

GERİ DÖNÜŞÜM TESİSLERİNİN YERİNİN GUSTAFSON-KESSEL ALGORİTMASI-KONVEKS PROGRAMLAMA MELEZ MODELİ TABANLI SİMÜLASYON İLE BELİRLENMESİ

Sinem BÜYÜKSAATÇI*, Tarık KÜÇÜKDENİZ*, Şakir ESNAF*

ÖZET

İstanbul giderek artan nüfusu ve genişleyen coğrafi yapısıyla her geçen gün daha fazla kaynağa gereksinim duyan bir metropoldür. Artan tüketimin doğal dengeyi bozmasını engellemek ve doğaya verilen zararı azaltmak, ayrıca yeniden dönüştürülebilen maddelerin tekrar hammadde olarak kullanılmasıyla büyük miktarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla firmalar geri dönüşüm süreçlerine başvurmaktadır. *Geri dönüşüm* terim olarak, kullanım dışı kalan *geri dönüştürülebilir* atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır. Bu makalede bir asfalt firmasının kurulacak geri dönüşüm tesisleri için kapasite, maliyet, talep ve coğrafi konum kısıtlarına bağlı olarak öncelikle optimum yerle, Gustafson-Kessel bulanık öbekleme algoritması-Konveks programlama melez modeli ile belirlenmiş, daha sonra da belirlenen yer veya yerlere bağlı olarak çeşitli koşullar altında gerçek sisteme ait lojistik performansı, maliyet, darboğaz noktaları ve makine/araç gereksinimi gibi parametreler bir simülasyon uygulaması ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Simülasyon, Çoklu Tesis Yeri Seçimi, Asfalt Geri Dönüşümü, Bulanık Öbekleme Analizi*

DETERMINING LOCATION OF RECYCLING PLANTS WITH GUSTAFSON-KESSEL ALGORITHM-CONVEX PROGRAMMING HYBRID MODEL-BASED SIMULATION

ABSTRACT

Istanbul is a metropolis that needs more and more resources with each passing day by its continuously increasing population and its expanding geographic structure. For purpose of inhibiting destruction of the naturel equilibrium, decreasing the damage on environment and achieving energy savings by reusing recycling materials, companies take some radical actions on recycling processes. As a term, recycling means that reusing recyclable waste materials as raw materials in manufacturing with varied recycling methods. In this article, firstly optimum facility locations which are related to capacity, cost, demand and geographical position constraints were determined with Gustafson-Kessel fuzzy clustering algorithm-convex programming hybrid model for the new asphalt recycling facilities that belong to an asphalt company and then with this/these locations, systems' parameters like logistics performance, costs, bottlenecks and machine /tool requirements etc. were analysed with a simulation application.

Keywords: *Simulation, Multiple Facility Location Problem, Asphalt Recycling, Fuzzy Clustering Analysis*

* *İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Avcılar-İstanbul*

1. GİRİŞ

Kaynakların sınırlı olduğu, tüketimin hızla arttığı dünyamızda son yıllarda üzerinde önemle durulan konulardan biri geri dönüşümdür. Çok çeşitli atık malzemelerin (cam, kağıt, alüminyum, plastik, pil, motor yağı, akümülatör, beton, organik atıklar ve elektronik atıklar...vb) çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerle ikincil hammaddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine dahil edilmesine “geri dönüşüm” denilmektedir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi vb. gerçekleri gören ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Ülkemizde de halen devam eden, belediyelerin geri kazanım projelerinde önemli miktarda kağıt, cam, metal ve plastik atıklar işlenerek yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir.

Geri dönüşüm projelerinde ileri lojistik sistemlerinde var olan tesislerin dışında; toplama, ayırıştırma, geri kazanım gibi faaliyetlerin gerçekleştirildiği farklı tesislere ihtiyaç vardır. Dolayısıyla projelerde alınması gereken önemli kararlar arasında toplama alanlarının optimum sayısının ve yerleşim yerlerinin tespiti, tesisler ve her bir tesis arasında taşınacak miktarların belirlenmesi yer almaktadır. Geleneksel yer seçimi ve atama problemlerinden farklı olarak geri dönüşüm sistemleri genellikle itme sistemi yapısındadır. Başka deyişle malzeme akışını belirlemede talepten çok arz faktörü etkili olmaktadır. Diğer taraftan, geri dönüşüm sistemlerinde ürünlerin geri dönüştürülmesi ve yok edilmesi gibi tersine lojistik modellerine özgü durumlar için ve tersine akış ile ileri akış arasında oluşabilecek ilişkileri tanımlamak için geleneksel yer seçimi ve atama problemlerinden farklı bir takım kısıtlar bulunmaktadır.

Ürünlerin geri kazandırılmasına yönelik bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde; firmalar kanunlara uymak, bilinçli müşteri beklentilerine karşılık verebilmek ve kâr elde edebilmek gibi nedenlerle farklı alternatifler (yeniden imalat, geri dönüşüm, yeniden kullanım gibi) uygulamışlardır. Modellerin bir kısmında geri kazanılan ürünlerin satışından elde edilen gelirler de dikkate alınarak amaç fonksiyonu kâr maksimizasyonu şeklinde formüle edilmiştir. Geri kalan kısımda genellikle sabit işletme maliyetleri ile toplama, taşıma, geri kazanım, elde tutma gibi maliyelerin minimizasyonu amaçlanmıştır.

Geri dönüşüm tesislerinin minimum maliyetli toplama ve taşıma ağının tasarımına yönelik bir çalışma Figueriedo ve Mayerle (2007) tarafından ele alınmıştır. Wang vd. (1995), geri kazanılan kâğıtların taşınmasını ele alan bir model geliştirmişlerdir. Modelin çözülmesiyle taşıma maliyetlerini optimize etmek üzere hangi noktalara işleme tesislerinin açılması gerektiği kararı alınmıştır. Barros vd. (1998), kumun geri dönüşümünü konu edinen deterministik tesis yer seçimi problemini iki aşamalı bir ağ tasarlayarak modelleyerek ve modeli sezgisel bir algoritma kullanarak çözmüşlerdir. Lu vd. (2004), konteyner, şişe, palet gibi direk olarak yeniden kullanılabilir ürünler için genel bir ağ tasarımı ve tesis yer seçimi problemi için stratejik bir model geliştirmişlerdir. Flahaut vd. (2002) gerçekleştirdikleri çalışmada,

geri dönüşüm tesisi yerinin seçiminde taşıma maliyetlerinin yanı sıra tesisin yaratacağı çevre kirliliğini dikkate almışlar ve çevresel zarar maliyetlerini de içeren basit yer seçimi modelini kullanmışlardır.

