

**VAKS İÇEREN KOMPOZİT ATIKLARIN YÖNETİMİNİN FARKLI KARAR
VERME TEKNİKLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ece YILMAZBİLEK

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2021

ÖZET

VAKS İÇEREN KOMPOZİT ATIKLARIN YÖNETİMİNİN FARKLI KARAR VERME TEKNİKLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ece YILMAZBİLEK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2021

Danışman: Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

Vaks içeren kompozit atıklar, karmaşık yapıları nedeniyle sürdürülebilir atık yönetim sistemlerinde yönetilmeleri zor olan atık türlerindendir. En uygun değerlendirme yönteminin belirlenmesi aşamasında çevresel, ekonomik, teknik açıdan bütünsel bir yaklaşım sergilenmesi önemlidir. Bu noktada, birçok alandaki problemlerin çözümünde belirli kriterlerin yardımıyla en uygun alternatifin seçiminin yapılabildiği Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (MCDM)'nin kullanımı mümkündür. Bu nedenle bu tezde, Analitik Serim Süreci (ANP) ve TOPSIS metodu kullanılarak vaks içeren kompozit atıkların yönetim süreci bütünsel bir yaklaşım ile değerlendirilmiştir. Belirlenen kriterler Entropi, SWARA ve CRITIC metotları ile ağırlıklandırılmıştır. Her bir ağırlıklandırma metodundan elde edilen sonuçlarla ayrı ayrı TOPSIS ve ANP ile değerlendirmeler yapılmıştır. Kullanılan tüm ağırlıklandırma yöntemleri ile yapılan ANP ve TOPSIS sonuçlarında piroliz alternatifinin en uygun seçenek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: ANP, CRITIC, Kompozit Atık Yönetimi, MCDM, SWARA, Vaks.

ABSTRACT

EVALUATION OF MANAGEMENT OF COMPOSITE WASTE CONTAINING WAX WITH DIFFERENT DECISION-MAKING TECHNIQUES

Ece YILMAZBİLEK

Department of Environmental Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2021

Supervisor: Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

Composite wastes containing wax are difficult to manage in sustainable waste management systems due to their complex structure. It is important to take a holistic approach in terms of environmental, economic and technical aspects while determining the most appropriate evaluation method. At this point, it is possible to use Multi Criteria Decision Making Techniques (MCDM), in which the most suitable alternative can be selected with the help of certain criteria in solving problems in numerous fields. Therefore, in this thesis, the management process of composite wastes containing wax has been evaluated with a holistic approach by using Analytical Network Process (ANP) and TOPSIS method. The criteria determined are weighted by Entropy, SWARA and CRITIC methods. With the results obtained from each weighting method, separate evaluations were made with TOPSIS and ANP. According to the results, it was determined that the pyrolysis alternative is the most suitable option.

Keywords: ANP, CRITIC, Composite Waste Management, MCDM, SWARA, Wax.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında, değerli bilgilerini benimle paylaşan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Aysun ÖZKAN'a ve değerli önerileriyle çalışmaya destek olan Prof. Dr. Müfide BANAR'a;

Tez savunma jürimde olmayı kabul ederek çalışmaya destek olan Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ ve Doç. Dr. Zerrin GÜNKAYA'ya;

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, bana koşulsuz sevgi ve imkanlarını sunan değerleri aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ece YILMAZBİLEK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ece YILMAZBİLEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİK ATIKLARIN İŞLENMESİ.....	3
2.1. Uluslararası Mevzuat.....	5
2.2. Ulusal Mevzuat	7
3. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE KOMPOZİT ATIKLAR	12
3.1. Kompozit Malzemelerin Yapısı	13
3.2. Parafin Vakslar	14
3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	17
3.3.1. Metal matrisli kompozitler	18
3.3.2. Polimer matrisli kompozitler	18
3.3.3. Seramik matrisli kompozitler.....	18
3.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	19
3.4.1. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri.....	19
3.4.2. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri	20
3.4.3. Seramik matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri	20
3.5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	21
3.5.1. Kompozit malzemelerin avantajları	21

3.5.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları	22
3.6. Kompozit Malzemelerin Teknolojik Özellikleri.....	22
3.6.1. Kompozit malzemelerin yalıtım özellikleri	22
3.6.1.1. Isı yalıtımı.....	22
3.6.1.2. Ses yalıtımı	23
3.6.1.3. Yangın yalıtımı.....	23
3.6.2. Elektriksel iletkenlik özelliği	23
3.6.3. Kimyasal direnç özelliği.....	23
3.6.4. Yüksek direnç özelliği	23
3.7. Kompozit Atıkların Yönetimi	24
3.7.1. Mekanik geri dönüşüm	25
3.7.2. Termal geri dönüşüm	25
3.7.3. Kimyasal geri dönüşüm	26
3.7.4. Düzenli depolama	26
4. LİTERATÜR BİLGİSİ	27
4.1. LDPE ile Yapılan Çalışmalar.....	27
4.2. HDPE ile Yapılan Çalışmalar	29
4.3. Farklı Polimerler ile Yapılan Çalışmalar	32
4.4. Kompozit Atıklar ile Yapılan Çalışmalar	36
4.5. MCDM ile Yapılan Çalışmalar	37
5. METODOLOJİ.....	39
5.1. Alternatiflerin Belirlenmesi	40
5.2. Kriterler	42
5.3. Ağırlıklandırma Yöntemleri	47
5.3.1. Entropi yöntemi.....	48
5.3.2. SWARA yöntemi	49
5.3.3. CRITIC yöntemi.....	50
5.4. Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri.....	52
5.4.1. Analitik Serim Süreci (ANP)	52
5.4.2. TOPSIS.....	56
5.5. Yöntemin Uygulanması	58
6. BULGULAR.....	62

6.1. Kriter Ağırlıklandırma Sonuçları	62
6.1.1. Entropi yöntemi sonuçları	62
6.1.2. SWARA yöntemi sonuçları.....	64
6.1.3. CRITIC yöntemi sonuçları	65
6.2. ANP Sentez Sonuçları	68
6.3. TOPSIS Sonuçları	72
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	78
KAYNAKÇA.....	80
EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Üreticiler için yıllık geri dönüşüm oranları	10
Tablo 2.2. Üreticiler için toplam geri dönüşüm ve geri kazanım hedefleri	10
Tablo 4.1. Literatürde kentsel ve endüstriyel atıklarla gerçekleştirilmiş çalışmalar	37
Tablo 5.1. Kullanılan kriterler.....	42
Tablo 5.2. Yöntemde kullanılan derecelendirmeler	55
Tablo 5.3. Kriterlerin performans değerleri	58
Tablo 6.1. Entropi yöntemi normalize karar matrisi	62
Tablo 6.2. Kriterlere ilişkin entropi değerleri	63
Tablo 6.3. e_j ve d_j değerleri	63
Tablo 6.4. w_j değerleri	63
Tablo 6.5. SWARA ile kriter ağırlıklandırma sonuçları	64
Tablo 6.6. CRITIC yöntemi için normalize karar matrisi	65
Tablo 6.7. İlişki katsayısı matris	65
Tablo 6.8. σ_j ve c_j değerleri	66
Tablo 6.9. w_j değerleri	66
Tablo 6.10. TOPSIS normalize edilmiş karar matrisi	73
Tablo 6.11. Entropi yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi	73
Tablo 6.12. Entropi yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler.....	74
Tablo 6.13. Entropi yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları.....	74
Tablo 6.14. SWARA yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi.....	75
Tablo 6.15. SWARA yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler.....	75
Tablo 6.16. SWARA yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları	75
Tablo 6.17. CRITIC yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi	76
Tablo 6.18. CRITIC yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler.....	76
Tablo 6.19. CRITIC yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Plastiğin kullanım ömrünün beş aşaması, (milyon metrik ton, 2016)	3
Şekil 2.2. Kilogram cinsinden kişi başına üretilen atık miktarı, kirlilik riski altındaki yanlış yönetilen plastik atık miktarı ve plastik geri dönüşüm oranları açısından ülke karşılaştırması- 2016.....	4
Şekil 3.1. Kompozit malzeme matrisi	12
Şekil 3.2. Parafin vaks	14
Şekil 3.3. Kompozit malzemeler	17
Şekil 3.4. Kompozit atık yönetim hiyerarşisi	24
Şekil 5.1. Metodoloji akış şeması	39
Şekil 5.2. Fayda-maliyet-risk kümesi ölçütleri.....	43
Şekil 5.3. ANP’de dışsal bağımlılık	54
Şekil 5.4. ANP’de içsel bağımlılık	54
Şekil 5.5. ANP-BCR kümelerinin gösterimi ekran görüntüsü	59
Şekil 5.6. Alternatiflerin karşılaştırılması için örnek ekran görüntüsü.....	60
Şekil 5.7. Normalizasyon işlemi Excel örnek ekran görüntüsü.....	60
Şekil 5.8. TOPSIS örnek Excel ekran görüntüsü.....	61
Şekil 6.1. Entropi-SWARA-CRITIC yöntem sonuçları	67
Şekil 6.2. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR fayda kümesi sonuçları	68
Şekil 6.3. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR maliyet kümesi sonuçları	69
Şekil 6.4. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR risk kümesi sonuçları	70
Şekil 6.5. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR genel sonuçları	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
ANP	: Analitik Serim Süreci (Analytic Network Process)
APP	: Amonyum Polifosfat
BOCR	: Fayda, fırsat, maliyet ve risk (Benefit, Opportunity, Cost and Risk)
CH ₄	: Metan
CRITIC	: Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)
Cu	: Bakır
CO ₂	: Karbondioksit
DSC	: Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (Differential Scanning Calorimetry)
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz (Dynamic Mechanical Analysis)
EG	: Genişletilmiş Grafit (Expanded Graphite)
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
ExP	: Genişletilmiş Perlit (Expanded Perlite)
FDM	: Faz Değiştirme Malzemesi (Phase Change Material (PCM))
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy)
GC- MS	: Gaz Kromatografisi- Kütle Spektrometrisi
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Polyethylene)

H ₄ SiO ₄	: Ortosilik Asit
K	: Kelvin
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojoule
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen (Low Density Polyethylene)
LLDPE	: Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen (Linear Low Density Polyethylene)
LFG	: Düzenli Depolama Gazı (Landfill Gas)
MCDM	: Çok Kriterli Karar Verme (Multiple-Criteria Decision Making)
MPa	: Megapaskal
MEPCM	: Mikro Kapsüllenmiş Faz Değişim Malzemesi (Micro-Encapsulated Phase Change Material)
MPE	: Maleat Polietilen
Pa	: Paskal
PE	: Polietilen (Polyethylene)
PEG	: Polietilen Glikol (Polyethylene glycol)
PP	: Polipropilen (Polypropylene)
PVC	: Polivinil Klorür (Polyvinyl chloride)
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı (Revolution Per Minute)
SAXS	: Küçük açılı X-ışını saçılımı (Small-angle X-ray scattering)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
SGM	: Sol Jel Metodu (Sol Gel Method)

SHC	: Silika Hidroksil Bileşigi (Silica-Hydroxyl Compound)
SIW	: Substrat Entegre Dalga Kılavuzu (Substrat Integrated Waveguide)
SWARA	: Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-wise Weight Assesment Ratio)
UHMW-PE	: Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerlikle Tercih Düzeni Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to İdeal Solutions)
V	: Hacim (Volume)
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compound)
XRD	: X-Işını Kırınımı (X-ray Powder Diffraction)

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusuna insanların bilinçsiz tüketim alışkanlıkları da eklenince tüketim sonucu oluşan atık miktarı önlenemez düzeyde artmıştır. Özellikle son yıllarda farklı ambalaj türlerinin üretilmesiyle yeni ve farklı malzemeler ve dolayısıyla atıklar gündeme gelmiştir. Bu kapsamda değerlendirilebilecek “kompozit malzemeler”; belirli bir hedef için iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı malzemelerin özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede birleştirmek için, bileşenlerin kendi kalıplarını koruyacak şekilde makro düzeyde bir araya getirilmesi ile oluşturulan yeni malzemeler olarak tanımlanabilir.

Bu teze konu olan vaks içerikli kompozit ürünler poliolefinlerin termal ayrışmasının ürünü olan vakslara farklı prosesler uygulanarak üretilmektedir. Poliolefinlerin termal ayrışması ile oluşan ürünler, parafin vaks ya da sentetik polietilen vakslarla neredeyse benzerdir (Urbaniak vd., 2007). Vaks; sıcakta eriyen yapıştırıcılar, mürekkepler, boyalar ve kaplamalar, plastikler, pas önleme ve meyve kaplaması için emülsiyonlar ve cilalar gibi farklı çalışmalarda katkı maddesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Vakslar bu yapılara eşsiz özellikler sağladıkları için büyük öneme sahiptirler. Örneğin vakslar, mürekkep veya meyve kaplama emülsiyonuna parlaklık verebilir, polivinil klorür (PVC) boruların yapımı sırasında yağlayıcı görevi üstlenebilir ya da bir çözücüye istenilen güçlendirme kapasitesine bağlı parlaklık ve dayanıklılık sağlayabilmektedir (Webber, 2000).

Bu tür malzemelerin kullanımının artmasıyla, ortaya çıkan kompozit atıkların da doğru bir şekilde yönetilmesi ihtiyacı doğmuştur. Kompozit atıklardan farklı form ve içeriklere sahip olmaları nedeniyle farklı teknolojiler (yakma, piroliz, gazifikasyon, hidroliz) yardımıyla hidrojen, sentez gazı ve enerji gibi ürünler elde edilebilir (Gür vd., 2018). Çeşitli alternatifler arasında hangi alternatifin çevresel, ekonomik veya sosyal açıdan daha uygun olacağını önceden belirlemek zor olabilir. Bu gibi durumlarda farklı karar verme tekniklerine başvurularak atık yönetim sistemleri arasında en uygun seçeneğin tercih edilmesi sağlanabilir.

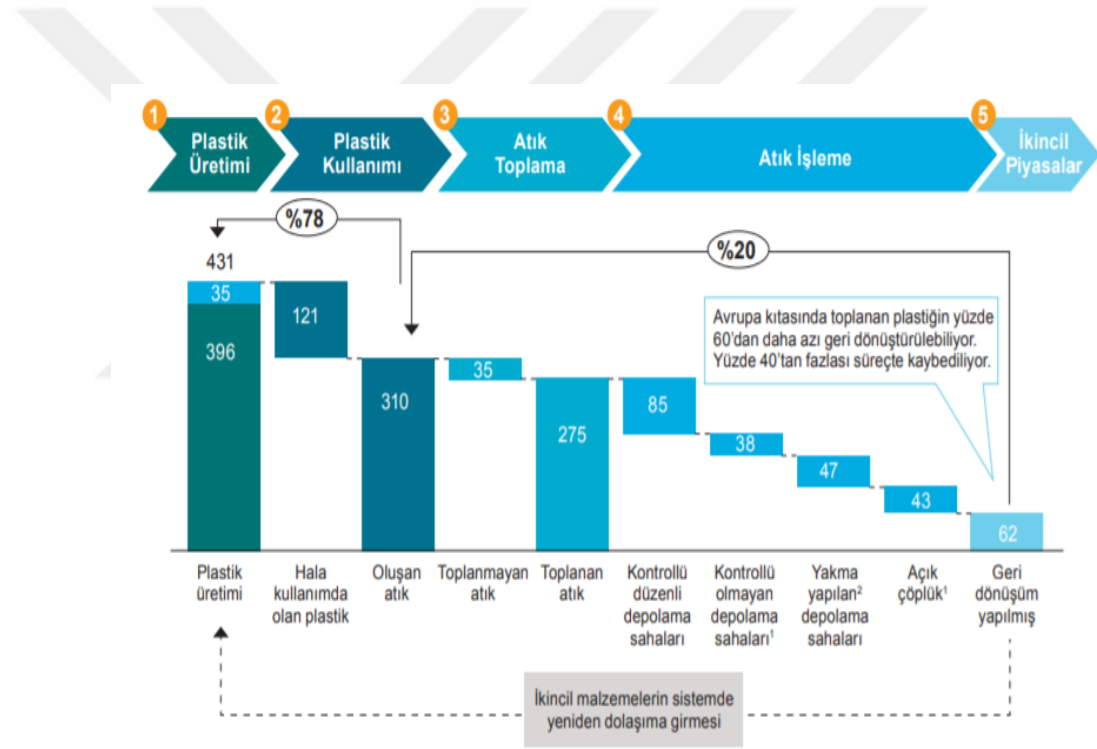
Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında, vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemleri bütünsel bir yaklaşımla (çevresel, ekonomik, teknolojik, sosyal) ele alınmış ve farklı karar verme tekniklerinden yararlanılmıştır. Tezin ikinci bölümünde, kompozit malzemelerin en önemli içeriği olarak plastik atıkların yönetimi üzerine uluslararası ve

ulusal uygulamalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde, kompozit malzemeler, çeşitleri, özellikleri ve kompozit atıklar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, vaksların çeşitli polietilen malzemelerle harmanlarından elde edilen kompozit malzemenin üretimi için gerçekleştirilen literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde, vaks içeren kompozit atıkların yönetiminin değerlendirilmesi için kullanılan ağırlıklandırma ve değerlendirme yöntemlerine yer verilmiş, son bölümde ise vaks içeren kompozit atıkların en uygun değerlendirme/işleme yöntemlerinin belirlenmesinde ANP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.



2. PLASTİK ATIKLARIN İŞLENMESİ

Kompozit malzemelerin ana bileşeni plastiklerdir. Plastikler, kullanım süreleri bitmiş dahi olsa, değeri azalmayacak kadar önemli bir kaynaktır. Plastik atıklar sanayi alanında gelişmiş ülkelerde giderek ciddileşen bir sorun olmaktadır. Ülkeler, plastik atıkların kapladıkları yüksek hacimler ile başa çıkmak için, bu atıkları kaynak olarak geri kazanacak yeni politikalar üretmeye başlamışlardır. Standart geri kazanım yöntemleri daha çok malzeme geri dönüşümü ya da yakma yaklaşımına bağlı kalmıştır. Plastik atıklar hidrokarbon yapıları polimerlerden oluştuklarından dolayı kimya sanayisi için değerli bir hammadde ve yakıt olarak tercih edilmektedirler (Williams ve Williams, 1997). Şekil 2.1’de plastiğin kullanım ömrünün aşamaları görülmektedir.

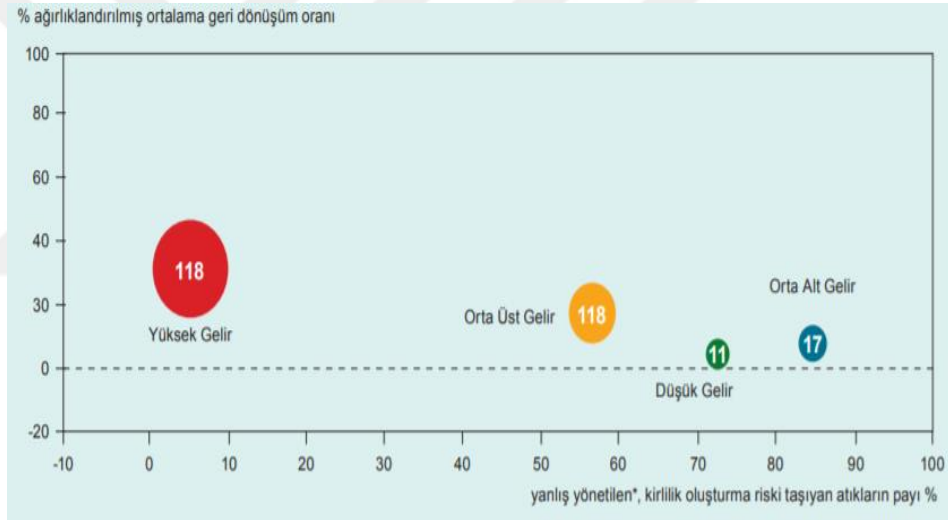


Şekil 2.1. Plastiğin kullanım ömrünün beş aşaması, (milyon metrik ton, 2016) (WWF-Türkiye, 2019)

Plastik ürün üreticileri, tedarik zincirindeki son tüketiciye kadar olan etkiler konusunda sorumluluk taşıdıklarından dolayı, kullan-at yaklaşımlı plastik üretim yaklaşımının yaygınlaşmasına sebep olmaktadır. Plastik ürünler, kompleks bir ek malzeme karışımına sahip olduklarından, üretim maliyetleri düşüktür. Bu durumun dezavantajı ise, malzemenin yapısından kaynaklı sebeplerle geri dönüşüm olanağının azalmasıdır. Bu yüzden de geri dönüştürülmek istenen plastik atıkların %40'ından fazlası

istenilen ekonomik karı karşılayamadığı için geri dönüşüm işlemine tabi tutulmazken, yakma ya da düzenli depolama sistemleri ile yönetimi tercih edilir.

Şekil 2.2’de yüksek gelire sahip olan ülkeler ile düşük gelirli ülkeler karşılaştırıldığında, yüksek geliri olan ülkelerin 10 kat fazla atık ürettiği görülmektedir. 2016 yılında toplam oluşan plastik atıkların büyük bir çoğunluğu yüksek gelirli ülkelere aitken, geri kalan kısmının büyük bir payı ise orta gelirli ülkelere aittir. Buna rağmen yanlış yönetilen atık miktarı ise diğer ülkelere kıyasla %5 ile %10 oranında daha azdır. Etkili atık yönetim performansı ülkelerin gelir seviyesiyle bağlantılı olduğundan; geliri yüksek olan ülkeler atıklarının büyük bir çoğunluğunu ihraç ederek mevcut kapasitelerini dünya çapındaki hareketlerle ilişkilendirmektedirler (WWF- Türkiye, 2019).



Şekil 2.2. Kilogram cinsinden kişi başına üretilen atık miktarı, kirlilik riski altındaki yanlış yönetilen plastik atık miktarı ve plastik geri dönüşüm oranları açısından ülke karşılaştırması- 2016 (WWF-Türkiye,2019)

Plastik kullanımının artması sonucunda birçok alanda farklı çevresel problemler ortaya çıkmaktadır. Atık plastiklerin yönetim sisteminde karşılaşılan problemler; ekonomik, politik, teknolojik ve çevresel süreçler olarak bütünsel bir yaklaşım ile değerlendirildiğinde rahatlıkla çözülebilir (Kiran vd., 2000).

Son zamanlarda sonsuz zannedilen doğal kaynakların tükenebilecek olduğu endişesi ile toplumda giderek artan sürdürülebilirlik bilinci sayesinde plastik kullanımına yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır. Hem ekonomik hem de çevresel faydalar açısından

bakıldığında büyük bir potansiyele sahip olan plastik atıkların yönetiminin sürdürülebilirlik için de çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden plastik atıkların bütünsel/bütüncül olarak ele alınarak değerlendirme/işleme yöntemlerinin belirlenmesi ve bu atıkların ekonomiye ve çevreye kazandırılması gerekmektedir.

2.1. Uluslararası Mevzuat

Avrupa’da atık yönetim sisteminde 1970’lerden günümüze önemli değişiklikler olmuştur. Üye Devletlerdeki atık yönetimi sistemlerinin geneli, atık bertaraf uygulamalarının kontrolüne dayanan politikalardan, atık önleme ve geri kazanım hedeflerini de kapsayacak şekilde değişmiştir. Bu değişim, kaynak verimliliği ve yaşam döngüsü bakış açısını atık yönetimi için sürdürebilir bir şekilde ele alarak toplum sağlığının ve çevrenin korunmasını hedeflemektedir.

Ulusal atık politikalarından özellikle ambalaj atıklarına yönelik olanlar, Avrupa seviyesinde atık politikası amaçlarına uyumlu düzeye getirilmek istense de bariz bir çeşitlilik göstermektedir. Özellikle geri dönüşüm yüzdelerinde Avrupa ülkeleri arasında belirgin farklılıklar vardır. Geri dönüşüm ve enerji kazanımını kapsayan plastik geri kazanımı, İsviçre, Danimarka, Almanya, İsveç, Belçika ve Avusturya’da %90’ı geçmekte, Danimarka dışındaki ülkeler geri dönüşüm oranlarında %20’nin üzerindedir. Diğer yandan Malta, Kıbrıs, Litvanya ve Yunanistan dahil pek çok ülke, enerji geri kazanımı olmadan %10’dan daha az geri dönüşüm yüzdesine sahiptir. Buna rağmen Almanya ve Fransa gibi ekonomik anlamda gelişmiş Üye Devletler, gelişmiş plastik atık yönetim sistemlerine sahiptir (Lazarevic vd., 2010).

2018 yılında küresel plastik üretimi yalnız Avrupa’da üretilen 62 milyon ton ile 359 milyon tona kadar yükselmiştir. Sadece Avrupa’da ambalaj, inşaat, otomotiv ve elektrikli ve elektronik malzeme piyasasında 24,6 milyon ton tüketici sonrası plastik atık oluşumuna sebep olmuştur. Bu atıkların yarısı atık depolama alanlarına gönderilirken, %20’si geri dönüştürülmüş ve %30’u enerji olarak geri kazanılmıştır. 2019 yılına bakıldığında plastiklerin üretim süreçleri ve kullanım sonrası yakılması ile atmosferde 850 milyon metrik tondan fazla sera gazı varlığına sebep olunmuştur (Plastic & Climate, 2019).

Ocak 2018’de Avrupa Komisyonu tarafından onaylanan Plastik Stratejisi ile BM’nin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına ulaşılmasına katkıda bulunulmuştur.

Avrupa Komisyonuna göre Yeşil Mutabakat (Green Deal) ve Yeni Döngüsel Ekonomi Eylem Planı sayesinde plastiklere ilişkin politika daha fazla genişlemiştir. Stratejinin amacı AB yasalarına ilaveten gönüllü önlem ve standartları kullanarak plastik atık üreten bütün sektörleri ele almaktır. Stratejinin önemli bir diğer amacı ise, AB piyasasında ortaya konulan bütün plastik ambalajların 2030 yılına kadar ya yeniden kullanılabilir olması ya da uygun maliyetli bir yöntemle geri dönüştürülebilmesidir. Üye devletlerin plastik ambalaj geri dönüşüm hedeflerine ulaşmada desteklenmesi ise Avrupa Komisyonu'nun bir başka hedefidir (European Court of Auditors, 2020).

AB'nin plastiklerle ilgili Atık Politikasının dört temel amacı bulunmaktadır:

- Plastik ve plastik ürünlerin geri dönüştürülmesini kolaylaştırmak için tasarımı geliştirmek ve inovatif düşünceyi desteklemek;
- Geri dönüşüm endüstrisine kaliteli girdiler sağlamak için plastik atıkların ayrı toplanmasını genişletmek ve iyileştirmek;
- AB'nin ayırma ve geri dönüşüm oranını artırarak yenilemek;
- Geri dönüştürülmüş ve yenilenebilir plastikler için uygun pazarlar yaratmak.

Üretim sürecinde yeniden kullanım ve geri dönüşüm gereksinimlerini karşılayan çevre dostu, inovatif ve sürdürülebilir bir plastik endüstrisi ile Avrupa'nın ekonomik gelişimine fayda sağlanırken, aynı zamanda AB'nin sera gazı emisyonlarını ve ithal fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya katkı sağlanır. Avrupa'nın değişen plastik ekonomisi için politikası şu şekildedir;

- Plastikler ve plastik içeren ürünler, dayanıklı, yeniden kullanım ve kaliteli geri dönüşüme uyumlu şekilde tasarlanmalıdır. 2030 yılına kadar, AB pazarına ait bütün plastik ambalajlar yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir olmalıdır.
- Üretim ve tasarımdaki değişiklikler ile daha fazla plastik geri dönüşüm oranı sağlanır. Plastik ambalaj atığının geri dönüşümünün diğer ambalaj malzemeleri ile karşılaştırılabilir seviyelerde olması sağlanarak 2030 yılına kadar Avrupa'da üretilen plastik atıkların yarısından fazlası geri dönüştürülebilmelidir.

- Yeterli miktarda plastik geri dönüşümü sayesinde Paris Anlaşması kapsamındaki taahhütler doğrultusunda, Avrupa'nın ithal fosil yakıta bağımlılığını azaltarak CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olunacaktır.
- Mikro plastiklerin okyanuslara, denizlere, atmosfere, içme suyuna temasını önlemek için yenilikçi çözümler geliştirilecektir.
- AB, okyanuslara plastik akışını durdurmak için angaje olan ve iş birliği yapan ve zaten birikmiş plastik atıklara karşı iyileştirici önlemler alan ülkelerle küresel bir dinamikte lider bir rol üstlenmektedir.
- AB plastik geri dönüşüm hacmi önemli ölçüde artırılmış ve yenilenmiştir. 2030 yılına kadar, ayırma ve geri dönüşüm hacmi tüm Avrupa'ya yayılarak 200.000 yeni iş olanağı sağlayacaktır.
- Biyolojik olarak parçalanabilen ve komposta uygun plastikler tasarlamak için çözümler araştırılmaktadır. Organik atıkları ayrı toplamak için gübrelenebilir plastik poşetlerin kullanılması gibi hedeflenen uygulamalar olumlu sonuçlar göstermiştir ve belirli uygulamalar için yöntemler geliştirilmektedir (European Commission, 2018).

2.2. Ulusal Mevzuat

Ülkemizde plastik atıkların yönetimini sağlamak amacıyla, Avrupa Birliği'nin Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Hakkında Avrupa Parlamentosu ve Konsey direktifine paralel olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" 27.12.2017 tarih ve 30283 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı; çevresel açıdan belirli kriterlere, temel şart ve özelliklere sahip ambalajların üretimine, ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yöntemleri kullanılarak bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, ambalaj atıklarının çevreye zarar verecek şekilde doğrudan ve dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesine, ambalaj atıklarının belirli bir yönetim sistemi içinde, kaynağında ayrı biriktirilmesi, toplanması, taşınması, ayrılmasına ve geri dönüşümüne ilişkin teknik ve idari standartların oluşturulmasına, yönelik prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenmesidir.

