

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
AKILLI SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**KARARSIZ BULANIK ÇKKV YAKLAŞIMI İLE E-ATIK
TOPLAMA KUTULARI İÇİN CBS TABANLI YER SEÇİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşegül ŞAHİN

Danışman

Doç. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşegül ŞAHİN tarafından, Doç. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI danışmanlığında hazırlanan “KARARSIZ BULANIK ÇKKV YAKLAŞIMI İLE E-ATIK TOPLAMA KUTULARI İÇİN CBS TABANLI YER SEÇİMİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 13/10/2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Aziz ŞİŞMAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Arazi Yönetimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Aycan PEKPAZAR Samsun Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye (Danışman)	Doç. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yöneylem Araştırması Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

19 / 06 / 2023
Ayşegül ŞAHİN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : KARARSIZ BULANIK ÇKKV YAKLAŞIMI İLE E-ATIK TOPLAMA KUTULARI İÇİN CBS TABANLI YER SEÇİMİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 19/06/2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 17

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

19 / 06 / 2023
Doç. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI

ÖZET

KARARSIZ BULANIK ÇKKV YAKLAŞIMI İLE E-ATIK TOPLAMA KUTULARI İÇİN CBS TABANLI YER SEÇİMİ

Ayşegül ŞAHİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Akıllı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ekim/2023

Danışman: Doç. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI

Teknolojinin gelişimine ve farklı alanlara yayılmasına bağlı olarak teknolojik alet kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Kullanım ömrünü tamamlayan teknolojik aletler ise elektronik atık adı verilen atık türünün çoğalmasına sebep olmaktadır. İçerdikleri zararlı maddeler sebebiyle geri dönüşümü veya bertarafı yetkili kuruluşlar tarafından kontrollü şekilde yapılamadığı takdirde e-atıklar havaya, toprağa ve suya karışarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Bunun yanı sıra e-atıklar içerdikleri değerli madenler sebebiyle geri dönüşümü ile ekonomiye katkı sağlamaktadır. Resmi Gazete’de yayımlanan Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliğince bu atıklar 6 grupta incelenmektedir. Bu çalışmada Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından, 3. ve 4. kategoride yer alan elektrikli ve elektronik atıkların toplanmasında 2015 yılında yetkilendirilmiş kuruluş olan Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği’nin sorumlu olduğu e-atık kutuları için Samsun iline bağlı Atakum ilçesinde en uygun yerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda öncelikle alanında uzman beş kişinin desteği ve literatürdeki çalışmalar doğrultusunda e-atık kutularının konumlandırılmasında önem arz eden dokuz kriter belirlenmiştir. Ardından bu kriterler Kararsız Bulanık SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla veri setleri oluşturulup, her bir kriter için haritalar elde edilmiştir. Haritalar oluşturulurken Öklid Mesafe Analizi ve Kernel Yoğunluk Analizi kullanılmıştır. Akabinde haritalar 0 ile 1 arasında normalize edilmiş ve kriter ağırlıkları dikkate alınarak ağırlıklı toplam yöntemi ile uygunluk haritası oluşturulmuştur. Bu harita ile e-atık toplama kutuları için alternatif noktalar elde edilmiştir. Elde edilen alternatif noktalar TOPSIS yöntemi ile sıralanmış ve son aşamada kriter ağırlıklarındaki değişimin alternatiflerin sıralamasını nasıl etkilediğini görebilmek adına iki farklı senaryo ile duyarlılık analizi yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: E-atık, Kararsız Bulanık SWARA, CBS, TOPSIS

ABSTRACT

GIS-BASED SITE SELECTION FOR E-WASTE COLLECTION BINS WITH HESITANT FUZZY MCDM APPROACH

Ayşegül ŞAHİN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Intelligent Systems Engineering

Master, October/2023

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI

Due to the development of technology and its spread to different areas, the use of technological devices has been increasing rapidly in recent years. Technological devices that have completed their useful life cause an increase in the type of waste called electronic waste. E-waste threatens human health by mixing with air, soil and water if its recycling or disposal cannot be carried out in a controlled manner by authorized institutions due to the harmful substances they contain. On the other hand, e-waste contributes to the economy by recycling due to the precious metals they contain. According to the Regulation on the Control of Waste Electrical and Electronic Equipment published in the Official Gazette, these wastes are examined in 6 groups. In this study, it is aimed to determine the most suitable locations in Atakum district of Samsun province for e-waste bins, which are responsible for the Turkish Informatics Industry Association, which is the organization authorized in 2015 by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change to collect electrical and electronic waste in the 3rd and 4th categories. In this regard, first of all, with the support of five leading experts and in line with studies in the literature, nine criteria that are important in positioning e-waste bins were determined. Then, these criteria were weighted with the Hesitant Fuzzy SWARA method. Afterwards, data sets were created with the help of Geographic Information Systems (GIS) and maps were obtained for each criterion. Euclidean Distance and Kernel Density Estimation were used when creating the maps. Subsequently, the maps were normalized between 0 and 1, and a suitability map was created using the weighted sum method, taking into account the criterion weights. Alternative points for e-waste collection bins were obtained with this map. The obtained alternative points were ranked with the TOPSIS method, and in the last part, sensitivity analysis was conducted with two different scenarios in order to see how the change in criteria weights affected the ranking of the alternatives.

Keywords: E-waste, Hesitant Fuzzy SWARA, GIS, TOPSIS

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Gerek lisans eğitimim gerekse lisansüstü eğitimin boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman motive ederek yardımcı olan, bilgisi ve tecrübesi ile ilham olan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Aslı ÇALIŞ BOYACI'ya, çalışma sürecimde desteklerini esirgemeyen ve yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Aziz ŞİŞMAN'a, tezimin son şeklini almasında katkıları olan Dr. Öğr. Üyesi Aycan PEKPAZAR'a ve beni her zaman destekleyen ve yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayşegül ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. ATIKLAR	3
2.1. Katı Atıklar	5
2.1.1. Evsel Atıklar	6
2.1.2. Endüstriyel Atıklar	6
2.1.3. Tehlikeli Atıklar	6
2.1.4. Tıbbi Atık	6
2.1.5. Tarımsal Atık	8
2.1.6. Özel Atıklar	8
2.1.7. İnşaat ve Moloz Atıkları	8
2.2. Sıvı Atıklar	8
2.3. Gaz Atıklar	9
2.4. Atık Yönetimi	9
3. E-ATIK	11
3.1. E-atık Çeşitleri	11
3.2. E-atık Üretimi	12
3.3. E-Atık Yönetimi	14
3.3.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)	14
3.3.2. Malzeme Akış Analizi (MAA)	14
3.3.3. Çoklu Kriter Analizi (ÇKA)	15
3.3.4. Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (GÜS)	15
3.4. E-atık Yönetimindeki Direktifler	15
3.4.1. Basel Sözleşmesi	15
3.4.2. WEEE ve RoHS Direktifleri	16
3.4.3. Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar (AEEE/WEEE) Direktifi	16
3.4.4. RoHS Direktifi	18
3.5. E-Atık Bileşenleri ve Etkileri	18
3.6. E-Atık Geri Dönüşümü	20
4. LİTERATÜR TARAMASI	23
5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	27
5.1. Karar verme	27
5.1.1. Karar Verme Süreci	27
5.1.2. Karar Verme Modelleri	27
5.1.3. Çok Kriterli Karar Verme	28
5.1.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	29
6. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER	33
6.1. Bulanık Mantık	33
6.2. Bulanık Kümeler	33
6.2.1. Üyelik Fonksiyonları	34
6.3. Kararsız Bulanık Kümeler	36
6.3.1. Kararsız Bulanık SWARA	36
7. CBS (COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ)	39
7.1. CBS Bileşenleri	39

7.1.1. Donanım.....	40
7.1.2. Yazılım.....	40
7.1.3. Veri	40
7.1.4. İnsan.....	40
7.1.5. Yöntem.....	41
7.2. CBS’de Veri Modelleri.....	41
7.2.1. Vektör Veri Modeli.....	41
7.2.2. Raster Veri Modeli.....	41
8. UYGULAMA.....	43
8.1. Problemin Tanımlanması ve Kriterlerin Belirlenmesi	44
8.2. Kriterler Ağırlıklarının Belirlenmesi	47
8.3. Kriter Haritaların Oluşturulması	50
8.4. Alternatif Noktaların Sıralanması	55
8.5. Duyarlılık Analizi	57
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKÇA.....	61
ÖZ GEÇMİŞ.....	69



SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AEEE	: Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	: Analytic Network Process (Analitik Ağ Süreci)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKA	: Çoklu Kriter Analizi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı)
E-atık	: Elektronik Atık
EEE	: Elektrikli ve Elektronik Eşya (Electrical and Electronic Equipment)
GRA	: Gray Relational Analysis (Gri İlişkisel Analiz)
GÜS	: Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu
HFLWA	: Hesitant Fuzzy Linguistic Weighted Averaging
KBDTS	: Kararsız Bulanık Dilsel Terim Setleri
Kt	: Kilo Ton
MAA	: Malzeme Akış Analizi
MOORA	: Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis (Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon)
Mt	: Milyon Ton
PROMETHEE	: The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi)
RoHS	: The Restriction of the Use of Certain Hazardous in Electrical and Electronic Equipment (Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımın Sınırlandırılması)
SECA	: Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives (Kriter ve Alternatiflerin Eşzamanlı Değerlendirilmesi)
SKH	: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi
SMART	: Simple Multi-Attribute Rating Technique (Basit Çok Nitelikli Derecelendirme Tekniği)
SWARA	: Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği)
TÜBİSAD	: Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WASPAS	:Weighted Aggregated Sum Product Assessment (Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi)
WEEE	:Waste Electrical and Electronic Equipment (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya)
YDA	: Yaşam Döngüsü Analizi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Düzenli katı atık depolama tesisi yıllara göre sayısı.....	3
Şekil 2.2. Atık oluşumu ana bileşenleri	4
Şekil 2.3. 2019 yılı toplam hasta başına düşen tıbbi atık miktarı	7
Şekil 2.4. 2019 yılı yatan hasta başına düşen tıbbi atık miktarı	7
Şekil 3.1. AB ve Türkiye için AEEE mevzuat kronolojisi	16
Şekil 3.2. Elektrikli ve elektronik eşyalar için kullanılacak işaret	17
Şekil 3.3. Ömrünü tamamlamış e-atık bileşenleri.....	19
Şekil 3.4. E-atık geri dönüşüm döngüsü	22
Şekil 4.1. Ulusal tez merkezinde e-atık konusu ile ilgili yer alan çalışmalar	23
Şekil 5.1. Karar analizi tekniklerinin sınıflandırılması	28
Şekil 6.1.Üçgensel üyelik fonksiyonu.....	34
Şekil 6.2. Yamuk üyelik fonksiyonları	35
Şekil 6.3. Gauss üyelik fonksiyonu.....	35
Şekil 6.4. Sigmoidal sol ve sağ üyelik fonksiyonları	36
Şekil 7.1. CBS bileşenleri	40
Şekil 7.2. Raster ve vektör veri tipleri	42
Şekil 8.1. Uygulama akış diyagramı	44
Şekil 8.2. Çalışma alanı	45
Şekil 8.3. TÜBİSAD e-atık toplama kutusu	45
Şekil 8.4. E-Atık toplama kutuları için yer seçiminde kullanılacak kriterler.....	47
Şekil 8.5. Öklid mesafe ve yoğunluk haritaları.....	52
Şekil 8.6. Normalize edilmiş haritalar	53
Şekil 8.7. Ağırlıklandırılmış harita	54
Şekil 8.8. Alternatif noktalar.....	55
Şekil 8.9. Duyarlılık analizi sonuçları.....	58

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1. 2018-2020 yıllarında oluşan atık miktarları.....	4
Tablo 2.2. 2018 ve 2020 yılları atık bertaraf ve geri kazanım tesis göstergeleri	5
Tablo 3.1. Bazı e-atıklar ve bileşenleri	19
Tablo 3.2. E-atık yönetimindeki fırsatlar ve tehditler	21
Tablo 4.1. E-atık ile ilgili yapılan çalışmalar	23
Tablo 4.2. CBS ile ilgili yapılan çalışmalar	25
Tablo 4.3. SWARA- Kararsız Bulanık SWARA ile ilgili yapılan çalışmalar	25
Tablo 4.4. ÇKKV ve E-atık ile ilgili yapılan çalışmalar	26
Tablo 5.1. ÇKKV problemleri ve yöntemleri	28
Tablo 5.2. ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırması	30
Tablo 8.1. Uzman gruba ait bilgiler	46
Tablo 8.2. Uzman görüşleri ile kriterlerin sıralanması	47
Tablo 8.3. Kriterlerin en önemli kritere göre önem düzeyi.....	48
Tablo 8.4. Yığılım operatörü kullanılarak elde edilen bütünleşik değerler	48
Tablo 8.5. Kriter puanları.....	48
Tablo 8.6. Kriter katsayısı ve önem vektörü.....	49
Tablo 8.7. Kriter ağırlık değerleri	49
Tablo 8.8. Kriterlerin ağırlıklarına göre sıralanması.....	50
Tablo 8.9. Veri kaynağı ve analiz yöntemi listesi.....	50
Tablo 8.10. Başlangıç karar matrisi	55
Tablo 8.11. Normalize edilmiş karar matrisi	56
Tablo 8.12. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	56
Tablo 8.13. Pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklar	57
Tablo 8.14. Alternatif noktaların sıralanması	57

1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojinin olumsuz sonuçlarından biri, kullanım ömrünü tamamlamadan atık haline gelen elektrikli ve elektronik eşyaların artışıdır. Ürün fiyatlarında zamanla düşüş yaşanması ve ürünlerin kullanım ömürlerinin kısalması nedeniyle elektronik atıklar hızla çoğalıp insan ve çevre sağlığı için tehdit oluşturmaya başlamıştır. Gelişen teknolojinin zararlı yönlerinden biri olan e-atıklar yeni bir atık türü olarak karşımıza çıkmaktadır. E-atıklar, çevreye verdikleri zararların beraberinde, gümüş, altın, bakır gibi değerli madenler ve plastik, cam gibi geri kazanılabilen bileşenler içermektedir. Uygun şekilde geri dönüşümü sağlanan e-atıklar ile çevreye verilen zarar azaltılıp, içerdikleri değerli bileşenler ile ekonomiye katkı sağlamak mümkündür (Salihoğlu ve Kahraman, 2016).

2019 yılında dünya çapında yaklaşık olarak 53,6 milyon ton e-atık üretildiği ve bunun beş yıl öncesine göre %21'lik bir artış gösterdiği bilinmektedir. Bu hızlı büyümeye karşılık e-atıkların yalnızca %17,4'ünün geri dönüşümünün sağlandığı bildirilmiştir. Bu durum da yüksek değere sahip bileşenlerin geri dönüşümünün sağlanmadığı anlamına gelmektedir (Liu vd, 2023).

E-atıklar 2012 yılı Resmi gazetede yayımlanan Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında altı gruba ayrılmıştır (RG, 2012). Ağustos 2015 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından AEEE (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü) yönetmeliği kapsamında 3. ve 4. kategorilerde yer alan e-atıklarda TÜBİSAD yetkilendirilmiş kuruluş olarak çalışmalara başlamıştır (TÜBİSAD, 2016). TÜBİSAD 2022 Faaliyet raporuna göre e-atık toplama kutuları anlaşmalı belediyeler ve belediye harici şekilde 155 farklı konumda hizmet sağlamaktadır. Zamanla bu kutuların çoğalması ve daha çok konumda hizmet vermesi hedeflenmektedir (TÜBİSAD, 2022).

Bu tez çalışması kapsamında, TÜBİSAD sorumluluğunda yer alan 3. ve 4. kategorideki e-atıklar için Samsun ili Atakum ilçesinde e-atık toplama kutularının konumlandırılacağı uygun yerlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla öncelikle alanında uzman beş kişinin desteğiyle e-atık toplama kutularının konumunda etkili olabilecek kriterler belirlenmekte ve Kararsız Bulanık SWARA metodu ile kriterler ağırlıklandırılmaktadır. Ardından Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile alternatif noktalar tespit edilmekte ve elde edilen alternatif noktalar TOPSIS yöntemi

ile sıralanmaktadır. Son olarak, duyarlılık analizi ile nihai kararın esnekliği analiz edilmektedir.

Çalışmanın geri kalanı řu şekilde organize edilmektedir: İkinci bölümde atıklardan, atık çeşitlerinden ve atık yönetiminden bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde e-atıklardan, yönetiminden ve direktiflerden bahsedilip, e-atıkların bileşenleri, etkileri ve geri dönüşümüne değinilmektedir. Dördüncü bölümde literatür araştırmasına yer verilmektedir. Beřinci bölümde ÇKKV, altıncı bölümde Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler ve yedinci bölümde CBS konusu ele alınıp, sekizinci bölümde uygulama sunulmaktadır. Dokuzuncu bölümde sonuçlar değlendirilerek ileride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.



2. ATIKLAR

Atık kelimesi, 1983 yılı 2872 sayılı Çevre Kanunu ile Türkiye’de ilk kez mevzuata girmiştir. Bu mevzuatta atık, “Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü madde” olarak tanımlanmıştır (Çaldak, 2021).

Etrafımızda gördüğümüz ve çöp diye nitelendirdiğimiz çoğu madde aslında atık olarak değerlendirilebilir. Atıklar doğaya düzensiz bırakıldığında insan ve çevre sağlığına zarar veren türdeki maddeler olarak tanımlanır. Atıkların tamamının bir daha kullanılmamak üzere çöp arazilere atılması ve bu atıklarda özellikle plastik gibi yüzyıllarca doğada çözünemeyen maddelerin bulunması tüm canlılar ve çevre için tehlike yaratmaktadır (Sağlam vd, 2020).

Fazla nüfus, ormansızlaşma, balıkçılık, iklim değişikliği, madencilik ve atık üretimi, biyolojik çeşitlilikte azalma ve kaynakların sürdürülemez şekilde tüketilmesi sonucu atıklar artarak çoğalmaktadır ve bu durum çevresel değişikliklere büyük ölçüde etki etmektedir. (Oke vd, 2022).

1930 yılında atıklar Türkiye’de ilk kez yasal olarak ele alınmış olsa da artan nüfus ve bilinçsiz tüketim ile son yıllarda bu konunun önemi daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Türkiye’de geri dönüşümü yapılamayan atıklar belirli yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemler, vahşi veya düzenli depolama, kompost oluşturma ve yakma şeklindedir. Geçmiş zamanlarda vahşi depolama sistemi kullanılırken, ortaya çıkardığı çevresel sorunlar sebebi ile artık düzenli depolama tesisleri ve bertaraf yöntemleri kullanılmaktadır (Hacısalıhoğlu, 2021).

Şekil 2.1’de Türkiye’de yıllara göre artan düzenli katı atık depolama tesisi sayıları verilmektedir (ÇŞİDB, 2022):



Şekil 2.1. Düzenli katı atık depolama tesisi yıllara göre sayısı (ÇŞİDB, 2022)

Atık oluşumu üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, biriktirme, toplama ve depolamadır. Biriktirmede; geri kazanım ve kaynağında ayırma söz konusu iken toplama; transfer istasyonu ve kompostlaştırma işlemlerinden oluşur. Depolamada ise geri kazanım ve geri kullanım sağlanır (Acar ve Acar, 2022).



Şekil 2.2. Atık oluşumu ana bileşenleri (Acar ve Acar, 2022)

Tablo 2.1’de gösterildiği üzere, TÜİK verilerine göre Türkiye’de 2020 yılında toplam 104,8 milyon ton atık oluşmuştur. Bu atıkların 30,9 milyon tonu tehlikeli atık kategorisinde yer almaktadır. 2020’de oluşan atıkların 2018 verilerine göre %10,5 arttığı belirtilmiştir.

Tablo 2.1. 2018-2020 yıllarında oluşan atık miktarları (TÜİK, 2021)

Oluşan atık miktarı, 2018, 2020	(Ton)					
	Toplam atık miktarı		Tehlikeli atık miktarı		Tehlikesiz atık miktarı	
	2018	2020	2018	2020	2018	2020
Toplam	94.870.818	104.848.864	15.078.573	30.876.658	79.792.245	73.972.206
İmalat sanayi işyerleri	22.881.144	23.867.866	3.677.320	4.597.274	19.203.824	19.270.593
Termik santraller	26.127.134	24.375.356	13.805	10.012	26.113.329	24.365.343
Maden işletmeleri(1)	17.387.029	27.581.875	11.176.581	26.044.730	6.210.448	1.537.144
Organize sanayi bölgeleri	286.843	279.067	111.733	116.720	175.110	162.347
Sağlık kuruluşları	89.454	109.683	86.916	106.570	2.538	3.113
Hane halkı(2)	28 099.214	28 635.018	12.218	1.352	28 086.996	28.633.665

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir

(1) Dekapaj malzemesi/pasa hariç atık miktarıdır.

(2) Hane halkından kaynaklı atık miktarı, Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçları kullanılarak tahminleme yöntemiyle hesaplanmıştır.

Toplam 1.389 belediyenin %99,8’inde, yani 1.387 belediyede atık hizmeti verildiği ve toplamda 32,3 milyon ton atık toplandığı tespit edilmiştir. Kişi bazlı bakıldığında belediyelerde günlük toplanan atığın kişi başı ortalama 1,13 kg olduğu görülmektedir.

Tablo 2.3'te gösterildiği gibi, 2020 yılı için atık bertaraf ve geri kazanım tesislerinde 127,4 milyon ton atığın 49,1 milyonu geri kazanılırken 78,3 milyonu ise bertaraf edilmiştir. 2018'e göre işlenen toplam atık miktarı %22 artış göstermiştir (TÜİK, 2021).

Tablo 2.2. 2018 ve 2020 yılları atık bertaraf ve geri kazanım tesis göstergeleri (TÜİK, 2021)

Atık bertaraf ve geri kazanım tesis göstergeleri, 2018, 2020				
		2018		2020
	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri	2.223	104.452.603	2.752	127.401.232
Atık bertaraf tesisleri	166	56.372.769	184	78.333.403
Düzenli depolama tesisi	159	55.878.883	174	77.762.423
Yakma tesisi	7	493.885	10	570.980
Atık geri kazanım tesisleri	2.057	48.079.834	2.568	49.067.829
Kompos tesisi	8	138.054	9	127.046
Beraber yakma (ko-insinerasyon) tesisi	40	1.069.360	50	1.298.579
Diğer geri kazanım tesisleri(1)	2.009	46.872.420	2.509	47.642.204

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir

(1) Metal, plastik, kağıt, mineral vb. atıkların geri kazanımını yapan tesisleri içermektedir.

Atıklar, üretim, tüketim, fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olarak sınıflandırılabilir. Bu açıdan genel olarak atıklar, katı atıklar, sıvı atıklar, gaz atıklar ve ambalaj atıkları olarak sınıflandırılabilir (Gündüzalp ve Güven, 2016).

