



Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile atık bertaraf firması seçimi

Selection of disposal contractor by multi criteria decision making methods

Çenker KORKMAZER¹, Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ^{2*}, Doğan EROL²

¹1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı, Eskişehir, Türkiye.
ckor1000@gmail.com

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
eaktar@ogu.edu.tr, derol@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.02.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 21.07.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.98704

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Tehlikeli atıklar, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle uygunsuz depolanması, bertaraf edilmesi ve taşınması halinde, insanı ve çevreyi tehdit eden maddelerdir. Çeşitli faaliyetleri sonucu bu maddeleri atık olarak üreten işletmelerin çoğunlukla kendilerine ait güvenli bertaraf sistemleri bulunmamaktadır. Ayrıca işletmeler, yüklenici firmaları seçerken çoğu kez yeterince dikkatli davranmamaktadır. Yüklenici firma seçimine etki eden ve kendi aralarında çelişebilen birçok nitel ve nicel ölçüt bulunmaktadır. Yapılan çalışmanın amacı, tehlikeli atık üreten bir işletmeye bu atıkları ekonomik ve zararsız olarak uzaklaştırabilen uygun yükleniciyi seçmesinde yardımcı olabilmektir. Çalışmada Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden birisi olan ve literatürde yaygın olarak kullanılan Analitik Serim Süreci (ASS) ile yüklenici firmaların ağırlıkları hesaplanmıştır. İzleyen aşamada ise kurulan bir matematiksel model desteğinde; hangi tehlikeli atık türünün hangi yükleniciye verilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bahsedilen bütünlük yaklaşım bu konuda çalışacak benzer işletmelere rehberlik edecektir.

Anahtar kelimeler: Tehlikeli atık yönetimi, Yüklenici seçimi, Çok ölçütlü karar verme, Analitik serim süreci

Abstract

Hazardous waste is substance that threaten people and environment in case of improper storage, disposal and transport due to its concentration, physical and chemical properties. Companies producing hazardous waste as a result of several activities mostly do not have any own disposal facilities. In addition, they do not pay attention enough to determine the right contractor as a disposal facility. On the other hand, there are various qualitative and quantitative criteria affecting the selection of the contractor and conflicting with each other. The aim of the performed study is to assist one of these companies producing hazardous waste in the selection of the best contractor that eliminates hazardous waste economic and harmless way. In the study, contractor weights in percentage is calculated by using Analytic Network Process (ANP) as one of the multi-criteria decision making (MCDM) methods and widely used in the literature which considers both qualitative and quantitative criteria. In the next step, by the help of the mathematical model, contractors that will be given which type of hazardous waste are identified. This integrated approach can be used as a guide for similar firms.

Keywords: Hazardous waste management, Contractor selection, Multi-criteria decision making, Analytic network process

1 Giriş

Üretim hızla artması ve endüstri devrimi ile birlikte atıklar insan sağlığı ve çevreyi ciddi olarak tehdit eder hale gelmiştir. Günümüzde büyüyen ve çeşitlenen ekonomiye paralel olarak yükselen refah seviyesi de, insanları daha fazla tüketime zorlamaktadır. Üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı olan maddeler atık olarak isimlendirilir.

Atık yönetimi, son yılların en popüler konularından biri olmasına rağmen, ülkemizde gerek konunun yeni fark edilmesi, gerekse bugüne değin atık yönetimi kavramının sadece yerel yönetimlerin bir sorunuymuş gibi algılanması sebebiyle ortaya konmuş çalışmaların sayıca az olduğu görülmüştür. Battal [1] Türkiye'deki mevcut atık yönetiminin durumunu, dünyadan ve Türkiye'den örnekler ışığında incelemiştir. Avrupa Birliği adaylığı uyum sürecinde, atık konusunda yapılan proje ve çalışmalara destek vermek amacıyla mevcut durumdaki ve gelecekteki planların kuvvetli ve zayıf noktalarının altını çizmiştir.

Tehlikeli atık; türü, doğası ve miktarı gereği insan sağlığı, hava veya su kalitesi üzerinde risk teşkil eden, patlayıcı veya yanıcı özellikli, bulaşıcı hastalık yaratan patojenlerin gelişmesine elverişli atıklardır. Tehlikeli atıklar, katı atıklarla birlikte

bertaraf edilemedikleri gibi toksik, kanserojen maddeler ihtiva ettiklerinden mutasyona sebep olabilen zararlı atıklardır. Diğer taraftan tehlikeli atıklar ağır metaller ve radyoaktif maddeler içerebilirler. Bunların diğer atık türlerinden farklı ve özel işlemlere tabi tutulmaları zorunludur. Tehlikeli atıkların çevre ve insan sağlığına etkisiz hale getirilebilmesi için bir takım özel işlemlere tabii tutulması gerekmektedir. Ülkemizde bu işlemler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından lisanslandırılmış tesislerde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca atıkların bu tesislere taşınması sırasında kullanılan araçlar bir takım özel eklentilerle donatılmış ve TSE ve Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından lisanslandırılmıştır. Lisanslı firmalar dışında tehlikeli atıkların taşınması ve işlenmesi yasaktır [2].

Tehlikeli atık yönetiminde atık bertaraf firması seçimi niteliksel ve niceliksel birçok faktörü içeren bir problemdir. Dolayısı ile tehlikeli atıkları bertaraf edecek olan firmanın belirlenmesi Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) sürecini gerektirir.

ÇÖKV, genellikle sonlu sayıda seçeneğe dönüşen bir kümeden en az iki ölçüte göre, sonlu sayıda seçeneğin seçilmesi, sıralanması, sınıflandırılması, önceliklendirilmesi veya elenmesidir. Değerlendirme, nitel veya nicel değerler alabilen, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan çok sayıda ölçüt ile yapılır. Birbirleriyle çelişen ölçütler, sınırlı ya da sınırsız sayıdaki seçenek seti, ölçüt ağırlıkları gibi birçok unsurun bulunduğu bir sistemde ÇÖKV problemlerinin çözümü de zorlaşmaktadır [3]. Bu problemleri çözebilmek için çeşitli

araştırmacılar tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir. Her bir yöntemin kendine özgü karakteristik özelliği, çözüm şekli, üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Problem tanımlandıktan sonra, problemin yapısı ve ulaşılmak istenen amaç dikkate alınarak en iyi yöntem belirlenmelidir.

Atık yönetimi konusunda ÇÖKV yöntemlerini kullanan çalışmalara ilişkin güncel literatür çalışmaları mevcuttur. Soltani ve diğ. [4] tarafından kentsel katı atıkların yönetimi konusunda ÇÖKV yöntemlerini kullanan çalışmalara ilişkin güncel bir literatür taraması sunulmuştur. İlgili taramada 68 yayın amaçlarına ve kullandıkları yöntemlere göre gruplanmıştır. Genellikle yazarların, atık tesislerinin yer seçimi ve en uygun atık yönetim stratejisinin belirlenmesi konusunda çalıştıkları ve yaygın olarak sıralama yerine önceliklendirme yapan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Analitik Serim Süreci (ASS) gibi yöntemleri tercih ettikleri vurgulanmıştır. Aynı çalışmada, AHS/ASS, TOPSIS, ELECTRE ve PROMETHEE gibi birçok ÇÖKV yönteminin avantaj ve dezavantajlarından da bahsedilmiştir.