Bu Yönetmelik; piyasaya sürülen bütün ambalajları ve bu ambalajların atıklarını kapsar. Defolu ürünler, fireler, piyasaya sürülmemiş ambalajlar ve benzeri üretim

artıkları, bu Yönetmelik kapsamı dışındadır. 2/4/2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde yer alan tehlikeli atık tanımına uyan ambalaj atıklarının yönetimi, ilgili mevzuat hükümlerine göre gerçekleştirilir. Kullanımları sonrasında bu kapsamda yer alan ambalajların bildirimleri ekonomik işletmeler tarafından ambalaj bilgi sistemi üzerinden yapılır, ancak söz konusu ambalaj atıkları bu Yönetmelik kapsamında geri dönüşüm/geri kazanım hedeflerinden muaftır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Korona virüs salgınının Çin sınırlarını aşarak küresel ölçekte hızla yayılması sonucunda imalat sanayinde mart ayının ortalarına doğru talep kaynaklı bir gerileme söz konusu olmuştur. Ambalaj sektörü çoğunlukla endüstriyel ve gıda ambalajı ürettiğinden dolayı salgının ülkemizin plastik piyasasına farklı etkileri olmuştur. Endüstriyel alanda üretimin azalmasından dolayı bir gerileme görülmekle birlikte nihai tüketiciye hitap eden kullan-at odaklı ambalaj ve film sektöründe ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Salgının yayılması ile plastik ambalajların hijyen ve toplum sağlığı açısından üstlendiği rol daha çok önem kazandığından dolayı bu tarz ürünlere olan istek de artmıştır. Özellikle kolonya ve antiseptik solüsyon şişelerine olan talepteki hızlı artış sonrası sektör firmaları üretimi yetiştirmekte zorluk yaşamışlardır (PAGEV, 2020).

Avrupa’da 2000 yılından beri uygulanan ücretli poşet kullanımı ülkemizde de 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren birim fiyatı 25 kuruş olarak Sıfır Atık Yönetmeliği kapsamında uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde, kişi başına yıllık plastik poşet tüketim miktarının (kişi başı dört poşet) en az olduğu ülkeler Danimarka ve Finlandiya’dır. Almanya’da 2016 yılında kişi başına yıllık 45 poşet tüketilirken, ücretli poşet uygulaması ile bu oran 2017 yılı itibarıyla 29’a düşmüştür. Türkiye’de ise bu uygulama ile plastik poşet kullanımının %70 oranında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca belediyelerin bünyesinde kaynaktan ayrı toplanan atık sistemlerinin de etkin bir şekilde yönetilmesi ile arzu edilen atık yönetim hedeflerine ulaşılabileceği düşünülmektedir (ISO-Sanayi, 2020).

Buna ek olarak, ülkemizde 12/07/2019 tarih ve 30829 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliği ile hammadde ve doğal kaynakların etkin yönetimi ile sürdürülebilirlik bakış açısıyla atık yönetimi süreçlerinde çevre kaynaklarının ve toplum sağlığının korunmasını hedefleyen sıfır atık yönetim sisteminin kurulmasına, yaygınlaştırılmasına, geliştirilmesine, izlenmesine, finansmanına, kaydı

tutularak belgelendirilmesine yönelik genel ilke ve esasların belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu yönetmelik ile ayrı olarak biriktirilen atıkların karıştırılmadan toplanması ve öncelikle geri dönüşüm/geri kazanımlarının sağlanması, mümkün olmaması halinde ise çevre kirliliğine yol açmayacak şekilde nihai bertaraflarının sağlanması, atıkların maddesel veya enerji geri kazanımı amacıyla kullanılarak ekonomiye kazandırılması yaklaşımının öncelikli tercih edilmesi ve düzenli depolamaya gönderilen atık miktarının azaltılması, sıfır atık yönetim sistemi için idari, mali ve teknik açıdan verimlilik, sürdürülebilirlik ve halkın katılımı ilkeleri, bakanlık ve il müdürlüğü koordinasyonunda ilgili kurum ve kuruluşların işbirliği içerisinde bulunarak sıfır atık yönetim sisteminin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması, etkin bir şekilde uygulanması amacıyla bilinç ve farkındalık oluşturulması, çevreye duyarlı tutum, davranış ve faaliyetlerin teşvik edilerek desteklenmesi esas alınmıştır.

Sıfır atık yönetim sistemi kapsamında; evlerden ya da içerik/yapısal olarak benzer olan ticari, endüstriyel işletmeler ile kurumlardan kaynaklanan tehlikesiz olarak tanımlanan geri kazanılabilir kağıt, cam, metal, plastik atıklar diğer atıklardan başka biriktirme ekipmanında biriktirilir ve ayrı olarak toplanır. Kağıt, cam, metal ve plastik atıklar tek bir ekipman içerisinde biriktirilebileceği gibi malzeme cinslerine göre ayrı biriktirme de yapılabilmektedir.

Ayrıca ülkemizde 31/12/2019 tarih ve 30995 Sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Geri Kazanım Katılım Payına İlişkin Yönetmelik ile 09/08/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu listesinde yer alan ürünlerden plastik poşetler için satış noktalarından, diğer ürünler için piyasaya sürenlerden/ithalatçılardan tahsil edilecek geri kazanım katılım paylarının belirlenmesine, beyan edilmesine, tahsilatına ve izlenmesine, plastik poşetler için satış noktalarınca, diğer ürünler için piyasaya sürenlerce/ithalatçılarınca uyulacak hükümlere, ilişkin idari ve teknik usul ve esasları belirlenir. Bu yönetmelik kapsamında yer alan ürünlerden sadece yurt içinde piyasaya arz edilenlere geri kazanım katılım payı uygulanmaktadır. Geri kazanım/geri dönüşüm yolu ile elde edilenlerden bu Yönetmelik kapsamında yer alan ürünler için de geri kazanım katılım payı alınır. Plastik poşetlerin özellikleri, ücretleri, satışı, beyanı, geri kazanım katılım payı tahsili ile izleme, kontrol ve denetim işlemlerinin Bakanlıkça belirlenen usul

ve esaslar doğrultusunda gerçekleştirilmesi esas alınmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Yetkilendirilmiş kuruluş/piyasaya sürenler, 01/01/2026 tarihine kadar 2020 yılı için belirlenen oranlardan az olmayacak şekilde, 01/01/2031 tarihine kadar da 2026 yılı için belirlenen oranlardan az olmayacak şekilde Tablo 2.1’de verilen oranlarda malzeme bazlı yıllık geri dönüşüm hedeflerini yerine getirmekle yükümlüdürler.

Tablo 2.1. Üreticiler için yıllık geri dönüşüm oranları (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017)

Yıllar	Malzeme Bazlı Yıllık Geri Dönüşüm Oranı (%)				
	(Yeniden kullanıma hazırlama dahil)				
	Cam	Plastik	Metal	Kağıt/Karton	Ahşap
2026’ya kadar	54	54	54	54	11
2031’e kadar	54	54	54	54	13
2031 ve sonrası	60	54	55	60	15

Bakanlık, ambalaj atıklarının yönetimi hususunda Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’nde gerekliliği bulunan bütün taraflar ile gereken önemleri alarak 2018’den itibaren ülke çapında en az Tablo 2.2’de verilen oranlarda malzeme cinsine bakılmaksızın toplam geri dönüşüm ve geri kazanım hedeflerini yerine getirmekle yükümlüdürler.

Tablo 2.2. Üreticiler için toplam geri dönüşüm ve geri kazanım hedefleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017)

Yıllar	Toplam Geri Kazanım Oranı (%)	Toplam Geri Dönüşüm Oranı (%)
2018	56	54
2019	58	54
2020- 2025 yılları arasında her bir yıl için (2025 dahil)	60	55
2026- 2030 yılları arasında her bir yıl için (2030 dahil)	-	65
2031 ve sonrası	-	70

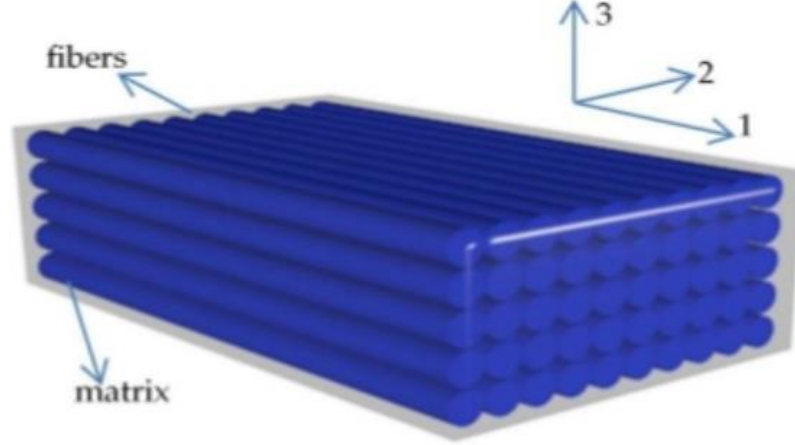
Yetkilendirilmiş kuruluşlar aracılığıyla belirlenen hedeflerin en az %80'inin ayrı toplama sistemi ile toplanan sanayi işletmelerinden kaynaklananlar hariç diğer ambalaj atıklarından sağlanması gerekmektedir. Ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanması çalışmaları belediyelerle birlikte ambalaj atıkları yönetim planları doğrultusunda gerçekleştirilir. Kompozit ambalajların geri dönüşüm/geri kazanım hedeflerinin gerçekleşmesi için; birim ambalajın içeriğinde var olan ve kütlece daha fazla bulunan malzemenin cinsine ait amaca yönelik kompozit malzeme toplanmaktadır.

Kullanım süresi bir yıl ve daha az olan kullan-at plastiklerin kullanımları aşamalı olarak azaltılarak plastik talebi 2030 yılına kadar %40 oranında düşürülebilir. Plastik tüketiminin azaltılmasıyla, ikincil plastik hammadde talebi artarak 2030 yılına kadar yeni plastik üretimi %50 oranında düşürülebilir. Kullan-at plastiklerin tüketimini azaltmak atık sistemi üzerindeki yükü azaltarak plastik atık üretimini 188 milyon metrik tona kadar düşürebilecektir. Bu plana sadık kalındığı sürece plastik atık üretiminde %57 oranına kadar azalma gözlenebilir. Asgari miktarda ikincil hammadde kullanımı getiren yasalar çıkarmak devletler için hem etkin hem de ekonomik bir yöntem olabilir. İkincil hammadde kalitesini artırmak için, geri dönüşümde yeniliği destekleyen araştırmalara gereksinim vardır (WWF- Türkiye, 2019).

3. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE KOMPOZİT ATIKLAR

Kompozit atıklar; plastik, kağıt, metal, cam, ahşap gibi karışımların oluşturduğu yoğunluğu yüksek olan atıklardır. Kompozit atıklara örnek olarak; karton süt/ meyve suyu kutuları, çikolata ambalajları, hazır çorba ambalajları, tek içimlik kahve/çay ambalajları verilebilir. Kağıt ve plastiğin harmanlanmasından elde edilen kompozit ambalajlar içecek kutularında sık olarak tercih edilirken, kullanım sonrası tekrardan aynı yoğunlukta kompozit atık oluşmaktadır. Kompozit atıklar yoğunluğu fazla olan atıklar oldukları için, doğru yönetilmedikleri takdirde çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedirler. Ülkemizde yüksek kalorifik değere sahip olan kompozit atıklardan çimento işletmelerinde yakıt olarak yararlanılmakta (http-1, 2020) ve dünyada olduğu gibi kompozit, polimerik, nano teknolojik gibi işlevsel malzemelerin ve bu malzemelerin kullanıldığı çalışma alanlarının önemi giderek artmaktadır (Kılıç, 2008).

Kompozit malzemeler aslında düşük dayanımı bulunan ana matris fazı ile bu faz içinde dağılmış takviye fazından oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kompozit malzeme matrisi (http 2, 2020)

Kompozit malzemelerin iç yapılarına bakıldığında bileşenler tanınarak ayırt edilebilirken, makro boyutta homojen yapıda olmalarına rağmen mikro boyutta heterojen yapıda bulunurlar. Kompozit malzemeler ufak ölçekte homojen olan karışımlardan bu özelliği ile ayrılmaktadır. Kompozitlerde ek malzeme olarak çeşitli yapılarda malzemeler kullanılmaktadır. Malzemeye verilen yükü kolayca taşıması, matrisin dayanıklılığını ve sertliğini artırması takviye malzeme kullanımının asıl nedenidir. Kompozit malzeme

içinde matrisin işlevi ise, genellikle ufalanmaya ve kırılmaya müsait olan takviye elemanlarını dış ortamdan korumak, kompozit malzemeye verilen ağırlığı takviye malzemelerine yöneltmek ve bütün kompozit yapıyı bir arada tutmak olarak tanımlanabilir.

Kompozit malzeme olarak değerlendirilen malzemelerin, belirli bir tasarım için bir araya getirilirken kullanılan yapıların birbiri içinde ayrışmaması ve hiçbirinin kendi başına sahip olmadığı nitelikleri içinde barındırabilen malzeme olması gerekmektedir (Sönmez, 2009).

3.1. Kompozit Malzemelerin Yapısı

Genellikle malzemeler; metal, seramik ve organik malzemeler olmak üzere üç temel sınıfta gruplandırılmaktadır. Teknolojik yeniliklere dayanarak, bu malzemelerin birden fazlasının kuvvetli niteliklerini tek bir malzemenin çatısında makro ölçekte toplayarak üretilen yeni malzeme kompozit malzemedir.

Kompozit malzemeler genel olarak standart malzemelerin aşağıda belirtilen bazı özelliklerini güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bunlar;

- Dayanıklılık,
- Korozyon dayanımı,
- Termal mukavemet,
- Elektrik iletkenliği,
- Ağırlık,
- Estetik görüntü,
- Fiyat.

Yukarıda belirtildiği gibi kompozit malzeme ana matris fazı ve bu fazın içine dağılmış takviye unsurlardan oluşurken, takviye ve ana malzeme olarak çoğunlukla cam, seramik, plastik ve metaller tercih edilmektedir. Matris faz, malzemeye uygulanan gücü ara yüzey bağı yardımıyla takviye edici yapıya ileterek yayılmasını sağlayarak yıkımı önler. Matris malzemelerin mekanik özellikleri sayesinde kompozit malzemelerin takviye elemanları işlevlerini daha rahat bir şekilde yerine getirirler. Üretim aşamasında matris fazın tane boyutunun kontrol edilmesi ve aktarılan yüklerin paylaşılmasına karşı koymak takviye fazın görevidir. Matris faz ve takviye malzemesi için bağlayıcı konumunda olan ara yüzey bağı, hassas yapıda olmasına rağmen oluşan rastgele bir kuvveti çözülme ve

kırılma olmadan takviye fazına aktarır. Bu bölge malzemenin esneklik parçasını etkileyen en etkili alan olduğundan, kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasıyla ilişkilidir (Kaya, 2016).

Seramik matrisli kompozit malzemelerin üretiminde çeşitli süspansiyonlar kullanılmaktadır. Toz halindeki seramik matrisin bu süspansiyonlarda dağılımını engellemek için sürekli karıştırmak gereklidir. Bu süspansiyonlarda meydana gelen viskozite değişikliklerinin önüne geçilmesi için parafin vaks gibi dispersiyon ve stabilizasyon yardımcı maddeleri kullanılmaktadır (Allaire vd., 2009).

Polimer matrisli kompozitlerden olan termoplastik kompozitlerin termal enerji depolama sistemlerinde kullanıldığında yapılarında bağlayıcı malzeme olarak polimer lifleri geliştirmek için parafin vaks kullanılmaktadır (Fredri vd., 2019). Bu tez çalışmasında da parafin vaks içeren kompozit atıklar ele alınmıştır.

3.2. Parafin Vaks

Kimyasal formülü C_nH_{2n+2} ($n>16$) olan parafinler, organik ağır hidrokarbon sınıfından olan mineral yağ (petrol) ürünleridir ve ağır alkanlar olarak da bilinirler. Parafin ve mikro kristalin vaks, değerli petrol rafinerisi ürünleridir. Parafin vaksler esas olarak normal alkanların karışımlarından oluşur. Parafin vaksın içerdiği normal alkan miktarı çoğunlukla %75'in üzerindedir ve %100'e ulaşabilir, geri kalan kısmı genellikle izo-alkanlar, siklo-alkanlar ve alkil benzenden oluşur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Parafin vaks ([http- 3](http-3), 2020)

Parafin hidrokarbonlar, rafinerinin hem yan ürünü hem de birincil ürünü olabilir. Saf parafinler yalnız alkan içermektedir. İlk dört alkan (metandan bütana kadar) oda koşullarında ve atmosfer basıncında gazdır. Karbon sayısı 5 ile 17 arasındaki bileşikler sıvılardır ve molekül başına 17'den fazla karbon atomu olan bileşikler 25 °C'de mum yapısındaki katılardır (Himran ve Mansoori, 1994).

Karbon sayısı 20-30 arasında değişen parafin vakslar, asıl hedefi madeni yağ üretimi olan rafinerilerde ham petrolün ayrışabilen farklı unsurlarından elde edilir. Vakslar yan ürün olarak ayrılırlar. %10-14 madeni yağ içeren ham vaks karışımı, parafini değerlendiren tesislerde moleküllerin farklı erime noktalarından yararlanarak fraksiyonlu bir sürecinde işlenir. Üretim sürecinde ilave katkı maddesi kullanılmazken, beyazlatıcı ve koku giderici rolündeki toprak da filtrelerden süzülerek toplanır. Elde edilen ürün makro kristal forma sahiptir (http-4, 2020)

Parafin vakslar yüksek gizli füzyon entalpisi, göz ardı edilebilir süper soğutma, düşük buhar basıncı, kimyasal olarak tepkime vermeyen, kararlı, kendi kendine çekirdeklenme, faz ayrımı ve ekonomik anlamda istenilen niteliklerinden ötürü termal depolama alanları için faz değiştirme malzemeleri olarak tercih edilmektedirler. Erime sıcaklığı 30 ile 90 °C aralığında değişen parafin vakslar için karbon atomu zincir uzunlukları 18 ile 50 (C18-C50) arasındadır. Karbon atom zincirlerinin artan uzunluğu moleküler ağırlığı fazlaştırır ve malzemenin erime sıcaklığının artmasını sağlar. Parafin vaksların özgül ısı miktarı yaklaşık 2,1 kJ/kg.K ve eriyik entalpisi de 180 ile 230 kJ/kg'dır.

Polimer içeriklerle karıştırılmış parafin vakslar, güneş enerjisinin termal depolanması, elektronik cihazların termal koruması, gıda ve tıbbi ürünlerin termal koruması, biyoklimatik binalarda pasif depolama gibi çeşitli alanlarda akıllı polimerik faz değişim ürünlerinin yapılması için tercih edilen uygun malzemelerdir (Krupa vd., 2007).

Parafin vaksların en belirgin özelliği düşük tepkime hızı ve suya karşı aşırı ilgisiz olmalarıdır. Ayrıca parafin vakslar aşağıda belirtilen özelliklere de sahiptirler;

- Tepkime vermez,
- Toksik etkisi yoktur,
- Su geçirmez,
- Yakıt olarak değerlendirilir.

Parafin vaks; ambalaj paketi, mum, cila, kauçuk gibi pek çok alanda kullanılır. Dekoratif mumlarda uygulanması için vaks yanıcı olmalı ve muma sert bir yapı sunmalıdır; kağıt içecek kabının kaplanması için vaks sızıntı miktarını minimum düzeye indirmek için düşük bir sıcaklık uygunluğunda olmalıdır. Vaksın niteliği, proses anında uygun değişkenlerin seçimi ile yüksek oranda kontrol edilirken aynı zamanda üretici hidrokarbon karışımının içeriğini denetleyerek vaks oluşturur ve istenilen özelliği belirlemek için bileşenlerin dağılımını yönlendirir (Turner vd., 1955).

Parafin vaks ile kaplanan kağıtlar ve kutular, ekmek, tahıl gibi ürünlerin ambalajlarında uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu tarz vaks içeren kaplamalar, vaks filmlerinin su buharının iletimine yüksek mukavemeti sebebiyle gıdaların tazeliğini uzun zaman korumayı sağlar (MacLaren, 1950). Ambalaj sektöründe plastiklerin yeri ayrı olsa da selüloz bazlı kağıt, karton ve mukavva da önemli ambalaj paketleme malzemesidir. Parafin vaks içeren katkı maddeleri kağıt, karton ve mukavvanın içeriklerini iyileştirmek için kullanılır. Parafin vaksın direkt olarak uygulama alanlarında kullanımı ambalaj sanayisi tarafından olmaktadır. Bunun nedeni ise parafin vaksın kolay erişebilir ve ucuz olmasıdır. Parafin vaks kağıt endüstrisi için kullanıldığında; kalıcı parlaklık, buhar geçirimsizliği, kolay yapışma gibi özellikler vermektedir (http-5, 2021).

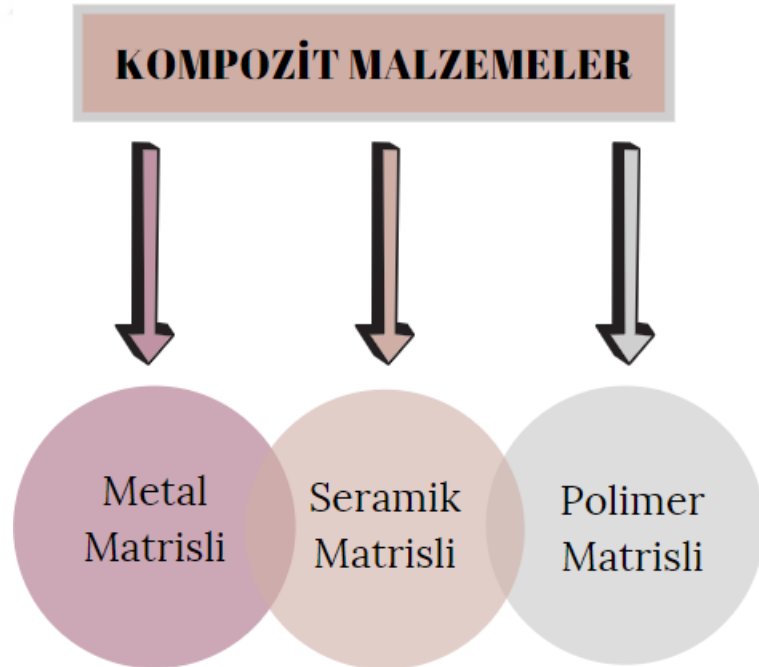
Parafin vaksın kullanıldığı çeşitli endüstrilerden bazıları şunlardır:

- **Tarım:** Gübre endüstrilerinde dozajlama ve taşıma işlemlerinde uygulanmak üzere topraklanmayı önleyen katkı maddeleri olarak kullanılır.
- **Gıda:** Peynir, turunçgiller gibi gıdalar için güzel bir kaplama oluşturur.
- **Kauçuk:** Ozondan izole edilerek çatlamaya karşı korunmasına yardımcı olan lastiklerin üretiminde kullanılır.
- **Elektrikli cihazlar:** Elektrikli düğmelerin ve cihaz kablolarının yalıtımı için kullanılır.
- **Farmasötikler ve Kozmetikler:** Yüzeylerini koruma amaçlı tabletleri kaplamak için kullanılır, ayrıca çeşitli ruj, krem, macun ve losyonlarda önemli bir bileşendir.
- **Kibritler:** Kibrit çöpü kutusu aydınlatma şeritlerine parafin uygulanması, yanmalarını ayarlamaya destek olur.

- **Kumaş:** Bütün kumaşlar yumuşaklık ve esneklik sağlayan vaks benzeri kaplamalara sahiptir. Ayrıca, temas ve sürekli kullanım, vaks yapısını zedelediğinden tekrar kaplanmalıdır.
- **Kağıt:** Pek çok yiyeceği korumaya yardımcı olur. Ayrıca, kağıt iyi bir yalıtım niteliğine sahip olmadığından, kokuların, mikroorganizmaların ve nemin varlığını gidermek için parafin vaks ile kaplanmalıdır (http-1, 2020).

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Olumlu ve olumsuz yanlarının, üretim şekilleri ve kullanım alanlarının daha iyi anlaşılabilmesi için kompozitleri gruplayarak incelemek daha faydalı olacaktır. Kompozitler genellikle iki farklı şekilde sınıflandırılır: kompozit yapısını oluşturan malzemelere göre ve yapım yöntemlerine göre. Yapım yöntemlerine göre sınıflandırma ile farklı nitelikteki kompozitlerin aynı alt grupta olması sağlandığından kompozit malzemeleri, matris malzemelerine göre sınıflandırarak incelemek daha mantıklıdır (Şekil 3.3) (Sönmez, 2009).



Şekil 3.3. Kompozit malzemeler

3.3.1. Metal matrisli kompozitler

Ekonomik olarak uygun ve kaliteli malzeme üretimine ilginin giderek artması, metallerin matris malzemesi olarak tercih edilmesinin önemli nedenlerindendir. Metalik kompozitler hakkında yapılan araştırmalar genellikle; yüksek sıcaklık aralıklarında kullanıma uygun, dayanıklı ve sert malzemelerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak genellikle alüminyumun seçilme nedeni ise; düşük yoğunluğa sahip olması, kolay ulaşılabilirliği, ekonomik oluşu ve farklı alaşım formlarında bulunabilmesidir. Kompozit malzeme sınıfı içinde metal matrisli kompozitlerin önemi büyüktür. Bu durumun en önemli sebebi, malzemelerin güçlü dayanıklılık gibi ana niteliklerinin yanında çeşitli mühendislik malzemeleri ile karşılaştırıldıklarında çok daha iyi özellik göstermeleridir. Metal matrisli kompozitler direnç/ağırlık oranı en az olan malzeme olduğundan ağırlığın istenmediği proseslerde mesela otomotiv endüstrisinde güzel bir fırsat olmaktadır (Deniz, 2005).

3.3.2. Polimer matrisli kompozitler

Süper fiber takviyeli polimer matrisler, termoset ve termo plastikler olarak iki grupta incelenirler. Fiber takviyeli polyester ve epoksi reçineli matrisler bu kompozit gruplarında en çok değer verilenlerdendir. Genellikle cam, fiber, bor ve karbon fiber gibi çeşitli takviye malzemeleri kullanılırken üretim yöntemi olarak ise sıvama, tel sarma, enjeksiyon ile kalıplama, ekstrüzyon gibi metotlar tercih edilmektedir. Polimer matris kompozitler yaygın olarak; korozyon dayanımı nedeniyle denizcilik uygulamaları, hafifliği nedeniyle otomotiv ve taşımacılık endüstrileri ile spor malzemeleri, yanmazlık özelliği istenen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlara kullanılmaktadır (Güneş, 2010).

3.3.3. Seramik matrisli kompozitler

Yüksek sıcaklık uygulamalarında polimer matrisli kompozitler hidrokarbon yapıları nedeniyle tercih edilmezken, bu tarz uygulamalar için seramik malzemeler ek bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Seramik malzemeler düşük yoğunluklarından dolayı hafif, yüksek oksidasyon mukavemetleri nedeniyle de yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya uygun malzemelerdir. Seramik malzemelerin çatlamalara karşı fazla hassas davranmaları; yüksek sıcaklık direnci, düşük yoğunluk, kararlılık ve aşınma mukavemeti gibi birçok değerli özelliklerinin geri planda kalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple de savunma sanayi ve havacılık gibi sermayesi yüksek pek çok uygulama alanında kullanımları kısıtlanmaktadır. Geçtiğimiz senelerde seramik uygulamalarında yapılan sistematik

çalışmaların daha çok seramik matrisli kompozit malzemeler ve çatlağa karşı daha düşük hassasiyete sahip mikro yapılar üzerine olduğu gözlemlenmektedir (Kalemtaş, 2015).

3.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Bütün malzemeler kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle çeşitlilik gösterdiği için uygulandıkları alanlar da birbirlerinden farklıdır. Bir malzeme için geçerli olan metot bir başka malzeme için geçerli olmayacağından dolayı üretim aşamasında hangi malzeme kullanılıyorsa, o malzeme için uygun olan üretim metotlarının kullanılması gereklidir. Kompozit malzemeler birden çok malzemenin birleştirilmesiyle oluştuğu için, kompozit malzemelerin üretim yöntemleri diğer malzemelerin üretim yöntemlerine göre değişiklikler göstermektedir. Örneğin; metaller talaşlı işlemeye uygunken, kompozit malzemeler çoğunlukla içerdikleri takviye malzemelerinin talaşlı işlemede zarar görmesi sonucu bu tür bir üretim metoduna elverişli malzemeler değildir. Kompozit malzemeler; metal, polimer ve seramik matrisli olarak gruplanabildiklerinden her grubun üretim tekniği değişebilmektedir (Sönmez, 2009).

3.4.1. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerin üretim aşamasında farklı matris ve takviye malzemelerin uygulanması, kullanılan tekniklerin de çeşitlenmesine neden olmuştur. Üretim yönteminin belirlenmesinde, üretimi gerçekleştirilecek metal matrisli kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilmelidir. Değerlendirme sürecinde aşağıdaki değişkenler göz önünde bulundurulur:

- Çalışmanın yapılacağı sıcaklık değeri,
- Takviye edilen malzemenin şekli,
- Kullanılan matris malzemesi ile takviye edilen malzeme arasındaki uygunluk,
- Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem ihtiyacı,
- Matris ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar,
- Elde edilecek üründen istenen boyut,
- Matris malzemesi içerisine takviye edilen malzemenin homojen ayrışması,
- Matris-takviye ara yüzey bağının tamlığı.

Metal matrisli kompozitler; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve diğer yöntemler olarak sınıflandırılır (Uraylı, 2018). Sıvı hal metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan seramik kırıntılar çeşitli yöntemler ile matris fazına eklenmektedir. Üretim aşamasında takviye elemanı olarak seçilecek seramik malzemenin ıslatılabilir olması gerekmektedir. Bu yüzden pek çok seramik takviye elemanı eriyik metal tarafından istenilen oranda ıslatılamadığı için ön işleme ihtiyacı duyulmaktadır. Sıvı metal emdirmesi, sıkıştırılmalı döküm ve sıcak presleme teknikleri metal matrisli kompozitlerin üretiminde tercih edilmektedirler.