Atıklar yapıları bakımından katı, sıvı ve gaz; etkileri bakımından tehlikeli ve tehlikesiz; kaynakları bakımından ise evsel, özel ve endüstriyel atık olarak sınıflandırılmaktadır (Yenidoğan ve Avcı, 2018).

2.1. Katı Atıklar

Katı atıklar, insan yapımı veya doğal kaynakların ve insan faaliyetlerinin sonucunda oluşan, istenmeyen kalıntılar şeklinde kabul edilir. Katı atıkların orta çıkışı farklı şekillerde ve kaynaklarda olabilmektedir (Bıyık, 2022).

Nüfus ve kentleşmenin hızlı artışı, küresel ekonominin gelişimi ile birlikte dünya genelinde 2020 yılında 2,23 milyar ton katı atık üretildiği ve bunun kişi başına, 0,79 kg atık olduğu açıklanmıştır. Ayrıca 2,01 milyar ton evsel katı atık üretildiği ancak yaklaşık %33'ünün çevresel yöntemlerle yönetilmediği tahmin edilmektedir. Dünya çapında toplamda 11 milyar ton atık üretilmiş olup bu kişi başına 1,4 ton atığa denk gelmektedir (Chen vd, 2023).

Katı atıklar oluştukları yerler baz alındığında yedi gruba ayrılmaktadır. Bunlar, evsel atık, endüstriyel atık, tehlikeli atık, tıbbi atık, tarımsal ve bahçe atıkları, özel atıklar, inşaat ve moloz atıkları şeklindedir (Çaldak, 2021).

2.1.1. Evsel Atıklar

Nüfus artışının etkilediği bir diğer atık türü de evsel atıklardır. Bu atıklara, yiyecek atıkları, plastik, kâğıt, naylon, teneke, cam, deri, lastik, tekstil, ince taneli çöpler örnek olarak verilebilir. Bu atıklar ayırım yapılmadan çöpe, sonrasında doğaya salındığında yaşam için tehlike arz ederler (Demirbağ ve Güngörmüş, 2012). Evsel atıkları evde ayrıştırarak atmak geri dönüşüm, sürdürülebilirlik ve yeniden hammadde olarak kullanılmaları açısından oldukça önemlidir (Arı ve Yılmaz, 2019).

2.1.2. Endüstriyel Atıklar

Genellikle üretim işlemleri esnasında ortaya çıkan atıklara endüstriyel atıklar denir. Bununla birlikte endüstriyel işlemlerin tamamında ortaya çıkan atıklar endüstriyel atık olarak tanımlanır. Bu atılar tehlikeli ve tehlikesiz olabilir. Her endüstride farklı çeşitlerde atıklar çıktığından bu atıkların benzerlikleri azdır ve bu atıkları doğru tahminlemek zordur. Bu atıklar özel imha yüklenicileri sorumluluğundadır (Cingöz ve Tinni, 2020). Geri dönüştürülen atıkların hem üretim maliyetlerini düşürdüğü hem de çevreye katkı sağladığı deneylerle kanıtlanmıştır (Araújo, 2019).

2.1.3. Tehlikeli Atıklar

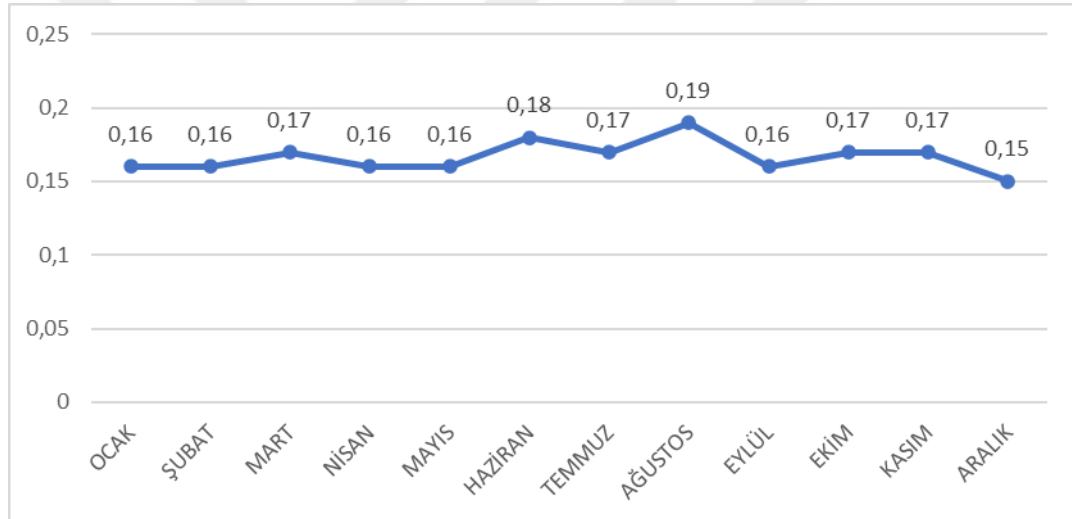
Tehlikeli atıkların dünya genelinde sınıflandırılmış ortak bir şeması olmamakla birlikte her ülkede tehlikeli atıklar farklılık gösterebilmektedir (Orloff ve Falk, 2003). Genel olarak petrol kalıntıları, cilalar, böcek ilaçları, organik çözücüler, yapıştırıcılar, hastane ve gıda endüstrisi kalıntıları dünya üzerindeki canlı ve cansız tüm varlıkları tehdit eden tehlikeli atıklara örnek olarak verilebilir (Mihaila vd, 2015). Tehlikeli atıkların hacmini azaltması bakımından yakma yöntemi en umut veren yöntemdir (Wei vd, 2022).

2.1.4. Tıbbi Atık

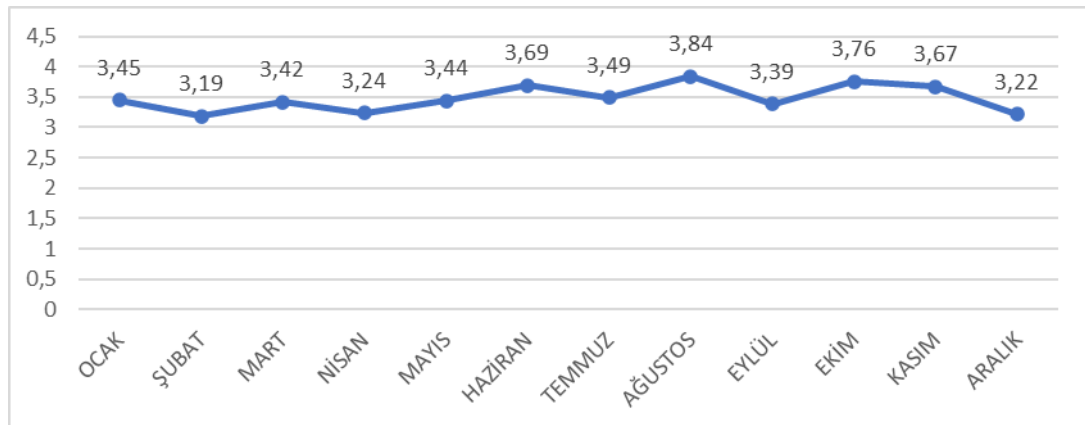
Türkiye’de tıbbi atıklar ile ilgili güvenlik kuralları Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nce tanımlanmıştır. Tıbbi atık bertarafı yükümlülüğü büyükşehir belediyeleri ve diğer bölgelerde yetkilendirilmiş kişi ve kuruluşlardadır. Bu konudaki

ilk düzenlemeler 1993 yılında yapılmıştır. 2005 yılında ise Avrupa Birliği (AB) ile uyumlu hale getirilmiştir (Çelik vd, 2022).

Hastanelerde ortaya çıkan tıbbi atıklar diğer atıklardan daha tehlikeli olduğu için en güvenli şekilde toplanmalı ve bertaraf edilmelidir. Aksi takdirde ciddi sağlık sorunları ve çevre için olumsuz etki yaratabilir. Tıbbi atıkların genellikle %75'i tehlikesiz, %10-25'i ise tehlikeli atık olarak kabul edilir. Tıbbi atık verilerine bakıldığında 2018 yılında toplam 1.550 sağlık kuruluşundan 89.454 ton, 2019 yılında ise 1.524 sağlık kuruluşundan 90.920 ton tıbbi atık ortaya çıkmıştır. Hastane atıkları; tıbbi atık, evsel, tehlikeli atık ve radyoaktif atık olarak sınıflandırılmaktadır. 2019 yılı için tıbbi atıkların toplam hasta başına düşen miktarı ortalama 0,17 kg olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.3). Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, tıbbi atıkların yatan hasta başına oranı ise ortalama 3,84 kg olarak hesaplanmıştır (Esen ve Çalışkan, 2021).



Şekil 2.3. 2019 yılı toplam hasta başına düşen tıbbi atık miktarı (Esen ve Çalışkan, 2021)



Şekil 2.4. 2019 yılı yatan hasta başına düşen tıbbi atık miktarı (Esen ve Çalışkan, 2021)

2.1.5. Tarımsal Atık

Dünya nüfusunun 2050 yılında 9,8 milyar olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte gıda üretim hızının nüfus artış hızından fazla olduğu ve 10 milyar insanı besleyecek kapasitede gıda üretiminin olduğu bilinmektedir. 2021 yılı Birleşmiş Milletler Gıda israfı Endeksi Raporu'na göre, Türkiye gıda israfının en fazla yapıldığı ülkeler arasında ilk sıralardadır. Bu rapora göre Türkiye'de yıllık kişi başı 93 kg ve toplamda 7,7 milyon ton gıda israfı yapılmaktadır. En fazla israf edilen gıdalar sırasıyla, patates, soğan gibi kök ve yumrulu bitkiler, ayçiçek ve mısır yağları, meyve ve sebzeler, hayvansal ürünler, et, tahıl ve bakliyat ürünleri şeklindedir. Üretimin başladığı tarlalardan itibaren gıda atıkları oluşmaktadır. Gıda üretimi atıkları, Türkiye'deki diğer endüstriyel atıkların %5'ini oluşturmaktadır (Özkan vd, 2022). Geçmişte bu atıklar büyük bir sorun olarak görülse de, günümüzde oluşturulan birçok sürdürülebilir senaryo ile iyileştirilebilir süreç haline alabilir (Freitas vd, 2021)

2.1.6. Özel Atıklar

Özel atıklar, endüstriyel atıkların kimyasal ve tehlikeli olanları, radyoaktif atıklar, temizlik malzemeleri, piller, otomobil lastiği, atık su çamurları olarak sıralanabilir (Bilgili, 2020). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından AEEE'ler de özel atık kategorisinde değerlendirilmektedir (ÇŞİDB, 2023a). E-atıklardan Bölüm 3'te detaylı şekilde bahsedilmektedir.

2.1.7. İnşaat ve Moloz Atıkları

Katı atıkların içerisinde büyük yer kaplayan inşaat ve moloz atıklarının oranları ülke ve şehirlere göre değişiklik göstermektedir. İnşaat ve moloz atıklarının geri dönüşümü ve kullanımı ekonomik ve çevresel açıdan büyük önem arz etmektedir. Bu atıklar, okul, konut, hastane ve endüstriyel tesislerin yıkım, tamirat, tadilat, güçlendirme gibi faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu kapsam içerisinde ağırlıkça en büyük oran beton atıklarına aittir (Demir, 2009). İnşaat ve moloz atıkları moloz işleme merkezlerinde işlenerek yeniden kullanıma kazandırılabilir (Erdin vd, 2004).

2.2. Sıvı Atıklar

Hastanelerde alınan kanlar, diş hekimliğinde kullanılan yıkama suları, evlerde kullanılan temizlik suları, diyaliz makinesi suları, kanalizasyon suları sıvı atıklara örnek olarak verilebilir (Gündüzalp ve Güven, 2016).

2.3. Gaz Atıklar

Sanayi tesislerinin bacaları, yakma tesisleri, çöp depolama ve kompostlaştırma alanları ve nükleer enerji santrallerinden çıkan gazlar, gaz atıklara örnek olarak verilebilir (Gündüzalp ve Güven, 2016).

2.4. Atık Yönetimi

Atığın ilk oluşumundan başlayarak bertaraf edilmesine kadarki süreç atık yönetimi olarak ifade edilir. Bu süreç esnasında çevreye ve hiçbir canlıya zarar verilmemesi atık yönetim planı dâhilindedir. Atık yönetim stratejilerinde bertaraf en son istenen durumdur. İlk olarak önleme, sonrasında sırasıyla azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve en son bertaraf yöntemi tercih edilir (Yenidoğan ve Avcı, 2018).

Atık yönetiminde iki temel geçiş dönemi söz konusudur. 1900’lü yıllardan 1960’lı yıllara kadar olan ilk dönemde hastalıklardan kaçınmak amacıyla atıklardan kurtulmak istenmiştir. Bu doğrultuda ilk dönemde halk sağlığını korumak ve kente estetik görünüm kazandırmak hedeflenmiştir. Ancak ikinci dönem olan 1980’li yıllarda önleme, yeniden kullanma ve iyileştirme konuları hızla önem kazanmaya başlamıştır. Sanayileşme, nüfusun ve mega kentlerin artması ile tüketim ve çevre sorunları ortaya çıkmıştır. Bu sebeple atıklar atık sanayileşme ve kentleşmenin yan ürünleri olarak görülmüştür (Kumtepe, 2023).

Atık yönetiminde ikinci dönemin etkisiyle üçüncü bir geçiş dönemi ortaya çıkmış olup bu dönemin ortaya çıkmasındaki etkenleri şu şekilde özetlemek mümkündür (Kumtepe, 2023; Lansink, 2015).

Artan enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırlarını zorlaması ve küresel ısınmayı tehdit etmesi,

- Teknolojik yenilikler için gerekli hammadde kıtlığı
- Sosyal, ekonomik ve mali engellerin farkındalığının artması ile döngüsel ekonomi modellerinin adım adım gelişimi
- Küresel ekonominin özellikle Çin ve Hindistan gibi ülkelerde büyümesi ve daha sonra Afrika’ya yayılması
- Biyolojik çeşitlilik kaybı ve ekolojik yoksulluğun artması

Ülkemizde 2017 yılında T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından “Sıfır Atık” projesi başlatılmıştır. Bu proje ile kaynakların etkin ve doğru

kullanılması, israfın önlenmesi amaçlanmıştır. Proje, eğitim kurumları, hastaneler, alışveriş merkezleri, kamu ve büyük kapasiteli kuruluşlarda uygulanmaktadır (Hacısalıhoğlu, 2021).

Atık yönetiminin merkezi sorumlusu Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığıdır ve kuruluş yasasında atıklarla ilgili yetkileri belirtilmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri ise şehirlerde yürütülen atık yönetimi uygulamalarını denetlemekle yükümlüdür. İlçe belediyeler ise büyükşehirlerin katı atık planlarına uygun şekilde toplama ve aktarma istasyonuna taşımakla görevlidir (Şakacı ve Özkaya, 2021).

Belediyeler çevre hizmetlerinin bir kısmında doğrudan, bir kısmında ise dolaylı olarak görevlendirilmişlerdir. Demokratik yapıyı temsil eden belediyeler, toplulukların yerel yaşama yakınlığı, dağılımları ve son olarak toplumsal yaşamın örgütlenmesi onların çevresel sorumluluğunu vurgulamaktadır. Belediyelerin çevresel yükümlülükleri aşağıdaki gibidir:

- Sağlıklı ve planlı kentleşme faaliyetleri
- Katı atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi
- Su tasarrufu ve ilgili faaliyetler
- Sahil kısmının korunması
- Kanalizasyon çalışmaları ve bu bağlamdaki hizmetler
- Toplu taşıma hizmetleri ve yönetimi
- Trafik kontrol ve destek hizmetleri (Acar ve Acar, 2022)

3. E-ATIK

Dünya çapında büyük orana sahip atıklardan olan e-atıklar çözülmesi gereken büyük bir küresel çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır (Xiao, 2023). E-atıklar, kullanım ömrünü tamamlamış, kullanılamaz halde veya değersiz duruma gelmiş elektrikli ve elektronik cihaz ve aletler olarak tanımlanmaktadır (Kaşkaya, 2023).

Elektrikli ve Elektronik Eşya (EEE) ise, doğru akımda 1500 Volt ve alternatif akımda 1000 voltu geçmemek kaydıyla kullanıma sunulan ve elektromanyetik alana veya elektrik akımına bağlı olan eşyalar ile bu alan ve akımların üretim, ölçüm ve transferini sağlayan eşyalar olarak tanımlanmıştır. Mayıs 2012 tarihli 28300 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan AEEE Kontrolü Yönetmeliği, e-atıkların kullanım ömrünü tamamlamasından itibaren içerdiği tüm bileşen, unsur ve içeriğinde yer alan sarf malzemelerin tamamı olarak tanımlanmıştır. (Kaşkaya, 2023).

AEEE (WEEE-Waste Electrical and Electronic Equipment), potansiyel olarak toksik olan elektronik bileşenlerin homojen olmayan ve karmaşık bir karışımı olarak kabul edilmektedir. Yıllar boyu elektronik ürünlerle ilgili değişen tüketim davranışları, dünya çapında artan AEEE hacminin büyümesinde büyük rol almıştır. AEEE hacminin büyümesi hem doğal kaynak tüketimini artırmakta hem de çevresel bozulmaya yol açmaktadır. “Global e-atık izleme” raporu verilerine göre, 2020 yılında dünyada 53,6 milyon ton AEEE üretilmiş ve bunun 2030 yılına kadar yaklaşık 74,7 milyon ton olması beklenmektedir (Kumar vd, 2022).

3.1. E-atık Çeşitleri

Elektrikli ve elektronik eşyalar Resmi gazetede aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır (RG, 2012):

- Büyük ev eşyaları
- Küçük ev aletleri
- Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanı
- Tüketici ekipmanı
- Aydınlatma ekipmanı (ışıklandırma, gaz deşarj lambaları)
- Elektrikli ve elektronik aletler
- Oyuncaklar, eğlence ve spor aletleri
- Tıbbi cihazlar
- İzleme ve kontrol alet ve eşyaları

- Otomatlar

Resmi gazetede atık elektrikli ve elektronik eşyalar 6 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar aşağıdaki gibidir (RG, 2012):

- 1- Buzdolabı/Soğutucular/İklimlendirme cihazları
- 2- Büyük beyaz eşyalar (Buzdolabı/ soğutucular/iklimlendirme cihazları hariç)
- 3- Televizyon ve monitörler
- 4- Bilişim ve telekomünikasyon ve tüketici ekipmanları (Televizyon ve monitörler hariç)
- 5- Aydınlatma ekipmanları
- 6- Küçük ev aletleri, elektrikli ve elektronik aletler, oyuncaklar, spor ve eğlence ekipmanları, izleme ve kontrol aletleri

3.2. E-atık Üretimi

Asya kıtası 2019 yılında 17 ülkesi ile e-atık üretiminde en yüksek paya sahiptir. Çin, Hindistan, Japonya ve Endonezya en fazla atık üreten ülkeler arasındadır. Asya kıtasındaki birçok ülkede ulus temelli e-atık mevzuatı bulunmaktadır. Bu mevzuatlar sayesinde e-atıkların sınır ötesine hareketi yasaklanmış, ortaya çıkan e-atıkların uygun teknolojiler ile devlet tarafından bilinen kurumlarda geri dönüştürülmek için resmi şekilde toplanması amaçlanmıştır. Ancak e-atıkların hızlı artışına resmi kurumların yaptığı çalışmaların yeterli gelmemesi nedeniyle bazı bölgelerde resmi olmayan koşullarda geri dönüşüm çalışmalarının yapıldığı düşünülmektedir (Ahirwar ve Tripathi, 2021).

Asya kıtasından sonra Amerika ve Avrupa kıtaları en fazla e-atık kaydedilen kıtalar arasında yer almaktadır. Kuzey ve Güney Amerika'da 2015-2021 yılları arasında yıllık yaklaşık 11-13 milyon ton e-atık üretildiği tespit edilmiştir. Bu da kişi başı yıllık 12-13 kg e-atık üretildiği anlamına gelmektedir. Avrupa'da ise bu sayılar yıllık 12 mt e-atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Avrupa'da birçok ülke AB üyesi olarak e-atıkların yönetiminde şeffaf ve sistematik düzenlemelere uymakta ve AB yönergeleri kapsamında yer almaktadır. Ancak Amerika'da sadece ABD ve Kanada gibi bazı ülkeler e-atık yönetiminde eyalet yasalarına sahiptir (Wang vd, 2016).

E-atık üretimin en az olduğu kıtalar ise Afrika ve Okyanusya olarak bildirildi. E-atık üretimi açısından bakıldığında 49 Afrika ülkesi arasından en çok e-atık miktarına sahip ülke 585 kiloton ile Mısır, 415 kt ile Güney Afrika, 461 kt ile Nijerya

ve 308 kt ile Cezayir olarak tespit edilmiştir. Afrika'da e-atık yönetimine ait mevzuatların eksik ve yetersiz olması, bu bölgede kayıt dışı e-atık yönetiminin ön planda olmasına sebebiyet vermiştir. Okyanusya'da Avustralya ve Yeni Zelanda'da 650 kt e-atık üretimi olduğu tespit edilmiştir. Afrika ve Okyanusya'da e-atık yönetimi için yasa veya plan bulunmamakla birlikte, Avustralya'da 2026-2027 yılına kadar televizyon ve bilgisayarların geri dönüşümünü %80'e çıkarmak amacıyla Ulusal Televizyon ve Bilgisayar Geri Dönüşüm Planı 2011 yılında yürürlüğe konulmuştur. Ayrıca e-atıklarda yer alan tehlikeli maddelerin güvenli bir şekilde yönetilmesini ve değerli malzemelerin geri dönüşümünü sağlamak amacıyla e-atıkların düzenli depolama alanına boşatılması yasaklanmıştır (Ahirwar ve Tripathi, 2021).

