



Katı Atık Depolama Tesisi Yer Seçimi için Birleştirilmiş Hedef Programlama ve AHP Yaklaşımı

A Combined Goal Programming and AHP Approach for Solid Waste Landfill Site Selection

Ayyüce Aydemir-Karadağ

Çankaya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Yolu 29. Km, 06790, Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 04/04/2018

Kabul/Accepted: 04/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Tüm dünyada, nüfus ve kentleşmenin artması ve gelişen teknoloji ile beraber üretilen atık miktarı da artmaktadır. Katı atıkların bertarafı, büyük oranda düzenli depolama yöntemiyle sağlanmaktadır. Bir düzenli depolama sahasının uygun şekilde projelendirilmesi ve işletilmesi için en önemli ön şart uygun kuruluş yeri seçiminin yapılmasıdır. Sağlıklı, verimli, uzun ömürlü, sürdürülebilir ve yasal düzenlere uygun düzenli depolama yer seçimi çok kriterli bir karar problemidir. Bu çalışmada; Ankara ili ve çevresinde kurulabilecek katı atık düzenli depolama tesisi kuruluş yeri alternatifleri, çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel kriterler açısından Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile değerlendirilmiştir. Ankara'nın yıllık depolanan atık talebini karşılayacak alternatiflerin arasından seçim yapılması, AHP ile hesaplanan kriter ağırlıklarını ve alternatif önceliklerini kullanan ve sistem gerçeklerini yansıtan hedef programlama (HP) modeli ile sağlanır.

Anahtar Kelimeler

"Analitik Hiyerarşi Prosesi, Hedef Programlama, Yer Seçimi, Düzenli Depolama, Katı Atık"

Abstract

All over the world, the amount of waste produced has increased with population, urbanization and developing technology. Disposal of solid wastes is mostly achieved by sanitary landfilling. The most important prerequisite for the proper design and operation of a landfill site is to select the appropriate site location. A sanitary, efficient, long-lasting, sustainable landfill selection in accordance with legal regulations is a multi-criteria decision-making problem. In this study; alternatives for solid waste sanitary landfills in and around the province of Ankara are evaluated by the Analytical Hierarchy Process (AHP) in terms of environmental, economic, social and geological criteria. The selection among alternatives to meet Ankara's annual stored waste demand is achieved by the goal programming (HP) model, which uses criteria weights and alternative priorities calculated with AHP, and reflects system realities.

Key Words

"Analytical Hierarchy Process, Goal Programming, Site Selection, Landfill, Solid Waste"

1. GİRİŞ

Tüm dünyada ve ülkemizde, teknoloji alanındaki gelişmeler, sanayileşmedeki ve nüfustaki artış, tüketim alışkanlıklarındaki değişimler yönetilmesi gereken atık miktarını arttırmakta, atık miktarı ve tehlikeli içeriği de insan sağlığını ve doğayı tehdit etmektedir. Atıkların uygun şekilde bertaraf edilmemesi sonucunda, direkt yada hayvanlar vasıtasıyla, tüberküloz, veba, sıtma, kolera ve dizanteri gibi birçok hastalık bulaşabilmektedir. Ayrıca, açık çöp alanlarına dökülen atıklardan sızan sular ve çevreye yayılan gazlar, çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır (Palabıyık, 2001). Bu durum, tüm dünyada en öncelikli politika olarak etkin atık yönetim sistemlerinin kurulmasını gerekli kılmaktadır.

Katı atıklar, yaşamımızda en çok karşılaştığımız atıklardır. İnsanların ve hayvanların yaşam faaliyetleri sonucu, kullanıcı tarafından herhangi bir şekilde tekrar kullanılması söz konusu olmayan ve istenmemesi nedeni ile atılan katı maddeler olarak tanımlanmaktadır (Alpaslan, 2005). Katı atıklar kaynaklarına göre; evsel atıklar, endüstriyel, tıbbi, ticari ve kurumsal atıklar, inşaat, maden ve tarım işlerinden kaynaklanan atıklar olarak sınıflandırılabilir (Pradhan, 2008).

Atık yönetimi hiyerarşisi, kaynağında azaltma ve yeniden kullanım, geri dönüşüm, kompostlaştırma, enerji üretme ve düzenli depolama gibi geri kazanım yöntemleri ile atık miktarının azaltılmasını amaçlar. Katı atıkların düzenli depolanması, atıkların bertarafı sürecinde oluşabilecek depo gazlarının ve sızıntı sularının, hava, toprak, yeraltı suları ve yüzeysel suların üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilerek çevre kirliliğinin önlenmesini sağlayan bir yöntemdir (Resmi Gazete, 2010). Düzenli depolama tesisleri, toplanan katı atıkların günümüz teknik standartlara göre bertaraf edildiği sahalara verilen isimdir (T.C. ÇŞB, 2016). Seçilen atık işleme ve bertaraf yöntemi ne olursa olsun düzenli depolama tesislerinin, katı atık yönetim sisteminin temel bileşeni olduğu kabul edilmektedir. Çünkü, atıkların geri dönüşüm, geri kazanım süreçleri ile bertarafı sonucunda da belirli oranlarda bertaraf edilemeyen atık ortaya çıkmaktadır ki; bu atıkların yine düzenli depolama tesislerine gönderilerek bertaraf edilmesi gerekir. Tablo 1’de, yeterli ve uygun araziler bulunduğu müddetçe en ekonomik ve en kolay uygulanabilen yöntemin düzenli depolama yöntemi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 1. Atık bertaraf sistemlerinin karşılaştırılması (T.C. ÇŞB, 2014)

	Düzenli Depolama	Termal Santraller	Biyolojik Sistemler
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta
Hacimsel Azalma	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Riskler	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Hassasiyeti	Kolay	Zor	Zor

Düzenli depolama tesislerinin kuruluş yerinin belirlenmesi, şehirlerin altyapı tasarımının sürdürülebilir ve ekonomik olması açısından kuşkusuz büyük önem taşımaktadır. Seçilen yerin, çevresel ve sosyal açıdan, ayrıca sağlık yönünden gerekli şartlara sahip olması ve yerel kanunlara uygun olması gerekmektedir (Dipanjana vd., 1997). Atığın taşınma mesafesi, yasal uygulamalar, çevresel faktörler, alternatif arazinin büyüklüğü ve kullanılabilirliği, ulaşım imkanı, nüfus yoğunluğu, toprağın, topoğrafyanın ve zeminin yapı durumu, iklimsel şartlar, yüzey suyu hidroloji durumu, jeolojik ve hidrojeolojik unsurlar gibi birçok kriter dikkate alınmalıdır (Tchobanoglous&Kreith, 2002). Dolayısıyla, düzenli depolama yer seçimi problemi kritik ve teknik bir karar verme problemidir.

Bu çalışmada, düzenli depolama merkezi kuruluş yeri seçimi problemi ele alınmış ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) metodu ve Hedef Programlama (HP) yöntemlerinin birleşimini içeren bir model önerilmiştir. AHP uygulamasında, çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel olmak üzere dört ana kriter; bu ana kriterlerle direkt bağlantılı yirmi bir adet alt kriter-1 ve alt kriterler-1 ile direkt bağlantılı yirmi üç adet alt kriter-2 belirlenmiştir. AHP yöntemi ile Ankara ilinde belirlenen 4 alternatif kuruluş yeri arasından kriterlere göre seçimler yapılabilmekte, istenilen kriter bazında tercih sıraları belirlenebilmektedir. Sistem gerçeklerini yansıtan problem özelindeki bir takım kısıtların karar sürecine katılması HP yöntemi ile sağlanmaktadır. HP modeli, belirlenen çalışma alanında üretilen yıllık atığın, düzenli depolanması gereken miktarının kurulacak tesisler tarafından karşılanmasını garanti eder ve düzenli depolama merkezi kuruluş ve işletim maliyetlerinin en küçüklenmesi, kurulacak bölgede yaşayan insanlar için patlama vb. nedenler ile ortaya çıkabilecek saha riskinin en küçüklenmesi ve alternatiflerin çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel puanlarından oluşan toplam ağırlığın en büyüklenmesi amaçlarını dikkate alır.

Çalışmanın 2. Bölümünde, atık yönetiminde tesis yer seçimi problemlerinin çözümü için ÇKKV yöntemlerini ve bu yöntemler ile birlikte HP metodunu kullanan araştırmalar ayrıntılı olarak incelemiştir, 3. Bölümde kullanılan metod ve yöntemler tanıtılmıştır. 4. Bölümde yapılan uygulama ve elde edilen bulgular gösterilmekte iken, 5. ve son bölümde sonuçlar ve gelecek çalışmalara ait bilgiler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tesis kuruluş yerinin tespitinde, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Prosesi (ANP), TOPSIS, Bulanık AHP, ELECTRE vb. olmak üzere farklı ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, atık yönetiminde kuruluş yeri seçimi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar, kullanılan ÇKKV yöntemlerine göre iki başlık altında incelenmiştir: (1)AHP kullanan çalışmalar, (2)AHP dışındaki diğer ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar.