3.4.2. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Takviye malzemesinin uygun yöntemler kullanılarak matris malzemesi ile harmanlanarak yeterli basınç ve sıcaklık koşullarında polimer bazlı matris malzemesinin toparlanarak sertleşmesi ile polimer matrisli kompozitlerin üretimi gerçekleşmektedir. Polimerizasyon sürecinde basınç, sıcaklık ve sürenin uygun şekilde ayarlanması ile üretimi yapılacak ürünün kalitesi belirlenir. Üretim sürecinde, takviye malzemesinin ıslanabilirliğine ve matris içinde uygun bir biçimde yapılandırılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Açık veya kapalı kalıpla üretimi yapılan polimer matrisli kompozitlerin en çok tercih edilen açık kalıplama metodu ise el yatırma ve püskürtme tekniğidir. Kapalı kalıpla üretimde ise; santrifüj yöntemi, vakumla kalıplama, pres kalıplama ve otoklavda kalıplama teknikleri tercih edilir. Kompozit malzemelerin üretim metotlarında, her kompozit malzeme türü için dolgu ve takviye elemanlarının, oluşturulması istenen ürüne göre uygun bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Üretim aşamasındaki en önemli problem de bu düzenlemenin uygun kalite ve üretim ekonomisi ile güzel bir şekilde yapılabilirliği aşamasıdır. Buna ek olarak, ürün için uyumlu üretim tekniklerinin belirlenmesinde üretim miktarı, ürünün boyutu, formu ve sonuç performansı çok önemlidir. Özellikle kompozit üretim sürecindeki zorlukları engelleyecek yeniliklerin ve kompozit üretim metotlarını içeren verilerin başka malzeme çeşitlerine göre gelişmekte olmasından ötürü geliştirilen veri ağının yaygın olmayışı kompozit üretiminin önündeki engellerdir.

3.4.3. Seramik matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Takviye malzemeleriyle direnç kazanan polimerlerin hidrokarbon yapıları nedeniyle yüksek sıcaklık koşullarında kullanımları tercih edilmemektedir. Metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklık koşullarında polimer matrisli kompozitlere tercih edilirken,

seramik matrisli kompozitler de hafif oluşları ve oksidasyon mukavemetleri nedeniyle metal matrisli kompozitlere göre uygun bir seçenek olmuşlardır. Seramik malzemeler sert, kırılgan ve düşük tokluktadırlar bu yüzden çok düşük kopma uzaması sergilerler. Ayrıca çok yüksek esnekliğe sahiptirler ve yüksek sıcaklıklarda çalışabildiklerinden termal şoklara kolay maruz kalırlar. Takviye malzemeler sayesinde daha dayanıklı hale gelen seramiklerde takviye malzemelerinin türleri, malzemenin özelliklerinde ve üretim metotlarında büyük öneme sahiptir. Bant döküm metodu, eriyik matris sıcak presleme metodu, enjeksiyon metodu sık tercih edilen seramik matrislerin üretim yöntemleridir (Sönmez, 2009).

3.5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler uygulanacakları forma göre takviye malzemesi seçiminde hafiflik, mukavemet, sertlik, yorulma direnci, elektrik ve ısı iletkenliği, ekonomiklik gibi ölçütlere önem vermektedir. Matris elemanı belirlenirken fiberler arasında gerilimi sağlaması, fiberleri aşınma, oksidasyon ve ortam koşullarına karşı koruması tercih edilir. Yapımında kompozit malzeme kullanılan ürünlerin planlama aşamasında kullanılacağı uygulama alanı ve bu alandaki gereksinimlerinin neler olduğunun saptanması gereklidir. Bu aşamada maliyet, ham malzeme özellikleri, evre koşullarının ürüne etkisi, imalat süreci gibi pek çok element bir arada yönetilmelidir. Planlama aşamasındaki gklerden birisi de kompozit malzemelerin eş yönsüz özellikler sergilemesidir. Buna ek olarak, yapım aşamasında nesneye her yönden ne oranda yk bineceğini ve nesnenin hangi bölgede ne kadar dirence gereksinimi olduğunu fark ederek, fiberlerin yerleşme noktalarını ona uygun seçmelidirler.

3.5.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemelerin özgül ağırlıklarının yüksek olmayışı, onları hafif yapılar için iyi bir seçenek haline getirir. Ayrıca, fiber takviyeli kompozit malzemeler aşınmaya karşı direnç, ısı, ses ve elektrik yalıtımı sağlamalarından dolayı farklı birçok kullanım alanında tercih edilmektedirler. İstenmeyen zelliklerin giderilmesi ile de kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerine tercih edilmeye başlanmışlardır. Yüksek direnç, kolay biçimlenme, gelişmiş elektriksel nitelikler, ısıya dayanım, titreşim sönümleme, aşınmaya ve kimyasal etmenlere karşı dayanıklı olması kompozit malzemelerin olumlu yönlerindendir. Kompozit malzemeler elik ve alüminyuma göre de pek çok avantaja sahiptir. Bu sebeple kimyasal madde depolarında, karayolu tankerlerinde, bina cephe ve

panolarında, otomotiv sektöründe, deniz araçlarında, ev eşyalarında, tarım araçları gibi pek çok sanayi alanında kompozit malzemelerin kullanımı tercih edilmektedir.

3.5.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları

Malzeme üretim maliyetinin fazlalığı, lamine edilmiş kompozitlerin niteliklerinin koşullara göre değişmesi, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme direncine sahip olması kompozit malzemelerin olumsuz özelliklerindendir. Malzemenin kalitesi de üretim yöntemlerinin niteliklerine bağlı değişmektedir. Kompozitler kolayca ufalanan malzeme olduklarından ötürü hemen zarar görebilirler. Malzemeler kısıtlı raf sürelerine sahip olmalarından dolayı bazı kompozitlerin soğutularak muhafaza edilmeleri gerekir. Zarar gören kompozitler bakımı yapılmadan önce temizlenerek kurutulmalıdır (Muzoğlu, 2018).

3.6. Kompozit Malzemelerin Teknolojik Özellikleri

3.6.1. Kompozit malzemelerin yalıtım özellikleri

Yalıtım, mimari yönden bakıldığında, günlük hayatımıza, ekonomiye ve ekolojik sisteme sağladığı yararlar nedeni ile sektörün vazgeçilmez bir ögesidir. Bu yüzden yalıtım, yapı ve içindeki unsurları ses, yangın, soğuk ve sıcaklığın etmenlerinden korumak için alınan önlemler olarak tanımlanabilir. Elverişli yalıtım yöntemlerinin amacı hem yapıyı hem de içindeki nesne ve canlılara zararlı olabilecek etmenlerden sakınarak, yaşanılan alanda uygun koşulların sağlanmasıdır.

3.6.1.1. Isı yalıtımı

Isı yalıtımı ile yapı bileşenleri mevsim değişikliklerine karşı dış etkilere korunarak yapı parçaları üzerinden geçen ısı enerjisi miktarı ayarlanır. İnşaat uygulamalarında betonarme taşıyıcı yapı olarak kullanılması, duvarların incelmeye sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yapılarda; ısı, nem, ses ve yangın sorunları ortaya çıkmıştır. Isı, çeşitli sıcaklık aralıklarındaki alanlarda sürekli sıcaktan soğuğa doğru geçerek kararlı ortam oluşturur. Yalıtım malzemeleri bu ısı geçişlerine, ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına göre değişen bir dayanım gösterirler. Farklı bir deyişle, ısı yalıtımı, ısı geçişini minimize eden bir mukavemet olduğundan bu duruma sebep olan malzemeler de “ısı yalıtım malzemesi” olarak tanımlanırlar. Isı yalıtım malzemeleri, yeterli boşluk düzeyine, düşük yoğunluğa ve az neme sahip oldukları zaman beklenen verimi gösterebilirler. Yalnız ısı iletkenliği özelliğine göre tasarlanan yalıtım

malzemesi yeterli olmadığı için avantajlı bir yalıtım malzemesi eş zamanlı olarak ses ve yanma geciktiriciliği görevini de üstlenmelidir.

3.6.1.2. Ses yalıtımı

Fiber formda veya açık gözenekli yapıda olan malzemeler ses yalıtımı için uygundur. Eğer ses elyaf ile kaplanan bir yüzeye çarparsa, yapıdaki gözenekli yapı sesin bir bölümünün ısı enerjisine dönüştürür. Liflerin ince veya sık yapıda olması malzemenin sesi hapsedme kapasitesini etkileyerek titreşim hareketlerini de yönlendirir.

3.6.1.3. Yangın yalıtımı

Yangın yalıtımı, yangının çıkabilmesi için gereken yanıcı madde oksijen, tutuşma sıcaklığı arasındaki ilişkidir. Fiziksel ve kimyasal bir reaksiyon sonucu gerçekleşen yangın oksijen ile tepkimeye girerek ışık ve ısı yayılımı oluşturur. Ayrıca su, karbon dioksit ve karbon monoksit gibi az enerjili ürünler meydana getirir. Malzemede özgül ısı, yoğunluk, buharlaşma ısı ve ısı iletkenliğine göre sıcaklık artışı değişmektedir. Yangın geciktiricilerin temel odağı yanma kimyasını değiştirmek olduğundan alev ekspansiyonu olmadan kömürleşme olacağı için yanıcı gazların çözünmesi ile yanma ısının yayılımının önüne geçilecektir. Bina yalıtım malzemelerinin yangın anındaki yönelimlerini değerlendirmek için yapılan çeşitli araştırmalar ile yanma geciktirici katkı oranlarına bağlı olarak yoğunluk, kalınlık, alevlenme dirençleri ölçülmektedir (Kaya, 2016).

3.6.2. Elektriksel iletkenlik özelliği

Birbirleriyle uyumlu malzemelerin harmanlanması ile yüksek elektriksel iletkenliğe sahip kompozit malzemeler elde edilebilir. Kompozit malzemelerden yüksek iletkenlikleri nedeniyle enerji nakil hatlarında yararlanılmaktadır.

3.6.3. Kimyasal direnç özelliği

Kompozit malzemeler, kimyasal maddelere, asitlere ve birçok çözücüye karşı yüksek direnç göstermektedirler. Bu sebeple kimya endüstrisinde, deniz araçlarının yapımında ve boru imalatlarında sıklıkla tercih edilen malzemelerdir.

3.6.4. Yüksek direnç özelliği

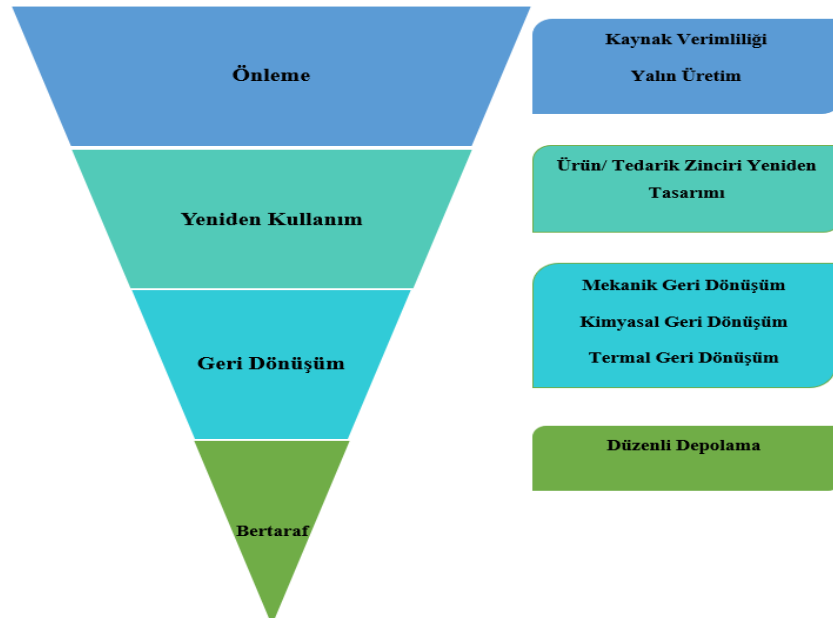
Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri birçok malzemeye kıyasla daha fazladır. Kompozit malzemelere, kolay kalıplanabilme özellikleri sayesinde istenilen

düzeyde direnç özelliği kazandırılır. Bu durumda hem ekonomik hem de daha hafif malzemeler elde edilir (Vatangül, 2008).

3.7. Kompozit Atıkların Yönetimi

Kompozit malzemelere olan ilginin artmasıyla, işletmelerin kompozit atık yönetimi ile ilgili sistemlere talepleri de artmıştır. Kompozit atıkların heterojen yapılarından ötürü geri dönüşümünün zor olduğu durumlarda, endüstriler için de ekonomik olarak uygun bir seçenek olan düzenli depolama sistemlerinden yararlanılmaktadır. Kompozit atıkların yönetimi, havacılık, otomotiv ve inşaat gibi çalışma alanlarının geleceği için önemli bir ihtiyaçtır (Rybicka vd., 2016).

Kompozit atıkların yönetim sistemleri arasında en çok tercih edilen yöntemler; mekanik, termal ve kimyasal geri dönüşüm yöntemleridir. Kompozit atıklar için mekanik geri dönüşüm yöntemi teknolojik olarak çok fazla gelişim gösterememiştir. Termal geri dönüşüm yöntemi ise kaliteli nihai ürün eldesi olan pratik bir yöntemdir. Kimyasal geri dönüşüm ise teknolojik açıdan gelişmekte olan bir yöntemdir. Şekil 3.4'te kompozit atıkların bu çalışma için de kullanılan atık yönetimi hiyerarşisi verilmiştir.



Şekil 3.4. Kompozit atık yönetim hiyerarşisi

3.7.1. Mekanik geri dönüşüm

Mekanik geri dönüşüm, ticari olarak polimer kompozit atıkların geri dönüşümü için kullanılan bir yöntemdir. Yöntem; kesme, parçalama, öğütme gibi bir dizi mekanik işlemi barındırır. Mekanik geri dönüşüm sırasında kompozit atık mekanik olarak işlem gördüğünden, kompozit atığın yapısı ve matris ara yüzü etkilenebilir (Hedlund-Astrom, 2005).

Kompozit atıkların mekanik olarak geri dönüşümü ilk etapta atık kompozitin çok küçük parçalara (<100mm) parçalanması ile başlar. Sonrasında, yüksek devirli taşlama makinesi ile parçalanmış atıkların boyutu 10mm'ye kadar inceltir. Kullanılan elekler yardımıyla kompozit parçalar zengin lifli ve zengin matrisli olmak üzere iki ayrı gruba ayrılır. Polimer ve elyaf takviyeli polimer kompozitlerin geri dönüşümü için sık tercih edilen basit teknoloji yöntemidir. Bu süreçlerde enerji kullanımı minimum düzeydedir. Parçalama işleminden sonra kompozit atığın kullanım olanağının azalması yöntemin dezavantajı olarak kabul edilir. Mekanik geri dönüşümü gerçekleştirilen işlenmiş polimer matris kompozitler, çimento ve kalıplama fabrikalarında ve çatı kaplama malzemelerinde kullanılmaktadır.

3.7.2. Termal geri dönüşüm

Termal geri dönüşüm olarak; kompozit atıklar için piroliz ve insinerasyonun kullanıldığı görülmüştür. Kompozit atığın, oksijensiz ortamda 300 ile 700 °C'de değişen aralıklarda ısıya maruz kalmasıyla katalizörlü veya katalizörsüz olarak gerçekleştirilen geri dönüşüm yöntemi pirolizdir. Enerji eldesi bakımından önemli potansiyeli olan ve sıklıkla tercih edilen piroliz işlemi sonucunda karbonlu malzeme, sentez gazı ve yağ gibi ürünler elde edilir (Delver vd., 2019). Piroliz özellikle polimer içerikli kompozit atıkların geri dönüşümü için elverişli geri dönüşüm yöntemi olarak görülmektedir. Yüksek miktarda yağa dönüşerek rafinerilerde hammadde ve yakıt olarak kullanılabilir olmasından dolayı atık kompozitlerin pirolizi tercih edilen bir yöntemdir. Piroliz prosesi sonucunda oluşan gaz ürünler yüksek ısı değere sahip oldukları için yakıt olarak rahatlıkla tercih edilebilir. Bu proses, kompozit yapıları atık plastik malzemeler için ekonomik açıdan uygun olmayan geri dönüşüm ile ayırma süreçlerine ek olarak kullanılabilir (Bajus vd., 2010).

Atık yönetiminde atıkların insinerasyonu 850 ile 1000 °C sıcaklıkta gerçekleşirken ısıdaki enerjinin geri kazanılması ya da yalnızca atık hacminin azaltılması mümkündür.

İnsinerasyon sonrası oluşan inorganik atıklar çimento işletmelerinde kullanılabilir. İnsinerasyon süreci, atıkların içerisindeki yanıcı maddelerin oksidasyonu olarak da tanımlanabilir. Atığın yapısındaki organik yanıcı maddelerin uygun sıcaklıkta oksijen ile teması sonucunda insinerasyon süreci başlar. Atığın ısı değeri yeterliyse süreç ek yakıtla ihtiyaç olmadan gerçekleşmektedir (Aynur, 2011). Atıkların insinerasyonu sonucunda çevreye kül ve cüruf gibi pek çok uçucu zararlı madde yayılımı olmaktadır. İnsinerasyon işleminden önce istenmeyen durumların önüne geçilmesi için atıkların içeriklerinin çok iyi bilinmesi ve termal analiz yöntemleriyle incelenmesi gereklidir. İnsinerasyon prosesinden sonra da oluşan yan ürünlerin yönetiminin iyi yapılması gereklidir (Lach vd., 2016).

3.7.3. Kimyasal geri dönüşüm

Kimyasal geri dönüşüm, kimyasal maddelerin yardımı ile kompozit atığın yapısındaki liflerin çözünmesi ile atık matrisinin kimyasal depolimerizasyon sürecidir. Kimyasal geri dönüşüm yöntemi ile elyaf ve dolgu maddelerine ek monomer ya da petrokimyasal hammadde yapısındaki depolimerize edilen matris tekrardan elde edilebilir. Çözünme aşaması kullanılan çözücü türüne göre hidroliz (su ile), glikoliz (glikol ile) ve asit ile çözünme olarak ayrılır. Hidroliz ve glikoliz süreci hızlı ve yüksek verimle gerçekleşirken aynı zamanda çevre açısından da daha az tehlikelidir. Asit kullanıldığında ise tepkime süreci yavaşlar (Yang vd., 2012).

Kompozit atıkların kimyasal geri dönüşümü hem avantajlı hem de dezavantajlı bir süreçtir. Diğer geri dönüşüm yöntemlerine kıyasla kimyasal geri dönüşüm süreci kullanılan kimyasallar ve yüksek proses sıcaklıkları nedeniyle çevresel açıdan daha tehlikelidir. Proses nispeten düşük sıcaklıkta (200°C) gerçekleşse bile kompozit polimer matrislerin bağlarının parçalanması için tehlikeli asitler veya çözücüler kullanılmaktadır (Delve vd., 2019).

3.7.4. Düzenli depolama

Atık yönetim sistemleri arasında geleneksel bir yöntem olarak kabul edilen düzenli depolama geri dönüşüm olanaklarının kısıtlı olduğu durumlarda tercih edilebilir bir yöntemdir (Rebeiz vd., Craft, 1995). Düzenli depolama alanlarında en büyük dezavantaj ise, atıkların malzeme kaynaklı geri kazanımlarının olmamasıdır. Bu yüzden de malzeme akışı doğrusal bir şekilde olmaktadır. Döngüsel olmayan malzeme akışından dolayı sürdürülebilirliği olan bir yöntem değildir (Siddiqui ve Pandey, 2013).

4. LİTERATÜR BİLGİSİ

Bu bölümde, vaks içeren kompozit malzemeler ve atıklarla ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

4.1. LDPE ile Yapılan Çalışmalar

Mpanza ve Luyt (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı parafin vaksların düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ile termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Seçilen vakslardan bir tanesinin erime noktası 90 °C, diğer vaksın yoğunluğu 0,90 g/cm³ ve erime noktası 72 °C'dir. Toz halindeki LDPE 103 °C'lik erime noktasına ve 0,91 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Ağırlıkça 5 ile 10 mg arasında alınan polietilen 20 °C'de dakikada 25 °C ile 600 °C arasında ısıtılmıştır. LDPE ve parafin vaks için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) eğrileri %3 vaks içeriğine kadar karışabilir ve %5-%10 vaks oranları için kısmen karışabilir olduklarını göstermiştir. Parafin vaks varlığı, polietilen ile karışımlarının entalpisini ve akış hızını arttırmış, kopmadaki stres ve gerilmesini azaltmıştır. Analizlerin sonucuna göre ilk seçilen parafin vaksın LDPE için en iyi işleme maddesi olarak kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir.

Krupa vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada yumuşak ve sert parafin vaks ile harmanlanmış LDPE esaslı faz değiştirme malzemeleri (FDM) incelenmiştir. Harmanların yapısını ve özelliklerini belirlemek için DSC, dinamik mekanik analiz (DMA), termogravimetrik analiz (TGA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. LDPE/vaks harmanı, parafin vaksın erimesi nedeniyle büyük miktarlarda ısı enerjisini emebilmişken, LDPE matrisi malzemeyi makroskopik düzeyde kompakt bir şekilde tutmuştur. Kullanılan teknikler yardımıyla sert parafin vaksın, LDPE kristalleri ile kristalleşmesi nedeniyle, yumuşak parafin vakstan daha kompakt harmanlar oluşturduğunu göstermiştir. SEM, iki parafin vaks için tamamen farklı bir morfoloji göstermiştir. LDPE ve yumuşak parafin vaksının daha düşük karışabilirliği olduğu gözlemlenmiştir. DMA analizleri, vaksların polimer matrisi üzerinde sertleştirme etkisi olduğunu göstermiştir. TGA sonuçları, LDPE-vaks harmanlarının iki ayrı aşamada ayrıştığını ve bu bileşenlerin kristal fazındaki karışmazlığını doğruladığını göstermiştir. Sert parafin vaks içeren karışımların ko-kristalizasyon etkisi ve malzeme yoğunluğu nedeniyle, malzemeyi ağırlıkça %50 daha yüksek bir vaks konsantrasyonunda termal ve dinamik olarak gerilmesi mümkün olduğu ve katı haldeyken her iki vaksın da LDPE matrisini güçlendirdiği anlaşılmıştır.

Trigui vd. (2014) çalışmalarında parafin vaks ile LDPE bazlı FDM kompozitleri araştırmışlardır. Toz formda LDPE ve parafin vaks sırasıyla 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 oranlarında, 140 °C’de, 35 dakikadaki devir sayısında (rpm) 10 dakika süreyle çift vidalı ekstrüder kullanılarak hazırlanmıştır. Karıştırma işlemi sırasında, iki malzemenin kolayca karışabilir olduğu gözlemlenmiştir. Karıştırma, numuneye bağlı olarak 30 ile 60 dakikalık bir süre boyunca gerçekleşmiştir. Daha sonra 140 °C’de 10 dakika boyunca 19.5 MPa’da sıcak preslenmiş ve uygulanan basıncı muhafaza ederken yavaşça oda sıcaklığına soğutulmuştur. Analizler sonucunda LDPE ve parafin vaks ile hazırlanan kompozit faz değişim malzemelerinin termal enerjiyi gizli ısı olarak depolayarak sürdürülebilir enerji kaynağı ve binalarda enerji tüketiminin optimizasyonu için uygun bir yaklaşım olduğu anlaşılmıştır.

Djokovic vd. (2015) yaptıkları çalışmada vaks içeriğinin LDPE ile oksitlenmiş vaks harmanlarının termal, mekanik ve viskoelastik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. LDPE (0,925 g/cm³ yoğunluğa sahip) ve oksitlenmiş vaks (0.95 g/cm³ yoğunluğa sahip) harmanları 100 rpm’de endüstriyel bir ekstrüderde karıştırılmış, daha sonra 180 °C’de 3 dakika süreyle preslenmiştir. İşlemler sonucunda LDPE ve vaksın birbiriyle karışabilir olduğu bulunmuştur. Karışımların DSC ölçümleri vaks ve polietilen zincirlerinin birlikte kristalleşerek tek bir endotermi üretebileceğini göstermiştir. LDPE’nin düşük yoğunluklarda vaks konsantrasyonlarıyla (ağırlıkça %10’a kadar) karıştırılmasının termal stabilite, elastisite modülü ve akma gerilimi gibi fiziksel özelliklerine katkısı olduğu gözlemlenmiştir.

Kim vd. (2015) yaptıkları çalışmada LDPE ile parafin vaks kompozit filmlerin sıcaklığa bağlı gaz geçirgenliğine sahip fonksiyonel bir ambalaj malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Harmanlar LDPE matrisinde parafin vaksın rolünü araştırmak için çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak hazırlanmıştır. LDPE ile parafin vaks kompozit filmlerin morfolojisi ve kimyasal yapısı, oksijen ve su buharı geçirgenliklerine büyük ölçüde katkıda bulunan parafin vaks eklenerek modifiye edilmiştir. LDPE ve parafin vaks arasındaki kimyasal yapı ve ara yüzey etkileşimlerini saptamak için fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi, termal davranışları üzerindeki etkisini araştırmak için de DSC analizi yapılmıştır. Parafin vaks, düşük parafin vaks içeriklerinde LDPE matrisine iyi dağılmışken, faz ayrılması ve artan parafin vaks içeriği ile yüzey pürüzlülüğünde bir artış meydana gelmiştir. LDPE ile parafin vaks kompozit

filmlerin hidrofobikliğinin, faz değişikliklerinin ve geçirgenlik özelliklerinin LDPE matrisindeki parafin vaks içeriğine önemli ölçüde bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Kim vd. (2015) LDPE parafin vaks karışımlarına dayanarak, hibrit roket uygulaması için yeni bir katı yakıtın termal karakterizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. LDPE (0.921 g/cm^3 yoğunluğa sahip) ve konsantrasyonu %5 ile %10 olan oksitlenmiş vaks (0.916 g/cm^3 yoğunluğa sahip) harmanları 30 rpm’de ekstrüderde karıştırılmış daha sonra $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de 10 dakika süreyle preslenmiştir. Erimiş karışımlar daha sonra bir kalıba dökülmüş ve oda sıcaklığında 4 saat boyunca soğutulmuştur. Kristalleşme sıcaklığı, erime sıcaklığı ve spesifik erime entalpisi gibi termal özellikler DSC sonuçlarından elde edilirken ayrışma sıcaklığı, termal stabilite ve malzemenin bozunma davranışı termogravimetrik analiz ile elde edilmiştir. SEM sonuçlarına göre harmanların makroskopik bir homojenliğinin belirli LDPE konsantrasyonu yüzdesinin altında elde edilebileceğini ve makroskopik seviyede homojen benzeri karışımın LDPE içeriği %10’un altında olduğunda yapılabileceği anlaşılmıştır. Analizler sonucunda parafin vaks ile harmanlanmış yakıtların yanma veriminin %20 oranında artırılması sağlanmıştır.

4.2. HDPE ile Yapılan Çalışmalar

Lee ve Choi (1998) tarafından yapılan çalışmada termal enerji depolama malzemesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve parafin karışımlarının dayanıklılığını, parafinin sızma davranışını araştırarak incelenmiştir. İki kapak camı arasındaki karışım HDPE erime noktasının $160 \text{ }^\circ\text{C}$ üzerinde bastırılmasıyla ince bir film hazırlanmıştır. Parafin ekstrakte etmek için numune oda sıcaklığında ksilen içine daldırılmıştır. Dağlanmış yüzey SEM ile incelenmiştir. HDPE ile parafin vaks karışımının mükemmel sızdırmazlık özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sarı (2004), yaptığı çalışmada termal enerji depolama için kalıplanabilir, katı-sıvı FDM olarak parafin/HDPE kompozitlerin hazırlanması ve termal özelliklerinin belirlenmesini amaçlamıştır. 100 g erimiş parafinin erimiş HDPE ile karıştırılması ve oda sıcaklığına kadar soğutulmasıyla hazırlanmıştır. Erime halindeyken parafinin kompozitte sızıntı olmadan en yüksek miktarını belirlemek için çeşitli parafin (50, 60, 70, 75 ve 77) ağırlıklarına sahip kompozit faz değiştirme malzemeleri hazırlanmıştır. Kompozitte parafin, gizli bir ısı depolama malzemesi olarak kullanılmış ve HDPE (yoğunluğu $0,942 \text{ g/cm}^3$), yapısal güç sağlaması nedeniyle erimiş parafinin sızmasını önleyen destek malzemesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada erime sıcaklıkları $42\text{-}44 \text{ }^\circ\text{C}$ (tip 1) ve $56\text{-}58$

°C (tip 2) olan iki tür parafin kullanılmıştır. Erimiş halde parafin sızıntısı olmayan malzeme kompozitlerinde her iki parafin türü için maksimum ağırlık %77 oranında bulunmuştur. Parafinin, SEM kullanılarak kompozit faz değiştirme malzemelerinin yapısının araştırılması ile katı HDPE'nin ağına dağıldığı gözlenmiştir. Oluşan kompozit faz değiştirme malzemeleri, kapsülleme ve parafinde ısı transferini arttırmak için fazladan maliyet gerektirmedikleri için uygun maliyetli gizli ısı depolama malzemeleri olarak kullanılabileceği düşünülmüştür.

Cai vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, parafin ve HDPE kompozitlerine dayanan termal enerji depolama fazı değiştirme malzemeleri, çift vidalı ekstrüder tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Ekstrüder 120–170 °C'de 450 rpm vida hızında çalıştırılmıştır. HDPE/vaks ve katkı maddeleri karışımları yüzde 40/60/0 ve 15/60/25 oranlarında kullanılmıştır. Genişletilmiş grafit ve amonyum polifosfat (APP) içeren alev geciktirici sisteme dayalı kompozitlerin morfolojisi ve özellikleri, SEM, DSC, TGA ile karakterize edilmiştir. SEM görüntülerinden parafinin HDPE tarafından oluşturulan üç boyutlu yapıda iyi dağıldığı gözlenmiştir. DSC ölçümleri, alev geciktirici katkı maddelerinin faz değişim zirveleri ve termal enerji depolama özelliği üzerinde az da olsa etkisi olduğunu göstermiştir.

