıkların modelin çözümü ile elde edilen BTM noktalarında toplanması ve fabrikalara ulaştırılması ile hem sürdürülebilir bir çevre yaratılmış olunacak hem de çimento sanayisinde önemli bir maliyet kalemini oluşturan yakıt tüketimine alternatif bir çözüm bulunmuş olacaktır.

## **KAYNAKÇA**

- 28274 sayılı yönetmelik (2012), Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete.
- Akçansa. (2011), Akçansa 2010-2011 Sürdürülebilirlik Raporu, p.27
- Aras, N., Aksın, N. (2008), Locating Collection Centers for Distance- and Incentive- Dependent Returns, *International Journal Production Economics*, 111, 316-333.
- Autry, C.W. (2005), Formalization of Reverse Logistics Programs: A Strategy For Managing Liberalized Returns, *Industrial Marketing Management*, 34, 749-757.
- Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V. (1998) A Two-level Network for Recycling Sand: A Case Study, *European Journal of Operational Research*, 110, 199-214.
- CEMBUREAU (2009), Sustainable Cement Production Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials in the European Cement Industry, CEMBUREAU, Brussels, p.7.
- Demirbaş, A. (2006), Turkey's Renewable Energy Facilities in the Near Future, *Energy Sources*, 28 (6), 527-528, p. 535.
- Dat, L.Q., Linh, D.T.T., Chou, S.Y., Yu, V.F. (2012), Optimizing Reverse Logistic Costs for Recycling End-of-Life Electrical and Electrical Products, *Exper Systems with Applications*, 39, 6380-6387.
- Engin, Y., Tarhan, M., Kumbaracıbaşı, S. (2013), Çimento Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim, *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 155-165, İstanbul, p.159-160.
- Erdoğan, A. (2008), İklim Değişikliği ile Mücadele Faaliyetlerinin Türk Çimento Sanayiine Etkileri, *DPT*, p.2, 102.
- European Commission (2011), Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste, *Bürüksel*, p.6.
- Hendriks, C. A., Worrell, E., Jager, D., Blok, K., Riemer, P. (2003), "Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry", *Greenhouse Gas Control Technologies Conferenc*, p.4.
- Kannan, D., Diabat, A., Alrefaei, M., Govindan, K., Yong, G. (2012), A Carbon Footprint Based Reverse Logistics Network Design Model, *Resources Conservation and Recycling*, 67, 75-79.
- Kara, K., Acar, A., Önden, İ. (2013), Tersine Lojistik Süreçlerinde Toplama Merkezi Yerlerinin Matematiksel Modelleme ile Tespit Edilmesi, *12 nci Ulusal İşletmecilik Kongresi, Marmaris*, p.911-916.
- Mutha, A. ve Pokharel S. (2009), Strategic Network Design for Reverse Logistics and Remanufacturing Using New and Old Product Modules, *Computers and Industrial Engineering*, 56, 334-346.

- Nagurney, A., Toyosaki, F. (2005), Reverse Supply Chain Management and Elektronik Waste Recycling: A Multitered Network Equilibrium Framework for E-cycling, *Transportation Research Part E*, 41, 1-28.
- Pati P.K., Vrat, P., Kumar, P. (2008), A Goal Programming Model for Paper Recycling System, *Omega*, 36, 405-417.
- Rehan, R., Nehdi, M. (2005), Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry, *Environmental Science & Policy*, 8, 105-114, p.105.
- Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., Bolio, H. (2011), Sustainable cement production—present and future, *Cement and Concrete Research*, 41, 642-650, p.643.
- Seadon, J. K. (2010), Sustainable waste management systems, *Journal of Cleaner Production*, (18), 1639-1651, p. 1639.
- Selema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2007), An Optimization Model for The Design of A Capacitated Multi- Product Reverse Logistics Network with Uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077.
- Shih, L.H. (2001), Reverse Logistics System Planning for Recycling Elektrical Appliances and Computers in Taiwan, *Resources Conversation and Recycling*, 32, 55-72.
- Spengler, Th., Püchert, H., Penkuhn, T., Rentz, O. (1997), Environmental Integrated Production and Recycling Management, *European Journal of Operational Research*, 97, 308-326.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2013), Çimento Sektörü Raporu (2013/1), Ankara, p. 7.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012), 2012 Yılı İdare Faaliyet Raporu, p. 67.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü (2012), Ulusal Emisyon Tavanları (NEC) Koordinasyon Kurulu'nun Kurulmasına ilişkin Toplantı, Ankara.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (2008), Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012), Ankara, p.1.
- Utlu, Z., Sogut, Z., Hepbasli, A., Oktay, Z. (2006), Energy and exergy analyses of a raw mill in a cement production, *Applied Thermal Engineering*, (26), 2479–2489, p. 2479.
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., Meida, L. O. (2001), Carbon Dioxide Emissions From The Global Cement Industry, *Annu. Rev. Energy Environ.*, 26, 303-329, p. 306.
- Zhou, L. (2012), Carbon Emission: Invalid Strategy and Ecological Rule, *Low Carbon Economy*, 3, 80-82., p. 80.

**Ek A: BÖLGELER VE İLLER**

<b>A. Bölgesi:</b> Afyonkarahisar Aydın Balıkesir Çanakkale Denizli İzmir Kütahya Manisa Muğla Uşak	<b>B. Bölgesi:</b> Bartın Bilecik Bolu Bursa Düzce İstanbul Asya Karabük Kocaeli Sakarya Yalova Zonguldak	<b>C. Bölgesi:</b> Aksaray Amasya Ankara Çankırı Çorum Eskişehir Kayseri Kırıkkale Kırşehir Nevşehir Sivas Tokat Yozgat	<b>D. Bölgesi:</b> Bayburt Giresun Gümüşhane Kastamonu Ordu Rize Samsun Sinop Trabzon	<b>E. Bölgesi:</b> Ardahan Artvin Bingöl Elazığ Erzincan Erzurum Kars Tunceli
<b>F. Bölgesi:</b> Ağrı Batman Bitlis Diyarbakır Hakkari İğdır Mardin Muş Siirt Şırnak Van	<b>G. Bölgesi:</b> Adana Adıyaman Gaziantep Hatay Kahramanmaraş Kilis Malatya Osmaniye Şanlıurfa	<b>H. Bölgesi:</b> Antalya Burdur Isparta Karaman Konya Mersin Niğde	<b>I. Bölgesi:</b> Edirne İstanbul Avrupa Kırklareli Tekirdağ	