



**ELEKTRONİK ATIKLARIN
GERİ DÖNÜŞÜM AĞI TASARIMI İÇİN
BULANIK AĞIRLIKLİ BİR ATAMA MODELİ**

Tuba BAZANCİR

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK
2021**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**ELEKTRONİK ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜM AĞI TASARIMI İÇİN BULANIK
AĞIRLIKLİ BİR ATAMA MODELİ**

(A Fuzzy Weighted Assignment Model for Recycling Network Design of Electronic Wastes)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuba BAZANCİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK

Erzurum
Ağustos, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Tuba Bazancir tarafından hazırlanan “Elektronik Atıkların Geri Dönüşüm Ağı Tasarımı için Bulanık Ağırlıklı Bir Atama Modeli” başlıklı çalışması 18 / 08 / 2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yöneylem Araştırması Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk BUĞRAHAN CEYHUN
Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK danışmanlığında sunulan “Elektronik Atıkların Geri Dönüşüm Ağı Tasarımı için Bulanık Ağırlıklı Bir Atama Modeli” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	3	30
Materyal ve Yöntem	3	35
Bulgular	4	20
Sonuç ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	3	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Tuba BAZANCİ	Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK
30.8.2021	30.8.2021
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih vesayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih vesayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca; konu seçiminden sonuç aşamasına kadar bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve desteğini hiç esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK’a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca her konuda bana destek olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tuba BAZANCİ



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ ELEKTRONİK ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜM AĞI TASARIMI İÇİN BULANIK AĞIRLIKLIL BİR ATAMA MODELİ

Tuba BAZANCİR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK

Amaç: Teknolojinin gelişmesi ve tüketici alışkanlıklarının değişmesi ile elektronik eşyaların çeşitliliği ve miktarı artarken kullanım ömürleri kısalmaktadır. Elektronik atıkların (e-atık) geri dönüşümü sorunu, her geçen gün büyüyen ve yoğun bir şekilde araştırılması gereken önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada e-atık oluşumunu etkileyen ana faktörler göz önünde bulundurularak, üretilecek e-atık miktarının tahmin edilmesi ve e-atık toplama noktalarının atanması için yeni bir karma tamsayıli matematiksel model önerilmiştir.

Yöntem: Bu çalışmada, e-atık miktarını maksimize etmek için küme kapsama problemindeki maksimum kapsama mesafesi atama modeline entegre edilmiş ve yeni bir yapı oluşturulmuştur. E-atık üretimini etkileyen dört temel faktör, ilgili bölgenin nüfusu, gelir düzeyi, eğitim düzeyi ve yaş dağılımıdır ve belirli ağırlıklarla modele dahil edilmektedir. Bu faktörlerin e-atık miktarına etkisinin belirsizliği göz önüne alınarak Bulanık SWARA yöntemi ile faktör ağırlıklandırması da yapılmaktadır.

Bulgular: Önerilen jenerik modelin örnek bir uygulaması Erzurum İli Yakutiye İlçesi'nde nüfusu 10.000'in üzerinde olan 8 mahallenin verileri kullanılarak yapılmıştır. Bulanık SWARA ile faktör ağırlıkları, faktörlerin e-atık oluşumu üzerindeki etkilerindeki farklılıklar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca, farklı kapsama mesafeleri için elde edilen farklı atama sonuçları da karşılaştırılmıştır.

Sonuç: Benzer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, e-atık toplama noktalarının belirlenmesinin yanı sıra e-atık oluşumunu etkileyen ana faktörler bazında oluşacak e-atık miktarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen model genel bir yapıya sahiptir. Böylelikle bu genel modeli kullanacak olan yerel yönetimler kendi koşullarını modele yansıtabilecek ve kendilerine uygun bir uygulama yapma imkânı bulabileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik atık/E- atık, Atama problemi, Bulanık SWARA, Geri dönüşüm

Ağustos 2021, 85 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

A FUZZY WEIGHTED ASSIGNMENT MODEL FOR RECYCLING NETWORK DESIGN OF ELECTRONIC WASTES

Tuba BAZANCİR

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yeşim OK

Purpose: With the development of technology and the change in consumer habits, while the variety and quantity of electronic goods are increasing, their useful life is shortened. The problem of recycling electronic waste (e-waste) has become an important environmental issue that is growing day by day and is needed being studied intensively. Therefore, in this study, a new mixed integer mathematical model is proposed to estimate the amount of e-waste to be generated and to assign the e-waste collection points by considering the main factors affecting the e-waste generation.

Method: In this study, the maximum coverage distance in the cluster coverage problem is integrated into the assignment model to maximize the amount of e-waste and a new structure has been created. Four key factors affecting e-waste generation are the population, income level, education level and age distribution of the relevant region are get involved in the model with certain weights. Considering the uncertainty of the effect of these factors on the amount of e-waste, factor weighting is also made with the Fuzzy SWARA method.

Findings: An exemplary application of the proposed generic model is made using the data of 8 neighborhoods of Yakutiye District of Erzurum Province with a population of over 10,000. Factor weights are calculated with Fuzzy SWARA, taking into account the differences in the effects of factors on e-waste generation. In addition, different assignment results obtained for different coverage distances are also compared.

Results: Unlike similar studies, in this study, besides the determination of e-waste collection points, it is aimed to predict the amount of e-waste that will occur on the basis of the main factors affecting the fgeneration of e-waste. The proposed model has of a generic structure. In this way, local governments that will use this general model will be able to reflect their own conditions to the model and find the opportunity to make an application suitable for them.

Keywords: Electronic waste/E-waste, Assignment problem, Fuzzy SWARA, Recycling

August 2021, 85 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
GİRİŞ.....	1
KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
Elektronik Atıklar ile İlgili Yapılan Çalışmaların Kaynak Taraması	4
Elektronik Atıklarla ile İlgili Matematiksel Modelleme Yapılan Çalışmaların Kaynak Taraması	11
Atık Yönetimi ile İlgili Bulanık Mantık Çalışmalarının Kaynak Taraması.....	12
Bulanık SWARA Yöntemi ile İlgili Yapılan Çalışmaların Kaynak Taraması	13
MATERYAL VE YÖNTEM	15
Atık ve Atık Türleri.....	15
Atık yönetimi	15
Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya	15
AEEE'nin yönetimi ve önemi	17
AEEE geri dönüşümü neden önemlidir?.....	18
AEEE'lerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri	19
AEEE'lerin ekonomik değeri	22
Türkiye'de AEEE.....	23
Dünyada AEEE	25
Basel sözleşmesi.....	27
Minamata sözleşmesi	27
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, belediyeler, yetkili kuruluşlar ve paydaşlar	28
Tesis Yer Seçimi Modellerinin Sınıflandırılması	32
Küme kapsama problemi.....	32
Bulanık Mantık	33
Bulanık SWARA Yöntemi.....	35

Bulanık SWARA yönteminin işlem adımları	35
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	37
Geliştirilen Modelin Özellikleri, Varsayımları ve Katkısı.....	37
Matematiksel Model.....	37
Örnek uygulama	39
Parametrelerin tasarımı	41
Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama hesaplamaları	47
Elde edilen sonuçlar	50
SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER	66
EK-1. Azami kapsama mesafesi 500 m için yapılan GAMS atamalarının ekran görüntüleri	66
EK-2. Azami kapsama mesafesi 1000 m için yapılan GAMS atamalarının ekran görüntüleri	68
EK-3. Azami kapsama mesafesi 2000 m için yapılan GAMS atamalarının ekran görüntüleri	70
ÖZGEÇMİŞ.....	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Elektronik Atıklar İçin Literatür Özeti	9
Tablo 2. Bazı Elektronik Eşyaların Ağırlıkları ve Kullanım Ömürleri	18
Tablo 3. E-atıkların İnsan Sağlığına Verdiği Zararlar	22
Tablo 4. Bazı Maddelerin Enerji Tasarruf Miktarları	23
Tablo 5. Üretilen Küresel e-Atık Miktarı	26
Tablo 6. Dilsel Değişkenler	35
Tablo 7. Talep Noktaları İle Aday Konteyner Noktaları Arası Uzaklıklar ($d_{ij} - m$)	41
Tablo 8. 8 Mahalle İçin Konut Sayıları	42
Tablo 9. 8 Mahalle İçin Nüfus ve Kişi Başına Düşen Gelir Miktarı	42
Tablo 10. 8 Mahallenin Eğitim Düzeyi İçin Puanlamalar	43
Tablo 11. 8 Mahalle İçin Eğitim Düzeyi ve Yaş Dağılımı	43
Tablo 12. 8 Mahallenin Nüfus, Gelir, Eğitim ve Yaş İçin Oranları	44
Tablo 13. 8 Mahallenin Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalamaya Göre Sıralanması	44
Tablo 14. 8 Mahalle İçin Aday Konteynerlerin Dağılımı	46
Tablo 15. Karar Vericilere Göre Kriterlerin Önem Düzeyleri	47
Tablo 16. Kriterlerin Önem Düzeylerinin Dilsel Değişkenlerle İfade Edilmesi	48
Tablo 17. Kriterlerin k_j Katsayısı	48
Tablo 18. Kriterlerin Önem Vektörü	48
Tablo 19. Kriterlerin Bulanık Ağırlık Değerleri	49
Tablo 20. Kriter Ağırlıklarının Durulaştırılmış Değerleri	49
Tablo 21. Kriter Ağırlıklarının Sıralanması	49
Tablo 22. Bulanık SWARA İle Hesaplanan Harmonik Ortalamalar	50
Tablo 23. Azami Kapsama Mesafesi 1000 m İçin Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları	51
Tablo 24. Azami Kapsama Mesafesi 2000 m İçin Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları	52
Tablo 25. Azami Kapsama Mesafesi 1000 m İçin Bulanık SWARA Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları	54
Tablo 26. Azami Kapsama Mesafesi 2000 m için Bulanık SWARA Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları	55
Tablo 27. Her İki Model İçin Sonuçlar	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Elektronik atıklar çöp değildir sembolü	16
Şekil 2. Elektronik eşyalardaki elementlerin bulundurduğu risk düzeyleri	20
Şekil 3. Sağlıksız koşullarda yapılan AEEE geri dönüşümüne bir örnek	21
Şekil 4. AB ve Türkiye’de AEEE mevzuatının gelişimi.....	24
Şekil 5. Çorlu Belediyesi e-atık toplama kutusu	25
Şekil 6. AEEE kapalı mekan toplama ekipmanları	30
Şekil 7. AEEE açık mekan toplama ekipmanları	31
Şekil 8. TÜBİSAD öğrenciler AEEE topluyor adlı afiş uygulaması	32
Şekil 9. Erzurum-Yakutiye’de seçilen mahallelerin Google Earth gösterimi	40
Şekil 10. Erzurum-Yakutiye’de seçilen mahalleler için belirlenen aday konteyner noktalarının Google Earth gösterimi.....	46
Şekil 11. Azami kapsama mesafesi 1000 m için eşit ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları	53
Şekil 12. Azami kapsama mesafesi 2000 m için eşit ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları	53
Şekil 13. Azami kapsama mesafesi 1000 m için Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları	56
Şekil 14. Azami kapsama mesafesi 2000 m için Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al	Alüminyum
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
Hg	Cıva
Kg	Kilogram
M	Metre
Mt	Metrik Ton (1 mt 1000 kg'dır.)
Pb	Kurşun

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
AEEE	Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya
AEEEKY	Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
AGİD	Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ARAS	Additive Ratio Assessment
BM	Birleşmiş Milletler
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DVD	Digital Versatile Disc
E-atık	Elektronik Atık
EEE	Elektrikli ve Elektronik Eşya
E-eşya	Elektronik Eşya
ELDAY	Elektrik ve Elektronik Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi Derneği
GPS	Global Positioning System
GSYH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
KV	Karar Verici
LED	Lighting Emited Diodes
MARCOS	Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution
PC	Personal Computer

ROHS	Restriction of Hazardous Substances
SWARA	Stepwise Weight Analysis Ratio Assessment
TÜBİSAD	Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği
YK	Yetkilendirilmiş Kuruluş
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment



GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte tüketim de hızlı bir şekilde artmıştır. Tüketicinin artması açığa çıkan atık miktarının da artmasına sebep olmuştur. Bu atıkların yönetimi çevrenin sürdürülebilirliği ve ekonomiye olan etkisinden dolayı büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle üretilen elektronik eşyaların çeşidi artmıştır. Günlük yaşamımızda elektronik eşyaları kullanmadığımız bir alan neredeyse kalmamıştır. Bunun sonucunda, oluşan elektronik atık (e-atık) miktarı da büyük ölçüde artmış ve bu atıkların yönetilmesi zor bir hal almıştır.

Günümüzde yüksek fiyatlarla aldığımız elektronik eşyalar kullanım ömrü dolmadan kolayca elektronik atık haline gelmektedir. Bazı elektronik eşyalar modası geçmiş bahanesiyle, daha çalışır durumdayken bile atık olabilmektedir. Bozulan çoğu elektronik eşyanın tamiri de yenisi kadar maliyetli olduğu için tamirden vazgeçilebilmekte ve o elektronik eşyalar atığa dönüşebilmektedir. Elektronik atıklar doğaya bırakıldıklarında yok olmaları çok uzun yıllar sürebilmektedir. İçinde bulundurdıkları zararlı maddeler doğaya karışmak suretiyle birçok açıdan kötü sonuçlar doğurabilmektedir. Bu atıklar uygun şekilde işlenirse gelecekteki üretim için ikincil hammadde kaynağı olarak kullanılabilir. Bu yüzden etkili bir şekilde geri dönüştürülmeleri hem insan hem de çevre sağlığı açısından oldukça önemlidir.

Elektronik atıklar içerdikleri çeşitli bileşenlerden dolayı çevreye verdikleri zararlarla bilinir. Bunun yanı sıra altın ve bakır gibi geri dönüştürülebilecek bileşenler de içermektedirler. Bu atıkların çevreye verdiği zararın azaltılması için uygun şekillerde geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Hem ülkemizde hem de dünyada hızla artış gösteren elektronik atıklar için; geri dönüşüm çalışmalarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Salihoğlu ve Kahraman, 2016).

Sürdürülebilir bir elektronik atık yönetimi politikasının oluşturulabilmesi için; bu atıkların verimli bir şekilde toplanması ve işlenmesi gerekir. Ülkemizde bazı belediyeler çeşitli kurumlardan gelen talepler ve işbirlikleri üzerine kısa süreli elektronik atık toplamıştır. Halkın bilinç düzeyi elektronik atık konusunda yeterli değildir. Bu nedenle elektronik atıkların toplanmasında belediyelerin sistematik ve bilimsel çalışmalara ihtiyacı vardır (Keçeci vd. 2018).

Literatüre bakıldığında elektronik atık miktarını etkileyen çeşitli faktörler olduğu görülmüştür. Bunlar içinde en çok nüfus, gelir düzeyi, eğitim seviyesi ve yaş dağılımı yer

almaktadır. Bu veriler esas alınarak elektronik atık miktarının belirlendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde elektronik atıkların önemini ele alan çalışmaların çoğunda e-atık miktarı modelde parametre olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise; modelin bir çıktısı olarak talep noktalarının e-atık miktarı belirlenmiştir. E-atık miktarındaki belirsizlik göz önüne alınarak Bulanık SWARA yöntemi kullanılmıştır. Bu tezde amaç; gelişmiş ülkelerde öncelik verilen elektronik atık geri dönüşümünün üzerinde çalışmak ve elektronik atık oluşumunu etkileyen faktörler temelinde jenerik bir atama modeli oluşturmaktır. Ülkemizdeki elektronik atıkların mevcut durumuna dikkat çekmek ve sayısı az olan elektronik atık uygulamalarına bir yenisini daha eklemektir. Bu bağlamda hem ülkemizde hem de dünya genelinde yapılmış olan çeşitli çalışmalar incelenmiş ve Erzurum ili için bir uygulama oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasında, Erzurum için bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada Erzurum'un nüfusu en fazla olan ilçesi yani Yakutiye seçilmiştir. Yakutiye'de merkez mahallelerden nüfusu 10.000'in üzerinde olanlar seçilerek elektronik atıklar üzerine yapılan bu çalışmada gerekli veriler tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda bir karma tamsayılı programlama modeli kurulmuştur. Bu model GAMS 24.2.3 programı ile çözülmüştür. Kurulan karma tamsayılı programlama modelinde gerçek hayat belirsizlikleri göz önüne alınarak bulanıklaştırma yapılmıştır. Bu model sonucunda belirlenen mahallerde hangi noktalara elektronik atık konteyneri konulması gerektiğine ve oluşacak e-atık miktarına karar verilmektedir. Modelin çıktıları iki farklı azami kapsama mesafesi için incelenmiş ve sonucunda yapılan atamalar tezde gösterilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde tezin konusuna uygun olan literatür başlıkları belirlenmiş ve dört farklı başlık altında literatür taraması yapılmıştır. İlk literatür başlığında elektronik atıklarla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. İkinci literatür başlığı elektronik atıklarla ilgili matematiksel modelleme içeren çalışmalar üzerine yapılmıştır. Üçüncü literatür başlığında atıklarla ilgili bulanık mantık kullanan çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü literatür başlığında ise Bulanık SWARA içeren çalışmalar incelenmiştir. Ülkemizde ve dünya çapında e-atıkların yönetimini, toplatılmasını ve geri dönüşümünü konu alan birçok çalışma incelenmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı yönetmeliklerden, literatürde yer alan tezlere ve makalelere kadar birçok kaynaktan yararlanılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde atık ve atık çeşitlerine değinilmiş sonrasında elektronik atıklar için detaylı bir tanım ve inceleme yapılmıştır. Elektronik atıkların çeşitlerine, insan sağlığı açısından önemine, ekonomik değerine, geri dönüşümünün önemine, Dünya'da ve Türkiye'de elektronik atıkların durumuna, yasal düzenlemelere, toplayıcılar ve paydaşlara değinilmiştir. Sonrasında yer seçimi problemi çeşitlerinden kesikli modellere dahil olan küme

kapsama problemi anlatılarak matematiksel modeline yer verilmiştir. Daha sonra bulanık mantık anlatılarak, Bulanık SWARA yönteminin işlem adımları verilmiştir. Sonrasında uygulama aşamasına geçilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde geliştirilen atama modelinin özellikleri, varsayımları ve katkısı anlatılarak matematiksel formülasyonu verilmiştir. Oluşturulan modelde kullanılan parametrelerin nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Modelin uygulamasının detaylarına yer verilerek, yapılan hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Matematiksel modelleme GAMS 24.2.3 programı ile çözülerek, iki farklı kapsama mesafesi için konteyner ataması gerçekleştirilmiştir. Yapılan atama sonuçları tablolar halinde gösterilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde ise elektronik atıklarla ilgili genel bir bakış açısı sunulmuş ve yapılan uygulama özetlenmiştir. Oluşturulan matematiksel modele göre yapılan atama sonuçları iki farklı azami kapsama mesafesi için değerlendirilmiş ve bundan sonra yapılacak çalışmalar için çeşitli önerilere yer verilmiştir.

KAYNAK ÖZETLERİ

Bu tez çalışması kapsamında dört farklı başlık altında kaynak taraması yapılmıştır. İlk kaynak taraması elektronik atıklar ile ilgilidir. İkincisi elektronik atıklarla ilgili matematiksel modelleme kullanan çalışmalar baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Üçüncü kaynak taraması bulanık atık yönetimi ve bulanık atık toplama üzerinedir. Dördüncü kaynak başlığında ise Bulanık SWARA yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Bu kaynak taraması sırasında, güncel olması amacıyla ağırlıklı olarak 2010-2021 yılları arasında yayımlanan çalışmalar incelenmiştir.

Elektronik Atıklar ile İlgili Yapılan Çalışmaların Kaynak Taraması

Polak and Drapalova (2012) çalışmalarında en çok satılan EEE (elektrikli ve elektronik eşya) olan cep telefonlarının toplanma oranının düşük olmasının nedenlerini araştırmışlardır. Bu makalede; cep telefonlarının toplanma oranının artırılması için gecikme modeline dayalı bir yöntem oluşturulmuş ve Çek Cumhuriyeti verilerine uygulanmıştır. Bu çalışmada; cep telefonlarının kullanım ömrünü ele alan çalışmalara katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Bu yöntemin sonucuna göre; Çek Cumhuriyeti için cep telefonların ortalama kullanım ömrü tahmini 3-4 yıl olarak hesaplanmıştır.

Wakolbinger *et al.* (2014) çalışmalarında elektronik atıkların ekonomik değeri ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı, e-atık yönetimi ve e-atık miktarının izlenmesinin paydaşlar için oldukça endişe verici bir hale geldiğini dile getirmişlerdir. E-atık yönetiminin sürdürülebilirliği için yeterli miktarda elektronik atığın geri dönüşüm sistemine girmesinin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, yasal ve yasa dışı faaliyetlerin elektronik atık miktarını nasıl etkilediği ele alınmıştır. Teknik ve piyasa faktörlerinin geri dönüştürülen elektronik atık miktarını nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda; elektronik atıkların kayıt altında yani yasal yollarla toplanmasının, elektronik atık miktarının belirlenmesinde ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır.

Ayvaz vd. (2015) çalışmalarında geri dönüşüm şirketlerinin elektronik atık miktarlarını dikkate alarak kârı maksimize etmek için iki aşamalı bir stokastik model kurmuşlardır. Bu modeli çözmek için ortalama yaklaşım yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan modelde, gerçek veriler dikkate alınmıştır. Modelin sonuçlarına bakıldığında; kalite ve nakliye maliyeti belirsizlikleri altında verimli kararlar almak için tersine tedarik zinciri oluşturmanın gerekli olduğu görülmüştür.