Estep (2010) tarafından yapılan çalışmada, üç farklı işleme hızında üç farklı parafin vaks ile HDPE karışımı formülasyonu ekstrüde edilmiş ve parafinin karışımdaki morfolojisi, termal iletkenliği, depolama modülü, termal depolama kapasitesi ve sızıntı karakteristikleri araştırılmıştır. HDPE/vaks karışımları 25/75, 40/60 ve 50/50 oranlarında alınmıştır. Harmanlar çift vidalı ekstrüder kullanılarak sırasıyla 80,100 ve 150 rpm vida hızında hazırlanmıştır. Yedi ısıtma bölgesinin sıcaklık profili polietilenin erimesini başlatmak için 140/165/170/170/170/170/170 °C'ye ayarlanmıştır. Numunelerin ekstrüde edilmesi üzerine, eriyik bir döküm kalıbında toplanmış ve numuneler katılaşana kadar oda sıcaklığında doğal olarak soğumaya bırakılmıştır. Daha yüksek parafin içeriği içeriğine sahip karışımlar daha düşük termal iletkenlik, daha yüksek termal depolama kapasitesi ve daha yüksek parafin sızıntı miktarları göstermiştir. Bu çalışma için seçilen işleme hızlarından, 80 rpm, iki malzeme arasındaki daha düşük dağılım derecesine bağlı olarak termal iletkenlik ve ekstraksiyon testleri için istenen sonuçları gösterememiştir. Daha yüksek karıştırma hızları ise harman boyunca parafin büyüklüğünü azaltmış ve harmana daha homojen bir dağılım vermiştir. Bu tarz bir karışımın ekstrüzyon

işlemindeki hızının, iki materyalin etkin dağılımını sağlamak için 100 rpm veya daha yüksek olması önerilmiştir. Sonuç olarak form kararlı FDM karışımları, gizli bir ısı depolama sistemi olarak büyük bir potansiyel göstermiştir.

Sotomayor vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada HDPE ve parafin vaks esaslı karışımların termal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Saf bileşenler mekanik karıştırıcıda 15 dakika karıştırılmış ve daha sonra çift vidalı ekstrüder kullanılarak 160 °C ve 40 rpm’de harmanlanmıştır. Değişik hacim yüzdelerindeki parafin karışımları (5, 10, 20, 30, 40 ve 50) bu bileşenden sızıntı olmadan hazırlanmıştır. HDPE ve parafin vaks bazlı kompozit malzemeler termal ve mekanik olarak bu çalışmada karakterize edilmiştir. Hacimce %5 ile %50 değerlerinde vaks ekstrüde edilmiş ve her iki bileşenin farklı erime sıcaklıklarına rağmen, işlemten sonra vaks kaybı tespit edilmemiştir. Hazırlanan tüm karışımlar, enjeksiyonla kalıplanmaya uygun olan bir psödoplastik tutum sergilemiştir. Bu çalışmanın sonucunda HDPE ve parafin vaksın enjeksiyonla kalıplanmış karışımlarının, olumlu termal ve mekanik özellikleri nedeniyle FDM uygulamalarında oldukça avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.

Almaadeed vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ağırlıkça %50’ye kadar ticari vaks (15 °C’de 0,88 kg/L yoğunlukta ve erime noktası 43,08 °C olan) ve ağırlıkça %15’e kadar genleşmiş grafit (EG) ile harmanlanmış HDPE’ den (0.35 g/10 dakikalık eriyik akış indeksine ve 0.95 g/cm³ yoğunluğa sahip) üretilen faz değiştirme malzemeleri incelenmiştir. Kompozitler, vida çapı 20 mm ve vida uzunluğu 40 mm olan çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak üretilmiştir. Ekstrüderin verimi 0,7 kg/saate ve vida hızı 110 rpm’e ayarlanmıştır. Nihai numuneleri üretmek için, kompozitler 70 °C’de 30 dakika ve daha sonra 180 °C’de enjeksiyon kalıplama makinesine yüklenmiştir. Kompozitlerin mikro yapısal, mekanik ve termal özelliklerini belirlemek için; SEM, DSC ve TGA gibi teknikler kullanılmıştır. Parafin vaks ve genleştirilmiş grafit, HDPE matrisi içinde iyi dağıtılmış ve termal iletkenlik düzelmiştir. Oluşan kompozit malzemenin iyi mekanik ve termal özelliklere sahip olduğu ve etkili faz değişim kompozit malzemesi olarak kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Mu vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ağırlıkça %50-%75 HDPE ve parafin vaks harmanlarına dayanan faz değiştirme malzemeleri çift vidalı ekstrüzyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Harmanlar 175 rpm’lik vida hızı kullanılarak 120 ile 170 °C’de eritilerek karıştırılmıştır. Harmanların reolojik davranışı sonucunda numunenin vaks içeriği

arttıkça ayrışık yapısı da artmıştır. Bu tarz faz değişim malzemelerinin geleneksel polimer işleme teknikleri ile eriyik olarak işlenmesinin rutin olması gerektiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak parafin vaks/HDPE karışımlarının faz değişim malzemesi üretimi için uygun olduğu saptanmıştır.

4.3. Farklı Polimerler ile Yapılan Çalışmalar

Krupa ve Luyt (2001), ekstrüderde doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) ve vaks karışımlarının termal ve mekanik özelliklerini, diferansiyel tarama kalorimetrisi ve çekme testi kullanarak araştırmıştır. Tüm harmanlar, 100 rpm’de endüstriyel bir ekstrüderde karıştırılmış, daha sonra 180 °C’de 3 dakika süreyle preslenmiştir. Örnekler, diferansiyel tarama kalorimetrisinde 10 °C’lik ısıtma hızında 25 ile 160 °C arasında ısıtılmış ve daha sonra aynı hızda soğutulmuştur. Erime ve kristalleşme sıcaklıkları gibi termal özellikler ve entalpiler ikinci taramadan sonra belirlenmiştir. %10 ve %20 oranında vakstan oluşan karışımlar için akma stresinde küçük bir artış gözlenmiştir. %30 ve daha fazla oranda vaks içeren karışımlar için akma noktası olmadığı fakat kırılma bir pike sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Beginn (2003) tarafından yapılan çalışmada ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMW-PE) ve erime sıcaklığı 42 °C ile 65 °C arasında olan parafin vakslardan elde edilen jellerin faz değiştirme malzemesi olarak özellikleri incelenmiştir. 15 g katı parafin vaks ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen, 15 ml’lik şişelerde tartılarak ısıtıcı çalkalayıcı içine konulmuş ve 500 rpm çalkalama frekansında 150 °C’de eritilmiştir. Numuneler 80 °C’ye soğutulmuş, altı saat tavlanarak tekrardan ortam sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. UHMW-PE, erimiş parafin vakslarını ağırlıkça %0,5’i aşan konsantrasyonlarda fiziksel olarak jelleştirmekte olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra mini ekstrüdere 3 gram dondurulmuş jel örneği eklenmiş ve 25 rpm ile karıştırılarak 150 °C’de eritilmiştir. Araştırma sonucunda UHMW-PE parafin vakslardan elde edilen jellerin, gizli ısı kapasitesi ve eriyik işleme teknikleri imalat aşamasında sağladığı kolaylıklar ile avantajlı potansiyellere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Novak vd. (2004), oksitlenmiş parafin vaks LDPE ve HDPE karıştırılarak polaritesinin düşük maliyetli modifikasyonu üzerine araştırma yapılmıştır. LDPE (0,916 g/cm³), HDPE (0,963 g/cm³) ve 0,940 g/cm³ yoğunluğa sahip parafin vaks bileşenleri 50 rpm karıştırma hızında 10 dakika boyunca 150 °C’de 50 ml’lik bir karıştırma haznesinde harmanlanmıştır. Plakalar (1 mm kalınlığında), 3 dakika boyunca 180 °C’de laboratuvar

hidrolik presiyle karıştırılmış kompozit sıkıştırma kalıplaması yoluyla hazırlanmıştır. Oksitlenmiş parafin vaks, karışımların polaritesini olumlu yönde etkilemiştir. Ağırlıkça %10'luk parafin vaks konsantrasyonu toplam yüzey serbest enerjisinin polar bileşenini LDPE için 10 kat ve HDPE için 4,5 kat arttırdığı gözlemlenmiştir.

Hato ve As (2007) yaptıkları çalışmada parafin vaksın HDPE, LDPE ve LLDPE ile karışımlarının özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Karışımlar 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 ve 0/100 PE/vaks oranlarında 15 dakika boyunca 30 rpm vıda hızında ekstrüderde hazırlanmıştır. Harmanlama işleminden sonra sıcak eriyik preste 90 bar'nda 5 dakika eriyik presleme yapılmıştır. HDPE'nin parafin vaks ile eriyik olarak karıştırılması, hem %10 hem de %20 vaks içeriği için tamamen karışabilir harmanları oluşturmuştur. %30'luk vaks kısmen karışabilir bir harman oluşturmuştur. Bu gözlemler termal fraksiyonlama sonuçları ile desteklenmiştir. LDPE'nin sert parafin vaks ile eriyik olarak karıştırılması, araştırılan tüm vaks içerikleri için nispeten karıştırılabilir bir harman oluştururken, %10 oksitlenmiş sert parafin vaks içeren harman için tam karıştırılabilirlik gözlemlenmiştir. Parafin vaks varlığı ile karışımların kırılmasında hem stres hem de zorlanmada önemli bir azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir.

Molefi vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada yumuşak parafin vaks ile harmanlanmış LDPE, LLDPE ve HDPE bazlı faz değişim materyalleri incelenmiştir. Tüm harmanlar, polimer ve vaksın 160 °C'de 50 ml'lik karıştırıcıda 70 rpm hızında 15 dakika karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Hazırlama işleminden sonra numuneler, aynı sıcaklık ve aynı süre boyunca eriyik halinde preslenmiştir. Ağırlıkça %1 ile %50 arasında değişen vaks konsantrasyonlarına sahip karışımlar hazırlanmıştır. Çalışmada, vaks içeriğinin PE/vaks karışımlarının termal ve gerilme özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı PE/vaks harmanlarının, %30-50 vaks içeren numunelerde karışmadığı saptanmıştır. Böylece faz değişim malzemelerinin başarıyla oluşturulduğu gözlemlenmiştir. PE/vaks karışımlarında vaks bulunması ile üç PE'nin hepsinde erime sıcaklığını azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca PE matrisindeki erimiş vaks plastikleştirici etki göstermiştir. Vaks varlığında, farklı polietilenlerin erime ve kristalizasyon davranışını değişik şekillerde etkilediğini, termal analiz sonuçları vaksların polimer matrislerine eşit olarak dağıldığını ve numune hazırlama esnasında vaks sızıntısı olmadığını göstermiştir.

Chen ve Wolcott (2014), parafin vaks ile polietilen karışımlarının form kararlı faz değişim malzemeleri olarak karıştırılabilirlik çalışmaları yapılmıştır. İkili polietilen-parafin harmanları, paralel birlikte dönen çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak 180 °C’de ve 80 rpm vida hızında farklı HDPE, LDPE ve LLDPE oranlarında eriyik halde birleştirilmiştir. Ekstrüzyonun ardından bileşik, oda sıcaklığında hava ile soğutulmuştur. Üç tip polietilen içindeki parafinin karışabilirliği, DSC ve atomik kuvvet mikroskop (AFM) kullanılarak değerlendirilmiştir. DSC verileri, karışımdaki polietilen için denge erime sıcaklığının düşmesi ile iki erime sıcaklığı göstermiştir. AFM görüntülerinde iki ayrı ve bir ara faz belirgin olmuştur. Bu yapı sayesinde parafinin polietilen içindeki kısmi karışabilirliği doğrulanmıştır. Sonuçlara göre, HDPE, LDPE ve LLDPE parafin vaks ile kısmen karışabilir olduğu ve polietilen/parafin vaks form kararlı faz değişim malzemelerinde yüksek yoğunluklu polietilen kullanılması tavsiye edilmiştir.

Karkri vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada erime noktası yaklaşık 42 °C olan parafin vaks ve melamin-formaldehit reçine kabuğundan oluşan mikro kapsüller, yerinde polimerizasyon kullanılarak sentezlenmiştir. Mikro kapsüller, ağırlıkça %43 parafin vaks çekirdeği ve ağırlıkça %57 polimerik kabuktan oluşmaktadır. Harman daha iyi homojenlik elde etmek için karıştırma makinesinin 30 ml’lik karıştırma bölmesinde 160 °C’de 8 dakika 35 rpm karıştırma hızında karıştırılmıştır. Mikro kapsüllenmiş parafin vaks yüksek gizli ısı malzemesi olarak görevliken, HDPE matrisi kompozit malzemenin kompakt şeklini, yapısal kompaktlığını ve mekanik gücünü sağlamıştır. Mikro kapsül içeriği fazlaştıkça, incelenen malzemenin termal iletkenliği ve yaygınlığının azaldığı gözlemlenmiştir.

Gumede vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada eriyik karıştırma ile hazırlanan LLDPE (1,0 gram/10 dakikalık eriyik akış indeksi ve %2,13 heksen kopolimeri olan) ile parafin vaks karışımlarının yapısı ve termal özellikleri, DSC ve küçük ve geniş açılı X ışını saçılması (SAXS) ile araştırılmıştır. LLDPE ve parafin vaks, ağırlıkça 95/5, 90/10, 80/20, 70/30 ve 60/40’lık LLDPE/vaks harmanlarının örnek oranlarını elde etmek için harmanlanmıştır. Bütün numuneler 50 ml’lik bir karıştırıcı ile eriyik karıştırılarak hazırlanmış ve extrüderde 15 dakika için 30 rpm hızında 170 °C’de imal edilmiştir. Sonrasında hidrolik eriyik pres kullanılarak 170 °C’de 5 dakika boyunca 50 kPa altında basınçla kalıplanmıştır. Karışımlar, eriyik içinde tek bir faz oluşturmuştur. Analiz sonuçlarına göre parafin vaksın LLDPE için etkili bir plastikleştirici görevi gördüğü hem

kristalizasyonunu hem de erime sıcaklığını azalttığı ve daha yüksek erime noktalı kristal fazı, daha az dallı LLDPE fraksiyonları tarafından oluşturulduğu gözlemlenmiştir.

Resch-Fauster ve Feuchter (2018), parafin vaks ve polimer kompozitlerinin termo-fiziksel özellikleri ve mekanik performansı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Farklı poliolefin matris malzemeleri (HDPE ve PP), laboratuvar ölçekli vida hızı 250 rpm olan çift vidalı ekstrüder üzerinde faz değiştiren materyaller olarak parafin vaks ile eritilmiştir. Daha sonra bileşikler, sıkıştırma kalıplama yoluyla gizli ısı depolama plakalarına dönüştürülmüştür. DSC ve SAXS ile fonksiyonel materyallerin detaylı morfolojik incelemeleri, uygulanan bileşenler arasında farklı etkileşim türleri ortaya çıkarılmıştır. Bileşiğin ağırlıkça %25 ile %38 arasında kompozit malzeme konsantrasyonu ve 53 ile 71 J/g arasında karşılık gelen ısı depolama kapasitesi sergileyen fonksiyonel materyaller verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca fonksiyonel malzemelerin yüksek uygulama potansiyelini vurgulayan gizli ısı depolama kapasitesi, morfoloji ve mekanik özellikler açısından yüksek uzun vadeli kararlılık tespit edilmiştir.

Sun vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada polietilen glikol/silika-hidroksil bileşiği (PEG/SHC) sol-jel yöntemi (SGM) kullanılarak faz değişim malzemelerini sentezlemesi için başlangıç malzemesi olarak silika jel endüstriyel atıklarının termal enerji depolama uygulamalarında kullanılması incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak berrak bir çözelti oluşana kadar manyetik karıştırma ile sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisine substrat entegre dalga kılavuzu (substrate integrated waveguid (SIW)) eklenmiştir. Daha sonra SIW safsızlıkları tetrasodyum ortosilikat (Na_4SiO_4) toplamak için vakum filtre yöntemi kullanılarak çözeltilerden çıkarılmıştır. Manyetik karıştırma işlemi çözeltide beyaz ortosilik asit (H_4SiO_4) jeli elde edilene kadar bir saat boyunca sürdürülmüştür. Nihai FDM ürünleri numunenin yaklaşık 1 saat karıştırılması ve daha sonra 12 saat boyunca 60 °C’de kurutulmasıyla elde edilmiş ve ağırlıkça PEG-SIW; %80-PEG/SHC, %70-PEG/SHC, %60-PEG/SHC ve %50-PEG/SHC oranlarında belirlenmiştir. PEG’ nin SHC’ de ağırlıkça %80’e kadar PEG’yi kapsayabilecek güçlü fiziksel etkileşimler yoluyla bağlandığı gözlemlenmiştir. Çalışmada geliştirilen yöntemle birlikte sadece termal enerji depolaması için iyi performansa sahip PEG tabanlı FDM elde etmekle kalmayıp aynı zamanda endüstriyel atıkların tekrar kullanıldığı ekonomik kazançlar elde etmenin de mümkün olduğu gösterilmiştir.

4.4. Kompozit Atıklar ile Yapılan Çalışmalar

Navarro vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada Termal enerji sistemleri (TES) için madencilik ve metalurji endüstrisinden elde edilen atıkların yan ürün olarak kullanımı incelenmiştir. Elde edilen geri dönüştürülmüş malzemelerin termal enerji depolama uygulamaları için yüksek bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır.

Gutierrez vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada endüstriyel atık malzemelerin yan ürün olarak TES sistemlerinde kullanılması incelenmiştir. Yapılan çalışma ile hem endüstriyel atıkların değerlendirilmesi hem de ekonomik olarak uygun ısı depolama malzemelerinin kullanımları araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre endüstriyel atıkların TES malzemesi olarak yeniden kullanımlarının mümkün olduğu ancak daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır.

Ghani vd. (2020), termal enerji depolama sistemlerinde FDM olarak atık malzemelerin kullanılması üzerine araştırma yapmışlardır. Araştırma sonucunda, FDM uygulamalarında malzemenin fizyokimyasal ve termal özelliklerini geliştirmek için atık malzemeler kullanılarak hem ekonomik hem de çevresel anlamda fayda sağlandığı anlaşılmıştır. Ayrıca endüstriyel, tarımsal ve ambalaj atıkları gibi pek çok atık türünün TES malzemelerinde alternatif katkı maddesi olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Sarı vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada karbonize atık lastiğin termal enerji depolama sistemleri için kompozit faz değişim malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. SEM analizi ile dodosil alkol/atık lastik kompozitinin iyi adsorbe kabiliyeti ile sızdırmazlık özelliği gösterdiği gözlemlenmiştir. Böylece atık kompozitin TES uygulama alanlarında organik FDM olarak kullanımının gelecekteki çalışmalarda potansiyel güzel fırsatlara yol açabileceği anlaşılmıştır. Kompozit FDM'nin, enerji kullanımı açısından verimli inşaat malzemeleri için gelişim gösteren katkı maddesi olduğu anlaşılmıştır.

Shih vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada bira endüstrisinden kaynaklı diyatomit (silika alglerinin kalıntılarının biyolojik tortul kayası) atığının polietilen glikol ile harmanlanmasıyla kararlı FDM olarak kullanılması araştırılmıştır. Diyatomit atık gözenek ve yüzey alanının geri kazanımı için ısıl işlemle saflaştırılmıştır. Diyatomit atığının, FDM'nin erime noktası üzerindeki sıcaklıklarda FDM sızıntısını önlediği anlaşılmıştır. Diyatomit atığının gözenekli yapısı ısı ve ses yalıtım malzemelerinin yapısını geliştirmek için kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir.

4.5. MCDM ile Yapılan Çalışmalar

Literatürde vaks içeren kompozit atık yönetiminden ziyade daha çok kentsel ve endüstriyel atık yönetim sistemlerinin yönetimlerinde çok kriterli karar verme sistemlerine başvurulmuştur. Söz konusu çalışmalar Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu tez çalışmasındakine benzer bir çalışma literatürde olmamakla birlikte, kompozitlerle ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 4.1. *Literatürde kentsel ve endüstriyel atıklarla gerçekleştirilmiş çalışmalar*

Referans	Yöntem	Atık Türü
Khan vd. Faisal., (2008)	ANP	Kentsel Katı Atık
Ekmekçioğlu vd. (2010)	AHP-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Nouri vd. (2011)	ANP	Endüstriyel Atık
Pires vd. (2011)	AHP-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Vinodh vd. (2012)	AHP-TOPSIS	Plastik Atık
Jovanovic vd. (2016)	SAW-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Aghajani Mir vd. (2016)	TOPSIS-VIKOR	Kentsel Katı Atık
Arıkan vd. (2017)	PROMETHEE-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Ali vd. (2018)	AHP-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Coban vd. (2018)	PROMETHEE-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Roy vd. (2018)	TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Alao vd. (2020)	TOPSIS	Atıktan Enerji Teknolojisi
Govind Kharat vd (2020)	Delphi-AHP-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Tamasila vd. (2020)	AHP-TOPSIS	Kentsel Katı Atık
Shahnazari vd. (2020)	AHP-TOPSIS	Kentsel Katı Atık

Mansor vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada otomotiv sektöründe ürün geliştirme çalışmalarında en uygun hibrit biyo-kompozitler için termoset matrisinin

değerlendirilmesinde TOPSIS yöntemine başvurulmuştur. Polyster, vinil ester ve epoksi matrisler performans kriterleri için analiz edilmişlerdir. TOPSIS sonuçlarına göre polyster matrisin diğer termoset matrislerine göre en yüksek nispi yakınlığa dayandığı gözlemlenmiştir. TOPSIS yöntemi kullanılarak çok kriterli seçenekler arasından en sistematik ve en gerçekçi karar verme sürecinin sağlandığı anlaşılmıştır.

Al-Oqla vd. (2015), doğal fiber kompozitler için en uygun polimer matris seçimi MCDM yöntemi ile mekanik, kimyasal, çevresel ve teknik kriterler değerlendirilerek belirlenmiştir. Çalışma, AHP yöntemi ile doğal fiber kompozitler için en uygun polimer çeşidinin otomotiv endüstrisi alanında seçimi için yardımcı olmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre epoksi ve polipropilenin 20 farklı kriter göz önüne alındığında otomotiv endüstrisi için doğal fiber kompozit seçiminde en uygun polimer matris olduğu sonucuna varılmıştır.

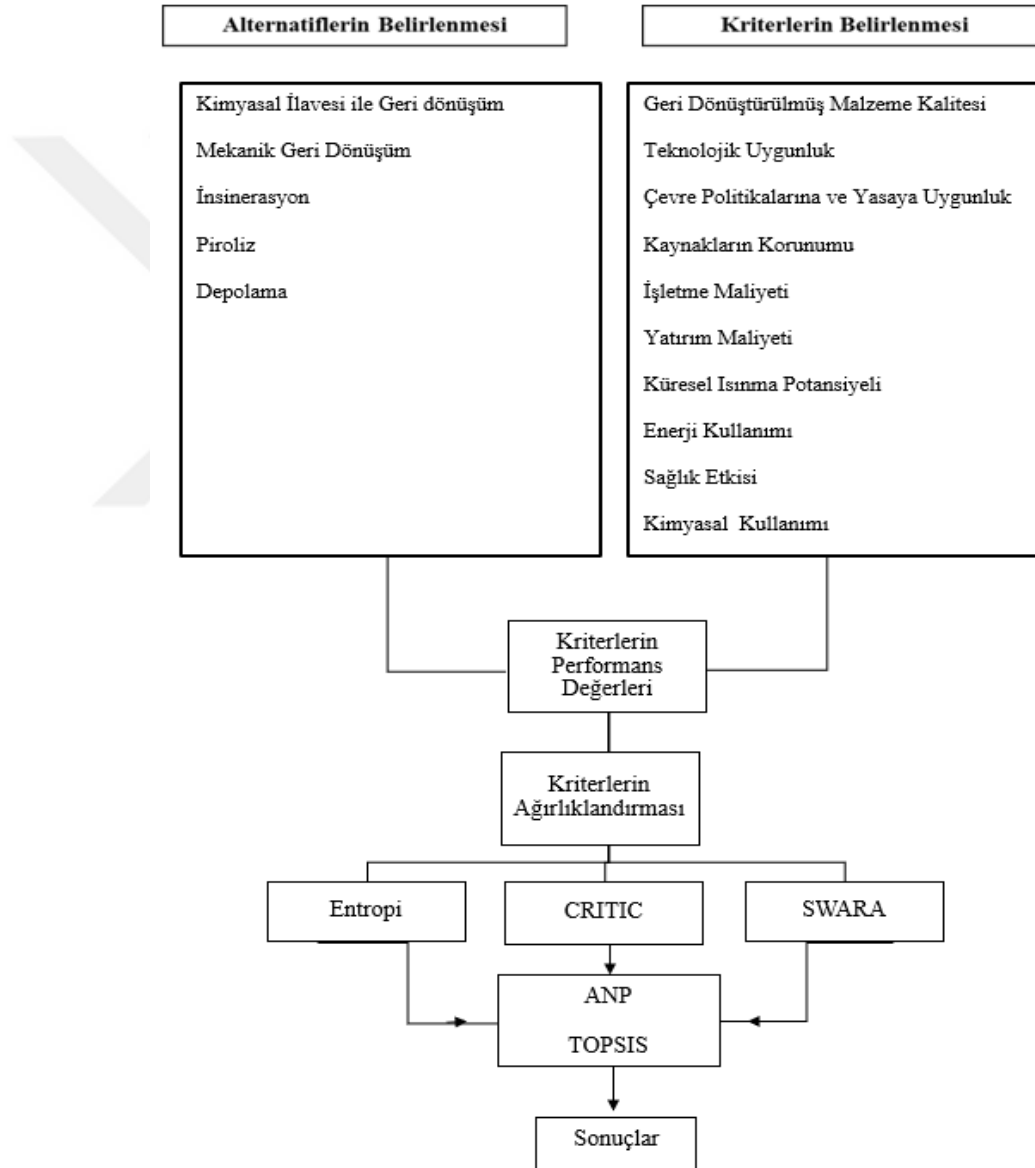
Singh vd. (2016) yaptıkları çalışmada metal matrisli kompozitlerin mühendislik uygulama alanlarında kullanımlarını araştırmışlardır. En uygun metal kompozit matrisin seçilmesi için gerilme direnci, sertlik, yoğunluk, maliyet gibi kriterlerin değerlendirilmesi AHP-TOPSIS karar verme teknikleriyle yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda hibrit matris malzemesi olan alüminyum alaşımının en uygun metal matris kompozit özelliklerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Delvere vd. (2019), polimer matris kompozit malzemelerin alternatif geri dönüşüm yöntemlerini AHP ve TOPSIS kullanarak ekonomik, ekolojik, teknolojik ve sosyal açıdan değerlendirmişlerdir. TOPSIS sonuçlarına göre mekanik geri dönüşüm ve piroliz seçeneğinin polimer kompozitlerin geri dönüşümü için en uygun alternatif olduğu anlaşılmıştır.

Patnaik vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada yapı uygulama alanları için en uygun kompozit malzeme seçimi AHP- TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kompozitler partikül dolgulu polyster ve yüzde içeriği farklı oranlarda olan epoksi matrisler ile hazırlanmıştır. Seçilecek kompozit malzemenin sıralaması yoğunluk, sertlik, korozyon direnci, çekme-eğilme dayanımlarına göre yapılmıştır. Araştırma ile kompozit malzemelerin seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli özellikler MCDM teknikleri ile değerlendirilerek karar verme sürecinin kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

5. METODOLOJİ

Bu tez çalışmasında vaks içeren kompozit atıkların yönetimi için en uygun sistemi belirlemek için Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) Yöntemleri kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kriterler üç farklı (entropi, CRITIC ve SWARA) yöntem ile ağırlıklandırılmış ve elde edilen sonuçlarla alternatifler ANP ve TOPSIS yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan metodoloji Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Metodoloji akış şeması

5.1. Alternatiflerin Belirlenmesi

Vaks karmaşık yapısı nedeniyle yapısında bulunduğu kompozit bileşiklerin çevresel açıdan yönetimini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada vaks içeren kompozit atıkların yönetimi için 5 alternatif belirlenmiştir.

Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (A1): Parafin vaks, termal enerji depolama (TES) sistemlerinde kullanılan değerli bir malzeme olduğundan tüketim sonucu oluşan kompozit atıkların termal enerji depolama sistemlerinde ısı iletkenliğini artırmak için SiO₂ nano-tozlarının ilave edilmesi ile geri dönüşümünün yapılması son zamanlarda vaks içeren kompozit atıkların yönetimi için tercih edilen bir seçenektir. Malzemenin termal iletkenliği, TES sistemlerinde parafin vaksın kullanım seviyesini belirleyen önemli bir değişkendir. Parafin vaksa SiO₂ nano-partiküllerin %1, %2, %4 ve %6 oranlarında ilave edilmesiyle parafinin termal depolama özelliklerini arttırmada önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır (Al-Zubaidi, 2019). Süreçte kompozit atığın içeriğindeki polimerik matris baz, asit ya da herhangi bir kimyasal çözücü içerisine ayrıştırılarak parçalanabilir. Kullanılan uygun kimyasal veya partiküller polimer yüzeyin yapısına uygun olarak seçilmelidir (Karuppanan vd., 2020).

Mekanik Geri Dönüşüm (A2): Vaks içeren kompozit malzemelerin en yaygın kullanım alanlarından olan lityum iyon bataryalar, sağladıkları yüksek enerji ve güç yoğunluğu faydaları nedeniyle elektrikli araçlarda kullanılırlar. Lityum iyon akülerin kolay alev alabilirliği sonucunda, güvenliği sağlamak amacıyla bu malzemeler parafin ile harmanlanarak FDM elde edilir. Böylece akülerde daha düşük sıcaklık artışı olduğu gözlemlenir (Wang vd., 2017). Ekipmana bağlı olarak lityum iyon akülerin mekanik geri dönüşüm süreci (kıрма, parçalama, öğütme ve manyetik ayırma gibi) ön işlemler olarak uygulanabilir. Nivala/Finlandiya’da bulunan Akkuser firması elektrikli araçlarda kullanılan Lityum iyon bataryaların kullanım sonrası mekanik geri dönüşüm sürecini kesme, hava filtreleme ve manyetik ayırıcı işlemleri ile birincil olarak bakır tozu elde etmiştir. Almanya’da bulunan Redux işletmesi ise lityum iyon akülerin mekanik geri dönüşüm sürecini kırma, titreşimli elek ve manyetik ayırıcı ile gerçekleştirerek çelik ve alüminyum elde etmiştir (Sommerville vd., 2021). Esas olarak LiMn₂O₄ (lityum mangan oksit) ve grafit içeren karışık elektrot malzemeleri olan ince mineraller (metal partiküller) mekanik ayırma ile elde edilir, sonrasında kobalt geri kazanımı için hidrometalurjik yöntemler uygulanır (Xiao vd., 2017).