Tablo 2, AHP yöntemi ve AHP ile birlikte diğer yöntemleri kullanan araştırmaları göstermektedir. Tabloda, yazar, yıl, uygulama yapılan ülke/şehir bilgilerinin yanısıra, son sütunda çalışmalarda dikkate alınan kriterler ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Tablo 2. AHP yöntemi kullanan çalışmalar

Yazar	Yıl	Ülke	Yöntem	Belirlenen Kriterler
Erkut ve Moran	1991	Kanada	AHP	ekonomiye etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık.
Banar vd.	2006	Türkiye /Eskişehir	AHP	taşıma mesafesi, yasal yaptırımlar, arazinin kullanılabilirliği, tesis ömrü ve kapasitesi, topoğrafik özellikler, hidrolojik özellikler, toprak yapısı, jeolojik özellikler, iklim şartları.
Ohman vd.	2007	Kanada	AHP	çevresel şartlar, ekonomik etkenler, güvenlik durumu, sağlığa etki, yağış seviyeleri, taşıma mesafesi, kamuoyu tepkisi.
Chang vd.	2008	ABD	Bulanık AHP, CBS	arazinin eğimi, hidrolojik özellikler, arkeolojik alanlar, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, nüfus durumu ve demografik yapısı, karayoluna uzaklık, havaalanına uzaklık.
Wang vd.	2009	Çin	AHP, CBS	ekonomik şartlar, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, iklim şartları, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık.
De Feo ve De Gisi	2010	İtalya	AHP	ekonomik şartlar, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, bitkisel-hayvansal yaşam durumu.
Şener vd.	2010	Türkiye Isparta Beyşehir	AHP, CBS	arazinin eğimi, yolların kalitesi, jeolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık, hidrolojik özellikler, sit alanına uzaklık.
Gorsevski vd.	2011	Makedonya	CBS yardımcı AHP	ekonomik etkenler, çevresel şartlar, rakım, arazinin eğimi, nehirlere uzaklık, göllere uzaklık, hidrolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, fay hattı, yerleşim alanlarına uzaklık, taşıma mesafesi.
Pires vd.	2011	Portekiz	Bulanık TOPSIS AHP	ekonomik şartlar, çevresel özellikler, teknik özellikler, sosyal şartlar, küresel ısınma etkisi yani sera gazı etkisi, koku etkisi, altyapı durumu, arazinin kullanılabilirliği, verimlilik.
Şener vd.	2011	Türkiye Isparta Senirkent	CBS tabanlı ÇKKV, AHP	karayoluna ve havaalanına uzaklık, sit alanına uzaklık, rüzgar yönü, jeolojik özellikler, arazinin eğimi, hidrolojik özellikler, fay hattı, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği.
Tavares vd.	2011	Portekiz	AHP, CBS	ekonomik şartlar, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, iklim durumu, taşıma mesafesi, altyapı durumu.
Kirimi ve Waithaka	2014	Kenya	CBS tabanlı AHP	jeolojik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, arazinin eğimi, hidrolojik özellikler, taşıma mesafesi, sit alanlarına uzaklık.
Kumar vd.	2014	Hindistan	AHP, CBS	jeolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, hidrolojik özellikler, toprağın yapısı, demiryolu hattına uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, arazinin eğimi, arazinin kullanılabilirliği.
Raisi vd.	2014	Umman	AHP	hidrolojik özellikler ve jeolojik özellikler, taşıma mesafesi, havaalanına uzaklık, fay hattı, yerleşim alanlarına uzaklık, vadilere uzaklık, sahile uzaklık, zemin su geçirgenliği.

*CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi)

Tablo 3'te, atık yönetiminde, AHP dışındaki diğer ÇKKV yöntemlerini kullanan yer seçimi çalışmaları sunulmaktadır.

Tablo 3. ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar

Yazar	Yıl	Ülke	Yöntem	Belirlenen Kriterler
Massam, B.H.	1991	İsrail	TOPSIS ELECTRE	ekonomik etkenler, çevresel şartlar, arazinin kullanılabilirliği, taşıma mesafesi
Hokkanen ve Salminen	1997	Finlandiya	ELECTRE III	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, iklim şartları ve taşıma mesafesi
Vaillancourt ve Waaub	2002	Kanada	PROMETHEE	ekonomik etkenler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, hidrolojik özellikler, bitkisel-hayvansal yaşam durumu
Cheng vd.	2003	Kanada	TOPSIS ELECTRE	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim yerlerine uzaklık, seçilen yerin enerji geri kazanım avantajı.
Carroll vd.	2004	Avustralya	PROMETHEE GAIA	hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı
Karagiannidis vd.	2004	Yunanistan	ELECTRE III	ekonomik etkenler, topoğrafik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, sera gazı etkisi, yerleşim alanlarına uzaklık, bitkisel ve hayvansal yaşam durumu, seçilen yerin enerji geri kazanım avantajı.
Norese	2006	İtalya	ELECTRE III	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, altyapı durumu, arazinin kullanılabilirliği, taşıma mesafesi.
Kapepula vd.	2007	Senegal	PROMETHEE	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, iklim şartları, sera gazı etkisi, yerleşim alanlarına uzaklık.
Khan ve Faisal	2007	Hindistan	ANP	kamuoyu tepkisi, sosyal kabul, sağlığa etkisi.
Queiruga vd.	2008	İspanya	PROMETHEE	arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık, ekonomik etkenler, personel ihtiyaçları, geri dönüşüm tesislerine uzaklık.
Tuzkaya vd.	2008	Türkiye İstanbul	ANP	ekonomik şartlar, arsa maliyeti, sağlığa etkisi, teknik şartlar, çevresel şartlar, jeolojik şartlar, topoğrafik özellikler, sosyal ve politik şartlar, ses kirliliği, koku etkisi.
Vego vd.	2008	Hırvatistan	PROMETHEE GAIA	ekonomik şartlar, çevresel şartlar, sosyal kabul, arazinin kullanılabilirliği.
Beltran vd.	2010	İspanya	ANP	ekonomik şartlar, çevresel şartlar, sosyal kabul, yasal şartlar, teknik durum.
Ekmekçioğlu vd.	2010	Türkiye İstanbul	Bulanık TOPSIS	arazinin kullanılabilirliği, ekonomik şartlar, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, iklim şartları, hidrolojik özellikler, yerleşim alanlarına uzaklık, altyapı durumu ve bitkisel-hayvansal yaşam durumu.
Shariati vd.	2014	İran	ARAS GARAS	ekonomik şartlar, çevresel şartlar, teknik durum, taşıma mesafesi, hidrolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, görsellik
Younes vd.	2015	Malezya	MRRS-ANP	topoğrafik özellikler, hidrolojik özellikler, taşıma mesafesi

*Geometrical Analysis For Interactive Aid (GAIA), Additive Ratio Assessment (ARAS), Group Decision Making Additive Ratio Assessment (GARAS), Median Ranked Sample Set (MRSS)

Tablo 2 ve Tablo 3'te ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, bir çok çalışmada ortak olarak kullanılan jeolojik ve hidrolojik özelliklere ek olarak, küresel ısınma etkisi (sera gazı etkisi) ve bitkisel-hayvansal yaşam durumu gibi farklı kriterler de dikkate alınmaktadır. Ancak, bazı çalışmalarda çevresel kriterlere yer verilmediği görülmüştür. Ayrıca, ekonomik kriterler ile birlikte toprağın yapısı, tesis için belirlenen arazinin uygunluğu, tesise yerleşim yerlerinin uzaklığı, atıkların taşınma mesafeleri, kurulacak tesisin çevreye etkisi gibi kriterler öne çıkmaktadır. Yapılan literatür taraması, yasal mevzuatı destekleyecek şekilde düzenli depolama yer seçimi problemlerinde ele alınacak kriterlerin sınıflandırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ülkemizde, atık mevzuatına yönelik birçok kanun, yönetmelik ve düzenlemeler söz konusudur. Ayrıca, katı atık yönetimi ile ilgili ana ulusal mevzuatın AB mevzuatı ile uyumlaştırma çalışmaları da devam etmektedir. Atıkların Düzenli Depolanmasına dair yönetmelik 26.03.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte düzenli depolama yer seçimine ait hususlar da belirtilmektedir.

Çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için en çok kullanılan tekniklerden biri hedef programlama (HP) yöntemidir (Charnes & Cooper, 1961). Literatürde, HP yönteminin farklı karar verme problemlerinde başarıyla uygulandığı görülmektedir. Badri (1999), çalışmasında petrokimyasal tesislerinin yerlerini belirlemek ve açılan her bir üretim tesisi ile dağıtım merkezleri arasında taşınan miktarları belirlemek üzere AHP ve HP yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Bertolini ve Bevilacqua (2006), bir

petrol rafinerisinde kritik santrifüj pompalarının bakımı için en iyi stratejileri tanımlamada AHP ve öncelikli HP (Lexicographic) yaklaşımlarını birlikte kullanmaktadır. AHP ile her bir arıza tipi için olası bakım politikalarına ait (düzeltici ve önleyici) öncelik vektörü elde edilir ve HP modeli maliyet enküçüklemesi, AHP skorunun en büyüklmesi, insan gücü kullanımının en aza indirilmesi ve her bir kriter için yerel puan maksimizasyonu amaçlarını en iyileyecek şekilde oluşturulur. Özcan vd. (2017), hidroelektrik santralleri bakım stratejisi seçim problemi için, benzer etkileri olan ve güç santrallerinde kullanılan en önemli 9 ekipmanı çok kriterleri karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS ile belirlemiş, kriter ağırlıklarını AHP metodu ile elde etmiştir. Kriter ağırlıkları, alternatif öncelikleri ve santrale ait gerçekçi kısıtları dikkate alarak önerilen her ekipman için bakım stratejisi kombinasyonları HP ile elde edilir.

Bu çalışmada, problemin gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla kriterler sınıflandırılmış ve çok sayıda kriter ve alt kriterler dikkate alınarak gerçekçi bir model geliştirilmek amaçlanmıştır. Ele alınan kriterler, literatürdeki çalışmalar, yasal mevzuatlar, katı atık düzenli depolama tesisi işletme lisansı alabilmek için gerekli Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporlarında istenen şartlar ile paralellik göstermektedir. Ayrıca, literatürde AHP ve HP yöntemlerini kullanan çok sayıda çalışma olmasına rağmen, katı atık düzenli depolama yer seçimi probleminin çözümünde bu iki yöntemin birlikte kullanan herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), problemleri hiyerarşik bir yapıda ele alan ve ikili karşılaştırma mantığına dayanan çok kriterli karar verme tekniğidir (Felek vd., 2007). Yöntem, bir karar alma mekanizması olup, tahminleme yaparak karar alma faktörlerinin yüzdelik oranlarını açıklamaktadır (Saaty, 1994). AHP yönteminin uygulama adımları şu şekilde özetlenebilir.

Adım 1. Karar probleminin tanımlanması ve modelin kurulması:

AHP hiyerarşisi kurulurken, amaç üst seviyede, kriterler-1 ve kriterler-2 orta seviyede, alternatifler ise en alt seviyede olacak şekilde yerleştirme yapılır (Saaty, 2008).

Adım 2. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması:

İkili karşılaştırma matrisleri, tüm alternatiflerin tüm kriterler ile karşılaştırılması ile elde edilir. $n*n$ boyutundaki A ikili karşılaştırma matrisi; C_i kriteri ile C_j kriteri arasında 1-9 önem ölçeğine göre yapılan değerlendirmeyi ifade eder. Ölçekte kullanılan önem dereceleri (Saaty, 1980) ve bunların tanım ve açıklamaları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. AHP ölçeğinin dereceleri

Önem Ölçeği	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki seçenek eşit derecede öneme sahiptir.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmaktadır.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmaktadır.
7	Kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır.
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerlerdir.

Ölçeklendirme sonrasında ($n*n$) şeklinde ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Adım 3. Algoritma hesabı ve tutarlılık analizlerinin yapılması:

Aşama 1: İkili karşılaştırma matrislerinden normalize edilmiş matrisler elde edilir.

Aşama 2: AHP sonuçlarının geçerli olabilmesi için, her bir karşılaştırılmalı matrisin tutarlılık hesabının yapılması gerekmektedir.

Tutarlı olan bir A matrisinde, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere, kriterlerin önem ağırlıklarını gösteren W sütun vektörü hesaplanır.

Aşama 3: CI =tutarlılık indeksi, λ_{max} = maksimum özdeğer, n = matrisin boyutunu göstermek üzere;

Tutarlılık indeksi $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ eşitliğinden hesaplanır. CR =Tutarlılık oranı, RI = Rasgelelik indeksini göstermek üzere;

$CR = CI / RI$ eşitliği ile hesaplanır. RI , Tablo 5'de gösterilen değerlere göre seçilmektedir:

Tablo 5. 1-15 Ölçeğinde rasgelelik indeks değerleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tutarlılık oranının 0.1'den küçük ($CR < 0.1$) olması istenir.

Adım 4: Karar Matrisinin Oluşturulması:

Matris cebiri kullanılarak alternatiflere ait ağırlıklı puanlar elde edilir. En büyük puana (öneme) sahip alternatif en uygun alternatiftir.

3.2 Hedef Programlama

HP, karar vericiye tatmin edici bir çözüm elde etmek için birden fazla hedefi aynı anda dikkate alma imkanı sunan kullanışlı bir metottür. HP ile her hedef için arzu edilen hedef düzeyleri belirlenir, her bir hedef için amaç fonksiyonu oluşturulur ve daha sonra bu amaç fonksiyonlarının ilgili hedeflerden sapma miktarlarını en küçükleyen çözümler aranır.

Hedef programlama modelinin genel gösterimi aşağıdaki şekildedir (Tamiz ve Jones, 1996);

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I P_k (w_k^+ d_i^+ + w_k^- d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$d_i^+, d_i^-, x_j \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3)$$

Burada, x_j karar değişkenleri iken, d_i^+ , d_i^- : i . hedefe ilişkin negatif ve pozitif sapma değişkenleri, b_i : i . hedef için istenilen değer, P_k : önceliğin önem seviyesi, w_k^+ , w_k^- : k . öncelik için belirlenen ağırlık katsayıları ve a_{ij} parametrelerdir. Aynı denkleme ait, pozitif ve negatif sapma değişkenleri aynı anda pozitif değer alamaz. Hedef programlama modeli kurulduktan sonra, belirlenen değişkenler arasından pozitif veya negatif yönde sapma değişkenleri en küçüklenmeye çalışılır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada uygulama alanı olarak seçilen Ankara'da, belediyeler tarafından toplanan kentsel atıklar, Mamak ve Sincan olmak üzere il merkezinde iki adet düzenli depolama tesisinde bertaraf edilmektedir. Mamak ve Sincan-Çadırtepe düzenli depolama alanları Ankara Katı Atık Yönetimi Projesi kapsamında 49 yıl süresince ihale edilen özel bir firma tarafından işletilmektedir (T.C. ÇŞB, 2014). Ankara'da bir günde ortalama 4525 ton kentsel atık üretildiği (T.C. ÇŞB, 2016) ve şehrin nüfus ve ekonomik açıdan da hızla büyüdüğü dikkate alınır, yakın zamanda üçüncü bir düzenli depolama tesisine ihtiyaç olacağı düşünülmektedir. Önerilen AHP ve HP metotları ile; Ankara ilinde gelecekte ihtiyaç olacağı düşünülen üçüncü düzenli depolama tesisinin yerinin seçilmesinde etkili kriterlerin belirlenmesi, kriter ağırlıklarının bulunması ve alternatiflerin uygunluk derecelerinin sıralanması ve gerçekçi kısıtlar dikkate alınarak en uygun yer seçiminin yapılması hedeflenmektedir.