Yılmaz ve diğ. [5] tehlikeli madde taşımacılığı konusunda 2005 sonrası yapılan 88 çalışmayı risk, rotalama, rotalama ve çizelgeleme, acil yardım, şebeke tasarımı ve kaza analizi başlıkları altında sınıflandırmıştır.

Atık bertaraf firmaları için uygun yer seçimini dikkate alan çalışmalardan bazıları izleyen paragrafta özetlenmiştir:

Beltran ve diğ. [6] İspanya'nın Valencia şehrinde, kentsel katı atık tesisi için en iyi yeri ASS yöntemi ile belirlemiştir. Çalışmalarında 6 aday yer ve 21 ölçütü gruplandırarak kullanmışlardır. Eskandari ve diğ. [7], yapmış oldukları çalışmalarında, İran'ın Marvdasht bölgesi için, en iyi katı atık bertaraf yeri seçimini çevresel, ekonomik ve sosyokültürel bakış açılarıyla gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, Entegre ÇÖKV yaklaşımını kullanmışlardır.

Atık yönetim stratejilerinin değerlendirildiği çalışmalar ise aşağıda özetlenmiştir:

Kulaç [8] Ekim 2005-Haziran 2006 döneminde, Eskişehir Tepebaşı Belediyesi içinde yer alan 32 mahalledeki katı atıkların geri kazanım programının oluşturulmasıyla ilgili 6 tane geri kazanım senaryosu oluşturmuş, en iyi senaryoyu ASS yöntemi ile belirlemiştir.

Ohman ve diğ. [9] katı atık bertaraf etme seçeneklerini değerlendirirken kullandıkları temel ölçütleri finans, çevre, sağlık ve güvenlik, toplum algısı ve yaşama olmak üzere 5 farklı grupta toplamışlardır. Seçeneklerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntem ise AHS'dir. Balaban ve Baki [10] Trabzon ilinde katı atık bertaraf yöntemi seçimi için ASS yöntemini kullanmışlardır. Bertaraf yöntemi seçimi için 5 ana ölçüt, 16 alt ölçüt ve 3 seçenek kullanmışlardır. Karmperis ve diğ. [11], çalışmalarında, atık yönetimi proje seçeneklerini, Risk Tabanlı Çok Ölçütlü Değerlendirme Yaklaşımı ile değerlendirmiştir. Ekmeçioğlu ve diğ. [12], çalışmalarında, kentsel katı atık için bertaraf yöntemi ve yer seçimini, ÇÖKV tekniklerinden Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHS'yi kullanarak belirlemişlerdir. Bertaraf yöntemi seçimi için 10 ölçüt ve 4 seçenek, yer seçimi için ise 8 ölçüt ve 4 seçenek kullanmışlardır.

Hanan ve diğ. [13] İngiltere'nin Isle of Wight adasındaki atık kâğıt yönetim stratejilerini değerlendirmişlerdir. Bu konuda bir panel düzenlenmiş, 7 adet geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf seçeneği, 7 tane çevresel, ekonomik ve sosyal ölçüt ışığında değerlendirilmiştir. Çalışmada gazifikasyon ve geri kazanımın en yüksek puanları aldığı görülmüştür.

Tehlikeli atıkları taşıyan ve bertaraf eden firmaların seçimi ve modellenmesi konusundaki çalışmalar da son yıllarda giderek popüler hale gelmiştir [14].

Kabir [14], tehlikeli endüstriyel atıkları taşıyan firma seçiminde bulanık ortamda kullanılabilen VIKOR yöntemini tercih etmiştir. Hsu ve diğ. [15] medikal atıkları bertaraf eden yüklenici firma seçiminde Delphi yöntemi ile AHP'yi kullanmıştır. Khan ve Faisal [16] ANP yaklaşımıyla en uygun kentsel katı atık bertaraf yöntemini belirlemiştir. Gumus [17], bulanık AHP ve TOPSIS yaklaşımıyla tehlikeli atık taşıyan firmaları değerlendirmiştir. Faisal ve diğ. [18] ve Ho [19] bulaşıcı hastalığa sebep olan atıkları bertaraf edecek yüklenici firma seçiminde etkili faktörleri önceliklendirmek için bulanık AHP'yi kullanmıştır. Dursun ve diğ. [20] tıbbi atıkların arıtma ve işleme seçeneklerini bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımları ile değerlendirmiştir. Çalışmada, "yakma, depolama, buhar sterilizasyonu ve mikrodalga" alternatif yöntemler olarak belirlenmiştir.

Çapraz ve diğ. [21] karma tamsayı doğrusal model yardımıyla geri dönüşüm yöntemi, atık tipi ve miktarını da dikkate alarak elektrik elektronik ekipman atıklarının geri dönüşümünü yapan firmalar için ihale bedelini belirlemişlerdir.

Önerilen çalışmada daha önce örneğine rastlanmayan bir yaklaşım olarak, atık üreticisinin mevcut yasal hükümler çerçevesinde atık bertaraf firmasını ASS ile seçmesini sağlayan ve kurulan 0-1 tam sayılı matematiksel model ile çeşitli kısıtlar altında, bertaraf firmalarının hangilerine hangi tehlikeli atık türünün verileceğini belirleyen bütünlük bir model önerilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, tehlikeli atık yönetimi ile ilgili genel bilgiler verilerek Türkiye'deki mevcut uygulamadan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ASS'nin uygulama adımlarından ve diğer ÇÖKV yöntemlerine kıyasla uygulamadaki üstünlüklerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise endüstriyel bir kamu kuruluşunun mevcut tehlikeli atık yönetimi incelenerek sistemdeki kimi eksiklikler tespit edilmiştir. Kuruluşun en çok ürettiği üç atık türü için en uygun atık bertaraf firmasını seçebilmesine yardımcı olmak amacıyla serim yapısı oluşturulmuş; elde edilen sonuçlara göre aday bertaraf firmaları performanslarına göre sıralanmıştır. Son olarak, atık üreticisi işyerinin kısıtları dikkate alınarak hangi atık türünün hangi atık bertaraf firmasına verilmesi gerektiğine ise 0-1 tam sayılı karar modeli ile yanıt aranmıştır.

2 Tehlikeli atık yönetimi

Tehlikeli atık yönetiminin temel amacı atıkların güvenli, verimli ve en uygun maliyeti oluşturacak şekilde toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesidir. Alan, enerji ve finans gibi kaynaklar konusundaki kısıtlar ve artan baskılar, tehlikeli atık yönetiminin kapsamlı incelenmesini gerektirmiştir. Bölgesel tehlikeli atık yönetim sistemi ise, birbiriyle ilişkili pek çok bileşenden oluşan daha karmaşık bir sistemdir. Bu yüzden bölgesel tehlikeli atık yönetim sisteminin tüm bileşenlerinin en uygun atık yönetimi kapsamında incelenmesi esastır [22].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca hazırlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı ile Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Çevre Mevzuatı kapsamında yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği, Avrupa Birliği (AB) mevzuatlarına uyum çerçevesinde 19.11.2008 tarihli ve 2008/98/AT sayılı atık hakkındaki ve Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi,

3/5/2000 tarihli ve 2000/532/AT sayılı atık listesi oluşturulması hakkındaki komisyon kararı dikkate alınarak hazırlanmıştır [23]. Genel esasları itibarıyla Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin amacı;

1. Atıkların oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması,
2. Atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanması,
3. Çevre ve insan sağlığı açısından belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip, bu yönetmeliğin kapsamındaki ürünlerin üretimi ile piyasa gözetimi ve denetimi.

ile ilgili genel usul ve esasların belirlenmesidir [24].