Ylä-Mella *et al.* (2015) çalışmalarında tüketicilerin elektronik atıkların geri dönüşümü ile ilgili davranışlarını incelemişlerdir. Finlandiya'daki mevcut AEEE (atık elektrikli ve elektronik eşya) geri dönüşüm sistemleri hakkında bilgi toplanması amaçlanmıştır. Çalışmada tüketicilerin elektronik atıkları iade etmemelerinin nedenleri araştırılmıştır. Ayrıca, tüketicilerin atık cep telefonlarını geri dönüşüme kazandırmamalarının nedenini öğrenmek amacıyla anket yapılmıştır. Tüketicilerin cep telefonların tekrar kullanımına ilişkin algıları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre; tüketicilerin elektronik atıkları saklama alışkanlıklarını değiştirmek için farkındalığı artırma çalışmalarına ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Nowakowski (2016) çalışmasında ev sakinlerinin elektronik atıklar konusundaki davranışlarını ölçmeyi amaçlamıştır. E-atıkların evlerde nasıl kullanıldığını ve nasıl depo edildiğini anlamaya çalışmıştır. Elektronik atıkların toplanmasında bilinç düzeyinin nasıl arttırılabileceğini incelemiştir. Çalışma sonucuna göre; evde depolanan e-atık miktarlarının azaltıldığı takdirde, toplanan e-atık oranının artabileceği görülmüştür.

Salihoğlu ve Kahraman (2016) çalışmalarında e-atık çeşitlerini ve bu atıkların çevreye verdiği zararları ele alarak tüketici davranışlarının belirlenebilmesi için bir uygulama yapmayı amaçlamışlardır. Türkiye'deki e-atık yönetimi incelenerek, Bursa ili için bir uygulama yapılmıştır. Bursa'da kişi başına düşen e-atık miktarının hesaplanması için anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan ankette, kişilerin ürün değiştirmesine yönelik olan tavırları incelenmiştir. En fazla depolanan e-atıkların % 60 oranında cep telefonu olduğu görülmüştür. Çalışmada, e-atık oluşturma potansiyeli kişi başına 8,14 kg/yıl olarak belirlenmiştir.

Dias *et al.* (2018) çalışmalarında AEEE'lerin küresel bir sorun olduğuna değinerek bu sorunun çözümüne farklı bakış açıları getirmeyi amaçlamışlardır. Dünya çapında AEEE sorununa yönelik çözümler sıklıkla önerilmekte ve uygulanmaya çalışılmaktadır. Avustralya bu konuda ön ayak olmak için 2012 yılında Bilgisayar ve Televizyon Geri Dönüşüm Programını başlatmıştır. Çalışma sonucunda; başlatılan geri dönüşüm programına göre toplanan AEEE miktarında büyük oranlarda artış olduğu görülmüştür.

Karataş (2018) tezinde elektronik atıkların insan hayatına etkilerini ve geri dönüşümünü ele almıştır. Bu çalışmada kullanım ömrünü tamamlamış elektronik eşyaların hem Türkiye'de hem de dünyada yönetimi zor olan bir problem haline geldiği ve elektronik atıkların oluşumunun ilk önce kaynağında önlenmesi gerektiği savunulmuştur. Bu tez çalışmasında, insanların elektronik atıkların geri dönüşümü hakkında bilinçlendirilmesi ve bu

şekilde elektronik atıkların zararlarının en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, e-atık paydaşlarının daha çok denetlenmesi ve teşvik edilmesi gerektiği önerilmiştir.

Ramzan *et al.* (2019) çalışmalarında elektronik atıkların tehlikelerine değinerek; Kuzeybatı Çin’de genç tüketicilerin farkındalığını araştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Elektronik atıkların yönetiminin başarılı ve verimli olması için tüketicilerin bu konuda bilinçli olmaları şarttır. Çalışmada yapılan anket sonucuna göre; katılımcıların çevre bilincinin olduğunu fakat elektronik atık politikaları ve geri dönüşümü konusunda düşük farkındalığa sahip oldukları görülmüştür.

Singhal *et al.* (2019) çalışmalarında Hindistan’daki e-atıkların üretiminde etkili olan faktörleri incelemişlerdir. Bu konuda kapsamlı bir literatür araştırması yaparak öğrencilere anket uygulamışlardır. Anket çalışması sonucunda, hükümet politikalarının e-atık yönetiminde en önemli unsur olduğu görülmüştür. Çalışma sonucuna göre; e-atıkların sürdürülebilir yönetiminin olması için Hindistan’da ve diğer gelişmekte olan ülkelerde daha iyi bir e-atık yönetimine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Qu *et al.* (2019) çalışmalarında Çin’de yaşayanların e-atık toplamaya yönelik tavırlarını anlamayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada; e-atıkların özellikle cep telefonlarının artan stoğu ve toplama oranlarının düşük olması hem çevre hem de insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturduğu dile getirilmiştir. E-atıkların toplanması doğal kaynakların korunmasını destekler. Bu yüzden çalışmada, e-atık toplamanın farklı özelliklerinin Çin’de yaşayanların tercihi üzerindeki etkisini tahmin etmek istenmiştir. Çalışma sonucunda; bireylerin e-atık toplama konusunda istekli oldukları görülmüştür.

Islam *et al.* (2020) çalışmalarında elektronik eşyaların genç tüketiciler tarafından ne kadar süre kullanıldığını araştırmak amacıyla Sidney’de üniversite öğrencilerine anket uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, genç tüketicilerin elektronik atıklar konusunda bilgi sahibi olduğu görülmüştür. Buna rağmen tüketicilerin elektronik atık toplama noktaları ve geri dönüşüm çalışmaları hakkında bilinçsiz olduğu görülmüştür. Katılımcıların sahip bazı e-eşyaların kullanım ömürleri de araştırılmıştır. Sonuç olarak; televizyonlar için kullanım ömrü yıl olarak 6,21 ve dizüstü bilgisayarlar için bu değer 4,31 olarak tespit edilmiştir.

Me’ndez-Fajardo *et al.* (2020) çalışmalarında gelişmekte olan ülkelerin elektronik atıklarla ilgili politikalarını incelemişlerdir. Politika yapıcılar elektronik atıkların ekonomik yönlerine odaklandıkları için olayın bütününün nedenselliğini gözden kaçırmışlar. Gelişmiş ülkelerde ise bunun tam tersine, üretici sorumluluğu içeren yasalar uygulamaya konularak elektronik atık üreticileri de sürece dahil edilmiştir. Bu çalışmada, ilgili paydaşların büyük

oranda katılımını sağlayan bir sistem modeli oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda; gelişmiş ülkelerdeki e-atık politikalarıyla, gelişmekte olan ülkelerin e-atık politikaları kıyaslanmıştır. Gelişmekte olan ülkelere elektronik atıkların yönetiminde daha iyi politikalara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Gollakota *et al.* (2020) çalışmalarında elektronik eşyaların günlük yaşamımızın ayrılmaz bir parçası haline geldiğine ve ekonomi üzerindeki etkilerine değinmişlerdir. Teknolojinin hızla ilerlemesi, elektronik eşyalara olan talebin ve bağımlılığın artmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada e-atıkların yönetilmesinin ve bu atıkların günlük yaşamımızdaki öneminin vurgulanması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda; tüm ülkelerde elektronik atık yönetiminin acil olarak ele alınması gerektiği görülmüştür.

Pekdemir (2020) çalışmasında elektronik atıkların çeşitlerinden, içeriğinden ve geri dönüşüm yöntemlerinden bahsetmiştir. Bu çalışmada elektronik atık geri dönüşümünü ele alan çalışmaların derlemesi yapılmıştır. Dünyada pek çok ülkenin elektronik atıkların geri dönüşümüyle ilgili büyük adımlar atmıştır. Türkiye'nin de bu konuda kendini geliştirmesi ve daha büyük adımlar atması gerektiği görülmüştür.

Chen *et al.* (2021) çalışmalarında yapay zeka tabanlı e-atık yönetimi uygulaması gerçekleştirmişlerdir. E-atıklar en hızlı büyüyen atık türü haline gelmiştir. Çeşitli toksik maddeler içeren e-atıklar yakından izlenmemektedir. Bu nedenle e-atıkların yönetiminde farklı uygulamalara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu çalışma sonucunda; e-atıklardaki tehlikeli maddelerin analizi, çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri ve bazı ülkelerdeki e-atık yönetim politikaları için yapay zeka teknikleri önerilmiştir.

Boubellouta and Kusch-Brandt (2021) çalışmalarında 27 AB ülkesi için 2008-2016 yılları arasındaki e-atık verilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; Elektronik atık miktarının hızla artmakta olduğu ve çevresel bozulmaların nedeninin yanlış yönetilen e-atıklar olduğu görülmüştür.

Asibey *et al.* (2021) çalışmalarında şehir planlamacıların e-atığa bakış açılarını öğrenmeyi amaçlamışlardır. Makaledeki incelemelere göre; Gana şehir planlanmasının e-atık sektörünü şekillendirmede etkisiz olduğu ortaya çıkmıştır. E-atıklarla ilgili politikaların yetersiz olduğu görülmüştür. E-atık konusunda bilinçlendirme çalışmalarının ve farkındalığın artırılması gerekmektedir. Çalışmada, daha sürdürülebilir bir çevre için mevcut planlar yeniden incelenmeli ve daha verimli bir kurumsal çerçeve geliştirilmeli sonucuna varılmıştır.

Dhir *et al.* (2021) çalışmalarında e-atık geri dönüşümü ve yönetimi üzerine davranışsal perspektifleri incelemişlerdir. Bu çalışmada e-atıkların geri dönüşümünde edinilen tutumların

nedenleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı; tüketicilerin e-atıkların geri dönüşümüne katılmakta ne derece istekli olduğunu araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda 774 Japon tüketicisine bir anket uygulanmıştır. Anket sonucunda, tüketicilerin e-atıkların geri dönüşümüne yönelik tutumlarının olumlu olduğu görülmüştür.

Aboelmaged (2021) çalışmasında gelişmekte olan ülkelerin ekonomisinde genç tüketicilerin e-atıkların geri dönüşümü hakkındaki davranışını incelemiştir. Genç tüketicilerin davranışlarının tespiti için bir anket çalışması yapmıştır. Anket sonuçları istatistiksel bir teknik olan en küçük kareler yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Anket verileri sonucunda, genç tüketicilerin e-atıkların geri dönüşümünde de önemli rolü olduğu görülmüştür. Makale sonucunda; e-atıkların geri dönüşümü teşvik edecek çeşitli tutumlara yer verilmiştir.

Ma *et al.* (2021) çalışmalarında kayıt dışı tutulan elektronik atıklar üzerine inceleme yaparak bu konudaki literatürü taramışlardır. E-atıklar büyük oranlarda tehlikeli maddeler içermesine rağmen, bu atıklarda kayıt dışı sektörün gelişmiş olduğu görülmüştür. Gayri resmi olarak yapılan e-atık geri dönüşümlerinde bu işi yapan insanlar ciddi tehlikelere maruz kalmaktadır. Çalışma sonucuna göre; bu tehlikeler deri hastalıkları, solunum yolu hastalıkları gibi daha birçok hastalığa neden olmaktadır.

Boubellouta and Kusch-Brandt (2021) çalışmalarında 174 ülke için e-atık oluşumu üzerinde incelemelerde bulunmuşlardır. E-atık miktarı dünya çapında hızla artmaktadır. Bu artışın farklı ülkeler için nedenleri, belirleyicileri tam olarak anlaşılmamıştır. Bu makalede çevresel bozunmanın göstergesi olarak e-atık üretiminin dünya çapındaki düzeyi incelenmiştir. E-atıklar, 174 ülke için 2016 yılının verileri kullanılarak en küçük kareler yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda; toplam e-atık üretimiyle kentleşmenin güçlü ve pozitif bir etkisi olduğu görülmüştür.

Elektronik atıklarla ilgili mevcut birçok çalışma bulunmaktadır. Elektronik atıklarla ilgili yapılan bu kaynak taramasında incelenen çalışmalarda ortak nokta bireylerin elektronik atıkların kapsamı ve geri dönüşümü hakkında farkındalık düzeyinin düşük olmasıdır. Bu da etkin bir elektronik atık yönetimini zorlaştırmaktadır. Hükümetlerin elektronik atıklar konusundaki yönetmelikleri daha detaylı düzenlemesi ve halkı bilinçlendirmesi gerekmektedir. Halkın bilinç düzeyinin tespitinde en çok tercih edilen yöntemin anket olduğu görülmüştür. Dünya genelinde toplanan elektronik atık miktarı üretilen elektronik atık miktarından daha azdır. Teşvik politikaları ve yasa dışı yapılan toplamaların önlenmesiyle tüm ülkelerde toplanan elektronik atık miktarı artırılabilir. İnsanlar elektronik atıkların zararlarını bilmeli ve geri dönüşümünü desteklemelidir.

Elektronik atıklarla ilgili yapılan kaynak taraması sonucunda, literatürde yer alan bazı çalışmalar Tablo 1’deki gibi özetlenmiştir.

Tablo 1. Elektronik Atıklar İçin Literatür Özeti

YAYIN TÜRÜ	YIL	YAZARLAR	AMAÇ	SONUÇ
Makale	2014	Tina Wakolbinger Fuminori Toyasaki Thomas Nowak Anna Nagurney	Teknik, piyasa ve yasal faktörlerin bertaraf edilen e-atık miktarını nasıl etkilediğini analiz etmek amaçlanmıştır.	Düşük e-atık toplanma oranlarının, e-atık akışının zorlaşmasına ve verimin azalmasına sebep olduğu görülmüştür.
Makale	2015	Vildan Çetinsaya Özkır Tuğba Efendigil Tufan Demirel Nihan Çetin Demirel Muhammet Deveci Burak Topçu	E-atık yönetimi için etkili yaklaşımlar önermeyi ve şehir planlamacılarını, yöneticilerini, e-atık türleri için entegre sistemler kurmaya teşvik etmek amaçlanmıştır.	Yetkililere gelecekteki e-atık yönetim sistemlerinde iyi yapılandırılmış stratejiler oluşturmaları için çeşitli öneriler sunulmuştur.
Makale	2015	Mehmet Marangoz Asım Günel Önce Ali Emre Aydın	Çevre ekonomisi ve sürdürülebilir kalkınma açısından e-atık yönetiminin öneminin incelenmesi amaçlanmıştır.	E-atık yönetimiyle ilgili dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiş ve paydaşların önemine dikkat çekilmiştir.
Makale	2016	Piotr Nowakowski	Konut sakinlerinin davranışlarının atık elektrikli ve elektronik ekipman toplama etkinliği üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.	Avustralya AEEE politikaları analiz edilerek AEEE paydaşlarının yönetim tarafından yeniden ele alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.
Makale	2016	Güray Salihoğlu Aslıhan Ece Kahraman	Anket çalışması yapılarak Bursa’da kişi başına düşen e-atık miktarının hesaplanması amaçlanmıştır.	Seçilmiş elektrikli ve elektronik cihazlar için kişi başına düşen e-atık miktarı 8,14 kg/yıl olarak belirlenmiştir.
Makale	2017	Ferhunde Hayırsever Topçu	Uluslararası düzeyde e-atık ticaretinin ve sorunlarının ele alınması amaçlanmıştır.	Gelişmiş ülkeler kendi atıklarının sorumluluğunu almalı ve e-atıklarla gerçekten başa çıkma girişimleri düşünülmelidir.
Makale	2018	Laura Börner Dries L.T. Hegger	AEEE literatüründen yararlanarak Hollanda’nın AEEE yönetiminin analiz edilmesi amaçlanmıştır.	Hollanda’nın AEEE politika çerçevesinin beklenenden iyi olduğu görülmüş ve buna ek olarak çeşitli önerilerde bulunulmuştur.
Makale	2018	Pablo Dias Andrea Moura Bernardes Nazmul Huda	Avustralya’nın AEEE yönetimi incelenerek diğer ülkelerle kıyasla ne durumda olduğunu incelemek amaçlanmıştır.	Avustralya’da başlatılan Ulusal Televizyon ve Geri Dönüşüm Programı’nın Avustralya için iyi bir adım olduğu ve geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Tablo 1. (Devamı)

Makale	2018	Anwesha Borthakur Madhav Govind	Hindistan'ın kentsel bölgesinde bilgisayar ve cep telefonu atıklarındaki tüketici davranışlarını incelemek amaçlanmıştır ve anket çalışması gerçekleştirilmiştir.	Hane halklarının % 59,3'ünün uygun e-atık yönetimi hakkında bilgi eksikliği nedeniyle eski elektronik cihazlarını hala koruduğunu görülmüştür.
Makale	2018	Barış Keçeci Orhan Dengiz Berna Dengiz Emre Sümer Aybüke Kılıç Ece Çeki Bedia İnan Selda Çiçek	Çankaya Belediyesi için anket çalışması ile kullanıcı davranışları dikkate alınarak e-atık tahmini yapılmış bu tahminlerden yola çıkılarak e-atık toplama noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır.	Seçilen mahallelerde, küme örtme problemi kurulmuş ve her mahalleye en az bir talep noktası kurulması sağlanmıştır.
Makale	2018	Özlem Karadeniz Alver Berk Ayvaz Bülent Çatay	İstanbul için AEEE'lerin çok amaçlı bir tersine lojistik ağ tasarımı örneğini gerçekleştirmek amaçlanmıştır.	Çok amaçlı bir karma tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş, modelde açılacak atık işleme tesislerine ve geri kazanıma dahil edilecek hurda depolarına karar verilmiştir.
Makale	2019	Leyla Özgür Polat Aşkın Gögör	Karmaşık bir yapısı olan e-atık yönetimindeki ağ tasarımı sorunlarını ele almak amaçlanmıştır.	E-atık geri dönüşümü ağ tasarımında meydana gelen sorunları ve farklı senaryoları görmek için matematiksel model tasarlanarak sonuçları yorumlanmıştır.
Makale	2019	Md Tasbirul Islam Nazmul Huda	E-atık yönetiminde stratejik bir araç olarak kullanılan malzeme akış analizinin eksik yönlerini araştırmak amaçlanmıştır.	Malzeme akış analizinde e-atık akışının verimli olması için hem yasal ve hem de yasa dışı e-atık akışının dikkate alınması gerektiği görülmüştür.
Makale	2019	Ying Qu Wenhua Wang Yue Liu Qinghua Zhu	Atık cep telefonu toplama hizmetlerinin konut seçimi üzerindeki etkisini değerlendirerek bu boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.	Toplama fiyatı, toplayıcı ve kalite sertifikasının önemli nitelikler olduğu, kanal toplamının ise az önemli olduğu görülmüştür.
Makale	2019	Sidra Ramzan Chen Guang Liu Hina Munir Yan Xu	Genç tüketicilerin sürdürülebilir e-atık yönetimi konusundaki bilinç düzeyinin araştırılması amaçlanmıştır.	Genç tüketicilerin e-atık bilincinin artırılması için farkındalık kampanyalarına ihtiyacı olduğu görülmüştür.
Makale	2020	Sandra Me'ndez-Fajardo Heinz Böni Paul Vanegas Dolores Sucozhanay	Sürdürülebilir bir e-atık politikası için ortaya çıkabilecek zorlukların belirlenmesi amaçlanmıştır.	E-atık yönetiminin verimini arttırmak için ulusal e-atık politikalarının geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Tablo 1. (Devamı)

Makale	2020	Md Tasbirul Islam Nazmul Huda	Avustralya'da kullanılmayan AEEE'lerin incelenmesi amaçlanmıştır.	AHP ile yapılan derecelendirme sonucu AEEE yönetiminde dikkate alınması gereken unsurlar tespit edilmiştir.
Makale	2020	Md Tasbirul Islam Pablo Dias Nazmul Huda	Avustralya ve Sidney'deki üniversite öğrencilerinin e-atık bilincinin ölçülmesi amaçlanmıştır.	Genç tüketicilerin e-atıkların ne olduğunun farkında olmasına rağmen e-atıkların geri dönüşümünün bilincinde olmadıkları görülmüştür.
Makale	2020	Melek Işık İrfan Macit	Türkiye'deki 38 şehirden hangisine e-atık geri dönüşüm merkezi kurulması gerektiğine karar vermek amaçlanmıştır.	38 şehir içinde seçilen 10 şehirden bir tanesine geri dönüşüm merkezi kurulması gerektiği tespit edilmiştir.
Makale	2021	Bilal Boubellouta Sigrid Kusch-Brandt	Farklı ülkelerdeki e-atık hızının artmasının sebebi olan belirleyicilerin incelenmesi amaçlanmıştır.	Nüfusun e-atık üretimi üzerinde olumlu etkisi, kişi başına düşen e-atık miktarında ise olumsuz etkisi olduğu görülmüştür.