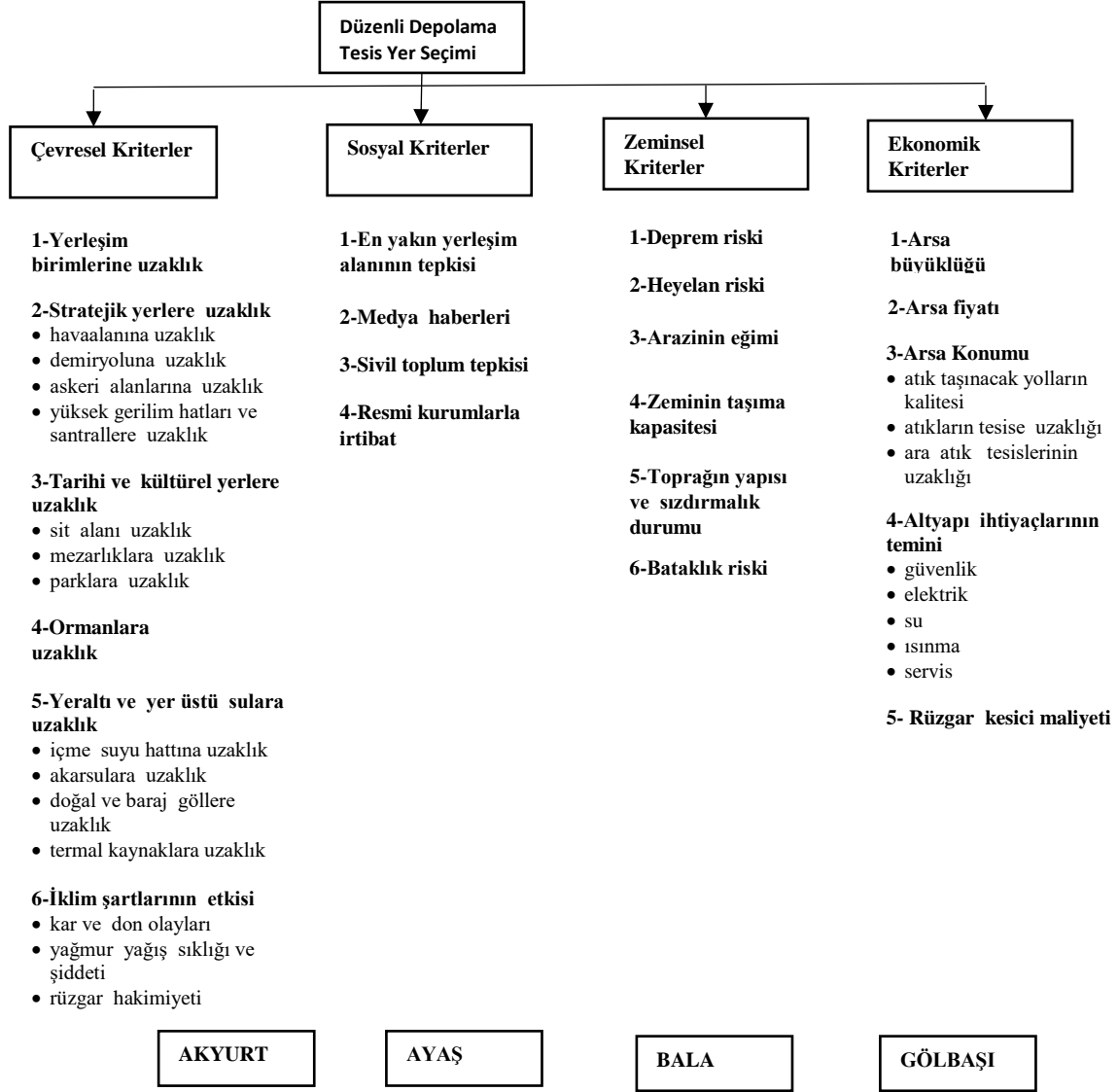
Çalışmada ana kriterler; 26/3/2010 tarihli ve 27533 sayılı Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, ÇED işleyiş sıralaması ve yapılan literatür taraması sonucu belirlenmiştir. Kriterler; çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel olmak üzere dört ana kriter altında toplanmıştır. Ana kriterler altında yirmi bir adet alt kriter-1 belirlenmiştir. Alt kriter-1'lerin altında ise yirmi üç adet alt kriter-2 seçilmiş olup model, toplam kırk sekiz adet kriter ile geniş bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Önerilen modele ait hiyerarşik yapı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Ankara için üçüncü bir düzenli depolama tesisi kuruluş yeri seçimi için, ilgili uzmanların tavsiyesi ve mevcut depolama tesislerinin konumu da dikkate alınarak, stratejik olduğu düşünülen dört alternatif yer belirlenmiştir. Bunlar; Akyurt, Ayaş, Bala ve Gölbaşı ilçeleridir. Belirlenen kriterlerin alternatif yerlere göre değerlendirmelerinde bazı kriterlerin değerleri birbirine eşit alınmıştır. Çünkü, alternatif yerler ilçe bazında belirlenmiş, tesislerin ilçelerde nerelere kurulacağı problemi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü'nden yedi, Ankara'daki düzenli depolama alanlarını yöneten özel firmadan iki uzman ile görüşmeler gerçekleştirilmiş, toplam dokuz uzmandan görüş alınmıştır. Alternatiflerin, havaalanına, demiryoluna uzaklığı, hava olayları, deprem riski gibi bilgiler gerekli kaynaklardan temin edilmiştir. İkili karar matrisleri oluşturulurken, uzmanlarla yapılan görüşme sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Kriterler arasında 11 adet, alternatif tesis yer seçenekleri ile kriterler arasında 38 adet ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Yapılan tutarlılık hesaplamaları oluşturulan tüm ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı olduğu göstermiştir.

Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi Tablo 6'da verilmektedir. Tablo 6'da, çevresel kriterlerin diğer üç kritere göre daha önemli olduğu; ekonomik kriterlerin sosyal kriterlere göre; zeminel kriterlerin ise ekonomik ve sosyal kriterlere göre daha önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca, tutarlılık değerinin de 0.022 ile 0.1'den küçük olduğu, yani karşılaştırmaların tutarlı olduğu görülmektedir.

Çevresel faktörler açısından elde edilen sonuçlar Tablo 7'de ayrıntılı olarak görülmektedir. Daha önce belirtildiği üzere, ilçelerde kuruluş yerinin tam olarak konumu belirlenmediği için çevresel faktörlerden "yerleşim yerlerine uzaklık, yüksek gerilim hatları ve santrallere uzaklık, mezarlıklara uzaklık, parklara uzaklık, içme suyu hattına uzaklık ve rüzgar hakimiyeti" kriterleri eşit önem derecesine sahip olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, alt kriterler-1 içinde iklim şartlarının etkisi 0.297 ile en fazla etkili kriter ve yerleşim birimlerine uzaklık etkisinin ise 0.142 ile en az etkili kriter olduğu görülmektedir. Ayrıca, çevresel kriterlere göre en uygun kuruluş yeri sıralaması Gölbaşı (0.138), Ayaş (0.096), Bala (0.081) ve Akyurt (0.081) ilçeleridir.



Şekil 1. Hiyerarşik Yapı

Tablo 6. Ana kriterler arası karşılaştırma matrisi

CR= 0.022 < 0.1

Ana kriterler	Çevresel kriterler	Ekonomik kriterler	Zeminsel kriterler	Sosyal kriterler
Çevresel kriterler	1	2.3	1.5	3.2
Ekonomik kriterler	0.4347	1	0.4347	2.5
Zeminsel kriterler	0.6666	2.3	1	3.4
Sosyal kriterler	0.3126	0.4	0.2941	1

Tablo 7. Çevresel kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Alt kriter-2	Akyurt (0.081)	Ayaş (0.096)	Bala (0.081)	Gölbaşı (0.138)
Çevresel Kriterler 0.395	İklim Şartlarının Etkisi 0.297	Kar, Çığ Ve Don Olayları 0.200	0.258	0.160	0.487	0.095
		Yağmur Yağış Sıklığı Ve Sel Olayları 0.464	0.129	0.159	0.152	0.560
		Rüzgar Hakimiyeti 0.336	0.250	0.250	0.250	0.250
	Ormanlara Uzaklık 0.291	-	0.132	0.272	0.062	0.534
		Askeri Alanlarına Uzaklık 0.183	0.482	0.157	0.272	0.088
		Demiryoluna Uzaklık 0.249	0.302	0.160	0.439	0.099
Stratejik Yerlere uzaklık 0.048	Havaalanına Uzaklık 0.294	0.250	0.250	0.250	0.250	

Tablo 7 (devam). Çevresel kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

	Madenlere Uzaklık 0.171	0.079	0.448	0.264	0.209
	Yüksek Gerilim Hatları Ve Santrallere Uzaklık 0.103	0.250	0.250	0.250	0.250
Tarihi Ve Kültürel Yerlere Uzaklık 0.075	Mezarlıklara Uzaklık 0.170	0.250	0.250	0.250	0.250
	Parklara Uzaklık 0.145	0.250	0.250	0.250	0.250
	Sit Alanı Uzaklık 0.685	0.119	0.307	0.503	0.071
Yeraltı Ve Yer üstü Sulara Uzaklık 0.147	Akarsulara Uzaklık 0.167	0.300	0.300	0.100	0.300
	Doğal Ve Baraj Göllere Uzaklık 0.278	0.482	0.273	0.157	0.088
	İçme Suyu Hattına Uzaklık 0.487	0.250	0.250	0.250	0.250
	Termal Kaynaklara Uzaklık 0.068	0.300	0.100	0.300	0.300
Yerleşim Birimlerine Uzaklık 0.142	-	0.250	0.250	0.250	0.250

Tablo 8'de ekonomik kriterler ile tesis yeri alternatifleri arasındaki ağırlıklar verilmektedir. Tabloda görüleceği üzere; "arsa büyüklüğü, güvenlik, elektrik, su, ısınma, servis ve rüzgar kesici maliyeti" dört alternatif yer için de eşit kabul edilmiştir. Alt kriterler-1 içinde arsa büyüklüğü etkisinin 0.308 ile en fazla etkili kriter ve rüzgar kesici maliyeti etkisinin ise 0.076 ile en az etkili kriter olduğu görülmektedir. Ayrıca, ekonomik kriterlere göre en uygun kuruluş yeri Gölbaşı (0.059) ilçesidir. Gölbaşı'nı, Akyurt (0.042), Ayaş (0.042) ve Bala (0.039) takip etmektedir.