Realff vd. (1999) halı geri dönüşümü için etkin bir tersine ağ tasarlamak üzere bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Halı geri dönüşümünü ele alan bir diğer çalışma Louwers vd. (1999) tarafından yapılmıştır. Louwers vd. (1999) diğer karma tamsayılı doğrusal olmayan modellerden farklı olarak halı malzemelerinin toplanması, yeniden işlenmesi ve yeniden dağıtımına yönelik bölgesel geri kazanım tesislerinin yerlerinin ve kapasitelerinin tespit edilmesi için amaç fonksiyonu doğrusal olmayan sürekli bir yer seçimi modeli geliştirmişlerdir ve modelin Avrupa ve ABD’de olmak üzere iki farklı uygulamasını yapmışlardır. Min ve Ko (2006), 3. parti servis sağlayıcılar için tamir tesislerinin yer seçimi ve atmasına çözüm üretmek amacıyla karma tamsayılı model geliştirmişler ve modeli genetik algoritma kullanarak örnek bir problem üzerinde çözmüşlerdir. Aras ve Asken (2008) geliştirdikleri karma tamsayılı doğrusal olmayan tesis yer seçimi ve atama modeli ile hem toplama merkezlerinin yerlerine, hem de geri dönen ürünler için müşterilere uygulanacak uygun teşvik miktarlarına yönelik kararları almaya çalışmışlardır. Kara vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise kullanım ömrünü tamamlamış aletler için sökülme tesisi yeri ağırlık merkezi yöntemi ile belirlenmiş ve daha sonra sistemin çeşitli senaryolar için simülasyonu yapılmıştır. Gomes vd. (2004, 2007) çalışmalarında SOM ve K-Ortalamlar algoritmalarından faydalanarak geri dönüşüm tesislerinin yerlerini belirlemeye çalışmışlardır.

Bu çalışmada, İstanbul’un Avrupa ve Asya yakalarında ortaya çıkan atık asfalt miktarları incelenerek etkin bir geri dönüşüm sisteminin kurulması için kapasite, maliyet, talep ve coğrafi konum kısıtları göz önünde bulundurularak en uygun tesis konumlarının belirlenmesi ve olası tesis yerine göre simülasyon yöntemi ile sistemin toplam maliyet, toplam geri dönüştürülen asfalt miktarı, geri dönüştürülen malzeme ile üretilen toplam asfalt miktarı gibi parametre değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Literatürde geri dönüşüm tesislerinin yerlerinin seçimi ve kapasitelerinin belirlenmesi için bulanık öbekleme analizinin kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Esnaf ve Küçükdeniz (2006), Esnaf vd. (2008) ve Esnaf ve Küçükdeniz (2009)’in yaptığı çalışmalarda melez model esas alınarak Gustafson-Kessel algoritması ağırlık merkezi yöntemi yerine konveks programlama ile birlikte kullanılarak farklı bir melez model oluşturulmuştur (Büyüksaatçi vd., 2008). Bu melez modelle uygun tesis yeri/yerleri seçimi yapılmış ve belirlenen bu yer/yerlere bağlı olarak sistem Rockwell Arena 11.0 akademik sürümü ile deterministik olarak simüle edilerek geri dönüşüm sürecinden amaçlanan kazanımın elde edilip edilmediği, maliyet ve üretim miktarları analizleriyle saptanmıştır.

2. YÖNTEM

Asfalt geri dönüşüm tesislerinin konumlarının belirlenmesi için öncelikle, toplanması gereken atık malzemelerin büyüklükleri ve bu malzemelerin sistemde ortaya çıktığı noktaların coğrafi konumları ele alınmıştır.

Asfaltın geri dönüşümünde iki tip atık malzemeden söz edilebilir. Bunlar yama ve kazı molozlarıdır. Yama molozu, asfaltın çevresel faktörlerle zamanla bozulan kısımlarının bloklar halinde çıkarılmasıyla oluşan atıktır. Kazı molozu ise yol üzerinde yapılan çalışmalar veya yeni asfaltlama çalışmaları neticesinde yoldan sökülen atık molozu ifade etmektedir.

Geri dönüşüm süreçlerinde, bu iki tip atık malzeme farklı şekillerde işlenmektedir. Yama molozu, mobil plantlerde doğrudan son kullanım için asfalta dönüştürülebilirken, kazı molozu kırılarak asfalt üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Bu işlemlerin gerçekleştiği bir geri dönüşüm sistemi oluşturmak için atılması gereken ilk adım toplanan atık malzemenin depolanacağı ve işleneceği tesislerin konumlarının belirlenmesidir.

2.1. Bulanık Öbeleme Analizi ve Gustafson-Kessel Algoritması

Bulanık öbeleme analizi klasik öbeleme yöntemleri gibi denetimsiz bir yöntemdir ve veri noktalarının 0 ile 1 arasındaki üyelik dereceleri ile öbeklere ayrılmasına izin verir. Bu veri noktalarının aynı zamanda birden fazla öbeğe ait olarak ifade edilmesi esnekliğini sağlar. Böylece bu üyelik dereceleri veri modelinin detaylarının çok daha iyi derecelendirilmesi demektir (Döring vd., 2006). Bulanık öbeleme yöntemlerinden en yaygın olanı Bezdek ve Dunn'ın (1975) c-ortalamlar adı verilen fonksiyonunun minimum kılınmasına dayanan Bulanık C-Ortalamlar (BCO) algoritmasıdır. BCO algoritması k-ortalamlar algoritmasının bulanık halidir. BCO algoritması sadece aynı şekil ve boyuta sahip öbekleri bulabilir. Bunun nedeni uzaklık normunun genellikle Öklid normu (dairesel öbekler) olması ve bu normun uyum sağlayabilir olmamasıdır. Gustafson-Kessel algoritması ise standart BCO algoritmasının genişletilmiş bir halidir (Kenesei vd., 2006). Bu algoritma bir veri setindeki farklı geometrik şekillerin bulunması için geliştirilmiştir ve uzaklık normu olarak Mahalanobis uzaklığını kullanır (Gustafson ve Kessel, 1979).

Gustafson-Kessel algoritması c-ortalamlar tipindeki amaç fonksiyonunun yinelemeli olarak optimum kılınmasına dayanır (Babuska vd., 2002):

$$J(X; U, V, \{A_i\}) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m D_{ikA_i}^2 \quad (1)$$

Burada $U = [\mu_{ik}] \in [0,1]^{c \times N}$ $X \in R^{n \times N}$ verisinin bulanık bölüm matrisi, $V = [v_1, v_2, \dots, v_c]$, $v_i \in R^n$ öbek prototiplerinin (merkezlerinin) vektörü ve $m \in [1, \infty)$ sonuç öbeklerinin bulanıklığını belirleyen parametredir. Uzaklık normu D_{ikA_i} bir veri setindeki farklı geometrik şekilleri dikkate alabilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D_{ikA}^2 = \|x_k - v_i\|_A^2 = (x_k - v_i)^T A(x_k - v_i) \quad (2)$$

Her bir öbeğin ölçüsü (1) numaralı formülde optimizasyon değişkenlerinden biri olarak kullanılan yerel bir A_i norm indirgeme matrisi için tanımlanır. Bu uzaklık normunun, verilerin yerel topolojik yapısına uyum sağlamasına izin verir. GK amaç fonksiyonunun minimum kılınması Gustafson Kessel'in (1979) önerdiği alternatif optimizasyon yöntemini kullanan en çok bilinen algoritma GK algoritması ile gerçekleştirilir (Babuska vd., 2002).