Atık yönetimde ideal durum atık oluşumunun mümkün olduğunca önlenmesi veya oluşan atıkların geri kazanımıdır.

Atık önleme, atıkların hem miktarının, hem de tehlikelilik düzeyinin azaltılmasını içerir. Atıkların oluşumunun önlenmesi, hem enerji kaynaklarının hem de doğal kaynakların israfının önüne geçilmesinde en etkili yol olup, çevrenin korunmasında ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımında temel bir faktördür. Bu nedenle atık önleme, başta Çevre Kanunu olmak üzere atık yönetimine ilişkin tüm düzenlemelerde birincil öncelik olarak belirlenmiştir.

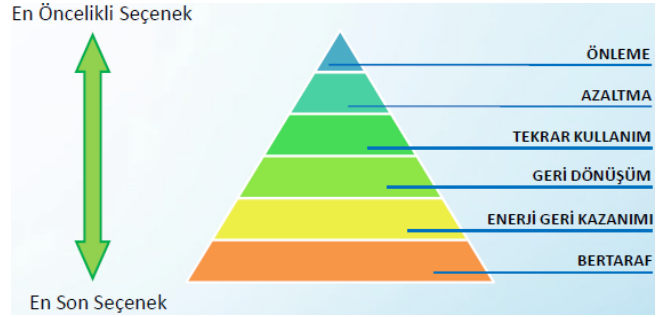
Üretilen atık miktarı, üretim süreçleri ve üretimde kullanılan teknolojinin kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Atık azaltma, çoğu kez üretim süreçlerinde küçük maliyetlerle gerçekleştirilen değişikliklerle sağlanabilir. Örneğin çözücü esaslı maddeler yerine üretim sürecinde su esaslı ürünlerin kullanılması, üretilen atıkların hem miktarının, hem de tehlikelilik düzeyinin azalması anlamına gelmektedir. İmalat sürecinde ürün ve ambalajın yeniden projelendirilmesinden, sanayide daha az atık üreten teknolojilerin seçimine kadar çok sayıda yöntem ve teknikle atık azaltma hedefine ulaşılabilir.

Tekrar Kullanım, atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekil ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasıdır. Geri Dönüşüm ise atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak orijinal amaçlı ya da organik dönüşüm dâhil diğer amaçlar için yeniden kullanılmasıdır. Atıkların geri dönüşümü, doğal kaynaklarda olduğu kadar enerji kaynaklarında da önemli ölçüde tasarruf sağlar. Bilimsel araştırma sonuçlarına göre örneğin metal ve plastik ambalajların geri kazanılması için harcanan enerji, bunların ilk üretimlerinde kullanılan enerjinin sadece %5'i kadardır. Yani geri dönüşüm yoluyla enerji kullanımında %95 oranında bir tasarruf söz konusudur.

Enerji Geri Kazanımı atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ya da biyokimyasal yöntemlerle enerjiye çevrilmesidir. Organik atıkların anaerobik koşullarda parçalanarak biyogaz üretimi ve biyogazın enerjiye çevrilmesi geri kazanıma örnektir. Atıklardan enerji geri kazanım yoluyla fayda sağlamak, asıl kaynağa olan talebin ve bertaraf edilecek atık miktarının azaltılmasında çok önemli bir faktördür [2].

Hiyerarşide uygulanacak son seçenek atığın bertaraf tesislerinde atığa uygun yöntemle çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesini sağlamaktır [25]. Ancak mevcut atık yönetimindeki uygulama farklıdır. Şekil 1'deki [26] atık

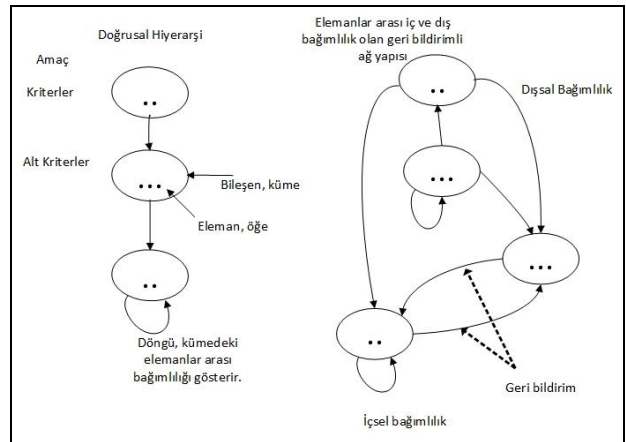
yönetim hiyerarşisi incelendiğinde en çok uygulanan yöntemin bertaraf olduğu, geri kazanım ve diğer yöntemlerin sonra geldiği görülmektedir.



Şekil 1: Atık yönetimi hiyerarşisi.

3 Çok kriterli karar verme ve analitik serim süreci

AHS ve ASS, Thomas Saaty tarafından geliştirilen, oransal 1-9 ölçeği ile ikili karşılaştırma esasına dayanan ve literatürde sıklıkla kullanılan ÇÖKV yöntemlerinden ikisidir [27]. AHS, karar problemini hiyerarşik bir yapıda modellerken ASS ise farklı ya da aynı seviyedeki elemanların birbirlerinden bağımsız oldukları varsayımı olmadan karar verebilmeyi sağlar. ASS, içsel/dışsal bağımlılığa ve geri bildirimlere izin veren bir ağ yapısı ile ifade edilebilir. ASS'nin kullandığı ağ yapısı ile hiyerarşik bir yapı arasındaki temel fark Şekil 2'de [28] gösterilmiştir.



Şekil 2: AHS ve ASS arasındaki yapısal fark.

ASS'nin uygulama adımları izleyen paragraflarda özetlenmiştir:

Adım 1: Karar probleminin tanımlanması ve serimin oluşturulması.

İlk aşamada karar vermede etkili olduğu düşünülen ölçüt, alt ölçüt ve seçenekler belirlenir. Sonrasında modeli oluşturan öğelerin birbirleriyle etkileşimini gösteren serim yapısı oluşturulur. Bu aşamada içsel/dışsal bağımlılıklar ve geri bildirimler göz önünde bulundurulur. Serim yapısı, uzman görüşleri ve literatür dikkate alınarak oluşturulabilir.

Adım 2: İkili karşılaştırmalar ve göreceli önem vektörlerinin hesaplanması.