Hızla artan e-atıklar ve içerdikleri değerli metallerin çıkarılmasında kullanılan yasadışı ve insan sağlığına, çevreye zararlı yöntemler Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri için tehdit unsuru olmaktadır. Aşağıdaki bazı Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri e-atık yönetimi kapsamında değerlendirilebilir:

- SKH 3: Sağlık ve kaliteli yaşam
- SKH 6: Temiz su ve sanitasyon
- SKH 8: İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme
- SKH 11: Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar
- SKH 12: Sorumlu tüketim ve üretim
- SKH 14: Suda yaşam

Elektronik cihazların üretiminde gerekli hammadde taleplerinin artması ile birlikte, SKH 12. madde ile ilişkili olarak e-atıklar için hammaddelerin kaynağına ve yurt içi kullanımına odaklanılmıştır. Ancak atık akışındaki büyümenin daha iyi takip edilebilmesi için Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine yeni maddeler eklenmiştir. Bu maddeler (Murthy ve Ramakrishna, 2022):

- SKH 12.5.1: Ulusal geri dönüşüm oranı, geri dönüştürülmüş materyal ton miktarı
- SKH 12.4.2: Atık bertaraf şekline göre kişi başına üretilen tehlikeli atık ve işlenmiş tehlikeli atık oranı

3.3. E-Atık Yönetimi

Dünya çapında birçok ülke e-atık konusunu bir sorun olarak kabul edip e-atık yönetimi üzerine çalışmalar yürütmekte ve yasal düzenlemeler, yönetmelikler, yerel politikalar geliştirmektedir (Maes ve Preston-Whyte, 2022). E-atıkların geri dönüşümünden olumlu sonuçlar alabilmek adına geliştirilen bu yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir (Kaşkaya, 2023);

- Yaşam döngüsü analizi (YDA)
- Malzeme akış analizi (MAA)
- Çoklu kriter analizi (ÇKA)
- Genişletilmiş üretici sorumluluğu (GÜS)

3.3.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

Yaşam döngüsü analizi, çevre dostu elektronik aletler tasarlamak ve e-atık problemlerini en aza indirmek için kullanılır. 1990'lı yıllardan beri elektronik cihazların yaşam döngüsü analizi üzerine eko-tasarım, çevresel etkiler ve ürün geliştirme gibi önemli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar, çevresel ve ekonomik etkilerin dikkate alınması amacıyla elektronik cihazların tasarımının önem arz ettiğini göstermiştir. Çevre dostu olan bir ürün her zaman iyi bir alternatiftir ve tüketicilere hitap edebilir. Yaşam döngüsü analizi yazıcılar, masaüstü bilgisayarlar, çamaşır makineleri, ısıtma ve klima cihazları, oyuncaklar gibi eko-tasarım ürünlerini geliştirmek için güçlü bir yöntemdir (Kiddee vd, 2013).

3.3.2. Malzeme Akış Analizi (MAA)

Basel Sözleşmesi'nin yürürlüğe girmesinden önceki dönemlerde, büyük miktarda e-atık gelişmiş ülkelerden geri dönüşüm veya yeniden kullanım için Çin, Hindistan ve Güney Afrika gibi gelişmekte olan ülkelere ihraç ediliyordu. Malzeme Akış Analizi yöntemi ile zamana ve mekâna göre e-atıkların geri dönüşüm sitelerine, bertaraf alanlarına ve malzeme stoklarına akış yolu incelenmektedir. Malzeme akış analizi uygun e-atık yönetimi geliştirmek için uygulanabilecek bir araçtır (Kiddee vd, 2013). Kısaca bu araç ile e-atık akışını ve e-atıkların çevresel etkilerini incelemek ve e-atık üretimini tahmin etmek mümkündür diyebiliriz (Önge, 2020).

3.3.3. Çoklu Kriter Analizi (ÇKA)

Bu yöntem, karar verme aşamasında nitel/nicel yönleri olan problemler için geliştirilmiş bir karar verme aracıdır. Çok kriterli teknikler karar teorisi alanında gelişmiştir ve problem çözmeye yardımcı olmaktadır. Çoğunlukla birbiri ile çelişen birçok hedefi olan seçenekler arasındaki bir seçimi net olarak çözebilmek için karar vericinin tercihlerinin sistematik şekilde modellenmesi gerekir (Garfi vd, 2009). Opsiyonel e-atık yönetim stratejileri, çevresel sorunlar gibi alanlarda çoklu kriter analizi uygulanmaktadır. (Kiddee vd, 2013).

3.3.4. Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (GÜS)

Bu yöntem üreticilere görev vermekte ve kullanılmış veya ömrünü tamamlamış olan ürünlerini yönetmek amacıyla finansal veya fiziksel sorumluluk yüklemektedir. Genişletilmiş üretici sorumluluğu, tüketicilerin kullandıkları ürünlerini yeniden kullanmak üzere üreticilere verdiği ve sorumluluğun üreticilerde olduğu bir yöntemdir. Bu şekilde ömrünü tamamlamış ürünlerin yönetim sorumluluğu belediyeler ve vergi mükelleflerinden üreticilere doğru kaymakta ve bu işlem kirlenen öder prensibi ve maliyet prensibi ile tutarlı bir şekilde yapılmaktadır. Bu yöntem araçlar, ambalajlar, kullanılmış yağlar, lastikler, boya kapları, piller ve e-atıklar dâhil çeşitli atıklara uygulanmaktadır (Leclerc ve Badami, 2020).

3.4. E-atık Yönetimindeki Direktifler

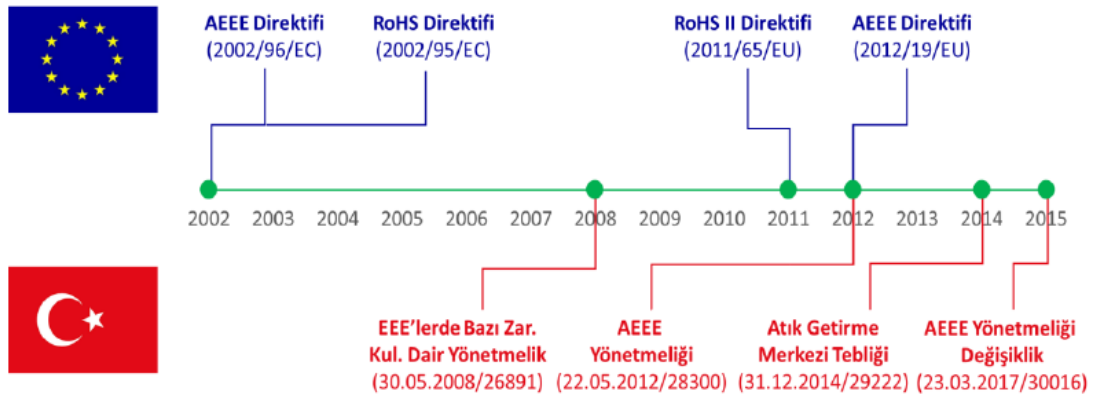
3.4.1. Basel Sözleşmesi

Tehlikeli atıkların sınırların ötesine taşınması ve bertaraf edilmesinin kontrolüne ilişkin Basel Sözleşmesi 1989 yılında kabul edilmiş ve 1992 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşmenin amacı tehlikeli ve diğer atıkların sınırlar ötesi taşınması, bertaraf edilmesi ve geri dönüşümünde ortaya çıkabilecek tehlikeleri engellemektir. E-atıklar, içerdikleri zararlı maddelerden ötürü tehlikeli atıklar olarak bu sözleşme kapsamında değerlendirilmektedirler. Sözleşmenin üzerinde durduğu en önemli husus, atıkların sanayileşmiş ülkelerden gelişmekte olan ülkelere doğru taşınmasıdır. Bu sözleşmeye göre taraf ülkeler atık akışı sağlamadan önce ön bildirim yapmak zorundadırlar. Basel sözleşmesine göre sınırı aşan bir hareketin hukuki olarak gerçekleşmesi için ihracatçı devletin ithalatçı devletten taşımaya yönelik yazılı onay alma zorunluluğu vardır. Sözleşmeye taraf olan tüm devletler atık akışını engelleme hakkına sahiptir. Sözleşmeyi günümüze kadar 53 ülke imzalamış, 183 ülke taraf

olmuştur. Türkiye ise sözleşmeyi 22 Mayıs 1989 yılında imzalamış ve 22 Haziran 1994 yılında taraf olmuştur (ÇŞİDB, 2023b).

3.4.2. WEEE ve RoHS Direktifleri

2002 yılında AB tarafından e-atıkların yönetimi ve sürdürülebilirliğini sağlamak için bilinçlendirme, geri kazanım ve geri dönüşüm hedeflerini içeren ve paydaşların sorumluluklarını belirleyen WEEE yani AEEE direktifi yayınlanmıştır. Eş zamanlı olarak AEEE’lerde zararlı maddelerden bazılarını yasaklayan ve zararlı malzeme alternatiflerini belirleyen RoHS (The Restriction of the Use of Certain Hazardous in Electrical and Electronic Equipment) yani Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımın Sınırlandırılması direktifi de yayınlanmıştır. Türkiye’de ise 2012 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren AEEE Kontrolü ve Yönetmeliği kapsamında, uygulama esnasında yaşanan sorunların çözülmesi ve AB’nin WEEE direktifine daha uygun olması amacıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2015 Ocak ayında hazırlanmıştır. 2016 Mayıs ayında taslağında yenileme olmuştur. Bu direktiflerin kronolojik sırası Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Polat, 2020).



Şekil 3.1. AB ve Türkiye için AEEE mevzuat kronolojisi (Polat, 2020)

3.4.3. Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar (AEEE/WEEE) Direktifi

Bu direktif ilk olarak 1995 yılında, toksik yapıdaki maddelerden duyulan endişe nedeniyle AB gündemine girmiştir. Sonrasında Avusturya, İsveç, Norveç, İsviçre ve Hollanda gibi ülkelerin teşebbüsleri ile 2002 yılında direktif şeklini almıştır. Bu direktifle;

- Ürün yelpazesi

- Farklı madde ve içeriklerinin bir arada olması
- İçeriğinde canlı ve çevre sağlığına zararlı tehlikeli maddelerin yer alması
- Hızla büyümesinin yanında teknoloji, tasarım ve pazarlamanın artması

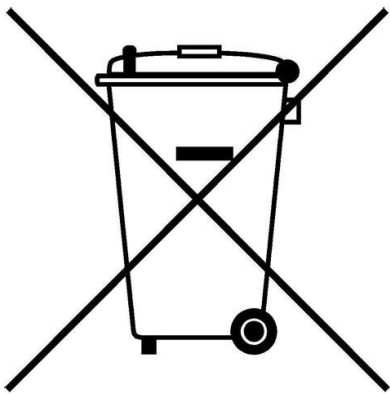
açısından AB tarafından yönetiminin zor olduğu konusunda fikir birliğine varılmıştır (Bilgin, 2019)

Bu direktifteki temel amaç, AEEE'lerin öncelikli olarak oluşumunu engellemek ve bu atık türünün azalmasına yönelik yeniden kullanım, geri dönüşüm ve diğer çeşitli geri kazanım yöntemlerini geliştirmektir.

Direktif kapsamında bulunan ürünler şu şekildedir; küçük ve büyük ev aletleri, bilgi teknolojileri ürünleri ve telekomünikasyon ekipmanları, aydınlanma ekipmanları, oyuncak eğlence ve spor ekipmanları, tüketici ekipmanları, elektrikli ve elektronik araçlar (sabit ve büyük ölçekli endüstriyel araçlar hariç), tıbbi aletler (kontamine olanlar hariç), kontrol ve izleme cihazları ve otomatik dispenserlerdir.

31 Aralık 2006 tarihine kadar WEEE direktifini kabul eden ülkelere belirlenmiş oranlarda ekipman başına ortalama ağırlık olarak geri kazanım oranı hedefleri verilmiştir (Altunok, 2020). Geri dönüşüm ve geri kazanım uygulamalarının insan ve çevre sağlığını tehdit etmeyecek biçimde seçilmesi yine direktif kapsamındadır.

WEEE direktifinin 10. Maddesi ile 13 Ağustos 2005 tarihinden itibaren piyasada yer alan elektrikli ve elektronik eşyaların ayrı şekilde toplanması ve Şekil 3.2'de gösterilen etiketin elektronik eşyalara görünecek şekilde yapıştırılması gerektiği bildirilmiştir (Bilgin, 2019).



Şekil 3.2. Elektrikli ve elektronik eşyalar için kullanılacak işaret (Bilgin, 2019)

2012 yılında WEEE direktifi üzerinde düzenleme yapılmış, bazı hedefler yenilenmiştir. Bu kapsamda 31 Aralık 2015 tarihine kadar, evsel e-atıklarda kişi başına

yıllık en az 4 kg toplanması veya üye devletlerin geçmiş 3 yıla ait toplanan e-atık miktarlarının ortalaması baz alınarak yüksek olan değerin kabul edilmesi hedeflenmiştir. 2016-2018 yılları arasında piyasada yer alan elektrikli ve elektronik ürünlerin %45'i kadar e-atık toplanması hedeflenmiştir. Son olarak 2019 yılı itibari ile piyasaya sürülen elektrikli ve elektronik ürünlerin %65'inin e-atık olarak toplanmasına ya da ülke sınırları içinde oluşan e-atıkların %85'inin toplanmasına karar verilmiştir (Bilgin, 2019).

3.4.4. RoHS Direktifi

RoHS direktifinin amacı insan ve çevre sağlığını korumak olup bu direktif ile bazı maddelerin kullanımı sınırlandırılmıştır. Bu kapsamda sınırlandırılan maddeler; Kurşun(Pb), Civa(Hg), Kadmiyum(Cd), Hexavalent krom(VI)(Cr VI), Polybrominated biphenyls (PBB's) ve Polybrominated diphenyl ethers (PBDE's) dir. Yine bu direktif kapsamında bahsi geçen ürünler ev cihazları, tüketici elektroniği, aydınlatma montajı, bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon aletleri, elektrikli aletleri otomatik satış makineleri, oyuncaklar ve filaman lambalardır (Altunok, 2020).

Kendi markası altında elektrikli ve elektronik cihaz ürünleri üreten ve satışını yapan firmalar ve başka üreticiler tarafından üretilmiş ürünleri kendi markası altında satan firmalar RoHS direktifi kapsamındadır (Bilgin, 2019).

Bu yönerge kapsamında e-atıkların çevreye olan potansiyel zararlarının azaltılması amaçlanmıştır. Avrupa Komisyonu WEEE ve RoHS yönergelerinde güncellemelere devam etmektedir. Yönerge kapsamında AB üyesi ülkelerde çeşitli projeler yapılmaktadır. AB üyesi olmayan ülkelerde de bu yönergelerin içeriklerine uyumlu yasal düzenlemeler ve projeler yürütülmektedir (Ay, 2013).

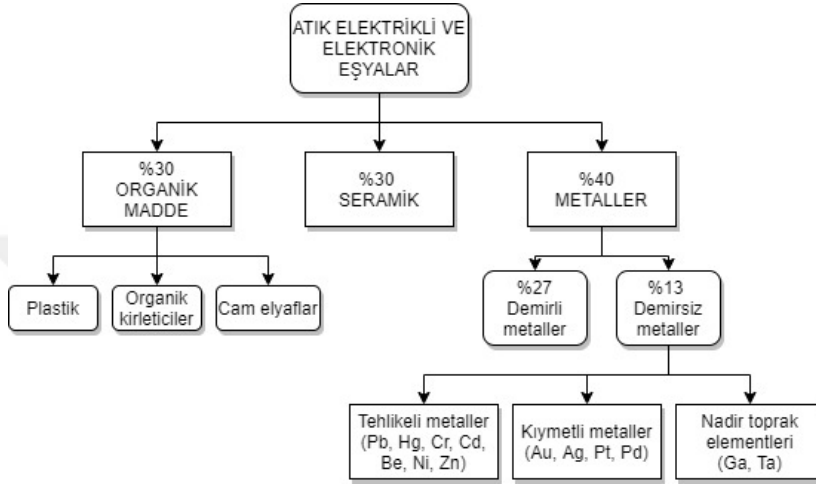
3.5. E-Atık Bileşenleri ve Etkileri

E-atıklar; demirli metaller, demir dışı metaller, camlar, plastikler ve diğer malzemeler olmak üzere beş bileşene ayrılabilir. Demirli metaller bu beş bileşen içinde en büyük paya sahiptir (Xiao, 2023).

E-atıklar içerdikleri metal ve metal olmayan maddelerden dolayı çeşitlilik yaratırlar. E-atıkların genel olarak %30'u polimer, cam elyaf ve alev geciktiriciler gibi organik maddelerden, %30'u silika, mika ve alümina gibi seramik maddelerden ve kalan %40'ı inorganik maddelerden oluşmaktadır. E-atıklardaki inorganik maddeler; baz metallerden alüminyum, demir, bakır ve kalay, soy metallerden gümüş, paladyum

ve altın, ağır metallere nikel, krom, çinko, kadmiyum ve cıva, son olarak nadir toprak metallere de tantal, galyum ve platin grupları içermektedir. Bu sebeple tehlikeli olan bu atıkların bertaraf edilmesi e-atık yönetiminde zorluk yaratmaktadır (Rautela vd, 2021).

Ömrünü tamamlamış e-atık bileşenleri (Thakur ve Kumar, 2021) gruplandırılmıştır.



Şekil 3.3. Ömrünü tamamlamış e-atık bileşenleri (Thakur ve Kumar, 2021)

Tablo 3.1’de bazı e-atıkların bileşenleri ve insan sağlığına etkileri verilmektedir (Thakur ve Kumar, 2021).

Tablo 3.1. Bazı e-atıklar ve bileşenleri (Thakur ve Kumar, 2021)

Madde	E-atık kaynağı	İnsan sağlığına etkisi
Arsenik (As)	Katot ışını tüpleri, monitörleri, diyetler ve baskılı devre kartları	Kansere ve cilt hastalıklarına sebep olur. Üreme sistemini bozar, solunum sistemi ve kardiyovasküler sistemi etkiler
Bromlu alev geciktirici (BFR)	Elektronik için alev geciktirici teçhizat	Tiroit ve karaciğer rahatsızlıklarına, endokrin ve üreme sistemi bozukluklarına, çocuklarda sinir sistemi bozukluklarına yok açar.
Bakır (Cu)	Baskılı devre kartları	İshal ve karaciğer rahatsızlıklarına neden olur.
Krom (Cr)	Diskler, bilgisayar kasası, katot ışın tüpleri ve piller	Beyin, solunum ve böbrek rahatsızlıklarına sebep olur.
Lityum (Li)	Piller	Bağırsak ve sinir sistemini etkiler.
Cıva (Hg)	Lambalar, anahtarlar ve piller	Merkezi sinir sistemi ve böbreği etkiler.
Nikel (Ni)	Piller ve katot ışını tüpleri	Deri ve akciğer hastalıklarına ve çeşitli kanser türlerine sebep olur.
Kadmiyum (Cd)	Yarı iletkenlerde baskılı devre kartı, anahtarlar, yarı iletkenlerdeki çipler	Yüksek düzeyde kansorejen olup, böbrekleri, kemikleri ve solunum sistemini etkiler.

Tablo 3.1 devam

Poliklorlu dibenzodioksinler (PCCD'ler)	Yanma yan ürünleri	Çeşitli kanser hastalıklarına ve sinir sistemi bozukluklarına sebep olur.
Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH)	Yanma yan ürünü	Mesleki maruz kalmalar çeşitli kanser hastalıklarına sebep olur. Üreme sistemine etki eder.

3.6. E-Atık Geri Dönüşümü

Ekonomik büyüme ve teknolojik gelişmeler ile birlikte teknolojik alet bağımlılığı artmakta ve bu aletlerin yaşam ömrü kısalmaktadır. Buna paralel olarak e-atık miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte üretilen e-atıklar ile toplanan ve geri dönüştürülen e-atık hacimleri arasında fark bulunmaktadır. 2016 yılında üretilen e-atıkların %20'si, 2019 yılında %17,4'ü toplanıp geri dönüştürülmüştür. Ortaya çıkan e-atıklar ile geri dönüştürülen hacim arasındaki farkın fazla olması bu atıkların kaydedilmediği, işleme tabi tutulmadığı veya kayıt dışı taşındığı anlamına gelmektedir (Maes ve Preston-Whyte, 2022).

2019 yılında üretilen küresel e-atıkların yaklaşık olarak %17,4'ü yani 9,3 milyon tonu kayıtlı sektörlerde toplandığı, geri dönüşümü sağlandığı ve kalan 44,3 milyon ton e-atığın belgelenmediği belirtilmiştir. Bu kayıtsız oranın en yüksek olduğu kesimlerin ise Asya ve Afrika bölgeleri olduğu bilinmektedir (Ahirwar ve Tripathi, 2021).

E-atık ürünlerinin geri dönüşümündeki en büyük sorunlardan biri büyük miktarlarda işleme tabi tutulan atıklardan atık artıkları, asidik atık sular gibi yan atıkların çıkmasıdır. Bu konu için son zamanlarda oluşan yaklaşımlardan biri yeşil bilgi işlemidir. Bu sistemde e-atıklardaki tehlikeli maddeleri minimum seviyeye indirilerek sürdürülebilir şekilde yönetimine, 4R'lerin uygulanmasına (reduce-azalat, reuse- tekrar kullan, recycle-geri dönüştür ve recover-geri kazan) ve çevre dostu teknolojilerin kullanılmasına özen gösterilir. Bunu gerçekleştirmek için birkaç seçenek bulunmaktadır:

- 1- Elektrikli ve elektronik cihazlarda enerji tasarrufu modları
- 2- 2- Yeşil elektrikli ve elektronik ürünlerde AR-GE
- 3- 3- Çevre dostu donanım ve yazılım (Rautela vd, 2021)

Birçok ülkede ev ortamında üretilen e-atıklar 3 şekilde yönetilir:

- 1- Çöp kutularına atılır
- 2- Devlet tarafından belirlenen kuruluşlarca resmi şekilde toplanır

3- Resmi olmayan özel atık satıcıları ve şirketleri tarafından toplanır

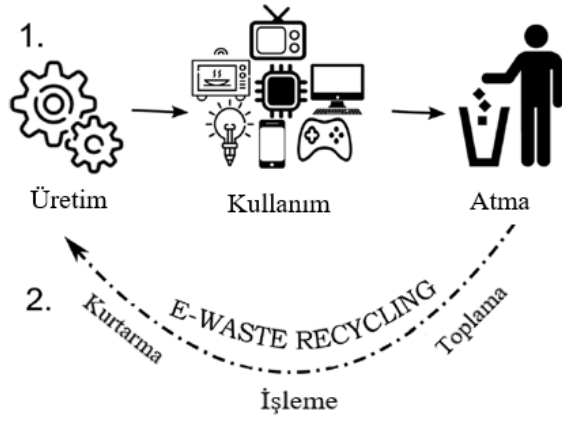
Yetkili olan ticari kurum veya belediyelerin toplama yerlerinde toplanan e-atıklar, genellikle değerli malzemelerin güvenli ve resmi bir şekilde çıkarılması ve geri dönüştürülmesi için yüksek teknolojili makineler ve altyapıya sahip tesisler kullanılır. Bununla birlikte bazı özel atık şirketlerinde, resmi olmayan şekilde toplanan e-atıklar genellikle uygun olmayan koşullar altında geri dönüştürülmektedir (Ahirwar ve Tripathi, 2021).