Bu çok popüler öbeleme algoritması veri örnekleri küçük veya öbek içindeki veriler doğrusal olarak birbirleriyle ilişkili olduğunda kovaryans matrisi singüler hale gelebilmektedir. Bu problemin basit ve etkili bir biçimde çözülebilmesi için Babuska vd. (2002) aşağıda detayları verilen GK algoritmasını geliştirmişlerdir:

Verilen X veri kümesi için, $c, m, \varepsilon, \rho_i$ standart parametreleri koşul sayısı eşiği β ve ağırlık parametresi γ seçilir. Bölüm matrisi başlangıç değerleri belirlenir ve tüm veri kümesi için kovaryans matrisi, F_0 , hesaplanır.

$l=1,2,\dots$ için tekrarla

1.Adım. Öbek merkezlerini hesapla:

$$V_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{i,k}^{(l-1)})^m}, 1 \leq i \leq c \quad (3)$$

2.Adım. Öbek kovaryans matrisini hesapla:

$$F_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m (x_k - v_i^{(l)})(x_k - v_i^{(l)})^T}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, 1 \leq i \leq c \quad (4)$$

Ölçeklenmiş özdeş matrisi ekle:

$$F_i = (1 - \gamma)F_i + \gamma(F_0)^{1/n} I \quad (5)$$

F_i 'den λ_{ij} ve Φ_{ij} özdeğerlerini çıkar,

$\lambda_{i,\max} = \max_j \lambda_{ij}$ bulunur ve

$\lambda_{i,\max} = \lambda_{ij} / \beta, \forall j$ için $\lambda_{i,\max} / \lambda_{ij} \geq \beta$ yapılır.

F_i aşağıdaki formülle yeniden oluşturulur:

$$F_i = [\Phi_{i,1} \dots \Phi_{i,n}] \text{diag}(\lambda_{i,1} \dots \lambda_{i,n}) [\Phi_{i,1} \dots \Phi_{i,n}]^{-1} \quad (6)$$

3.Adım. Uzaklıkları hesapla:

$$D_{ikA_i}^2 (x_k - v_i) = (x_k - v_i^{(l)})^T [(\rho_i \det(F_i))^{1/n} F_i^{-1}] (x_k - v_i^{(l)}) \quad (7)$$

4.Adım. Bölüm matrisini güncelle.

$1 \leq k \leq N$ için

Eğer $D_{ikA_i} > 0$ $1 \leq i \leq c$ için

$$\mu_{i,k}^{(l)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (D_{ikA_j}(x_k, v_i) / D_{ik}(x_k, v_i))^{2/(m-1)}}, \quad (8)$$

Aksi halde,

Eğer $D_{ikA_i} > 0$ ve $\mu_{i,k}^{(l)} \in [0,1]$

$$\mu_{i,k}^{(l)} = 0$$

Aksi halde, $\sum_{i=1}^K \mu_{i,k}^{(l)} = 1$

$\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \varepsilon$ gerçekleşene kadar devam et (Babuska vd., 2002).

Çalışmada birden fazla depo yeri seçimi durumu söz konusu olduğunda, asfalt firmasının elindeki verilerden kazı ve yama molozunun olduğu ilçelerin/beldelerin coğrafi X ve Y koordinatları X veri kümesi olarak kullanılmış ve MATLAB 6.5 Fuzzy Toolbox için Balasko vd. (2005) tarafından geliştirilmiş olan bir program (Fuzzy Clustering and Data Analysis Toolbox) yardımıyla yukarıda yer alan algoritma uygulanarak ilçeler/beldeler öbeklenmiştir. Öbekleme işleminin ardından Esnaf ve Küçükdeniz (2006), Esnaf vd. (2008) ve Esnaf ve Küçükdeniz (2009)'den farklı olarak her bir öbekteki optimum tesis yerinin seçimi için ağırlık merkezi yöntemi yerine aşağıda detayları anlatılan konveks programlama kullanılmıştır.

2.2. Konveks Programlama

Konveks programlama $f(x)$ 'in konkav (içbükey) ve bütün $g_i(x)$ sınırlayıcı koşullarının konveks fonksiyonlar olduğu bir özel doğrusal olmayan programlamadır (Can vd., 2006).

Bu çalışmada geri dönüşüm tesislerinin optimum yerlerinin seçimi için, talep noktalarının koordinatları ve talep büyüklüklerini girdi olarak kabul ederek ulaştırma maliyetlerini en aza indirgeyecek koordinatları hesaplayan Can vd. (2006) çalışmasında kullandığı bir konveks programlama modeli Bulanık Öbekleme sonuçlarına uygulanır. Modelin amaç fonksiyonu formül 9'da gösterilmiştir.

$$[Min]Z = \sum_{i=1}^n w_i \left[(m_x - x_i)^2 + (m_y - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$-m_x \leq 0, \quad -m_y \leq 0,$$

Formül 9' daki denklemde gösterilen parametreler;

- n : Talep noktası sayısı
 w : Talep büyüklüğü
 x,y : Talep noktalarının koordinatları
 m_x, m_y : En uygun noktanın koordinatları

olarak ifade edilir.

2.3. Simülasyon

Bu çalışmada kullanılan Arena, Systems Modeling Corporation firmasının 1993'ten bu yana geliştirdiği Windows ara yüzüne sahip popüler bir simülasyon programıdır. Başarılı bir simülasyon için gerekli olan animasyon, giren ve çıkan verinin analizi gibi fonksiyonları ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde içeren Arena programı, entegre edilebilirliği ve üzerinde çalışılan sistemleri görsel olarak canlandırma özelliği ile yeni nesil bir simülasyon programıdır. Bu çalışmada Arena 11 programının akademik sürümü kullanılmıştır.