İnsinerasyon (A3): Kompozit atıkların insinerasyonu ile ısı ve enerji içeriği kazanımı mümkündür. Özellikle polimer kompozit atıkların insinerasyonu önemli bir enerji kaynağıdır. Kazanılan enerjinin miktarı kompozit atıkların türüne göre değişmektedir. Polimer içerikli kompozit atıklar için enerji içeriği nispeten daha azken, kül içeriği de fazladır (Vijay vd, 2016). İnsinerasyon işlemi sonrasında oluşan inorganik kalıntılar ise, çimento fırınlarında yalıtım malzemesi ya da hammadde olarak kullanılabilir veya depolanabilir (Krauklis vd., 2020; Yang vd., 2012). Parafin vaks ile harmanlanan lityum iyon batarya atıklarının insinerasyonu, civa, kadmiyum, kurşun ve dioksinlerinin çevreye emisyonuna sebep olabilir. İnsineratörlerden ağır metal ve toksinlerin havaya salınımını önlemek üzere filtreler yerleştirilmelidir (Kükrer, 2010).

Piroliz (A4): Polimer matrisin moleküler ağırlığına göre işlemin çalışma sıcaklığı 450-700 °C arasında değişmektedir. Piroliz hem karbon hem de elyaf takviyeli polimer kompozitler için pratik geri dönüşüm yöntemlerinden birisi olarak görülmektedir (Oudheusden, 2012). Proses koşullarına bağlı olarak üretilen sıvı ürünün kimyasallara ya da yakıtlara dönüşümü yapılmaktadır (Qureshi vd., 2020). Kompozit atıkların pirolizi ile yoğunlaştırılabilir ve çeşitli alanlarda kullanılabilir oldukça verimli ürünler elde edildiği gözlemlenmiştir. Oluşan ürünlerin kalitesi pirolizin gerçekleştiği koşullara göre değişebilir. Çeşitli vaks içerikli kompozit atıklar (güneş enerjisi depolama sistemlerinde kullanılan HDPE top/panel ve pişirilmiş hazır gıda ambalajları) 450 °C'ye yakın sıcaklıklarda yoğunluğu düşük olan hidrokarbonlara dönüşerek kimyasal ve yakıt olarak yeniden kullanılabilirler (Blazso, 2010).

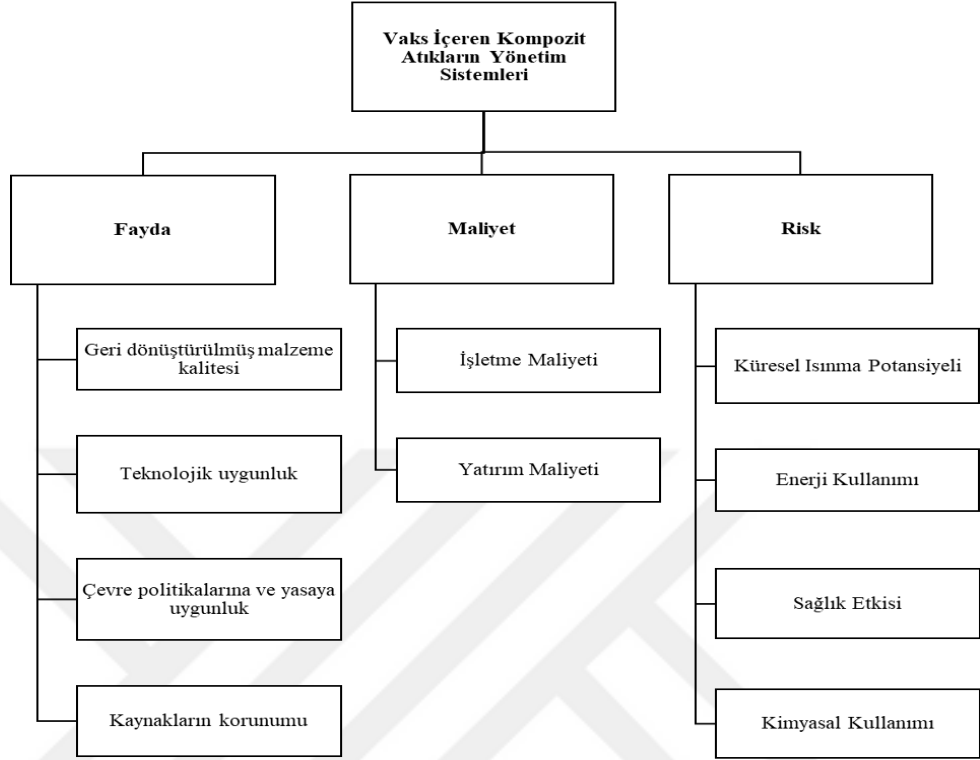
Depolama (A5): Atık yönetimi sistemleri arasında en geleneksel yöntemlerden birisi depolamadır. İçeriği polimer bazlı olan atık depolama sahalarının dışında biriktiğinde, içerdiği kimyasal ve plastikler nedeniyle toprak ve yer altı sularında istenmeyen etkilere sebep olmaktadır. Düzenli depolama sistemlerinden kompozit içerikteki atıklara uygulanabilecek geri dönüşüm teknikleri yetersiz kaldığı zaman yararlanılmaktadır (Abdel-Shafy ve Mansour, 2018). Parafin vaks ile harmanlanan lityum iyon bataryaların araziye depolama uzun vadede uygun bir çözüm değildir, çünkü metaller depolama alanından salınabilmektedir (Kükrer, 2010). Ülkelerde ne kadar yeniden kullanım ve geri dönüşüm yapılırsa yapılsın, atık yönetim sistemlerinde depolama her zaman önemli bir yere sahiptir. Çünkü herhangi bir sebepten dolayı geri dönüşümü yapılamayan kompozit atıklar için depolama her zaman başvurulabilecek bir alternatiftir (Scharff vd., 2007).

5.2. Kriterler

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda çevresel, ekonomik, teknolojik ve sosyal boyutta 10 kriter tanımlanmış ve belirlenen kriterler ve açıklamaları Tablo 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.2’de ANP için BCR modelinin fayda- maliyet- risk kümesi ölçütleri gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan kriterler

No	Kriter Grubu	Kriter Adı	Birim	Tercih Yönü	Açıklama
c1	Çevresel	Küresel Isınma Potansiyeli	Puan (1-9)	Azalan	Atıkların geri dönüşüm ve depolama süreçleri sonucu oluşacak CO ₂ ve CH ₄ gibi sera gazı emisyonları
c2		Enerji Kullanımı	kWh/kg	Azalan	Atık yönetim modelinde uygulanan yöntemde harcanan enerji
c3		Sağlık Etkisi	Puan (1-9)	Azalan	Vaksin, kanserojen olan benzen ve toluen gibi içerdiği bileşenler nedeniyle oluşacak riskler
c4		Kimyasal Kullanımı	Puan (1-9)	Azalan	Atık yönetimi sürecinde kimyasal madde kullanımı
c5	Ekonomik	İşletme Maliyeti	\$/ton	Azalan	Atık yönetimi sürecindeki bakım/onarım, personel vb. kalemleri içeren işletme maliyetleri
c6		Yatırım Maliyeti	\$/ton	Azalan	Kurulacak sistemin arazi hariç ekipman vb. maliyetleri
c7	Teknolojik	Geri Dönüştürülmüş Malzeme Kalitesi	Puan (1-9)	Artan	Geri dönüştürülen malzemenin kalitesi veya kullanım amacı doğrultusunda sürdürülebilir olması
c8		Teknolojik Uygunluk	Puan (1-9)	Artan	Benimsenen atık teknolojisinden kaynaklanan değişikliklere uyum
c9	Sosyal	Çevre Politikalarına ve Yasaya Uygunluk	Puan (1-9)	Artan	Alternatiflerin Türkiye’deki kanunlar ve düzenlemeler açısından uygulanabilirliği ve uluslararası kabul görmüş çevre standartlarına uyumu
c10		Kaynakların Korunumu	Puan (1-9)	Artan	Geri kazanılan malzeme sayesinde doğal kaynaklarda sağlanan tasarruf



Şekil 5.2. Fayda-maliyet-risk kümesi ölçütleri

Aşağıdaki açıklamalar dikkate alınarak karar matrisi oluşturulmuş ve yöntemler uygulanmıştır.

Fayda kümesindeki ölçütler:

Geri dönüştürülmüş malzeme kalitesi: Bu kriterde geri dönüştürülen malzemenin kalitesi veya kullanım amacı doğrultusunda sürdürülebilir olması esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Pirolizde ikincil yakıtlar veya hammadde polimerleri (daha küçük moleküllü) geri kazanılabilir. Termoplastik matris kompozitler, ısıtma üzerine yeniden şekillendirilme temel yeteneklerinden dolayı, yüksek değerli malzemelerin yeniden eritilmesi ve yeniden kalıplanması ile doğrudan geri dönüştürülebilirdir (Yanga vd., 2012). Kimyasal geri dönüşüm, mekanik geri dönüşüme bir alternatif sunar ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olurken aynı zamanda daha yüksek kalitede geri dönüştürülmüş malzeme elde edilmesine yardımcı olur. Kimyasal süreçler,

karışık ve kontamine plastik atık akışlarına mekanik geri dönüşüme göre daha yüksek toleranslıdır ve yüksek kaliteli bir ürün üretmek için polimerleri tek monomerlere ayırabilmektedir (Solis ve Silveria, 2020).

Teknolojik uygunluk: Bu kriterde benimsenen teknolojinin atık özelliklerine uygun olması esas alınarak puanlama yapılmıştır. Diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında, kimyasal geri dönüşüm teknolojisi gelişime açık bir yöntemdir (Yanga vd., 2012). Mekanik geri dönüşüm ise diğer kompozit malzeme geri dönüşümü türlerine kıyasla teknolojik olarak basittir (Delve vd., 2019). Piroliz işlemi, reaktör tipini, çalışma koşullarını ve katalizör kullanımını değiştirerek ürünü ayarlama özgürlüğü verir. Bu, tüm sürecin ekonomisi açısından da oldukça avantajlıdır. Çoğu durumda, piroliz sıvısı verimi işlemin ana hedefi iken, işlem vaks, monomerler, aromatikler veya seçici kimyasalların üretimini uygun bir katalizör kullanarak optimize edecek şekilde uyarlanabilme avantajı da sunmaktadır (Qureshi vd., 2020). İnsinerasyon ve kimyasal geri dönüşüm süreçleri hem ekonomik hem de çevresel açıdan geliştirilebilir teknolojiler ile farklı atık türlerini işleyebilen proseslerdir. Hem yakma yoluyla enerji geri kazanımı hem de hidroliz yoluyla kimyasal geri kazanım, bu durumda hem ekonomik hem de çevresel açıdan uygulanabilir kabul edilen, farklı atık türlerini işleyebilen büyük ölçekli süreçleri temsil etmektedir (Hedlund Astrom., 2005).

Çevre politikalarına ve yasaya uygunluk: Bu kriter alternatiflerin Türkiye'deki kanunlar ve düzenlemeler açısından uygulanabilirliği ve uluslararası kabul görmüş çevre standartlarına uyumu ele alınarak puanlandırılmıştır. EPA parafin vaks içeriğinde benzen, toluen, naftalen, metil etil keton ve daha fazla ana toksin tespit etmiştir. Bunlar yenilenemez ve biyolojik olarak parçalanamaz olduklarından bu atıkların yönetimi çevresel bir endişedir ve gereklidir. Düzenli depolama ve insinerasyon süreçleri için Avrupa atık yönergeleri, kompozit malzemeler için geleneksel bertaraf yoluna baskıcı bir yaklaşım sergilemektedir. Kompozit ürün üreticilerinin direktifler yönünde sürdürülebilir geri dönüşüm yöntemlerinin (mekanik, kimyasal, termal gibi) uygulanabildiği ürünleri pazarlamaları gerekmektedir (Oliveux vd., 2015). Kimyasal kullanımı ile geri dönüşüm yönteminde çevresel sorunların (toksik atıkların oluşumu ve alkali katalizörlerin kullanımı ve bertarafı) çözülmesi gerekmektedir. Çevre ve maliyet sorunu çözüldüğü takdirde kimyasal geri dönüşüm teknolojisi ticari uygulamalar için büyük bir potansiyele sahip olacaktır (Yanga, 2012).

Kaynakların korunumu: Bu kriter geri kazanılan malzeme ve enerji sayesinde doğal kaynaklarda sağlanan tasarruf esas alınarak puanlandırılmıştır. Karbon kompozitlerin pirolizi, bir geri dönüşüm yöntemi olarak oldukça yüksek oranlara sahiptir (Oudheusden, 2012). Polimer matrisli kompozitlerin pirolizi, polimer zincirlerinin kısılmasına ve daha düşük molekül ağırlıklı türlerin (yağlar, hidrokarbon gazları, hidrojen, kömür) üretilmesine neden olur. Geri kazanılan ürün (yağlar, gazlar) yüksek bir kalorifik değere sahiptir ki bu da pirolizin avantajlarından birisidir. Piroliz işlemi sırasında elde edilen katı ürün karbon siyahı vb. malzemeler yerine kullanılabilir (Stamenovic vd., 2020). Genel verimliliği iyileştirmek ve geri dönüşüm süreçlerinin enerji taleplerini ve sıcaklığı düşürmek için devam eden çalışmaların katalizörlere odaklanması gerekmektedir. Kompozit plastik atığın kimyasal kullanımı geri dönüşüm yönteminin mevcut durumu, düzenli depolama sahalarındaki atık miktarını verimli bir şekilde azaltabileceği ana süreçlerden birisi olma vaadini göstermektedir (Thiounn ve Smith, 2020).

Maliyet kümesindeki ölçütler:

İşletme maliyeti: Literatürden elde edilen maliyet değerlerinin hepsinde ortak birim olarak \$/ton kullanılmıştır. Kompozit depolama sahası ücretleri 76-90 €/ton civarında ele alınmaktadır (Dong vd., 2018). Bu çalışmada depolama sahası işletme maliyeti 92,78 \$/ton'a dönüştürülmüştür. Bu çalışmada mekanik geri dönüşüm yönteminde işletme maliyeti 140,33 \$/ton alınmıştır (Ross vd., 2020). İnsinerasyon, kimyasal kullanımı ile geri dönüşüm ve piroliz gibi termal süreçler için işletme maliyeti 93 €/ton'dur. Bu değer 112,27 \$'a denk gelmektedir (Tang., 2012).

Yatırım maliyeti: Bu kriterde atık yönetimi sürecindeki yatırım masrafları değerlendirilmiştir. Düzenli depolama alanlarının yatırım maliyeti, tipik olarak ton başına 120 £ değerindedir. Bu çalışmada depolama alanlarının yatırım maliyeti 176,82 \$/ton'a dönüştürülerek alınmıştır. İnsinerasyon, kimyasal kullanımı ile geri dönüşüm ve piroliz gibi termal süreçler için yatırım maliyeti 126 £ değerindedir. Bu değer 180 \$/ton'a dönüştürülmüştür ((McKendry, 2008). Mekanik geri dönüşüm sürecinde ise yatırım maliyeti 265 €/ton'dur. Bu değer 324,28 \$/ton olarak alınmıştır (Delve ve vd., 2019).

Risk kümesindeki ölçütler:

Küresel ısınma potansiyeli: Bu kriter özellikle atık vaks yandığında ortaya çıkan CO₂ ve CH₄ gibi sera gazlarının atmosfere salınım etkilerine dayanmaktadır. Atık depolama

tesisi için, küresel ısınma potansiyeline ana katkı, atmosfere salınan metan ve karbondioksit gazıdır. Metan, kg başına karbondioksitin 25 katı küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Piroliz sürecinde küresel ısınma potansiyeline ana katkı oluşan gaz üründen gelir (Evangelisti vd., 2016). Kompozit atığın düzenli depolama için değerlendirilmesi yapıldığında atık depolandıktan sonra fazla sera gazı yaymadığı gözlemlenmiştir. Kimyasal kullanımı ile geri dönüşüm yönteminde işlem sıcaklığı, süresi ve kullanılan çözücülere göre çevre üzerinde olumsuz salınımlar söz konusu olabilmektedir (Meng vd., 2018). İnsinerasyon işlemi uygun şekilde yapılmadığı takdirde sera gazı emisyonlarına sebep olabilirler (Vijay vd., 2016).

Enerji kullanımı: Bu kriterde atık yönetim modelinde uygulanan yöntemde harcanan enerji esas alınmıştır. Enerji tüketimi açısından, mekanik geri dönüşümün, diğer geri dönüşüm yöntemlerine kıyasla daha az çevresel etkisi vardır. Piroliz işlemi için gereken enerji, kompozit atık türüne bağlı olarak 0,83 kWh/kg ile 8,33 kWh/kg arasında değişmektedir. (Chandrasekaran ve Sharma 2019). Bu nedenle piroliz için gereken enerji 0,83 kWh/kg atık olarak alınmıştır. Mekanik geri dönüşüm süreci 2,03 MJ enerji tüketir. Bu değer 0,56 kWh/kg'dır (Shuaib ve Mativenga, 2016). Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm yönteminde kullanılan enerji 6,5 MJ'dür. Bu değer 1,80 kWh/kg'a dönüştürülerek alınmıştır. Depolama yöntemi için gerekli olan enerji 0,97 MJ'dür (Meng vd., 2018). Bu çalışmada kompozit atık depolanması için harcanan enerji 0,27 kWh/kg'a dönüştürülerek kullanılmıştır. İnsinerasyon sırasında kullanılan enerji miktarı 3,48 MJ'dür. Bu değer 0,96 kWh/kg'a dönüştürülmüştür (Witik vd., 2012).

Sağlık etkisi: Bu kriter için insan ve çevre sağlığı dikkate alınmış ve 1-9 arası sayısal değerler verilmiştir. Ticari sınıf vaks, formaldehit ve vinil klorür gibi uçucu bileşikler içerir. Doğasında kanserojen olan benzen ve toluen bileşenleri nedeniyle buharına uzun süre maruz kalmak tehlikeli olabilir. Piroliz işlemi sırasında kompozit bileşimine bağlı olarak polimerlerden uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compound (VOC)) yayılabilir ve yayılan VOC'lerin türleri ve konsantrasyonları kompozit bileşimine bağlıdır. Sağlık riski değerlendirmesinde, kanser dışı risk için benzen, toluen, etilbenzen, stiren, metilen klorür ve trikloroetilenin kronik sağlık etkilerine en fazla katkıda bulunduğu görülmüştür (Hahladakis vd., 2018). Kimyasal yöntemler termal geri dönüşüme kıyasla tehlikeli olabilir ancak bu durum çevreye ve insan sağlığına zarar verebilecek potansiyel olarak hangi tehlikeli maddelerin kullanıldığına bağlıdır (Delvere

vd., 2019). Atık depolama alanlarının artık en iyi atık bertaraf yöntemi olduğu düşünülmemektedir; sadece büyük miktarda arazi kullanmakla kalmaz, aynı zamanda sağlık açısından tehlike oluşturlar. Düzenli depolama alanlarıyla ilişkili gazlar kanser ve solunum yolu hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Vijay vd., 2016). İnsinerasyon sırasında, yüksek miktarda atık gazlara aktarılan ısı elde edilir. Çıkış gazları, yüksek oranda kirletici içermektedir. Azot oksitler, cıva, ağır metaller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar bu kirleticilerden bazılarıdır. Bu kirleticilerin çıkış gazı atmosfere salınmadan önce uzaklaştırılması gereklidir (Roes vd., 2012).

Kimyasal kullanımı: Bu kriter atık yönetimi sürecinde kullanılan kimyasal maddelerin doğaya etkisi düşünülerek ele alınmış ve sayısal puanlama buna göre yapılmıştır. Termal iletkenliği artırmak için SiO_2 Nano-tozlarının eklenmesi ile uygulanan geri dönüşüm yöntemi son yıllarda vaks atıklarının yönetimi için alternatif olarak uygulanmaktadır. Çeşitli koşullarda güçlü asitler veya çözücülerin kullanıldığı kimyasal geri dönüşüm önemli çevresel etkilere sahip olabilir. Süreç düşük enerji kullanımıyla geri dönüşüm kapasitesine sahip olsa da bu tür güçlü çözücülerin atılması zor olabilmektedir (Gopalraj ve Karki, 2019). Katalizörler, kompozit piroliz reaksiyonlarını optimize etmek ve piroliz ürünlerinin dağılımını değiştirmek için, endüstriyel piroliz proseslerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Katalizörlü piroliz proseslerinde Fe_2O_3 (demir oksit), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsiyum hidroksit), doğal zeolit ve sentetik zeolit kullanılan katalizör türleri arasındadır (Miandad vd., 2015).

5.3. Ağırlıklandırma Yöntemleri

MCDM probleminde kriter ağırlıklandırma işleminin amacı, kriterleri bir değer ile ilişkilendirerek bu kriterlerin karar problemindeki öncelikli önemini belirleyebilmektir. Böylece elde edilen ağırlıklandırılmış sonuçlar kullanılmaya karar verilen yöntemde alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanması için kullanılır. Ağırlıklandırma yöntemleri objektif ve subjektif olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında hem objektif (entropi, CRITIC) hem de subjektif (SWARA) ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmıştır. Bu ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılma nedenleri subjektif ağırlıklandırma ile karar vericinin değerlendirmesi esas alınırken, objektif ağırlıklandırma ile de karar matrisinin skorlarının bilindiği durumlarda kişisel yargı ve düşüncelere gerek kalmadan kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesine olanak sağlamasıdır.

5.3.1. Entropi yöntemi

Shannon Entropisi olarak da adlandırılan bu kavram aslında termodinamiğin ikinci yasası olan entropiyi yani bilgiyle birlikte kullanıldığında belirsizliğin sırasını belirlemektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde entropi yöntemi ağırlıkların tarafsız olarak hesaplanması için kullanılan bir metottur (Yavuz, 2016).

Entropi yönteminde özelliklerin sahip olduğu bilgilere denk gelen kümeler karşıtlıklara da sahip olabilmektedir. Bu durumda özelliklerin nesnel ağırlıkları ile, alternatiflerin her özelliğinin puanına bağlı olarak hangi oranda farklılaşmış olduğu (karşıtlığının yoğunluğu) değerlendirilmektedir. Bilgi kümelerinin birbirleriyle olan karşıtlık oranı fazla olduğu zaman ilgili kriter tarafından yönlendirilen bilgi de o derece çok olmaktadır. Bu durumun tersi de gerçekleşebilir, örneğin, ilgili özellik değişik alternatiflerde eş bilgiler içeriyorsa karar aşamasında yeterli ağırlığı yoktur. Ayrıca karar probleminde bütün çıktıların eş bilgi vermesi alternatiflerin belirlenmesinde bu kriterlerin karar probleminden çıkarılması ile sonuçlanmaktadır. Entropi yöntemi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Arslan, 2018).

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

Entropi yönteminde de diğer çok kriterli karar verme problemlerinde olduğu gibi öncelikle karar matrisi oluşturulmaktadır (Eşitlik 5.1).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1m} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi

Kriter sonuçlarının ortak birimlere çevrilmesi amacıyla kriterlerin özelliklerine göre normalizasyon yapılır. Bu adımda Eşitlik 5.2'den faydalanılır:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^j x_{ij}} \quad (5.2)$$

Burada;

i = Alternatifler

j = Kriterler

r_{ij} = Normalize edilmiş değerler

x_{ij} = i. alternatifinin j. kriteri için değeri

İkinci adımdaki Eşitlik 5.2 yardımıyla gerçekleştirilen normalizasyon işlemi sonucunda $R=[r_{ij}]_{m \times n}$ normalize edilmiş karar matrisi elde edilir.

Adım 3: Kriterlere ilişkin entropi değerlerinin bulunması

Bu adımda kriterlerin Entropi değerleri Eşitlik 5.3 yardımıyla bulunur:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m r_{ij} \cdot \ln(r_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n) \quad (5.3)$$

Burada;

$k = \text{Entropi sayısı} = 1/\ln(m)$

$m = \text{Karar alternatif sayısı}$

$r_{ij} = \text{Normalize edilmiş değerler}$

$e_j = \text{Entropi değeri}$

Adım 4: Bilginin farklılaşma derecesinin (d_j) hesaplanması

Eşitlik 5.4 yardımıyla elde edilen d_j değerlerinin yüksek olması kriterlere ilişkin alternatif skorları arasındaki uzaklığın veya farklılaşmanın fazla olduğunu göstermektedir.

$$d_j = 1 - e_j \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n) \quad (5.4)$$

Adım 5: Entropi kriter ağırlıklarının hesaplanması

Bu adımda entropi kriter değerleri Eşitlik 5.5 yardımıyla elde edilir.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n (d_j)} \quad (5.5)$$

Eşitlik 5.5'te yer alan d_j değeri kriterlere ait bilginin farklılaşma değerlerini gösterirken, w_j değeri kriterlerin önem düzeylerinin göstergesi olan ağırlık değerlerini ifade etmektedir. Entropi olasılık değerlerinin toplamı daima 1'e eşittir.

5.3.2. SWARA yöntemi

Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step-wise weight assessment ratio analysis- (SWARA)), MCDM problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için

kullanılan yöntemdir. Uzman odaklı yöntem olarak da adlandırıldığından yöntemin başlıca özelliği, kriter ağırlıkları belirlenirken kriterlerin önem derecelerinin alanında uzman olanların fikirlerini tahmin edebilmesidir. SWARA, uzmanlar aracılığıyla bilgilerin elde edilmesini ve bu bilgilerin birleştirilmesini kapsadığı için yararlı bir yöntem olarak kabul edilir. Ayrıca, direkt kriterler ve öncelikleri belirlenebildiği için kriter ağırlıklarının önceden tahmin edildiği koşullarda da uygulanmaktadır (Adalı ve Işık, 2017).

- SWARA yöntemi subjektif kriter ağırlıklandırma yöntemidir.
- Kriterler önem sırasına konduktan sonra oransal değerlendirme yapılır.
- S_j değeri ile bir üst kriterin bir alttakinden ne kadar önemde olduğu belirlenir.

Adım 1: Kriterler en önemli olandan başlamak üzere sıralanır.

Adım 2: İkinci kriterden başlayarak, her bir kriter için göreceli önem düzeyleri belirlenir. Bunun için, j kriteri ile bir önceki kriter ($j-1$) karşılaştırılır. Oran “ortalama değerin karşılaştırmalı önemi” olarak tanımlanmış ve s_j simgesi ile göstermiştir.

Adım 3: Katsayı (k_j) Eşitlik 5.6 ile belirlenir.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (5.6)$$

Adım 4: Önem vektörü (w_j), Eşitlik 5.7 hesaplanır.

$$w_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{s_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (5.7)$$

Adım 5: Kriterlere ait ağırlıkların (q_j) hesaplama işlemi ise Eşitlik 5.8 ile sağlanır.

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (5.8)$$

5.3.3. CRITIC yöntemi

Kriterler arası korelasyon yoluyla kriter önemi yöntemi (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC)), birlikte ele alınan kriterlerin kendi içlerinde öncelikli önemlerinin objektif olarak hesaplandığı ağırlıklandırma şeklidir. Karar matrisinde normalleştirilmiş kriter değerlerinin sütunlara göre standart sapması ve tüm sütun çiftlerinin korelasyon katsayıları kullanılmaktadır (Bulğurcu,2019).

Bir karar probleminde m adet uygun alternatif kümesi A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) ve n adet kriter K_j ($j = 1, 2, \dots, n$) olduğu hipotezinden faydalanarak sırasıyla aşağıda belirtilen adımlar takip edilir.

Adım 1: X karar matrisinin düzenlenmesidir (Eşitlik 5.9). Bu karar matrisi farklı alternatiflere karşılık gelen kriter değerlerini barındırmaktadır.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1m} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Burada; $i = (1, \dots, m)$ ve $j = (1, \dots, n)$ x_{ij} , i. alternatifin j. kriter değerini ifade etmektedir.

Adım 2: Normalizasyon işleminin yapıldığı adımdır. Eşitlik 5.10 fayda (kazanç) yönlü kriterler için kullanılırken, Eşitlik 5.11 ise, maliyet yönlü kriterlere ait değerlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (5.10)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (5.11)$$

Burada; $i = (1, \dots, m)$ ve $j = (1, \dots, n)$ ve x_{ij}^* normalize edilmiş kriter değeridir.

Adım 3: Kriterler arasındaki ilişkinin önemini belirlemek için kriterler arasındaki korelasyon katsayıları bu adımda hesaplanmaktadır. Bu aşamada dikkat edilen husus normalize edilen karar matrisindeki kriterlere ait değerlerin normal dağılımının olup olmamasıdır. Bu aşamada Eşitlik 5.12’de görülen Pearson korelasyon katsayısı denklemi kullanılmaktadır.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j)(x_{ik}^* - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik}^* - \bar{x}_k)^2}} \quad (5.12)$$

Adım 4: Her kriterde bulunan toplam bilginin hesaplandığı aşamadır. C_j bilgi miktarı, normalize edilmiş karar matrisinin sütun değerlerinin standart sapması (σ_j) da kullanılarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.13).

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n 1 - \rho_{jk} \quad (5.13)$$

Adım 5: Bütün kriterlerin sahip oldukları bilgilerin hesabı gerçekleştirildikten sonra son adım olan bu adımda kriterlere ait nesnel ağırlıklar (w_j) Eşitlik 5.14 ile hesaplanmaktadır.

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad (5.14)$$

Eşitlik 5.14'ten anlaşılacağı gibi en yüksek değerden en düşük değere kadar kriterlerin ağırlıklarının sıralaması yapıldığında ortaya çıkan en yüksek ağırlığa sahip kriterin daha önemli olduğudur.