Elektronik Atıklarla İlgili Matematiksel Modelleme Yapılan Çalışmaların Kaynak Taraması

Keçeci vd. (2014) çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temelinde bir e-atık yönetimi politikası oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada, Çankaya Belediyesi için e-atık yönetim modeli oluşturulmuştur. Çalışmada sonucunda; e-atık toplama yerlerinin belirlenmesi için CBS temelli bir karar destek sistemi kurulmuştur. Farklı senaryolar için farklı önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışmada kurulan e-atık yönetim modeli farklı belediyeler için de kullanılabilir. Keçeci vd. (2018) çalışmalarında Çankaya Belediyesi'nde elektronik atık toplama noktalarını belirleyen bir uygulama yapmışlardır. Elektronik eşyalar kullanım ömürlerini doldurduklarında elektronik atığa dönüşerek çevre ve insan sağlığını tehlikeye atarlar. Bu çalışmada, Çankaya Belediyesi için elektronik atık yönetimine yardımcı olacak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Çankaya ilçesi sakinlerinin davranışları incelenerek beyaz eşyalar ve televizyon gibi elektronik atıklar için anket çalışması yapılarak elektronik atık miktarı tahmin edilmiştir. Daha sonra elektronik atıklar için belirli toplanma noktaları kurulması amacıyla küme örtme problemi modellenmiş ve bunun sonucunda da bazı mahallelere konteyner ataması gerçekleştirilmiştir.

Alver vd. (2018) çalışmalarında İstanbul ilini ele alarak elektronik atıklar için bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Bu modelde, sürdürülebilirlik kavramının alt amaçları esas alınmıştır. Bu çalışmada amaç; elektronik atıkların çevreye etkilerinin ve maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Elektronik atıklarla ilgili yayımlanan yönetmeliğe rağmen hurdacılar yasa dışı toplama yapmaktadır. Bu çalışmada hurdacılar da ele alınarak oluşturulan matematiksel modele dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda; farklı toplama yüzdeleri için farklı senaryolar oluşturulmuştur.

Bingöl (2020) çalışmasında e-atıkların toplama noktalarının belirlenmesi için Erzurum İli Yakutiye Belediyesi'nde bir uygulama yapmıştır. Bu tezde e-atık toplama noktalarının belirlenmesi amacıyla küme örtme problemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, e-atık miktarının tahmin edilmesi ve kullanıcı davranışlarının belirlenebilmesi için anket yöntemi kullanılmıştır. Yakutiye Belediyesi'nde hangi noktalarda e-atık toplanması gerektiğine karar verilmiştir.

Işık ve Macit (2020) çalışmalarında elektronik atıkların geri dönüşümüne dikkat çekmeyi ve ülkemizde seçilecek şehirlere geri dönüşüm merkezi kurmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada geri dönüşüm merkezi kurulması amacıyla Türkiye'deki 38 şehir seçilerek bu şehirler için matematiksel model kurulmuştur. Bu 38 şehir içinden seçilen 10 şehirden hangisine elektronik atık geri dönüşüm merkezi kurulmalı sorusuna cevap aranmıştır. Çalışma sonucunda; seçilen şehirlerden bir tanesine elektronik atık geri dönüşüm merkezi kurulması gerektiği görülmüştür.

E-atık yönetiminde matematiksel modelleri kullanan çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda e-atık miktarının tahmini genellikle anket çalışmalarıyla yapılmıştır. Matematiksel modellerin kullanıldığı çalışmalarda genellikle e-atıklar için toplama noktasının belirlenmesi amaç edinilmiştir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalarda gerekli veriler toplanıp matematiksel modeller kurulmuştur.

Atık Yönetimi ile İlgili Bulanık Mantık Çalışmalarının Kaynak Taraması

Özkır vd. (2015) çalışmalarında e-atık yönetimi için etkin yaklaşımlar önermeyi ve yöneticilerin farklı e-atık türleri için entegre sistemler kurmasını teşvik etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada İstanbul ili ele alınarak e-atık yönetimi faaliyetleri için üç aşamalı bir metodoloji önerilmiştir. İstanbul'un seçilmesinin nedeni, e-atık yönetimine acil müdahale gerektirmesidir. Bu çalışmanın e-atık yöneticilerinin gelecekteki e-atık yapılandırmalarına yardımcı olması amaçlanmıştır.

Ergülen vd. (2017) çalışmalarında gıda ve tarım ürünlerinden kalan atıkların yem hammaddesine geri dönüşümünü uygulama alanı olarak ele almışlardır. Bu geri dönüşümün sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağladığını göstermek amacıyla ve bu işi yapan işletmelerin maliyetini en küçükleyecek klasik doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama modelleri kurulmuştur. Bu modeller LİNDÖ 6.01 programıyla çözülmüştür. Çalışma sonucunda ele alınan iki modelden, bulanık doğrusal programlamanın klasik doğrusal programlamaya göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Kharat *et al.* (2019) çalışmalarında katı atık arıtma ve bertaraf teknolojisi seçimi için bulanık çok kriterli bir karar analizi modeli kurmuşlardır. Katı atık yönetimi üretilecek atık miktarı bilinmediği için belirsizlikler içeren bir süreçtir. Bu çalışma, karar vericilerin belirsiz koşullar altında da katı atık yönetimine uygun arıtma ve bertaraf yöntemlerini seçmesine yardımcı olabilecek bir değerlendirme sunmaktadır.

Bui *et al.* (2020) çalışmalarında sürdürülebilir katı atık yönetiminin önündeki engelleri ele almışlardır. Bulanık Küme Teorisi ve Bulanık Delphi Yöntemi'ni kullanmışlardır. Bu çalışmada atık yönetiminin önünde 7 ayrı kategori açısından 146 engel gözlemlenmiştir. Bulanık küme teorisi katı atık yönetimindeki uzman görüşlerini nicel verilere dönüştürmek için kullanılmıştır. Bulanık Delphi Yöntemi ise bu konudaki engel olarak görülen özellikleri taramak ve önem derecesine göre sıralamak için kullanılmıştır.

Saeidi-Mobarakeh *et al.* (2020) çalışmalarında tehlikeli atıkların yönetiminde iki seviyeli optimizasyon modeli ele almışlardır. Tehlikeli atık yönetimi hiyerarşik bir süreçtir. Yapılan çalışmada bu hiyerarşideki ağ tasarımı ve atık toplama sorunları incelenmiştir. Atıkların üretim oranı belirsizdir. Bu belirsizlikle başa çıkmak için iki seviyeli bir optimizasyon modeli kurulmuştur. Çalışma sonucunda, tehlikeli atıkların ağ tasarımında görülen sorunlar için pratik çözümler sunulmuştur.

Atıkların yönetiminde ve geri dönüşümünde bulanıklaştırma kullanan çalışmaların sayısının az olduğu gözlemlenmiştir. Bulanıklık genellikle atıkların yönetiminde bazı belirsizlikler görüldüğü için kullanılmıştır. Bulanıklık kullanılan modellerde daha pratik ve avantajlı çözümler elde edildiği görülmüştür.

Bulanık SWARA Yöntemi ile İlgili Yapılan Çalışmaların Kaynak Taraması

Piriştine (2019) çalışmasında Bulanık SWARA yöntemini kullanarak işletmelerin kurumsallık düzeyini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla uzman karar vericilerin görüşlerine başvurarak kriterlerin önem düzeyini belirlemiştir. Çalışmada; işletmelerin kurumsallık

düzeyinin yüzde kaç olduğunun belirlenmesinde kriterlerin katsayıları Bulanık SWARA ile hesaplanmış ve işletmelerin hangi kriterde eksik olduklarını görmeleri sağlanmıştır.

Madenoglu (2020) çalışmasında personel seçimini bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Burada Bulanık ARAS, Bulanık WASPAS gibi yöntemler kullanarak bir çözüm önermiştir. Çalışmada kullanılacak kriterlerin ağırlıkları Bulanık SWARA yöntemi ile belirlenmiştir. Önerilen yaklaşımdan sonuç alabilmek için üretim sektörü için bir uygulaması yapılmış ve personel seçimi gerçekleştirilmiştir.

Şengül ve Çağıl (2020) çalışmalarında Bulanık SWARA ve Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada bir işletme için kurulacak montaj hattında iş değerlemesi uygulaması yapılmıştır. Uygulamada kullanılacak kriterler belirlenmiş ve kriterlerin birbirleri ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık SWARA, kriterlerin sıralanmasında ise Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Şengül vd. (2021) çalışmalarında Bulanık SWARA ve Bulanık AHP yöntemi ile iş değerlendirmesi uygulaması yapmışlardır. Bu çalışmada işletmede yeni kurulacak olan 3 farklı görevin tanımı yapılarak önem düzeyleri karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Çalışmada iş değerlendirmesi yapılırken en önemli olan noktanın ücret sistemi olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda; iki yöntem birlikte kullanılmış ve çalışanların iş tanımlarına göre ücret sisteminde en uygun noktaya yerleştirilmesinin mümkün olabileceği görülmüştür.

Özdağoglu vd. (2021) çalışmalarında Bulanık SWARA ve Bulanık MARCOS yöntemlerini kullanarak havacılık sektöründe kabin memuru seçimi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada amaç; havayolu şirketine kabin memuru alırken hangi kriterlerin önemli olduğunu ve bu kriterlerin önem düzeyinin ne olduğunu belirlemektir. Çalışmada sonucunda; üç önemli kriter belirlenerek bu kriterlere en uygun olan aday seçilmiştir.

Literatüre bakıldığında Bulanık SWARA yönteminin farklı alanlarda kullanıldığı, özellikle karar verme aşamasında zorluklarla karşılaşılan problemlerde kullanıldığı görülmüştür. Bulanık SWARA yönteminin bu çalışmada tercih edilmesinin sebebi; e-atıklar üzerinde etkisi olduğu belirlenen 4 faktörün önem düzeyinin tam olarak bilinmemesidir. Ayrıca bu yöntemde karar vericilerin görüşlerini özgürce yansıtabilmesi bu tezde Bulanık SWARA yönteminin tercih edilme nedenlerinden biri olmuştur. Bulanık SWARA ile bu faktörlerin önem düzeyleri belirlenerek ağırlıkları hesaplanmış ve oluşturulan matematiksel modele dahil edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu bölümünde atık ve atık türleri anlatılarak elektronik atıklarla ilgili bilgi verilmiştir. Sonrasında tezde uygulanan yöntem anlatılmıştır. Kesikli tesis yer seçimi problemleri içinde yer alan küme kapsama problemi anlatılarak matematiksel modeli verilmiştir. Daha sonra Bulanık SWARA yöntemi ve işlem adımları gösterilmiştir.

Atık ve Atık Türleri

Günlük hayatta insanların yaşamsal faaliyetleri neticesinde ortaya çıkan ve kullanılmaz hale gelen maddelere atık denir. Atık denince akla ilk gelen kavramlardan biri çöptür. Atık ile çöp birbirinden farklı kavramlardır. Atığın geri dönüşümü mümkündür fakat çöpün geri dönüşümü mümkün değildir.

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde (2015) yer alan tanıma göre atık; elinde bulundurulan kişi tarafından çevreye bırakılan maddelere denilmektedir. Bazı atık çeşitleri şunlardır; Elektronik atıklar, tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar ve evsel atıklar.

Atık yönetimi

Bütün atık çeşitlerinin en küçüklenmesi, atık merkezlerinin oluşturulması, bertaraf edilmesi ve sonrasındaki atık izleme süreçlerini içeren yönetim biçimine Atık Yönetimi denir (Başarır, 2018).

Teknolojik gelişmelerin artması ve doğal kaynakların azalması tüm dünya ülkelerinde atık yönetimini zorunlu kılmıştır. Etkili bir atık yönetimi çevre ve insan sağlığı açısından büyük önem teşkil etmektedir. Mevcut atık çeşitleri içerisinde elektronik atıklar içerdiği zengin metallerden dolayı geri dönüşümü hem doğal kaynakların devamı hem de ekonomi açısından gereklidir.

Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya

Elektronik atıklar (e-atıklar) genellikle AEEE yani “Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya” olarak adlandırılır. AEEE’lerin birçok farklı tanımı bulunmaktadır. Elektronik eşya denince akla ilk gelenler televizyon, telefon, ampul gibi eşyalardır. Elektronik eşyaların çeşitleri bunlardan çok daha fazlasıdır.

Gelişen teknoloji günlük yaşantımızın birçok alanında ihtiyaçlarımızı ve kullanım alışkanlıklarımızı değiştirmiş ve atıkların çeşitlenmesine sebep olmuştur. Tekno atık olarak da adlandırılan elektronik atıklar çeşitli alt kategorilere ayrılmaktadır (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, 2016). İnsanların elektronik cihazlara olan doyumsuz talebi gün geçtikçe artmaktadır. Dünyanın en hızlı büyüyen atık türünü e-atıklar oluşturmaktadır. Birleşmiş Milletler bu atık akışını e-atık tsunamisi olarak adlandırmaktadır (Ryder and Houlin, 2019).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2012 yılında yayımladığı yönetmelikte elektronik atıklar için kullanılacak bir sembol belirlenmiştir. Bu sembol Şekil 1'de verilmiştir (AEEKY, 2012).



Şekil 1. Elektronik atıklar çöp değildir sembolü

Elektronik eşyaların üretimi hızla artmaktadır. Buna karşın bu elektronik eşyaların kullanım ömürleri gittikçe azalmaktadır. Teknolojinin hızla ilerlemesi, elektronik eşyaların kullanım ömrünün azalmasındaki en büyük etken olmuştur (Yazıcı vd. 2011).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı yönetmeliğe göre; elektronik eşyalar aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır (Sayman ve Akpulat, 2016).

- Büyük ev eşyaları (Bulaşık makinesi, çamaşır kurutma makinesi vb.)
- Küçük ev eşyaları (Kahve makinesi, fön makinesi vb.)
- Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları (Tablet, telefon vb.)
- Tüketici ekipmanları (Kamera, fotoğraf makinesi vb.)
- Aydınlatma ekipmanları (Armatür, lamba vb.)
- Elektrikli ve elektronik aletler (Büyük ve sabit sanayi aletleri hariç)
- Oyuncaklar, eğlence ve spor aletleri (Jetonlu aletler vb.)
- Tıbbi cihazlar (Röntgen cihazları vb.)
- İzleme ve kontrol aletleri (Termostatlar vb.)
- Otomatik dağıtıcılar (Yiyecek ve içecek otomatları vb.)

E-atıklar geniş bir ürün yelpazesi içermektedirler. 2014'te yayımlanan Küresel E-atık Raporu'na göre e-atıklar 6 temel kategoriye ayrılmıştır (Balde *et al.* 2014).

- Sıcaklık değişim ekipmanları (dondurucular, soğutucular, buzdolapları, klimalar vb.)
- Ekranlar (televizyonlar, monitörler, dizüstü bilgisayarlar, tabletler vb.)
- Lamba çeşitleri (floresan lambalar, LED lambaları, tipik aydınlatma ekipmanları vb.)
- Büyük ekipmanlar (bulaşık makineleri, çamaşır kurutma makineleri, vb.)
- Küçük ekipmanlar (su ısıtıcıları, elektrikli süpürgeler, tost makineleri, mikrodalgalar, vb.)
- Telekomünikasyon ekipmanları (cep telefonları, yazıcılar, GPS cihazları vb.)

AEEE'nin yönetimi ve önemi

Elektronik atıklar içerdikleri zararlı maddelerden dolayı, uygun şekillerde bertaraf edilmezlerse çevreye zarar verirler. Uygun bertaraf edilirlse çevreye ve topluma verilen zarar minimize edilebilir ve bu atıklardan ortaya çıkan olumsuz etkiler bu şekilde yok edilebilir. Elektronik eşyalar sadece atık olduklarında veya bertaraf edildiklerinde değil aynı zamanda üretim ve kullanım aşamalarında da karbon salınımı yaparlar. Bu da elektronik atıkları tehlikeli hale getirir. Yani üretimden tüketime her aşamasında dikkat edilmesi gereken bir atık türüdür.

Bilindiği gibi elektronik eşyaların çeşidi her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte elektronik atık miktarında da artış görülmektedir. Teknolojik gelişmelerin devam etmesiyle elektronik eşyalarda modası geçme durumu ortaya çıkmıştır. Bu da çoğu elektronik eşyanın kullanım ömrü dolmadan atığa dönüşmesine sebep olmaktadır. Günümüzde insanlar, kullanılabilir durumda olan bir telefonu bile sırf üst modeli çıktığı için değiştirebilmektedir.

Elektronik atıklar çevre koşullarına uygun olarak geri dönüştürüldüklerinde büyük ekonomik kazançlar elde edilebilmektedir. Yıllık olarak 62,5 milyar doların üzerinde ekonomik kazanç oluşturma potansiyeline sahiptirler. Elektronik atıklarının büyük çoğunluğu toplandığında ve verimli olarak geri dönüştürüldüklerinde enerji ihtiyacı azalacak ve yeni iş istihdamları sağlanacaktır (Akpulat, 2020).

Elektronik eşyalar kullanım ömürlerini tamamladıklarında elektronik atıklara dönüşmektedirler. Bu aşamada elektronik atıkların oluşumunun süreci şöyledir; önce elektronik eşyaların satışı gerçekleşir. Sonra ev ve iş yerlerinde bu eşyalar kullanılır.

Kullanım ömürlerini tamamladıklarında ise elektronik atıklar oluşur. Son olarak toplama ve geri dönüşüm aşamasında yer alırlar (Sayman ve Akpulat, 2016).

Bazı elektronik eşyaların ağırlıkları ve kullanım ömürleri Tablo 2’de verilmiştir (Yazıcı vd. 2011).

Tablo 2. Bazı Elektronik Eşyaların Ağırlıkları ve Kullanım Ömürleri

Elektronik Eşyalar	Ağırlık (kg)	Tipik Kullanım Ömrü (Yıl)
PC	25	2 veya 3
Telefon	0,1	2'den az
Faks Makinesi	3	5
Fotokopi Makinesi	60	8
TV	30	5
Radyo	2	10
DVD	5	5

Etkili bir AEEE yönetiminin önündeki sorunlar Widmer *et al.* (2005) tarafından beş ana başlık altında toplanmıştır. Bu sorunlar aşıldığı takdirde daha etkin ve verimli bir AEEE yönetimi oluşturulabilmektedir. Bu beş ana başlık şöyledir:

- Yasal düzenleme
- Sistem finansmanı
- Sistem kapsamı
- Üretici sorumluluğu
- Uyumluluğun sağlanması

AEEE geri dönüşümü neden önemlidir?

AEEE’lerin geri dönüştürülmesi son yıllarda daha çok önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Artan nüfus karşısında doğal kaynakların hızla azalıyor olması bu atıkların geri dönüşümünü zorunlu kılmıştır. AEEE’ler içerdikleri tehlikeli maddelerden dolayı insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir. Geri dönüşümleri hurdacılar veya lisanssız işletmeler tarafından değil; yönetmeliğe uygun olacak şekilde lisanslı işletmeler tarafından gerçekleştirilmelidir. Kayıt altında olmadan yapılan elektronik atıkları ayırma işlemlerinde e-atıklar uygun bir şekilde parçalanmadığı için bu işi yapan kişiye tehlike saçarlar. Bu ayırma işleminden sonra elektronik atıklar doğaya bırakılır ve çevre için de büyük tehlike haline gelir. Bu nedenle elektronik atıkların geri dönüşümü kontrollü alanında uzman kişiler tarafından lisanslı firmalarda gerçekleştirilmelidir. AEEE’lerin geri dönüştürülmesi ekonomik açıdan da büyük önem taşımaktadır. E-atıkların içerisinde tehlikeli maddelerin yanı sıra çok

sayıda değerli madde de bulunmaktadır. Bunlar geri dönüşümü mümkün olan altın, bakır ve alüminyum gibi maddelerdir. E-atıklar düzenli ve doğru şekilde geri dönüştürülürse ülkeler için katkısı çok büyük olacaktır. AEEE’lerin geri dönüşümü kişisel verileri barındırdığı için de oldukça önemlidir. Özellikle telefon gibi elektronik atıklar çok fazla kişisel bilgi içermektedir. Bu nedenle bu tür elektronik atıklar kişisel verileri koruma kanununa uygun bir şekilde geri dönüştürülmelidir.

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde elektronik atıklar çoğunlukla kayıt dışı olarak sokak toplayıcıları ve lisanssız işletmeler tarafından toplanmaktadır. Elektronik atıkların içinde bulunan değerli maddeler gayri resmi bir sektör oluşmasına sebep olmuştur. Oluşan gayri resmi sektörde çalışanlar tehlikeli maddelere maruz kalmaktadır (Akpulat, 2020).

Bütün ülkelerde e-atık miktarlarının izlenmesi, bu konudaki politikaları ve yönetim biçimlerini belirlemek için gereklidir. E-atık istatistiklerinin sürekli güncellenmesi uluslararası düzeyde yapılmalı ve veriler karşılaştırılarak yorumlanmalıdır. Uluslararası düzeyde bu konudaki ilgilerin artmasına rağmen dünyada sadece 41 ülke e-atık istatistiklerini toplamaktadır. E-atıkların miktarının ölçülmesi, e-atık sorunu için önemli bir adımdır. E-atık istatistikleri zaman içinde değişen e-atık miktarını değerlendirip hedefler koymaya yardımcı olur. Daha iyi elde edilen veriler e-atık oluşumunu azaltmayı ve gayri resmi yapılan toplamaları azaltmayı sağlar. Verimli yapılan e-atık geri dönüşümü bu sektörde yeni istihdamlara da yer açılmasına yardım eder (Balde *et al.* 2017).

AEEE’lerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri

Elektronik atıkların içerisinde insan ve çevre sağlığını tehdit eden çeşitli maddeler bulunmaktadır. Bu atıklar gerektiği gibi bertaraf edilmezlerse geri dönüşü olmayan sonuçlar ortaya çıkabilir. E-atık yönetimi etkili bir şekilde çözüm isteyen önemli bir konudur. E-atıkların geri dönüşümü uygun bir şekilde yapıldığı takdirde çevre ve insan sağlığına yönelik bir tehdit oluşturmamaktadır. Sürdürülebilir bir e-atık yönetimi için bütün paydaşlar üzerine düşen sorumlulukları eksiksiz yerine getirmelidir.