3. UYGULAMA PROBLEMİ

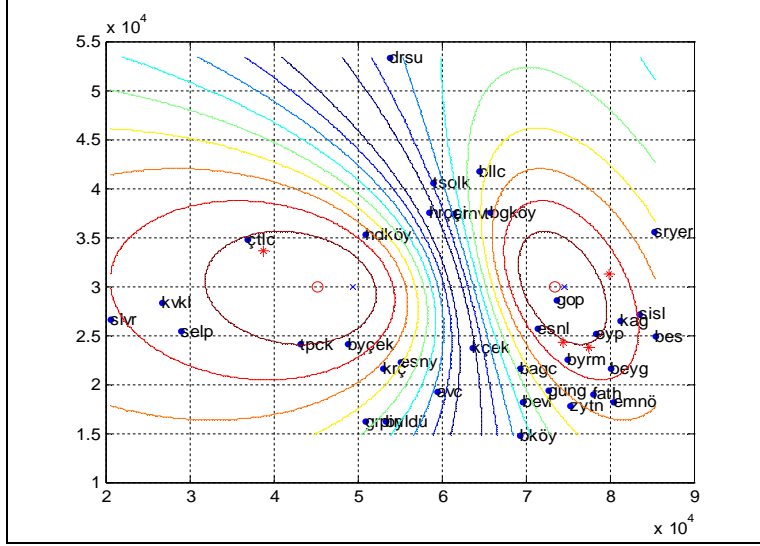
Bu çalışmada her tipte asfalt üretimi, serimi, yüzey kaplaması, yol projeleri, altyapı-üstyapı inşası, teknik danışmanlık, teknik eğitim, zemin etüdüleri ve laboratuvar hizmeti sağlayan bir asfalt firmasının, Avrupa ve Asya yakasında sökülen veya kazılmış asfaltı geri dönüştürmek amacıyla depolayacağı, en uygun kapasite dengelemeli ve en düşük maliyetli lokasyonların belirlenmesi ile bu sistemdeki malzeme lojistiğinin, optimizasyona dayalı yer seçimi yöntemleri ve simülasyon kullanılarak analizi yapılmıştır. Bu amaçla Avrupa'da iki, Asya'da bir deponun yer aldığı, geri dönüştürülecek asfaltın işleneceği iki tip senaryonun değerlendirilmesine karar verilmiştir.

Bunun için ilk olarak Avrupa yakasında Kazı ve/veya Yama molozu çıkaran toplam 39 adet ilçe/beldenin coğrafi konumu hesaplanmıştır (Tablo 1) ve belirlenen bu koordinatlar kullanılarak Gustafson-Kessel algoritması ile ilçeler iki öbeğe ayrılmıştır. Ardından öbekler içerisinde servis verecek olan depo yerlerinin tespiti için her bir öbek içerisinde ayrı ayrı Konveks Programlama metodu ile optimum depo yeri belirlenmiştir. Asya'da ise sadece bir depo yeri tespit edileceğinden öbeleme yapılmadan Kazı ve/veya Yama molozu çıkaran toplam 21 adet ilçe/belde konveks programlama metoduyla ele alınarak Asya için depo yeri saptanmıştır. Her iki yaka için depo yeri tespitleri Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.

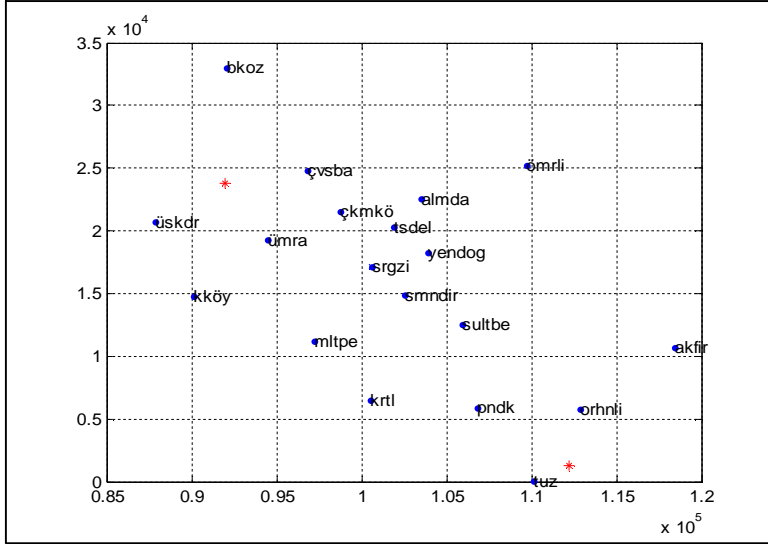
Tablo 1. Avrupa Yakasındaki İlçelerin/Beldelerin Coğrafi Koordinatları

İLÇELER	KOORDİNATLAR		İLÇELER	KOORDİNATLAR	
	X	Y		X	Y
ARNAVUTKÖY	61311	37489	GÜMÜŞYAKA	2010	25393
AVCILAR	59425	19301	GÜNGÖREN	72719	19399
BAĞCILAR	69353	21702	GÜRPINAR	50879	16311
BAHÇELİEVLER	69676	18161	HADIMKÖY	50832	35355
BAKIRKÖY	69205	14856	HARAÇCI	58451	37627
BAYRAMPAŞA	74990	22558	KAĞITHANE	81279	26484
BEŞİKTAŞ	85415	24968	KAVAKLI	26678	28396
BEYLİKDÜZÜ	53369	16218	KIRAÇ	53000	21610
BEYOĞLU	80017	21669	KUMBURGAZ	40220	20231
BOĞAZKÖY	65785	37535	K.ÇEKMECE	63628	23752
BOLLUCA	64447	41729	MİMAR SİNAN	44648	18479
B.ÇEKMECE	48753	24148	SARIYER	85197	35632
ÇATALCA	36882	34755	SELİMPAŞA	29030	25401
DURUSU	53715	53406	SİLİVRİ	20636	26599
EMİNÖNÜ	80478	18277	ŞİŞLİ	83431	27185
ESENLER	71423	25720	TAŞOLUK	58959	40531
ESENYURT	55064	22292	TEPECİK	43218	24194
EYÜP	78228	25211	YAKUPLU	55721	16172
FATİH	77942	18983	ZEYTİNBURNU	75229	17894
G.OSMANPAŞA	73635	28639			

Sonraki aşamada belirlenen depo yerlerine göre hem kazı, hem de yama molozu geri dönüşüm süreci için modellerin Rockwell ARENA 11 programı akademik sürümü ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon çalışmalarında öncelikle kazı ve yama molozunun geri dönüşüm süreçleri incelenmiş ve simülasyon modelleri bu doğrultuda oluşturulmuştur. Şekil 3 ve 4'te kazı ve yama molozu geri dönüşüm süreçleri, Şekil 5 ve 6'da bu süreçlere göre oluşturulan simülasyon modellerinin akış diyagramları, Şekil 7 ve 8'de ise bu modellerin ARENA ekranları görülmektedir.