İkinci aşamada ölçütlerin ve seçeneklerin göreceli önemlerini belirleyebilmek için ikili karşılaştırmalar yapılır. Sayısal olarak ifade edilebilen ölçütler için sayısal değerlerin oranlanması yöntemiyle karşılaştırmalar yapılır. Sayısal olarak ifade

edilemeyen ölçütlerin karşılaştırılmasında Saaty [27] tarafından geliştirilen 1-9 oransal ölçek kullanılır. $(n \times n)$ lik bir $A = (a_{ij})$ karşılaştırma matrisinin tam olarak doldurulabilmesi için, sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru uzanan köşegen üzerindeki karşılaştırma değerlerinin 1 olduğu ve bu köşegene göre simetrik olan değerlerin birbirlerinin çarpımına göre tersi olduğu dikkate alınır. $n \times (n - 1)/2$ adet ikili karşılaştırma yapılması gerekmekte olduğu anlaşılır [29].

Matrislerin ikili karşılaştırmaları tamamlandıktan sonra, karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (görelî öneminin) hesaplanması safhasına geçilir. Matrislerin görelî önem vektörleri en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanarak normalize edilmesi ile elde edilir.

Adım 3: Tutarlılığın hesaplanması.

İkili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını görmek için her bir matrise ilişkin "tutarlılık oranı" (CR) bulunur. Karşılaştırmaların tutarlı kabul edilebilmesi için tutarsızlık oranının 0.10 veya daha düşük olması gerekmektedir.

Adım 4: Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin oluşturulması.

Bu aşamada, ikili karşılaştırmalardan elde edilen değerler kullanılarak süpermatris oluşturulur. Karşılaştırmalı matrislerden türetilen öncelik vektörlerinin her biri, belirlenen bütün alt ölçütleri içeren büyük bir matrisin ilgili satır ve sütunlarına yerleştirilerek ağırlıklandırılmamış süpermatris oluşturulur [30]. Herhangi bir ana ya da alt ölçütle etkileşim içinde bulunmayan ölçütlerin katkısı süper matriste sıfır değeri ile gösterilir [31].

Bir serim yapısının süpermatrisi kavramını daha iyi anlayabilmek için N adet bileşenden oluşan ve elemanları arasında karşılıklı etkileşim ve bağımlılık ilişkileri bulunabilen bir ağ ele alarak ağın bileşenleri $n = 1, \dots, N$ için C_N olarak adlandırılınsın. C_N bileşeni n_N adet elemandan oluşsun ve bunlar $e_{N1}, e_{N2}, \dots, e_{NN}$ şeklinde gösterilsin [32]. Modeldeki bir kümeye ait her bir elemanın modeldeki diğer öğeler üzerindeki etkisi ikili karşılaştırmalar matrisinden elde edilen bir oran ölçeği yardımıyla öncelik vektörü ile bulunur. Bir elemanın başka bir eleman üzerinde etkisi yoksa süpermatris kolonuna sıfır girilir. Öncelik vektörü aşağıda gösterilen süpermatrisin uygun bir yerine kolon olarak yerleştirilir [29].

Bu durumda serimdeki elemanların aynı serimdeki diğer elemanlara olan etkileri Şekil 3'teki süpermatris yardımıyla gösterilebilir.

$$W = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_N \\ C_1 & e_{11}e_{12} \dots e_{1n1} & e_{21}e_{22} \dots e_{2n2} & \dots & e_{N1}e_{N2} \dots e_{NN} \\ C_2 & W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_N & W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{matrix}$$

Şekil 3: Bir serim yapısının süpermatrisi.

Şekil 4'te gösterilen süpermatrisin her bir W_{ij} girdisi süpermatrisin bir bloğu olarak adlandırılır. Süpermatrisin her bir W_{ij} bloğu ise Şekil 4'te gösterilen formdaki bir matris yapısındadır [29].

Adım 5: Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin oluşturulması.

Ağırlıklandırılmamış süpermatristeki değerlerin, ilgili ölçütün yer aldığı kümenin ağırlığıyla çarpılması sonucu "ağırlıklandırılmamış süpermatris" elde edilir [27]. Elde edilen

yeni matris sütun matris toplamı 1'e eşit olacak şekilde stokastik hale getirilmiş olur.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j1)} & W_{i1}^{(j2)} & \dots & W_{i1}^{(jnj)} \\ W_{i2}^{(j1)} & W_{i2}^{(j2)} & \dots & W_{i2}^{(jnj)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_{ini}^{(j1)} & W_{ini}^{(j2)} & \dots & W_{ini}^{(jnj)} \end{bmatrix}$$

Şekil 4: Süpermatrisin bir bloğu.

Adım 6: Limit süpermatrisin oluşturulması.

Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin aynı satırına karşılık gelen sütun değerleri birbirine eşit olana kadar, yani matrisin satırları durağanlaşmaya kadar kuvveti alınarak "limit süpermatris" elde edilir [30]. Buradaki kuvvet alma işleminin matematiksel gösterimi Denklem 1'deki gibidir. İlgili denklemde, matrisin kuvveti alındıkça aynı satırı oluşturan değerlerin limit bir değerde birleştikleri görülür.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N W^k \quad (1)$$

Adım 7: En iyi seçeneğin elde edilmesi.

Limit süpermatris yardımıyla seçenek, ölçüt ve alt ölçütlerin tümüne ilişkin önem ağırlıkları belirlenir. Karar verici için en yüksek önem ağırlığına sahip olan seçenek en iyi seçenek, en yüksek önem ağırlığına sahip olan ölçüt ise karar sürecini etkileyen en önemli ölçüt olarak değerlendirilir.

4 Bertaraf firmasının seçimi ve kaynakların tahsisi

Yapılan çalışmada öncelikle endüstriyel faaliyetleri sonucu tehlikeli atık üreten bir kamu kuruluşunun mevcut tehlikeli atık yönetimi incelenmiş ve sistemindeki eksiklikler tespit edilmiştir. Sonrasında, kurulan ASS modeli yardımıyla, işyerinin en çok ürettiği üç atık türü olan yağ grubu (A1), metal ve plastik şekillendirme grubu (A2) ve organik kimyasal grubu (A3) için aday bertaraf firmaları performanslarına göre sıraya konulmuştur. Böylelikle atık üreticisi işyerinin yüklenici seçimine destek olacak bir yöntem geliştirilmiştir. İkinci aşamada kurulan bir matematiksel model yardımı ile performans puanlarına göre sıralanan bertaraf firmalarının hangisine, hangi atık türünün verilmesi gerektiğine çözüm aranmıştır.

4.1 Atık üreticisinin mevcut bertaraf yöntemi ve uygulamadaki eksiklikler

Sözü edilen kamu kurumunun bertaraf firmalarından satın aldığı hizmetler anorganik atık bertaraf edilmesi/geri kazanımı, atık floresan ampul bertaraf edilmesi/geri kazanımı, atık kapların bertaraf edilmesi/geri kazanımı, atık solvent bertaraf edilmesi/geri kazanımı, atık yakıt bertaraf edilmesi/geri kazanımı, atık yapışkan ve macun bertaraf edilmesi/geri kazanımı, boya sökücü atıkları bertaraf edilmesi/geri kazanımı şeklinde sıralanabilir.