Tablo 8. Ekonomik kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Alt kriter-2	Akyurt (0.042)	Ayaş (0.042)	Bala (0.039)	Gölbaşı (0.059)	
Ekonomik Kriterler 0.182	Arsa Büyüklüğü 0.308	-	0.250	0.250	0.250	0.250	
	Arsa Fiyatı 0.126	-	0.112	0.154	0.170	0.564	
	Arsa Konumu 0.242	Atık Taşınacak Yolların Kalitesi 0.384		0.151	0.294	0.084	0.471
		Atıkların Tesise Uzaklığı 0.428		0.351	0.112	0.112	0.425
		Ara Atık Tesislerinin Uzaklığı 0.187		0.151	0.329	0.371	0.149
	Altyapı ihtiyaçlarının temini 0.248	Güvenlik 0.333		0.250	0.250	0.250	0.250
		Elektrik 0.309		0.250	0.250	0.250	0.250
		Su 0.198		0.250	0.250	0.250	0.250
		Isınma 0.089		0.250	0.250	0.250	0.250
		Servis 0.071		0.250	0.250	0.250	0.250
Rüzgar Kesici Maliyeti 0.076	-	0.250	0.250	0.250	0.250		

Tablo 9'da sosyal kriterler ile tesis yeri alternatifleri için hesaplanan ağırlık değerleri görülmektedir. Sosyal ana kriterlerin hesaplanmasında "medya haberleri ve resmi kurumlarla irtibat" eşit ağırlıkta alınmıştır. Alt kriterler-1 içinde en yakın yerleşim alanının tepkisi 0.46 ile en etkili kriterdir. Medya haberleri kriteri 0.366, sivil toplum tepkisi 0.129 ve resmi kurumlarla irtibat ise 0.045 ağırlıktadır. Ayrıca, sosyal kriterlere göre en uygun kuruluş yeri yine Gölbaşı (0.039) olup daha sonra sırasıyla, Ayaş (0.027), Bala (0.017) ve Akyurt (0.013) gelmektedir.

Tablo 9. Sosyal kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Akyurt (0.013)	Ayaş (0.027)	Bala (0.017)	Gölbaşı (0.039)
Sosyal Kriterler 0.096	Resmi kurumlarla İrtibat 0.045	0.250	0.250	0.250	0.250
	En Yakın Yerleşim Alanının Tepkisi 0.460	0.046	0.298	0.116	0.540
	Medya Haberleri 0.366	0.250	0.250	0.250	0.250
	Sivil toplum tepkisi 0.129	0.088	0.309	0.142	0.461

Tablo 10'da zeminsel kriterler ile tesis yeri alternatifleri arasındaki ağırlıklar görülmektedir. Zeminsel ana kriterler hesaplanırken; “toprağın yapısı ve sızdırmazlığı, arazinin eğimi, bataklık riski ve zeminin taşıma kapasitesi” eşit değerde kabul edilmiştir. Alt kriterler-1 içinde toprağın yapısı ve sızdırmazlık durumu kriterinin 0.311 ile en fazla ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, zeminsel kriterlere göre en uygun kuruluş yeri Ayaş (0.093) olup daha sonra sırasıyla Akyurt (0.083), Gölbaşı (0.081) ve Bala (0.069) gelmektedir.

Tablo 10. Zeminsel kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Akyurt (0.083)	Ayaş (0.093)	Bala (0.069)	Gölbaşı (0.081)
Zeminsel Kriterler 0.327	Arazinin Eğimi 0.132	0.250	0.250	0.250	0.250
	Bataklık Riski 0.043	0.250	0.250	0.250	0.250
	Deprem Riski 0.115	0.229	0.483	0.080	0.208
	Heyelan Riski 0.128	0.300	0.300	0.100	0.300
	Toprağın Yapısı Ve Sızdırmazlık Durumu 0.311	0.250	0.250	0.250	0.250
	Zeminin Taşıma Kapasitesi 0.271	0.250	0.250	0.250	0.250

Tablo 11'de, alt kriterler-2'ye göre alternatif kuruluş yerlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Düzenli depolama tesisi yer seçiminde, Gölbaşı İlçesi'nin alt kriter-2'ler içinde, yağmur yağış sıklığı ve sel olaylarında, atık taşınacak yolların kalitesinde, atıkların tesise uzaklığında en fazla tercih edilen ilçe olduğu görülmektedir. Bala İlçesi'nin alt kriter-2 içinde; kar, çığ ve don olaylarında, demir yollarına uzaklıkta, sit alanına uzaklıkta ve ara atık tesislerine uzaklıkta en fazla tercih edilen ilçe olduğu görülmektedir. Ayaş İlçesi'nin madenlere uzaklıkta; Akyurt İlçesi'nin ise askeri alanlara uzaklık ve göllere uzaklıkta en fazla tercih edilen ilçe olduğu görülmektedir.

Tablo 11. Alt kriter-2'e göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt kriter-1	Alt kriter-2	Akyurt	Ayaş	Bala	Gölbaşı
			(%)	(%)	(%)	(%)
İklim Şartlarının Etkisi		Kar, Çığ Ve Don Olayları	5.1	3.2	9.7	1.9
		Yağmur, Yağış Sıklığı Ve Sel Olayları	5.9	7.3	7.0	25.9
		Rüzgar Hakimiyeti	8.4	8.4	8.4	8.4
Çevresel Kriterler	Stratejik Yerlere uzaklık	Askeri Alanlarına Uzaklık	8.8	2.8	4.9	1.6
		Demiryoluna Uzaklık	7.5	3.9	10.9	2.4
		Havaalanına Uzaklık	7.3	7.3	7.3	7.3
		Madenlere Uzaklık	1.3	7.6	4.5	3.5
		Yüksek Gerilim Hatları Ve Santrallere Uzaklık	2.5	2.5	2.5	2.5

Tablo 11 (devam). Alt kriter-2'e göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Çevresel Kriterler	Tarihi Ve Kültürel Yerlere Uzaklık	Mezarlıklara Uzaklık	2.5	2.5	2.5	2.5
		Parklara Uzaklık	3.6	3.6	3.6	3.6
		Sit Alanına Uzaklık	8.1	21.0	34.4	4.8
	Yeraltı Ve Yer üstü Sulara Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	5.0	5.0	1.6	5.0
		Doğal Ve Baraj Göllere Uzaklık	13.3	7.5	4.3	2.4
		İçme Suyu Hattına Uzaklık	12.1	12.1	12.1	12.1
Ekonomik Kriterler		Termal Kaynaklara Uzaklık	2.0	0.6	2.0	2.0
		Taşınacak Yolların Kalitesi	5.7	11.2	3.2	18.0
	Arsa Konumu	Atıkların Tesise Uzaklığı	15.0	4.7	4.7	18.1
		Ara Atık Tesislerinin Uzaklığı	2.8	6.1	6.9	2.7
		Güvenlik	8.3	8.3	8.3	8.3
		Elektrik	7.7	7.7	7.7	7.7
	Altyapı ihtiyaçlarının temini	Su	4.9	4.9	4.9	4.9
		Isınma	2.2	2.2	2.2	2.2
		Servis	1.7	1.7	1.7	1.7

Tablo 12'de görüldüğü üzere, çevresel ana kriterler açısından en fazla tercih edilen yerler, iklim şartlarına ve ormanlara uzaklığa göre Gölbaşı İlçesi, stratejik yerlere uzaklığa ve tarihi ve kültürel yerlere uzaklığa göre Bala İlçesi, yeraltı ve yer üstü sulara uzaklığa göre Akyurt İlçesidir. Yerleşim yerlerine uzaklık kriterinin bütün alternatifler için eşit değerde olduğu varsayılmıştır. Ekonomik ana kriterlerin içinde en fazla tercih edilen alternatif, arsa fiyatlarına ve arsa konumuna göre Gölbaşı İlçesidir. Sosyal ana kriterler açısından en fazla tercih edilen alternatif, en yakın yerleşim yerinin ve sivil toplumun tepkisine göre yine Gölbaşı İlçesidir. Zeminsel ana kriterler açısından ise deprem riskine göre en fazla tercih edilen yer Ayaş İlçesidir.