Şekil 1. Avrupa Yakasında Depo Yeri Tespiti

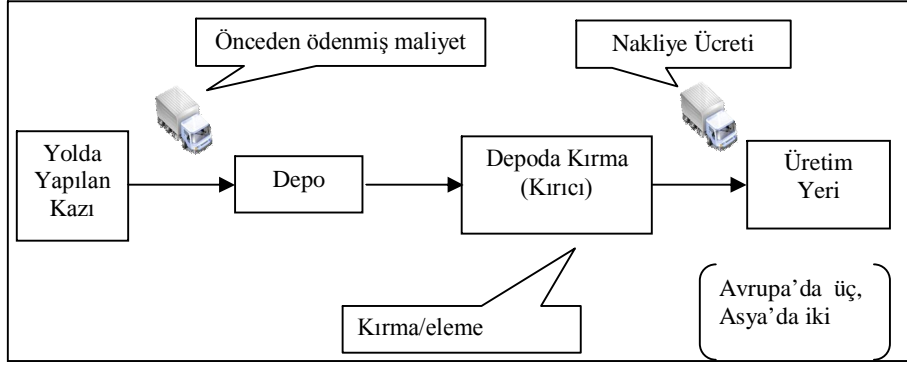


Şekil 2. Asya Yakasında Depo Yeri Tespiti

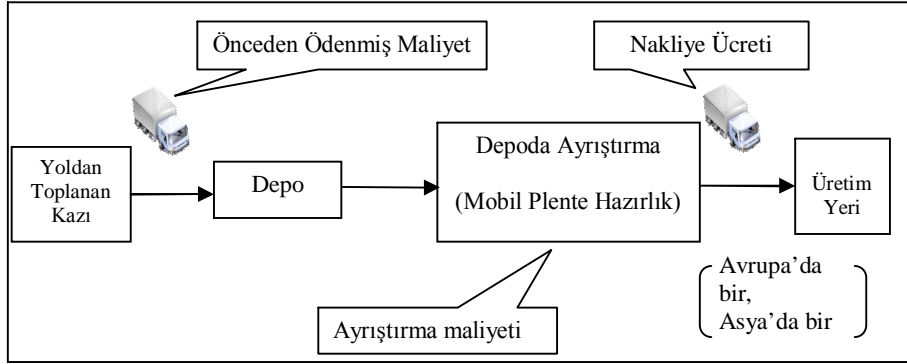
*: Mevcut Üretim Plantleri

o: GK Öbeikleme analizi neticesinde hesaplanan öbek merkezleri

x: Konveks programlama ile hesaplanan depo yerleri



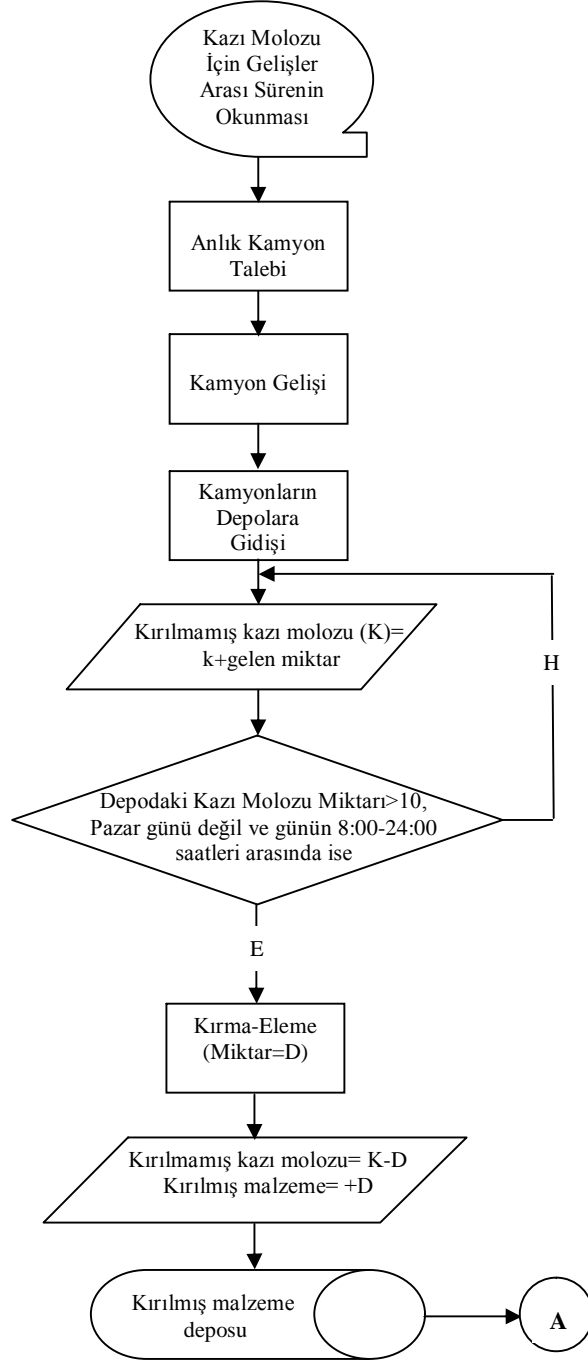
Şekil 3. Kazı Molozu Geri Dönüşüm Süreci



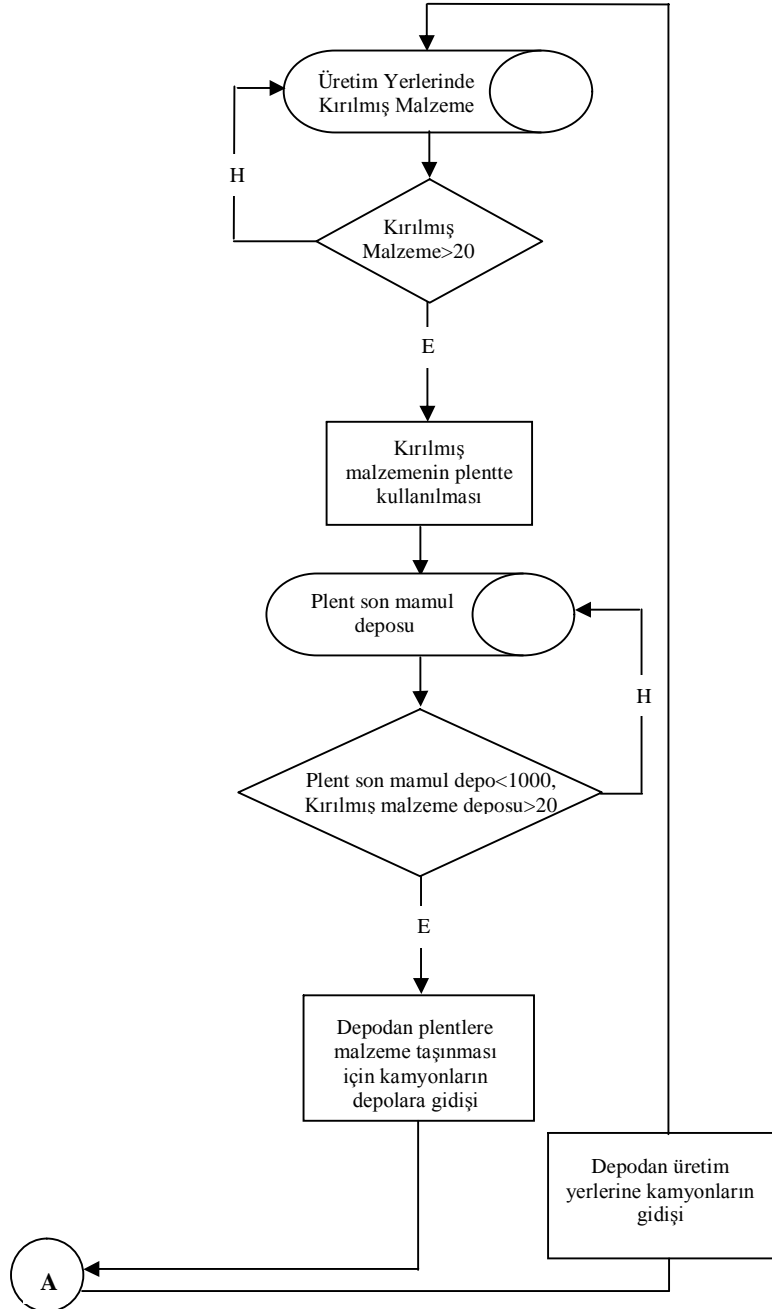
Şekil 4. Yama Molozu Geri Dönüşüm Süreci