Satın alınan bu hizmetlerin bertaraf firmalarınca karşılanması bazı şartlara bağlanmıştır [33]:

1. Atıklar, işyerinin atık toplama merkezlerinden yüklenici firma tarafından alınarak, yürürlükteki yasal mevzuat esaslarıncı taşıtırılmak suretiyle

bertaraf/geçici depolama/geri dönüşüm işlemi yapılacak merkeze nakledilecektir,

2. Sıvı atıkların atık varillerinden çekilmesi için gerekli olan özel pompa ve aparat yüklenici firma tarafından sağlanacaktır,
3. Tespit edilen miktarlar ile atıkların yüklenmesini müteakip kantar sonucunda oluşan miktarlar arasında $\pm\%10$ farklılık olabilecektir. Fazlalık miktarlar için ayrıca ücret talep edilmeyecektir,
4. Yüklenici firma, bertaraf/geri dönüşüm/geri kazanım hizmeti vereceği atık için yürürlükteki yasal mevzuat esaslarıncaya yetkilendirilmiş olacaktır,
5. Malzemelerin geri kazanım/geçici depolama/geri dönüşüm tesisine naklini takiben tüm yasal sorumluluk yüklenici firmaya geçecektir.

Mevcut uygulamada yukarıda söz edilen 5 maddeyi karşılayan ve en düşük fiyatı veren bertaraf firmasına tüm atıklar verilmektedir. Sadece ilgili ölçütler dikkate alınarak yapılan planlamada atık üreticisinin kontrol edemediği durumlar oluşmaktadır:

1. Bertaraf firmasının atık bertarafını ne şekilde yaptığı, hangi bertaraf teknolojisine sahip olduğu tam olarak bilinemeyebilir. Bunun sonucu olarak bertaraf firmasının atık bertaraf ederken çevreye vereceği olası zarar kontrol edilemeyecektir,
2. Atık üreticisinin mevcut sistemi sürdürülebilir değildir. Bertaraf firması yukarıdaki şartları o yıl sağlayabilir. Fakat firmanın mali yapısı veya sektördeki güvenilirliği sağlıklı olmadığı takdirde gelecek dönemde atıkları kabul edemeyebilir. Bunun sonucu olarak atık üreticisi yeniden en uygun fiyatı isteyen ve diğer ölçütleri sağlayan bertaraf firması aramak zorunda kalacaktır,
3. Bertaraf firması atıkları teslim alma zamanına tam riayet etmeyebilir. Bu durum geçici atık depolama sahasındaki atık miktarının artmasına; dolayısıyla işyerinin atık elde bulundurma maliyetinin artmasına neden olacaktır. Ayrıca her bir atığın yasal olarak geçici depolama süresi kısıtının dışına çıkılacaktır,
4. Bertaraf firması en düşük fiyatı verip ilgili şartları sağlamasına rağmen tesislerinin konumu işyerine uzak olabilir. Bu durumda nakliyatta kaza yapma riski artacak ve çevreye büyük zarar verilebilecektir,
5. Bertaraf firması en düşük fiyat ve ilgili şartları sağlasa bile atık numunesinin saflık oranını kabul etmeyebilir. Bu durumda atık üreticisi ilgili satışı iptal edecek, atık numunesini tekrar kendi tesisine geri getirecek ve başka bir bertaraf firması bulmak zorunda kalacaktır. Dolayısı ile taşıma, atık elde bulundurma ve sipariş verme maliyetleri de artacaktır.

4.2 Bertaraf firması seçim ölçütlerinin ve alternatif firmaların belirlenmesi

Noorul Haq ve Kannan [34], inceledikleri çalışmaların çoğunda maliyet, kalite ve hizmet gibi ana ölçütlerin yanında 15 civarında alt ölçütle çalışıldığını tespit etmişlerdir. Kendi çalışmalarında ise, 7 ana ölçüt ve 30 alt ölçüt kullanmışlardır. İlgili çalışma referans alınarak ve yetkililerle yapılan görüşmeler sonrasında; bertaraf firması seçiminde etkili

olabileceği düşünülen 4 ana ölçüt kümesi ve 12 alt ölçüt belirlenmiştir. İlgili ölçüt ve alt ölçütler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Bertaraf firması seçimi için belirlenen ana ve alt ölçütler.

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler
Maliyet (M)	Birim Bertaraf Maliyeti (BBM) Taşıma Maliyeti (TM) Deklarasyon Numunesi Kontrol Maliyeti (DNM) Ödeme Süresi (ÖS)
Esneklik (E)	Hatalı Ürün Kabul Etme Oranı (HÜKO) Mesai Esnekliği (ME)
Prestij (P)	Mali Yapısı (MY) Sektördeki Güvenilirliği (SG) Hatalı Faturalandırma Oranı (HFO) İletişim Becerisi (İB)
Çevre Riski (ÇR)	Bertaraf Teknolojisi (BT) Araç Kaza Oranı (AKO)

Maliyet ana ölçütünün altında yer alan BBM, bertaraf firmasının bir ton atık türünü bertaraf ederken katlandığı bertaraf etme maliyetidir. TM, bertaraf firmasının atıkları işyerinden alıp kendi firmalarına götürmesi aşamasında sefer başına katlandığı maliyettir. DNM, bertaraf firmasının işyerinden işyerinin taahhüdü ile teslim aldığı atık türünü kendi laboratuvarlarında numune kontrol ve analiz etme maliyetidir. ÖS, bertaraf firmasının atık bertarafı karşılığında oluşan atık bertaraf maliyetini işyerinden ödemesini istediği süredir.

Esneklik ana ölçütünün altında yer alan HÜKO, bertaraf firmasının kabul edebileceği atık türünün ağırlık yüzdesi cinsinden saf olmama oranıdır. ME, bertaraf firmasının işyeri ile olan ilişkilerinde belirleyici bir unsur olan günlük mesai durumu ve esnek çalışma koşullarıdır.

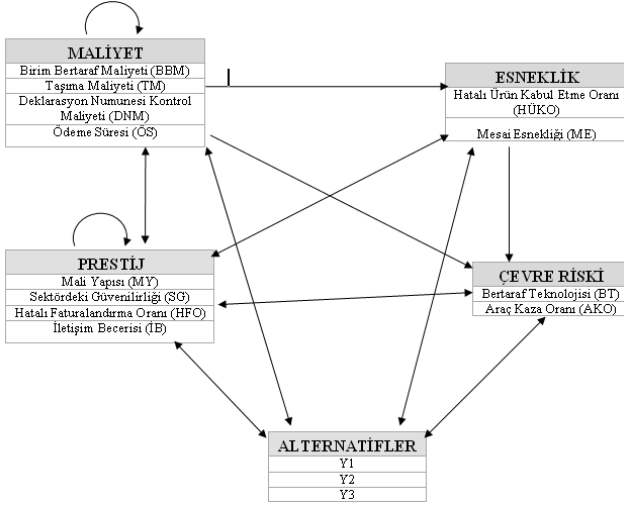
Prestij ana ölçütünün altında yer alan MY, bertaraf firmasının sahip olduğu taşınır/taşınmaz varlıklarının milyon dolar cinsinden değeridir. SG, bertaraf firmasının sektörde ne kadar zamandır çalıştığı, birikim ve deneyimlerinin derecesi ile ilgilidir. HFO, bertaraf firmasının işyerinden teslim aldığı atığı miktar, birim bertaraf maliyeti vb. parametrelere göre işyerine hatalı faturalandırma oranıdır. İB, bertaraf firmasının olası problemlere ilişkin hassasiyeti, personelin bilgi deneyim ve becerisi, firma ile yüksek işbirliği anlamına gelir. Çevre Riski ana ölçütünün altında yer alan BT, bertaraf firmasının sahip olduğu teknolojik alt yapı ile atık bertaraf etme teknolojisi anlamına gelmekte olup; çevre hassasiyetine değer verme derecesi anlamına gelir. AKO, bertaraf firmasının işyerinden teslim aldığı atıkları kendi firmasına getirirken taşıma araçlarının yolda arıza ve kaza yapma oranıdır.