5.4. Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme, çok sayıda kritere göre alternatiflerin olumlu ve olumsuz yönlerini eş zamanlı değerlendirme imkanı sağlayan analitik yöntemdir. MCDM yönteminden, karar verme sürecine yardımcı olurken birbiri ile zıtlaşan kriterlerin değişik niteliklerde olan alternatifler kümesinden bir ya da daha çok alternatifin belirlenmesi ya da bu alternatiflerin sıralanmasında yararlanılmaktadır. MCDM sayesinde karar vericiler değişik özelliklerdeki alternatifleri farklı kriterlere göre değerlendirebilmektedir (Arslan ve Bircan, 2018). Karar verme aşamasında MCDM yöntemlerinin uygulanması karar vericilere alternatifleri değerlendirmede seçenek sağlayarak kaynakların daha verimli kullanılmasına da yardım etmektedir (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

Bu çalışmada ANP ve TOPSIS değerlendirme yöntemleri tercih edilmiştir. MCDM ile ölçülebilen veya ölçülemeyen pek çok kriteri bir arada değerlendirirken aynı zamanda da karar verme sürecinde birden fazla yargıya eş zamanlı başvurmak mümkündür. Çalışmada kullanılan ANP yönteminde karmaşık karar verme süreçlerine gerçekçi çözümler sunulurken aynı zamanda da kriterler ve alt kriterlerin arasındaki ilişkiler dikkate alınarak tek bir yöne bağlı kalmadan daha tutarlı ve hassas sonuçlar elde edilebilmektedir. TOPSIS yöntemi ise uygulama elverişliliği ile etkin sonuçlar verirken aynı zamanda ideal çözüme yakınlık prensibini ele almaktadır. Dolayısıyla, farklı matematiksel yaklaşıma sahip bu iki yöntemle sonuçların gürbüzlüğü test edilmiştir.

5.4.1. Analitik Serim Süreci (ANP)

Karar verici mekanizmalara yardımcı olmak amacıyla geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process) (AHP) ve Analitik Serim Süreci (Analytic Network Process) (ANP) teknikleri, kararı etkilediği halde çözüm sürecinde doğrudan ele alınamayan faktörlerin nasıl ele alınabilecekleri konusunda yol gösteren MCDM teknikleridir.

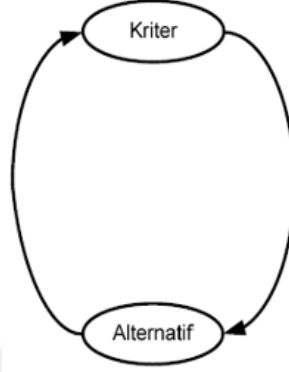
AHP bir veya daha fazla seçeneği kullanarak aşamalı bir sistemde, bilir kişi fikirleri ile kriterlerin önem derecelerini belirlerken, ANP kriterlerin birbirleriyle etkileşimlerini de dikkate alan bir yöntemdir. Saaty, 1980 yılında AHP yöntemini, 1996 yılında da ANP yöntemini ortaya çıkarmıştır. ANP yöntemi, kriterlerin birbirleriyle etkileşimlerini belirleyerek problemi bir serim şeklinde tanımlamaktadır. Kullanılan serim yapısı sayesinde birbirleriyle doğrudan ilişki halinde olmayan kriterler arasında oluşan dolaylı ilişkileri ve geri bildirimini de göz önüne alınmaktadır (Erginel vd., 2014). Geri bildirim, ANP'nin AHP'den farklı yanıdır. AHP, alternatifler üzerinde kriterlerin tek yönlü tesirini göz önünde bulundururken ANP ise alternatifler, kriterler ve alt kriterlerin aralarındaki ilişkiye dayanmaktadır (Görgülü vd., 2012).

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve giderek önem kazanan ANP yöntemi, son yıllarda yaygın kullanılan karar verme yöntemlerinden birisi haline gelmiştir. ANP, sorunları gruplar arası ve grup içi bağımlılıklar ile kriterler arasındaki geri besleme özelliği sayesinde birbirleriyle olan etkileşimlerini ve yönlerini belirleyerek bunların serim şeklinde modellenmesini sağlar. Böylece direkt ilişkilendirilmemiş parçalar arasındaki dolaylı etkileşimler ile geribildirimler hesaplanabilmektedir. AHP kriterlere ilişkin öncelik sıralarını hesaplarken, karar verme problemlerini aşamalı bir sistem olarak tek yönlü ve dizgesel bir şekilde değerlendirmektedir. ANP yöntemine bakıldığında ise karar seviyeleri ve nitelikleri arasında daha komplike ilişkiler vardır. Bu bağlamda AHP'nin önemli hipotezlerinden biri ise benzer düzeyde bulunan kriterlerin birbirleri ile bağımsız olmaları ve kriterlerin birbirlerine olan ağırlıklarının önemsiz kabul edilmesidir (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

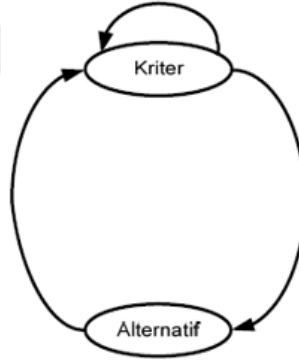
Çözülmesi istenen problemin kriterleri ve alternatifleri çoğunlukla karşılıklı ilişki içindedirler. Kriterlerin birbirleriyle olan tek veya çift yönlü etkileşimleri bağlantı okları ile tanımlandığında serim (ağ) yapısı oluşmaktadır. Böylece ANP ile sorunların çözümünde kriter ve alternatiflerin birbirleriyle olan ilişkilerin ve bu ilişkilerin yönlerinin belirlendiği bir ağ yapısından yararlanmaktadır (Tulger, 2010).

ANP metodunda karar verme problemleri serim olarak yönetilirken aynı zamanda kriter sınıflarının dış bağımlılıkları, geri bildirimleri ve eş kriter sınıfında bulunan iç bağımlılıkları da değerlendirilmektedir. Böylece sistematik yapılar ile yönetilemeyen komplike sorunların rahat bir şekilde modellenmesi yapıldığından verilecek kararlar da daha etkili olmaktadır (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

Dışsal bağımlılık, bir kriterin kendisinden farklı bir kümede bulunan kriterle ya da alternatiflerin bulunduğu küme ile olan etkileşimini gösterir (Şekil 5.3). İçsel bağımlılık ise aynı küme için değerlendirilen kriterlerin birbirleriyle olan etkileşimini gösteren bağımlılıktır (Şekil 5.4) (Görgülü vd., 2012).



Şekil 5.3. ANP'de dışsal bağımlılık (Görgülü vd., 2012)



Şekil 5.4. ANP'de içsel bağımlılık (Görgülü vd., 2012)

ANP yöntemi dört ana aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar:

Amacın belirlenmesi ile modelin oluşturulması: Bu aşamada kriterler ve alternatifler belirlenerek aralarında etkileşim bulunan kriterler aynı küme içinde bulunacak şekilde oluşturulduktan sonra alternatifler için de benzer işlemler tekrarlanmaktadır. Sonrasında, kümelerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bağımlılıkları değerlendirilerek ağ yapısı oluşturulur.

İkili karşılaştırma matrisinin oluşturularak öz vektörün hesaplanması: Kriterler ve alternatiflerin, ilişkili kriterlerle ve alternatiflerle ikili karşılaştırmaları yapılır. ANP ile ikili karşılaştırmalar yapılırken AHP yönteminde de uygulanan 1-9 skalasına başvurulmaktadır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2. Yöntemde kullanılan derecelendirmeler (Ömürbek ve Şimşek, 2014)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit dereceli	Eşit düzeyde etki ediyor
3	Orta derecede önemli	Orta derecede tercih ediliyor
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre kuvvetle derecede tercih ediliyor
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir seçenek diğerine açıkça baskın
9	Aşırı derecede önemli	Bir seçeneğin tercih kanıtları fazla güvenilirliğe sahip
2,4,6,8	Ortalama değer	Uzlaşma gerektiğinde verilecek orta değerler

İkili karşılaştırmalarda tutarlılık oranı 0,10 değerinden az bulunduğu zaman yapılmış olan değerlendirmelerin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bir kriterle ilişki halinde bulunmayan kriterlerin katkısı matriste sıfır değerindedir. Bu şekilde öz vektör hesaplanabilmektedir. Öz vektörün oluşturulan matrisin sütunlarına yerleşmesi ile ağırlıklandırılmamış süper matris oluşmaktadır.

Ağırlıklandırılmış süper matrisin hesaplanması: Ağırlıklandırılmamış süper matristeki değerlerin bulundukları kümenin ağırlıkları ile çarpılmasıyla meydana gelen yeni matrise ağırlıklandırılmış süper matris denir. Ağırlıklandırılmış süper matrisin sütunları toplamı bire eşit değilse, sütunların toplamı bire eşit olacak şekilde normalleştirme yapılmalıdır. Öncelikleri eşitlemek için süper matrisin büyük dereceden kuvveti alınarak yeni bir matris olan limit süper matris oluşturulur.

Alternatiflerin sıralanması ve en iyi alternatifin seçimi: Bu aşamada ise alternatiflerin ve kriterlerin kesin öncelikleri hesaplanmaktadır. Kümelerin hepsinin ayrı ayrı normalize edilmesiyle kesin öncelikler tanımlanmaktadır. Bu şekilde, kriterlerin ve alternatiflerin öncelikleri bulunmaktadır (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

ANP’de değerlendirmelerin alanında uzman olan kişilerce yapılması, tutarlılık testinin olması ve özellikle bir soruna etki eden tüm bileşenlerin ve ilişkilerin araştırılması, elde edilen sonuçların güvenilirliğini de olumlu yönde etkilemektedir (Üstün vd., 2005). ANP problemlerinin çözümü için Super Decisions yazılımı kullanılmaktadır.

Kompleks yapıdaki ANP problemlerinde, bütün alternatiflerin neden olabileceği maliyet ve faydalarla birlikte fırsat ve riskler de birlikte değerlendirilir. Böylece bütün alternatifler olası artı ve eksileriyle birlikte ele alınmış olur. Önem verilmesi gereken husus ise, bir problemde fayda, fırsat ve risklerin eşdeğer öneme sahip olmayabileceğidir. Fayda, fırsat, maliyet ve riski önceliklerinin sıralanması işlemi BOCR (Fayda-Fırsat-Maliyet-Risk) analizi olarak tanımlanmaktadır. Bu işlemde önemli ölçüt olarak tanımlanan problemin temel kriterlerinden farklı pek çok kriter kullanılmaktadır (Saaty ve Özdemir, 2003).

Çalışmada; Entropi, CRITIC ve SWARA ile ağırlıklandırması yapılan kriterler ANP yöntemi yaklaşımıyla, BOCR Modeli kullanılarak fayda ve fırsat kümeleri birlikte ele alınarak BCR (Fayda-Maliyet-Risk) şeklinde kurulmuştur. BOCR modelinde fırsat kümesindeki faktörler fayda kümesindeki faktörlerle benzer yaklaşımda olduğundan, bu iki küme birlikte alınmıştır. Oluşturulan modelin uygulanması için alternatifler oluşturulmuş ve belirlenen ölçütlere göre ANP yöntemi kullanılmıştır. Alternatifler Super Decisions yazılımı ile değerlendirilmiştir.

5.4.2. TOPSIS

Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan TOPSIS yöntemi, karar vericinin belirlediği alternatiflerin kriterler esas alınarak pozitif ideal ve negatif ideal duruma olan mesafesine göre değerlendirilmesi temeline dayanır (Demireli, 2010). Pozitif ideal durum; fayda kriterini pozitif yönlü (en büyük) maliyet kriterini ise negatif yönlü (en küçük) olacak şekilde çözümler. Negatif ideal çözümde ise durum tam tersidir. Tercih edilecek seçenek ise pozitif ideal çözüme en yakın olurken negatif ideal çözüme en uzak olandır (Gökkaya ve Kelegöz, 2017). TOPSIS yöntemine göre değerlendirme yapılabilmesi için aşağıdaki adımlar takip edilir.

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

Sütunlarında kriterler, satırlarında alternatifler olmak üzere karar verici tarafından karar matrisi oluşturulur. Eşitlik 5.15'te X karar matrisi m tane alternatif n tane kriter bulunmak üzere oluşturulan karar matrisi gösterilmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1m} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması:

Bu aşamada karar matrisindeki değerlerin normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Eşitlik 5.16'da normalizasyon formülü verilmiştir.

$$X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \quad (5.16)$$

Adım 3: Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılması

Normalize edilen karar matrisi karar verici tarafından belirlenen ağırlık değerleri ile çarpılır (Eşitlik 5.17).

$$V_{ij} = X_{ij} \times W_j \quad (5.17)$$

Adım 4: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Bu adımda pozitif ve negatif değerler Eşitlik 5.18 ve 5.19 yardımıyla belirlenir.

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} / j \in J), (\min_i v_{ij} / j \in J')\}, (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (5.18)$$

$$A^- = \{(\min_{xi} v_{ij} / j \in J), (\max_i v_{ij} / j \in J')\} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m) \quad (5.19)$$

Burada; $A^- = \{v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}$, $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, v_3^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\}$, $J = \{j: 1, 2, 3, \dots, n, j: \text{fayda ölçütleri}\}$ ve $J' = \{j: 1, 2, 3, \dots, n, j': \text{maliyet ölçütleri}\}$

Adım 5: Pozitif ve negatif ideal ayırım ölçülerinin hesaplanması

Her seçenek arasındaki uzaklık n boyutlu seçeneğin pozitif ideal çözümden uzaklığı Eşitlik 5.20 ve 5.21 ile belirlenir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5.20)$$

$$Si^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (vij - vj^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5.21)$$

Adım 6: İdeal çözüme göre bağıl yakınlığın hesaplanması

Bu adımda ideal çözüme göreceli yakınlık Eşitlik 5.22 ile hesaplanır.

$$Pi = \frac{Si^-}{Si^+ + Si^-} \quad (5.22)$$

Adım 7: Alternatiflerin sıralanması ve nihai sonuç

Hesaplanan değerlerin büyükten küçüğe sıralaması yapılır.

5.5. Yöntemin Uygulanması

Öncelikle, yukarıda verilen açıklamalar doğrultusunda kriterlerin performans değerlerini içeren karar matrisi oluşturulmuştur. Kriterlere ait performans değerleri Tablo 5.3'te gösterilmiştir. Söz konusu matris kullanılarak kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ANP ve TOPSIS yöntemleri uygulanmıştır. ANP yönteminde BOCR (Fayda Fırsat Maliyet Risk) yaklaşımı esas alınmış olup, Fayda ve Fırsat kümeleri birlikte ele alınarak BCR modeli kullanılmıştır.

Tablo 5.3. Kriterlerin performans değerleri

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	6	1,80	6	6	112,27	180	8	8	8	7
A2	4	0,56	4	4	140,33	324,28	4	4	4	3
A3	5	0,96	6	5	112,27	180	6	6	6	6
A4	5	0,83	5	5	112,27	180	9	9	8	7
A5	3	0,27	3	4	92,78	176,82	2	2	3	2

Sayısal olmayan değerler 1'den 9'a ölçeklendirilmiştir: artan yönlü kriterler için; mükemmel = 9; çok iyi = 8; iyi = 7; az ya da çok iyi = 6; kayıtsız = 5; biraz kötü = 4; kötü = 3; çok kötü = 2; berbat = 1 ve azalan yönlü kriterler için; mükemmel = 1; çok iyi = 2; iyi = 3; az ya da çok iyi = 4; kayıtsız = 5; biraz kötü = 6; kötü = 7; çok kötü = 8; kötü = 9.

ANP'de kullanılan BCR modeli ile ilgili Super Decisions yazılım ekran görüntüleri Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmiştir. Çalışmada kullanılan BCR formülü Eşitlik 5.23'te verilmiştir.

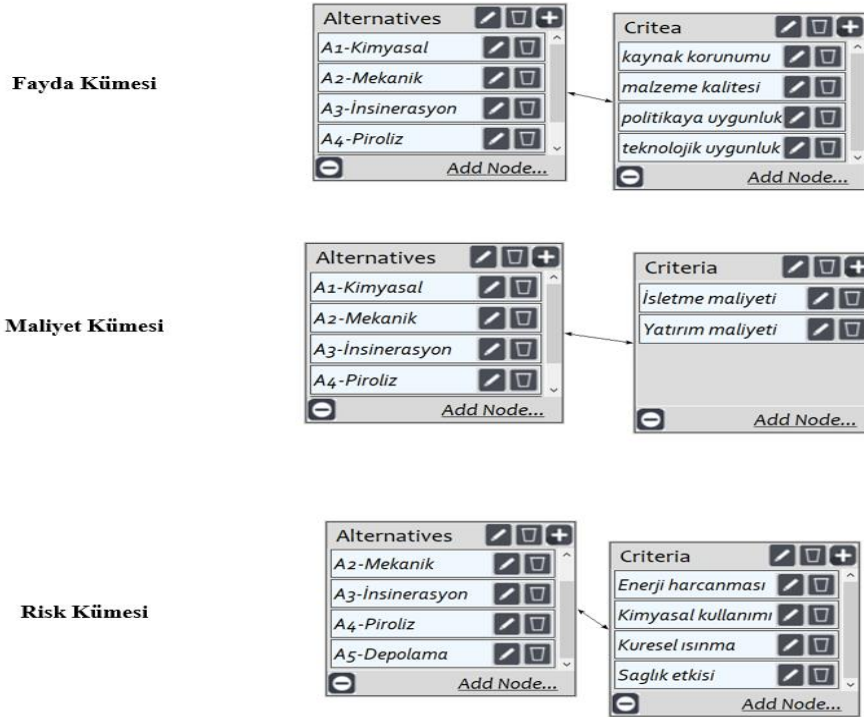
$$\text{BCR Formül: Fayda} + \frac{1}{\text{Maliyet}} + \frac{1}{\text{Risk}} \quad (5.23)$$

BCR Modelinde formüle ait ağırlıklandırmalar;

- Fayda= 1/6
- Maliyet= 1/3
- Risk= 1/2

olarak belirlenmiştir. Kullanılan ağırlıklandırma yöntemleri olan Entropi-SWARA-CRITIC'ten gelen kriter ağırlıkları normalizasyon yapılarak BCR modeline aktarılmıştır. Normalizasyon işlemi, ilgili kümedeki kriterlerin ağırlıklarının toplamı alınarak, her bir kriter için bulunduğu kümenin ağırlık toplamına bölünerek hesaplanmıştır. Normalizasyon işlemi örnek Excel görüntüsü Şekil 5.7'de verilmiştir.

Genel sonuçlar, sentezle seçeneği kullanılarak en üst düzey ağda sentezlenerek elde edilir. Bu, her alternatif için (Faydalar / (Maliyetler * Riskler) formülüne göre alt ağlardan alınan sonuçları birleştirmektedir. Hesaplamaları sentezle komutu ile alternatifler için sonuçlar; ideal, normal ve ham olmak üzere üç şekilde elde edilmektedir.



Şekil 5.5. ANP-BCR kümelerinin gösterimi ekran görüntüsü

TOPSIS	SWARA yöntemine göre TOPSIS karar matrisi									
qj	0,04388	0,24675	0,05298	0,03989	0,03799	0,04607	0,14305	0,21457	0,07947	0,09536
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	6	1,8	6	6	112,27	180	8	8	8	7
A2	4	0,56	4	4	140,33	324,28	4	2	4	3
A3	5	0,96	6	5	112,27	180	6	7	6	6
A4	5	0,83	5	5	112,27	180	9	9	8	7
A5	3	0,27	3	4	92,78	176,82	2	2	3	2
	SWARA yöntemine göre TOPSIS normalize edilmiş karar matrisi									
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,56949	0,78656	0,54321	0,55234	0,43663	0,3724	0,56428	0,56288	0,58191	0,57735
A2	0,37966	0,24471	0,36214	0,36823	0,54576	0,67091	0,28214	0,14072	0,29096	0,24744
A3	0,47458	0,4195	0,54321	0,46029	0,43663	0,3724	0,42321	0,49252	0,43644	0,49487
A4	0,47458	0,36269	0,45268	0,46029	0,43663	0,3724	0,63481	0,63324	0,58191	0,57735
A5	0,28475	0,11798	0,27161	0,36823	0,36083	0,36583	0,14107	0,14072	0,21822	0,16496
	SWARA yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi									
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,02494	0,19404	0,02874	0,02198	0,01655	0,01713	0,08069	0,12074	0,0462	0,05502
A2	0,01663	0,06037	0,01916	0,01466	0,02068	0,03086	0,04035	0,03018	0,0231	0,02358
A3	0,02079	0,10349	0,02874	0,01832	0,01655	0,01713	0,06052	0,10565	0,03465	0,04716
A4	0,02079	0,08948	0,02395	0,01832	0,01655	0,01713	0,00908	0,13583	0,0462	0,05502
A5	0,01247	0,02911	0,01437	0,01466	0,01368	0,01683	0,00202	0,03018	0,01733	0,01572
	SWARA yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler									
A+	0,01247	0,02911	0,01437	0,01466	0,01368	0,01683	0,08069	0,13583	0,0462	0,05502
A-	0,02494	0,19404	0,02874	0,02198	0,02068	0,03086	0,00202	0,03018	0,01733	0,01572
	SWARA yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları									
	Si+	Si-	Pİ	Sıralama						
A1	0,1669	0,13028	0,43839	5						
A2	0,1248	0,14017	0,52901	4						
A3	0,08569	0,13727	0,61565	2						
A4	0,09463	0,15743	0,62456	1						
A5	0,14046	0,16693	0,54306	3						

Şekil 5.8. TOPSIS örnek Excel ekran görüntüsü

6. BULGULAR

6.1. Kriter Ağırlıklandırma Sonuçları

Performans değerleri belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması sırasıyla Entropi, SWARA ve CRITIC teknikleri kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

6.1.1. Entropi yöntemi sonuçları

Entropi yöntemi kullanılarak yapılan kriter ağırlıklandırma sonuçları aşağıdaki tablolarda aşamalı olarak verilmiştir. Karar matrisi olarak Tablo 5.3 kullanılmıştır.

Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi: Bu adımda her bir kritere ait değerler normalize edilmiştir. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6.1’de gösterilmektedir.

Tablo 6.1. Entropi yöntemi normalize karar matrisi

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,2608	0,4072	0,2500	0,2500	0,1969	0,1728	0,2758	0,2857	0,2758	0,2800
A2	0,1739	0,1266	0,1666	0,1666	0,2462	0,3114	0,1379	0,0714	0,1379	0,1200
A3	0,2173	0,2171	0,2500	0,2083	0,1969	0,1728	0,2068	0,2500	0,2068	0,2400
A4	0,2173	0,1877	0,2083	0,2083	0,1969	0,1728	0,3103	0,3214	0,2758	0,2800
A5	0,1304	0,0610	0,1250	0,1666	0,1627	0,1698	0,0689	0,0714	0,1034	0,0800

Kriterlere ilişkin entropi değerlerinin bulunması: Bu aşamada Tablo 6.1’de yer alan normalize edilmiş değerler (r_{ij}) ile bu değerlerin logaritma değerleri ($\ln(r_{ij})$) çarpılarak elde edilen değerlerin toplamı alınarak Eşitlik 5.3 yardımıyla hesaplanan kriterlere ilişkin entropi değerleri (e_j) Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Kriterlere ilişkin entropi değerleri

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	- 0,3505	- 0,3658	- 0,3465	- 0,3465	- 0,3200	- 0,3034	- 0,3552	- 0,3579	- 0,3552	- 0,3564
A2	- 0,3042	- 0,2617	- 0,2986	- 0,2986	- 0,3450	- 0,3633	- 0,2732	- 0,1885	- 0,2732	- 0,2544
A3	- 0,3317	- 0,3316	- 0,3465	- 0,3267	- 0,3200	- 0,3034	- 0,3259	- 0,3465	- 0,3259	- 0,3425
A4	- 0,3317	- 0,3140	- 0,3267	- 0,3267	- 0,3200	- 0,3034	- 0,3631	- 0,3648	- 0,3552	- 0,3564
A5	- 0,2656	- 0,1707	- 0,2599	- 0,2986	- 0,2955	- 0,3011	- 0,1844	- 0,1885	- 0,2346	- 0,2020

Bilginin farklılaşma derecesinin (dj) hesaplanması: Yukarıdaki adımda elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan entropi değerleri 1'den çıkartılmıştır. Elde edilen bilginin farklılaşma derecesinin (dj) değerleri Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. ej ve dj değerleri

ej	0,9841	0,8972	0,9807	0,9925	0,9945	0,9784	0,9332	0,8986	0,9596	0,9393
dj	0,0158	0,1027	0,0192	0,0074	0,0054	0,0215	0,0667	0,1013	0,0403	0,0254

Entropi kriter ağırlıklarının hesaplanması: Kriterlere ilişkin entropi değerleri Eşitlik 5.5 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4. wj değerleri

wj	0,0359	0,2328	0,0435	0,0169	0,0123	0,0488	0,1511	0,2296	0,0914	0,1373
----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Entropi yöntemiyle yapılan ağırlıklandırma işlemi sonucunda en önemli değerlendirme kriterinin enerji kullanımı (0,2328) olduğu ve enerji kullanımı kriterini sırasıyla teknolojik uygunluk (0,2296), geri dönüştürülmüş malzeme kalitesi (0,1512), kaynakların korunumu (0,1373), çevre politikalarına ve yasaya uygunluk (0,0914), yatırım maliyeti (0,0488), sağlık etkisinin (0,0435), küresel ısınma potansiyeli (0,0359), kimyasal kullanımının (0,0169) ve işletme maliyetinin (0,0123) izlediği belirlenmiştir.

Entropi yöntemi sonucu elde edilen önem katsayıları incelendiğinde, en yüksek değer enerji kullanımı kriterine ait olması kompozit atık yönetim sistemleri arasında enerji kullanımı açısından daha fazla farklılıklar olduğunu göstermektedir. Entropi yöntemi ile ağırlıklandırma, karşıtlığın yoğunluğu temeline dayandığı için enerji kullanımına ait değerlerin diğer kriterlere göre daha farklı şekilde dağıldığı için bu sonucun ortaya çıktığı söylenebilir. Entropi yöntemi sonucu en düşük ağırlık değerinin işletme maliyeti kriterinde olması çalışma kapsamında ele alınan kompozit atık yönetimi sistemlerinin ilgili kriter bakımından hemen hemen aynı düzeyde olduğunu göstermektedir.

6.1.2. SWARA yöntemi sonuçları

Bir üst kriterin bir altındaki kriterden hangi oranda önemli olduğu (s_j) belirlenerek her bir kriterin göreceli önem düzeyleri (k_j), önem vektörü (w_j) ve kriterlerin ağırlıkları (q_j) Tablo 6.5'te gösterilmiştir.

Tablo 6.5. SWARA ile kriter ağırlıklandırma sonuçları

Kriter	Önem sırası	s_j	k_j	w_j	q_j
c2-enerji kullanımı	1		1	1	0,2467
c8-teknolojik uygunluk	2	0,15	1,15	0,8695	0,2145
c7-malzeme kalitesi	3	0,5	1,5	0,5797	0,1430
c10-kaynakların korunumu	4	0,5	1,5	0,3864	0,0953
c9-yasalara uygunluk	5	0,2	1,2	0,3220	0,0794
c3-sağlık etkisi	6	0,5	1,5	0,2147	0,0529
c6-yatırım maliyeti	7	0,15	1,15	0,1867	0,0460
c1-küresel ısınma potansiyeli	8	0,05	1,05	0,1778	0,0438
c4-kimyasal kullanımı	9	0,1	1,1	0,1616	0,0398
c5-işletme maliyeti	10	0,05	1,05	0,1539	0,0379

Hesaplanan q_j değerlerine göre en önemli kriter olan enerji kullanımının ağırlık değerinin (0,2467) olduğu görülmüştür. Enerji kullanımı kriterini sırasıyla teknolojik uygunluk (0,2145), malzeme kalitesi (0,1430), kaynakların korunumu (0,0953), çevre politikalarına ve yasaya uygunluk (0,0794), sağlık etkisi (0,0529), yatırım maliyeti (0,0460), küresel ısınma potansiyeli (0,0438), kimyasal kullanımı (0,0398) ve işletme maliyeti (0,0379) takip etmektedir.

6.1.3. CRITIC yöntemi sonuçları

CRITIC yöntemi kullanılarak yapılan kriter ağırlıklandırma sonuçları aşağıdaki tablolarda aşamalı olarak verilmiştir. Karar matrisi olarak Tablo 5.3. kullanılmıştır.

Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi: Bu adımda her bir kritere ait değerler normalize edilmiştir. Fayda (kazanç) yönlü kriterler için ayrı, maliyet yönlü kriterlere ait değerlerin hesaplanmasında ayrı formüller kullanılmaktadır. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6.6'da gösterilmektedir.

Tablo 6.6. CRITIC yöntemi için normalize karar matrisi

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
Yön	azalan	azalan	azalan	azalan	azalan	azalan	artan	artan	artan	artan
A1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5901	0,9784	0,8571	0,8571	1,0000	1,0000
A2	0,6666	0,8104	0,6666	1,0000	0,0000	0,0000	0,2857	0,0000	0,2000	0,2000
A3	0,3333	0,5490	0,0000	0,5000	0,5901	0,9784	0,5714	0,7142	0,6000	0,8000
A4	0,3333	0,6339	0,3333	0,5000	0,5901	0,9784	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
A5	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Kriterlere ait ilişki katsayısı (korelasyon) matrisinin belirlenmesi: Bu aşamada kriterler arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koymak için kriterler arasındaki korelasyonun katsayıları Tablo 6.7'de gösterilmektedir.

Tablo 6.7. İlişki katsayısı matris

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
c1	1,0000	0,9385	0,9417	0,9434	0,1853	-0,2753	-0,8882	-0,8610	-0,9230	-0,9349
c2	0,9385	1,0000	0,8460	0,9608	0,0734	-0,2993	-0,7228	-0,7091	-0,8012	-0,7931
c3	0,9417	0,8460	1,0000	0,8708	0,1427	-0,3241	-0,7901	-0,8327	-0,8240	-0,8993
c4	0,9434	0,9608	0,8708	1,0000	-0,1206	-0,5197	-0,8139	-0,8533	-0,8910	-0,8918
c5	0,1853	0,0734	0,1427	-0,1206	1,0000	0,8780	-0,1211	0,1351	-0,0262	-0,0147
c6	-0,2753	-0,2993	-0,3241	-0,5197	0,8780	1,0000	0,3331	0,5821	0,4237	0,4583
c7	-0,8882	-0,7228	-0,7901	-0,8139	-0,1211	0,3331	1,0000	0,9505	0,9877	0,9678
c8	-0,8610	-0,7091	-0,8327	-0,8533	0,1351	0,5821	0,9505	1,0000	0,9653	0,9830
c9	-0,9230	-0,8012	-0,8240	-0,8910	-0,0262	0,4237	0,9877	0,9653	1,0000	0,9816
c10	-0,9349	-0,7931	-0,8993	-0,8918	-0,0147	0,4583	0,9678	0,9830	0,9816	1,0000

Toplam bilginin (cj) hesaplanması: Bu adımda her bir kriterde bulunan toplam bilgi (cj) ve sütun değerlerinin standart sapması (σ_j) Tablo 6.8’de gösterilmiştir.