E-atıkların geri dönüşümü ile birlikte sürdürülebilir e-atık yönetimi geliştirmede karşımıza çıkan fırsatlar ve tehditler Tablo 3.2’de belirtilmektedir (Ahirwar ve Tripathi, 2021):

Tablo 3.2. E-atık yönetimindeki fırsatlar ve tehditler (Ahirwar ve Tripathi, 2021)

Fırsatlar	Tehditler
Altın, Gümüş, Paladyum gibi 60’a yakın değerli metal içeren zengin bir kaynak	E-atığın hacminin yüksek olması sebebiyle toksik maddelerinin suya ve toprağa sızması ya da yakıldığı takdirde havaya karışması
İstihdam oluşturmaları	Evsel atıkların toplanması konusunda bilgi ve bilinç eksikliği
Tehlikeli atık bileşenlerini düzenli depolama alanlarından uzak tutarak çevre kirliliğini önlemek ve bertaraf ile ilgili riskleri azaltmak	Birçok ülkede atık toplanması ve geri dönüşümü ile ilgili politika olmaması
Toplama, yeniden kullanım ve geri dönüşüme teşvik ile e-atık üretiminin azaltılması	E-atık yönetimi konusunda çıkarılan mevzuatların uygulanmasında eksiklik ve etkisizlik
Üretimler için ikincil hammadde oluşturup doğal kaynak tüketiminin azaltılması	Yeterli sayıda resmi geri dönüşüm tesisinin yer almaması
Sera gazı emisyonu ve karbon ayak izi azaltımı ile enerji tasarrufu	Kayıt dışı toplamalar ile resmi sektörün rekabet eksikliği
Çevreye duyarlı atık yönetimi	E-atıkların karmaşık üretimi

Şekil 3.4’te e-atık geri dönüşümü ve döngüsel ekonomik modeline yer verilmektedir. 1 numaralı kısımda elektronik ekipmanların üretim, kullanım ve sonrasında atılmasına vurgu yapılmaktadır. 2 numaralı kısım ise üst kısımda yer alan geleneksel al-kullan-sat anlayışının yerine, atılan e-atıkların toplanıp, işlenip sonrasında tekrar kullanılmak üzere ikincil hammadde kazanılmasını içermektedir.



Şekil 3.4. E-atık geri dönüşüm döngüsü (Ahirwar ve Tripathi, 2021)

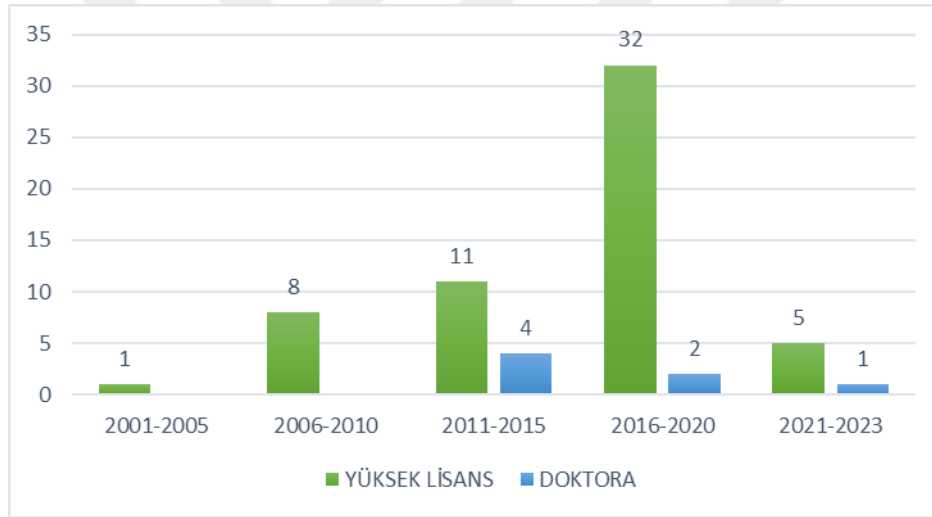
E-atık yönetiminin zorlukları günümüzde de devam etmektedir. Bunlardan en dikkat çeken, e-atık üretim ve bertarafıyla ilgili veri raporlamalarıdır. Veriler toplanırken farklı yöntemlerin ve sınıflandırma çeşitlerinin kullanılması, bazı durumlarda yanlış veya eksik raporlama yapılmasına neden olabilmektedir. Geri dönüşüm ve bertaraf ile ilgili tutulan verilerin farklı türlerde olması anlamlı ve tutarlı veriye ulaşmayı ve karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır (Shittu vd, 2021).

E-atık geri dönüşümünde kıymetli metallerin geri kazanımı eksik ekipman ve modern olmayan teknoloji ile gerçekleştiğinde bazı tehditler ortaya çıkmaktadır. Bu tehlikeli işlemlere yakma, elle sökme, ısıtma ve asitle süzme, plastik parçalama ve eritme, siyanür tuzuyla süzme ve cıva birleştirme örnek verilebilir. Bu şekilde ortaya çıkan metal kirleticiler biyolojik olarak parçalanamaz ve su ve kara ortamının dengesini bozar. E-atıkların yeterli işçi ve gerekli teknoloji ile güvenli şekilde uzaklaştırıldığı resmi e-atık geri dönüşümü pahalı bir yöntemdir ve düşük ve orta gelirli ülkelerde bu durum kısıtlamalara yol açar. Bazı düşük ve orta gelirli ülkelerde yasa dışı e-atık ithalatı sınırlandırılmış olsa da etkili bir çözüm olamamaktadır. İnsanlar e-atıklara birden fazla yolla maruz kalabilirler. Maruz kalınan kaynağın türü, süresi, muhtemel kısıtlayıcı, sinerjistik veya katkı maddesi etkileri gibi etmenler sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Belirli bir e-atıktan kaynaklı bileşen veya elemente maruz kalmak tek başına anlaşılmayabilir ancak e-atık geri dönüşüm tesisleri yakınlarında oturanların maruz kalma oranı yüksektir. Hamilelik, bebeklik veya çocukluk döneminde e-atıklara maruz kalmak, obezite, astım veya nörogelişimsel bozukluklara yol açabilir (Parvez vd, 2021).

4. LİTERATÜR TARAMASI

Elektrikli ve elektronik ürünlerin kullanımının son yıllarda hızla artması, bu alandaki atıkların da aynı hızda çoğalmasına sebep olmuştur. Buna paralel olarak literatürde e-atık üzerine gerçekleştirilen çalışmalarında son yıllarda artış gösterdiği görülmektedir. Bu çalışmada e-atık toplama kutularının yer seçimi için Kararsız Bulanık SWARA ve CBS temelli bir yaklaşım önerilmektedir.

Literatür araştırması kapsamında öncelikle ulusal tez merkezinde elektronik atık konusu aratıldığında toplamda 57 yüksek lisans 7 doktora çalışmasına rastlanılmıştır. Çeşitli disiplinlerde yapılan bu çalışmaların e-atıkların geri dönüşümü, e-atık tahmini, e-atıklarda tersine lojistik, e-atıklardan değerli metallerin geri kazanımı, e-atıkların değerlendirilmesi gibi konular üzerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Ulusal tez merkezinde e-atık konusu ile ilgili yer alan çalışmalar

Literatürde e-atık üzerine gerçekleştirilen bazı çalışmalar Tablo 4.1’de sunulmaktadır. Tablo 4.1 incelendiğinde, bu çalışmalarda genel olarak e-atıkların geri kazanımı, sürdürülebilirliği, yönetimi ile insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin irdelendiği görülmektedir.

Tablo 4.1. E-atık ile ilgili yapılan çalışmalar

Yazar/Yıl	Uygulama Alanı	Ülke
(Patil ve Ramakrishna, 2020)	Elektronik atık yasalarına genel bakış	Singapur
(Bilgin, 2019)	E-atıklar üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi	Türkiye

Tablo 4.1 devam

(Özdemir Deniz vd, 2019)	E-atık farkındalık düzeyi	Türkiye
(Andooz vd, 2022)	E-atık sürdürülebilirliği	Singapur
(Shahabuddin vd, 2022)	E-atıklara yönelik gelişmeler	Avusturya
(Ay Sarıyar vd, 2021)	E-atıkların geri kazanımı	Türkiye
(Sağlık vd, 2022)	ISO 14000'e faktörler ile gelişmeler arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi	Türkiye
(Xu vd, 2020)	Sürdürülebilir e-atık yönetimi	Çin
(Islam ve Huda, 2019)	E-atık yönetiminde Malzeme akış analizi (MFA) üzerine uygulama	Avustralya
(Kumar ve Dixit, 2018)	E-atık yönetimi uygulamalarını etkileyen engellerin analizi	Hindistan
(Kaya, 2016)	Elektronik atıklardan metal geri kazanımı	Türkiye
(Ikhlayel, 2018)	Gelişmekte olan ülkelerde e-atık yönetim sistemleri kurmak	Japonya
(Çiftlik vd, 2009)	E-atık yönetimi, ekonomisi ve metal geri kazanımı açısından değerlendirilmesi	Türkiye
(Wath vd, 2011)	E-atık durumu, yönetimi ve sonuçları	Hindistan
(Widmer vd, 2005)	E-atıklara genel bakış	İsviçre
(Liu vd, 2023)	E-atık geri dönüşümüne genel bir bakış	Çin
(Parvez vd, 2021)	E-atığa maruz kalmanın sağlığa etkileri	Çin
(Garg, 2021)	E-atık önleme stratejilerinin modellenmesi	Hindistan
(Shittu vd, 2021)	E-atıkların gözden geçirilmesi	Birleşik Krallık
(Ahirwar ve Tripathi, 2021)	E-atık yönetiminin incelenmesi	Hindistan
(Rautela vd, 2021)	E-atık yönetimi ve çevre ve insan sağlığına etkileri	Hindistan
(Thakur ve Kumar, 2021)	E-atık durumunun, yönetim stratejilerinin ve yasaların değerlendirilmesi	Hindistan
(Fan vd, 2022)	Sürdürülebilir e-atık bertaraf davranışına cinsiyetin etkisi	Pakistan
(Islam vd, 2021a)	E-atıkta sürdürülebilir metal geri kazanımında ilerlemeler	Avustralya
(Islam vd, 2021b)	Tüketici davranışlarının değerlendirilmesi	Avustralya

Literatürde CBS kullanılarak çevre ve doğal kaynakların yönetimi, ulaşım planlaması, afet yönetimi, sağlık, turizm, coğrafya gibi birçok alanda çalışma gerçekleştirildiği görülmüştür. E-atık üzerine CBS ile gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. CBS ile ilgili yapılan çalışmalar

Yazar/Yıl	Uygulama Alanı	Ülke
(Mangaonkar vd, 2014)	E-atıkta yeşil teknoloji	Hindistan
(Farizi ve Sari, 2021)	E-atık toplamada puanlama sistemi	Endonezya
(Merem vd, 2021)	E-atık durumu ve risk değerlendirmesi	Batı Afrika
(Islam, 2019)	E-atık tüketimini etkileyen faktörler	Bangladeş
(Keçeci vd, 2014)	E-atık yönetimi	Türkiye

Literatürde SWARA ve Kararsız Bulanık SWARA yöntemleri kullanılarak tedarikçi seçimi, firma seçimi, performans değerlendirme, önceliklendirme gibi farklı alanlarda gerçekleştirilen bazı çalışmalar Tablo 4.3’te verilmektedir.

Tablo 4.3. SWARA- Kararsız Bulanık SWARA ile ilgili yapılan çalışmalar

Yazar/Yıl	SWARA	Kararsız Bulanık SWARA	Uygulama Alanı	Ülke
(Rani vd, 2020)		*	Sürdürülebilir tedarikçi seçimi	Hindistan
(Kaya ve Erginel, 2020)		*	Sürdürülebilir havaalanı tasarımı	Türkiye
(Saraji vd, 2022)		*	COVID-19 salgınının yayılımını kontrol altına alma	İran
(Çakır, 2022)		*	İhracat performansı değerlendirilmesi	Türkiye
(Eren Limoncuoğlu, 2022)		*	Proje yönetimi süreçlerinde önceliklendirme	Türkiye
(Geetha vd, 2020)		*	İnşaat sözleşmesi seçimi	Hindistan
(Ulutaş, 2019)	*		Catering firması seçimi	Türkiye
(Sharma vd, 2021)	*		E-atık madenciliği incelemesi	Hindistan
(Stanujkic vd, 2015)	*		Ambalaj tasarımı seçimi	Sırbistan
(Sivageerthi vd, 2022)	*		Kömür tedarik zinciri riskleri	Hindistan
(Karabasevic vd, 2016)	*		Proje bazlı şirket sıralaması	Sırbistan

Literatürde E-atıklar ve ÇKKV yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, tesis seçimi, performans değerlendirme, e-atık yönetimi, e-atık tesislerinde tedarik zinciri gibi çeşitli alanlarda yapılan çalışmalar Tablo 4.4’te sunulmaktadır.

Tablo 4.4. ÇKKV ve E-atık ile ilgili yapılan çalışmalar

Yazar/Yıl	ÇKKV Metodu	Uygulama Alanı	Ülke
(Baidya vd, 2020)	AHP, QFD	E-atık tesislerinde tedarik zinciri	Hindistan
(Jangre vd, 2021)	F-DEMATEL, F-ISM	E-atık yönetimindeki engellerin analizi	Hindistan
(Keshavarz-Ghorabae vd, 2022)	SECA, F-SECA, SMART	Sürdürülebilir E-atık yönetimi	İran
(Xu vd, 2020)	AHP	E-atık yönetimi için risk tabanlı performans değerlendirme	Çin
(Avdan, 2018)	GRA, F-GRA	E-atık geri kazanım tesisi seçimi	Türkiye

Tablo 4.3’de görüldüğü gibi literatürde SWARA yöntemi kullanılarak e-atık üzerine gerçekleştirilmiş bir çalışma mevcuttur. Sharma ve arkadaşları tarafından 2021 yılında gerçekleştirilen bu çalışmada, sürdürülebilir bir ekonomi için Hindistan’da oluşan kentsel e-atık madenciliğinin sorunları ve zorluklarını incelemiştir. Bu zorluklar tespit edilip değerlendirilirken SWARA ve WASPAS yöntemlerinden faydalanılmıştır (Sharma vd, 2021). Literatürde SWARA ve e-atık başlıklarının bir arada olduğu başka bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Benzer şekilde Ulusal Tez Merkezinde “e-atık” ve “SWARA” kelimeleri birlikte aratıldığında da herhangi bir çalışmaya ulaşılmamıştır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, literatürde e-atık toplama kutularının yer seçimi için CBS ve Kararsız Bulanık SWARA yöntemlerinin bir arada kullanıldığı başka bir çalışmanın mevcut olmadığı söylenebilir. Tez çalışmasının bu yönü ile literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

5.1. Karar verme

Karar verme olgusu insanın hayatı boyunca sürekli karşılaştığı bir durumdur. İnsan yaşamı süresince çeşitli seçenekler arasından seçim yapmak durumunda kalır. Bir amaca ulaşabilmek adına elinde var olan olanak ve şartlar dahilinde en uygun seçimi yapmak karar verme olarak tanımlanabilir (Karakaşoğlu, 2008).

Bir problemin karar problemi olarak ifade edilebilmesi için aşağıdaki kriterlere sahip olması gereklidir;

- Çok sayıda davranış yolu bulunmalı
- Tüm davranışların birbirinden farklı sonuçları olmalı
- Belirli amaçların gerçekleştirilmesi istenmeli (Karakaşoğlu, 2008)

5.1.1. Karar Verme Süreci

Karar verme sürecinde ortaya çıkan sonuçlar, birey, grup, organizasyon veya kararın herhangi bir konu ile alakalı olmasına göre farklılık gösterir. Basit karar verme durumlarında, insanlar genellikle sezgisel yaklaşımları tercih ederler. Ancak bir işletmeyi veya grubu ilgilendiren durumlarda, bilimsel süreçlere dayanan yaklaşımların kullanılması gereklidir. Bilimsel süreçler, sezgisel yaklaşımlardan daha güvenilirlerdir (Es ve Hatipoğlu, 2022). Keskin hatlar taşımamakla birlikte karar verme sürecinin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Karakaşoğlu, 2008):

- Problemi fark etme
- Problemi belirlenme ve tanımlama
- Alternatif belirleme
- Alternatifleri değerlendirme
- En uygun alternatifi belirleme
- Kararın değerlendirilmesi

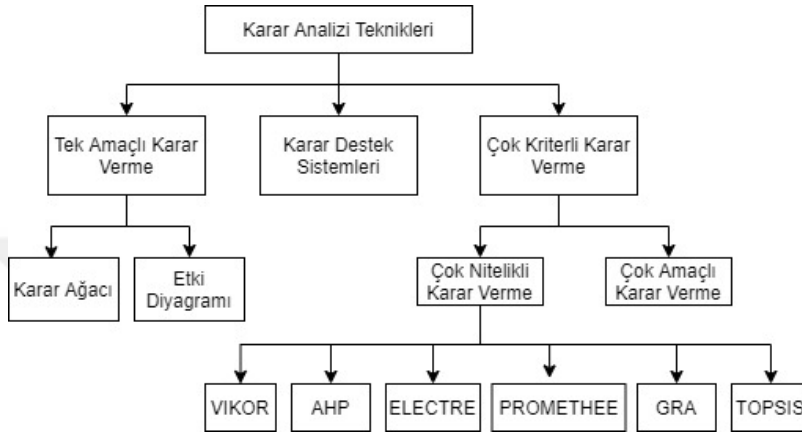
5.1.2. Karar Verme Modelleri

Karar verme modelleri, değişkenlerin niteliklerine, seçeneklerin ve sonuçların ortaya çıkış şekillerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Karar vericinin bilgi düzeyi de bu değişkenliklere etki eder. Karar verme modellerini aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür (Karakaşoğlu, 2008):

- Belirlilik altında karar verme

- Belirsizlik altında karar verme
- Risk altında karar verme
- Kısmi bilgi altında karar verme
- Rekabet altında karar verme

Karar verme modellerin uygulanmasını ve çıkan sonuçların değerlendirilmesini sağlayan karar analizi teknikleri aşağıdaki gibidir (Zhou vd, 2006):



Şekil 5.1. Karar analizi tekniklerinin sınıflandırılması (Zhou vd, 2006)

5.1.3. Çok Kriterli Karar Verme

ÇKKV, çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilmesi ve bununla beraber alternatiflere değer atama süreci şeklinde ifade edilir. Çok kriterli karar verme; çok nitelikli karar verme ve çok amaçlı karar verme olmak üzere iki grupta incelenebilir. Çok nitelikli karar vermede bazı özelliklere puanlar verilip alternatifler değerlendirilir ve en iyi alternatif seçilmesi amaçlanır. Çok amaçlı karar vermede birbiri ile çelişen amaçlara dayalı en uygun alternatif seçimi yapılır. İki problem türünde de karar verici bir ya da birden fazladır (Karaatlı vd, 2015).

ÇKKV problemlerinde kullanılmak üzere geliştirilen çok sayıda yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları kullanıldıkları problemin türüne göre Tablo 5.1’de gruplandırılmaktadır.

Tablo 5.1. ÇKKV problemleri ve yöntemleri (Değermenci, 2016)

Seçim Problemleri	Sınıflama Problemleri	Sıralama Problemleri
AHP	AHP	AHPSort
ANP	ANP	UTADIS
MAUT/UTA	MAUT/UTA	FlowSort
MACBETH	MACBETH	ELECTRE-Tri

Tablo 5.1 devam

PROMETHEE	PROMETHEE
ELECTRE 1	ELECTRE 1
TOPSIS	TOPSIS
HEDEF	
PROGRAMLAMA	

5.1.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Günümüzde hızla artan rekabetin yanında seçeneklerin de artması ile birlikte işletmelerin çoklu kriter altında en uygun alternatifi seçmesi beklenir. Alternatifin çok olduğu bu durumda geleneksel karar verme yöntemleri yetersiz kalmaktadır. ÇKKV yöntemleri ise bu noktada devreye girmektedir (Arıbaş, 2021).

ÇKKV yöntemlerindeki tek amaç faydanın en üst, maliyetin en az seviyede olduğu ideal alternatifi bulmaktır (Arslan, 2022).

ÇKKV yöntemlerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Cengiz, 2012) ;

- Ortak bir alan oluşturarak birden fazla ve birbiri ile çelişen kriterler olması durumunda karar verme sürecini kolaylaştırır
- Nicel ve nitel kriterleri bir arada değerlendirerek çok büyük miktardaki veri setlerini ele alabilir
- Sistematik bir karar verme süreci ile birlikte karmaşık konuların anlaşılabilir olmasını sağlar

ÇKKV yöntemlerinin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Alternatifler arasında karşılaştırma yapma zorluğu ortaya çıkabilir. Örneğin bir alternatif bir kritere göre diğer seçenekten üstün olurken başka bir kritere göre üstün olmayabilir. Bu durumda uygun alternatifi bulmak için ek bilgiye ihtiyaç duyulur
- Birçok karar verme probleminde bir alternatif bütün kriterlere göre üstün olamaz. Bu durumda sorunlar net şekilde tanımlanamaz. Sonuçta da uzlaşık çözümler üretilir. En iyi uzlaşık çözümler ise öznel ve karar vericiye bağlıdır (Cengiz, 2012)

ÇKKV yöntemlerinin birbirlerine göre üstün olan yönleri bulunmaktadır. Problemin çözümüne geçmeden önce hangi yöntemin daha uygun olduğuna karar verilmelidir. Bu bağlamda Tablo 5.2’de bazı ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tablo 5.2. ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırması (Chakraborty, 2011)

Yöntem	Hesaplama Süresi	Basitlik	Matematiksel Hesaplamalar	Kararlılık	Veri Türü
MOORA	Çok az	Çok basit	Minimum	İyi	Nicel
AHP	Çok yüksek	Çok kritik	Maksimum	Zayıf	Karma
TOPSIS	Orta	Kısmen Kritik	Orta	Orta	Nicel
VIKOR	Az	Basit	Orta	Orta	Nicel
ELECTRE	Yüksek	Kısmen kritik	Orta	Orta	Karma
PROMETHEE	Yüksek	Kısmen kritik	Orta	Orta	Karma

5.1.4.1. SWARA Yöntemi

SWARA yöntemi, 2010 yılında Keršuliene, Zavadskas ve Turskis tarafından önerilmiştir (Keršuliene vd, 2010). SWARA yönteminde kriter ağırlıkları belirlenirken kriterler arasındaki önem düzeyleri uzmanlar tarafından belirlenir. Bu durum yöntemin öne çıkan ayırt edici özelliklerindendir (Bıyık, 2020).

SWARA yönteminde karar verme kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için çok fazla ikili karşılaştırma yapılmaması karar vericilere kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntem teknoloji değerlendirme, personel seçimi, lojistik performans değerlendirme, tedarikçi seçimi, otel seçimi değerlendirme, enerji sistemi göstergelerinde önceliğinin belirlenmesi, veri tabanı yönetim sistemi seçimi, yatırım önceliklendirmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Kayapınar Kaya ve Erginel, 2020).