Tablo 12. Alt kriter-1'e göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt kriter-1	Akyurt (%)	Ayaş (%)	Bala (%)	Gölbaşı (%)
Çevresel Kriterler	İklim Şartlarının Etkisi	5.8	5.6	7.5	10.8
	Ormanlara Uzaklık	3.8	7.9	1.8	15.5
	Stratejik Yerlere Uzaklık	1.3	1.2	1.5	0.8
	Tarihi Ve Kültürel Yerlere Uzaklık	1.2	2.2	3.2	1.0
	Yeraltı Ve Yer üstü Sulara Uzaklık	4.8	3.7	3.0	3.2
	Yerleşim Birimlerine Uzaklık	3.6	3.6	3.6	3.6
Ekonomik Kriterler	Arsa Büyüklüğü	7.7	7.7	7.7	7.7
	Arsa Fiyatı	1.4	1.9	2.1	7.1
	Arsa Konumu	5.7	5.4	3.6	9.5
	Altyapı İhtiyaçlarının Temini	6.2	6.2	6.2	6.2
	Rüzgar Kesici Maliyeti	1.9	1.9	1.9	1.9
Sosyal Kriterler	Resmi Kurumlarla İrtibat	1.1	1.1	1.1	1.1
	En Yakın Yerleşim Yerinin Tepkisi	2.1	13.7	5.3	24.8
	Medya Haberleri	9.2	9.2	9.2	9.2
	Sivil Toplumun Tepkisi	1.1	4.0	1.8	5.9
Zeminsel Kriterler	Arazinin Eğimi	3.3	3.3	3.3	3.3
	Bataklık Riski	1.1	1.1	1.1	1.1
	Deprem Riski	2.6	5.6	0.9	2.4
	Heyelan Riski	3.8	3.8	1.3	3.8
	Toprağın Yapısı ve Sızdırmazlık Durumu	7.8	7.8	7.8	7.8
	Zeminin Taşıma Kapasitesi	6.8	6.8	6.8	6.8

Sonuç olarak, AHP yaklaşımı ile en uygun düzenli depolama kuruluş yeri Gölbaşı (0.317) ilçesi olarak belirlenmiştir (Tablo 13). Gölbaşı ilçesinden sonra sırasıyla Ayaş (0.258), Akyurt (0.219) ve Bala (0.206) ilçeleri gelmektedir. Ayrıca, çevresel faktörler ana kriterinin, 0.396 ağırlığı ile en önemli kriter olduğu tespit edilmiştir. Çevresel faktörlerden sonra, kuruluş yerinde etkili olan diğer kriterler sırasıyla zeminsel kriterler (0.326), ekonomik kriterler (0.182) ve sosyal kriterler (0.096) şeklinde sıralanmaktadır.

Tablo 13. Ana kriterlere göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Kriterler	Akyurt (0.219)	Ayaş (0.258)	Bala (0.206)	Gölbaşı (0.317)	Ağırlık
Çevresel Ana Kriterler	0.081	0.096	0.081	0.138	0.396
Ekonomik Ana Kriterler	0.042	0.042	0.039	0.059	0.182
Sosyal Ana Kriterler	0.013	0.027	0.017	0.039	0.096
Zeminsel Ana Kriter	0.083	0.093	0.069	0.081	0.326

Ancak, Ankara’da kurulu mevcut tesisler de dikkate alınarak, üretilen katı atık miktarını karşılayacak kapasiteye sahip yeni tesislerin açılması kararı verilmelidir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016 Çevre Durum Raporu’na göre Ankara’da yıllık ortalama 4525 ton katı atık üretilmektedir. TÜİK Belediye Atık istatistikleri (2016) verisine göre, ülke çapında düzenli depolama tesisine gönderilerek bertaraf edilen atık yüzdesi 61.2 olarak verilmektedir. Aynı oran Ankara ili için de geçerli sayılabilir. Bu durumda Ankara’da üretilen günlük toplam 2769,3 ton, yıllık 1.010.794,5 ton atık düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilmektedir. Ankara’da kurulu olan mevcut Sincan ve Mamak tesislerinde, bu atığın yılda 600,000 tonu gazlaştırma-yakma ve nihai depolama yolları ile bertaraf edilebildiği dikkate alındığında, bertaraf edilmesi gereken yıllık ortalama 400,000 ton daha katı atık kalmaktadır. Açılacak tesis/tesislerin bu talebi karşılayacak kapasitede olması gereklidir. Ancak tesisin büyüklüğü ile kurulum ve işletme faaliyetleri arasındaki ilişki de göz önüne alınmalıdır. HP modelinde ele alınan amaçlarından biri toplam maliyetin en küçüklenmesi olacaktır. Bu durumda, her bir ilçede açılacak küçük ve büyük ölçekli 2 farklı düzenli depolama tesisi alternatifi önerilmektedir. Tesislere ait sabit maliyet, işletme maliyeti ve kapasite bilgileri Tablo 14’te verilmektedir.

Literatürde, tesisler istenilen ve istenilmeyen tesisler olarak kategorize edilmektedir (Rodriguez vd., 2006). İstenilmeyen tesisler arasında çöp toplama sahaları, depolama sahaları, kimyasal tesisler, nükleer reaktörler ve katı atık tesisleri yer almaktadır (Colebrook ve Sicilia, 2007). Bu tesisler halk sağlığı ve güvenliği için potansiyel risk içerir. Dolayısıyla HP modelinde dikkate alınan ikinci amaç, katı atık düzenli depolama merkezleri etrafında yaşayan toplam nüfus için riski en aza indirmek olmalıdır. Bu risk “saha riski” olarak isimlendirilir (Samanlioglu, 2013). Tablo 15, seçilen alternatif ilçelere ait 2017 yılı toplam nüfusu ve ilçe bazında nüfus yoğunluğunu göstermektedir (TÜİK, 2017). HP modelinde dikkate alınan 3. amaç ise alternatiflerin toplam sosyal, ekonomik, çevresel ve zeminsel puanından oluşan ağırlıklı bir toplam hedefi en büyüktür.

Tablo 14. Yeni kurulacak tesislerin maliyet (Yetis & Lenkaitis, 2005) ve kapasite bilgileri

Bertaraf Merkezi	Sabit maliyet (€/ton)	İşletme Maliyetleri (€/ton*yıl)	Kapasitesi (ton/yıl)
Küçük	9	2.25	50bin
Büyük	22	5.5	200bin

Tablo 15. Alternatif ilçelere ait nüfus bilgileri

İlçe	Nüfus (kişi)	Nüfus Yüzdesi (%)
Akyurt	32.863	16,665
Ayaş	12.289	6,232
Bala	21.682	10,995
Gölbaşı	130.363	66,108
Toplam	197.197	

Tüm bu bilgiler ışığında kurulan HP modeli aşağıda verilmektedir.

$$\text{Min } Z = P_1(d_1^+) + P_2(d_2^+) + P_2(d_2^-) + P_3(d_3^+) \quad (4)$$

Kısıtlar:

$$1800000 \sum_{i=1}^4 x_{i1} + 8800000 \sum_{i=1}^4 x_{i2} + 450000 \sum_{i=1}^4 x_{i1} + 2200000 \sum_{i=1}^4 x_{i2} - d_1^+ + d_1^- = 4500000 \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^4 C_{1k} W_k(\sum_{j=1}^2 x_{1j}) + \sum_{k=1}^4 C_{2k} W_k(\sum_{j=1}^2 x_{2j}) + \sum_{k=1}^4 C_{3k} W_k(\sum_{j=1}^2 x_{3j}) + \sum_{k=1}^4 C_{4k} W_k(\sum_{j=1}^2 x_{4j}) - d_2^+ + d_2^- = 0.208199 \quad (6)$$

$$(0.043673X_{11}+0.043673X_{12}+0.051284X_{21}+0.051284X_{22}+0.043055X_{31}+0.043055X_{32}+0.070187X_{41}+0.070187X_{42}-d_2^++d_2^- = 0.208199)$$

$$0.167 \sum_{j=1}^2 x_{1j} + 0.062 \sum_{j=1}^2 x_{2j} + 0.11 \sum_{j=1}^2 x_{3j} + 0.661 \sum_{j=1}^2 x_{4j} - d_3^+ + d_3^- = 0.23 \quad (7)$$

$$200000 \sum_{i=1}^4 x_{i1} + 400000 \sum_{i=1}^4 x_{i2} \geq 400000 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^2 x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \text{ ve tamsayı} \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$d_1^+, d_1^-, d_2^+, d_2^-, d_3^+, d_3^- \geq 0$$

Burada;

x_{ij} : i . ninci alternatifte açılacak j . tip tesisi ($i=1,2,3,4$ ve $j=1,2$) gösteren karar değişkeni

C_{ik} : AHP ile elde edilen i . nin alternatifin k . kritere göre ağırlığı ($k=$ çevresel, ekonomik, sosyal, zeminel)

W_k : AHP ile elde edilen k . kriterin ağırlığı ($k=$ çevresel, ekonomik, sosyal, zeminel) parametreleridir.