Gerektiği gibi geri dönüştürülmeyen AEEE’ler barındırdıkları zararlı kimyasallarla toprak ve yeraltı sularına karışarak doğanın dengesini ve doğal yapısını bozabilmektedir. Elektronik eşyalarda yaygın olarak kullanılan cıva, kurşun ve kadmiyum gibi maddeler izin verilen değerleri aştığında elektronik eşyalar tehlikeli atık sınıfına geçmektedir (Sayman ve Akpulat, 2016).

Elektronik atıkların içinde hem organik hem de inorganik olan çeşitli bileşenler bulunmaktadır. Bu atıkların içerdiği organik bileşenlerden bazılarını alev geciktiriciler ve çeşitli plastikler örnek olarak verilebilir. İnorganik bileşenlere ise Pb, Hg, Cd, Cu, Al, Fe vb. maddeler örnek verilebilir (Yazıcı vd. 2011).

E-atıklar kontrolsüz bertaraf edildiğinde bir takım olumsuz etkiler meydana getirir. E-atıkların içerisinde tehlikeli kimyasal maddelerin yanı sıra birçok değerli madde de bulunmaktadır. Bunlara altın, gümüş ve bakır gibi değerli maddeler örnek olarak verilebilir. E-atıklar cıva, arsenik, kadminyum ve kurşun gibi çoğu tehlikeli olan 1000’den fazla maddeden oluşmaktadır (Widmer *et al.* 2005). Elektronik eşyalarda çoğunlukla kullanılan elementler aşağıdaki periyodik tabloda verilmiştir. Elementlerin taşıdıkları risk düzeyleri farklı renklerle Şekil 2’de gösterilmiştir (Bel, 2019).

The periodic table displays elements color-coded by risk level. The legend indicates: Blue for 'Sınırlı rezerve sahip, gelecekte tedariki risk altındadır.' (Limited reserves, future supply risk), Yellow for 'Artan kullanımla yükselen bir riske sahiptir.' (Subject to increasing risk with increasing use), Red for 'Gelecek yüz yıl içerisinde ciddi bir riske sahiptir.' (Subject to serious risk within the next 100 years), and Light Red for 'Elektronik atıklarda bulunan elementleri belirtir.' (Indicates elements found in electronic waste). The table includes elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og), with Lanthanides and Actinides shown below the main body.

Şekil 2. Elektronik eşyalardaki elementlerin bulundurduğu risk düzeyleri

-  : Sınırlı rezerve sahip, gelecekte tedariki risk altındadır.
-  : Artan kullanımla yükselen bir riske sahiptir.
-  : Gelecek yüz yıl içerisinde ciddi bir riske sahiptir.
-  : Elektronik atıklarda bulunan elementleri belirtir.
-  : Periyodik tablo elementlerini belirtir.

Çoğu ülkede kayıt dışı yapılan AEEE geri dönüşümü kayıt altında bulunandan daha fazladır. Kayıt dışı toplanan AEEE'ler hem çevreyi hem de toplandıkları bölgenin sağlığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, sağlıksız koşullarda geri dönüşümü gerçekleştiren kişilerin sağlığı da büyük tehdit altındadır. Bununla ilgili bir görsel Şekil 3'te verilmiştir (Sayman ve Akpulat, 2016).



Şekil 3. Sağlıksız koşullarda yapılan AEEE geri dönüşümüne bir örnek

Elektronik atıklar çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli maddeler bulundurdukları için Avrupa Birliği Konseyi elektronik atıkların içeriklerine bazı sınırlandırmalar getirmiştir. Bunun sonucunda ROHS Direktifi (Tehlikeli Maddelerin Sınırlandırılması) ortaya çıkarılmıştır. Bu direktif ile elektronik atıkların içerdiği zararlı maddelerin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Elektronik atıkların evlerdeki diğer atıklarla beraber atılması çeşitli çevresel kirliliklere neden olmaktadır. Elektronik atıkların tehlikeli atık olarak sınıflandırılmasının sebebi ise yüksek oranda Pb, Cu ve Cd içermeleridir. Bir araştırma sonucuna göre; bilgisayar baskılı devre kartlarında normal sınırlardan 41 kat fazla Pb'ye rastlanmıştır (Yazıcı vd. 2011).

Awasthi and Li, (2017) çalışmalarında elektrikli ve elektronik atık yönetimini ele alarak; e-atıkların insan sağlığına verdiği zararları incelemişlerdir. Bu zararlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. E-atıkların İnsan Sağlığına Verdiği Zararlar

E-atıklarda Bulunan Bazı Bileşenler	İnsan Sağlığı için Riskleri
Antimon	Gözlerde, deride ve akciğerlerde tahriş
Bizmut	Cilt problemleri ve depresyon
Kadmiyum	Akciğer hasarı, sinir sisteminde hasar, kanser, DNA hasarı
Krom	Akciğer kanseri, böbrek ve karaciğer hasarı
Kobalt	Kusma, görme kaybı, kalp sorunları, tiroid hasarı, astım, zatürre
Galyum	Boğaz tahrişi, solunum problemleri, göğüs ağrıları
Germanyum	Cilt, gözler ve kan üzerinde olumsuz etki
Molibden	Dizlerde, ellerde ve ayaklarda eklem ağrıları
Nikel	Akciğer kanseri ve kalp hastalıkları
Selenyum	Kalp ağrısı, ateş, bronşit, ishal ve boğaz ağrısı
Gümüş	Beyin hasarı, böbrek, göz, akciğer ve karaciğer ile ilgili sorunlar
Kurşun	Kan basıncında artış, böbrekte hasar ve beyinde hasar
Kalay	Göz ve cilt tahrişi, nefes darlığı, idrara çıkma sorunları
Demir	Yüksek akciğer kanseri riski
İtriyum	Karaciğer üzerinde olumsuz etki
Çinko	Kusma, cilt tahrişleri, tat ve koku alma duyusunda azalma, doğum kusurları

AEEE'lerin ekonomik değeri

Elektronik atıkların her bir kategorisinin işlevi, malzeme bileşimi, boyutu ve ağırlığı farklıdır. Bunlar elektronik atıkların yaşam sürelerini etkiler. Her bir kategorideki elektronik atık farklı miktarlarda ekonomik değere sahiptir. Toplanması ve geri dönüşüm teknolojisi farklı kategorideki elektronik atıklar için değişkendir (Balde *et al.* 2015).

E-atıkların çevresel etkilerinin yanı sıra ekonomik olarak da bazı etkileri bulunmaktadır. E-atıkların içerdiği hammaddelerin 2016 yılı için toplam mali değerinin 55 Milyar Euro olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktar, dünyadaki birçok ülkenin GSYH değerinden daha büyüktür (Balde *et al.* 2017). E-atıklar içerdikleri değerli maddelerden dolayı geri dönüşümleri tüm ülkelerin ekonomisi için büyük önem taşımaktadır. Birçok e-atık çeşidi dünyada nadir bulunan metalleri içermektedir. Bu metaller iyi değerlendirildikleri zaman

ikincil hammadde olarak kullanılabilir. Dünyada artan nüfus karşısında doğal kaynaklar da hızla tükenmektedir. Bu da geri dönüşümü tüm ülkeler için gerekli kılmıştır.

E-atıklardan geri dönüşüm yapılarak hammadde elde edilebilir fakat geri dönüştürülemeyen kısımları da mevcuttur. Geri dönüşümü yapılamayan kısımlar yakılarak enerji elde edilebilir ve fosil yakıtların tüketimi azaltılabilir (Akpulat, 2020). E-atıklar barındırdıkları maddelerden dolayı geri dönüştürüldükleri takdirde büyük oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Bazı maddelerin enerji tasarrufu oranı Tablo 4’te verilmiştir (Yazıcı vd. 2011).

Tablo 4. Bazı Maddelerin Enerji Tasarruf Miktarları

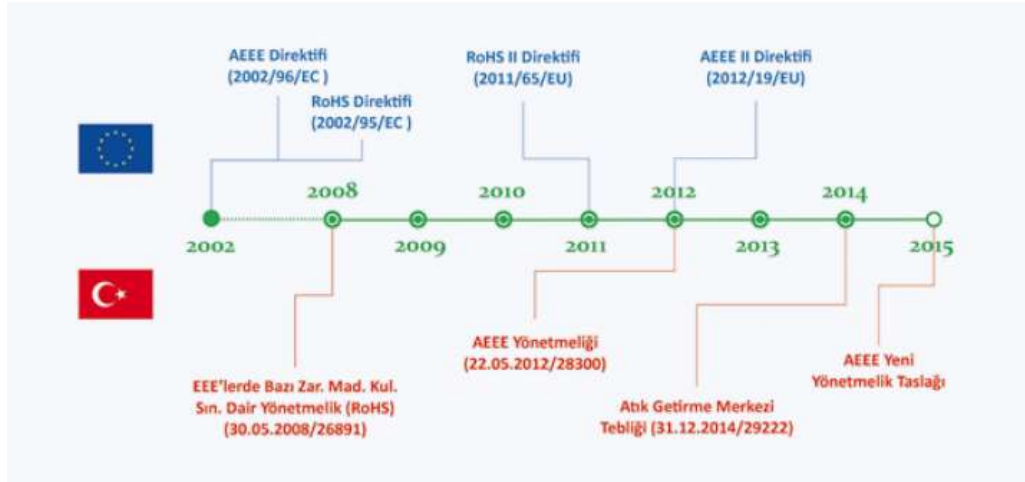
Maddeler	Enerji Tasarrufu (%)
Çinko	60
Kurşun	65
Bakır	85
Kağıt	64
Demir ve Çelik	74
Alüminyum	95
Plastik	>80

E-atıkların ekonomik değerinin fazla olmasının nedeni; altın, gümüş, platin ve paladyum gibi malzemeleri içermesidir. İncelenen bir ton akıllı telefonun içerisindeki altın miktarının, bir ton altın cevherinde bulunan altın miktarından 100 kat daha fazla olduğu görülmüştür (Morlet *et al.* 2018).

Türkiye’de AEEE

Türkiye’de e-atık kavramı ilk olarak 1991 yılında yayımlanan resmi gazetede yer alan ve katı atıkları konu edinen yönetmelikte kullanılmıştır. Daha sonra bu yönetmeliğe 2002 yılında e-atıklar da dahil etmiştir. Böylece Türkiye’de e-atıkları konu alan ilk çalışma gerçekleştirilmiştir. 2008 yılında elektrikli ve elektronik eşyalarda bulunan zararlı maddelere yönelik ROHS Direktifi yayımlanmıştır. Burada amaç ülke ekonomisine katkıda bulunmak ve elektronik eşyalardaki tehlikeli maddelerin üretim esnasında belli sınırlandırılmalara dayandırılmasını sağlamaktır. Türkiye’de elektronik atıkları konu alan ilk yönetmelik 2012 yılında resmi gazetede Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yayımladığı Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği olmuştur. Türkiye AB’ye üye olmak istediği için belli bir e-atık politikası belirlemesi gerekmiştir. Bu nedenle bu yönetmeliği yayımlama ihtiyacı duymuştur. 2015 yılında ise AEEE yeni yönetmeliği taslak halinde yayımlanmış bu

yönetmelik 2016 yılında revize edilmiştir. AB ve Türkiye’de e-atık mevzuatının gelişiminin olduğu görsel Şekil 4’te verilmiştir (Sayman ve Akpulat, 2016).



Şekil 4. AB ve Türkiye’de AEEE mevzuatının gelişimi

Diğer tüm ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de toplanan elektronik atık miktarı satılan elektronik eşya miktarı miktarından çok daha düşüktür. Bunun üç temel nedeni vardır:

- İnsanlar elektronik atıkların geri dönüşümü konusunda yeterince bilgi sahibi değildir. Bu yüzden çoğu elektronik eşya evsel atıkların arasına karışmaktadır.
- Elektronik atık toplama noktaları yetersizdir ve Türkiye’de çoğu ilde mevcut bile değildir.
- Kayıt dışı e-atık geri dönüşümü yapan firmalar ve hurdacılardan dolayı resmi kayıtlara geçen e-atık miktarı oldukça düşüktür.

Ülkemizde yönetmelik hedeflerin düşük olması kayıtlı toplama oranının düşük olmasının başlıca nedenidir (Akpulat, 2020).

Birleşmiş Milletler Üniversitesi’nin hazırladığı rapora göre; 2014 yılında dünya üzerinde üretilen toplam e-atık miktarı 41,8 milyon tondur. 7 milyon tonu aşkın e-atık miktarı ile Amerika birinci sırada yer almıştır. Türkiye ürettiği 503 bin ton e-atık miktarı ile 17. sırada yer almıştır. Türkiye’de 2014 yılı içerisinde belirlenen kişi başına düşen e-atık miktarı 6,5 kg olmuştur (Balde *et al.* 2015). 2017 yılında yayımlanan e-atık izleme raporuna göre; 2024 yılına gelindiğinde Türkiye’de üretilen toplam e-atık miktarının 672 bin tona ulaşacağı öngörülmektedir (Balde *et al.* 2017).

Ülkemizde elektronik atıkların geri dönüşümü lisanslı firmalar tarafından yapılmaktadır. Türkiye’de bu lisanslı firmaların illere göre dağılımı bazı bölgelerde yoğunlaşmıştır. Tesislerin çoğunluğu İstanbul, Kocaeli, Ankara ve Eskişehir gibi şehirlerde kurulmuştur (Salihoğlu ve Kahraman, 2016). Türkiye’de bazı belediyeler Çevre ve Şehircilik

Bakanlığı'nın yetkilendirdiği kuruluşlarla iş birliği yaparak; belediye sınırları içinde belirli noktalara e-atık toplama kutuları bırakmışlardır. Bazı belediyeler de yetkili kuruluşlarla birlikte farklı dönemlerde çeşitli e-atık faaliyetlerinde bulunmuştur.

Türkiye'de çeşitli belediyeler e-atık konusunda çalışmalar yapmıştır. Örneğin; Çorlu Belediyesi şehir merkezine e-atık toplama konteyneri bırakmıştır. İlgili görsel Şekil 5'te verilmiştir (Sayman ve Akpulat, 2016).



Şekil 5. Çorlu Belediyesi e-atık toplama kutusu

Dünyada AEEE

E-atık miktarı ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde de teknolojiye paralel olarak artış göstermektedir. E-atıklar hem içerdikleri tehlikeli maddelerden dolayı hem de ekonomik değerleri bakımından dünyada çoğu ülkenin ilgisini çekmektedir.

E-atık yönetiminin altyapısı düşük ve orta gelirli ülkelerde tam olarak gelişmiş durumda değildir. Bu durum kayıt dışı e-atıkların miktarının artmasına sebep olmaktadır. Böyle durumlarda e-atıklar elverişsiz koşullar altında işlenerek insan sağlığı için büyük tehdit oluşturmaktadır (Forti *et al.* 2020).

2014 yılında kaleme alınan e-atık izleme raporuna göre ise; 2014 yılı ve önceki dört yılın e-atık miktarları ele alınarak sonraki dört yıl için de e-atık miktarı tahmininde bulunulmuştur. Bu tahmin değerleri Tablo 5'te verilmiştir (Balde *et al.* 2015).

Tablo 5. Üretilen Küresel e-Atık Miktarı

Yıl	Üretilen E-atık Miktarı	Nüfus (Milyar)
2010	33,8	6,8
2011	35,8	6,9
2012	37,8	6,9
2013	39,8	7
2014	41,8	7,1
2015	43,8	7,2
2016	45,7	7,3
2017	47,8	7,4
2018	49,8	7,4

2016 yılında dünyada üretilen e-atık miktarı 44,7 milyon metrik tondur. Bu miktar yaklaşık olarak 4500 Eyfel Kulesi'ne eşdeğerdir. 2014 yılında dünya üzerinde kişi başına düşen e-atık miktarı 5,8 kg iken bu oran 2016 yılında 6,1 kg olmuştur. 2021 yılına kadar üretilen e-atık miktarının 52,2 milyon metrik tona ulaşacağı ve kişi başına düşen e-atık miktarının da 6,8 kg olacağı tahmin edilmektedir. 2016 yılında Asya, açık farkla en yüksek (18,2 mt) miktarda e-atık üreten bölge olmuştur (Balde *et al.* 2017).

Küresel e-atık istatistikleri 2017'den beri örgütlenerek önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Dünyanın dört bir yanında hükümetler ömrünü tamamlamış e-atıkların büyümesiyle başa çıkabilmek için çeşitli politikalar ve yasal düzenlemeler geliştirmektedir (Forti *et al.* 2020).

Çin ve Hindistan gibi ülkeler; kendi ülke içlerindeki üretimden ve kanunsuz yapılan ithalattan dolayı çok büyük miktarlarda e-atıklarla karşı karşıya kalmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu atık ithalatından kaynaklı malzeme akışı insanlar için her ne kadar geçim kaynağı olsa da hem çevre hem de insan açısından büyük risk taşımaktadır. Bu sektörde çalışanların çoğu bu risklerin bilincinde değildir (Widmer *et al.* 2005).

Günümüzde 67 ülke e-atıklarla ilgili mevzuat çıkarmıştır. Google, Samsung ve Apple gibi büyük birçok marka e-atıkların geri dönüşümü ve yenilenebilir maddelerin kullanımı için iddialı hedefler belirlemişlerdir (Ryder and Houlin, 2019).

2020 yılında yayımlanan e-atık izleme raporuna göre; dünya üzerinde 2019 yılında üretilen e-atık miktarı 53,6 mt olmuştur. Kişi başına düşen miktar ise 7,3 kg olmuştur. E-atık miktarının 2030 yılına kadar 74,7 mt'a çıkması beklenmektedir (Forti *et al.* 2020).

Dünya Ekonomik Formu'nun öngördüğü verilere göre; 2050 yılına gelindiğinde dünya üzerinde üretilen e-atık miktarının 120 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Bel,

2019). İncelenen verilere göre; e-atıkların büyük çoğunluğunun gelişmiş ülkelerde meydana geldiği görülmektedir. Bu gelişmiş ülkeler e-atık sorununu Afrika ve Asya gibi ülkelere sınır dışı ederek çözmeye çalışmaktadırlar (Işık ve Macit, 2020).

2019 yılında en fazla e-atık 24,9 mt ile Asya Kıtası'nda üretilmiştir. Üretilen e-atıktan kişi başına düşen miktarın en fazla olduğu kıta, 16 kg ile Avrupa Kıtası olmuştur. Ayrıca Avrupa Kıtası % 42,5 ile belgelenmiş toplanan ve geri dönüşüm e-atık miktarı oranı en fazla olan kıta olmuştur. Asya Kıtası % 11,7 ikinci sırada, Amerika Kıtası % 9,4 ile üçüncü sırada, Okyanusya Kıtası % 8,8 ile dördüncü sırada ve Afrika Kıtası % 0,9 ile son sırada yer almıştır (Forti *et al.* 2020).

E-atıkların yönetimi BM sözleşmesi çerçevesine tabidir. Bunun dışında da bazı sözleşmelerle çeşitli yasal kısıtlamalar getirilmiştir (Edmonds *et al.* 2019).

Basel sözleşmesi

Uluslararası düzeyde tehlikeli atıklarla ilgili olarak Basel Sözleşmesi adında bir sözleşme hazırlanmıştır. Basel Sözleşmesi Birleşmiş Milletler Çevre Programı dahilinde hazırlanmıştır. 1989 yılında imzaya açılmıştır. Tehlikeli olan atıkların sınır ötesine taşınmasının kontrolünü içeren bir sözleşmedir. Ülkemizde bu sözleşme 1989 yılında imzalanmıştır. Bakanlar kurulunun onayıyla, 15 Mayıs 1994 tarihinde 21935 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. 21935 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan sözleşmenin kapsamına göre; sınır ötesi taşımaya konu olan e-atıklar tehlikeli atık olarak değerlendirilecektir.

Tehlikeli atıkların sınır aşan hareketlerinin kontrolüne ilişkin olan bu sözleşme insan sağlığını ve çevreyi korumayı amaçlamaktadır. Basel Sözleşmesi ülkelerin tüm sınır ötesi hareketlerini yasaklamaktadır. Tarafların bu sözleşme sonucunda üzerlerinde taşıdıkları e-atıkları en aza indirmeleri beklenmektedir.

Minamata sözleşmesi

Dünya Sağlık Örgütü, insan sağlığı için tehlikeli olan 10 elementi sıralamıştır. Bu elementlerin dördü e-atıkların da içerisinde bulunan ağır metallerdir. Bunlar kadmiyum, cıva, kurşun ve arseniktir. Cıva, hem insan hem çevre sağlığı açısından kalıcı tehdit oluşturan bir metaldir. Cıva sorununun çözümü için, uluslararası olarak bu konuda ilk olan Minamata Sözleşmesi 98 ülke tarafından onaylanmıştır (Marnane, 2018).