SWARA yönteminin adımları şu şekildedir (Karabasevic vd, 2016; Stanujkic vd, 2015);

- 1- Kriterler, uzman görüşleri alınarak en yüksek önem düzeyinden en az önem düzeyine göre sıralanır.
- 2- Her bir kriter için j. kriter, bir sonraki (j+1). kriter ile kıyaslanır ve (j+1). kriterin j. kriterden hangi derecede önemli olduğu belirlenir. s_j ile gösterimi yapılan bu değerlere ortalama değerin karşılaştırmalı önemi denir.
- 3- k_j katsayısı Denklem (5.1)'deki gibi hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (5.1)$$

- 4- q_j ağırlık vektörü Denklem (5.2)'deki gibi her kriter için hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (5.2)$$

- 5- Toplamları bire eşit olan değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıkları Denklem (5.3)'teki gibi belirlenir.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^m q_k} \quad (5.3)$$

5.1.4.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi ilk olarak 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından önerilmiştir (Hwang ve Yoon, 1981). Bu yöntem alternatifleri ideal çözüme benzerliklerine göre sıralar (Hasanzadeh vd, 2023). Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel kavram içerir (Yang vd, 2022). TOPSIS, karmaşık matematiksel modelleri içermeyen için ekonomi problemleri, portföy seçimi, planlama, risk analizi, bilgisayar ve bilgi seçimi, veri tabanı seçimi, sermaye yatırımı, ürün tasarımı, gibi birçok alanda uygulanmıştır (Öztürk, 2019). TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Özdil, 2022):

- 1- Amaçlar ve kriterler belirlenir.
- 2- Karar matrisi oluşturulur.
- 3- Normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur.

Normalize edilmiş karar matrisi oluşturulurken Denklem (5.4)'ten yararlanılır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5.4)$$

- 4- Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur.

Her bir kriter ağırlığı, sütun değerleri ile çarpılarak ağırlıklı normalize matris elde edilir. Burada kriter ağırlıkları toplamı 1 olmalıdır.

- 5- İdeal (A^*) ve negatif ideal (A^-) sonuçları oluşturulur.

Bir sonraki adımda pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur. A^+ , Pozitif ideal çözüm ve A^- , negatif ideal çözüm olarak gösterilir.

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J^1), i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{V_{1+}, V_{2+}, \dots, V_{n+}\} \quad (5.5)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J^1), i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{V_{1-}, V_{2-}, \dots, V_{m-}\} \quad (5.6)$$

- 6- Ayırım ölçüleri hesaplanır.

Bu aşamadan sonra ideal pozitif ve negatif çözüme uzaklıklar Denklem (5.7) ve Denklem (5.8)'deki gibi belirlenir.

$$S_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_{j+})^2} \quad (5.7)$$

$$S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_{j-})^2} \quad (5.8)$$

7- İdeal çözüme göreli yakınlık hesaplanır.

Her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlıkları Denklem (5.9)'daki gibi C_i^* ile gösterilir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- - S_i^+} \quad (5.9)$$

8- Alternatifler sıralanır.

6. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER

6.1. Bulanık Mantık

1965 yılında ilk defa Zadeh tarafından dile getirilen bulanık mantık, karmaşık olan belirsiz problemler için dilsel değişkenler yardımıyla karar vericilerin kararlarını kavramsallaştırmayı amaçlamıştır (Narin, 2022). Bu kavram başlangıçta ikiden fazla doğru anlama sahip herhangi bir mantık olarak bilinirken, Zadeh tarafından dilbilimsel mantık ve yaklaşık akıl yürütme teorisi olarak iki anlam daha eklenmiştir (Bıyık, 2022).

Bulanık mantık, klasik mantığın pek çok alanda yeterli olamaması ve insan zekasına uygun olmaması gibi sebeplerden ötürü rağbet görmüştür. Bulanık mantık çok değerli bir matematiksel bilimdir (Çebi, 2011).

Bulanık mantık, kesin olmayan durumları belirtme ile eşleşen bir mantık sistemidir. Bulanık mantık ile sıcak-soğuk, alçak-yüksek gibi ikili kavramlar yerine biraz sıcak-biraz soğuk, biraz alçak-biraz yüksek gibi esnek ifadeleri kullanma olanağı tanınır (Bıyık, 2022).

Bulanık mantığın kullanıldığı alanlardan bir kısmı aşağıdaki gibidir,

- Bilgi sistemleri: Uzman sistemler, bilgi depolama ve yeniden çağırma, bilgi tabanlı sistemler vb.
- Görüntü tanımlama: Makine görüntülemesi, görüntü işleme
- Otomatik kontrol sistemleri: Otomasyon, robotik, akıllı denetim, izleme sistemleri, elektronik ticari ürünler vb.
- Optimizasyon: Süzgeçleme, fonksiyon optimizasyonu, eğri uydurma vb. (Selim, 2021)

6.2. Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler sözel ifadeleri, model içinde bulunan değişkenlere ait bulanık kümeleri ve üyelik fonksiyonlarını açıklamayı hedeflemektedir. Bulanık sayılar, normalleştirilmiş, sınırlı-sürekli üyelik fonksiyona sahip, dışbükey ve gerçek sayılarda tanımlanan bulanık kümeler olarak belirtilir (Bayramoğlu, 2022). Klasik kümeler tek üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilirken, bulanık kümeler teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir. Bulanık kümelerdeki en önemli konu üyelik fonksiyonunun doğru ve uygulama ile uyumlu olmasıdır. Bu sebeple üyelik

fonksiyonu belirlendikten sonra bulanık küme teorisinde bulanık herhangi bir şey kalmadığı düşünülür (Bıyık, 2022).

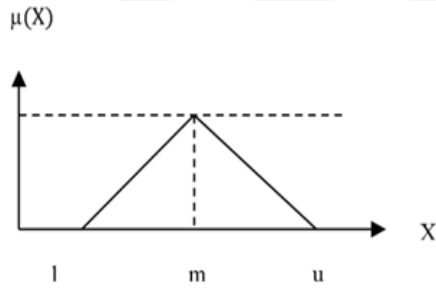
Klasik kümelerde nesne o kümenin üyesi veya değildir. Üyelik değeri eğer 1 ise kümenin elemanı, 0 ise elemanı değildir. Bulanık kümelerde ise nesnenin üyelik derecesi $[0,1]$ arasında sonsuz değer alabilir (Çebi, 2011).

6.2.1. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık kümelerde Üçgensel, Yamuk, Gauss ve Sigmoidal üyelik fonksiyonları bulunmakla birlikte en çok üçgensel üyelik fonksiyonu tercih edilmektedir.

6.2.1.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

Üçgen bulanık sayılar (l, m, u) şeklinde ifade edilir. Burada “l” harfi olabilecek en küçük değeri, “m” harfi en çok beklenen değeri ve “u” harfi ise olabilecek en büyük değeri temsil eder (Çelik ve Çağır, 2021).

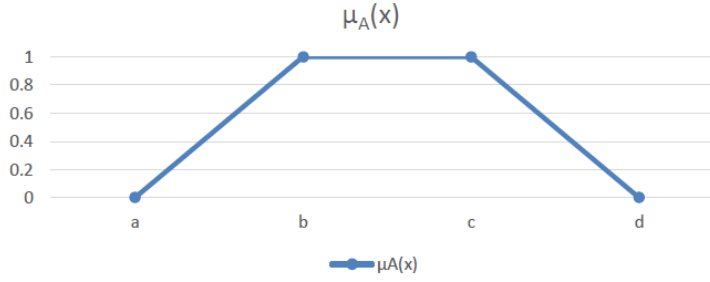


Şekil 6.1.Üçgensel üyelik fonksiyonu (Çelik ve Çağır, 2021)

6.2.1.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonunda bulanık sayılar a, b, c ve d gibi dört sayı ile temsil edilir. Denklem (6.1)’de yamuk bulanık sayılar gösterilmiştir. Yamuk üyelik fonksiyonları ise Şekil 6.2’deki gibi ifade edilir (Balbaş ve Turan, 2019).

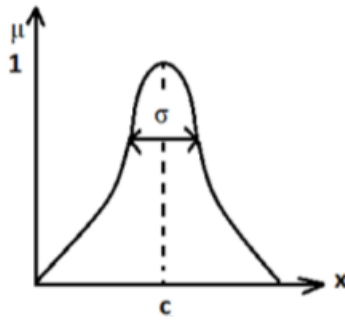
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x < b \\ 1 & , b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x < d \\ 0 & , x > d \end{cases} \quad (6.1)$$



Şekil 6.2. Yamuk üyelik fonksiyonları (Balbaş ve Turan, 2019)

6.2.1.3. Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu bir değişken, iki parametreye bağlı ve üstel ifadelere sahip bir üyelik fonksiyonudur. Üstel ifadelerin olmasından dolayı donanımsal gerçeklemeler diğer fonksiyon çeşitlerine göre daha zordur. Gauss üyelik fonksiyonunda Şekil 6.3'te yer aldığı gibi c değerine yaklaştıkça bulanıklaştırma hızla değişirken, uzak kısımlarda yavaş değişmektedir. Bu durum üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarında doğrusal ilerlemektedir. Aşağıdaki şekilde “ x ” değişkeni, “ c ” ve “ σ ” parametreleri belirtmektedir (Bıyık, 2022).



Şekil 6.3. Gauss üyelik fonksiyonu (Bıyık, 2022)

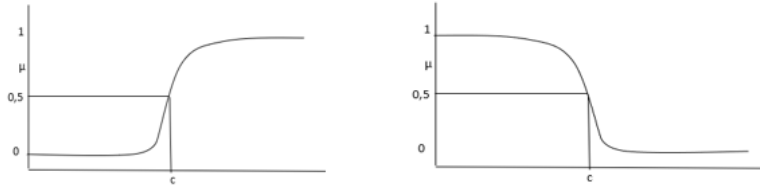
6.2.1.4. Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

Sigmoidal üyelik fonksiyonu sağa ya da sola eğimli olabilir. Bu fonksiyonu ifade eden Denklem (6.2) aşağıdaki gibidir.

$$f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (6.2)$$

Bu denklemde c değeri başlangıca olan uzaklığı belirtirken, a değeri ise fonksiyonun dikliğini belirler. A değeri pozitif ise üyelik fonksiyonu sağa eğimli, negatif ise sola eğimlidir. Sağa eğimli olması “çok büyük pozitif” anlamına gelirken,

sola eğimli olması “çok büyük negatif” anlamına gelir (Bıyık, 2022). Sigmoidal sol ve sağ üyelik fonksiyonları Şekil 6.4’teki gibidir.



Şekil 6.4. Sigmoidal sol ve sağ üyelik fonksiyonları (Bıyık, 2022)

6.3. Kararsız Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi, belirsiz bilgi ile başa çıkma konusunda etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Fakat aynı anda iki veya daha fazla belirsizlik kaynağı devreye girdiğinde, bulanık kümeler sınırlı kalmaktadır (Çalış Boyacı vd, 2021a). Literatürde Bulanık kümeler kavramı içinde, tip-2 bulanık kümeler, aralık değerli bulanık kümeler, Atanassov’un sezgisel bulanık kümeleri, Pisagor bulanık kümeler ve kararsız bulanık kümeler gibi bulanık kümelerin farklı uzantıları ve genellemeleri önerilmiştir. Torra, 2009 yılında bulanık kümelerin bir genellemesi olan Kararsız Bulanık Kümeler kavramını önermiştir (Torra, 2010). Bu yaklaşımla, bir öğeye üyeliği olan bir dizi değerler kümesi tanımlayarak bu zorlukları aşmayı hedeflemiştir (Güler, 2018).

Bulanık dilsel yaklaşımlar, uzmanlardan tek bir ifade seçmesini ister. Fakat uzmanlar bazı durumlarda uygun dilsel ifadeyi seçmekte kararsız kalabilirler (Çalış Boyacı vd, 2021a). Rodríguez ve arkadaşları, uzmanların farklı dilsel ifadeler arasında kararsız kaldıklarında kullanabilecekleri Kararsız Bulanık Dilsel Terim Setleri (KBDTS) temelli bir grup karar verme modeli önermişlerdir (Rodríguez vd, 2013). Bu yaklaşımla karar vericiler alternatifleri tek kriter bazında değerlendirmektedirler (Çalış Boyacı vd, 2021a). Yavuz ve arkadaşları tarafından bu algoritma ÇKKV problemleri için genişletilmiştir (Yavuz vd, 2015).

6.3.1. Kararsız Bulanık SWARA

Çok kriterli karar verme çalışmalarının bir bölümünde kararı etkileyen faktörlerin ağırlık veya önem düzeyinin belirlenmesi amaçlanır. Ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan araçlardan biri de SWARA yöntemidir. Kriter ağırlıklarını belirlerken uzman görüşlerini dikkate alan bu yöntem, uzmanların düşüncelerini ifade

ederken dilsel terimlerden yararlanmalarına ve tek bir dilsel terim seçmekte tereddüt etmeleri durumunda birden fazla dilsel terim kullanmalarına olanak sağlayan KBDTS entegre edilmiştir. KBD-SWARA (Kararsız Bulanık Dilsel Terimler Temelli SWARA) yöntemi ile bir karar probleminde kriter ağırlıkları aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanır (Ecer, 2021; Ren vd, 2019):

- 1- Karar probleminin hedefi ve bu hedefte etkili olan kriterler belirlenir. Kriterlerin değerlendirilmesi için görüşüne başvurulacak uzman grup oluşturulur.
- 2- Uzman grubun her bir üyesinden, kriterleri önem sırasına göre sıralaması istenir. c_j ($j=1,2,3,\dots,n$) kriteri u_k ($k=1,2,3,\dots,p$) uzman grubu üyesi tarafından t_{jk} sıralaması ile değerlendirilsin. Eğer uzman görüşleri arasında önem farkı yoksa kriterlerin genel sıralaması Denklem (6.3) teki gibidir. Eğer önem düzeyi farklı ise ağırlıklı toplam yöntemi ile görüşler birleştirilebilir.

$$\bar{t}_j = \sum_{k=1}^p t_{jk} / p \quad (6.3)$$

- 3- Kriterlerin görelî önem dereceleri, en önemli kritere göre belirlenir. Burada her bir uzmandan, tüm kriterlerin en önemli kritere göre görelî önemini S kümesinden kararsız bulanık dilsel terimler kullanarak belirtmesi istenir. Karar vericinin görüşünü ifade ederken tek bir dilsel terim seçebilmesinin yanı sıra “arasında” gibi bağlaç kullanarak iki veya daha fazla dilsel terim seçebilmesi de mümkündür.

$S = \{S_0 = \text{oldukça az önem}, S_1 = \text{çok güçlü bir biçimde az önem}, S_2 = \text{güçlü}$

$\text{biçimde az önem}, S_3 = \text{çok az önem}, S_4 = \text{hafifçe az önem}, S_5 = \text{eşit önem},$

$S_6 = \text{hafifçe daha fazla önem}, S_7 = \text{çok daha fazla önem}\}$

- 4- Bu adımda Denklem (6.4)’te verilen yığılma operatörü yardımıyla uzman görüşleri bütünleştirilir.

$$HFLWA(H_1, H_2, \dots, H_p) = \bigoplus_{k=1}^p (\omega_k H_k) = \bigcup_{S_{a_k} \in H_k} \{S_{\sum_{k=1}^p \omega_k a_k}\} \quad (6.4)$$

Burada $H_1, H_2, \dots, H_p$ bütünleştirilecek olan kararsız bulanık dilsel kümeleri, ω_k uzman grubunun k. üyesinin görüşüne verilen önem derecesini ve a_k , k. uzman tarafından yapılan değerlendirmede kullanılan dilsel terimleri ifade eder.

- 5- Bu adımda bütünleştirilmiş uzman görüşlerindeki değerler kullanılarak s_j kriter puanı hesaplanır. Bu sayede dilsel terim kümeleri tek bir değere indirgenir. Kriter puanı Denklem (6.5)'te verilen skor fonksiyonu ile hesaplanır.

$$\rho(H_s) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{\varphi_1}{\#H-1} \quad (6.5)$$

H_s kararsız bulanık kümesinde puan hesaplanırken; L , kümedeki eleman sayısını, φ_1 kümenin elemanlarını, $\#H$ ise dilsel ölçekte yer alan toplam eleman sayısını ifade eder.

- 6- Bu adımda, en önemli kriter hesaba katılır. Denklem (6.6)'daki gibi, diğer kriter puanları 1 artırılarak kriter katsayıları (K_j) hesaplanır. En önemli kriterin katsayısı 1 kabul edilir.

$$K_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (6.6)$$

Akabinde önem vektörü hesaplanır. En önemli vektörün değeri (T_j) 1 kabul edilir. Denklem (6.7)'de belirtildiği üzere diğer kriterler için kendinden daha yüksek öneme sahip bir önceki kriterin önem vektörü değerine kriter katsayısı oranlanarak önem vektörü değeri hesaplanır.

$$T_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{T_{j-1}}{K_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (6.7)$$

- 7- Son adım olarak önem vektörü normalize edilir ve kriter ağırlıkları belirlenir. Denklem (6.8)'deki gibi önem vektörü elemanları, elemanların toplamına oranlanarak normalizasyon işlemi yapılır.

$$W_j = \frac{T_j}{\sum_{j=1}^n T_j} \quad (6.8)$$

7. CBS (COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ)

CBS, belirli bir amaç doğrultusunda yeryüzüne ait bilgileri toplamaya, depolamaya, kontrol etmeye, sorgulamaya, analiz etmeye ve görüntülemeye olanak sağlayan bir teknolojik sistemdir. Bu sistem yazılım ve donanım bileşenlerinden oluşur. Yeryüzüne ait bilgiler genellikle coğrafi koordinatlarla ifade edildiğinden, CBS sıklıkla haritalama sistemi olarak da kabul edilir (Tecim, 1999).

CBS; izleme, kontrol stratejilerinin geliştirilmesi, risk faktörlerinin değerlendirilmesi ve sürecin yönetilmesi gibi pek çok faktörün mekansal verilere dayalı olarak araştırılmasını sağlar. Mekansal veriler farklı katmanlarda tutulur ve CBS'de birlikte sorgulanıp ve analiz edilebilir (Çalış Boyacı ve Şişman, 2022).

CBS'yi diğer bilgi sistemlerinden ayıran özelliklerden biri de harita üzerinde yer alan her türlü nesnenin sahip olduğu geometrik bilgiyi de veri tabanında aynı anda saklar ve işler. Konum tabanlı işlemleri analiz etme yeteneği klasik veri tabanlarında yer almayıp sadece CBS'de yer alan bir özelliktir (Yomralıoğlu ve Aydınoglu, 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemi ile yapılmış pek çok uygulama vardır. CBS'nin kullanıldığı alanlardan bir kısmı şu şekildedir: Elektrik/Gaz işletimi, Askeri/İstihbarat, Ticaret, Harita yapımı, Telekomünikasyon, Arazi kullanımı, Taşımacılık, Çevre yönetimi, Maden-Petrol arama, İmar ve kadastro, Emniyet-Güvenlik, Devlet sektörü, Su ve atık su, Ziraat-Tarım, Tıp-Sağlık, Ormancılık, Yerel yönetim, Risk yönetimi, Jeoloji-Yer bilimi, Perakendecilik (Nişancı vd, 2010).

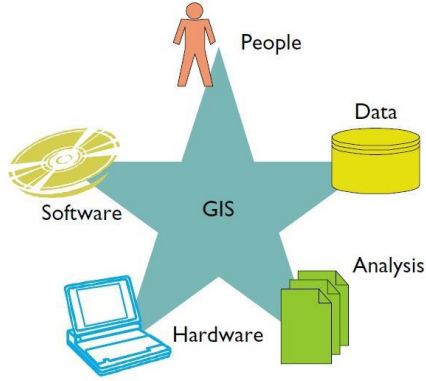
Coğrafi veriler CBS'de tablosal ve mekansal olarak gruplandırılabilir. Mekansal veriler, yeryüzünde yer alan objelerin şekil ve konum bilgilerini gösteren haritaları içerir. Tablosal veriler, coğrafi cisimlerin nitelik ve konumsal bilgilerini depolar (Özulu ve Tombuş, 2010).

CBS tarihine bakıldığında ilk olarak 1960'lı yılların ortalarında, arazilerin kaynak ve kullanımlarının ortaya çıkartılması sebebiyle Kanada'da ortaya çıkmıştır. Sonrasında da günümüze kadar kendine has bir ekonomik piyasa elde eden bir sektör durumuna ulaşmıştır (Bıyık, 2022).

7.1. CBS Bileşenleri

Her bütünün belirli parçalardan meydana gelmesi gibi CBS'de temelde bazı bileşenlerden meydana gelir. Bu bileşenler genel olarak 5'e ayrılır; Donanım, yazılım,

veri, insan ve yöntem olarak belirtilebilir (Swalehe, 2016). Ancak sistemi etkin ve yetkin şekilde kullanmak personel ve yöneticilerin eğitimleri ile mümkündür (Bıyık, 2022).



Şekil 7.1. CBS bileşenleri (Swalehe, 2016)

7.1.1. Donanım

CBS'nin çalışabilmesine yardımcı olan bilgisayar ve yan ürünlerin tamamı donanımı oluşturur. Örneğin yazıcı, tarayıcı, çizici, sayısallaştırıcı, veri kayıt üniteleri gibi ekipmanlar CBS için önemli donanımları oluşturur. (Fidan, 2009).

7.1.2. Yazılım

CBS yazılım sisteminin odaklandığı dört ana işlev vardır. Bunlar, veri giriş ve doğrulaması, verilerin depolanması ve veri tabanı yönetimi, veri çıkışı ve sunumu, veri dönüştürülmesi, analizi ve modellenmesi olarak belirtilebilir (Bıyık, 2022).

7.1.3. Veri

CBS için önemli bileşenlerden biri olan veri konumsal veya konumsal olmayan türde olabilir. Bu veriler ilgili kaynaklardan da toplanabilir ya da daha önce üretilmiş kaynaklardan temin edilebilir. CBS ile konumsal veriler diğer veri kaynakları ile bütünleştirilebilir. Uzmanlar tarafından veri, toplanması en zor ve temel bileşen olarak kabul edilir. Veriler her zaman ihtiyaç duyulan şekilde gelmez. Dağınık olması, fazlalığı, yapısal farklılıkları sebebiyle verilerin istenilen şekle gelmesi ve toplanması için zaman ve maliyet ihtiyacı gerekir (Fidan, 2009).

7.1.4. İnsan

CBS kullanıcıları sistemi tasarlamış, bakımını yapan teknik uzmanlardan, günlük kullanıcılara kadar büyük bir ekibe sahiptir. CBS kullanıcıları gerçek zamanlı

mekansal problemleri çözerler. Karar verme için planlama uygulama ve sonuca varmak için CBS kullanırlar (Fazal, 2008).

7.1.5. Yöntem

Başarılı bir CBS, iyi kurgulanmış bir plana, kuruluşa özgü modeller ve işletim uygulamaları olan iş kurallarına göre çalışır. Uygun yöntemler kullanılmadan uygulanan CBS başarısız bir sonuca ulaşacaktır (Swalehe, 2016).