Atık üreticisi firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucu, üretilen tehlikeli atıkların verilebileceği üç firma belirlenmiş, verilerin gizliliği nedeniyle bu firmalar sırasıyla Y1, Y2 ve Y3 olarak kodlanmıştır.

4.3 Etkileşimlerin belirlenmesi ve serim yapısının oluşturulması

Ölçütler, alt ölçütler ve seçenekler belirlendikten sonra modeli oluşturan tüm öğelerin etkileşimini gösteren serim modeli oluşturularak Şekil 5’te sunulmuştur. Serim yapısı ayrıntılı olarak incelendiğinde; “Maliyet” ve “Prestij” ana ölçütlerinin hem iç hem dış bağımlılığa; “Esneklik” ve “Çevre Riski” ana ölçütlerinin ise sadece dış bağımlılığa sahip olduğu görülür.

Ayrıca, seçenekler ve ölçütler arasında geri bildirim bulunmaktadır.



Şekil 5: Atık bertaraf firması serim yapısı.

4.4 İkili karşılaştırmalar ve görel önem vektörlerinin elde edilmesi

Her bir atık türü için ölçüt ve alt ölçütler aynı olmakla birlikte, (Şekil 5) bertaraf firmaları sayısal olarak ifade edilebilen alt ölçütlere göre ikili karşılaştırılırken atık grupları temelinde farklılıklar bulunmaktadır. Bu sebeple ikili karşılaştırmalarda her bir atık grubu için ayrı değerlendirme yapılarak görel önem vektörleri elde edilmiştir. Bertaraf firmaları ikili olarak karşılaştırılırken, sayısal olarak ifade edilebilen (nicel) alt ölçütler için oranlama yönteminde diğer ölçütler için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Sayısal ölçütlere ilişkin firma bilgileri atık grubu temelinde Ek A'da özetlenmiştir.

Nitel ölçütlerin ikili karşılaştırmaları atık üretici firmadaki iki uzman personelin görüşleri alınarak yapılmıştır. Uzmanların ikili karşılaştırma sonuçları geometrik ortalama ile birleştirilerek grup karar verme yaklaşımı ile görel önem vektörleri elde edilmiştir.

Matrisler oluşturulurken her aşamada tutarsızlığın 0.1'den düşük olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ana ölçütlerin ikili karşılaştırılmaları sonucunda her atık grubu için küme ağırlık matrisleri elde edilmiştir. Tablo 2'de "atık yağ grubu" için elde edilen küme ağırlık matrisi örneklendirilmiştir.

Tablo 2: Atık yağ grubu için küme matrisi.

	Alternatifler	Çevre R.	Esneklik	Maliyet	Prestij
Alternatifler	0.000	0.857	0.667	0.398	0.273
Çevre R.	0.402	0.000	0.111	0.039	0.092
Esneklik	0.0593	0.000	0.000	0.118	0.045
Maliyet	0.263	0.000	0.000	0.222	0.175
Prestij	0.275	0.143	0.222	0.222	0.414

Ele alınan ASS modelinde seçenek atık bertaraf firmalarının da ölçüt ve alt ölçütlere farklı derecede önem verdiği varsayılarak, her firmada görevli bir uzmanın ölçüt ve alt ölçütleri ikili karşılaştırması istenmiştir. İlgili karşılaştırmaların atık türünden bağımsız olduğu varsayılmıştır. Uzman cevapları

yardımıyla atık bertaraf firmalarına göre ana ve alt ölçütlerin görel önem vektörleri de elde edilmiştir.

İzleyen aşamada her bir atık grubu için tüm görel önem vektörlerinin bir arada gösterildiği ağırlıklandırılmamış süper matris, küme matrisi ile ağırlıklandırılmış süper matris ve limit matris elde edilmiştir. Atık yağ grubu için elde edilen limit matris Ek B'de örneklendirilmiştir.

Bertaraf firmalarının öncelik değerleri atık türlerine göre Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Atık türlerine göre bertaraf firmalarının öncelik değerleri.

	A1		A2		A3	
	Öncelik	Sıra	Öncelik	Sıra	Öncelik	Sıra
Y1	0.423	1	0.330	2	0.402	1
Y2	0.343	2	0.439	1	0.299	2
Y3	0.233	3	0.230	3	0.298	3

Elde edilen öncelik değerlerinden hareketle (A1) ve (A3) grubu için Y1 firmasının, (A2) grubu için Y2 firmasının seçilmesi önerilir.

4.5 Atık türlerinin bertaraf firmalarına dağıtım için önerilen matematiksel model

Atık üreticisi işyerinin kısıtları dikkate alınarak hangi atık türünün hangi atık bertaraf firmasına verilmesi gerektiğine 0-1 tam sayılı karar modeli ile yanıt aranmıştır. Atık bertaraf firmalarının Tablo 3'te yer alan öncelik değerleri karar modelinde performans puanları şeklinde düşünülerek amaç fonksiyonunda yer almıştır. Modelin amacı toplam yüklenici performans puanını enbüyüklemektir. 0-1 tam sayılı karar modelinin indisleri, parametreleri, karar değişkeni, amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda verilmiştir:

İndisler

i : Bertaraf firması, $\forall i \in I \quad I = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$

j : Atık türü, $\forall j \in J \quad J = \{A_1, A_2, A_3\}$

Parametreler

T_{ij} : i . bertaraf firmasının j . atık türündeki performans değeri,

Q_j : j . atık türünün toplam miktarı,

B_j : işyerinin j . atık türünü bertaraf firmasına hatalı verme oranı,

A_j : işyerinin j . atık türü için bertaraf firmasına ödeyebileceği en büyük birim fiyat,

S_j : işyerinin j . atık türünün taşınması için kabul edebileceği enbüyük uzaklık,

d_{ij} : i . bertaraf firmasının j . atık türünü hatalı kabul etme oranı,

k_{ij} : i . bertaraf firmasının j . atık türü için talep edeceği birim fiyat,

m_i : i . bertaraf firmasının işyerine olan uzaklığı,

c_{ij} : i . bertaraf firmasının j . atık türünü işleme kapasitesi.