Minamata Sözleşmesi 2009 yılında kabul edilmiş ve 2017 yılında yürürlüğe girmiştir. Burada insan sağlığını ve çevreyi cıvadan korumak amaçlanmıştır. Bu sözleşme cıva tedarik kaynaklarını kontrol eder, kayıt dışı ekonomiyi düzenler, cıva kullanımı aşamalı hale getirir,

depolama ve atık alanları kontrol altında tutar (Edmonds *et al.* 2019). Diğer bazı sözleşmeler aşağıda verilmiştir:

E-atık yönetimi ile ilgili olarak bazı tehlikeli kimyasallar için önceden bilgilendirilmiş maddelerle ilişkin olan Rotterdam Sözleşmesi bulunmaktadır. Bu sözleşme 2017 yılında revize edilmiştir. Sözleşmedeki amaç; tehlikeli kimyasal atıklarla ilgili sorumlulukların paylaşılmasını teşvik etmektir. Kalıcı organik kirleticilere ilişkin olan bir diğer sözleşme Stockholm Sözleşmesi'dir. Bu sözleşme tehlikeli kimyasalların ithalatını ve ihracatını içermektedir. En son 2015 yılında revize edilmiştir. Ülkelerdeki kalıcı organik kirleticilerin çevreye verdiği zararı en küçüklemek amaç edinilmiştir (Edmonds *et al.* 2019). Bu sözleşme, 2001 yılında İsviçre'nin Stockholm şehrinde imzalanmıştır. Sözleşme 2004 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, belediyeler, yetkili kuruluşlar ve paydaşlar

Elektronik atıkların toplanmasını AB ülkelerinde belediyeler ve elektronik eşya satıcıları yapmaktadır. Elektronik atıkların toplanması için belediyelerin uygulayabileceği üç yöntem bulunmaktadır (Sayman ve Akpulat, 2016). Bu üç yöntem belediyeler tarafından ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilir.

- E-atıkları Kapılardan Toplama
- E-atıkları Atık Getirme Merkezlerinden Toplama
- E-atıkları Atık Kutularında Toplama

Ülkemizde elektronik atıkların toplanması konusunda bazı görev yetki ve sorumluluklar Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği'nin ikinci bölümünde belirtilmiştir. Buradaki paydaşların görevleri ve sorumlulukları sırasıyla verilmiştir (AEEKEY, 2012).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bu konudaki en önemli ve yetkili kurumdur. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın; diğer paydaşların oluşturdukları toplama faaliyetlerini değerlendirmek, elektronik eşya üreticileri tarafından verilen uygunluk beyan formunu yıllık olarak toplamak, üreticileri esas alarak bir kayıt ve denetim sistemi oluşturmak, çevre kanununda yer alan idari cezaların tatbikini gerçekleştirmek, belediyelerin hazırladığı AEEE yönetim planlarının uygunluğunu denetlemek gibi çeşitli görevleri vardır.

Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri de bazı görev ve yetkilere sahiptir. Lisanslı tesislerin faaliyetlerini denetlemek ve mevzuata aykırılık varsa gereken yaptırım uygulamak,

elektronik atık taşıyan araçlara lisans vermek ve gereken durumlarda lisansı iptal etmek gibi görev ve yetkileri vardır.

Belediyelerin de e-atıklarla ilgili çeşitli görev ve sorumlulukları vardır. Bunlardan bazıları evsel atıkların diğer atıklardan ayrı bir şekilde toplanmasını sağlamak, elektronik atık yönetim planını hazırlamak, toplama programı hakkında evleri bilgilendirmek, toplama işlemini yapmak ve yaptırmaktır.

Elektronik eşya üreticilerinin de belli bazı sorumlulukları vardır. Örneğin; elektronik eşyaların tasarım ve üretim aşamasında zararlı maddelerin kullanımından kaçınmak veya alternatiflerini kullanmak, ithal edilen elektronik eşyaların yönetmeliğe uygunluğuna dikkat etmek, ürün açıklamalarında yönetmeliğe uygundur ibaresine yer vermek gibi.

Elektrikli ve elektronik eşya dağıtıcılarının da belli yükümlülükleri vardır. Bu dağıtıcılar yeni bir ürün sattıklarında tüketicinin talebi olursa eğer ürünün özelliğine, markasına bakılmaksızın almakla, tüketicilerden toplanan elektronik atıklarla ilgili koordinasyon merkezini bilgilendirmekle, satış yerlerinde tüketicilerin kolaylıkla görebileceği elektronik atıkların toplanmasına ilişkin sembol ve bilgileri bulundurmakla yükümlüdür.

Elektrikli ve elektronik eşya tüketicilerinin de belli yükümlülükleri vardır. Üreticilerin ve belediyelerin belirledikleri esaslar doğrultusunda e-atıkları diğer atıklardan ayrı toplamak, e-atıklarını belirlenen toplama yerlerine götürmekle yükümlüdür.

Bir diğer paydaş olan elektrikli atık işleme tesislerinin de bazı yükümlülükleri vardır. Elektronik atıkların yönetmelikte belirtilen oranlarda geri dönüşümünün yapılması için uygun yöntemlerin kullanılması, çalışmaları için bakanlıktan çevre lisansı alması, e-atıkların toplanmasının sağlanması, tesise alınan e-atıkların kaydını tutulması ve bu kayıtları bakanlığa iletilmesi bu yükümlülüklerden bazılarıdır.

Bir diğer önemli paydaş yetkili kuruluşlardır. Yetkilendirilmiş kuruluş (YK); Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın görevlendirdiği ve kar amacı olmayan kuruluşlardır. Bu kuruluşların amacı Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği'nde bulunan yükümlülükleri yerine getirmektir (TÜBİSAD Faaliyet Raporu, 2016). Türkiye'de üreticilerden bazıları e-atık konusunda üzerlerine düşen sorumlulukları yetkilendirilmiş kuruluşlar aracılığıyla yerine getirmektedir. Ülkemizde elektronik atıklar konusunda mevcut durumda üç tane yetkilendirilmiş kuruluş bulunmaktadır;

- AGİD yani Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği
- ELDAY yani Elektrik ve Elektronik Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi Derneği
- TÜBİSAD yani Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği

Bu kuruluşlardan her birini farklı kategorideki e-atıkların toplanması için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yetkilendirmiştir. ELDAY AEEE Kontrolü Yönetmeliğinde tanımlanan 1., 2. ve 3. kategoride bulunan e-eşyaların, TÜBİSAD 3. ve 4. kategoride bulunan e-eşyaların, AGİD ise 5. ve 6. kategorideki AEEE Kontrolü Yönetmeliği'nde tanımlanmış olan e-eşyaların geri kazanılması için faaliyet göstermektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2015 yılında görevlendirdiği TÜBİSAD yetkilendirilmiş kuruluşu 1979 yılında kurulmuştur. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2015 yılında görevlendirdiği AGİD yetkilendirilmiş kuruluşu 1997 yılında kurulmuştur. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2015 yılında görevlendirdiği ELDAY yetkilendirilmiş kuruluşu 2014 yılında kurulmuştur.

Bu tez çalışmasında TÜBİSAD'ın yetkisi dahilinde olan 3. ve 4. kategorideki AEEE'ler ele alınmıştır. TÜBİSAD bu AEEE'lerin toplanması için farklı tip ve boyutlarda kutular tasarlamıştır. Bu kutulardan kapalı mekan için tasarlananlar Şekil 6'da, açık mekan için tasarlananlar ise Şekil 7'de verilmiştir (TÜBİSAD Faaliyet Raporu, 2016).



Şekil 6. AEEE kapalı mekan toplama ekipmanları



Şekil 7. AEEE açık mekan toplama ekipmanları

AEEE kapalı mekan toplama ekipmanlarının hacmi $0,1 \text{ m}^3$, AEEE açık mekan toplama konteyner hacimleri 8 m^3 ve $1,6 \text{ m}^3$ tür.

TÜBİSAD bir yetkilendirilmiş kuruluş olarak çeşitli iş birlikleri gerçekleştirmiştir. Bu iş birliklerinin en önemlisi belediyelerle yapılmıştır. Burada amaç Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın onayı ile bilinçlendirme faaliyetlerini arttırmaktır. Anlaşmalı olunan belediyelerin sınırları dahilinde çeşitli kampanyalar ve etkinlikler düzenlenmiştir.

E-atıkların toplanmasında belediyeler dışında özel iş birlikleri de gerçekleştirilmiştir. Bu sayede e-atıkların toplama noktalarının sayısı arttırılmıştır. Bakanlığın görüşleri doğrultusunda kargo şirketleri ile anlaşmalar gerçekleştirilmiştir. TÜBİSAD yetkilendirilmiş kuruluşu belediyelerle ve okullarla zaman zaman iş birliği yaparak çeşitli eğitimler ve sosyal faaliyetler düzenlemektedir. Örneğin; bazı okullarda e-atıklarla ilgili yarışmalar düzenlenmiş, bu yarış sonucunda en fazla e-atık toplayan öğrenciler ödüllendirilmiştir. Bununla ilgili bir afiş örneği Şekil 8'de verilmiştir (TÜBİSAD Faaliyet Raporu, 2016).



Şekil 8. TÜBİSAD öğrenciler AEEE topluyor adlı afiş uygulaması

Tesis Yer Seçimi Modellerinin Sınıflandırılması

Yer seçimi problemleri işletmeler için uzun dönemli stratejik kararlardır. Burada yer seçimi kararını etkileyen en önemli iki unsur; zaman ve maliyettir (Ok, 2016).

Yer seçimi problemleri çeşitli başlıklar altında sınıflandırılmıştır. Daskin'e göre (2008) bu başlıklar şöyledir:

- Analitik Modeller
- Kesikli Modeller
- Şebeke Modelleri
- Sürekli Modeller

Bu tezde yer seçimi problemi çeşitlerinden kesikli modellere dahil olan küme kapsama problemi içerisinde tanımlı olan azami kapsama mesafesi kullanılmıştır. Böylelikle modele parametre olarak girilen kapsama mesafesi dahilinde tüm talep noktalarının kapsanmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Küme kapsama problemi

Belirlenen talep noktalarının en az bir aday tesis tarafından kapsandığı problem çeşidine Küme Kapsama Problemi denir. Tesis yer seçimi problemi alt başlığı olan kesikli modeller içinde yer alan kaplama temelli modeller üç başlık altında incelenmektedir. Bu başlıklar şu şekildedir;

- Küme Kapsama
- Maksimum Kapsama
- P-Merkez

Kaplama temelli olan modellerin varsayımı şöyledir; talepler belirli bir zaman veya mesafe dahilinde olmalıdır. Bu modellerde yalnızca bir düğümün kapsanıp kapsanmadığıyla ilgilenilir. Mesafeler genellikle 0-1 değişken gibi ele alınır (Ok, 2016).

Küme kapsama problemlerinin birçok farklı uygulama alanları vardır. Afet yeri seçiminde, dağıtım ağı tasarımı problemlerinde, karakollar için yer seçiminde, itfaiye istasyonu yerlerinin seçiminde, olası deprem durumunda yardım istasyonu için yer seçiminde gibi farklı alanlarda kullanılabilmektedir.

Küme kapsama probleminde I talep noktalarını J ise aday tesis noktalarını göstermektedir. Burada, $\forall i \in I$ ve $\forall j \in J$ noktaları arasındaki uzaklık d_{ij} 'dir. Kapsama mesafesi D_c ile gösterilmiştir. N_i ise talep noktalarını kapsayan tüm tesislerin kümesidir. $N_i = \{ j | d_{ij} \leq D_c \}$ şeklinde gösterilmiştir. Küme kapsama probleminin genel matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir (Daskin, 1995).

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{j \in J} x_j \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3.3)$$

Amaç fonksiyonu olan Eşitlik 3.1'de seçilen tesis sayısının en küçükleme amaçlanır. Eşitlik 3.2'deki kısıtta ise tüm talep noktalarının en az bir aday tesis tarafından kapsanması sağlanır. Eşitlik 3.3'de ise x karar değişkenleri 0-1 değişkenler olarak tanımlanır.

Bulanık Mantık

Bulanık mantık kelimesi ilk defa 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Teknik bir probleme çözüm aradığı çalışmaları "Fuzzy Sets" başlığıyla Information and Control dergisinde yayımlanmıştır. Bu bulanık mantık için bir başlangıç noktası olmuştur.

İnsanoğlu günlük hayatını devam ettirirken karşısına birçok problem çıkabilmektedir. Bu problemlerden bazıları belirlilik içerdiği için sınırları kolay tanımlanır ve rahatça çözülebilir. Bazı problemler ise belirsizlikler içerir ve sınırları tam olarak tanımlanamaz. Bu tür problemlerin çözümü sınırı belli olan problemlerin çözümüne göre nispeten daha zordur

(Sarı vd. 2005). Gün içerisinde farkına varmadan birçok alanda bulanık sözcükler kullanırız. Örneğin; bugün hava çok soğuk denildiğinde bu kavram kimilerine göre az, kimilerine göre çok gibi farklı bulanık ifadeler içerebilir.

Belirsizlik kavramının gerekli olduğu beş sistem tipi vardır; (Paksoy vd. 2013)

- Matematiksel olarak modellemenin çok zor olduğu sistemler
- Karmaşık sistemler
- İnsanlar tarafından kontrolü sağlanan sistemler
- Sosyal veya davranışsal ilimler gibi belirsizlik içeren sistemler
- İnsan gözlemlerinin girdi olarak kullanıldığı sistemler

Matematik kesin olmayan veya eksik olan bilgilerden dolayı karmaşık sistemlerin modellenmesinde her zaman yeterli olamamaktadır. Bu eksikliği gidermede kullanılan yaklaşımlardan biri de olasılık teorisidir. Bu teori ara değerleri hesaba katmadığı için bazen yetersiz kalabilmektedir. Gerçek hayatta olasılık teorisi ile de açıklanamayan durumlar vardır. Örneğin; bir rengin pembe olması, pembe olmaması veya pembemsi olması olasılık teorisi ile değil bulanık küme ile açıklanabilir. Bulanık küme gerçekliği belirleyici ve karmaşıklığı giderici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Olasılık teorisinde durum rassallık ile açıklanırken, bulanık küme teorisinde olaydaki belirsizlik ele alınır. Bulanık kümede belirsizliği gidermek için kesin sınırlar yerine kısmi üyelikler belirlenir. Bir elemanın kısmi üyeliği, bulunduğu kümeye aitlik derecesini belirleyen üyelik fonksiyonudur (Seçme, 2005).

Bulanık küme kavramı kesin sınır gerektirmeyen türden problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Gerçek hayatta karşılaşılan bu belirsizliklerin sayısal verilerle açıklanmasını ve bir fonksiyon biçiminde ifade edilmesini sağlar. Bulanık küme kuramı çoğunlukla yönetim bilimi, yapay zeka, kontrol teorisi ve yöneylem araştırması gibi alanlarda tercih edilir (Paksoy vd. 2013).

Bulanık kümeler üyelik fonksiyonu kavramı ile klasik kümelerden ayrılır. Bulanık kümeler sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelendirilirken klasik kümeler tek bir fonksiyonla nitelendirilir. Bulanık kümelerin çeşitli üyelik fonksiyonları vardır. Bu çeşitlilik belirsizliği azaltır ve karar vermeyi kolaylaştırır. Karar vermede kullanılan doğrusal programlama, bulanık kümenin etkili uygulamalarından biri haline gelmiştir (Seçme, 2005).

Bulanık mantık kullanmanın bazı avantajları şöyledir; karmaşıklıktan uzaktır, çözümü çok zor olan problemlerin çözülmesini sağlar, eksik veri ile çalışabilir, her türden probleme uygulanabilir, karmaşık sistemler için klasik mantığa göre daha ucuz ve kolay çözüm getirebilir. Bulanık mantık kullanmanın bazı dezavantajları şöyledir; problemin çözümünde

çok sayıda veri gerekir, problemin karmaşıklığı arttıkça üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi zorlaşır ve üyelik fonksiyonu seçiminde belli kurallar yoktur (Kaftan vd. 2013).

Teknolojinin giderek ilerlemesi ile birlikte bulanık mantık sık kullanılır hale gelmiştir. Günlük hayatta tanımlanamayan birçok olayın çözümü bulanık mantık ile mümkün hale gelmiştir. Kullanım alanının yaygın olması ve çoğu problemin çözümünde başarılı sonuç vermesi bulanık mantığa olan ilgiyi arttırmıştır (Kaftan vd. 2013).

Bulanık mantığın uygulama alanı oldukça geniştir. Birçok bilim dalında problemlerin çözümünde bulanık mantıktan faydalanılır. Yöneylem araştırması, portföy optimizasyonu, çok kriterli karar verme, ekonomi, jeofizik, proses kontrolü, üretim planlaması, işletme ve veri girişi gibi daha birçok farklı örnek verilebilir.

Bulanık SWARA Yöntemi

Bu çalışmada, Bulanık SWARA hesaplamaları yapılırken üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Burada üçgensel bulanık sayılar $l \leq m \leq u$ olmak üzere; bulanık sayının kümesi (l, m, u) olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan dilsel değişkenler Tablo 6’da verilmiştir (Poyraz, 2021).

Tablo 6. Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayı (l, m, u)
Çok düşük	(0, 0, 0.25)
Düşük	(0, 0.25, 0.50)
Orta	(0.25, 0.50, 0.75)
Yüksek	(0.50, 0.75, 1)
Çok yüksek	(0.75, 1, 1)

Bulanık SWARA yönteminin işlem adımları

Bulanık SWARA yöntemi altı adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibidir (Poyraz, 2021).

Adım 1: Kriterlerin sıralanması en önemliden en önemsizye göre yapılır.

Adım 2: İkinci kriterden başlanarak önem düzeyi her bir kriter için belirlenir. j . kriter ile $j-1$. kriter karşılaştırılır. Bu değer “ s_j ” olarak gösterilir.

Adım 3: Katsayı olan k_j değeri Eşitlik 3.4’teki gibi belirlenir.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

Adım 4: Önem vektörü olan q_j değişkeni Eşitlik 3.5'teki gibi belirlenir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ q_j - 1/k_j & j > 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

Adım 5: Bulanık ağırlık değerleri Eşitlik 3.6'daki gibi belirlenir. Burada w_j , j . kriterin göreceli ağırlık değerini belirtmektedir. Burada n kriter sayısını ifade etmektedir.

$$w_j = q_j / \sum_{k=1}^n q_k \quad (3.6)$$

Adım 6: Bulanık olan kriter ağırlıkları Eşitlik 3.7'deki gibi durulaştırılır. Burada W_j , j . kriterin durulaştırılmış ağırlık değerini belirtmektedir.

$$W_j = \frac{[(W_j^u - W_j^l) + (W_j^m - W_j^l)]}{3} + W_j^l \quad (3.7)$$

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Geliştirilen Modelin Özellikleri, Varsayımları ve Katkısı

Elektronik atıklar üzerine oluşturulan matematiksel modellerden en fazla verimin alınması ve çıkacak e-atık miktarının en büyüklenmesi için e-atık konteynerlerinin uygun olarak yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle konteynerlerin yerleştirilmesinde ve e-atık üretiminde etkili olan en önemli faktörler literatür araştırması ile belirlenerek oluşturulan matematiksel modelde kullanılmıştır.

Burada matematiksel modelin oluşturulmasındaki amaç e-atıkların geri dönüşümünün yaygınlaştırılması için jenerik bir model oluşturmaktır. Oluşturulan bu model herhangi bir ülke veya bölge için uygulanabilir.

Matematiksel Model

Bu tez çalışmasında Türkiye'deki belediyelerin e-atık çalışmasının yetersiz olduğunun görülmesi üzerine; daha önce hiç yapılmamış olan e-atık miktarını çıktı olarak veren bir matematiksel model oluşturulmuştur.

Notasyonlar

İndisler

i : talep noktası ($i \in I$)

j : aday konteyner noktası ($j \in J$)

Kümeler

$$N_i = \{ j \mid d_{ij} \leq D_c \} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'de verilen N_i talep noktası i 'nin talebini karşılayabilen tüm aday konteynerlerin kümesidir.

Parametreler

d_{ij} = i . bölge ile j . aday konteyner arası uzaklık (metre)

D_c = Azami kapsama mesafesi (metre)

$KS(i)$ = i . Mahallenin konteyner sayısı

KS_{max} = Eldeki bütçe ile yerleştirilebilecek azami konteyner sayısı

ETO = Elektronik atıkların ülke bazında toplanma oranı

EM = Ülkeler bazında hane başına düşen e-atık miktarı

Kt_S(i) = i. Mahallenin konut sayısı

S = Konteynerin kapasitesi

HO(i) = E-atık geri dönüşümü üzerinde etkili faktörlerin konum bazında alınan harmonik ortalaması

A_HO(i) = E-atık geri dönüşümü üzerinde etkili faktörlerin SWARA ile ağırlıklandırılmış konum bazında alınan harmonik ortalaması

Bu matematiksel modelde 4 faktör için harmonik ortalama hesaplanmıştır. Harmonik ortalamanın formülü Eşitlik 4.8’de verilmiştir. Bu formülde t_i değeri i. mahallenin ilgili faktör için oranını ifade etmektedir. Burada t_{i1} , t_{i2} , t_{i3} ve t_{i4} değerleri sırasıyla nüfus, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımı oranlarını göstermektedir. Burada modelin katkısı e-atık geri dönüşümü üzerinde etkili olduğu araştırmalar ile belirlenen dört temel faktörün uygulama alanına bağlı olarak elde edilen değerlerinin harmonik ortalaması ile kapasite kısıtının revize edilmiş olmasıdır.