7.2. CBS’de Veri Modelleri

Gerçek dünyadaki coğrafi varlıkların bilgisayar ortamında tanımlanabilmesi ve hızlı, güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için bu varlıkların matematik modellerle ifade edilmesi gerekir. Konumsal veriler bilgisayar ortamında;

- Vektör veri modelleri
 - Raster veri modelleri
- şeklinde ifade edilirler.

7.2.1. Vektör Veri Modeli

Nokta, çizgi ve alan özelliklerine sahip nesneleri belirli bir koordinat sistemine bağlı şekilde bilgisayar ortamında bulunduran yapılar vektör veri modeli olarak adlandırılır. Bu veriler noktalar prensibi ile çalışmaktadır (Tecim, 2008).

Bu veri modeli her nesneyi koordinatlı olarak saklayabilmesi ve diğer verilerle ilişkilendirebilmesi açısından bilgisayar sektörü için çok yenilikçi bir durumdur (Tecim, 2008).

Vektör verilerin avantajları şu şekilde sıralanabilir (Önder, 2003);

- Nokta, çizgi ve sembol gösterimi ile yorumlamaya gerek kalmaz
- Topolojik yapı olanağı sunar
- Küçük hacimli veri tabanı vardır
- Detaylar kolaylıkla güncelleştirilebilir ve değiştirilebilir
- Bilgi ayrı katmanlarda yer alır

7.2.2. Raster Veri Modeli

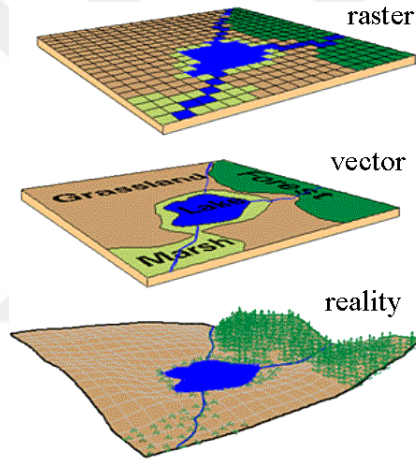
Raster veri modeli coğrafi verilerin modellenmesinde kullanılan diğer bir veri modelidir ve hücresel veri modeli olarak da ifade edilir. Bu veri modeli daha çok süreklilik özelliğine sahip coğrafi varlıkların ifadesinde kullanılmaktadır. Raster veri,

birbirine komşu grid yapıdaki aynı boyutlu piksellerin (hücrelerin) bir araya gelmesiyle oluşur. Her bir pikselin içinde tek bir kodlu renk vardır ve bu grid ağı bir matris olarak düşünülür.

Raster veriler ile vektör verilere göre daha çok veri toplanabilir. Hücrelere dayanan veriler olması sebebi ile de hücre boyutu ile ilişkili olarak veri kaybına yaşanabilmektedir (Rüstemov, 2014).

Raster verilerin avantajları şu şekilde sıralanabilir (Önder, 2003);

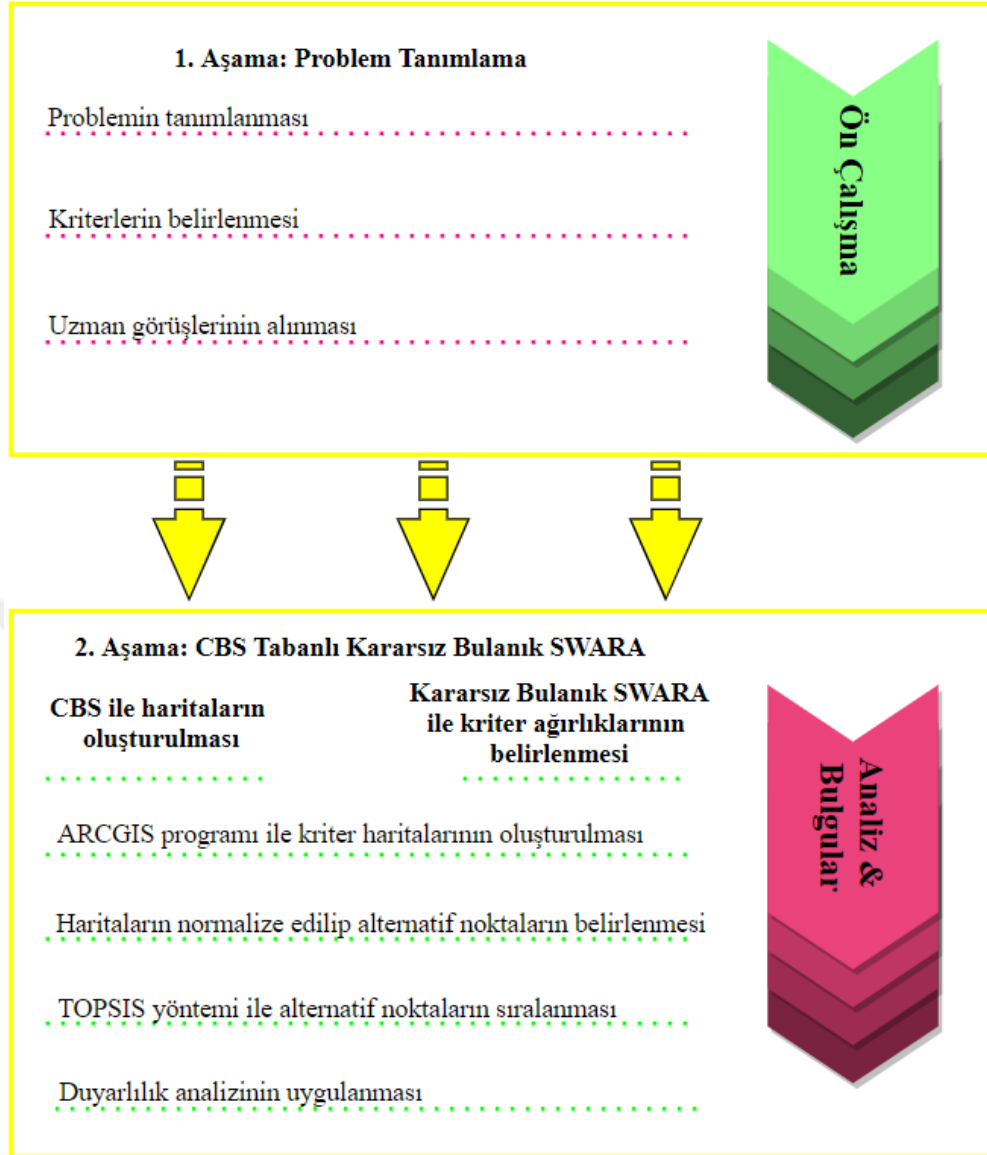
- Piksel boyutuna bağlı olarak tüm detaylar görünür
- Daha çok kullanıcıya hitap eder
- Stereo görüntülerden sayısal arazi modeli elde edilebilir
- Bilgiler ayrı katmanlarda yer alır



Şekil 7.2. Raster ve vektör veri tipleri (Rüstemov, 2014)

8. UYGULAMA

Bu bölümde, önerilen yöntem AEEE Yönetmeliği kapsamında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş kuruluş olan TÜBİSAD'ın sorumlu olduğu 3. ve 4. kategoride yer alan atık elektrikli ve elektronik eşyaların toplandığı e-atık toplama kutuları için Atakum'da uygun yerlerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Atakum, Samsun ilinin en yoğun ikinci nüfusa sahip ilçesidir. Nüfus yoğunluğuna bağlı olarak ilçede e-atık miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Çalışma kapsamında öncelikle alanında uzman beş kişinin desteği ve literatürdeki çalışmalar doğrultusunda e-atık toplama kutuları için yer seçiminde etkili olabilecek kriterler belirlenmiştir. Ardından, Kararsız Bulanık SWARA yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. Sonraki aşamada CBS ile veri setleri ve haritalar oluşturulmuş ve alternatif noktalar belirlenmiştir. Alternatif noktalar TOPSIS yöntemi ile sıralanmış ve kriter ağırlıklarındaki değişimin alternatiflerin sıralamasını nasıl etkilediğini görebilmek adına duyarlılık analizine yer verilmiştir. Uygulamaya ait akış diyagramı Şekil 8.1'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1. Uygulama akış diyagramı

8.1. Problemin Tanımlanması ve Kriterlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada, CBS tabanlı Kararsız Bulanık SWARA metodu kullanılarak e-atık toplama kutuları için en uygun lokasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, toplanan e-atık miktarının artması ile geri dönüşüme ve ekonomiye katkı sağlanarak çevreye verilen zararın en aza indirilebileceği öngörülmektedir. Çalışma Samsun ilinin Atakum ilçesini kapsamaktadır (Şekil 8.2).



Şekil 8.2. Çalışma alanı

Çalışmada yararlanılan ve TÜBİSAD'ın sorumlu olduğu e-atık toplama kutusu görseli Şekil 8.3'te verilmektedir.



Şekil 8.3. TÜBİSAD e-atık toplama kutusu (TÜBİSAD, 2016)

Çalışmanın ilk aşamasında e-atık toplama kutularının konumlandırılacağı yerlerin belirlenmesinde etkili olan kriterleri tespit etmek ve bu kriterleri ağırlıklandırmak amacıyla Tablo 8.1’de bilgileri verilen alanında uzman beş kişiden görüş alınmıştır.

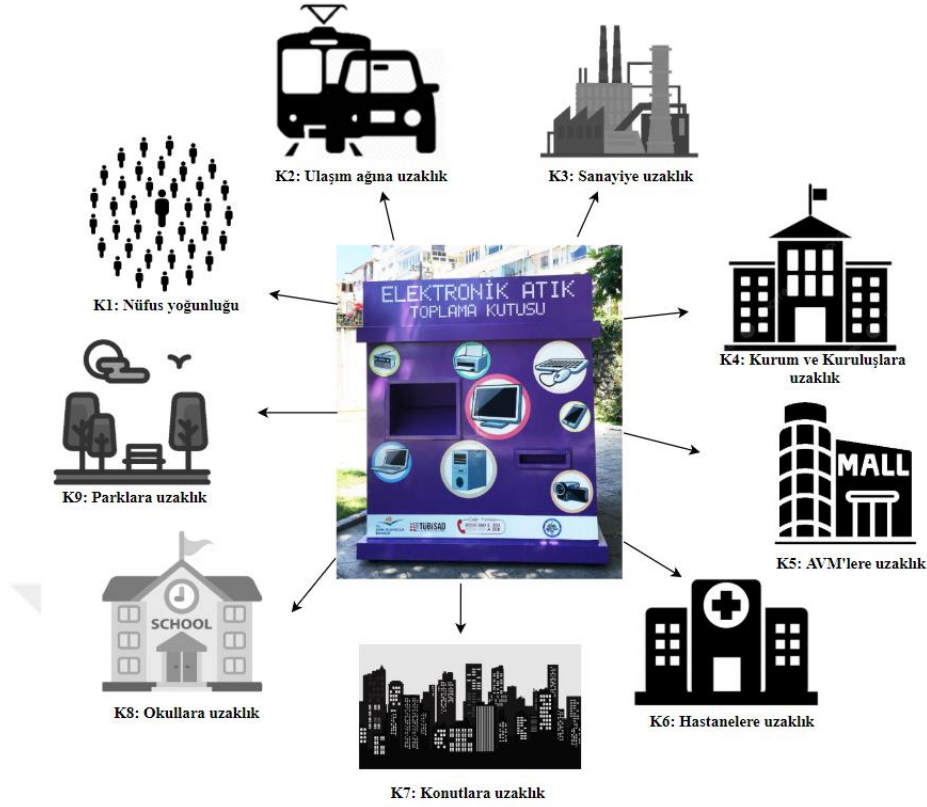
Tablo 8.1. Uzman gruba ait bilgiler

Uzman	Meslek	Tecrübe
Uzman-1	Çevre Mühendisi	4 yıl
Uzman-2	Akademisyen (Çevre Mühendisi)	34 yıl
Uzman-3	Akademisyen (Harita Mühendisi)	29 yıl
Uzman-4	Akademisyen (Elektrik-Elektronik Mühendisi)	34 yıl
Uzman-5	Yüksek Şehir Plancısı	26 yıl

Uzman ekibin tecrübe ve bilgi birikimi ile literatürdeki çalışmalar doğrultusunda kriterler; nüfus yoğunluğu (K1), ulaşım ağına uzaklık (K2) sanayiye uzaklık (K3), kurum ve kuruluşlara uzaklık (K4), AVM’lere uzaklık (K5), hastanelere uzaklık (K6), konutlara uzaklık (K7), okullara uzaklık (K8), parklara uzaklık (K9) olarak belirlenmiştir (Şekil 8.4).

Kriterler belirlenirken dikkate alınan hususlar şu şekildedir: K2 için tramvay yolu ve karayolu için sadece ana yollar-bulvarlar baz alınmıştır. K4 için kamu kurumları ve kamu kurumu özelliğine sahip büyük firmalar, K5 için ilçede bulunan AVM statüsündeki büyük merkezler, K6 için içerisinde birden fazla poliklinik içeren hastaneler, K7 için 150 daire ve üzeri siteler, K8 için ilkokul, ortaokul ve liseler, K9 için çevre düzenlemesi tamamlanmış ve en az 5000 m² ve üzeri alana sahip olan yerler baz alınmıştır.

Bu kriterlerden nüfus yoğunluğu fayda yönlü olup diğer kriterler maliyet yönlüdür.



Şekil 8.4. E-Atık toplama kutuları için yer seçiminde kullanılacak kriterler

8.2. Kriterler Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesinin ardından Kararsız Bulanık SWARA yönteminin ikinci adımında belirtildiği üzere kriterler uzman grubun her bir üyesi tarafından önem sıralarına göre Tablo 8.2'deki gibi sıralanmıştır. Bireysel değerlendirmelere ilişkin sıralamalar birleştirilerek uzman gruba ait genel sıralama elde edilmiştir. Buna göre, K3 yani “Sanayiye uzaklık” en önemli kriter olarak belirlenmiştir.

Tablo 8.2. Uzman görüşleri ile kriterlerin sıralanması

UZMAN	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Uzman 1	4	6	1	2	5	8	7	3	9
Uzman 2	2	3	1	6	5	9	4	8	7
Uzman 3	2	3	4	1	7	9	5	6	8
Uzman 4	1	4	2	6	5	3	8	7	9
Uzman 5	3	4	1	2	5	6	7	8	9
Birleştirme Sonucu	2,4	4,0	1,8	3,4	5,4	7,0	6,2	6,4	8,4
Sıralama	2	4	1	3	5	8	6	7	9

Kriterlerin görelî önem derecelerini belirlemek amacıyla uzmanlardan, aşağıda verilen S kümesindeki dilsel terimleri kullanarak her bir kriterin K3 kriterine göre önem düzeyini belirtmeleri istenmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda, kriterlerin K3'e göre önem düzeyleri Tablo 8.3'teki gibi elde edilmiştir.

S = (S₀= oldukça az önem, S₁= çok güçlü bir biçimde az önem, S₂= güçlü biçimde az önem, S₃= çok az önem, S₄=hafifçe az önem, S₅= eşit önem, S₆= hafifçe daha fazla önem, S₇= çok daha fazla önem)

Dilsel ifadeler kullanılarak yapılan kıyaslamalar tablo 8.3'te belirtilmiştir.

Tablo 8.3. Kriterlerin en önemli kritere göre önem düzeyi

Kriter	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5
K1	{S ₄ }	{S ₅ }	{S ₆ }	{S ₆ }	{S ₄ }
K4	{S ₄ , S ₅ }	{S ₃ }	{S ₆ , S ₇ }	{S ₂ }	{S ₄ , S ₅ }
K2	{S ₃ , S ₄ }	{S ₄ }	{S ₅ }	{S ₃ }	{S ₃ , S ₄ }
K5	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₃ }
K7	{S ₂ , S ₃ }	{S ₃ }	{S ₄ }	{S ₁ }	{S ₁ }
K8	{S ₄ }	{S ₂ }	{S ₃ , S ₄ }	{S ₂ }	{S ₀ , S ₁ }
K6	{S ₁ , S ₂ }	{S ₁ }	{S ₁ }	{S ₄ }	{S ₂ }
K9	{S ₀ , S ₁ }	{S ₁ }	{S ₂ }	{S ₀ }	{S ₀ }

Sonraki aşamada kriter bazında uzmanların görüşleri Denklem (6.4) ile verilen yığışım operatörü yardımıyla Tablo 8.4'teki gibi bütünleştirilmiştir.

Tablo 8.4. Yığışım operatörü kullanılarak elde edilen bütünleşik değerler

Kriter	Bütünleşik değer
K1	{S ₅ , S ₅ }
K4	{S _{3,8} , S _{4,4} }
K2	{S _{3,6} , S ₄ }
K5	{S _{2,6} , S _{2,6} }
K7	{S _{2,2} , S _{2,4} }
K8	{S _{2,2} , S _{2,6} }
K6	{S _{1,8} , S ₂ }
K9	{S _{0,6} , S _{0,8} }

Bütünleştirilmiş değerler dikkate alınarak Denklem (6.5) ile verilen skor fonksiyonu yardımıyla kriter puanları Tablo 8.5'teki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 8.5. Kriter puanları

Kriter	Puan
K1	0,7143
K4	0,5857

Tablo 8.5 devam

K2	0,5429
K5	0,3714
K7	0,3286
K8	0,3429
K6	0,2714
K9	0,1000

Bir sonraki aşamada en önemli kriter olan K3 hesaplamalara dahil edilerek Denklem (6.6) yardımıyla kriter katsayıları, ardından Denklem (6.7) yardımıyla önem vektörü Tablo 8.6'daki gibi belirlenmiştir.

Tablo 8.6. Kriter katsayısı ve önem vektörü

Kriter	Katsayı	Önem Vektörü
K3	1,000	1,000
K1	1,714	0,583
K4	1,586	0,368
K2	1,543	0,238
K5	1,371	0,174
K7	1,329	0,131
K8	1,343	0,097
K6	1,271	0,077
K9	1,100	0,070

Son olarak önem vektörü normalize edilmiş ve Denklem (6.8) kullanılarak önem vektörü elemanlarının, elemanlar toplamına oranlanması ile kriter ağırlıkları Tablo 8.7'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 8.7. Kriter ağırlık değerleri

Kriter	Ağırlık Değeri
K3	0,365
K1	0,213
K4	0,135
K2	0,087
K5	0,063
K7	0,048
K8	0,036
K6	0,028
K9	0,025
Toplam	1,00

Tablo 8.7 incelendiğinde, e-atık toplama kutularının yerlerinin belirlenmesinde K3 yani sanayiye uzaklık kriterinin 0,365 değeri ile en önemli; K9 yani parklara

yakınlık kriterinin ise 0,025 değeri ile en az önemli kriter olduğu görülmektedir. Kriterlerin sıralaması Tablo 8.8’de sunulmaktadır.

Tablo 8.8. Kriterlerin ağırlıklarına göre sıralanması

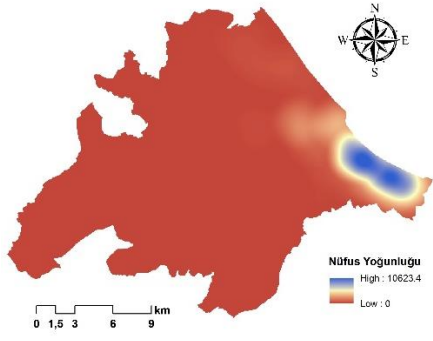
Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kriterler	K3	K1	K4	K2	K5	K7	K8	K6	K9

8.3. Kriter Haritaların Oluşturulması

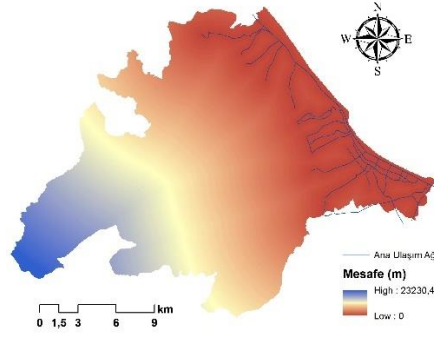
Kararsız Bulanık SWARA yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarını belirledikten sonra, haritaların oluşturulması ve alternatif noktaların belirlenmesi için ArcGIS programı kullanılmıştır. Katmanlar çakıştırılırken her katmanın piksel boyutunun eşit olması önem arz ettiği için haritaların piksel boyutları 50 m olarak belirlenmiştir. ArcGIS programında her bir kriter için ilgili haritaların üretilmesi amacıyla öncelikle veriler Tablo 8.9’daki gibi toplanmıştır. Google Earth’ten alınan verilerin bir kısmı zeminde de teyit edilmiştir. Haritalar oluşturulurken fayda yönlü kriter olan nüfus yoğunluğu için Kernel Yoğunluk Analizi kullanılırken, diğer maliyet yönlü kriterler için Öklid Mesafe Analizi kullanılmıştır. Bu şekilde kriterlerin mesafe haritaları elde edilmiştir. Elde edilen haritalar Şekil 8.6’te gösterilmiştir.