Tablo 6.8. σ_j ve c_j değerleri

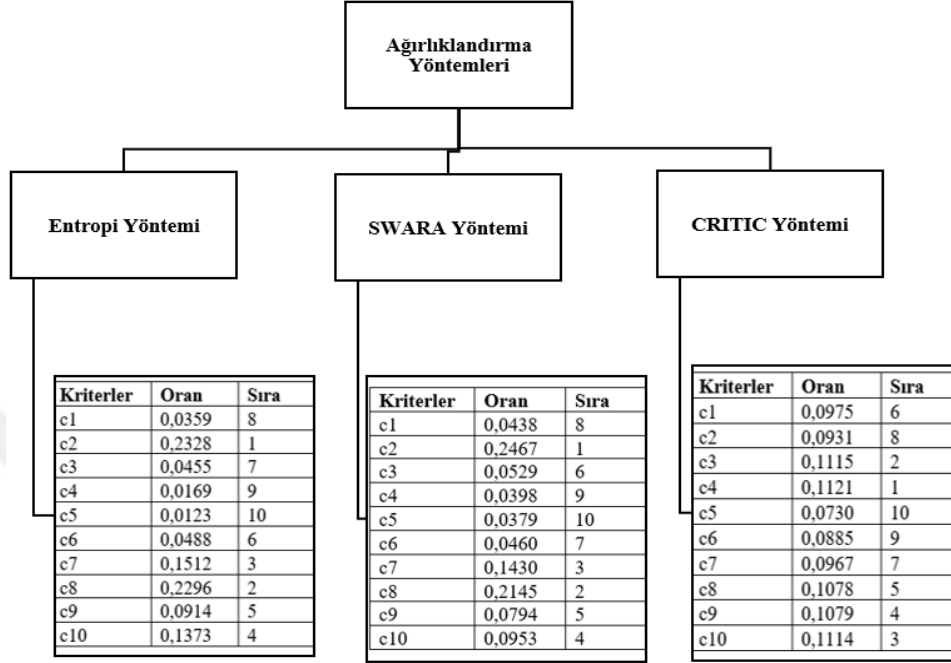
σ_j	0,3800	0,3768	0,4346	0,4183	0,3569	0,4400	0,4090	0,4802	0,4560	0,4690
c_j	3,7524	3,5826	4,2892	4,3152	2,8087	3,4076	3,7213	4,1491	4,1534	2,9083

Kriterlere ait nesnel ağırlıkların (w_j) hesaplanması: Kriterlere ait ağırlıklar Tablo 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.9. w_j değerleri

w_j	0,0975	0,0931	0,1115	0,1121	0,0730	0,0885	0,0967	0,1078	0,1079	0,1114
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Bu yöntemde en önemli kriterin kimyasal kullanımının ağırlık değerinin (0,1121) olduğu görülmüştür. Bu kriteri sırasıyla sağlık etkisi (0,1115), kaynakların korunumu (0,1114), çevre politikalarına ve yasaya uygunluk (0,1079), teknolojik uygunluk (0,1078), küresel ısınma potansiyeli (0,0975), malzeme kalitesi ((0,0967), enerji kullanımı (0,0931), yatırım maliyeti (0,0885) ve işletme maliyeti (0,0730) takip etmektedir. Ağırlıklandırma yöntemlerinin genel değerlendirme sonuçları Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



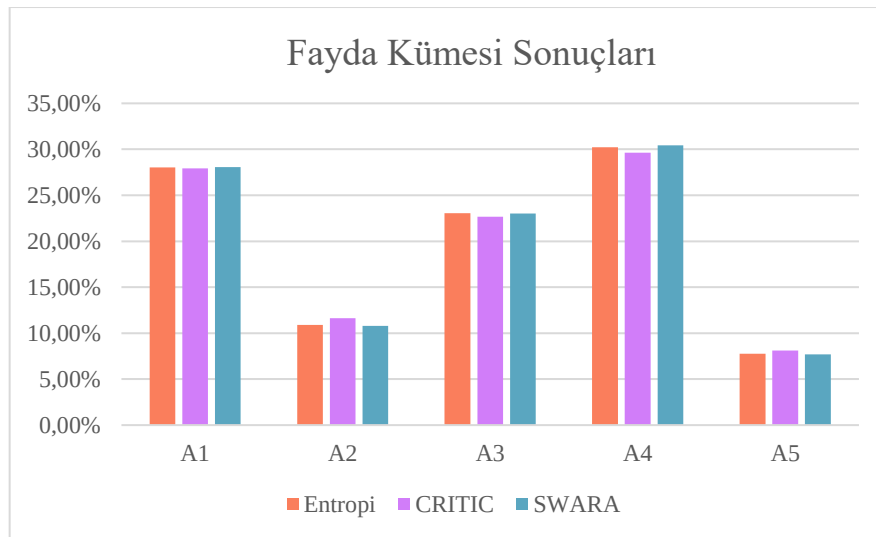
Şekil 6.1. Entropi-SWARA-CRITIC yöntem sonuçları

Entropi ve SWARA ağırlıklandırma yöntemlerinin sonucuna göre en önemli kriterin enerji kullanımı (c2) olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kompozit atıkların yönetim sistemlerinde enerji gereksinimi en önemli ihtiyaçken aynı şekilde bu enerjiyi en doğru şekilde kullanarak israf etmemekte de gereklidir. Enerji verimliliği ile iklim değişikliğine karşı mücadele etkinliği artırılarak doğal kaynakların da korunumu sağlanır. CRITIC ağırlıklandırma sonucunda ise en önemli kriterin kimyasal kullanımı (c4) olduğu görülmektedir. Zararlı kimyasallara maruz kalmanın insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri vardır. Çünkü pek çok kimyasal madde doğrudan ya da kullanıldıktan sonra çevreye salınmakta böylece havaya, suya ve toprağa karışmaktadır. Bu sebeple atık yönetim sistemlerinde kimyasal kullanımı azaltılmalı veya daha az tehlikesi bulunan kimyasallar kullanılmalıdır. CRITIC yöntem sonuçlarının Entropi ve SWARA'dan farklı çıkmasının nedeni; CRITIC yönteminde, kriterlerin standart sapmalarının ve kriterler arası korelasyonun birlikte kullanılması ve kriterlerin minimum ve maksimum yapılarına göre normalizasyon yapılmasıdır.

Entropi ve SWARA ağırlıklandırma yöntemlerinde enerji kullanımı kriterini teknolojik uygunluk (c8) ve malzeme kalitesi (c7) kriterleri takip etmektedir. Kompozit atık yönetim sistemlerinde, kaynak verimliliği yönetim sistemlerinin ana faktörüdür. Kaynak verimliliğinin amacı kompozit atık yönetim sistemlerinde daha az kaynak (enerji, su vb.) kullanmaktır. Atık yönetiminde enerji kullanım sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesi ile hem kaynak verimliliği sağlanmış olur hem de atık yönetimini gerçekleştiren kuruluşlarda rekabet açısından avantaj sağlanır. Kompozit atık yönetim sistemleri teknik anlamda gelişime açık olduğunda hem geri dönüşümü yapılacak atığın malzeme kalitesi artmış olur hem de atık ekonomik anlamda daha fazla değer oluşturabilir. İşletme maliyeti kriterlerinin tüm yöntemlerde ağırlığının az olmasının sebebi ise, kompozit atık yönetim sistemlerine neredeyse aynı oranda etkili olmalarıdır.

6.2. ANP Sentez Sonuçları

Vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemleri için 5 farklı alternatif belirlenmiştir. Bu alternatifler, fayda, maliyet ve risk kümelerinde yer alan alt kümelerdeki ölçütler esas alınarak Entropi, SWARA ve CRITIC yöntemlerine göre ağırlıklandırılarak karşılaştırılmıştır. Bu duruma göre ANP sentez sonuçlarının grafikleri Şekil 6.2-6.4'te verilmiştir. BCR kümesinde yapılan sıralamalarda fayda kümesinin olumlu; maliyet ve risk kümesinin ise olumsuz etkileri göz önünde bulundurulmuştur.

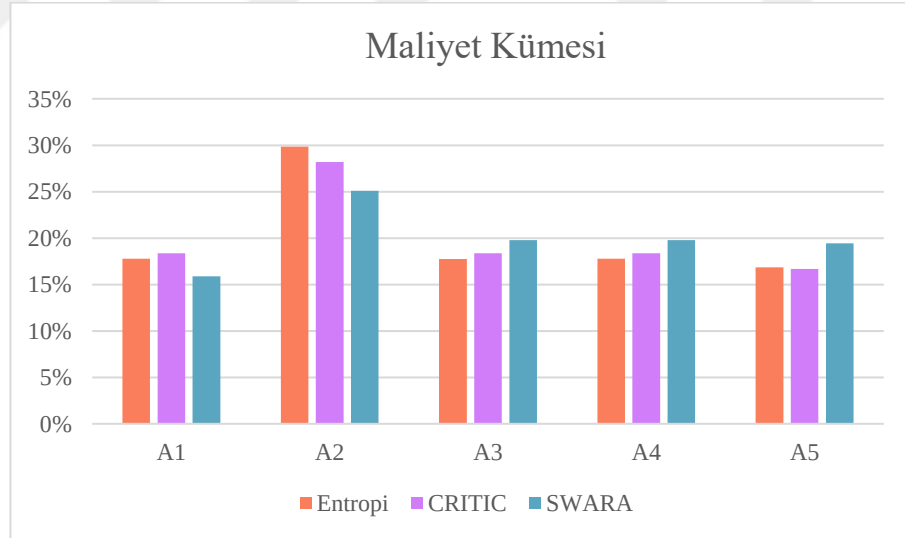


Şekil 6.2. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR fayda kümesi sonuçları. (A1, kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm; A2, mekanik geri dönüşüm; A3, insinerasyon; A4, piroliz; A5, depolama)

Entropi, CRITIC ve SWARA ağırlıklandırma yöntemi esas alınarak gerçekleştirilen ve Şekil 6.2’de verilen ANP-BCR fayda kümesi sonuçlarına göre; Entropi yönteminde fayda kümesinde atık yönetimi için en ideal alternatifin Piroliz yöntemi olduğu belirlenmiştir. Piroliz (0,3023) yöntemini sırasıyla; kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,2804), insinerasyon (0,2304), mekanik geri dönüşüm (0,1090) ve depolama (0,0777) yöntemi takip etmektedir.

CRITIC yönteminde, fayda kümesinde atık yönetimi için en ideal alternatifin Piroliz yöntemi olduğu belirlenmiştir. Piroliz (0,2964) yöntemini sırasıyla; kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,2794), insinerasyon (0,2265), mekanik geri dönüşüm (0,1163) ve depolama yöntemi (0,0812) takip etmektedir

SWARA yönteminde ise fayda kümesinde, atık yönetimi için en ideal alternatifin Piroliz yöntemi olduğu belirlenmiştir. Piroliz (0,3042) yöntemini sırasıyla; kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,2805), insinerasyon (0,2302), mekanik geri dönüşüm (0,1079) ve depolama yöntemi (0,0770) takip etmektedir.

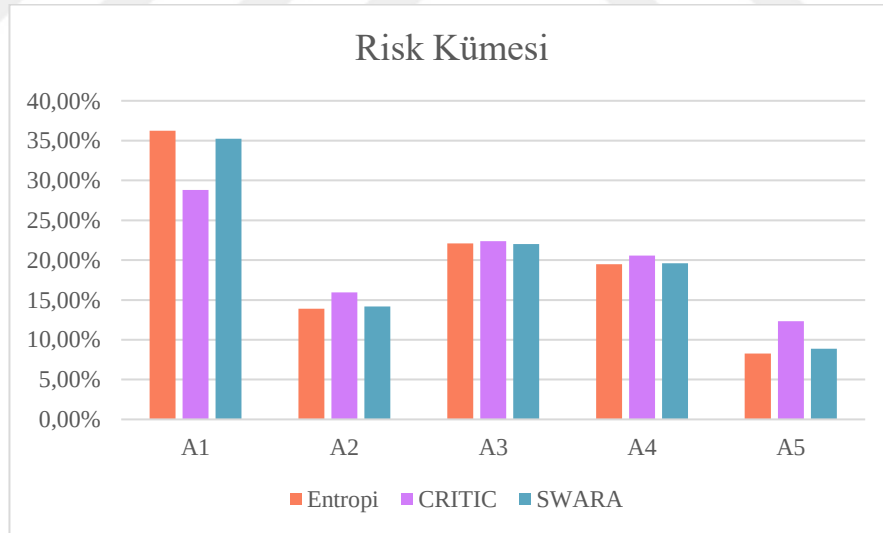


Şekil 6.3. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR maliyet kümesi sonuçları. (A1, kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm; A2, mekanik geri dönüşüm; A3, insinerasyon; A4, piroliz; A5, depolama)

Entropi, CRITIC ve SWARA ağırlıklandırma yöntemi esas alınarak gerçekleştirilen ve Şekil 6.3'te verilen ANP-BCR maliyet kümesi sonuçlarına göre; Entropi yönteminde maliyet kümesinde en fazla maliyetli olan alternatif mekanik geri dönüşüm yöntemidir. Mekanik geri dönüşüm (0,2983) yöntemini sırasıyla; kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,1778), piroliz (0,1778), insinerasyon (0,1777) ve depolama (0,1684) yöntemi takip etmektedir.

CRITIC yönteminde maliyet kümesinde en fazla maliyetli olan alternatif mekanik geri dönüşüm yöntemidir. Mekanik geri dönüşüm (0,2819) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,1837), piroliz (0,1837), kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,1837) ve depolama yöntemi (0,1665) takip etmektedir.

SWARA yönteminde ise maliyet kümesinde en fazla maliyetli olan alternatif mekanik geri dönüşüm yöntemidir. Mekanik geri dönüşüm (0,2510) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,1977), piroliz (0,1977) depolama yöntemi (0,1934) ve kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,1590) takip etmektedir.

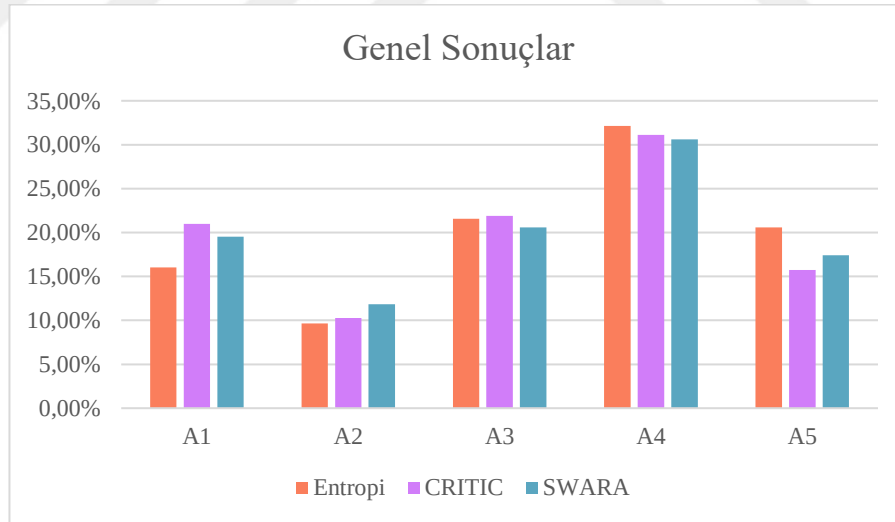


Şekil 6.4. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR risk kümesi sonuçları. (A1, kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm; A2, mekanik geri dönüşüm; A3, insinerasyon; A4, piroliz; A5, depolama)

Entropi, CRITIC ve SWARA ağırlıklandırma yöntemi esas alınarak gerçekleştirilen ve Şekil 6.4'te verilen ANP-BCR risk kümesi sonuçlarına göre; Entropi yönteminde risk kümesinde en riskli alternatif kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm yöntemidir. Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,3624) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,2210), piroliz (0,1947), mekanik geri dönüşüm (0,1391) ve depolama (0,0825) yöntemi takip etmektedir.

CRITIC yönteminde risk kümesinde en riskli alternatif kimyasal kullanımı ile geri dönüşüm yöntemidir. Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,2879) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,2236), piroliz (0,2058), mekanik geri dönüşüm (0,1593) ve depolama (0,1231) takip etmektedir.

SWARA yönteminde ise risk kümesinde, en riskli alternatif kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm yöntemidir. Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (0,3524) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,2208), piroliz (0,1961), mekanik geri dönüşüm (0,1417) ve depolama (0,0888) takip etmektedir.



Şekil 6.5. Entropi-CRITIC ve SWARA ağırlıklandırılan vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemi ANP-BCR genel sonuçları. (A1, kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm; A2, mekanik geri dönüşüm; A3, insinerasyon; A4, piroliz; A5, depolama)

Entropi, CRITIC ve SWARA ağırlıklandırma yöntemi esas alınarak gerçekleştirilen ve Şekil 6.5'te verilen ANP-BCR genel sonuçlarına göre; Entropi yöntemi genel sonuçlarda atık yönetimi için en ideal alternatifin piroliz yöntemi olduğu

belirlenmiştir. Piroliz (0,3213) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,2158), depolama (0,2059), kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm yöntemi (0,1602), ve mekanik geri dönüşüm (0,0966) takip etmektedir.

CRITIC yöntemi genel sonuçlarda atık yönetimi için en ideal alternatifin piroliz yöntemi olduğu belirlenmiştir. Piroliz (0,3112) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,2189), kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm yöntemi (0,2097), depolama (0,1572) ve mekanik geri dönüşüm (0,1027) takip etmektedir.

SWARA yöntemi genel sonuçlarında ise atık yönetimi için en ideal alternatifin piroliz yöntemi olduğu belirlenmiştir. Piroliz (0,3061) yöntemini sırasıyla; insinerasyon (0,2057), kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm yöntemi (0,1953), depolama (0,1743) ve mekanik geri dönüşüm (0,1183) takip etmektedir.

Özet olarak; Entropi, CRITIC ve SWARA ile ağırlıklandırılan ANP-BCR sonuçlarına göre en iyi alternatifin “Piroliz (A4)” olduğu görülmektedir. Piroliz yöntemi ile kompozit atıkların yönetim sisteminin bütüncül bir yaklaşım ile ele alınarak çevresel, sosyal, teknolojik ve ekonomik olarak en fazla faydayı sağladığı anlaşılmıştır.

6.3. TOPSIS Sonuçları

Kompozit atıkların yönetim sistemlerinin değerlendirilmesi için oluşturulan modelin TOPSIS yöntemine göre 7 adımdan oluşan çözümü Microsoft Office Excel programı kullanılarak yapılmıştır. Entropi-TOPSIS, SWARA-TOPSIS ve CRITIC-TOPSIS yöntemleri değerlendirme sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Entropi ağırlıklandırma yöntemine göre TOPSIS sonuçları: Entropi yöntemi ile kriter ağırlıklandırması yapılan değerlerin TOPSIS sonuçları aşağıdaki tablolarda aşamalı olarak verilmiştir. Bütün ağırlıklandırma metotlarında TOPSIS yönteminin aşamaları aynı olduğundan adımların açıklamaları sadece bu bölümde verilmiştir. SWARA ve CRITIC yöntemlerinde de aynı adımlar takip edilmiştir.

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması: Karar matrisi olarak Tablo 5.3 esas alınmıştır.

2. Adım: Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması: Bu adımda Tablo 5.3'teki sütunlardaki değerlerin, ilgili sütundaki tüm değerlerin kareleri toplamının

kareköküne bölünmesiyle normalize edilmiş karar matrisi elde edilir. Elde edilen değerler Tablo 6.10’da gösterilmektedir.

Tablo 6.10. TOPSIS normalize edilmiş karar matrisi

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,5694	0,7865	0,5432	0,5523	0,4366	0,3724	0,5642	0,5628	0,5819	0,5773
A2	0,3796	0,2447	0,3621	0,3682	0,5457	0,6709	0,2821	0,1407	0,2909	0,2474
A3	0,4745	0,4194	0,5432	0,4602	0,4366	0,3724	0,4232	0,4925	0,4364	0,4948
A4	0,4745	0,3626	0,4526	0,4602	0,4366	0,3724	0,6348	0,6332	0,5819	0,5773
A5	0,2847	0,1179	0,2716	0,3682	0,3608	0,3658	0,1410	0,1407	0,2182	0,1649

3. Adım: Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılması: Bu adımda Tablo 6.4’te gösterilen kriter ve kriter önem ağırlıklarının Tablo 6.10’da elde edilen değerlerle çarpılarak Tablo 6.11’deki ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilir.

Tablo 6.11. Entropi yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,0204	0,1831	0,0236	0,0093	0,0053	0,0179	0,0852	0,1292	0,0531	0,0792
A2	0,0136	0,0569	0,0157	0,0062	0,0067	0,0324	0,0426	0,0323	0,0265	0,0339
A3	0,0170	0,0976	0,0236	0,0077	0,0053	0,0179	0,0639	0,1130	0,0398	0,0679
A4	0,0170	0,0844	0,0196	0,0077	0,0053	0,0179	0,0959	0,1453	0,0531	0,0792
A5	0,0102	0,0274	0,0118	0,0062	0,0044	0,0176	0,0213	0,0323	0,0199	0,0226

4. Adım: Pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi: Bu adımda Tablo 6.11’de elde edilen değerlerin pozitif ideal çözümü için; ağırlıklandırılmış matrisin her bir sütunundaki en büyük değer, negatif ideal çözüm ise ağırlıklandırılmış matrisin her bir sütunundaki en küçük değer belirlenmektedir. Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 6.12’de gösterilmektedir.

Tablo 6.12. Entropi yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler

V⁺	0,0102	0,0274	0,0118	0,0062	0,0044	0,0176	0,0959	0,1453	0,0531	0,0792
V⁻	0,0204	0,1831	0,0236	0,0093	0,0067	0,0324	0,0213	0,0323	0,0199	0,0226

5. Adım: Pozitif ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinin hesaplanması: Bu adımda kriter değerlerini gösteren sütun değerlerinden pozitif ideal ve negatif ideal değerler çıkartılarak sırasıyla pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık değerleri belirlenir.

6.Adım: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması: Bu adımda, bir önceki adımda elde edilen negatif ideal çözüm değerleri, kendi değeri ve aynı sütundaki alternatifin pozitif ideal çözüm değerlerinin toplamına bölünmesiyle elde edilir.

7. Adım: Alternatiflerin sıralanması ve nihai sonuç: Pozitif ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri, ideal çözüme göreli yakınlık ve nihai sıralama Tablo 6.13’te verilmiştir.

Tablo 6.13. Entropi yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları

	Si⁺	Si⁻	Pi	Sıralama
A1	0,1576	0,1341	0,4597	5
A2	0,1396	0,1290	0,4802	4
A3	0,0865	0,1353	0,6099	2
A4	0,0579	0,1806	0,7571	1
A5	0,1505	0,1571	0,5107	3

Tablo 6.13’te gösterilen sıralama incelendiğinde ‘‘Piroliz (A4)’’ alternatifinin öncelikli tercih edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Piroliz alternatifini sırasıyla İnsinerasyon (A3), Depolama (A5), Mekanik geri dönüşüm (A2) ve Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (A1) takip etmektedir.

SWARA yöntemine göre TOPSIS sonuçları: SWARA yöntemi ile kriter ağırlıklandırması yapılan değerlerin TOPSIS sonuçları Tablo 6.14, Tablo 6.15 ve Tablo 6.16’da gösterilmiştir.

Tablo 6.14. SWARA yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,0249	0,1940	0,0287	0,0219	0,0165	0,0171	0,0806	0,1207	0,0462	0,0550
A2	0,0166	0,0603	0,0191	0,0146	0,0206	0,0308	0,0403	0,0301	0,0231	0,0235
A3	0,0207	0,1034	0,0287	0,0183	0,0165	0,0171	0,0605	0,1056	0,0346	0,0471
A4	0,0207	0,0894	0,0239	0,0183	0,0165	0,0171	0,0090	0,1358	0,0462	0,0550
A5	0,0124	0,0291	0,0143	0,0146	0,0136	0,0168	0,0020	0,0301	0,0173	0,0157

Tablo 6.15. SWARA yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler

V ⁺	0,0124	0,0291	0,0143	0,0146	0,0136	0,0168	0,0806	0,1358	0,0462	0,0550
V ⁻	0,0249	0,1940	0,0287	0,0219	0,0206	0,0308	0,0020	0,0301	0,0173	0,0157

Tablo 6.16. SWARA yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları

	Si ⁺	Si ⁻	Pi	Sıralama
A1	0,1669	0,1302	0,4383	5
A2	0,1248	0,1401	0,5290	4
A3	0,08569	0,1372	0,6156	2
A4	0,09463	0,1574	0,6245	1
A5	0,14046	0,1669	0,5430	3

Tablo 6.16’da gösterilen sıralama incelendiğinde ‘‘Piroliz (A4)’’ alternatifinin öncelikli tercih edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Piroliz alternatifini sırasıyla İnsinerasyon (A3), Depolama (A5), Mekanik geri dönüşüm (A2) ve Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (A1) takip etmektedir.

CRITIC yöntemine göre TOPSIS sonuçları: CRITIC yöntemi ile kriter ağırlıklandırılması yapılan değerlerin TOPSIS sonuçları Tablo 6.17, Tablo 6.18 ve Tablo 6.19’da gösterilmiştir.

Tablo 6.17. CRITIC yöntemine göre TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10
A1	0,0555	0,0732	0,0605	0,0619	0,0318	0,0329	0,0545	0,0606	0,0627	0,0643
A2	0,0370	0,0227	0,0403	0,0412	0,0398	0,0593	0,0272	0,0151	0,0313	0,0275
A3	0,0462	0,0390	0,0605	0,0515	0,0318	0,0329	0,0409	0,0530	0,0470	0,0551
A4	0,0462	0,0337	0,0504	0,0515	0,0318	0,0329	0,0613	0,0682	0,0627	0,0643
A5	0,0277	0,1098	0,0302	0,0412	0,0263	0,0323	0,0136	0,0151	0,0235	0,0183

Tablo 6.18. CRITIC yöntemine göre TOPSIS pozitif ideal ve negatif ideal çözümler

Vi ⁺	0,0277	0,0227	0,0302	0,0412	0,0263	0,0323	0,0613	0,0682	0,0627	0,0643
Vi ⁻	0,0555	0,1098	0,0605	0,0619	0,0398	0,0593	0,0136	0,0151	0,0235	0,0183

Tablo 6.19. CRITIC yöntemine göre TOPSIS genel sonuçları

	Si ⁺	Si ⁻	Pi	Sıralama
A1	0,0692	0,0974	0,5846	3
A2	0,0861	0,0953	0,5253	4
A3	0,0513	0,1002	0,6611	2
A4	0,0317	0,1248	0,7972	1
A5	0,1277	0,0550	0,3009	5

Tablo 6.19’da gösterilen sıralama incelendiğinde ‘‘Piroliz (A4)’’ alternatifinin öncelikli tercih edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Piroliz alternatifini sırasıyla İnsinerasyon (A3), Kimyasal ilavesi ile geri dönüşüm (A1), Mekanik geri dönüşüm (A2) ve Depolama (A5) takip etmektedir.

Entropi, SWARA ve CRITIC ile ağırlıklandırılan TOPSIS sonuçlarına göre en iyi alternatifin ‘‘Piroliz (A4)’’ olduğu görülmektedir. TOPSIS sonuçlarının ANP-BCR sonuçları ile benzer çıkmasının sebebi kompozit atığın yoğunluğuna göre yönetim sürecinin karmaşıklaşmasıdır. Bu nedenle vaks içeren kompozit atıkların yönetim sürecinde hem teknik anlamda gelişmiş ve verimli bir sisteme ihtiyaç varken hem de döngüsel ekonomiye daha fazla katkı sunabilmeye ihtiyaç vardır. Kompozit atıkların pirolizi, sıfır atık yaklaşımı doğrultusunda çalıştığından sistemden elde edilen tüm çıktılar

geliri olan ürün niteliğindedir. Süreçte fazladan atık üretilmediği için de ekstra bir atık bertaraf maliyeti gerekmez. Bu sebeple karlılık oranı diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında daha fazladır. Piroliz, teknolojik olarak kendi kendine yetebilen bir sistemdir, bu yüzden de ilk çalıştırma dışında fazladan yakıt gereksinimi yoktur. Bu yönetim süreciyle kompozit atıklar hem ekonomik değer oluştururken hem de sürdürülebilir olarak çevresel fayda sağlamaktadırlar.



7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çevresel açıdan değerlendirilme imkanı yüksek olan kompozit atıkların karmaşık yapıları nedeniyle sürdürülebilir atık yönetim sistemleri zor olabilmektedir. Vaks içeren kompozit atıkların birçok alanda kullanımı mümkün olmasına rağmen sürdürülebilir olarak yönetilebilmesi için karar verme aşaması çevresel, ekonomik, teknolojik ve sosyal bileşenleri içeren konudur. MCDM ile sayısız alandaki problemlerin çözümünde belirli kriterler yardımıyla en uygun alternatifin seçimi yapılabilmektedir. ANP ve TOPSIS son zamanlarda gelişme göstererek karar verme problemlerinde sık kullanılan değerlendirme yöntemleri haline gelmişlerdir. ANP her ölçütün kendi içindeki bağımlılık ve geri dönüşlerini göz önünde bulundurarak karmaşık karar verme problemlerini rahatlıkla modelleyebilmektedir. TOPSIS yöntemi ile ileriye dönük alınan kararların daha bilinçli ve sürdürülebilir olması sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, vaksın kompozit malzeme üretiminde kullanım yöntemleri incelenerek vaksın birçok uygulama alanında kullanılabilir olduğu, ayrıca eklendikleri malzemenin yapısını daha avantajlı hale getirdiği gözlemlenmiş, vaks içeren kompozit atıkların yönetim sistemleri çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmiştir. MCDM yöntemi olarak kullanılan ANP ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılmak üzere 5 alternatif ve 10 kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıklandırması entropi, SWARA ve CRITIC metotları ile yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan ANP ve TOPSIS modelleri çözümlenerek, alternatiflerin sıralaması belirlenmiştir.