Karar Değişkeni

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i. bertaraf firmasına \quad j. atık türü veriliyor \\ 0, & d. d. \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu

$$Enb \sum_i \sum_j T_{ij} X_{ij}$$

Kısıtlar

$$\sum_i m_i X_{ij} \leq S_j \quad \forall j \text{ için} \quad (1)$$

$$\sum_i d_{ij} X_{ij} \geq B_j \quad \forall j \text{ için} \quad (2)$$

$$\sum_i k_{ij} X_{ij} \leq A_j \quad \forall j \text{ için} \quad (3)$$

$$\sum_i c_{ij} X_{ij} \geq Q_j \quad \forall j \text{ için} \quad (4)$$

$$\sum_i X_{ij} = S_j \quad \forall j \text{ için} \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \text{ için} \quad (6)$$

Kısıtların ne anlama geldiği izleyen paragrafta özetlenmiştir:

- (1) Her bir atık türünün verileceği bertaraf firmasının işyerine olan uzaklığının atık üreticisi işyerinin bu atık türünün taşınması için kabul edebileceği azami uzaklıktan küçük olması gerekmektedir.
- (2) Her bir atık türünün verileceği bertaraf firmasının kabul ettiği hatalı atık oranı işyerinin atığı hatalı verme oranından büyük olmalıdır.
- (3) Her bir atık türünün verileceği bertaraf firmasındaki atık bertaraf maliyeti işyerinin bu atık türünün bertarafı için ödeyebileceği azami ücretten küçük olmalıdır.
- (4) Her bir atık türünün verileceği bertaraf firmasının bu atığı yıllık işleyebilme kapasitesi, işyerinin bu atık türünden ürettiği yıllık miktardan büyük olmalıdır.
- (5) Her bir atık türü sadece bir bertaraf firmasına verilebilmektedir.

(1-5) numaralı kısıtlarda görüldüğü gibi, işyerinin ürettiği atıkları bertaraf firmalarına verirken talep ettiği bazı şartlar ve kısıtlamalar 0-1 tam sayılı karar modelinin sağ taraf sabitlerini oluşturmaktadır. Sağ taraf sabitleri Tablo 4'te, matematiksel modelde kullanılan parametreler ise Ek C'de verilmiştir.

Tablo 4: İşyeri atık bilgileri.

Atık Miktarı (Q_j) (Ton/Yıl)	Ödeyebileceği Azami Bertaraf Ücreti (A_j) (TL/Ton)	Azami Uzaklık (S_j) (km)	Hatalı Ürün Verme Oranı (B_j)	
A1	219	400	650	0.010
A2	98	500	950	0.015
A3	84	1600	1050	0.015

9 değişkenli ve 16 kısıtlı matematiksel modelin Lingo çözümünden amaç fonksiyonu değeri 1.264 olarak bulunmuştur. Çözümde X_{11} , X_{13} ve X_{22} karar değişkenleri 1 değerini almıştır. Sonuçlar, (A1) ve (A3) grubu atıkların 1. atık bertaraf firmasına; (A2) grubu atıkların ise 2. atık bertaraf firmasına verilmesi gerektiğini göstermektedir. Matematiksel model ile ulaşılan değerlerin ASS modeli ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak farklı bir parametre seti ile çalışıldığında sonuçlar farklılık gösterebilecektir.

5 Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada öncelikle endüstriyel faaliyetleri sonucu tehlikeli atık üreten bir kamu kuruluşunun mevcut tehlikeli atık yönetimi incelenerek sistemdeki eksiklikler tespit edilmiştir. Sonrasında, kurulan ASS modeli yardımıyla, işyerinin en çok ürettiği üç atık türü olan yağ grubu, metal ve plastik

şekillendirme grubu ve organik kimyasal grubu için aday bertaraf firmaları performanslarına göre sıraya konulmuştur. Böylelikle atık üreticisi işyerinin yüklenici seçimine destek olacak bir yöntem geliştirilmiştir.

ASS ile modelleme aşamasında bertaraf firması seçiminde etkili olabilecek ölçütler ve alt ölçütler belirlenmiş ve aralarındaki etkileşimler dikkate alınarak serim yapısı oluşturulmuştur. Serim yapısı oluşturulduktan sonraki aşama, ikili karşılaştırmaların yapılması ve süper matrislerin oluşturulmasıdır. Çalışma kapsamında ele alınan üç ayrı atık türü için ayrı limit süpermatrisler elde edilmiştir.

Sonuçlara göre, atık yağ grubu için Y1 firması %42.33 ile birinci, Y2 firması %34.33 ile ikinci, Y3 firması ise %23.33 ile üçüncü sırada yer almıştır. Atık metal ve plastik şekillendirme grubu için Y2 firması %44 ile birinci, Y1 firması %33 ile ikinci, Y3 firması ise %23 ile üçüncü sırada yer almıştır. Atık organik kimyasal grubu için ise Y1 firması %40.2 ile birinci, Y2 firması %30 ile ikinci, Y3 firması ise % 29.8 ile üçüncü sırada yer almıştır.

Yağ grubu için elde edilen Limit süpermatrise göre, ana ölçütler bazında, karar sürecini etkileyen en önemli ana ölçüt Prestij ana ölçütüdür. Onu, Maliyet, Çevre Riski ve Esneklik ana ölçütleri izler. Alt ölçütler bazında ise, karar sürecini etkileyen en önemli ölçüt Hatalı Ürün Kabul Etme Oranı ölçütüdür. Maliyet ana ölçütündeki en önemli ölçüt, Birim Bertaraf Maliyeti; Prestij ana ölçütündeki en önemli ölçüt Mali Yapısı; Çevre Riski ana ölçütündeki en önemli ölçüt ise, Bertaraf Teknolojisi ölçütüdür.

Matematiksel modelleme aşamasında ise 0-1 tam sayılı karar modeli ile performans puanlarına göre sıralanan bertaraf firmalarının hangisine, hangi atık türünün verilmesi gerektiğine çözüm aranmıştır. Atık bertaraf firmalarının bazı verileri atık üreticisi firmanın kısıtları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak atık üreticisi firmanın yağ ve organik kimyasal grubu atıklarını 1. atık bertaraf firmasına; metal ve plastik şekillendirme grubu atıklarını ise 2. atık bertaraf firmasına vermesi önerilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda ise, önerilen ASS modeli ile matematiksel model, farklı işletmelere seçeneklerin değiştirilmesi, ihtiyaca göre özellikli bazı ölçütlerin eklenmesi ve kendi parametre değerlerinin girilmesi suretiyle rahatlıkla uygulanabilir.

Ayrıca ASS modelinde ikili karşılaştırmalar esnasında sürece birden çok sayıda karar vericiyi dâhil etmek ya da uygulamayı bulanık ortamda karar verme yöntemleri ile entegre ederek geliştirmek mümkündür.

6 Kaynaklar

- [1] Battal ER. Entegre Katı Atık Yönetimi Türkiye Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Adapazarı, Türkiye, 2011.
- [2] Korkmazer C. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Tehlikeli Atık Bertaraf Firması Seçimine Bütünsel Bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2014.
- [3] Tzeng GH, Huang JJ. *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*. USA, CRC Publishers, 2011.
- [4] Soltani A, Hewage K, Reza B, Sadiq R. "Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of Municipal Solid Waste Management: A review". *Waste Management*, 35, 318-328, 2015.