Tablo 8.9. Veri kaynağı ve analiz yöntemi listesi

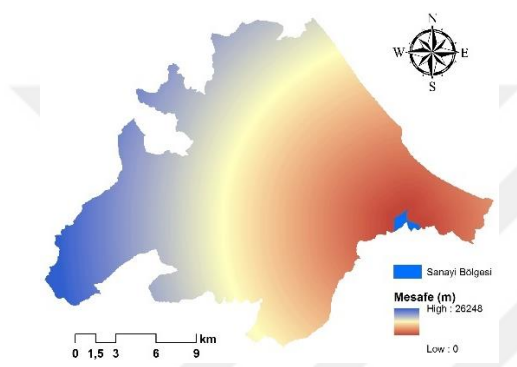
Kriter Numarası	Kriter	Veri Kaynağı	Analiz Yöntemi
K1	Nüfus yoğunluğu	TÜİK	Kernel yoğunluk
K2	Ulaşım ağına uzaklık	Google Earth / SAMULAŞ internet sitesi	Öklid mesafe
K3	Sanayiye uzaklık	Google Earth	Öklid mesafe
K4	Kurum/ Kuruluşlara uzaklık	Google Earth	Öklid mesafe
K5	AVM’ye uzaklık	Google Earth	Öklid mesafe
K6	Hastaneye uzaklık	İl Sağlık Müdürlüğü Web Sitesi	Öklid mesafe
K7	Konutlara uzaklık	Google Earth	Öklid mesafe
K8	Okullara uzaklık	Samsun MEB Web Sitesi	Öklid mesafe
K9	Parklara uzaklık	Google Earth	Öklid mesafe



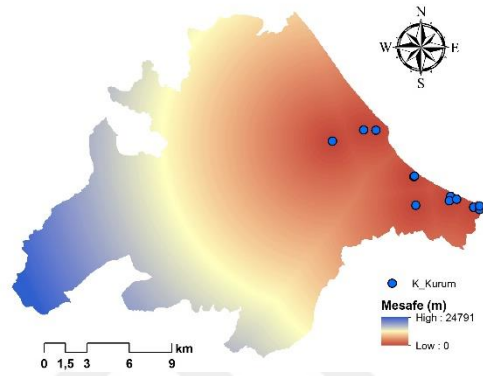
K1: Nüfus yoğunluğu



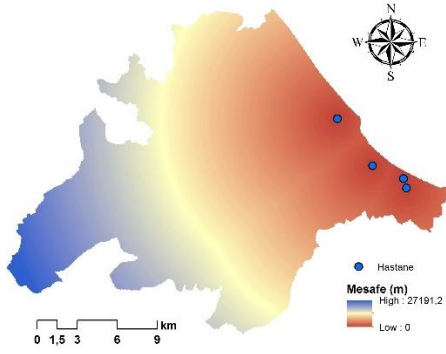
K2: Ulaşım ağına uzaklık



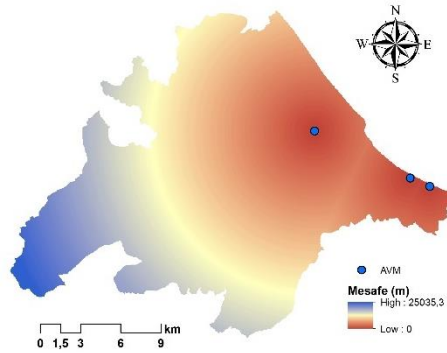
K3: Sanayiye uzaklık



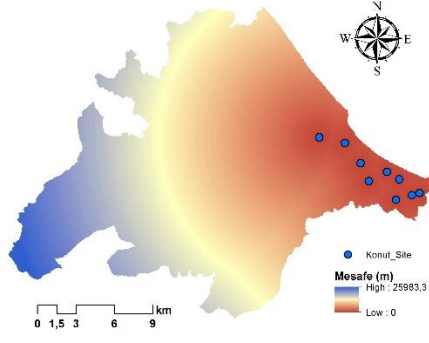
K4: Kurum ve Kuruluşlara uzaklık



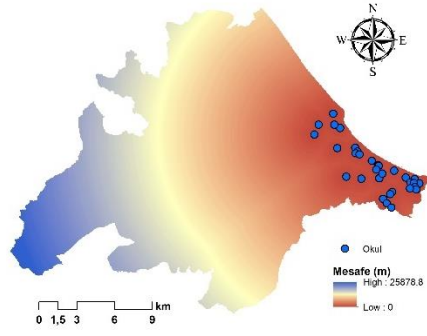
K5: Hastanelere uzaklık



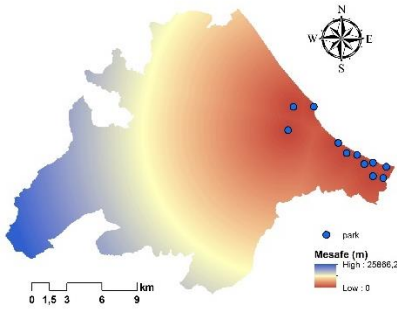
K6: AVM'lere uzaklık



K7: Konutlara uzaklık



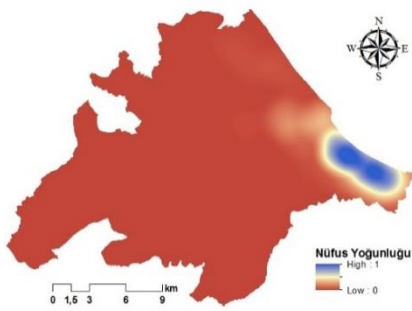
K8: Okullara uzaklık



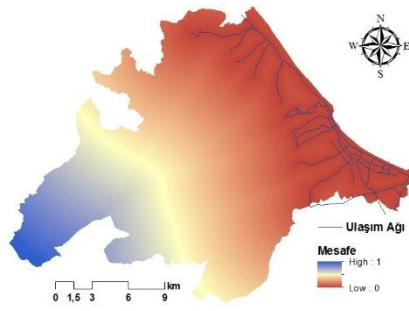
K9: Parklara uzaklık

Şekil 8.5. Öklid mesafe ve yoğunluk haritaları

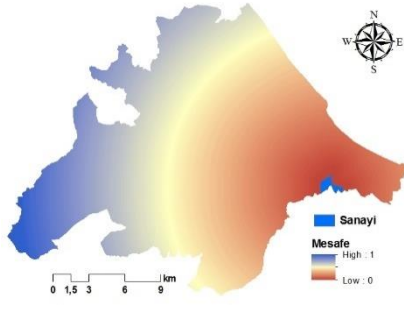
Kriterlerin veri kaynaklarından alınmış bilgiler doğrultusunda normalize edilip 0-1 arasına indirgenmiş haritaları Şekil 8.6'daki gibidir.



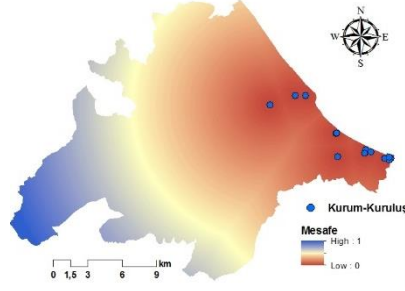
K1: Nüfus yoğunluğu



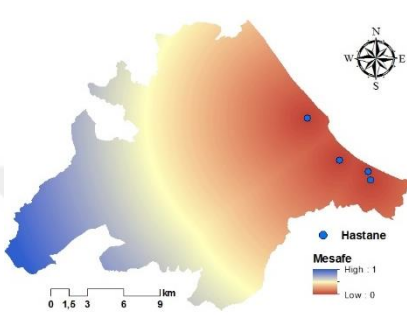
K2: Ulaşım ağına uzaklık



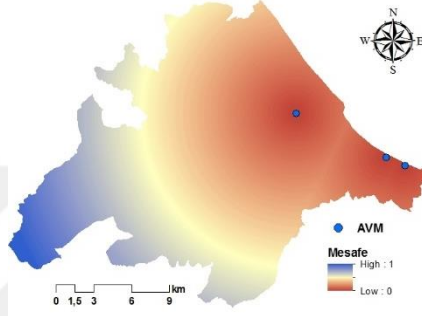
K3: Sanayiye uzaklık



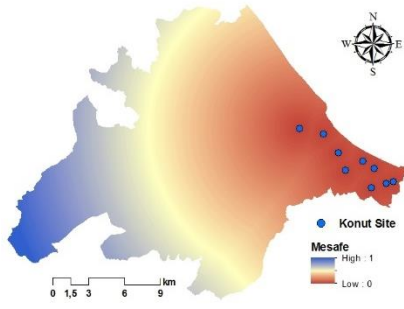
K4: Kurum ve Kuruluşlara uzaklık



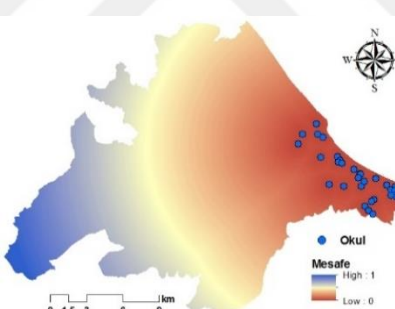
K5: Hastanelere uzaklık



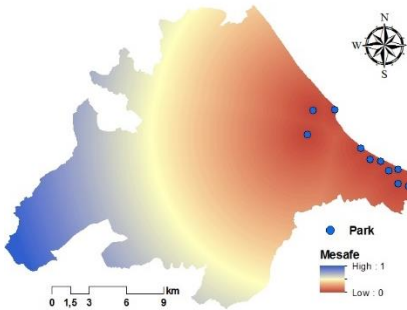
K6: AVM'lere uzaklık



K7: Konutlara uzaklık



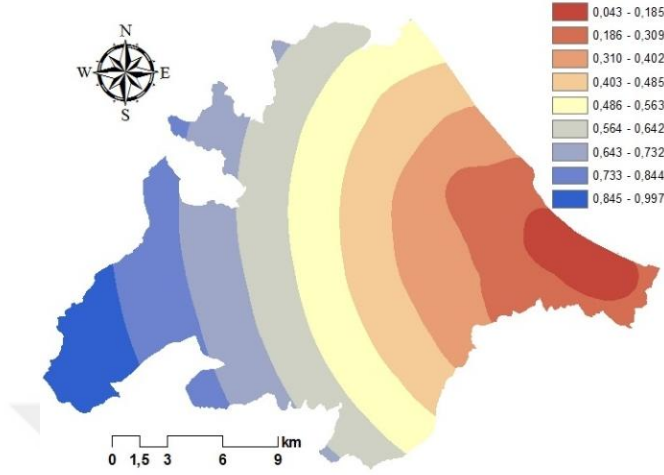
K8: Okullara uzaklık



K9: Parklara uzaklık

Şekil 8.6. Normalize edilmiş haritalar

Kararsız Bulanık SWARA metodundan elde edilen kriter ağırlıkları ile ArcGIS programında normalize edilmiş haritalar ağırlıklandırılmıştır. Akabinde overlay analizi ile çakıştırılmış ve Şekil 8.7'deki harita elde edilmiştir.

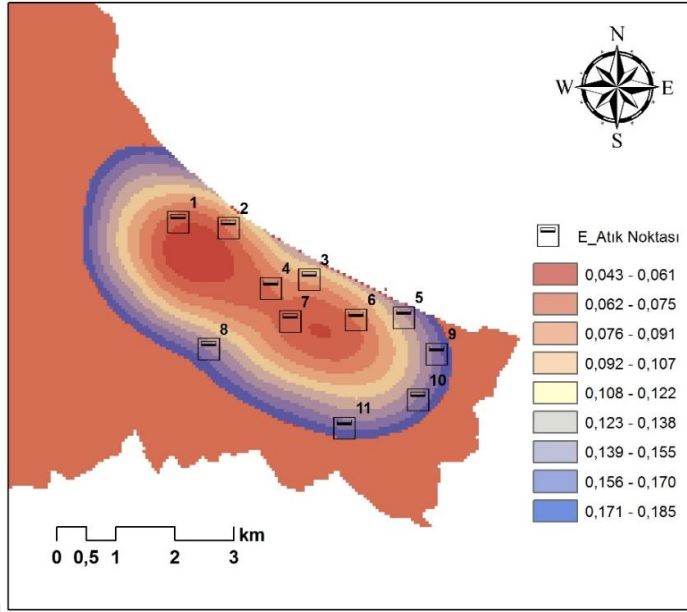


Şekil 8.7. Ağırlıklandırılmış harita

Bu aşamadan sonra alternatif noktalar elde edilmiştir. Alternatif noktalar elde edilirken aşağıdaki 2 kriterden faydalanılmıştır (Çalış Boyacı vd, 2021b):

- 1- 400 metre yarıçap yürüyüş mesafesinde en az 3 kriterin sağlanması,
- 2- Ağırlıklandırılmış haritadan 0,2 ağırlık değerinin altındaki bölgenin baz alınması

İrdeleme yapılırken yazılım tarafından oluşturulan sınıflandırılmış harita “doğal kırıklar” ile üretilmiştir. Bu sebeple ilk sınıf olan 0-0.185 aralığına odaklanılmıştır. Bu kriterler doğrultusunda 11 alternatif nokta belirlenmiştir. Bu noktalar Şekil 8.8'deki gibidir.



Şekil 8.8. Alternatif noktalar

8.4. Alternatif Noktaların Sıralanması

Alternatif noktaların sıralanması için ÇKKV TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu sıralama için öncelikle alternatif noktaların kriter haritalarındaki piksel değerleri ArcGIS programından elde edilmiştir. Elde edilen karar matrisi Tablo 8.10'da verilmektedir.

Tablo 8.10. Başlangıç karar matrisi

Alternatif Noktalar	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	0,931	0,000	0,102	0,028	0,099	0,009	0,027	0,004	0,037
A2	0,856	0,000	0,110	0,006	0,066	0,037	0,043	0,023	0,009
A3	0,804	0,000	0,123	0,048	0,006	0,006	0,016	0,019	0,014
A4	0,863	0,000	0,099	0,046	0,032	0,022	0,019	0,006	0,014
A5	0,654	0,000	0,158	0,005	0,003	0,053	0,035	0,014	0,004
A6	0,882	0,000	0,133	0,009	0,030	0,024	0,012	0,009	0,006
A7	0,908	0,000	0,101	0,045	0,037	0,020	0,014	0,003	0,036
A8	0,422	0,000	0,045	0,015	0,088	0,070	0,003	0,009	0,069
A9	0,577	0,006	0,167	0,022	0,037	0,073	0,030	0,007	0,026
A10	0,569	0,000	0,148	0,048	0,061	0,074	0,008	0,010	0,013
A11	0,466	0,000	0,098	0,072	0,087	0,061	0,004	0,011	0,051

Başlangıç karar matrisi Tablo 8.11'deki gibi normalize edilmiş karar matrisine dönüştürülmüştür.

Tablo 8.11. Normalize edilmiş karar matrisi

Alternatif Noktalar	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	0,378	0,000	0,253	0,226	0,508	0,058	0,358	0,097	0,346
A2	0,347	0,000	0,274	0,046	0,341	0,233	0,569	0,585	0,081
A3	0,326	0,000	0,306	0,383	0,029	0,037	0,204	0,487	0,128
A4	0,350	0,000	0,246	0,368	0,163	0,139	0,249	0,153	0,132
A5	0,265	0,000	0,393	0,036	0,015	0,332	0,465	0,339	0,041
A6	0,358	0,000	0,331	0,072	0,156	0,151	0,154	0,217	0,057
A7	0,369	0,000	0,252	0,357	0,189	0,125	0,184	0,069	0,339
A8	0,171	0,000	0,113	0,117	0,451	0,445	0,036	0,217	0,643
A9	0,234	1,000	0,415	0,178	0,190	0,460	0,393	0,175	0,244
A10	0,231	0,000	0,367	0,388	0,315	0,467	0,107	0,261	0,122
A11	0,189	0,000	0,243	0,579	0,446	0,383	0,057	0,274	0,483

Kararsız Bulanık SWARA yöntemi ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Tablo 8.12'deki gibi oluşturulmuştur. Tabloda belirtilen A^+ ve A^- değerleri pozitif ve negatif ideal çözümleri ifade etmektedir.

Tablo 8.12. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ağırlıklar	0,213	0,087	0,365	0,135	0,063	0,028	0,048	0,036	0,025
A1	0,080	0,000	0,092	0,031	0,032	0,002	0,017	0,003	0,009
A2	0,074	0,000	0,100	0,006	0,022	0,007	0,027	0,021	0,002
A3	0,070	0,000	0,112	0,052	0,002	0,001	0,010	0,017	0,003
A4	0,075	0,000	0,090	0,050	0,010	0,004	0,012	0,005	0,003
A5	0,057	0,000	0,144	0,005	0,001	0,009	0,022	0,012	0,001
A6	0,076	0,000	0,121	0,010	0,010	0,004	0,007	0,008	0,001
A7	0,079	0,000	0,092	0,048	0,012	0,003	0,009	0,002	0,009
A8	0,036	0,000	0,041	0,016	0,029	0,012	0,002	0,008	0,016
A9	0,050	0,087	0,152	0,024	0,012	0,013	0,019	0,006	0,006
A10	0,049	0,000	0,134	0,052	0,020	0,013	0,005	0,009	0,003
A11	0,040	0,000	0,089	0,078	0,028	0,011	0,003	0,010	0,012
A^+	0,080	0,000	0,041	0,005	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001
A^-	0,036	0,087	0,152	0,078	0,032	0,013	0,027	0,021	0,016

Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıklar Tablo 8.13'teki gibi elde edilmiştir. Burada, daha önce de belirtildiği üzere nüfus yoğunluğu fayda yönlü, diğer kriterler maliyet yönlü olarak dikkate alınıp C_i^* ideal çözüme göreceli uzaklıklar hesaplanmıştır.

Tablo 8.13. Pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıklar

Alternatif Noktalar	S_i^+	S_i^-	C_i^*
A1	0,068	0,126	0,651
A2	0,070	0,131	0,651
A3	0,087	0,112	0,563
A4	0,068	0,122	0,642
A5	0,108	0,121	0,529
A6	0,081	0,127	0,611
A7	0,069	0,123	0,642
A8	0,057	0,157	0,734
A9	0,147	0,062	0,298
A10	0,112	0,098	0,469
A11	0,101	0,111	0,522

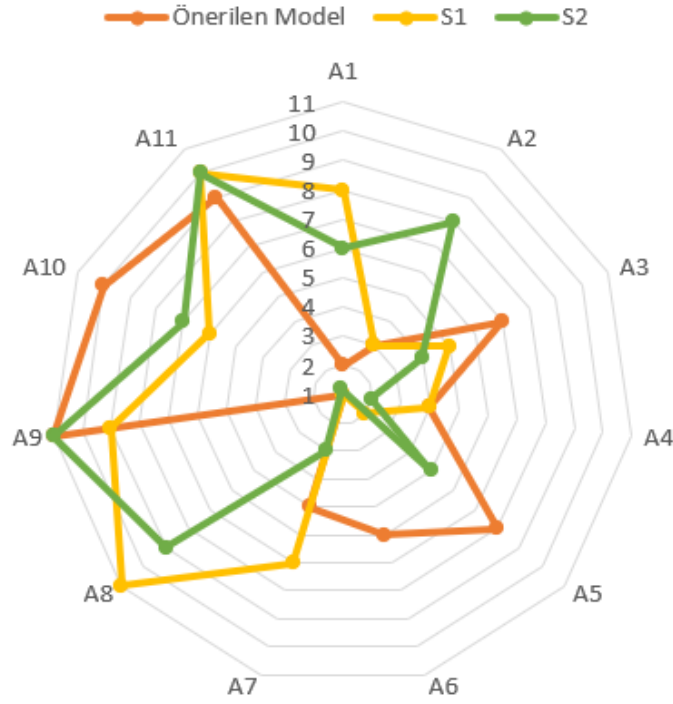
Alternatif noktaların sıralanması Tablo 8.14’te verilmektedir. Buna göre A8 e-atık toplama kutuları için en uygun; A9 ise en az uygun lokasyondur.

Tablo 8.14. Alternatif noktaların sıralanması

Sıralama	Alternatif Noktalar
1	A8
2	A1
3	A2
4	A4
5	A7
6	A6
7	A3
8	A5
9	A11
10	A10
11	A9

8.5. Duyarlılık Analizi

Alternatif noktalara ilişkin sıralamanın kriter ağırlıklarından ne derece etkilendiğini değerlendirebilmek adına duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analizde iki farklı senaryodan yararlanılmıştır. İlk senaryo için (S1) en yüksek ve en düşük ağırlığa sahip kriterlerin ağırlıkları yer değiştirilerek alternatifler tekrar sıralanmıştır. İkinci senaryoda (S2) ise tüm kriter ağırlıkları eşit varsayılarak sıralama gerçekleştirilmiştir. Önerilen model, S1 ve S2’ye ilişkin sıralamalar Şekil 8.9’da gösterilmektedir.



Şekil 8.9. Duyarlılık analizi sonuçları

Şekil 8.9 incelendiğinde, e-atık toplama kutuları için en uygun alternatif nokta önerilen modele göre A8; S1 ve S2'ye göre A6 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde en az uygun olan nokta ise önerilen modelde A9; S1 ve S2'ye göre ise sırasıyla A8 ve A9 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre genel olarak kriter ağırlıklarının, sıralama üzerinde önemli bir etki yarattığını söylemek mümkündür.

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüz teknoloji dünyasında değişen eğilimler teknolojik alet kullanımını artırmaktadır. Bu durum paralelinde kullanım ömrünü tamamlamış veya tamamlamamış çok sayıda e-atık ortaya çıkmaktadır. E-atıkların, insan sağlığı ve çevreye verdikleri zararlardan ötürü geri dönüşümü ya da bertaraf edilmesi yüksek düzeyde önem arz etmektedir. Bu işlemlerin gerçekleşebilmesi için öncelikle e-atıkların toplanması ve doğru şekilde ayrıştırılabilmesi gerekmektedir. Elektronik atık toplama kutularının uygun konumlara yerleştirilmesi e-atıkların kontrolsüzce doğaya salınmasını engelleyip daha çok atığın geri dönüşümünü sağlamaktadır.

Bu çalışmada, AEEE Yönetmeliği kapsamında yetkilendirilmiş kuruluş olan TÜBİSAD'ın sorumlu olduğu 3. ve 4. kategoride yer alan atık elektrikli ve elektronik eşyaların toplandığı e-atık toplama kutuları için Atakum'da uygun yerlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle alanında uzman beş kişilik ekibin görüşü ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak dokuz kriter belirlenmiştir. Ardından Kararsız Bulanık SWARA yöntemi ile uzman görüşleri doğrultusunda kriter ağırlıkları belirlenmiştir. E-atık toplama kutularının yerlerinin belirlenmesinde K3 yani sanayiye uzaklık kriterinin 0,365 değeri ile en önemli; K9 yani parklara yakınlık kriterinin ise 0,025 değeri ile en az önemli kriter olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kriter ağırlıkları ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak belirlenen iki farklı kriter doğrultusunda CBS yardımı ile 11 alternatif nokta elde edilmiştir. Bu alternatif noktalar TOPSIS yöntemi ile sıralanmış ve A8 noktası en uygun nokta olarak belirlenmiştir. Ardından iki farklı senaryodan yararlanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. En yüksek ve düşük kriter ağırlıklarının yer değiştirildiği ilk senaryoda (S1) ve kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği ikinci senaryoda (S2) A6 noktasının ilk sırada tercih edildiği görülmüştür. Benzer şekilde en az uygun noktalar önerilen modelde A9; S1 ve S2'ye göre ise sırasıyla A8 ve A9 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre genel olarak kriter ağırlıklarının, e-atık toplama kutularının yer seçiminde önemli bir etkisinin olduğunu söylemek mümkündür.

İleriki çalışmalar için uygulama alanı Samsun ilinin diğer ilçelerine ya da Türkiye'deki farklı şehirlere genişletilebilir. Kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında uzman görüşleri alınırken, dilsel terim seçme konusunda uzmanlara esneklik sağlaması ve bu sayede birden fazla dilsel terim arasında tereddütte kalan

uzmanların daha doğru seçimler yapabilmesi, Kararsız Bulanık SWARA yöntemini avantajlı kılmaktadır. Gelecek çalışmalar için literatürdeki farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak sonuçlar mukayese edilebilir.