Simülasyon modeli, geçmiş dönemlerde ilçelerde/beldelerde gerçekleşen kazı ve yama işlerinin gün bazında ortaya çıkan miktarları kullanılarak, sürekli olarak atık malzeme toplama talebi oluşturulması ile başlar. Her iki atık malzeme için de ayrı oluşturulan modellerde, önceden tanımlanmış sayıda kamyon, belirlenen toplama alanları ile atık malzemenin ortaya çıktığı konumlar arasında taşıma yaparak geri dönüşüm tesislerinde stoğun oluşmasını sağlar. Bu noktada, kazı atıkları kendisi için oluşturulan modelde ele alınırken, yama atıkları ile ilgili simülasyon modeli yama atık deposu 2500 ton'un üzerine çıktığında gerçekleşen toplama işlemini kazı modeline sevkeder.

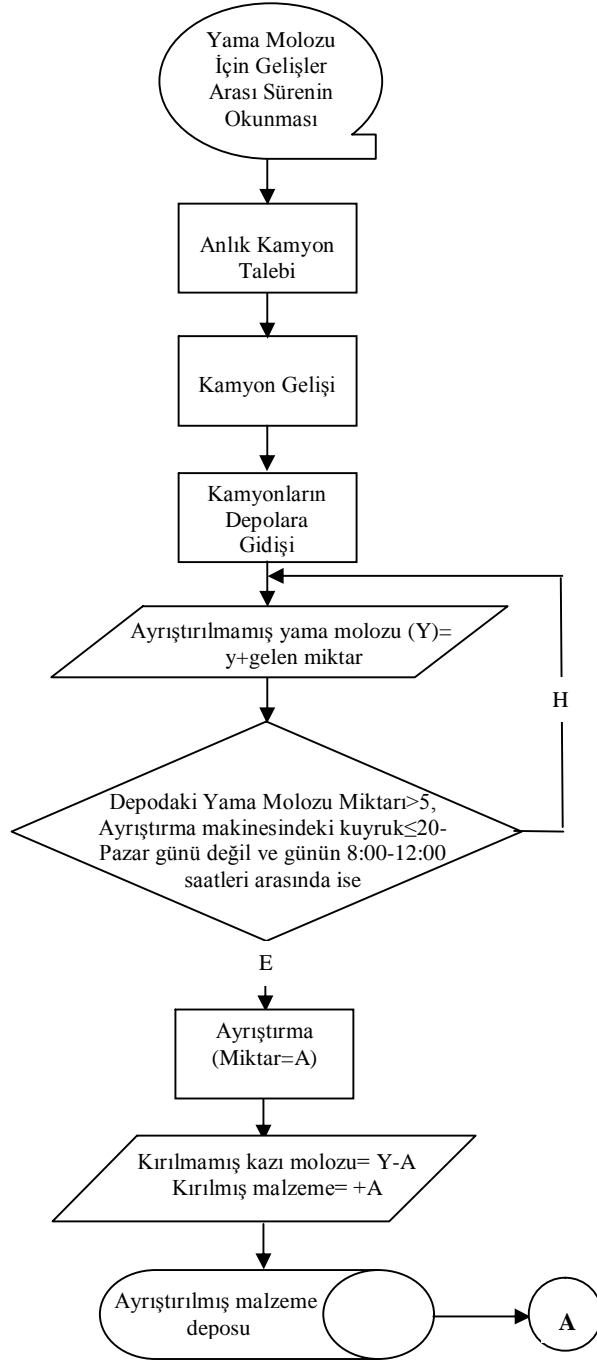
Yama ve kazı atıkları, belirlenen geri dönüşüm tesislerinde ilgili işlemlere tabi tutularak sırasıyla son kullanım için asfalt ya da asfalt üretimi için hammadde olarak sistemden çıkarlar. Sistemden çıkan asfalt hammaddesi şeklindeki geri dönüştürülmüş kazı atıkları, gerçek asfalt talep verisi ile tanımlanmış asfalt üretim



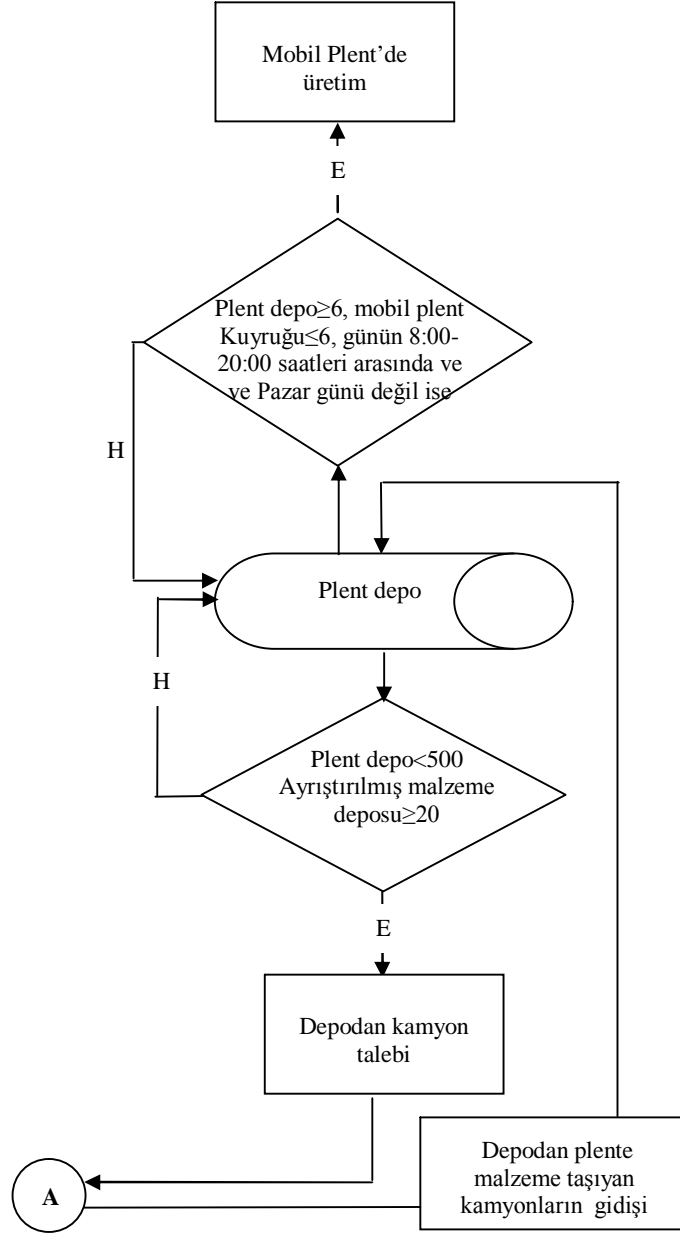
Şekil 5a. Kazı İşlemleri İçin Simülasyon Akış Diyagramı