Amaç fonksiyonu (4. Kısıt) belirlenen hedeflerden toplam sapmaları en küçüklemeyi amaçlar. 5. Kısıt kurulum ve işletme maliyetlerini içeren toplam maliyet kısıtıdır. Kurulacak tesislerin tam kapasite ile çalıştıkları varsayımı altında belirlenen maliyet parametreleri ile edilen toplam tutarın hedef değeri en az miktarda aşması istenmektedir. 6. Kısıt alternatiflerin toplam sosyal, ekonomik, çevresel ve zeminel puanından oluşan ağırlıklı bir toplam hedefi en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Kriterlerin ağırlıkları ve alternatiflerin kriterlere göre ağırlıkları AHP tarafından hesaplanmaktadır. 7. Kısıt nüfusa bağlı saha riskinin belirlenen hedef değeri en az miktarda aşmasını amaçlar. 8 numaralı kısıt açılacak tesislerin kapasitesinin toplam talebi karşılama sağlar. Kısıt 9, her ilçede yalnızca bir tesisin açılması garanti eder. 10 numaralı kısıtlar ise karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı olması ve sapma değişkenlerinin negatif olmamasını garanti eden kısıtlardır.

Önerilen 0-1 tamsayı hedef programlama modeli için çözümler CPLEX (version 12.6) kullanılarak elde edilmiştir. HP modelinde açıklanan kısıtlara ait hedef değerler, modelin her bir amaç ile ayrı ayrı çözümü ile elde edilmiştir. HP modelinin çözümü için her bir hedefin (P_1, P_2, P_3) ağırlığının bilinmesi gerekir, bu nedenle önceliklerin en iyi değerlerinin kombinasyonunu bulmak için ağırlık duyarlılığı analizi yapılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 16'da gösterilmektedir. Yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre en az toplam sapma değerini veren çözüm Durum 1'de gösterilen ağırlık değerlerinin kullanılması ile elde edilmektedir. Bu değerler ile çözülen HP modeli ile, Akyurt ve Gölbaşı ilçelerinde küçük boyutlu iki tesis açılması gerektiği sonucu elde edilmektedir. Durum 1'de en yüksek öncelik değerinin maliyet kriterine atanması nedeni ile toplam kapasiteyi karşılayacak şekilde küçük boyutlu iki tesisin açılması önerilir. AHP'den gelen $C_{ik}W_k$ değerlerinde Gölbaşı (0.070187) ve Akyurt (0.051284) ilçelerinin en yüksek ağırlık değerlerine sahip olması ve nüfus yoğunluğu en yüksek ilçenin Gölbaşı alternatifi olmasına rağmen saha riskinin ağırlık değerinin "0" olması sebebiyle elde edilen bu sonucun anlamlı olduğu ve AHP ile elde edilen sonuçlarla da uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 16. En iyi ağırlık değerinin bulunması için duyarlılık analizi

Durum	d_1^+	d_2^+	d_2^-	d_3^+	Toplam sapma	Durum	d_1^+	d_2^+	d_2^-	d_3^+	Toplam sapma
1	0.9	0.1	0.1	0	0.008673	29	0.4	0.4	0.4	0.2	0.067544
2	0.9	0	0	0.1	0.01100	30	0.33	0.33	0.33	0.33	0.0738738
3	0.9	0.05	0.05	0.05	0.01119	31	0.3	0.7	0.7	0	0.0607096
4	0.8	0.2	0.2	0	0.0173456	32	0.3	0	0	0.7	0.077
5	0.8	0	0	0.2	0.022	33	0.3	0.4	0.4	0.3	0.078544
6	0.8	0.1	0.1	0.1	0.022386	34	0.3	0.3	0.3	0.4	0.078158
7	0.7	0.3	0.3	0	0.0260184	35	0.3	0.6	0.6	0.1	0.079316
8	0.7	0	0	0.3	0.033	36	0.3	0.1	0.1	0.6	0.077386
9	0.7	0.2	0.2	0.1	0.033772	37	0.3	0.5	0.5	0.2	0.07893
10	0.7	0.1	0.1	0.2	0.033386	38	0.3	0.2	0.2	0.5	0.077772
11	0.6	0.2	0.2	0.2	0.044772	39	0.2	0.4	0.4	0.4	0.089544
12	0.6	0	0	0.4	0.044	40	0.2	0.6	0.6	0.2	0.090316
13	0.6	0.4	0.4	0	0.0346912	41	0.2	0.2	0.2	0.6	0.088772
14	0.6	0.3	0.3	0.1	0.045158	42	0.2	0.5	0.5	0.3	0.08993
15	0.6	0.1	0.1	0.3	0.044386	43	0.2	0.3	0.3	0.5	0.089158
16	0.5	0.5	0.5	0	0.043364	44	0.2	0.7	0.7	0.1	0.090702
17	0.5	0	0	0.5	0.043364	45	0.2	0.1	0.1	0.7	0.088386
18	0.5	0.25	0.25	0.25	0.055965	46	0.2	0.8	0.8	0	0.0693824
19	0.5	0.3	0.3	0.2	0.056158	47	0.2	0	0	0.8	0.088
20	0.5	0.2	0.2	0.3	0.055772	48	0.1	0.9	0.9	0	0.0780552
21	0.5	0.4	0.4	0.1	0.056544	49	0.1	0	0	0.9	0.099
22	0.5	0.1	0.1	0.4	0.055386	50	0.1	0.45	0.45	0.45	0.100737
23	0.4	0.6	0.6	0	0.0520368	51	0.1	0.6	0.6	0.3	0.101316
24	0.4	0	0	0.6	0.066	52	0.1	0.3	0.3	0.6	0.0100158
25	0.4	0.3	0.3	0.3	0.067158	53	0.1	0.7	0.7	0.2	0.101702
26	0.4	0.5	0.5	0.1	0.06793	54	0.1	0.2	0.2	0.7	0.099772
27	0.4	0.1	0.1	0.5	0.066386	55	0.1	0.8	0.8	0.1	0.102088
28	0.4	0.2	0.2	0.4	0.066772	56	0.1	0.1	0.1	0.8	0.099386

Ayrıca, modelde yalnızca maliyetin ekçüklenmesi amaçlanır ise Akyurt ve Ayaş ilçelerinde küçük kapasiteli tesislerin açılması; alternatiflerin kriterler bazında toplam ağırlıklarının en büyüklenmesi amaçlanır ise tüm 4 ilçede büyük kapasiteli 4 tesisin kurulması ve yalnızca saha riskinin en küçüklenmesi amaçlandığında ise Ayaş ilçesinde büyük kapasiteli bir tesisin kurulması kararı verilmektedir.

5. SONUÇ

Çalışmada, katı atık düzenli depolama tesisi yer seçimi probleminin çözümü için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yaklaşımı ve HP metodu birlikte kullanılmıştır. Uygulama, düzenli depolama tesisinde bertaraf edilecek atık miktarını karşılamak için gelecekte yeni bir düzenli depolama tesisine ihtiyaç duyulacağı düşünülen Ankara ili için yapılmıştır. Uzman görüşleri dikkate alınarak Ankara ilinde 4 alternatif yerleşim yeri ilçe bazında belirlenmiştir. Yer seçiminin gerçekçi bir şekilde yapılabilmesi için literatürde yer alan kriterler, yasalar, mevzuatlar sınıflandırılarak, çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir. Bu ana kriterlerle ilişkili 21 adet alt kriter-1 ve alt kriterler-1 ile direkt bağlantılı 23 adet alt kriter-2 olmak üzere toplamda 48 adet kriter ile geniş bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur.