Entropi ve SWARA metodu kullanılarak yapılan ağırlıklandırma sonuçlarında en önemli kriterin enerji kullanımı olduğu görülmektedir. Bu sonucun sebebi kompozit atık yönetim süreçlerinde uygulanan yöntemlerin devamlılığı için enerji gereksinimine ihtiyaç varken aynı şekilde enerjinin en doğru şekilde kullanılması da gereklidir. Enerji kaynaklarında sağlanan tasarruf ile israfın önüne geçilerek kaynak verimliliği sağlanmış olur. CRITIC ağırlıklandırma sonucunda ise en önemli kriterin ‘kimyasal kullanımı (c4)’ olduğu görülmektedir. Bu sonucun gözlenme sebebi ise, CRITIC yöntemi ile kriterlerin normalizasyon süreci fayda ve maliyet olarak iki farklı yapıya göre uygulanır. Bu nedenle de çevresel açıdan risk olabilecek kriterlerin önem ağırlıkları daha fazla olmaktadır.

Kullanılan tüm ağırlıklandırma yöntemleri ile yapılan ANP sonuçlarında en iyi alternatifin ‘Piroliz (A4)’ olduğu görülmektedir. Bu sonucun gözlenme sebebi, piroliz

alternatifinin hem atık yönetim sürecindeki avantajları hem de elde edilen geri dönüştürülmüş malzeme kalitesi ile teknik açıdan uygulanabilirliği en fazla olan alternatif olmasıdır. TOPSIS yönteminde ise; Entropi, SWARA ve CRITIC metodu kullanılarak yapılan ağırlıklandırma sonucunda ‘‘Piroliz (A4)’’ alternatifinin öncelikli olarak tercih edilebileceği görülmüştür. ANP-BCR ve TOPSIS değerlendirme yöntemlerinde ‘‘Piroliz (A4)’’ alternatifinin tercih edilebilirliği en fazla olan seçenek olmasının sebebi hem esnek olarak atık özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklere uyum sağlayabilen hem de teknolojik ve ekonomik değer oluşturabilen gelişmeye açık bir kompozit atık değerlendirme yöntemi olmasıdır. ANP-BCR ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte uygulanması ilişki kurma, çeşitli faktörlerin aynı anda değerlendirilmesi, somut ve soyut kriterlerin kullanılması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır.

Değerlendirilen yöntemlerin her biri kompozit atık yönetiminde karşılaşılan pek çok farklı problemi çözmek için kolaylık sağlayabilecek etkin yöntemlerdir. Kompozit atıkların yönetim süreci hem riskli hem de maliyetli bir süreçtir. Kompozit atıkların yönetim süreçlerinde uygun karar verme yöntemlerinin kullanılması ile hem zamandan tasarruf sağlanırken hem de olası risklerin engellenmesi mümkündür. Bu tarz atıkların yönetim süreçlerinde çevresel, ekonomik, teknolojik, sosyal ve teknik pek çok parametrenin dikkate alınması gereklidir. Ayrıca bu parametrelerin nicel ve nitel anlamda değişkenlik ve belirsizlik içerdiği durumlar olmaktadır. MCDM yöntemleri ile en uygun kompozit atık yönetiminde alternatif seçiminin bilimsel ve teknik esaslara dayalı belirlenmesi mümkün olmaktadır. Literatürde de kabul görmüş MCDM yöntemleri arasında en etkin algoritmalarından olan ANP ve TOPSIS’in entegrasyonu ile karmaşık olan kompozit atık yönetim süreçlerinin değerlendirilmesi rahatlıkla yapılabilmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması ile vaks içeren kompozit atıkların birçok uygulama alanı için ne kadar değerli bir bileşen olduğu anlaşılmış, vaks içeren kompozit atıkların yönetim süreci bütünsel bir yaklaşım ile çevresel, ekonomik, teknolojik ve politik unsurlar göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların kompozit atıkların yönetimi için kullanılabilecek olmasının yanı sıra, uygulanan yaklaşımın diğer atıkların yönetim sistemleri için de kullanılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Shafy, H.I., ve Abey Mansour, M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 1275-1290.
- Allaire, Roger A., Mark, S., Friske Sandra L., Hagg, Janas, Victor F., Compositions and methods for making ceramic matrix composite. US. Patent No: 5024978A.
- Adalı, E.A., ve Isık, A. (2017). Bir tedarikçi seçim problemi için swara ve waspas yöntemlerine dayanan karar verme yaklaşımı. *International Review of Economics and Management.*, 5(4), 56-77.
- Aghajani Mir, M., Taherei Ghazvinei, P., Sulaiman, N. M., Basri, N. E., Saheri, S., Mahmood, N. Z., Jahan, A., Begum, R. A., ve Aghamohammadi, N. (2016). Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *Journal of environmental management*, 166, 109–115.
- Alao, M. A., Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S. O., ve Popoola, O. M. (2020). Multi-criteria decision-based waste to energy technology selection using entropy-weighted TOPSIS technique: The case study of Lagos, *Nigeria. Energy*, 117675.
- AlMaadeed, M. A., Labidi, S., Krupa, I., ve Ouederni, M. (2015). Effect of waste wax and chain structure on the mechanical and physical properties of polyethylene. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 388–399.
- AlMaadeed, M. A., Labidi, S., Krupa, I. ve Karkri, M. (2015). Effect of expanded graphite on the phase change materials of high-density polyethylene/wax blends. *Thermochimica Acta*, 600, 35–44.
- Al-Oqla, F. M., Sapuan, S. M., Ishak, M. R ve Nuraini, A. A. (2015). A Model for Evaluating and Determining the Most Appropriate Polymer Matrix Type for Natural Fiber Composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 20(3), 191–205.
- Al-Zubaidi, A. B. (2019). Recycling of Waste Paraffin Wax by the Addition of SiO₂ Nano-Powders to Improve Thermal Conductivity: Thermal conductivity; waste

- Paraffin wax; SiO₂ nano powders. *Engineering and Technology Journal*, 37(9A), 369-373.
- Ali, Y., Aslam, Z., Dar, H. S., ve Mumtaz, U. (2018). A multi-criteria decision analysis of solid waste treatment options in Pakistan: Lahore City—a case in point. *Environment Systems and Decisions*.
- Arıkan, E., Şimşit-Kalender, Z. T., ve Vayvay, Ö. (2017). Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 142, 403–412.
- Arslan, R. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılması ve bütünleştirilmesi: Oecd verileri üzerine bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- Arslan, R. ve Bircan, H. (2018). Alternatif Sayısının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sonuçlarına Etkisi. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 9 (18).
- Aynur, E., (2011). İstanbul’da Oluşan Kentsel Katı Atıklar için Yakma ve Gazlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Bajus, M. ve Hájeková, E., (2010). Thermal cracking of the model seven components mixed plastics into oils/waxes. *Petroleum & Coal*, 52(3), 164-172.
- Beginn, U. (2003). Applicability of Frozen Gels from Ultra High Molecular Weight Polyethylene and Paraffin Waxes as Shape Persistent Solid/Liquid Phase Change Materials. *Macromolecular Materials and Engineering*, 288(3), 245–251.
- Blazso, M. (2010). Pyrolysis for recycling waste composites. *Management, Recycling and Reuse of Waste Composites*, 102–121.
- Bulğurcu, B. (2019). Çok nitelikli fayda teorisi ile CRITIC yöntem entegrasyonu: Akıllı teknoloji tercih örneği. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 13(19).
- Cai, Y., Wei, Q., Huang, F., Lin, S., Chen, F., ve Gao, W. (2009). Thermal stability, latent heat and flame-retardant properties of the thermal energy storage phase change

- materials based on paraffin/high density polyethylene composites. *Renewable Energy*, 34(10), 2117–2123.
- Chandrasekaran, S.R., ve Sharma, B.K. (2019). From waste to resources. *Plastics to Energy*, 345-364.
- Chen, F., ve Wolcott, M. P. (2014). Miscibility studies of paraffin/polyethylene blends as form-stable phase change materials. *European Polymer Journal*, 52, 44–52.
- Coban, A., Ertis, I. F., ve Cavdaroglu, N. A. (2018). Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 180, 159–167.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2017). Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019). Sıfır Atık Yönetmeliği
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019). Geri Kazanım Katılım Payına İlişkin Yönetmelik
- Cunliffe, A. M., Jones, N., & Williams, P. T. (2003). Pyrolysis of composite plastic waste. *Environmental Technology*, 24(5), 653–663.
- Delvere, I., Iltina, M., Shanbayev, M., Abildayeva, A., Kuzhamberdieva, S., ve Blumberga, D. (2019). Evaluation of polymer matrix composite waste recycling methods. *Environmental and Climate Technologies*, 23, 168- 187.
- Deniz, M., E., (2005). Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıtma işlemle presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı. *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Djokovic, V., Mtshali, T., ve Luyt, A. (2003). The influence of wax content on the physical properties of low-density polyethylene-wax blends. *Polymer International*, 52(6), 999–1004.
- Dong, P.A., Azzaro-Pantel, C., ve Cadène, A. (2018). Economic and environmental assessment of recovery and disposal pathways for CFRP waste management. *Resources Conservation and Recycling*, 133, 63-75.

- Ekmekçioğlu, M., Kaya, T., ve Kahraman, C. (2010). Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. *Waste management (New York, N.Y.)*, 30(8-9), 1729–1736.
- Erginel, N., Şentürk, S. ve Binici, Y., (2014). 3pl Firma Seçiminde Bocr Ölçütlerini Temel Alan Anp Yönteminin Kullanımı. *Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*. 3(1), 33-44.
- Estep, G. D., (2010). The influence of extrusion processing and formulation on form-stable phase change material, *Washington State University, Department of civil and Environmental Engineering, Master Thesis*.
- European Comission, (2018). *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy*.
- European Court of Auditors, (2020). Review No:4: EU action to tackle the issue of plastic waste. *American Journal of Engineering Research*. 03(11), 93-108.
- Evangelisti, S., Tagliaferri, C., Clift, R., Lettieri, P., Taylor, R., ve Chapman, C.R. (2015). Life cycle assessment of conventional and two-stage advanced energy-from-waste technologies for municipal solid waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, 100, 212-223.
- Fredi, G., Bruenig, H., Vogel, R., ve Scheffler, C. (2019). Melt-spun polypropylene filaments containing paraffin microcapsules for multifunctional hybrid yarns and smart thermoregulating thermoplastic composites. *Express Polymer Letters*, 13, 1071-1087.
- Ghani, S. A. A., Jamari, S. S. ve Abidin, S. Z. (2020). Waste materials as the potential phase change material substitute in thermal energy storage system: a review. *Chemical Engineering Communications*, 1–21.
- Gopalraj, S.K., ve Karki, T. (2020). A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre-reinforced composites: fibre recovery, properties, and life-cycle analysis. *SN Applied Sciences*, 2, 1-21.
- Govind Kharat, M., Murthy, S., Jaisingh Kamble, S., Raut, R. D., Kamble, S. S., ve Govind Kharat, M. (2018). Fuzzy multi-criteria decision analysis for

- environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection. *Technology in Society*.
- Gökkaya, H, Kellegöz, T. (2017). Personel Tayin İşlemleri İçin AHP, TOPSIS ve Macar Algoritması Tabanlı Karar Destek Modeli. *Endüstri Mühendisliği*, 28 (1), 2-18.
- Görgülü, İ., Korkmaz, M. ve Eren, T., (2013). Analitik ağ prosesi ve topsis yöntemleri ile optimal yatırım stratejisi seçimi. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 31(2), 203-213.
- Gumede, T. P., Luyt, A. S., Pérez-Camargo, R. A., Iturrospe, A., Arbe, A., Zubitur, M., Mugica, A. ve Müller, A. J. (2016). Plasticization and cocrystallization in LLDPE/wax blends. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 54(15), 1469–1482.
- Gutierrez, A., Miró, L., Gil, A., Rodríguez-Aseguinolaza, J., Barreneche, C., Calvet, N., Xavier, P., Fernandez, A.İ., Garageda, M., Svetlana, U. ve Cabeza, L. F. (2016). Industrial waste materials and by-products as thermal energy storage (TES) materials: A review. *AIP Conference Proceeding*, 1734(1).
- Güneş, D., (2010). AI matrisli SiCp takviyeli kompozit ile Ç1030 çeliğinin sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin araştırılması, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Gür, M., Kılınçel, M. ve Toklu, E. (2018). Ahşap numunelerin pirolizi ile sentez gazı eldesinde nemin etkisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6, 2-7.
- Hedlund-Astrom A., (2005). Model for End of Life Treatment of Polymer Composite Materials. *KTH Royal Institute of Technology. Department of Machine Design Royal Institute of Technology, Doctoral Thesis*.
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., ve Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives presents in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal, and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 179–199.

- Hato, M. J. ve Luyt, A. S. (2007). Thermal fractionation and properties of different polyethylene/wax blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 104(4), 2225–2236.
- Himran, S. ve Mansoori, G.A., (1994). Characterization of alkanes and paraffin waxes for application as phase change energy storage medium. *Energy Sources*, 16(1), 117-128.
- http-1, <https://www.kplintl.com/blog/commercial-uses-of-paraffin-wax/> Erişim Tarihi: 13.02.2020
- http-2, <https://sifiratik.gov.tr/kompozit-atik> Erişim Tarihi: 14.02.2020
- http-3, <http://www.agarscientific.com/paraffin-wax> Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- http-4, <http://www.kimyaendustri.com/urunler/detay/107/5067> Erişim Tarihi: 18.02.2020
- http-5, <https://persiaparaffin.com/para-pedia/paraffin-waxes-in-paper-industry/> Erişim Tarihi: 10.05.2021
- ISO-Sanayi, (2020), Mercek: Atık yönetimi. *İstanbul Sanayi Odası Dergisi*. 50-51.
- Jovanovic, S., Savic, S., Jovicic, N., Boskovic, G., ve Djordjevic, Z. (2016). Using multi-criteria decision making for selection of the optimal strategy for municipal solid waste management. *Waste Management & Research*, 34(9), 884–895.
- Kalemtaş, A., (2015). Seramik matrisli kompozit malzemeler. *Putech & Composites*, 20-26.
- Karkri, M., Lachheb, M., Ngellov, Z., Boh, B., Sumiga, M. A., AlMaadeed, A. ve Krupa, I. (2015). Thermal properties of phase-change materials based on high-density polyethylene filled with micro-encapsulated paraffin wax for thermal energy storage. *Energy and Buildings*, 88, 144–152.
- Kaya, A. İ., (2016). Kompozit malzemeler ve zellikleri. *Putech & Composites*, 38-45.
- Khan, S., ve Faisal, M. N. (2008). An analytic network process model for municipal solid waste disposal options. *Waste Management*, 28(9), 1500–1508.

- Kılıç, C., (2008), Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş ve soğuk haddelenmiş AIMg₃/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Kim, D., Park, I., Seo, J., Han, H. ve Jang, W. (2015). Effects of the paraffin wax (PW) content on the thermal and permeation properties of the LDPE/PW composite films. *Journal of Polymer Research*, 22(2).
- Kim, S., Moon, H., ve Kim, J. (2015). Thermal characterizations of the paraffin wax/low density polyethylene blends as a solid fuel. *Thermochimica Acta*, 613, 9–16.
- Kiran., N., Ekinci. E. ve Snape., C., E. (2000). *Recycling plastic waste via pyrolysis*, 29, 273-283.
- Karuppannan Gopalraj, S., Karki, T., (2020). A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre-reinforced composites: fibre recovery, properties and life-cycle analysis. *SN Applied Science*. 2, 433
- Krauklis, A.E.,Karl, C.W., Gagani, A.I., Jorgensen, J.K. (2020). Composite Material Recycling Technology- State-of-the-Art and Sustainable Development for the 2020s. *Journal of Composites Science*. 5 (28).
- Krupa, I. ve Luyt, A. (2001). Thermal and mechanical properties of extruded LLDPE/wax blends. *Polymer Degradation and Stability*, 73(1), 157–161.
- Krupa, I., Miková, G. ve Luyt, A. S. (2007). Phase change materials based on low-density polyethylene/paraffin wax blends. *European Polymer Journal*, 43(11), 4695–4705.
- Kükrer, T. (2010). Taşınabilir elektronik aygıtların atık pillerinden lityum ve kobalt geri kazanımı, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Lach, M., Mikuła, J. ve Hebda, M. (2016). Thermal analysis of the by-products of waste combustion. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*.125, 1035–1045.
- Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N. ve Brandt, N., (2010). Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 246-259.

- Lazarevic, D., Buclet, N. ve Brandt, N., (2010). The influence of the waste hierarchy in shaping European waste management: the case of plastic waste. *Regional Development Dialogue*, 31(2), 124-148.
- Lee, C. H., ve Choi, H. K. (1998). Crystalline morphology in high-density polyethylene/paraffin blend for thermal energy storage. *Polymer Composites*, 19(6), 704–708.
- MacLaren, F. H. (1950). Evaluation of quality of paraffin wax. *Industrial & Engineering Chemistry*, 42(10), 2134–2141.
- Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Hambali, A., Zainudin, E. S.ve Nuraini, A. A. (2014). Materials selection of hybrid bio-composites thermoset matrix for automotive bumper beam application using topsis method. *Advances in Environmental Biology*, 3138-3442.
- McKendry, P. (2008). Costs of Incineration and Non-Incineration Energy from Waste Technologies. *Greater London Authority, Technical Report*.
- Meng, F., Olivetti, E., Zhao, Y., Chang, J., Pickering, S., ve McKechnie, J. (2018). Comparing life cycle energy and global warming potential of carbon fiber composite recycling technologies and waste management options. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6, 9854-9865.
- Miandad, R., Barakat, M., Aburiazaiza, A.S., Rehan, M., ve Nizami, A. (2016). Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 822-838.
- Molefi, J. A., Luyt, A. S. ve Krupa, I. (2010a). Comparison of LDPE, LLDPE and HDPE as matrices for phase change materials based on a soft Fischer–Tropsch paraffin wax. *Thermochimica Acta*, 500(1-2), 88–92.
- Molefi, J. A., Luyt, A. S., ve Krupa, I. (2010b). Investigation of thermally conducting phase-change materials based on polyethylene/wax blends filled with copper particles. *Journal of Applied Polymer Science*, 116 (3).
- Mpanza, H. S., ve Luyt, A. S. (2006). Comparison of different waxes as processing agents for low-density polyethylene. *Polymer Testing*, 25(4), 436–442.

- Mu, M., Basheer, P. A. M., Sha, W., Bai, Y. ve McNally, T. (2016). Shape stabilised phase change materials based on a high melt viscosity HDPE and paraffin waxes. *Applied Energy*, 162, 68–82.
- Muzoğlu, M., (2018). Farklı ortam koşullarında bekletilen doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Navarro, M. E., Martínez, M., Gil, A., Fernández, A. I., Cabeza, L. F., Olives, R. ve Py, X. (2012). Selection and characterization of recycled materials for sensible thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 107, 131–135.
- Nouri, D., Sabour, M., Lak, M. (2011). Environmental and Technical Modeling of Industrial Solid Waste Management Using Analytical Network Process; A Case Study: Gilan-IRAN. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 5(9), 517 – 523.
- Novak, I., Krupa, I., ve Luyt, A. S. (2005). Improvement of the polarity of polyethylene with, oxidized Fischer-Tropsch paraffin wax and its influence on the final mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 95(5), 1164–1168.
- Oliveux, G., Dandy, L. O., ve Leeke, G. A. (2015). Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties. *Progress in Materials Science*, 72, 61–99.
- Oudheusden, A.V., (2012). Recycling of composite materials. A step-change in the recycling of composite materials.
- Ömürbek N. ve Şimşek A., (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*. 22.
- PAGEV. (2020). Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu.
- Patnaik, P. K., Swain, P. T. R., ve Purohit, A. (2019). Selection of composite materials for structural applications through MCDM approach. *Materials Today: Proceedings*, 18, 3454–3461.

- Pires, A., Chang, N., B., ve Martinho, G. (2011). An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 7–21.
- Plastic & Climate, (2019). *The Hidden Cost of Plastic Planet*.
- Qureshi, M.S., Oasmaa, A., Pihkola, H., Deviatkin, I., Tenhunen, A., Mannila, J., Minkkinen, H., Pohjakallio, M., ve Laine-Ylijoki, J. (2020). Pyrolysis of plastic waste: opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 152.
- Rebeiz, K. S., ve Craft, A. P. (1995). Plastic waste management in construction: technological and institutional issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 15(3-4), 245–257.
- Resch-Fauster, K., ve Feuchter, M. (2018). Thermo-physical characteristics, mechanical performance and long-term stability of high temperature latent heat storages based on paraffin-polymer compounds. *Thermochimica Acta*, 663, 34–45.
- Roes, L., Patel, M. K., Worrell, E. ve Ludwig, C. (2012). Preliminary evaluation of risks related to waste incineration of polymer nanocomposites. *Science of The Total Environment*, 417-418, 76–86.
- Ross, N. A., Roberts, L., Leith, J., ve Woodland, W. (2020). Lithium Recovery Process from Spent Batteries. *Chancellor's Honors Program Projects*.
- Roy, J., Adhikary, K., ve Kar, S. (2018). Credibilistic TOPSIS Model for Evaluation and Selection of Municipal Solid Waste Disposal Methods. *Advances in Waste Management*, 243–261.
- Rybicka, J., Tiwari, A., ve Leeke, G. (2016). Technology readiness level assessment of composites recycling technologies. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1001-1012.
- Sarı, A. (2004). Form-stable paraffin/high density polyethylene composites as solid–liquid phase change material for thermal energy storage: preparation and thermal properties. *Energy Conversion and Management*, 45(13-14), 2033–2042.

- Sarı, A., Saleh, T. A., Hekimoğlu, G., Tuzen, M. ve Tyagi, V. V. (2020). Evaluation of carbonized waste tire for development of novel shape stabilized composite phase change material for thermal energy storage. *Waste Management*, 103, 352–360.
- Saaty, T., ve Özdemir, M.S. (2003). Negative priorities in the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*, 37, 1063-1075.
- Scharff, H., Kok, B. ve Krom, A. H. (2007). The role of sustainable landfill in future waste management systems. *Proceedings Sardinia*.
- Shahnazari, A., Rafiee, M., Rohani, A., Bhushan Nagar, B., Ebrahimi, M. A., ve Aghkhani, M. H. (2020). Identification of effective factors to select energy recovery technologies from municipal solid waste using multi-criteria decision making (MCDM): A review of thermochemical technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, 100737.
- Shih, Y.F., Wang, C.-H., Tsai, M.-L. ve Jehng, J.-M. (2020). Shape-stabilized phase change material/nylon composite based on recycled diatomite. *Materials Chemistry and Physics*, 242, 122498.
- Shuaib, N. A., ve Mativenga, P. T. (2016). Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. *Journal of Cleaner Production*, 120, 198–206.
- Siddiqui, J., ve Pandey, G. (2013). A Review of Plastic Waste Management Strategies. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2(12), 84-88.
- Singh A., Avikal, S., Sharma, A. ve Verma, R. (2021). Selection of suitable metal matrix composite for design application using MCDM approach. *Materials Today: Proceedings*.
- Solis, M., ve Silveira, S. (2020). Technologies for chemical recycling of household plastics- A technical review and TRL assessment. *Waste management*, 105, 128-138.
- Sommerville, R., Zhu, P., Rajaeifar, M. A., Heidrich, O., Goodship, V. ve Kendrick, E. (2021). A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. *Resources, Conservation and Recycling*, 165, 105219.

- Sotomayor, M. E., Krupa, I., Várez, A. ve Levenfeld, B. (2014). Thermal and mechanical characterization of injection moulded high density polyethylene/paraffin wax blends as phase change materials. *Renewable Energy*, 68, 140–145.
- Sönmez, M., (2009). Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye’den dört örnek firma üzerine bir inceleme. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Sun, K., Kou, Y., Zheng, H., Liu, X., Tan, Z., ve Shi, Q. (2018). Using silicagel industrial wastes to synthesize polyethylene glycol/silica-hydroxyl form-stable phase change materials for thermal energy storage applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 178, 139–145.
- Stamenovic, M., Kovačević, D., Alivojvodić, V., ve Putic, S. (2020). Thermal treatment of composite wastes for energy recovery. 61(1), 13-18.
- Tamasila, M., Prostean, G., Ivascu, L., Cioca, L.-I., Draghici, A., ve Diaconescu, A. (2020). Evaluating and prioritizing municipal solid waste management-related factors in Romania using fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(5), 6111–6127.
- Tang, J., (2012). A cost-benefit analysis of waste incineration with advanced bottom ash separation technology : from a system perspective for a Chinese municipality – Guanghan. *Weiterbildungszentrum der TU Wien, Master of Thesis*.
- Thiounn, T., ve Smith, R.C. (2020). Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *Journal of Polymer Science*, 58, 1347-1364.
- Trigui, A., Karkri, M., ve Krupa, I. (2014). Thermal conductivity and latent heat thermal energy storage properties of LDPE/wax as a shape-stabilized composite phase change material. *Energy Conversion and Management*, 77, 586–596.
- Tulger, G., (2010) Türkiye’de elektrikli ve elektronik atıkların yönetiminin planlanması ve tesis yeri çok ölçütlü karar verme tekniklerinin kullanımı. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Turner, W. R., Brown, D. S., ve Harrison, D. V. (1955). Properties of paraffin waxes. *Industrial & Engineering Chemistry*, 47(6), 1219–1226.

- Uraylı, Ç., (2018), Cu-B₄C kompozit malzemelerdeki mikroyapı ve mekanik özelliklerin araştırılması, *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Urbaniak, W., Wasiak W. ve Fall, J., (2007). Waxes – products of thermal degradation of waste plastics—obtaining, capabilities, and application. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 6, 71-78.
- Vatangül, E., (2008). Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ANSYS 10 programı ile ısı gerilme analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi*.
- Vijay, N., Rajkumara, V., ve Bhattacharjee, P. (2016). Assessment of composite waste disposal in aerospace industries. *Procedia environmental sciences*, 35, 563-570.
- Vinodh, S., Prasanna, M., ve Hari Prakash, N. (2014). Integrated Fuzzy AHP–TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: A case study. *Applied Mathematical Modelling*, 38(19-20), 4662–4672.
- Yang, Y., Boom, R., Irion, B., Heerden, D.V., Kuiper, P., ve Wit, H.D. (2012). Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53-68.
- Yavuz, V. A., (2016). Coğrafi pazar seçiminde promethee ve entropi yöntemlerine dayalı çok kriterli bir analiz: Mobilya sektöründe bir uygulama. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2).
- Wang, Z., Li, X., Zhang, G., Lv, Y., Wang, C., He, F. Ve Yang, C. (2017). Thermal management investigation for lithium-ion battery module with different phase change materials. *RSC Advances*, 7(68), 42909–42918.
- Webber., G. V., (2000). Wax characterization by Instrumental Analysis. *University of Stellenbosch, Institute for Polymer Science Department of Chemistry, Master Thesis*.
- Williams, E.A. ve Williams, P. (1997). Analysis of products derived from the fast pyrolysis of plastic waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 40-41, 347-363.

- Witik, R. A., Teuscher, R., Michaud, V., Ludwig, C. ve Månson, J.-A. E. (2013). Carbon fibre reinforced composite waste: An environmental assessment of recycling, energy recovery and landfilling. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 49, 89–99.
- WWF- Türkiye, Dünya Doğayı Koruma Vakfı- Türkiye, (2019). *Plastik Kirliliğini Hesap Verebilirlik Yoluyla Çözmek Raporu-2019*.
- Xiao, J., Li, J. ve Xu, Z. (2017). Recycling metals from lithium ion battery by mechanical separation and vacuum metallurgy. *Journal of Hazardous Materials*, 338, 124–131.
- Yürekli, A. (2019). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 1-12.

EKLER

Tez Hazırlama Kontrol Listesi

Evet Hayır

Tez, “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olarak yazıldı.	☐	☐
Dış kapak ve iç kapak sayfası eklerde belirtilen şekilde düzenlendi.	☐	☐
Ön sayfalar i, ii, iii şeklinde Romen rakamları ile numaralandırıldı.	☐	☐
Dizinler, “Tez Yazım Kılavuzu”na göre sıralandı ve metin içindeki yerleşime göre sayfa numaraları verildi.	☐	☐
Özet ve Abstract hazırlandı.	☐	☐
Onay sayfası “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olarak hazırlandı ve imzalandı.	☐	☐
Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi sayfası imzalandı.	☐	☐
Simgeler, kısaltmalar, tablolar ve şekillerin tamamı kontrol edilerek ilgili dizinde gösterildi.	☐	☐
Ana metinde harf karakteri, harf büyüklüğü ve satır aralıkları “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olacak şekilde düzenlendi.	☐	☐
Görsel öğeler, tablolar (çizelgeler), şekiller ve denklemler metin içine “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun şekilde yerleştirildi.	☐	☐
Kaynakça “Tez Yazım Kılavuzu”na göre düzenlendi.	☐	☐
Kaynakların tamamına tez içerisinde atıfta bulunularak kaynakça bölümünde yer verildi.	☐	☐
Etik Kurul onayı gerekli ise teze eklendi. (Etik Kurul onayı gerekmiyorsa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Anket, görüşme veya veri formları kullanıldıysa ilgili kurumlardan alınan izin yazıları ve formlar teze eklendi. (Bu formlar kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Ekler “Tez Yazım Kılavuzu”nda belirtildiği şekilde sunuldu. (Ek kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐

“Vaks İçeren Kompozit Atıkların Yönetiminin Farklı Karar Verme Teknikleriyle Değerlendirilmesi” başlıklı Tez, yukarıdaki listede yer alan konularla ilgili olarak tarafımızca kontrol edilmiş ve gerekleri yerine getirilmiştir.

17/06/2021

Ece YILMAZBİLEK

Prof. Dr. Aysun ÖZKAN

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: ECE YILMAZBİLEK

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2015, Kaunas Forestry and Environmental Engineering University of Applied Sciences, Çevre/Çevre Sağlığı Mühendisliği (Erasmus Programı)
- 2017, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
- TÜBİTAK Projesi, 2021, “Kompozit Ambalaj Atıklarının Pirolizi ve Gaz Üründen Karbon Nanotüp (CNT) Eldesi”, (Proje Bursiyeri), Proje No: 117Y041.