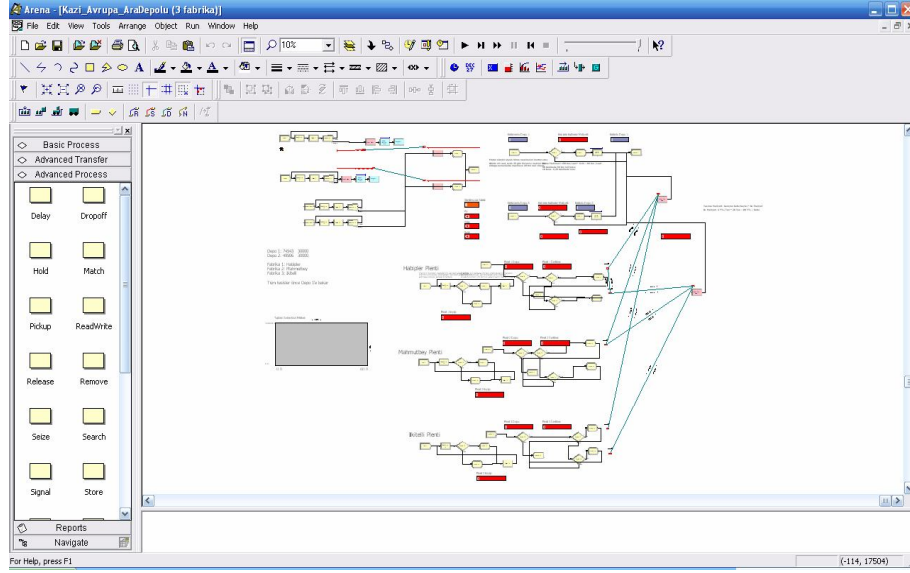
Şekil 5b (devam). Kazı İşlemleri İçin Simülasyon Akış Diyagramı



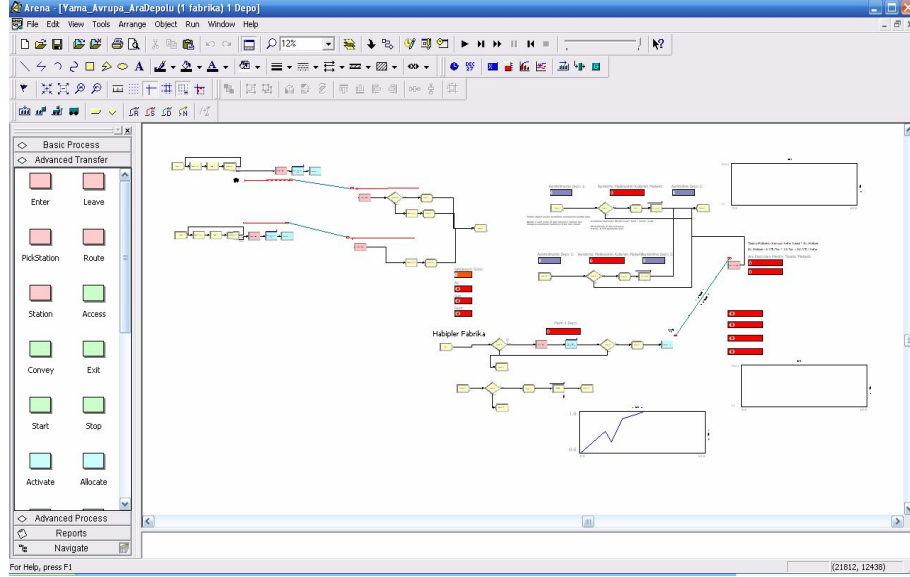
Şekil 6a. Yama İşlemleri İçin Simülasyon Akış Diyagramı



Şekil 6b (devam). Yama İşlemleri İçin Simülasyon Akış Diyagramı



Şekil 7. Avrupa Yakası İki Ara Depolu Kazı Modeli Ekran Görüntüsü



Şekil 8. Avrupa Yakası İki Ara Depolu Yama Modeli Ekran Görüntüsü

plentlerinde kullanılmayı beklemek üzere geri dönüşüm tesisinde depolanır. Asfalt üretim plantinin stoğu belirli bir seviyenin altına indiğinde, geri dönüşüm tesisinden hammadde talebi oluşur ve plant ile geri dönüşüm tesisi arasında taşıma yapan kamyonlar geri dönüştürülmüş hammaddenin plantlere ulaştırılması görevini gerçekleştirirler.

Modellerin oluşturulması sırasında dikkate alınan diğer temel maliyet parametreleri ise aşağıdaki gibidir ve ticari gizlilik gereği aslına bağlı kalınarak değiştirilmiştir:

- Ayırıştırma maliyet:2,5 YTL/ton
- Agregalı maliyeti:15 YTL/ton
- Avrupa'da şehir içi ulaştırma maliyeti: 7,5 YTL/ton
- Asya'da şehir içi ulaştırma maliyeti: 7,5 YTL/ton
- Yama malzemesinin bagela için hazırlık hızı: 75 ton/saat
- Kazılmış malzemenin kırma maliyeti: 4,5 YTL/ton (Döküm sahasına giden artık malzemelerin maliyeti 4,5 YTL'nin içindedir)
- Mobil plant işletim maliyeti: 30 YTL/ton
- Avrupa yakasında birden fazla ara depo olacağından, bu depolardan tesislere yapılan çıkışlar, tesislerin üretim hızları oranındadır.

Tüm veriler doğrultusunda Rockwell ARENA 11 programı akademik sürümü ile Avrupa Yakası'nda iki depolu, Asya Yakası'nda bir depolu iki ana model geliştirilmiş ve ardından simülasyon modellerinin maliyetleri hesaplanarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

4. SONUÇ

Asfalt geri dönüşüm tesislerinin yer seçimine ve simüle edilmesine ilişkin yapılan çalışmalar sonucunda, oluşturulan modellere ait maliyet analizi yapılmış ve Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen depo koordinatları ile Tablo 4'te yer alan birim maliyetler elde edilmiştir.