AHP yöntemi ile kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarının hesaplanması sonucu en uygun düzenli depolama tesis kurulum yeri sırasıyla Gölbaşı (0.317), Ayaş (0.258), Akyurt (0.219) ve Bala (0.206) ilçeleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en uygun düzenli depolama tesis yeri, çevresel, ekonomik ve sosyal ana kriterler açısından Gölbaşı, zeminel ana kriterler açısından ise Ayaş ilçesi olarak tespit edilmiştir. Sisteme ait gerçek durumu daha iyi yansıtabilmek adına HP modeli geliştirilmiş, modelde kapasite kısıtları altında toplam maliyet, AHP kısıtı ve saha riski kısıtları dikkate alınmıştır. Problemin sonucunu doğrudan etkileyen kriterlere ait önceliklerin en iyi değerlerinin belirlenmesi için de duyarlılık analizi çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçların anlamlı ve AHP yöntemi sonuçları ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, ilçelerdeki alternatif kuruluş yerlerinin belirlenmesi probleminde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması ile daha detaylı bir çalışma yapılabileceği düşünülmektedir. CBS kullanılması ile kurulması planlanan merkezlerin yerlerinin tam olarak belirlenebileceği ve yerlerin farklı kriterler açısından değerlendirilmesinin kolaylıkla yapılabileceği düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Alpaslan, M.N. (2005). Katı Atık Yönetiminin Temel Prensipleri. Alpaslan, M.N. (Eds). Katı Atık Yönetimi içinde (ss. 1-10). İzmir: Emre Basımevi.
- Badri, M.A., (1999). Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *Int. J. Production Economics*, 62, 237-248.
- Banar, M., Acar, I.P., Özkan, A., & Köse, B.M. (2006). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Kullanılarak Katı atık Düzenli Depolama Saha Yer Seçimi. *Katı Atık ve Çevre Dergisi*, 63, 17-27.
- Beltran, P.A., Fernando, J.P.P., Garcia, F.G., & Agullo A.P. (2010). 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.
- Bertolini, M., & Bevilacqua, M. (2006). A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 839–848.
- Carroll, S., Goonetilleke, A., & Dawes, L. (2004). Framework for Soil Suitability Evaluation for Sewage Effluent Renovation. *Environmental Geology*. 46(2), 195–208.
- Chang, N.B., Parvathinathan, G., & Breeden, J.B. (2008). Combining GIS with Fuzzy Multicriteria Decision-Making for Landfill Siting in A Fast Growing Urban Region. *Journal of Environmental Management*, 87, 139-153.
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1961). *Management model and industrial application of linear programming*. New York: Wiley.
- Cheng, S., Chan, C.W., & Huang, G.H. (2003). An Integrated Multi-Criteria Decision Analysis and Inexact Mixed Integer Linear Programming Approach for Solid Waste Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16 (5–6), 543–554.
- Colebrook, M., & Sicilia, J., (2007). Undesirable facility location problems on multi criteria networks. *Computers & Operations Research*, 34, 1491–1514.
- De Feo, G., & De Gisi, S. (2010). Using an Innovative Criteria Weighting Tool for Stakeholders Involvement to Rank MSW Facility Sites with the AHP. *Waste Management*, 30 (11), 2370–2382.
- Dipanjan, S., Vinod, T., & Onkar, D. (1997). Ranking Potential Solid Wastes Disposal Sites Using Geographic Information System Techniques and AHP. *National Seminar on Applications of GIS for Solving Environmental Problems*, Chennai, 98-106.

- Ekmekçiöğlü, M., Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Fuzzy Multicriteria Disposal Method and Site Selection for Municipal Solid Waste. *Waste Management*, 30, 1729-1736.
- Erkut, E., & Moran, S. (1991). Locating Obnoxious Facilities in The Public Sector: An Application of the Analytic Hierarchy Process to Municipal Landfill Siting Decisions. *Socio-Economic Planning Sciences*, 25 (2), 89–102.
- Felek, S., Yuluğkural, Y., & Aladağ, Z. (2007). Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Tahmininde AHP ve ANP Yöntemlerinin Kıyaslanması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(1), 8.
- Gorsevski, P.A., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D., Joseph, P., & Frizado, J.P. (2011). Integrating Multicriteria Evaluation Techniques with Geographic Information Systems for Landfill Site Selection: A case study using ordered weighted average, *Article in Waste Management*. *Waste Management*, 32,287–296.
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). Choosing a Solid Waste Management System Using Multicriteria Decision Analysis. *European Journal of Operational Research*, 98,19-36.
- Kapepula, K.M., Colson, G., & Sabri, K. (2007). A Multiple Criteria Analysis for Household Solid Waste Management in the Urban Community of Dakar. *Waste Management*, 27(11), 1690–1705.
- Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., & Moussiopoulos, N. (2004). Facility Location for Solid Waste Management Through Compilation and Multicriterial Ranking of Optimal Decentralised Scenarios: A Case Study for the Region of Peloponnes in Southern Greece, *Engineering Research*,1, 7–18.
- Khan, S., & Faisal, M.N. (2008). An Analytic Network Process Model for Municipal Solid Waste Disposal Options. *Waste Management*, 28, 1500-1508.
- Kirimi, F.K., & Waithaka, E.H. (2014). Determination of Suitable Landfill Site Using Geospatial Techniques and Multi-Criteria Decision Analysis: A Case Study of Nakuru Town. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3 (11), 500-505.
- Kumar, V., Yadav, K., & Rajamani, V. (2014). Selection of Suitable Site for Solid Waste Management in Part of Lucknow City, Uttar Pradesh using Remote Sensing, GIS and AHP Method. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(3), 1461-1472.
- Massam, B.H. (1991). The Location of Waste Transfer Stations in Ashdod, Israel, Using a Multi-Criteria Decision Support System. *Geoforum*, 22(1), 27–37.
- Norese, M.F. (2006). ELECTRE III as a Support for Participatory Decision-Making on the Localisation of Waste-Treatment Plants. *Land Use Policy*, 23, 76–85.
- Ohman, K.V.H., Hettiaratchi, J.P., Ruwanpura, J., Balakrishnan, J., & Achari, G. (2007). Development of A Landfill Model to Prioritize Design and Operating Objective. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135, 85-97.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410–1423.
- Palabıyık, H. (2001). *Belediyelerde Kentsel Katı Atık Yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneği*. Yayımlanmış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Pires, A., Chang, N., & Martinho, G. (2011). An AHP-based Fuzzy Interval TOPSIS Assessment for Sustainable Expansion of the Solid Waste Management System in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56, 7-21.
- Pradhan, U.P. (2008). *Sustainable solid waste management in a mountain ecosystem: Darjeeling, West Bengal, India*. Master Thesis, University of Manitoba Faculty of Graduate Studies, Manitoba.
- Queiruga, D., Walther, G., Benito, J.G., & Spengler, T. (2008). Evaluation of Sites for The Location of WEEE Recycling Plants in Spain. *Waste Management*, 28(1), 181-190.
- Raisi, S.A., Sulaiman, H., Abdallah, O., & Suliman, F. (2014). Landfill Suitability Analysis Using AHP Method and State of Heavy Metals Pollution in Selected Landfills in Oman. *European Scientific Journal*,10(17), 309-326.
- Resmi Gazete, 26 Mart 2010, Sayı : 27533 Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığında: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

- Rodriguez, J.J.S., Garcia, C.G., Perez, J.M., & Casermeiro, E.M. (2006). A general model for the undesirable single facility location problem. *Operations Research Letters*, 34, 427–436.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, ABD.
- Saaty, T.L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process Interfaces, 24(6), 19-43.
- Saaty, T.L. (2008). Decision Making with The Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Samanlioglu, F., (2013). A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 226, 332–340.
- Shariati, S., Yazdani, A., Salsani, A., & Tamosaitiene, J. (2014). Proposing a New Model for Waste Dump Site Selection: Case Study of Ayerma Phosphate Mine. *Engineering Economics*, 25(4), 410-419.
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for Landfill Site Selection: A Case Study in The Lake Beyşehir Catchment Area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30, 2037-2046.
- Şener, Ş., Şener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid Waste Disposal Site Selection with GIS and AHP Methodology: A Case Study in Senirkent–Uluborlu (Isparta). *Turkey Environ Monit Assess*, 173, 533–554.
- Tamiz, M. & Jones, D.F. (1996). An Overview of Current Solution Methods and Modelling Practices N Goal Programming”, *Multi Objective Programming and Goal Programming: Theories and Applications*, Springer-Verlag, Germany, 198-211.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-Criteria GIS-based Siting of an Incineration Plant for Municipal Solid Waste Management, 31(9), 1960-72.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-135633-1, NewYork.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi Ve İşletme Klavuzu, (2014).
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, (2016). Çevre Durum Raporu (Çevre Durum Raporu 2016 yılı Özeti-İller).
- Tuzkaya, G., Önüt, S., Tuzkaya, U.R., & Gülsün, B. (2008). An Analytic Network Process Approach for Locating Undesirable Facilities: An Example from Istanbul, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 88, 970–984.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Belediye Atık İstatistikleri, (2016). Sayı: 24876, 29 Kasım 2017. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24876>.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Ankara İlçelere göre Nüfus İstatistikleri, (2017). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Vaillancourt, K., & Waaub, J.P. (2002). Environmental Site Evaluation of Waste Management Facilities Embedded into EUGENE Model: A Multicriteria Approach. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 436–448.
- Vego, G., Kucar, D.S. & Koprivanac, N. (2008). Application of Multi-Criteria Decision-Making on Strategic Municipal Solid Waste Management in Dalmatia, Croatia, *Waste Management*, 28, 2192-2201.
- Younes, M.K., Basri, N.E.A., Nopiah, Z.M., Basri, A., & Abushammala, M.F.M. (2015). Use of a Combination of MRSS-ANP for Making an Innovative Landfill Siting Decision Model. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, Article ID 381926, 13 pages, doi:10.1155/2015/381926.
- Yetis, U., & Lenkaitis, R. (2005). Directive Specific Plan for the Council Directive on Hazardous Waste. MoEF. Ankara: Invest Planners.
- Wang, G., Qin, L., & Li, Q. (2009). Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2414–2421.