Karar Değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ mahalleye } j. \text{ konteyner konulursa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

y_{ij} = i. mahalleden j. konteynere atılan e – atık miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max} \sum_{i \in I} \sum_{j \in N_i} y_{ij} \quad (4.2)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in N_i} x_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_{ij} \leq KS(i) \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in N_i} x_{ij} \leq KS_{\max} \quad (4.5)$$

$$\sum_{j \in N_i} y_{ij} \leq Kt_S(i) * ETO * EM \quad \forall i \in I \quad (4.6)$$

$$y_{ij} \leq HO(i) * S * x_{ij} \quad \forall i \in I \text{ ve } j \in N_i \quad (4.7)$$

$$HO(i) = \frac{4}{\left(\frac{1}{t_{i1}} + \frac{1}{t_{i2}} + \frac{1}{t_{i3}} + \frac{1}{t_{i4}}\right)} \quad \forall i \in I \quad (4.8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad y_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I \text{ ve } \forall j \in N_i \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.2 ile toplanacak e-atık miktarının en büyüklmesi amaçlanmaktadır. Eşitlik 4.3 ile kapsama mesafesi dahilinde olan bütün mahallelere e-atık konteyneri atanması sağlanmıştır. Eşitlik 4.4 ile her bir i mahallesi için genel duruma göre konteyner sayısı kısıtlanabilmektedir. Eşitlik 4.5 ile bütçe kısıtlaması yapılmıştır. Modelde kullanılabilecek maksimum konteyner sayısı, ilgili yerel idarenin sahip olduğu bütçe ile konteyner birim maliyeti bölünerek elde edilmiştir. Eşitlik 4.6 ile model jenerik bir yapıda olduğu için, uygulamanın yapılacağı ülkenin hane başına düşen e-atık miktarı ve ilgili ülkenin küresel e-atık istatistiklerine göre elde edilen e-atık toplama oranı, ilgili lokasyondaki konut sayısı ile çarpılarak ortaya çıkacak azami e-atık miktarı sınırlandırılmıştır. Eşitlik 4.7’de yer alan harmonik ortalama 4 ayrı değer kullanılarak (nüfus, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımı oranları) Eşitlik 4.8’de verildiği gibi hesaplanmış ve konteyner kapasitesi ile e-atık miktarı sınırlandırılmıştır. Burada N_i kümesinin ifadesi Eşitlik 4.1’deki gibidir. Bu kısıt ile ilgili mahallenin aday konteynere atanması için azami kapsama mesafesi içerisinde bulunma şartı getirilmiştir. Bu modelde harmonik ortalamanın tercih edilmesinin sebebi; uç noktaları elimine etmesi ve veriler arasındaki yüksek olan değerlerin ortalamasının etkisinin azaltılmasıdır. Eşitlik 4.9’da x karar değişkeni 0-1, y karar değişkeni ise sürekli değişken olarak tanımlanmıştır.

Bu modele ek olarak ilgili faktörlerin e-atık geri dönüşümü üzerindeki etkilerinin farklı olması durumu, Bulanık SWARA ile elde edilen ağırlıklarla modele Eşitlik 4.7’de $HO(i)$ parametresi üzerinden dahil edilmiştir. Tezin ilerleyen bölümlerinde; harmonik ortalama eşit ağırlıklı harmonik ortalama olarak, Bulanık SWARA ağırlıklarının kullanıldığı harmonik ortalama ise Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama olarak adlandırılmıştır.

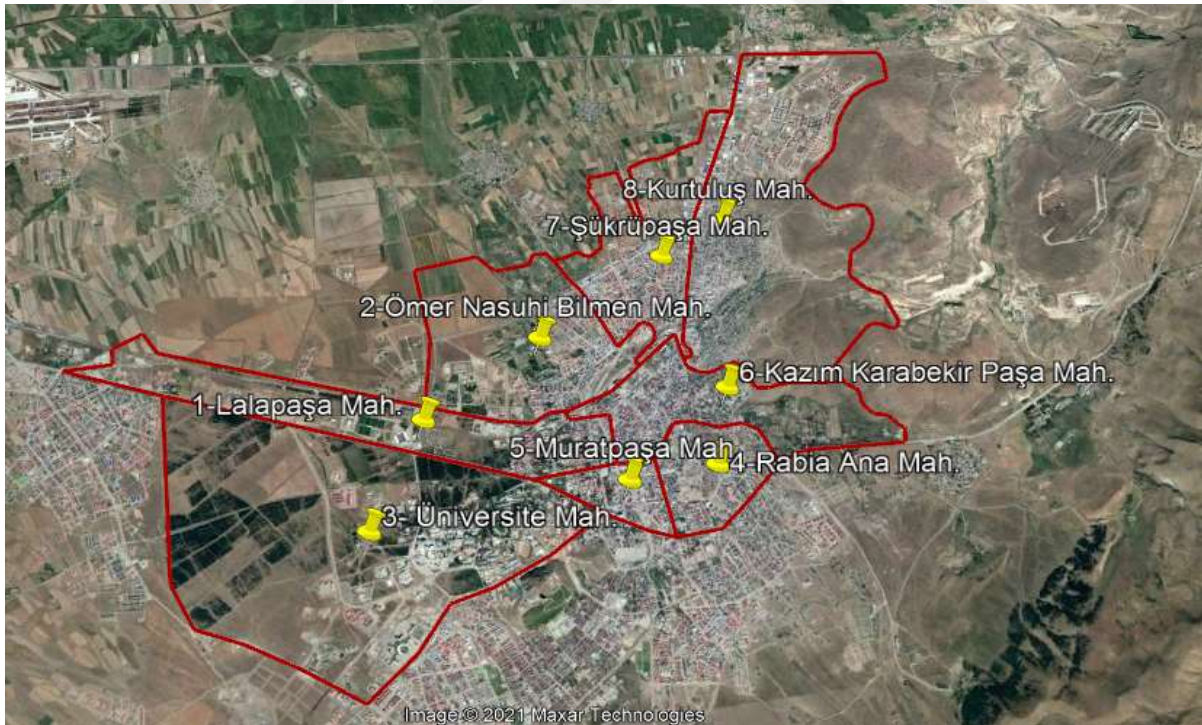
Örnek uygulama

Tezin bu bölümünde Erzurum’da seçilen mahallelerin nüfusu, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımı verileri verilmiştir. Yapılan literatür araştırmasına göre, e-atıkların

toplanmasını etkileyen en önemli dört faktör bunlardır. Bu nedenle tezde bu faktörlerin verileri ele alınmıştır. Bu verilerden hareketle matematiksel küme kapsama modeli oluşturulmuştur. Model verileri GAMS 24.2.3 programına girilmiş ve sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

E-atıkların toplanmasında maksimum verimin alınabilmesi için bu durumu etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi ve uygun bir e-atık toplama sistemin kurulması gerekmektedir. Şimdiye kadar yapılan e-atık çalışmalarından farklı olarak bu çalışmada; ilk defa bu faktörler (nüfus, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımı) ağırlıklandırma yapılarak dikkate alınmış ve atama için bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model sonuçları, iki farklı şekilde analiz edilmiştir.

Bu çalışmada Erzurum'un Yakutiye İlçesi ele alınmıştır. Bu ilçenin seçilmesinin nedeni Erzurum'da en çok nüfusa sahip ilçe olması ve yapılmak istenen çalışma için uygun varyasyonu barındırmasıdır. Yakutiye İlçesindeki mahallelerden nüfusu 10.000'in üzerinde olan mahalleler seçilmiştir. Bu çalışmada, Erzurum'un Yakutiye ilçesinde ele alınan 8 mahallede e-atık konteynerlerinin konulması için aday noktaların seçildiği bir uygulama yapılmıştır. Bu 8 mahallenin sınırları Google Earth programında çizilerek Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Erzurum-Yakutiye'de seçilen mahallelerin Google Earth gösterimi

Parametrelerin tasarımı

Talep noktaları ile aday konteyner noktaları arası uzaklıklar

Aday konteyner noktaları ile talep noktaları arası uzaklık yani dij mesafeleri Google Earth programı üzerinden ölçülmüştür. Seçilen mahallelerin nüfusunun yoğun olduğu bölgelere konteyner yerleştirilmesi için 23 aday nokta belirlenmiştir. 8 mahalle ve 23 aday nokta için ölçülen mesafeler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Talep Noktaları İle Aday Konteyner Noktaları Arası Uzaklıklar (dij – m)

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
	Mahalle	Mahalle	Mahalle	Mahalle	Mahalle	Mahalle	Mahalle	Mahalle
1	960	1190	2210	2730	1800	2850	2990	3920
2	1410	1590	2270	2230	1210	2550	3090	3990
3	1590	1030	2740	2130	1300	2190	2540	3360
4	1980	1560	2880	1630	720	1920	2740	3480
5	2530	680	2850	2780	2520	2210	1230	2100
6	1560	590	2930	2430	1730	2300	2270	3110
7	1910	690	3220	2130	1540	1950	2040	2840
8	2280	720	3620	2090	1720	1720	1560	2410
9	1180	2630	910	3430	2330	3880	4330	5210
10	1670	2730	1450	2930	1850	3520	4310	5120
11	1550	2140	1930	2400	1300	2900	3650	4470
12	3480	2810	4040	400	870	1390	4150	3570
13	3880	3040	4520	300	1310	1170	3140	3400
14	4010	2960	4790	480	1580	780	2750	2980
15	2200	1880	2850	1490	410	2010	3050	3780
16	2800	2180	3490	840	400	1440	2830	3420
17	2950	2530	3460	880	310	1720	3210	3770
18	3420	1940	4550	1310	1740	490	1570	1960
19	3120	1820	4150	1020	1290	680	1860	2420
20	3170	1360	4650	2710	2740	1900	530	1410
21	3640	2200	3230	1470	430	2500	3470	1140
22	4490	2650	5860	2890	3370	1850	830	340
23	5130	3260	6640	3770	4240	2740	1360	490

Seçilen mahallelerin konut sayıları

Seçilen 8 mahallenin konut sayıları Tablo 8’de verilmiştir (Endeksa, 2021).

Tablo 8. 8 Mahalle İçin Konut Sayıları

	Mahalle Adı	Konut Sayısı
1	Şükrüpaşa Mahallesi	13512
2	Kurtuluş Mahallesi	15721
3	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	9491
4	Lalapaşa Mahallesi	12714
5	Rabia Ana Mahallesi	10190
6	Muratpaşa Mahallesi	6635
7	Üniversite Mahallesi	1801
8	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	8624

Eşit ağırlıklı harmonik ortalama hesabı

E-atıklar için literatürde yer alan en önemli dört faktör seçilmiştir. Bu faktörler için gerekli veriler alınarak Eşitlik 4.8'deki formülle eşit ağırlıklı harmonik ortalamaları hesaplanmış ve matematiksel modelde kullanılmıştır.

Bu 8 mahalle için kişi başına düşen gelir miktarı ve nüfus bilgileri Endeksa Platformu'ndan alınmıştır (Endeksa, 2021). Mahalleler için alınan nüfus değerleri ve kişi başına düşen gelir miktarı Tablo 9'daki gibidir.

Tablo 9. 8 Mahalle İçin Nüfus ve Kişi Başına Düşen Gelir Miktarı

	Mahalle Adı	Mahalle Nüfusu	Kişi Başına Düşen Gelir Miktarı
1	Şükrüpaşa Mahallesi	36.892	2.241 ₺
2	Kurtuluş Mahallesi	32.301	2.067 ₺
3	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	24.338	2.568 ₺
4	Lalapaşa Mahallesi	22.801	2.881 ₺
5	Rabia Ana Mahallesi	18.683	2.220 ₺
6	Muratpaşa Mahallesi	12.644	2.582 ₺
7	Üniversite Mahallesi	12.602	2.951 ₺
8	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	10.497	2.108 ₺

İslam *et al.* (2020) çalışmalarında yapılan ankette; EEE kullanımının eğitim seviyesiyle ilişkisi olduğu görülmüştür. Çalışma sonucuna göre; 18-24 yaş aralığının en fazla elektronik eşya kullanılan yaş aralığı olduğu, dolayısıyla 3. ve 4. tip e-atık oluşturma potansiyelinin de genç yaş grubunda özellikle orta ve ileri yaş grubuna nazaran çok daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda puanlama 1-10 skalasında yapılırken; 20-29 yaş aralığının ağırlıklı olduğu mahallelere yaş için 10 puan, 0-19 yaş aralığının ağırlıklı olduğu mahallelere de 7 puan verilmiştir.

Eğitim düzeyinin elektronik atıklardaki etkisi dikkate alınarak puanlama yapılmıştır. Bu puanlamalar Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. 8 Mahallenin Eğitim Düzeyi İçin Puanlamalar

Eğitim Durumu	Eğitim İçin Puanlama
İlkokul	1
Lise	6
Lisans	10

Mahalleler bazında kabul edilen eğitim durumu ve yaş dağılımı puanlamaları Tablo 11’deki gibidir.

Tablo 11. 8 Mahalle İçin Eğitim Düzeyi ve Yaş Dağılımı

	Mahalle Adı	Eğitim Durumu	Eğitim için Puanlama	Yaş Dağılımı	Yaş için Puanlama
1	Şükrüpaşa Mahallesi	İlkokul	1	0-19	7
2	Kurtuluş Mahallesi	İlkokul	1	0-19	7
3	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	Lise	6	20-29	10
4	Lalapaşa Mahallesi	Lise	6	20-29	10
5	Rabia Ana Mahallesi	Lise	6	20-29	10
6	Muratpaşa Mahallesi	Lise	6	20-29	10
7	Üniversite Mahallesi	Lisans	10	20-29	10
8	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	Lise	6	0-19	7

Bu 8 mahallenin nüfuslarının toplamı 170.758’dir. Her bir mahallenin nüfusu toplam nüfusa bölünerek bütün mahalleler için nüfus oranı hesaplanmıştır. Örneğin; Şükrüpaşa Mahallesi için bu değer $36.892/170.758 = 0,216$ olur. Bu mahallelerin kişi başına düşen gelir miktarları toplamı 19.618 ₺’dir. Her bir mahallenin kişi başına düşen geliri toplam gelire bölünerek bütün mahalleler için gelir oranı hesaplanmıştır. Örneğin; Şükrüpaşa Mahallesi için bu değer $2241/19.618 = 0,114$ olur. Bu mahallelerin eğitim puanlamalarının toplamı 42’dir. Her bir mahallenin eğitim puanı için oranı o mahallenin eğitim puanının toplam eğitim puanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Örneğin; Şükrüpaşa Mahallesi için bu değer $1/42 = 0,024$ olur. Bu mahallelerin yaş dağılımı için puanlamalarının toplamı 71’dir. Her bir mahallenin yaş dağılımı için oranı o mahallenin yaş dağılımı puanının toplam yaş dağılımı puanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Örneğin; Şükrüpaşa Mahallesi için bu değer $7/71 = 0,10$ olur. Hesaplanan nüfus, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımı oranları Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. 8 Mahallenin Nüfus, Gelir, Eğitim ve Yaş İçin Oranları

	Mahalle Adı	Nüfus için Oran	Gelir için Oran	Eğitim için Oran	Yaş için Oran
1	Şükrüpaşa Mahallesi	0,216	0,114	0,024	0,1
2	Kurtuluş Mahallesi	0,189	0,105	0,024	0,1
3	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	0,143	0,131	0,143	0,14
4	Lalapaşa Mahallesi	0,134	0,147	0,143	0,14
5	Rabia Ana Mahallesi	0,109	0,113	0,143	0,14
6	Muratpaşa Mahallesi	0,074	0,132	0,143	0,14
7	Üniversite Mahallesi	0,074	0,15	0,238	0,14
8	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	0,061	0,107	0,143	0,1

Seçilen 8 mahallenin bu dört faktör için oran hesabı yapıldıktan sonra Eşitlik 4.8'deki formül kullanılarak her bir mahalle için eşit ağırlıklı harmonik ortalama hesaplanmıştır. Örneğin; Şükrüpaşa Mahallesi için eşit ağırlıklı harmonik ortalama değeri Eşitlik 4.10'daki gibi hesaplanmıştır.

$$HO(1) = \frac{4}{\left(\frac{1}{0,216} + \frac{1}{0,114} + \frac{1}{0,024} + \frac{1}{0,10} \right)} = 0,061 \quad (4.10)$$

Hesaplanan eşit ağırlıklı harmonik ortalamalara göre; mahallelerden eşit ağırlıklı harmonik ortalaması büyük olandan başlanarak azalan düzeyde sıralama yapılmıştır. Bu sıralama Tablo 13'te verilmiştir. Bu durumda harmonik ortalaması en yüksek olan mahalle Lalapaşa Mahallesi, en düşük olan mahalle ise Kurtuluş Mahallesi olmuştur.

Tablo 13. 8 Mahallenin Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalamaya Göre Sıralanması

	Mahalle Adı	Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalama
1	Lalapaşa Mahallesi	0,141
2	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	0,139
3	Üniversite Mahallesi	0,127
4	Rabia Ana Mahallesi	0,125
5	Muratpaşa Mahallesi	0,114
6	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	0,094
7	Şükrüpaşa Mahallesi	0,061
8	Kurtuluş Mahallesi	0,060

Hane Başına Düşen E-Atık Miktarı

Vodafone'un hazırladığı Atığın Ötesinde raporunda yer alan verilere göre; 2016 yılı için Türkiye'deki toplam e-atık miktarı 542 bin ton, bunun içindeki 3. ve 4. kategorideki e-atık miktarı ise 117 bin tondur (Akpulat, 2020). Toplamda 6 kategori olan e-atıklar içinden 3. ve 4. kategoride olanların miktarı; bütün kategorideki e-atıkların toplam miktarına bölünerek Eşitlik 4.11'deki gibi oran hesabı yapılmıştır. Bu oran, hane başına düşen 3. ve 4. kategorideki e-atık miktarı hesaplanırken kullanılmıştır.

3. ve 4. kategoriler için oran;

$$117 / 542 = 0,215 \quad (4.11)$$

Clearitwaste toplama şirketi tarafından yapılan araştırmaya göre; bazı Avrupa ülkeleri için hane başına düşen e-atık miktarı belirlenmiştir. Türkiye için hane başına düşen e-atık miktarının 41,8 kg olduğu tespit edilmiştir (Monde, 2020). Hane başına düşen 3. ve 4. kategori e-atık miktarı Eşitlik 4.12'deki gibi hesaplanmıştır.

$$41,8 * 0,215 = 8,987 = 9 \text{ kg} / \text{yıl} \quad (4.12)$$

EM = 9 kg olur.

Türkiye'de hane başına düşen yıllık e-atık miktarı Eşitlik 4.13'teki gibi oranlanarak hane başına düşen aylık e-atık miktarı hesaplanmıştır.

$$9 / 12 = 0,75 \text{ kg} / \text{ay} \quad (4.13)$$

Eşitlik 4.6'daki kısıtta 3. ve 4. kategoride yer alan (Bilişim-telekomünikasyon ekipmanları ve Tüketici ekipmanları) e-atıklar için 0,75 katsayısı hesaplanarak her mahalledeki konut sayısı bu katsayı ile çarpılmıştır.

Ülkeler bazında toplanma oranı

E-atık toplanma oranı ülkeler bazında değişkenlik göstermektedir. Türkiye için bu değer 0,18'dir (UNU, 2019).

$$ETO = 0,18$$

Seçilen mahallelerin konteyner sayıları

Hesaplanan harmonik ortalamalar doğrultusunda 8 mahalle arasında aday noktalar belirlenmiştir. Belirlenen 23 tane aday konteyner noktası 8 mahalle arasında Tablo 14'teki gibi dağıtılmıştır.

Tablo 14. 8 Mahalle İçin Aday Konteynerlerin Dağılımı

	Mahalle Adı	Aday Konteyner Sayısı
1	Şükrüpaşa Mahallesi	2
2	Kurtuluş Mahallesi	2
3	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	4
4	Lalapaşa Mahallesi	4
5	Rabia Ana Mahallesi	3
6	Muratpaşa Mahallesi	3
7	Üniversite Mahallesi	3
8	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	2

Bu 8 mahallede konteynerlerin konulması için belirlenen aday noktalar Google Earth programında çizilerek Şekil 10’da verilmiştir. Aday konteynerler mahallelerdeki nüfusların yoğunlaştığı noktalara yerleştirilmiştir.



Şekil 10. Erzurum-Yakutiye’de seçilen mahalleler için belirlenen aday konteyner noktalarının Google Earth gösterimi

Yakutiye Belediyesi’nin e-atıklar için ayırabileceği bütçenin yetkili kişilerle yapılan görüşme sonucunda 250.000 ₺ olduğu belirlenmiştir. Birim e-atık kutu maliyeti ise TÜBİSAD yetkili kuruluşundan edinilen bilgiler doğrultusunda 12.500 ₺ olarak belirlenmiştir. Belediyenin bütçesi, birim kutu maliyetine bölünerek seçilen mahallelerde en fazla kullanılabilecek konteyner sayısı belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan azami konteyner sayısı Eşitlik 4.14’teki gibi hesaplanmıştır.

$$KS_{\max} = \text{Belediyenin toplam bütçesi} / \text{Birim kutu maliyeti}$$

$$250.000 / 12.500 = 20 \quad (4.14)$$

Bir e-atık konteynerinin kapasitesi

S konteyner kapasitesi olmak üzere; bir e-atık konteynerinin kapasitesi 1500 kg olarak alınmıştır.

Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama hesaplamaları

Elektronik atıklar üzerinde etkili olan 4 faktör eşit öneme sahip olmadığı için; bu faktörlerin önem düzeyi Bulanık SWARA yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında 4 uzman karar vericiden (KV) görüş alınarak nüfus, gelir, eğitim ve yaş dağılımı faktörlerinin önem düzeyleri belirlenmiştir. Karar vericilerin 4'ü de Atatürk Üniversitesi'nde görev yapmakta olan öğretim üyelerinden seçilmiştir. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Tablo 6'da verilen dilsel değişkenler kullanılmıştır.