Tablo 2. Senaryo 1 İçin Avrupa Yakasında Tespit Edilen Ara Depoların Koordinatları

Depo No	X	Y
Ara Depo 1	74.544	30.000
Ara Depo 2	49.507	30.000

Tablo 3. Senaryo 2 İçin Asya Yakasında Tespit Edilen Ara Deponun Koordinatları

Depo No	X	Y
Ara Depo 1	100.604	17.095

Tablo 4. Oluşturulan Senaryolara Ait Modellerin Maliyetleri*

	Avrupa Yakası İki Ara Depolu Model	Asya Yakası Bir Ara Depolu Model
Toplam Kazı Maliyeti	3.308.310 YTL	2.369.070 YTL
Toplam Yama Maliyeti	3.036.690 YTL	2.825.550 YTL
Toplam Maliyet	6.345.000 YTL	5.194.620 YTL
Birim Kazı Maliyeti	9 YTL/Ton	8,985 YTL/Ton
Birim Yama Maliyeti	51,75 YTL/Ton	51,75 YTL/Ton

* Aslına bağlı kalınarak gerçek veriler gizlenmiştir.

Bulanık öbeleme yöntemlerinden Gustafson-Kessel algoritmasının konveks programlama ile birlikte geri dönüşüm tesislerinin yer seçiminde ilk kez kullanıldığı bu öncü melez modelin sonuçları incelendiğinde asfalt üretimi için doğrudan hammadde olarak kullanılabilen agreganın yeniden elde edilmesini sağlayan kazı işleminin geri dönüşüm maliyetinin, aynı miktarda agreganın satın alınması ile katlanılacak maliyetten daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca yama işleminin geri dönüştürülmesi ile elde edilen son mamul asfalt maliyeti de üretilen asfalt maliyetinden daha düşüktür. Bu iki veriden yola çıkılarak geri dönüşüm sisteminin kurulmasının firmanın maliyetlerinde azalmaya neden olacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

5. KAYNAKÇA

Aras, N. ve Asken, D., (2008), "Locating Collection Centers for Distance-and Incentive-dependent Returns", International Journal of Production Economics, 111, 316-333.

Babuska R., Van Der Veen P.J. ve Kaymak U., (2002), "Improved Covariance Estimation for Gustafson Kessel Clustering", In Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1081-1085, Honolulu, Hawaii.

Balasko B., Abonyi J. ve Feil B., (2005), "Fuzzy Clustering and Data Analysis Toolbox" Available :<http://www.fmt.vein.hu/softcomp/fclusttoolbox>.

Barros A.I., Dekker R. ve Scholten V.A., (1998), “A Two Level Network for Recycling Sand: A Case Study”, *European Journal of Operational Research*,110, 199–214.

Bezdek, J.C. ve Dunn, J.C., (1975), “Optimal Fuzzy Partitions: A Heuristic for Estimating the Parameters in a Mixture of Normal Distributions”, *IEEE Transactions on Computers*, 835-838

Büyüksaatçı, S., Küçükdeniz, T., Esnaf, Ş., (2008), “Asfalt Geri Dönüşüm Tesislerinin Optimum Yer ve Kapasitelerinin Belirlenmesi için Bulanık Öbeleme Esaslı Simülasyon Uygulaması”, VIII. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,237-247,24-24 Ekim, İstanbul.

Can, T., Çilingirtürk, M. ve Koçak, H., (2006), “Dışbükey Programlama ile Lojistik Merkezi Tespiti”, *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 54, 17-25

Döring C., Lesot M. ve Kruse R. (2006), “Data Analysis with Fuzzy Clustering Methods”, *Computational Statistics and Data Analysis*, 51, 192-214.

Esnaf, Ş. ve Küçükdeniz, T., (2006), “A Fuzzy Clustering-Based Hybrid Method for a Multi-Facility Location Problem, In Proceedings of International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems, May 29-31,Sakarya, 304-317.

Esnaf, Ş. ve Küçükdeniz, T., (2009), “A Fuzzy Clustering-Based Hybrid Method for a Multi-Facility Location Problem, *Journal of Intelligent Manufacturing*, published online 24 January 2009. DOI:10.1007/s10845-008-0233-y. Available:<http://www.springerlink.com/content/646p270204338411/>

Esnaf, Ş., Küçükdeniz, T. ve Büyüksaatçı, S., (2008), “Fuzzy C-Means and Center of Gravity Combined Model for a Capacitated Planar Multiple Facility Location Problem”, *International Conference on Multivariate Statistical Modelling and High Dimensional Data Mining, Kayseri*

Figueiredo, J. N. ve Mayerle, S.F., (2007), “ Designing Minimum-cost Recycling Collection Networks with Required Throughput”, *Transportation Research Part E*

Flahaut, B., Laurent, M.A. ve Thomas, I., (2002), “Locating a Community Recycling Center within a Residential Area: A Belgian Case Study”, *The Professional Geographer*, 54, 1.

Gomes, H., Lobo, V. ve Ribeiro, A. B., (2004), “Application of Clustering Methods for Optimizing the Location of Treated Wood Remediation Units”, *I Jornadas de Classificação e Análise de Dados*.

Gomes, H., Ribeiro, A. B. ve Lobo, V., (2007), "Locating Model for CCA-treated Wood Waste Remediation Units using GIS and Clustering Methods", *Environmental Modelling and Software*, 22, 1788-1795.

Gustafson, D.E. ve Kessel, W.C., (1979), "Fuzzy Clustering with Fuzzy Covariance Matrix", In *Proceedings of the IEEE CDC*, San Diego, 761-766.

Kara, S., Rugrungruang, F. ve Kaebernick, H., (2007), "Simulation Modelling of Reverse Logistics Networks", *International Journal of Production Economics*, 106, 61-69.

Kenesei T., Balasko B. ve Abony J., (2006), "A MATLAB Toolbox and its Web Based Variant for Fuzzy Cluster Analysis", In *Proceedings of the 7th International Symposium on Hungarian Researchers on Computational Intelligence*, November 24-25, Budapest, Hungary.

Louwers, D., Kip, B.J., Peters, E., Souren, F. ve Flapper, S.D.P., (1999), "A Facility Location Allocation Model for Reusing Carpet Material", *Computers and Industrial Engineering*, 36, 4, 855-869.

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*, 151-166, Kluwer Academic Publishers.

Min H., Ko, H.J. ve Ko, C.S., (2006), "A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multiechelon Reverse Logistics Network for Product Returns", *Omega*, 34, 56-69.

Realff, M.J., Ammons, J.C. ve Newton, D., (1999), "Carpet Recycling: Determining the Reverse Production System Design", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 38:3, 547-567.

Wang, C.H., Even, J.C. ve Adams, S.K., (1995), "A Mixed Integer Linear Model for Optimal Processing and Transport of Secondary Materials", *Resources, Conservation and Recycling*, 15, 65-78.