- [5] Yılmaz Z, Erol S, Aplaç HS. "Tehlikeli maddelerin taşınması-bir literatür taraması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 39-53, 2016.
- [6] Beltran PA, Fernando JPP, Garcia F, Agullo AP. "An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the metropolitan area of Valencia (Spain)". *Journal of Environmental Management*, 91(5), 1071-1086, 2010.
- [7] Eskandari M, Homae M, Mahmodi S. "An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area". *Waste Management*, 32(8), 1528-1538, 2012.
- [8] Kulaç A. Eskişehir Tepebaşı Belediyesi için Katı Atık Yönetimi Sistemi Seçiminde Analitik Serim Süreci (ANP) Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2006.
- [9] Ohman KVH, Hettiaratchi JPA, Ruwanpura J, Balakrishnan J, Achari G. "Development of a landfill model to prioritize design and operating objectives". *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1), 85-97, 2007.
- [10] Balaban Y, Baki B. "Analitik serim süreci yaklaşımıyla en uygun katı atık bertaraf sisteminin belirlenmesi: Trabzon ili örneği". *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(3), 183-192, 2010.
- [11] Karmperis AC, Sotirchos A, Aravossis K, Tatsiopoulou IP. "Waste management project's alternatives: A risk-based multi-criteria assessment (RBMCA) approach". *Waste Management*, 32(1), 194-212, 2012.
- [12] Ekmekçioğlu M, Kaya T, Kahraman C. "Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste". *Waste Management*, 30(8-9), 1729-1736, 2010.
- [13] Hanan D, Burnley S, Cooke D. "A multi-criteria decision analysis assessment of waste paper management options". *Waste Management*, 33(3), 566-573, 2013.
- [14] Kabir G. "Selection of hazardous industrial waste transportation firm using extended VIKOR method under fuzzy environment". *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*, 7(1), 40-58, 2015.
- [15] Hsu PF, Wu CR, Li YT. "Selection of infectious medical waste disposal firms by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis". *Waste Management*, 28(8), 1386-1394, 2008.
- [16] Khan S, Faisal MN. "An analytic network process model for municipal solid waste disposal options". *Waste Management*, 28(9), 1500-1508, 2008.
- [17] Gumus AT. "Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology". *Expert Systems with Applications*, 36(2), 4067-4074, 2009.
- [18] Faisal MN, Khan S, Farooqi IH. "Prioritising factors for selection of infectious waste management contractors using fuzzy analytic hierarchy process". *International Journal of Applied Management Science*, 3(3), 275-293, 2011.
- [19] Ho CC. "Optimal evaluation of infectious medical waste disposal companies using the fuzzy analytic hierarchy process". *Waste Management*, 31(7), 1553-1559, 2011.
- [20] Dursun M, Karsak E, Karadayı, MA. "Assessment of health-care waste treatment alternatives using fuzzy multi-criteria decision making approaches". *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 98-107, 2011.
- [21] Çapraz O, Polat O, Gungor A. "Planning of waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling facilities: MILP modelling and case study investigation". *Flexible Service and Manufacturing Journal*, 27(4), 479-508, 2015.
- [22] Nema AK, Gupta SK. "Optimization of regional hazardous waste management systems: An improved formulation". *Waste Management*, 19(7-8), 441-451, 1999.
- [23] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı". www.csb.gov.tr (22.07.2015).
- [24] Çevre Bilgi Portalı. "Cevreonline". <http://www.cevreonline.com/> (22.07.2015).
- [25] Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil SA. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue*. New York, USA, McGraw Hill Inc, 1993.
- [26] Tenikler G. Türkiye'de Tehlikeli Atık Yönetimi ve Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı bir Analiz. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2007.
- [27] Saaty T. *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. Pittsburg, USA, RWS Publications, 2005.
- [28] Saaty TL, Özdemir MS. *The Encyclicon: A Dictionary of Decisions with Dependence and Feedback Based on the Analytic Network Process*. Pittsburgh, USA, RWS Publications, 2005.
- [29] Göze EA. Analitik Serim Süreci ile Sürdürülebilir Bir Üçüncü Parti Lojistik Servis Sağlayıcısı Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [30] Kök D, Aksu G. "Müşteri kredi değerliliğinin belirlenmesinde analitik ağ süreci kullanımı: bir model önerisi". *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 59, 167-185, 2013.
- [31] Ecer F, Dündar S. "Analitik ağ süreci yöntemiyle cep telefonu seçimi". *İşletme Fakültesi Dergisi*, 10(2), 153-168, 2009.
- [32] Meydan C. Şirket Derecelendirmesi ve Bir Endüstri İşletmesinde Uygulama Örneği. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [33] Resmi İhaleler. "Resmi İhaleler". www.ihaleler.org. (22.07.2015).
- [34] Noorul Haq A, Kannan G. "Fuzzy analytical hierarchy process for evaluating and selecting a vendor in a supply chain model". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(7), 826-835, 2006.

Ek A

Sayısal ölçütlere ilişkin firma bilgileri.

Atık Türü Sayısal Ölçütler	Yağ Grubu (A1)			Metal ve Plastik Grubu (A2)			Organik Kimyasal Grubu (A3)		
	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3
BBM (TL/ton)	350	330	1000	950	350	1133	1490	1225	1200
TM (TL)	719415	1545264	1131792	32850	70560	51680	29565	63504	46512
DNM (TL/kg)	40	40	45	60	40	65	50	55	50
ÖS (gün)	30	30	21	30	40	21	30	30	21
HUKO	0.01	0.02	0.015	0.02	0.03	0.025	0.015	0.02	0.025
ME	3	1	1	1	3	1	3	1	1
MY (Milyon TL)	20	12	10	20	12	10	20	12	10
SG	18	3	11	18	3	11	18	3	11
HFO	0.05	0.08	0.06	0.05	0.08	0.06	0.05	0.08	0.06
İB	6	2	1	6	2	1	6	2	1
BT	4	2	1	2	4	1	9	3	6
AKO	0.01	0.04	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.04	0.02

Ek B

Atık yağ grubuna ilişkin limit matrisi.

	Y1	Y2	Y3	AKO	BT	HUKO	ME	BBM	DNM	ÖS	TM	HFO	İB	MY	SG
Y1	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407	0.15407
Y2	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518	0.12518
Y3	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486	0.08486
AKO	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357	0.07357
BT	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128	0.09128
HUKO	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174	0.03174
ME	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540	0.01540
BBM	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927	0.07927
DNM	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810	0.02810
ÖS	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191	0.03191
TM	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797	0.03797
HFO	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619	0.02619
İB	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165	0.03165
MY	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653	0.10653
SG	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229	0.08229

Ek C

Atık bertaraf firmalarının atık türlerine göre parametre değerleri.

PARAMETRELER	Y1			Y2			Y3		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Performans Puanı (T _{ij})	0.423	0.330	0.402	0.343	0.439	0.299	0.237	0.230	0.298
Hatalı Ürün Kabul Etme Oranı (d _{ij})	0.010	0.020	0.015	0.020	0.030	0.020	0.015	0.025	0.025
Birim Bertaraf Maliyeti- TL/Ton (k _{ij})	350	492	1200	450	350	1740	1000	1133	1800
İşyerine Uzaklığı-Km (m _{ij})	219	219	219	392	392	392	323	323	323
Atık İşleme Kapasitesi-Ton/Yıl (c _{ij})	400	380	500	350	400	740	560	540	900