Kriterlerin genel sıralaması belirlendikten sonra Bulanık SWARA işlem adımları uygulanmış ve tüm adımlar gösterilmiştir.

Adım 1: Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda kriterlerin sıralaması yapılarak önem düzeyleri belirlenmiştir. Bu önem düzeyleri Tablo 15'te gösterilmiştir. Tablo 15'teki K1, K2, K3 ve K4 değerleri sırasıyla; nüfus, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımını ifade etmektedir.

Tablo 15. Karar Vericilere Göre Kriterlerin Önem Düzeyleri

Kriterler	KV1		KV2		KV3		KV4	
1	K1		K1		K2		K3	
2	K4	O	K2	O	K1	O	K4	Y
3	K3	ÇY	K4	Y	K3	ÇY	K1	Y
4	K2	Y	K3	ÇY	K4	O	K2	O

Adım 2: Her bir kriter için önem düzeyi belirlenmiştir. Bu önem düzeyleri Tablo 6'da verilen dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Kriterlerin dilsel değişkenlerle ifadesi Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16. Kriterlerin Önem Düzeylerinin Dilsel Değişkenlerle İfade Edilmesi

<i>S_j</i>	KV1			KV2			KV3			KV4						
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U				
1	K1	0	0	0	K1	0	0	0	K2	0	0	0	K3	0	0	0
2	K4	0,25	0,5	0,75	K2	0,25	0,5	0,75	K1	0,25	0,5	0,75	K4	0,5	0,75	1
3	K3	0,75	1	1	K4	0,5	0,75	1	K3	0,75	1	1	K1	0,5	0,75	1
4	K2	0,5	0,75	1	K3	0,75	1	1	K4	0,25	0,5	0,75	K2	0,25	0,5	0,75

Adım 3: Kriterlerin *k_j* katsayısı Eşitlik 3.4'te verildiği gibi hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 17'de gösterilmiştir.

Tablo 17. Kriterlerin *k_j* Katsayısı

<i>kj</i>	KV1				KV2				KV3				KV4			
1	K1	1	1	1	K1	1	1	1	K2	1	1	1	K3	1	1	1
2	K4	1,25	1,5	1,75	K2	1,25	1,5	1,75	K1	1,25	1,5	1,75	K4	1,5	1,75	2
3	K3	1,75	2	2	K4	1,5	1,75	2	K3	1,75	2	2	K1	1,5	1,75	2
4	K2	1,5	1,75	2	K3	1,75	2	2	K4	1,25	1,5	1,75	K2	1,25	1,5	1,75

Adım 4: Kriterlerin *q_j* değişkeni (önem vektörü) Eşitlik 3.5'te verildiği gibi hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 18. Kriterlerin Önem Vektörü

<i>qj</i>	KV1				KV2				KV3				KV4			
1	K1	1	1	1	K1	1	1	1	K2	1	1	1	K3	1	1	1
2	K4	0,8	0,67	0,57	K2	0,8	0,67	0,57	K1	0,8	0,67	0,57	K4	0,67	0,57	0,5
3	K3	0,46	0,33	0,29	K4	0,53	0,38	0,29	K3	0,46	0,33	0,29	K1	0,44	0,33	0,25
4	K2	0,3	0,19	0,14	K3	0,3	0,19	0,14	K4	0,36	0,22	0,16	K2	0,35	0,22	0,14

Adım 5: Kriterlerin bulanık ağırlık değerleri Eşitlik 3.6'da verilen ağırlık hesaplama formülü ile hesaplanarak Tablo 19'da gösterilmiştir.

Tablo 19. Kriterlerin Bulanık Ağırlık Değerleri

w_j	KV1				KV2				KV3				KV4			
1	K1	0,39	0,46	0,5	K1	0,38	0,45	0,5	K2	0,38	0,45	0,50	K3	0,41	0,47	0,53
2	K4	0,31	0,3	0,29	K2	0,3	0,30	0,29	K1	0,3	0,3	0,28	K4	0,27	0,27	0,26
3	K3	0,18	0,15	0,14	K4	0,2	0,17	0,14	K3	0,17	0,15	0,14	K1	0,18	0,15	0,13
4	K2	0,12	0,09	0,07	K3	0,12	0,09	0,07	K4	0,14	0,1	0,08	K2	0,14	0,1	0,08

Adım 6: Bir önceki adımda hesaplanan bulanık ağırlık değerleri bu adımda durulaştırma yöntemiyle Eşitlik 3.7’de verildiği gibi tek bir ağırlık değerine indirgenerek, bulanık sayılar deterministik hale getirilmiştir. Bu değerler Tablo 20’de gösterilmiştir.

Tablo 20. Kriter Ağırlıklarının Durulaştırılmış Değerleri

w_j	KV1		KV2		KV3		KV4	
1	K1	0,449	K1	0,445	K2	0,442	K3	0,442
2	K4	0,301	K2	0,298	K1	0,296	K4	0,296
3	K3	0,158	K4	0,166	K3	0,172	K1	0,172
4	K2	0,092	K3	0,091	K4	0,091	K2	0,091
Toplam		1		1		1		1

Son olarak K1, K2, K3 ve K4 kriterlerinin 4 karar verici için hesaplanan durulaştırılmış ağırlık değerlerinin geometrik ortalaması hesaplanarak bu kriterlerin önem sırası belirlenmiştir. Bu sıralama Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Kriter Ağırlıklarının Sıralanması

	Kriterler	Geometrik Ortalama
1	K1	0,445
2	K2	0,297
3	K3	0,167
4	K4	0,091

Bulanık SWARA hesaplamaları sonucunda dört faktör arasında en etkili olanın nüfus olduğu görülmüştür. Bu ağırlık değerleriyle yeni harmonik ortalamalar hesaplanarak Tablo 22’de verilmiştir.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n w_i / \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{x_i} \quad (4.15)$$

Ağırlıklı harmonik ortalama değerleri Eşitlik 4.15'te verilen ağırlıklı harmonik ortalama formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Şükrüpaşa Mahallesi için örnek hesaplama Eşitlik 4.16'da verilmiştir.

$$A_{HO(1)} = \frac{(0,445 + 0,297 + 0,167 + 0,091)}{\left(\frac{0,445}{0,216} + \frac{0,297}{0,114} + \frac{0,167}{0,024} + \frac{0,091}{0,10} \right)} = 0,080 \quad (4.16)$$

Tablo 22. Bulanık SWARA İle Hesaplanan Harmonik Ortalamalar

	Mahalle Adı	Bulanık SWARA ile Harmonik Ortalama Hesabı
1	Lalapaşa Mahallesi	0,140
2	Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi	0,139
3	Rabia Ana Mahallesi	0,117
4	Üniversite Mahallesi	0,107
5	Muratpaşa Mahallesi	0,099
6	Kazım Karabekir Paşa Mahallesi	0,082
7	Şükrüpaşa Mahallesi	0,080
8	Kurtuluş Mahallesi	0,077

Elde edilen sonuçlar

Eşit ağırlıklı harmonik ortalama ile elde edilen atama sonuçları

E-atık geri dönüşümünü etkileyen faktörlerin eşit ağırlıklı kabul edilerek oluşturulduğu ve bu faktörlerin harmonik ortalamasının kullanıldığı atama modellerinin sonuçları, Tablo 23 ve Tablo 24'te verilmiştir. Tablo 23'teki modelde azami kapsama mesafesi 1000 m olarak alınmış ve 18 noktaya atama yapılmıştır. Tablo 24'teki modelde ise azami kapsama mesafesi 2000 m olarak alınmış ve 20 aday noktaya konteyner ataması yapılmıştır.

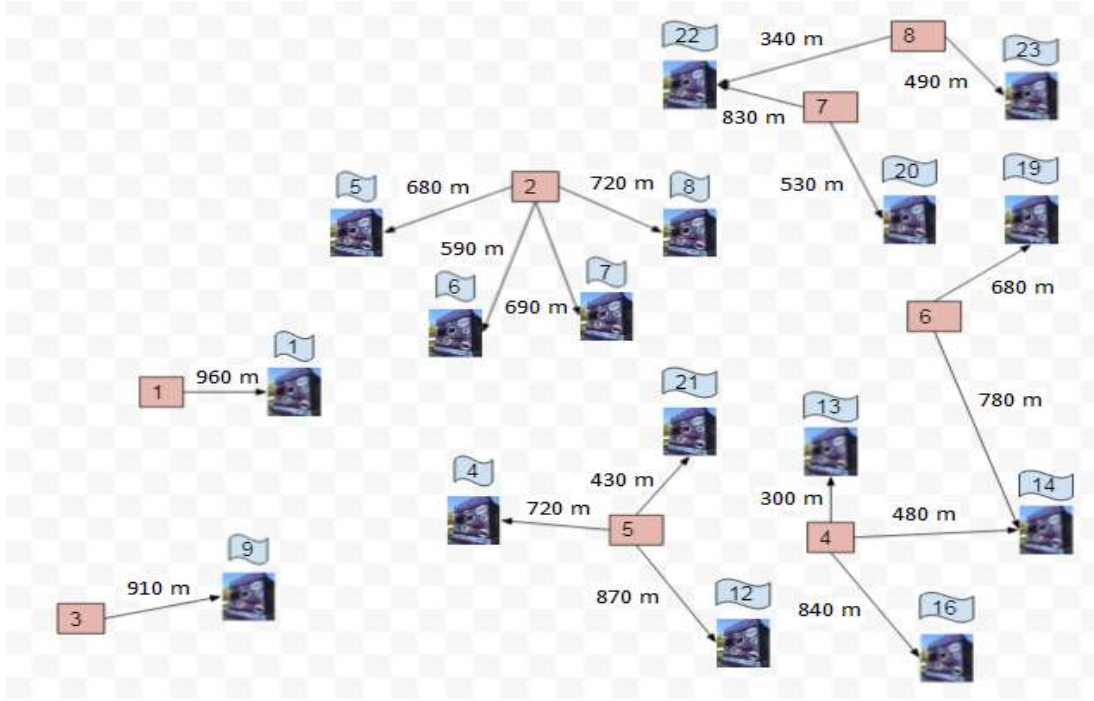
Tablo 23. Azami Kapsama Mesafesi 1000 m İçin Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları

Z=2956,5								
Mahalleler								
Aday Noktalar	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	1	-	-	-
5	-	1	-	-	-	-	-	-
6	-	1	-	-	-	-	-	-
7	-	1	-	-	-	-	-	-
8	-	1	-	-	-	-	-	-
9	-	-	1	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	1	-	-	-
13	-	-	-	1	-	-	-	-
14	-	-	-	1	-	1	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	1	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	1	-	-
20	-	-	-	-	-	-	1	-
21	-	-	-	-	1	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	1	1
23	-	-	-	-	-	-	-	1
Toplam	1	4	1	3	3	2	2	2

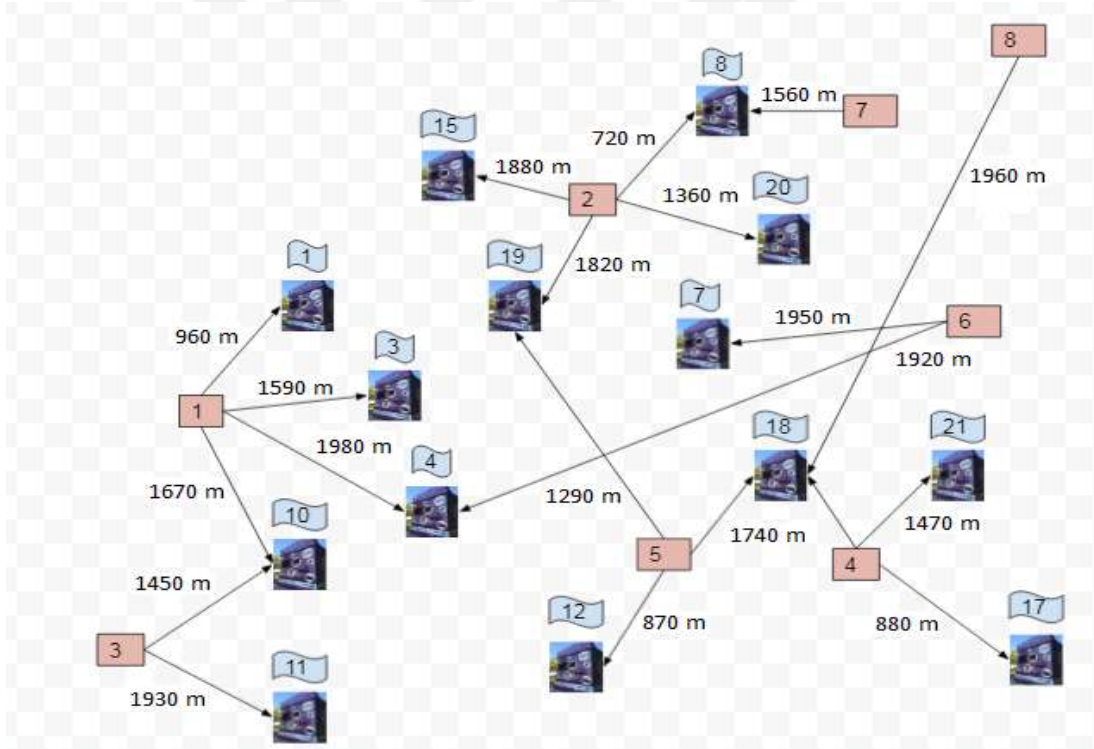
Tablo 24. Azami Kapsama Mesafesi 2000 m İçin Eşit Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları

Z=3462,14								
Aday Noktalar	Mahalleler							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1	-	-	-	-	-	-	-
4	1	-	-	-	-	1	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	1	-	-
8	-	1	-	-	-	-	1	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1	-	1	-	-	-	-	-
11	-	-	1	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	1	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	1	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	1	-	-	-	-
18	-	-	-	1	1	-	-	1
19	-	1	-	-	1	-	-	-
20	-	1	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	1	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam	4	4	2	3	3	2	1	1

Modelde belirlenen azami konteyner sayısı ve azami kapsama mesafesine uygun olarak atamaların yapıldığı Şekil 11’de ve Şekil 12’de de görülmektedir.



Şekil 11. Azami kapsama mesafesi 1000 m için eşit ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları



Şekil 12. Azami kapsama mesafesi 2000 m için eşit ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları

Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama ile elde edilen atama sonuçları

E-atık geri dönüşümünü etkileyen faktörlerin Bulanık SWARA ile hesaplanan ağırlıkları ile oluşturulan ve bu faktörlerin ağırlıklı harmonik ortalamasının kullanıldığı atama modellerinin sonuçları, Tablo 25 ve Tablo 26’da verilmiştir. Tablo 25’teki modelde azami kapsama mesafesi 1000 m olarak alınmış ve 18 noktaya atama yapılmıştır. Tablo 26’daki modelde ise azami kapsama mesafesi 2000 m olarak alınmış ve 20 aday noktaya konteyner ataması yapılmıştır.

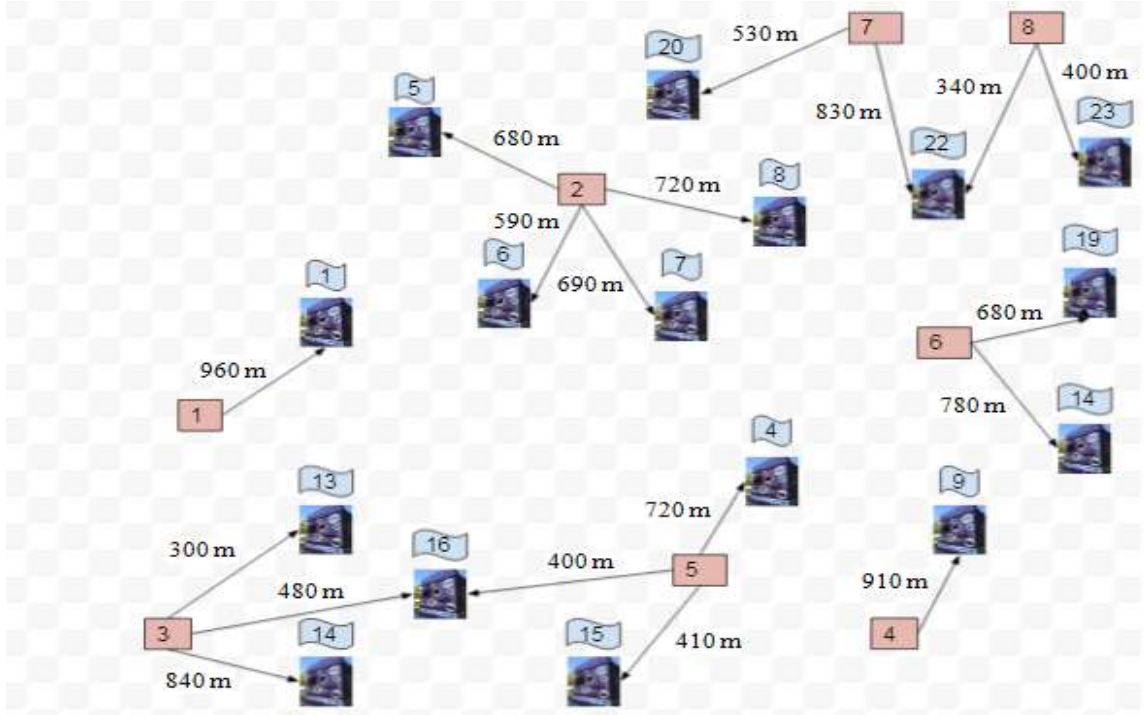
Tablo 25. Azami Kapsama Mesafesi 1000 m İçin Bulanık SWARA Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları

Z=2893,5								
Mahalleler								
Aday Noktalar	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	1	-	-	-
5	-	1	-	-	-	-	-	-
6	-	1	-	-	-	-	-	-
7	-	1	-	-	-	-	-	-
8	-	1	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	1	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	1	-	-	-	-	-
14	-	-	1	-	-	1	-	-
15	-	-	-	-	1	-	-	-
16	-	-	1	-	1	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	1	-	-
20	-	-	-	-	-	-	1	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	1	1
23	-	-	-	-	-	-	-	1
Toplam	1	4	3	1	3	2	2	2

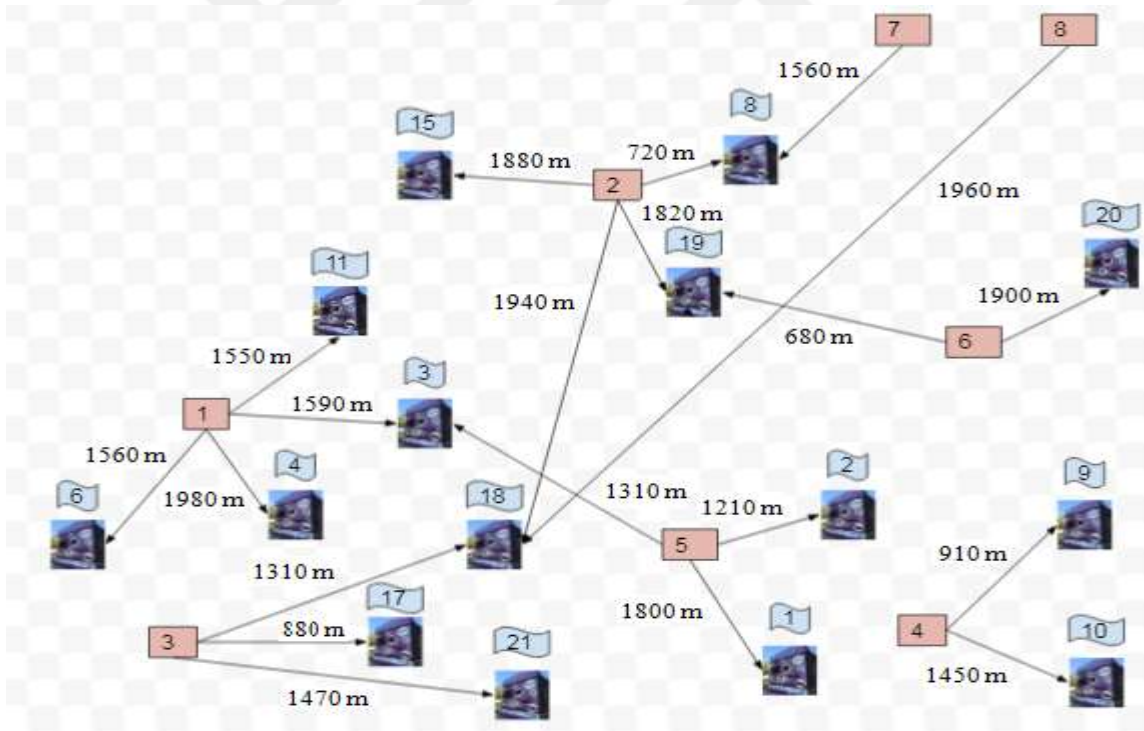
Tablo 26. Azami Kapsama Mesafesi 2000 m için Bulanık SWARA Ağırlıklı Harmonik Ortalama Kullanılarak Elde Edilen Atama Sonuçları

Z=3370,64								
Aday Noktalar	Mahalleler							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	-	-	-	1	-	-	-
2	-	-	-	-	1	-	-	-
3	1	-	-	-	1	-	-	-
4	1	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	1	-	-	-	-	1	-
9	-	-	-	1	-	-	-	-
10	-	-	-	1	-	-	-	-
11	1	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	1	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	1	-	-	-	-	-
18	-	1	1	-	-	-	-	1
19	-	1	-	-	-	1	-	-
20	-	-	-	-	-	1	-	-
21	-	-	1	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam	4	4	3	2	3	2	1	1

Modelde belirlenen azami konteyner sayısı ve azami kapsama mesafesine uygun olarak atamaların yapıldığı Şekil 13 ve Şekil 14’te de görülmektedir.