KAYNAKÇA

- Acar, M. N. and Acar, H. H. 2022. Belediye katı atık yönetimi uygulamalarının iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi. *Journal of Medical Sciences*, 3:1, 34-48.
- Ahirwar, R. and Tripathi, A. K. 2021. E-waste management: A review of recycling process, environmental and occupational health hazards, and potential solutions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100409.
- Altunok, A. E. 2020. Türkiye'de elektronik atıkların değerlendirilmesi ve çevre eğitimindeki yeri ve önemi. *Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı*.
- Andooz, A., Egbalpour, M., Kowsari, E., Ramakrishna, S. and Cheshmeh, Z. A. 2022. A comprehensive review on pyrolysis of E-waste and its sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130191.
- Araújo, M. B. 2019. Industrial waste application with silicon as an aggregate in ceramic products. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 4:1, 286-295.
- Arı, E. and Yılmaz, V. 2019. Üniversite öğrencilerinin evsel atık ayırma davranışlarının planlı davranış teorisi yardımıyla araştırılması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 9:1, 53-68.
- Arıbaş, V. İ. 2021. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile katı atık bertaraf yöntemi seçimi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Arslan, B. 2022. Bulanık tabanlı çok kriterli karar verme yöntemleri ile makine ekipman seçimi. *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Avdan, E. 2018. Çok kriterli karar verme teknikleri ile e-atık geri kazanım tesisi yer seçimi. *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Ay, E. 2013. Atık elektrikli ve elektronik eşyaların geri kazanımının değerlendirilmesi ve Samsun ilinde seçilen pilot bir bölgede uygulanması. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Ay Sarıyar, E., Üstün Odabaşı, S. and Büyükgüngör, H. 2021. Sıfır atık kapsamında atık elektrikli ve elektronik eşyaların geri kazanımı: Halkın bu konudaki tutumu. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11:1, 257-276.
- Baidya, R., Debnath, B., Ghosh, S. K. and Rhee, S.-W. 2020. Supply chain analysis of e-waste processing plants in developing countries. *Waste Management & Research*, 38:2, 173-183.
- Balbaş, O. and Turan, E. 2019. Tersanelerde inşa edilecek gemi tipinin belirlenmesinde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin uygulanması. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*:215, 93-111.
- Bayramoğlu, S. 2022. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile rüzgar santrali yer seçimi. *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Bilgili, M. Y. 2020. Katı atık yönetiminde kullanılan bazı kavramlar ve açıklamaları. *Avrasya Terim Dergisi*, 8:2, 88-97.
- Bilgin, S. 2019. Türkiye’de ve dünyada e-atık yönetimi uygulamaları ve geri kazanımı. *Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*.

- Bıyık, B. 2022. Küresel bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı ile mobil atık getirme merkezi için CBS tabanlı yer seçimi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Bıyık, T. 2020. KOSGEB desteği ile iş kuran girişimcilerin karşılaştıkları problemlerin SWARA yöntemi ile önceliklendirilmesi: Aydın ilinde bir uygulama. *Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*.
- Cengiz, D. 2012. Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine karşılaştırmalı analiz. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı*.
- Chakraborty, S. 2011. Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54, 1155-1166.
- Chen, S., Yu, L., Zhang, C., Wu, Y. and Li, T. 2023. Environmental impact assessment of multi-source solid waste based on a life cycle assessment, principal component analysis, and random forest algorithm. *Journal of Environmental Management*, 339, 117942.
- Cingöz, A. and Tinni, S. 2020. Katı Atık Yönetimi ve Sorunları: Tıbbi Atıklar Üzerine Hastanelerde Yapılan Bir Uygulama. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13:2, 371-385.
- Çakır, S. 2022. Tereddütlü bulanık swara yöntemi ile uluslararası firmaların ihracat performanslarının değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Çaldak, H. F. 2021. Evsel katı atık yönetimi: Çemişgezek Belediyesi örneği. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2:1, 6-15.
- Çalış Boyacı, A., Solmaz, M. B. and Kabak, M. 2021a. A model proposal for occupational health and safety risk assessment based on multi-criteria hesitant fuzzy linguistic term sets: An application in plastics industry. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36:2, 1041-1053.
- Çalış Boyacı, A. and Şişman, A. 2022. Pandemic hospital site selection: a GIS-based MCDM approach employing Pythagorean fuzzy sets. *Environmental Science and Pollution Research*, 29:2, 1985-1997.
- Çalış Boyacı, A., Şişman, A. and Sarıcaoğlu, K. 2021b. Site selection for waste vegetable oil and waste battery collection boxes: a GIS-based hybrid hesitant fuzzy decision-making approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 17431-17444.
- Çebi, A. 2011. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile öğrenci performanslarının değerlendirilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Anabilim Dalı*.
- Çelik, F. and Çağıl, G. 2021. Bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ile tedarikçi seçimi; bir traktör fabrikası örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23:68, 607-619.
- Çelik, S., Peker, İ., Gök-Kısa, A. C. and Büyüközkan, G. 2022. Multi-criteria evaluation of medical waste management process under intuitionistic fuzzy environment: A case study on hospitals in Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101499.
- Çiftlik, S., Handırı, İ., Beyhan, M., Akçıl, A. U., Ilgar, M. and Gönüllü, M. T. 2009. Elektrikli Ve elektronik atıkların (e-atık) yönetimi, ekonomisi ve metal geri kazanım potansiyeli bakımından değerlendirilmesi. *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu (Türkey 2009), YTÜ*, 15-17.

- ÇŞİDB 2022. *Çevresel Göstergeler*, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Erişim: 1 Mayıs 2023, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/atik-duzenli-depolama-tesis-sayisi-belediye-sayisi-hizmet-verilen-nufus-i-85750>
- ÇŞİDB 2023a. *Atıklar*, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Erişim: 18 Mart 2023, <https://csb.gov.tr/>.
- ÇŞİDB 2023b. *Çevresel Göstergeler*, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Erişim: 16 Nisan 2023, <https://onceliklikimyasallar.csb.gov.tr/basel-sozlesmesi-i-5178>.
- Değermenci, A. 2016. Bulanık ortamda çok kriterli karar verme teknikleri ile personel seçimi: katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Demir, İ. 2009. İnşaat yıkıntı atıklarının beton üretiminde kullanımı ve beton özelliklerine etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9:2, 105-114.
- Demirbağ, B. C. and Güngörmüş, Z. 2012. Bireylerin evsel katı atık yönetimine ilişkin bilgi ve davranışları. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1:3, 127-137.
- Ecer, B. 2021. Kararsız bulanık dilsel terimler temelli SWARA yöntemi ile ülke değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması. *M. Kabak, B. Erdebilli (ed). Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri-MS Excel® ve Software çözümlü uygulamalar. (s. 217–230). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.*
- Erdin, E., Alten, A. and Tunalı, T. 2004. İnşaat atıklarının değerlendirilmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13:14, 387-393.
- Eren Limoncuoğlu, N. 2022. Proje yönetiminde dijital dönüşüm süreçleri için bir bulanık ÇKKV modeli önerisi. *Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*.
- Es, H. A. and Hatipoğlu, M. 2022. Çok Kriterli Grup Karar Verme Problemleri için Sezgisel Bulanık SAW Yönteminin Genişletilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22:1, 142-153.
- Esen, H. and Çalışkan, T. 2021. Hastanelerde tıbbi atık yönetimi: Eğitim araştırma hastanesi örneği. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 8:3, 443-454.
- Fan, M., Khaliq, A., Qalati, S. A., Gillal, F. G. and Gillal, R. G. 2022. Antecedents of sustainable e-waste disposal behavior: the moderating role of gender. *Environmental Science and Pollution Research*, 29:14, 20878-20891.
- Farizi, T. S. and Sari, R. F. (2021). Implementation of Blockchain-based Electronic Waste Management System with Hyperledger Fabric. 2021 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev), IEEE, 1-6.
- Fazal, S. 2008. *GIS basics*. New Age International,
- Fidan, H. 2009. Pazarlama Bilgi Sistemi (Pbs) Ve Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) Nin Pazarlamada Kullanımı. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 4:14, 2151-2171.
- Freitas, L. C., Barbosa, J. R., da Costa, A. L. C., Bezerra, F. W. F., Pinto, R. H. H. and de Carvalho Junior, R. N. 2021. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105466.
- Garfi, M., Tondelli, S. and Bonoli, A. 2009. Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps. *Waste Management*, 29:10, 2729-2739.
- Garg, C. P. 2021. Modeling the e-waste mitigation strategies using Grey-theory and DEMATEL framework. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124035.

- Geetha, S., Narayanamoorthy, S. and Kang, D. (2020). Extended hesitant fuzzy SWARA techniques to examine the criteria weights and VIKOR method for ranking alternatives. *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 030144.
- Güler, M. 2018. Evaluation framework for the digital maturity model with hesitant fuzzy multi criteria decision making techniques. *Galatasaray University, Graduate School of Science and Engineering, Industrial Engineering*.
- Gündüzalp, A. A. and Güven, S. 2016. Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 9:1, 1-19.
- Hacısalıhoğlu, S. 2021. Okullarda Atık Yönetimi Yaklaşımı: Balıkesir İli Örneği. *Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 2:1, 70-85.
- Hasanzadeh, R., Mojaver, P., Azdast, T., Khalilarya, S., Chitsaz, A. and Rosen, M. A. 2023. Decision analysis for plastic waste gasification considering energy, exergy, and environmental criteria using TOPSIS and grey relational analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 174, 414-423.
- Hwang, C.-L. and Yoon, K. 1981. Multiple attribute decision making: a state of the art survey. *Lecture notes in economics and mathematical systems*, 186:1.
- Ikhlayel, M. 2018. An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 170, 119-130.
- Islam, A., Swaraz, A., Teo, S. H., Taufiq-Yap, Y. H., Vo, D.-V. N., Ibrahim, M. L., Abdulkreem-Alsultan, G., Rashid, U. and Awual, M. R. 2021a. Advances in physiochemical and biotechnological approaches for sustainable metal recovery from e-waste: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 323, 129015.
- Islam, M. T. and Huda, N. 2019. Material flow analysis (MFA) as a strategic tool in E-waste management: Applications, trends and future directions. *Journal of Environmental Management*, 244, 344-361.
- Islam, M. T., Huda, N., Baumber, A., Shumon, R., Zaman, A., Ali, F., Hossain, R. and Sahajwalla, V. 2021b. A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128297.
- Islam, M. Z. 2019. Electrical and Electronic Equipment Consumption and E-waste Generation in Bangladesh: Temporal and Spatial View. *ABC Journal of Advanced Research*, 8:2, 67-78.
- Jangre, J., Prasad, K. and Patel, D. 2021. Analysis of barriers in e-waste management in developing economy: An integrated MCDM approach.
- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ. and Dağ, O. 2015. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*:33, 215-228.
- Karabasevic, D., Paunkovic, J. and Stanujkic, D. 2016. Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods. *Serbian Journal of Management*, 11:1, 43-53.
- Karakaşoğlu, N. 2008. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama. *Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*.
- Kaşkaya, B. 2023. Türkiye'de tüketicilerin evlerde uyguladıkları e-atık bertaraf davranışları üzerine bir araştırma: İstanbul örneği. *Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*.

- Kaya, M. 2016. Recovery of metals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 10:2, 259-270.
- Kaya, S. K. and Erginel, N. 2020. Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123880.
- Kayapınar Kaya, S. and Erginel, N. 2020. Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123880.
- Keçeci, B., Sümer, E., Kılıç, A., Çiçek, S., İnan, B. and Çeki, E. 2014. CBS destekli e-atık yönetimi: Çankaya Belediyesi için bir uygulama. 6. *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. and Turskis, Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11:2, 243-258.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. 2022. A fuzzy simultaneous evaluation of criteria and alternatives (F-SECA) for sustainable e-waste scenario management. *Sustainability*, 14:16, 10371.
- Kiddee, P., Naidu, R. and Wong, M. H. 2013. Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, 33:5, 1237-1250.
- Kumar, A. and Dixit, G. 2018. An analysis of barriers affecting the implementation of e-waste management practices in India: A novel ISM-DEMATEL approach. *Sustainable Production and Consumption*, 14, 36-52.
- Kumar, A., Gaur, D., Liu, Y. and Sharma, D. 2022. Sustainable waste electrical and electronic equipment management guide in emerging economies context: A structural model approach. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130391.
- Kumtepe, R. 2023. Türkiye'de atık yönetimi çerçevesinde plastik atık yönetimi: İstanbul büyükşehir belediyesi örneği. *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Lansink, A. 2015. Isonomia, <https://www.isonomia.co.uk/transitioningto-a-circular-economy/>, 20 Mayıs 2023.
- Leclerc, S. H. and Badami, M. G. 2020. Extended producer responsibility for E-waste management: Policy drivers and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119657.
- Liu, K., Tan, Q., Yu, J. and Wang, M. 2023. A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 100028.
- Maes, T. and Preston-Whyte, F. 2022. E-waste it wisely: Lessons from Africa. *SN Applied Sciences*, 4:3, 72.
- Mangaonkar, N., Sabhani, P. and Sirsat, S. (2014). Green Technology for avoiding E-waste with the help of GIS. 2014 International Conference on Advances in Communication and Computing Technologies (ICACACT 2014), IEEE, 1-6.
- Merem, E., Twumasi, Y., Wesley, J., Olagbegi, D., Crisler, M., Romorno, C., Alsarari, M., Isokpehi, P., Afare, M. and Ochai, G. 2021. Analyzing the Environmental Risks from Electronic Waste Dumping in the West African Region. *Journal of Health Science*, 11:1, 1-16.
- Mihaila, D., Ditoiu, V., Bistricean, P.-I. and Humeniuc, A. 2015. Dangerous waste incineration and its impact on air quality. Case study: the incinerator SC Mondeco SRL Suceava. *GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan cel Mare University of Suceava. Geography Series*, 25:1, 23-37.

- Murthy, V. and Ramakrishna, S. 2022. A review on global e-waste management: urban mining towards a sustainable future and circular economy. *Sustainability*, 14:2, 647.
- Narin, M. 2022. Yalın üretim tekniklerinin performans iyileştirmeleri analizi: Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kullanıldığı imalat sektöründe bir uygulama. *Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*.
- Nişancı, R., Yıldırım, V. and Çolak, H. E. 2010. Coğrafi bilgi sistem uygulamaları. *Bilim ve Teknik*, 514, 58-63.
- Oke, A., Pinas, C. J. and Osobajo, O. A. 2022. Designing effective waste management practices in developing economies: The case of Suriname. *Cleaner Waste Systems*, 3, 100030.
- Orloff, K. and Falk, H. 2003. An international perspective on hazardous waste practices. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206:4-5, 291-302.
- Önder, M. 2003. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) İçinde Sayısal Görüntü Verilerinin Etkinliği. *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*.
- Önge, N. C. 2020. Elektronik atıkların geri dönüşüm yöntem ve teknolojilerinin araştırılması, örnek bir e-atık yönetim sisteminin oluşturulması. *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Özdemir Deniz, P., Yılmaz Aydın, Ç. and Evci Kiraz, E. D. 2019. Electronic waste awareness among students of engineering department. *Cukurova Medical Journal*, 44:1, 101-109.
- Özdil, E. 2022. AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanarak tedarikçi seçimi üzerine bir uygulama. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*.
- Özkan, G., Subaşı, B. G., Beştepe, S. K. and Güven, E. Ç. 2022. Sürdürülebilir Gıda ve Tarımsal Atık Yönetimi. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23:2, 145-160.
- Öztürk, D. 2019. AHP ve TOPSIS yöntemleri ile tedarikçi seçimi: hazır giyim sektöründe bir uygulama. *Tekstil ve Mühendis*, 26:115, 299-308.
- Özulu, İ. M. and Tomuş, E. 2010. Reklamcılık sektöründe coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılmasına yönelik bir çalışma. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 2:1, 157-163.
- Parvez, S. M., Jahan, F., Brune, M.-N., Gorman, J. F., Rahman, M. J., Carpenter, D., Islam, Z., Rahman, M., Aich, N. and Knibbs, L. D. 2021. Health consequences of exposure to e-waste: an updated systematic review. *The Lancet Planetary Health*, 5:12, e905-e920.
- Patil, R. A. and Ramakrishna, S. 2020. A comprehensive analysis of e-waste legislation worldwide. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 14412-14431.
- Polat, L. Ö. 2020. Atık elektrikli ve elektronik eşya (AEEE) geri dönüşümünde toplama ve dağıtım ağlarının tasarlanması. *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Rani, P., Mishra, A. R., Krishankumar, R., Mardani, A., Cavallaro, F., Soundarapandian Ravichandran, K. and Balasubramanian, K. 2020. Hesitant fuzzy SWARA-complex proportional assessment approach for sustainable supplier selection (HF-SWARA-COPRAS). *Symmetry*, 12:7, 1152.

- Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K.-H. and Kumar, S. 2021. E-waste management and its effects on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 773, 145623.
- Ren, R., Liao, H., Al-Barakati, A. and Cavallaro, F. 2019. Electric vehicle charging station site selection by an integrated hesitant fuzzy SWARA-WASPAS method. *Transformations in Business & Economics*, 18:2.
- RG 2012. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği. *Resmi Gazete Sayısı*, 28300.
- Rodríguez, R. M., Martínez, L. and Herrera, F. 2013. A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. *Information Sciences*, 241, 28-42.
- Rüstemov, V. 2014. Coğrafi bilgi sistemleri ve 3D modelleme. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2014:4, 146-150.
- Sağlam, A., Taş, M. and Baykan, N. 2020. Geri Dönüştürülebilir Atıkların Materyallerine Göre Sınıflandırılması için Raspberry Pi Tabanlı Donanım Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 30-38.
- Sağlık, B., Yılmaz Karan, T., Karakaş, İ., Uçan, R., Bingöl, N. and Karahan, M. 2022. A Case Study on Istanbul Electronic Waste Firms: ISO 14000 Environmental Management. *Afet ve Risk Dergisi*, 5:2, 451-462.
- Salihoğlu, G. and Kahraman, A. E. 2016. Türkiye’de elektrikli ve elektronik atık üretimi: Bursa örneği.
- Saraji, M. K., Mardani, A., Köppen, M., Mishra, A. R. and Rani, P. 2022. An extended hesitant fuzzy set using SWARA-MULTIMOORA approach to adapt online education for the control of the pandemic spread of COVID-19 in higher education institutions. *Artificial Intelligence Review*, 55:1, 181-206.
- Selim, A. 2021. Kararsız bulanık dilsel terim setleri ile iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için model önerisi ve bir uygulama. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Shahabuddin, M., Uddin, M. N., Chowdhury, J., Ahmed, S., Uddin, M., Mofijur, M. and Uddin, M. 2022. A review of the recent development, challenges, and opportunities of electronic waste (e-waste). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-8.
- Sharma, M., Joshi, S. and Govindan, K. 2021. Issues and solutions of electronic waste urban mining for circular economy transition: An Indian context. *Journal of Environmental Management*, 290, 112373.
- Shittu, O. S., Williams, I. D. and Shaw, P. J. 2021. Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, 120, 549-563.
- Sivageerthi, T., Bathrinath, S., Uthayakumar, M. and Bhalaji, R. 2022. A SWARA method to analyze the risks in coal supply chain management. *Materials Today: Proceedings*, 50, 935-940.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D. and Zavadskas, E. K. 2015. A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26:2, 181-187.
- Swalehe, M. 2016. Dynamic ambulance deployment to reduce ambulance response times using geographic information systems: A case study of Odunpazarı district of Eskişehir province, Republic of Turkey. *Anadolu University*,

- Şakacı, B. K. and Özkaya, S. 2021. Çevre Yönetimi Kapsamında Türkiye’de Atık Yönetimi: Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Örneği ve Öneriler. *Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi*, 2:2, 57-71.
- Tecim, V. 1999. Bilgi teknolojilerinde yeni bir gelişme: Coğrafi bilgi sistemleri ve bilgi sistemleri arasındaki yeri. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14:1, 1-12.
- Tecim, V. 2008. *Coğrafi bilgi sistemleri: Harita tabanlı bilgi yönetimi*. Ankara: Renk Form Ofset Matbaacılık,
- Thakur, P. and Kumar, S. 2021. Evaluation of e-waste status, management strategies, and legislations. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19:7, 6957-6966.
- Torra, V. 2010. Hesitant fuzzy sets. *International journal of intelligent systems*, 25:6, 529-539.
- TÜBİSAD 2016. *Faaliyet Raporu*, Erişim: 25 Mayıs 2023, <https://www.tyk.org.tr/tr/>.
- TÜBİSAD 2022. *Faaliyet Raporu*, Erişim: 29 Mayıs 2023, <https://www.tyk.org.tr/tr/>.
- TÜİK, T. İ. K. 2021. Haber bülteni.
- Ulutaş, A. 2019. SWARA ve MAIRCA Yöntemleri ile Catering Firması Seçimi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7:4, 1467-1479.
- Wang, Z., Zhang, B. and Guan, D. 2016. Take responsibility for electric-waste disposal. *Nature*, 536.
- Wath, S. B., Dutt, P. and Chakrabarti, T. 2011. E-waste scenario in India, its management and implications. *Environmental monitoring and assessment*, 172, 249-262.
- Wei, X., Xie, F., Dong, C., Wang, P., Xu, J., Yan, F. and Zhang, Z. 2022. Safe disposal of hazardous waste incineration fly ash: Stabilization/solidification of heavy metals and removal of soluble salts. *Journal of Environmental Management*, 324, 116246.
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M. and Böni, H. 2005. Global perspectives on e-waste. *Environmental impact assessment review*, 25:5, 436-458.
- Xiao, H. (2023). Different Strategies and Management between Countries towards Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) to the Realization of Sustainability. SHS Web of Conferences, EDP Sciences, 03010.
- Xu, Y., Yeh, C.-H., Yang, S. and Gupta, B. 2020. Risk-based performance evaluation of improvement strategies for sustainable e-waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104664.
- Yang, B., Zhao, J. and Zhao, H. 2022. A robust method for avoiding rank reversal in the TOPSIS. *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108776.
- Yavuz, M., Oztaysi, B., Onar, S. C. and Kahraman, C. 2015. Multi-criteria evaluation of alternative-fuel vehicles via a hierarchical hesitant fuzzy linguistic model. *Expert Systems with Applications*, 42:5, 2835-2848.
- Yenidoğan, S. and Avcı, N. 2018. Basım Endüstrisinde Atık Yönetiminin İncelenmesi. *6. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu*.
- Yomralıoğlu, T. and Aydınoglu, A. 2010. Coğrafi bilgi teknolojileri. *Bilim ve Teknik Dergisi, Eylül*, 48, 51.
- Zhou, P., Ang, B. W. and Poh, K. L. 2006. Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. *Energy*, 31:14, 2604-2622.

ÖZ GEÇMİŞ

Ayşegül ŞAHİN, 2015 yılında Samsun Canik İMKB Lisesi’ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 10.06.2019 tarihinde mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Akıllı Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana Kalite ve Denetim Sorumlusu olarak görev yapan Ayşegül Şahin, iyi derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-3933-6508

Yayınlar:

1. Havacılık Sektöründe Zaman Bazlı İş Yüklerinin Dengelenmesi İçin Bir Vardiya Çizelgeleme Modeli - 25. Ulusal Ergonomi Kongresi Programı, 18-19 Ekim 2019, Samsun / Türkiye
2. CBS Tabanlı Kararsız Bulanık Swara Yaklaşımı İle E-Atık Toplama Kutuları İçin Yer Seçimi - 11. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul / Türkiye

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. Mars Lojistik 16. Üniversiteler Arası Lojistik Vaka Yarışması (Birincilik)