Şekil 13. Azami kapsama mesafesi 1000 m için Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları



Şekil 14. Azami kapsama mesafesi 2000 m için Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama kullanılarak elde edilen atama sonuçları

Azami kapsama mesafesi 1000 m alındığında; eşit ağırlıklı harmonik ortalama ile 18 aday noktaya, Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama ile 18 aday noktaya atama yapılmıştır. Azami kapsama mesafesi 2000 m alındığında; eşit ağırlıklı harmonik ortalama ile 20 aday noktaya, Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama ile 20 aday noktaya atama

yapılmıştır. Kapsama mesafesi arttıkça atama yapılan aday noktaların sayısının arttığı görülmüştür.

Azami kapsama mesafesi 1000 m alındığında; eşit ağırlıklı harmonik ortalama ile yapılan atama sonuçlarında amaç fonksiyonu değeri yani ortaya çıkan e-atık miktarı 2956,5 kg, Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama ile yapılan atama sonuçlarında amaç fonksiyonu değeri 2893,5 kg olmuştur. Azami kapsama mesafesi 2000 m alındığında; eşit ağırlıklı harmonik ortalama ile yapılan atama sonuçlarında amaç fonksiyonu değeri 3462,1 kg, Bulanık SWARA ağırlıklı harmonik ortalama ile yapılan atama sonuçlarında amaç fonksiyonu 3370,6 kg olmuştur. Tablo 27’de her iki model için yapılan atama sonuçları verilmiştir.

Tablo 27. Her İki Model İçin Sonuçlar

Model Tipi	Kapsama Mesafesi - DC (metre)	Amaç Fonksiyonu Değeri = Toplanan E- atık miktarı (kg)	Atanan konteyner sayısı	Atama yapılan mahalle sayısı (Mahalle no)
Eşit Ağırlıklı Model	400	807	12	3 (4,5,8)
	500	1396,5	13	4 (4,5,6,8)
	750	2463	17	6 (2,4,5,6,7,8)
	1000	2956,5	18	
	1500	3342,1	20	
	2000	3462,1	20	
	2500	3462,1	20	8 (Tümü)
Bulanık SWARA ile Ağırlıklandırılmış Model	400	763,5	12	3 (3,5,8)
	500	1326	13	4 (3,5,6,8)
	750	2403	17	6 (2,3,5,6,7,8)
	1000	2893,5	18	
	1500	3280,6	20	
	2000	3370,6	20	
	2500	3370,6	20	8 (Tümü)

Tablo 26’daki sonuçlar değerlendirildiğinde; Dc (azami kapsama mesafesi) değeri azaldıkça, mesafe uyumsuzluğundan dolayı, atanan konteyner sayısının her iki modelde de azaldığı görülmektedir. Faktörlerin ağırlıklandırılarak modele dâhil edildiği ikinci model ile eşit ağırlıklı birinci modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, toplanan e-atık miktarında küçük bir azalma olduğu ve atanan konteyner sayılarında da bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

E-atık miktarını etkileyen faktörlerin eşit ağırlıklı olarak konteyner atama modeline dahil edildiği ve e-atık miktarının öngörüldüğü birinci model, daha önce literatürde

kullanılmamış bir model olma üstünlüğüne sahiptir. Bununla birlikte, e-atık miktarını etkileyen faktörlerin uzman görüşü ile ağırlıklandırıldığı ikinci model ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. İleriki çalışmalarda, farklı bir ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak veya oranların birleştirilmesinde farklı bir ortalama yöntemi kullanılarak daha anlamlı farklılıklar içeren sonuçlara ulaşılması olası görülmektedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Hayatımızın her alanında teknolojinin ilerlemesiyle birlikte elektronik eşyaların kullanımı da yaygınlaşmıştır. Yaygın kullanılan elektronik eşyalar ortaya çıkan elektronik atık miktarının artmasına neden olmuştur. Bu yüzden elektronik atıkların geri dönüşümü yönetilmesi zor ve özen isteyen bir konu haline gelmiştir.

Dünya nüfusunun ve e-eşya seçeneklerinin artması, değişen tüketici davranışları nedeniyle e-eşyaların kullanım ömürlerinin kısalması gibi nedenlerle e-atıklar sürekli artarak gün geçtikçe büyüyen bir sorun haline gelmiştir. İçerdikleri tehlikeli maddelerden dolayı çevre ve insan sağlığı açısından uygun bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşıyan e-atıklar, bünyelerinde barındırdıkları değerli metallerden dolayı ekonomik anlamda da büyük bir yere sahiptir.

E-atık geri dönüşüm sistemlerinin etkin tasarımı, içerisinde çözülmesi gereken pek çok alt problemi barındırmaktadır. Yerel anlamda e-atık miktarının doğru tahmin edilerek e-atıklar için toplanma noktalarının belirlenmesi de bu alt problemlerden biridir. Literatürde e-atık toplama noktalarını matematiksel modellerle belirleyen çalışmalara da sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çalışmaların çok büyük bir kısmında anket çalışmaları yapılmış ve sonuca ulaşmak için istatistiksel olarak genellemeler yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında ise diğer çalışmalardan farklı olarak; yerel anlamda e-atık toplama noktalarını belirlerken, e-atık miktarının oluşumunda etkili olan dört faktör (nüfus, gelir seviyesi, eğitim durumu ve yaş dağılımı) dikkate alınmış ve bu faktörler matematiksel bir atama modeli içerisine oturtularak oluşacak e-atık miktarının yaklaşık olarak öngörülmesi sağlanmıştır. Oluşturulan model, jenerik bir yapıya sahiptir. Böylelikle; bu genel modeli kullanacak yerel yönetimler, kendi şartlarını modele yansıtarak spesifik bir uygulama yapabileceklerdir.

Bu modelin uygulaması, Erzurum'un Yakutiye İlçesi'ne bağlı nüfusu 10.000'nin üzerinde olan 8 mahalle için yapılmıştır. İki farklı model sonucu tezde karşılaştırılmıştır. Bunlardan birincisinde; e-atık miktarı oluşumunda etkili dört faktörün eşit ağırlıklı olduğu kabul edilirken; ikincisinde ise bu faktörler Bulanık SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılarak modele dâhil edilmiştir. Oluşturulan atama modelleri GAMS 24.2.3 ile çözülmüş; elde edilen sonuçlar, farklı kapsama mesafeleri de dikkate alınarak karşılaştırılmıştır

Örnek uygulamadan elde edilen sayısal sonuçlar değerlendirildiğinde, toplanan e-atık miktarında küçük bir azalma olduğu ve atanan konteyner sayılarında da bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

E-atık miktarını etkileyen faktörlerin eşit ağırlıklı olarak konteyner atama modeline dahil edildiği ve e-atık miktarının öngörüldüğü birinci model, daha önce literatürde kullanılmamış bir model olma üstünlüğüne sahiptir. Bununla birlikte, e-atık miktarını etkileyen faktörlerin uzman görüşü ile ağırlıklandırıldığı ikinci model ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. İleriki çalışmalarda, farklı bir ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak veya oranların birleştirilmesinde farklı bir ortalama yöntemi kullanılarak daha anlamlı farklılıklar içeren sonuçlara ulaşılması olası görülmektedir.

Bu tez çalışmasında önerilen model jenerik bir yapıda olduğu için özellikle yerel yönetimler tarafından daha farklı ve geniş bölgelerde de kullanıma uygundur. Gelecekte yapılacak çalışmalarda oluşturulan bu model yapısı bir karar destek sistemine dönüştürülebilir. Ayrıca etki eden faktörler çeşitlendirilebilir. Çeşitlendirilen faktörler, Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden uygun olanlarıyla ağırlıklandırılabilir. Yine farklı atık türleri için (örneğin ambalaj atıkları) benzer model yapıları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aboelimged, M., 2021. E-waste recycling behaviour: An integration of recycling habits into the theory of planned behaviour. *Journal of Cleaner Production*, 278 (2021), 124182.
- Akpulat, O., 2020. Dünya’da ve Türkiye’de Elektronik Atık Mevcut Durumu Araştırma Raporu, İstanbul.
- Alver, Ö. K., Ayvaz, B., ve Çatay, B., 2018. Elektrikli ve Elektronik Atıklar İçin Tersine Lojistik Ağ Tasarımı: İstanbul Örneği. 7. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, ULTZK 2018 Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2018, Bursa.
- Asibey, M. O., King, R. S., Lykke, A. M., and Inkoom, D. K. B., 2021. Urban planning trends on e-waste management in Ghanaian cities. *Cities*, 108 (2021), 102943.
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği Belediye Uygulama Rehberi, 2016. <https://cygm.csb.gov.tr/> (13.10.2020).
- Ayvaz, B., Bolat, B., and Aydın, N., 2015. Stochastic reverse logistics network design for waste of electrical and electronic equipment. *Resources, Conservation and Recycling*, 104 (2015), 391–404.
- Awasthi, A. K., and Li, J., 2017. Management of electrical and electronic waste: A comparative evaluation of China and India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 434-447.
- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., and Stegmann, P., 2017. The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, Geneva.
- Baldé, C. P., Wang, F., Kuehr, R., and Huisman, J., 2015. The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany.
- Başarır S., 2018. Haliç Çevre Danışmanlık, <https://hlcevre.com/atik-yonetimi-nedir/> (28.10.2020).
- Bel, G., 2019. A New Circular Vision For Electronics Time for a Global Reboot. WEF The Platorm Accelerating The Circular Economy, Geneva.
- Bingöl, N., 2020. Elektrikli ve Elektronik Atıkların Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Borthakur, A., and Govind, M., 2018. Public understandings of E-waste and its disposal in urban India: from a review towards a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1053-1066.
- Boubellouta, B., and Kusch-Brandt, S., 2021. Relationship between economic growth and mismanaged e-waste: Panel data evidence from 27 EU countries analyz edunder the Kuznets curvehy pothesis. *Waste Management*, 120 (2021), 85–97.
- Boubellouta, B., and Kusch-Brandt, S., 2021. Cross-country evidence on Environmental Kuznets Curve in Waste Electrical and Electronic Equipment for 174 Countries. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 136-151.
- Börner, L., and Hegger, D. L., 2018. Toward design principles for sound e-waste governance: A research approach illustrated with the case of the Netherlands. *Resources, conservation and recycling*, 134, 271-281.

- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M. L., and Ali, M. H., 2020. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the Fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104625.
- Chen, J., Huang, S., Bala Murugan, S., and Tamizharasi, GS., 2021. Artificial Intelligence Based E-waste Management for Environmental Planning. *Environmental Impact Assessment Review*, 87 (2021), 106498.
- Daskin, MS., 1995. *Network and Discrete Location Theory* (3th). New York: John Wiley & Sons, INC., 23-47.
- Daskin, MS., 2008. Konum modelleme hakkında bilmeniz gerekenler. *Deniz Araştırma Lojistiği (NRL)*, 55 (4), 283-294.
- Dhir, A., Koshta, N., Goyal, R. K., Sakashita, M., and Almotairi, M., 2021. Behavioral reasoning theory (BRT) perspectives on E-waste recycling and management. *Journal of Cleaner Production*, 280 (2021), 124269.
- Dias, P., Bernardes, A.M., and Huda, N., 2018. Waste electrical and electronic equipment (WEEE) management: An analysis on the Australian e-waste recycling scheme. *Journal of Cleaner Production*, 197 (2018), 750-764.
- Edmonds, C. N., Goel, S., and Nakagome, H., 2019. *Decent work in the management of electrical and electronic waste (e-waste)*. International Labour Organization, Geneva.
- Endeksa Platformu Erzurum İli'nin Yakutiye İlçesi'ndeki Mahalleler, 2021. <https://www.endeksa.com/tr/> - (07.01.2021).
- Ergülen, A., Kazan, H., and Bolayır, B., 2017. Feed Raw Materials The Recycling Of Waste Food And Agricultural Products: In A Business, Application Of Linear Programming And Fuzzy Linear Programming. *Eurasian Econometrics, Statistics & Empirical Economics Journal*, 1, 13-35.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., and Bel, G., 2020. *The Global E-waste Monitor 2020 Quantities, flows, and the circular economy potential*. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, Geneva.
- Gazete, R., 2015. Çevre ve Şehircilik Bakanlığından; Atık Yönetimi Yönetmeliği, Sayı : 29314. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Gazete, R., 2012. Çevre ve Şehircilik Bakanlığından; Atık Yönetimi Yönetmeliği, Sayı : 28300. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Gollakota, A. R. K., Gautam, S., and Shu, C., 2020. In consistencies of e-waste management in developing nations – Facts and plausible solutions. *Journal of Environmental Management*, 261 (2020), 110234.
- Islam, MD. 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, MD. T., Dias, P., and Huda, N., 2020. Young consumers e-waste awareness, consumption, disposal, and recycling behavior: A case study of university students in Sydney, Australia. *Journal of Cleaner Production*, DOI: 124490.
- Islam, M. T., Dias, P., and Huda, N., 2020. Waste mobile phones: A survey and analysis of the awareness, consumption and disposal behavior of consumers in Australia. *Journal of Environmental Management*, 275, 111111.

- Işık, M., ve Macit, İ., 2020. Elektronik Atık (E-Atık) Geri Dönüşüm Merkezlerinin Maliyetlerinin Minimize Edilerek Kuruluş Yerlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 18, 224-231.
- Kaftan, İ., Balkan, E., ve Şalk, M., 2013. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve Jeofizikte Kullanım Alanları: Sismoloji Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15 (43), 15-29.
- Karataş, O., 2018. Elektronik Atıkların Geri Dönüşümü ve İnsan Hayatına Etkileri. Yüksek Lisan Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Keçeci, B., Sümer, E., Kılıç, A., Çiçek, S., İnan, B., ve Çeki, E., 2014. CBS Destekli E-atık Yönetimi: Çankaya Belediyesi için Bir Uygulama.
- Keçeci, B., Dengiz, O., Dengiz, B., Sümer, E., Kılıç, A., Çeki, E., İnan, B. ve Çiçek, S., 2018. AEEE tahmini ve toplama noktalarının belirlenmesi: Çankaya Belediyesi için bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 692-704.
- Kharat, M. G., Murthy, S., Kamble, S. J., Raut, R. D., and Kamble, S. S., 2019. Fuzzy multi criteria decisionan alysis for environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection. *Technology in Society*, 57, 20-29.
- Ma, Y., Stubbings, W., A., Cline-Cole, R., and Harrad, S., 2021. Human exposure to halogenated and organophosphate flame retardants through informal e-waste handling activities-a critical review. *Environmental Pollution*, 115727.
- Madenoglu, F. S., 2020. Personnel Selection by Using Fuzzy Hybrid Multi Criteria Decision Making Methodology. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(3), 953-962.
- Marangoz, M., Önce, A. G., ve Aydın, A. E., 2015. Çevre ekonomisi ve sürdürülebilir kalkınma açısından e-atık yönetiminin önemi. *International Conference on Eurasian Economies* (pp. 9-11).
- Marnane, I., 2018. Cıva: Çevre ve İnsan Sağlığı İçin Kalıcı Bir Tehdit. *Avrupa Çevre Ajansı*, <https://www.eea.europa.eu/tr/articles/civa-cevre-ve-insan-sagligi> (28.12.2020).
- Me'ndez-Fajardo, S., Boni, T., Vanegas, P., and Sucozhanay, D., 2020. Improving sustainability of E-waste management through the systemic design of solutions: the cases of Colombia and Ecuador. *Handbook of Electronic Waste Management*, 443-478.
- Monde, L., 2020. Araştırma: Türkiye'de hane başı elektronik atık 41,8 kilogram oldu. *Fransa Le Monde Gazetesi*, <https://www.ntv.com.tr/galeri/dunya/arastirma-turkiyede-hane-basi-elektronik-atik-41-8-kilogram-oldu,AkhYxuN-BE-Apz8dG8a0Fg> - (06.05.2021).
- Morlet, A., 2018. The Circular Economy Opportunity for Urban & Industrial Innovation in China. *Ellen Mac Arthur Foundation*, https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The-circular-economy-opportunity-for-urban-industrial-innovation-in-China_19-9-18_1.pdf - (27.05.2021).
- Nowakowski, P., 2016. The influence of residents behaviour on waste electrical and electronic equipment collection effectiveness. *Waste Management & Research*, 34 (11), 1126–1135.
- Ok, Y., 2016. Bölge-Ölçekli Dağıtık Enerji Üretim Sistemleri için Kapsama Mesafesi Temelli Ağ Tasarımı. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özdağoglu, A., Keleş, M. K., ve Işıldak, B., 2021. Bulanık SWARA ve Bulanık MARCOS Yöntemleriyle Sivil Havacılıkta Kabin Memuru Seçimi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 12(2), 284-302.

- Özkır, V. Ç., Efendigil, T., Demirel, T., Demirel, N. C., Deveci, M., and Topçu, B., 2015. A three-stage methodology for initiating an effective management system for electronic waste in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 96, 61-70.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan N., ve Özceylan E., 2013. Bölüm 1: Bulanık Mantığa Giriş, Doç. Dr. Timur Aydemir. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, 1-4.
- Pekdemir, A. D., 2020. Klasik Madencilikten Kent Madenciliğine – E-Atıklardan Metallerin Kazanımı. DOI: 10.13140/RG.2.2.22985.49764.
- Piriştine, B., 2019. Bulanık SWARA Yöntemi ile İşletmelerin Kurumsallık Düzeyinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Polak, M., and Drapalova, L., 2012. Estimation of end of life mobile phones generation: The case study of the Czech Republic. *Waste Management*, 32 (2012), 1583–1591.
- Polat, L. Ö., and Güngör, A., 2019. Network design problems in E-waste management. In *Electronic Waste Management and Treatment Technology* (pp. 77-102).
- Poyraz, P., 2021. Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Süreç Aşamalı Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Hata Analizi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Ramzan, S., Liu, C. G., Munir, H. and Xu, Y., 2019. Assessing young consumers awareness and participation in sustainable e-waste management practices: a survey study in Northwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (2019), 20003–20013.
- Ryder, G., Houlin, Z. H., 2019. The world's e-waste is a huge problem. It's also a golden opportunity. World Economic Forum, <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/how-a-circular-approach-can-turn-e-waste-into-a-golden-opportunity/> (24.11.2020).
- Saeidi-Mobarakeh, Z., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navabakhsh, M., and Amoozad-
- Khalili, H., 2020. A bi-level and robust optimization-based frame work for a hazardous waste management problem: A real-world application. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119830.
- Salihoğlu, G., ve Kahraman, A. E., 2016. Türkiye’de Elektrikli ve Elektronik Atık Üretimi: Bursa Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 95-106.
- Sarı, M., Murat, Y. Ş., ve Kırabalı, M., 2005. Bulanık Modelleme Yaklaşımı ve Uygulamaları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (009), 77-92.
- Sayman, R. U., and Akpulat, O., 2016. Regulation on the Control of Waste Electrical and Electronic Equipment, Municipality Implementation Guidance. Regional Environmental Center (REC).
- Seçme, N. Y., 2005. Klasik Doğrusal Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlamanın Karşılaştırmalı Bir Analizi: Üretim Planlama Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Singhal, D., Tripathy, S., and Jena, S. K., 2019. Sustainability throughre manufacturing of e-waste: Examination of critical factors in the Indian context. *Sustainable Production and Consumption*, 20 (2019), 128-139.
- Şengül, D., ve Çağıl, G., 2020. Bulanık SWARA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile İş Değerlemesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 965-976.

- Şengül, D., Çağır, G., ve Ardali, Z., (2021). Bulanık SWARA ve Aralık Değerli Sezgisel Bulanık AHP Yöntemi ile İş Değerlemesi. Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 28(2), 243-263.
- Topçu, H. F., 2017. Uluslararası Düzeyde Elektrikli ve Elektronik Atıkların (E-atık) Ticareti ve Sorunlar. Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences, 22.
- Türkiye Bilişim ve Sanayicileri Derneği (TÜBİSAD), 2016. Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği Yetkilendirilmiş Kurulu Faaliyet Raporu, İstanbul.
- UNU, 2019. The Global E-waste Statistics Partnership. United Nations University, Geneva.
- Yazıcı, E. Y., Baş, A. D., ve Deveci, H., 2011. E-madenler. Madencilik Türkiye, 19, 66-70.
- Ylä-Mella, J. L., Keiski, R., and Pongrácz, E., 2015. Electronic waste recovery in Finland: Consumers perception towards recycling and refuse of mobile phones. Waste Management, 45 (2015), 374–384.
- Qu, Y., Wang, W., Liu, Y., and Zhu, Q., 2019. Understanding residents preferences for e-waste collection in China-A case study of waste mobile phones. Journal of Cleaner Production, 228, 52-62.
- Wakolbinger, T., Toyasaki, F., Nowak, T., and Nagurney, A., 2014. When and for whom would e-waste be a sure thing? Insights from a network equilibrium model of e-waste flows. Int. J. Production Economics, 154 (2014), 263-273.
- 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

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Tuba BAZANCİR
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
E-mail:	

Eğitim	
Lise:	Bingöl Karşıyaka Anadolu Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı