



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Sefa BULUT

**YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN
TERMOPLASTİK MALZEME SEÇİMİ: BİR
KARŞILAŞTIRMALI ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YAKLAŞIMI**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2025

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN
TERMOPLASTİK MALZEME SEÇİMİ: BİR
KARŞILAŞTIRMALI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
YAKLAŞIMI**

Mustafa Sefa BULUT

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
MAYIS – 2025**

TEZ ONAYI

YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN TERMOPLASTİK MALZEME SEÇİMİ: BİR KARŞILAŞTIRMALI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI

Mustafa Sefa BULUT tarafından Doç. Dr. Muhammed ORDU ve Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan DER danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Muhammed ORDU
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Nedim KENGER
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, HKÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ersin ÜNAL
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan DEMİR
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

Bu tez çalışması, OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2024-PT2-004

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Mustafa Sefa BULUT



ÖZET

YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI İÇİN TERMOPLASTİK MALZEME SEÇİMİ: BİR KARŞILAŞTIRMALI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI

Mustafa Sefa BULUT
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Muhammed ORDU
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan DER

Mayıs 2025, 57 sayfa

Bu çalışma, otomotiv endüstrisinde hibrit araç akü paketleri için optimum termoplastik malzeme seçiminde yüksek sıcaklık ortamlarının neden olduğu zorlukları ele almakta ve karşılaştırmalı çok kriterli karar verme yaklaşımını kullanmaktadır. Çalışma, kritik faktörler temelinde malzemeleri titizlikle değerlendirerek, pil verimliliğini, uzun ömürlülüğünü ve araç performansını artıracak malzemeleri belirlemeyi amaçlamaktadır. SWARA-ARAS, SWARA-EDAS ve SWARA-TOPSİS gibi ileri düzey karar verme yöntemlerinden yararlanarak, çeşitli polimerler sistematik bir şekilde sıralanmakta ve güvenlik, performans ve sürdürülebilirliği ön planda tutan stratejik öneriler sunulmaktadır. Bulgular, üreticilerin veri odaklı malzeme seçim kararları almasına olanak tanıyarak, sürdürülebilir otomotiv teknolojilerinin gelişimine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Malzeme Seçimi, Sürdürülebilirlik, Termoplastik, Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

ABSTRACT

THERMOPLASTIC MATERIAL SELECTION FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS: A COMPARATIVE MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACH

Mustafa Sefa BULUT
M.Sc., Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muhammed ORDU
Assist. Prof. Dr. Oğuzhan DER

May 2025, 57 pages

This study investigates the difficulties presented by high-temperature environments in the automotive industry, specifically focusing on the choice of optimal thermoplastic materials for hybrid vehicle battery packs. By applying a comparative multi-criteria decision-making framework, the research rigorously evaluates materials based on critical factors. The study aims for determining materials that not only enhance battery efficiency and longevity but also improve overall vehicle performance. Leveraging advanced decision-making techniques, including SWARA-ARAS, SWARA-EDAS, and SWARA-TOPSIS, the analysis ranks and evaluates different polymer options, offering strategic suggestions prioritizing safety, performance, and sustainability. The results provide actionable insights for manufacturers, empowering them to make data-driven material selection decisions that drive the development of next-generation sustainable automotive technologies.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Material Selection, Sustainability, Thermoplastics, High Temperature Applications

TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Muhammed ORDU'ya ve ikinci tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan DER'e bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösterdikleri, sabırla beni destekledikleri ve her zaman motive ettikleri için minnettarım.

Tez sürecim boyunca bana yardımcı olan ve katkıları benim için çok değerli olan Sayın Arş. Gör. Dr. Yakup ÖNAL'a da teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans Tez sürecime başlamama yardımcı olan Öğr. Gör. Fatma Bengü KUYULU BOZDOĞAN'a her zaman yanımda olduğu için teşekkür ederim.

Ayrıca, tez sürecim boyunca bana her zaman destek olan aileme ve arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Onların manevi desteği olmasaydı, bu zorlu süreci atlatmak çok daha zor olabilirdi.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana maddi destek sağlayan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım. Projemin finansman desteği, araştırmamı daha derinlemesine ve kapsamlı bir şekilde yürütmemi mümkün kılmıştır. Sağladıkları destek, bu çalışmanın önemli bir parçasıdır.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. HİBRİT ARAÇ TEKNOLOJİSİ VE BATARYA PAKETLERİNDE YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI	3
2.1 Hibrit Araç Teknolojisi.....	3
2.2 Batarya Paketlerindeki Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Plastik Kullanımı.....	4
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3.1 İmalatta Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı.....	8
3.2 Termoplastik Malzemeler ile İlgili Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı	10
3.3 Malzeme Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı	13
4. MATERYAL ve METOT.....	18
4.1 Alternatif Malzemeler	18
4.2 Kriterler.....	21
4.3 Karşılaştırmalı Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı.....	26
4.3.1 Adım-Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) Yaklaşımı.....	27
4.3.2 Toplamsal Oran Değerlendirme (ARAS) Yaklaşımı	28
4.3.3 Ortalama Çözümünden Uzaklık (EDAS) Yaklaşımına Dayalı Değerlendirme	30
4.3.4 İdeal Çözüme Benzerlik ile Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSİS) Yaklaşımı.....	31
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
5.1 Kriter Ağırlıkları.....	34
5.2 SWARA Tabanlı ÇKKV Yaklaşımları	35
5.2.1 SWARA Tabanlı ARAS Yaklaşımı	36
5.2.2 SWARA Tabanlı EDAS Yaklaşımı	38
5.2.3 SWARA Tabanlı TOPSİS Yaklaşımı	40
5.3 SWARA Tabanlı ÇKKV Yaklaşımlarının Karşılaştırılması.....	41
6. SONUÇ.....	45

KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	57



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. ÇKKV yöntemlerinin imalat ve malzeme seçimine yönelik literatürde kullanımı	16
Çizelge 4.1. Çalışmada karşılaştırılan malzemelere ait özellikler	20
Çizelge 4.2. Kriterler, birimleri ve kısaltmaları	24
Çizelge 5.1. Kriter ağırlıkları (%)	34
Çizelge 5.2. Başlangıç karar matrisi	35
Çizelge 5.3. Optimum kriter değerleri ile birlikte ARAS yönteminin başlangıç karar matrisi.....	36
Çizelge 5.4. ARAS yönteminin normalize karar matrisi.....	37
Çizelge 5.5. ARAS yönteminin ağırlıklı normalize karar matrisi.....	37
Çizelge 5.6. Ortalama değerler ile birlikte EDAS yönteminin başlangıç karar matrisi	38
Çizelge 5.7. EDAS yönteminin PDA ve NDA değerleri.....	39
Çizelge 5.8. EDAS yönteminin PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamları SP ve SN değerleri.....	39
Çizelge 5.9. TOPSİS yönteminin normalize karar matrisi.....	40
Çizelge 5.10. TOPSİS yönteminin ağırlıklı normalize karar matrisi	41
Çizelge 5.11. TOPSİS yönteminin ideal en iyi ve ideal en kötü değerleri.....	41
Çizelge 5.12. Hibrit ÇKKV yöntemlerinin parametre değerleri	43
Çizelge 5.13. SWARA tabanlı ÇKKV yöntemlerinin korelasyon analizi	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Volkswagen Jetta hibrid aracın yüksek voltaj bataryası.....	7
Şekil 4.1. Optimizasyon probleminin hiyerarşik yapısı.....	25
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan yaklaşımın yapısı.....	27
Şekil 5.1. SWARA tabanlı ÇKKV yöntemlerine göre sıralamanın karşılaştırılması .	44



SİMGELER ve KISALTMALAR

ARAS	Additive Ratio Assessment	(-)
CR	Kimyasal Direnç	(-)
CTE	Termal Genleşme Katsayısı	(-)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme	(-)
D	Yoğunluk	(kg/m ³)
EDAS	Evaluation based on Distance from Average Solution	(-)
EM	Elastik Modül	(GPa)
MAR	Nem Emme Oranı	%
MS	Mekanik Mukavemet	(MPa)
MTR	Maksimum Sıcaklık Direnci	(°C)
NDA	Negatif Ortalama Mesafesi	(-)
PAI	Poliamid-imid	(-)
PC	Polikarbonat	(-)
PDA	Pozitif Ortalama Mesafesi	(-)
PE	Polietilen	(-)
PEEK	Polietereterketon	(-)
PET	Polietilen Tereftalat	(-)
PP	Polipropilen	(-)
PPS	Polifenilen Sülfid	(-)
PS	Polistiren	(-)
PSU	Polisülfon	(-)
PVC	Polivinil Klorür	(-)
SRKK	Spearman'ın Sıralama Korelasyonu Katsayısı	(-)
SWARA	Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis	(-)
TC	Termal İletkenlik	(W/mK)
TE	Termal Genleşme	(µm/m/°C)
TOPSİS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	(-)
UV	Ultraviyole	(-)
UVR	UV Direnci	(-)
WR	Aşınma Direnci	(mm ³)

1. GİRİŞ

Yüksek sıcaklık uygulamaları, havacılık, otomotiv, enerji ve üretim sektörlerinde önemli bir yer tutmakta ve standart koşulların ötesindeki sıcaklıklarda çalışmayı gerektirmektedir. Bu uygulamalar, yüksek ısıl direnç ve stabiliteye sahip malzemeler gerektirmektedir (Biron, 2016; Dixit ve ark., 2022; Pillai ve ark., 2023). Bu malzemeler, aşırı ısıl stres altında performanslarını koruyarak ısıl döngüler sırasında dayanıklılık göstermelidir (Pillai ve ark., 2023; Huang ve Huang, 2023). Anahtar uygulamalar arasında jet motoru bileşenleri, ısı değiştiriciler, fırınlar ve kazanlar yer alır; sistem performansı, termal bozulma ve oksidasyona karşı direnç için kritik öneme sahiptir (Biron, 2016; Dixit ve ark., 2022; Huang ve Huang, 2023).

Yüksek sıcaklık uygulamalarında, aşırı ısıya, korozyona ve ısıl strese dayanabilen malzemelerin seçilmesi çok önemlidir, bu durum havacılık türbin kanatları ve otomotiv egzoz sistemlerinde açıkça görülebilmektedir (Boyer ve ark., 2015; McCluskey ve ark., 2019; Pierce ve ark., 2019). Etkili ısıl yalıtım ve soğutma sistemleri, ısının yönetilmesi ve bileşenlerin uzun ömürlülüğü ile güvenliğinin sağlanması için temel unsurlardır (Belmonte, 2006).

Otomotiv endüstrisinde, hibrit araç batarya paketlerinde özellikle lityum iyon bataryalarda, işletme ve şarj sırasında üretilen ısının termal kaçış ve kararsızlık riskini artırdığı yüksek sıcaklık sorunları ortaya çıkmaktadır (Malik ve ark., 2016; Tomaszewska, 2019). Gelişmiş soğutma sistemleriyle etkili ısıl yönetim, batarya performansını, güvenliğini ve ömrünü korumak için gereklidir (Dai ve ark., 2021). Yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve termal düzenlemeye yardımcı olan polimer malzemelerin seçilmesi kritik öneme sahiptir. Hibrit araç batarya paketleri için malzeme seçimi, güvenlik, performans ve dayanıklılığı etkileyen önemli bir faktördür. Bu malzemeler, yüksek sıcaklıklara, termal genleşmeye ve şarj döngülerinden kaynaklanan mekanik strese karşı dayanıklı olmalı, aynı zamanda sürdürülebilir olmalıdır (Pollet ve ark., 2012; Kabir ve Demirocak, 2017). Termal özellikler, dayanıklılık, ağırlık ve çevresel etki gibi faktörlerin optimize edilmesi, batarya ömrü ve güvenliğini artırmak için anahtar bir adımdır, bu da hibrit araç üretiminde malzeme seçiminin karmaşıklığını vurgulamaktadır (Tian ve ark., 2020).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), özellikle hibrit araç batarya paketleri için polimer malzemelerin seçilmesinde önemli bir karar verme aracıdır ve termal direnç, mekanik dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi faktörleri dengeleme gerekliliği vardır (Kumar ve ark., 2017; Li ve Duan, 2023). Bu araştırma, ekonomik ve çevresel hususları entegre ederek hibrit araç teknolojisini iyileştirmeyi amaçlayan, optimal malzemeleri belirlemek için ÇKKV yöntemlerini uygulamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, otomotiv endüstrisinde hibrit araç batarya paketleri için en uygun polimer malzemelerin seçilmesinde kapsamlı bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımını kullanmaktır. Bu araştırma, hibrit araçların verimliliğini, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için kritik öneme sahip ısı yönetimi, mekanik dayanıklılık, kimyasal direnç ve çevresel etki gibi zorlukları ele almaktadır. Çalışma, SWARA-ARAS, SWARA-EDAS ve SWARA-TOPSIS yöntemlerini kullanarak çeşitli termoplastik malzemeleri sistematik olarak değerlendirmek ve sıralamak amacıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yüksek sıcaklık ortamlarına dayanabilecek malzemelerin seçilmesinde yardımcı olacak ayrıntılı bir değerlendirme çerçevesi sunmak ve aynı zamanda hibrit araç batarya paketlerinin genel performansını ve uzun ömrünü iyileştirmeye katkıda bulunmaktır. Ekonomik ve çevresel hususları entegre ederek, bu araştırma, üreticilerin malzeme seçiminde bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olacak değerli bilgiler sunmaktadır, böylece sürdürülebilir otomotiv teknolojilerini ilerletmektedir. Ayrıca, bu çalışma, hibrit araçlar bağlamında malzeme seçim sürecini daha da optimize etmek amacıyla gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır. Bu nedenle, çalışmada 10 polimer malzeme, 10 kriter karşısında analiz edilerek, ağırlık ataması için SWARA yöntemi ve karşılaştırmalı analiz için ARAS, EDAS ve TOPSİS yöntemleri kullanılmaktadır. Üç farklı ÇKKV yönteminin (ARAS, EDAS ve TOPSİS) karşılaştırılmasının temel amacı, bu karar verme süreçlerinden türetilen alternatiflerin sıralamalarını doğrulamak ve bu yöntemler arasındaki tutarlılığı göstermektir. Bu nedenle, bu yöntemlerin tutarlılığı, Spearman'ın sıralama korelasyonu aracılığıyla doğrulanarak malzeme seçiminde sistematik bir yaklaşım sunulmakta ve otomotiv malzeme biliminin ilerlemesine katkı sağlanmaktadır. Bulgular, batarya paketleri için malzeme uygunluğu konusunda bilgiler sunmakta ve çalışmanın katkıları ve gelecekteki araştırma yönleriyle sonuçlanmaktadır; hibrit araç teknolojisinde malzeme seçiminde sistematik bir keşif yapılmasını sağlamaktadır.

2. HİBRİT ARAÇ TEKNOLOJİSİ VE BATARYA PAKETLERİNDE YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI

2.1 Hibrit Araç Teknolojisi

Son yıllarda dünya genelinde hızla artan çevresel kaygılar, iklim değişikliğinin etkileri, fosil yakıt rezervlerinin tükenme riski ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma zorunluluğu, enerji ve ulaşım sektörlerinde köklü dönüşümlerin yaşanmasına yol açmıştır (Sumsurooah ve ark., 2017). Bu çerçevede, enerji verimliliğini artıran, sera gazı salınımını azaltan ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla uyumlu çalışan sistemlerin geliştirilmesi öncelikli hâle gelmiştir. Bu dönüşümün bir sonucu olarak hibrit araç teknolojileri, günümüzde otomotiv endüstrisinin en yenilikçi ve çevre dostu çözümlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Alvarez-Meaza ve ark., 2019).

Hibrit araçlar (Hybrid Electric Vehicles – HEVs), klasik içten yanmalı motor (İYM) sisteminin yanı sıra bir veya birden fazla elektrikli motor ve batarya sistemine sahip araçlardır (Rahman ve ark., 2000). Bu sistemler paralel, seri veya karma (paralel-seri) konfigürasyonlarla çalışabilmekte olup, sürüş koşullarına göre enerji kullanımını optimize edecek şekilde kontrol edilmektedir. Özellikle düşük hızlarda ve trafik sıkışıklığının yoğun olduğu şehir içi kullanımlarda elektrikli motor devreye girerken, yüksek hızlarda veya ani ivmelenmelerde içten yanmalı motorun desteği alınmaktadır. Bu sinerjik yapı sayesinde, toplam yakıt tüketimi önemli ölçüde azaltılmakta ve egzoz emisyonları ciddi oranlarda düşürülmektedir (Shaukat ve ark., 2018).

Hibrit sistemlerin en önemli avantajlarından biri rejeneratif frenleme (Regenerative braking) özelliğidir (Guo, 2015). Bu özellik sayesinde frenleme esnasında açığa çıkan kinetik enerji batarya sistemine geri kazandırılarak tekrar kullanılmakta, böylece enerji verimliliği maksimum seviyeye çıkarılmaktadır. Ayrıca, elektrik motorunun içten yanmalı motoru destekleyici işlevi, motorun daha düşük devirlerde çalışmasına imkân tanıyarak motor ömrünü uzatmakta ve bakım gereksinimini azaltmaktadır (Barman, 2017).

Bununla birlikte, hibrit araçların sunduğu avantajlar yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel boyutları da kapsamaktadır (Wright ve Pinkelman,

2008). Küresel ölçekte petrol bağımlılığını azaltmak isteyen ülkeler, hibrit ve elektrikli araçlara yönelik vergi indirimleri, teşvik programları ve kullanım kolaylıkları sağlayarak bu teknolojilerin yaygınlaşmasını desteklemektedir. Ayrıca, çevreci politikaların ve yasal düzenlemelerin etkisiyle hibrit araçların üretim ve satış oranlarında ciddi artışlar gözlemlenmektedir (Van Eck ve ark., 2019).

Hibrit araçların bu gelişmiş yapısının sürdürülebilir bir şekilde çalışabilmesi için, araç bünyesinde kullanılan tüm bileşenlerin yüksek verimlilikle ve dayanıklılıkla performans göstermesi gerekmektedir (Lu ve Jiang, 2016). Özellikle batarya sistemleri, hibrit araçlarda enerji depolamanın temelini oluşturduğundan hem termal hem de mekanik güvenlik açısından en kritik alt sistemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Batarya sistemleri, sürekli şarj-deşarj döngülerine maruz kaldığı için yüksek sıcaklık koşullarında çalışmak zorundadır. Bu nedenle batarya paketlerinin yapısında kullanılan malzemelerin; yüksek sıcaklık dayanımı, boyutsal kararlılık, darbe emici kapasite, kimyasal direnç ve elektriksel yalıtkanlık gibi bir dizi gelişmiş özelliğe sahip olması gerekmektedir (Şahan ve Paksoy, 2025).

Bu doğrultuda, mühendislik sınıfı termoplastik malzemeler hem hafiflikleri hem de fonksiyonel dayanımları sayesinde hibrit araçların batarya sistemlerinde kritik roller üstlenmektedir. Uygun termoplastik malzeme seçimi, sadece araç içi güvenliği artırmakla kalmaz; aynı zamanda bataryanın enerji verimliliğini ve ömrünü doğrudan etkileyerek genel araç performansını iyileştirir. Dolayısıyla hibrit araç teknolojisinde kullanılan malzemelerin doğru belirlenmesi hem enerji dönüşüm sistemlerinin optimizasyonu hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması bakımından büyük önem taşımaktadır (Awd Allah ve ark., 2025).

2.2 Batarya Paketlerindeki Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Plastik Kullanımı

Hibrit araçlarda batarya sistemleri, elektrikli tahrik ünitesinin çalışmasını sağlayan temel enerji depolama elemanlarıdır (Ogura ve Kolhe, 2017). Bu sistemlerde yaygın olarak tercih edilen lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu ve kompakt tasarımları sayesinde performans açısından avantajlı olmakla birlikte, çalışma sırasında ciddi miktarda ısı üretmektedirler (Long ve ark., 2012). Özellikle hızlı şarj

ve deşarj döngülerinde, hücre sıcaklıklarında ani artışlar gözlemlenmekte ve bu durum hem malzeme stabilitesini hem de sistem güvenliğini tehdit etmektedir. Bu bağlamda, termal güvenlik, batarya tasarımının en kritik parametrelerinden biri olarak öne çıkmakta; “Thermal runaway” (Termal kaçak) gibi tehlikeli senaryoların önlenmesi için, batarya muhafazalarında kullanılan malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımına sahip olması gerekmektedir (Settemsdal, 2023).

İşte bu noktada, yüksek performanslı mühendislik termoplastikleri, batarya paketlerinin farklı bileşenlerinde çeşitli roller üstlenerek sistemin işlevselliğine doğrudan katkıda bulunmaktadır (Choi ve ark., 2013). Bu termoplastik malzemeler; hücre ayırıcıları, modül kasaları, konektör yuvaları, soğutma plakaları, taşıyıcı yapılar ve dış muhafaza bileşenleri gibi pek çok noktada etkin şekilde kullanılmaktadır. Metal malzemelere kıyasla daha düşük yoğunluğa sahip olan bu plastikler, ağırlık avantajı sunarken aynı zamanda elektriksel yalıtıklık, kimyasal direnç, termal stabilite ve mekanik dayanım gibi çok boyutlu özellikleriyle batarya sistemlerinde tercih edilmektedir (Costa ve ark., 2020).

Yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılacak plastiklerin taşınması gereken başlıca teknik özellikler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

Yüksek Sıcaklık Dayanımı: Termoplastik malzemenin, cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve erime sıcaklığı (T_m) gibi sınırların ötesinde yapısal bütünlüğünü koruyabilmesi esastır (Ordu ve Der, 2023). Özellikle 150°C ve üzerindeki sıcaklıklarda çalışabilen PEEK (Polyetheretherketone), PSU (Polysulfone), PPS (Polyphenylene Sulfide) ve PAI (Polyamide-imide) gibi ileri düzey polimerler, batarya muhafazalarında ve hücre ayırıcı sistemlerde güvenle kullanılmaktadır. Bu malzemeler, termal kaçak riskini azaltarak, sistemin yangın ve patlama gibi tehlikelere karşı korunmasını sağlar (Abderrafai ve ark., 2023).

Düşük Termal Genleşme Katsayısı: Batarya sistemlerinde sıkça yaşanan sıcaklık değişimleri sırasında oluşabilecek termal genleşme ve büzölmeler, yapıdaki bağlantı elemanlarında gevşeme, çatlak oluşumu ya da sızdırmazlık kaybı gibi olumsuz sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle düşük termal genleşme katsayı değeri düşük olan termoplastiklerin seçimi, boyutsal stabilitenin korunması ve sistem ömrünün uzatılması açısından kritik önem taşır (Carlstedt ve Asp, 2019).

Yüksek Kimyasal Direnç: Lityum-iyon bataryalarda kullanılan elektrolitler, solventler, iyonik bileşikler ve gazlar, agresif kimyasal özelliklere sahiptir. Bu maddelere sürekli maruz kalan plastik bileşenlerin, asit ve bazlara, oksitleyici ajanlara ve solvent buharlarına karşı yüksek direnç göstermesi gerekmektedir. Aksi takdirde, malzeme yapısında bozulmalar, çatlamlar ve sızıntılar meydana gelebilir (Roth ve Orendorff, 2012).

Aşınma ve Darbe Direnci: Araç kullanım koşulları gereği batarya sistemleri; titreşim, yol sarsıntısı, darbe ve çarpma gibi mekanik zorlanmalara maruz kalmaktadır. Özellikle modül taşıyıcı parçalar, batarya gövdeleri ve montaj bağlantı elemanlarında kullanılan plastiklerin, yüksek tokluk ve aşınma dayanımına sahip olması hem güvenlik hem de uzun ömürlü performans açısından gereklidir (Siddique ve ark., 2022).

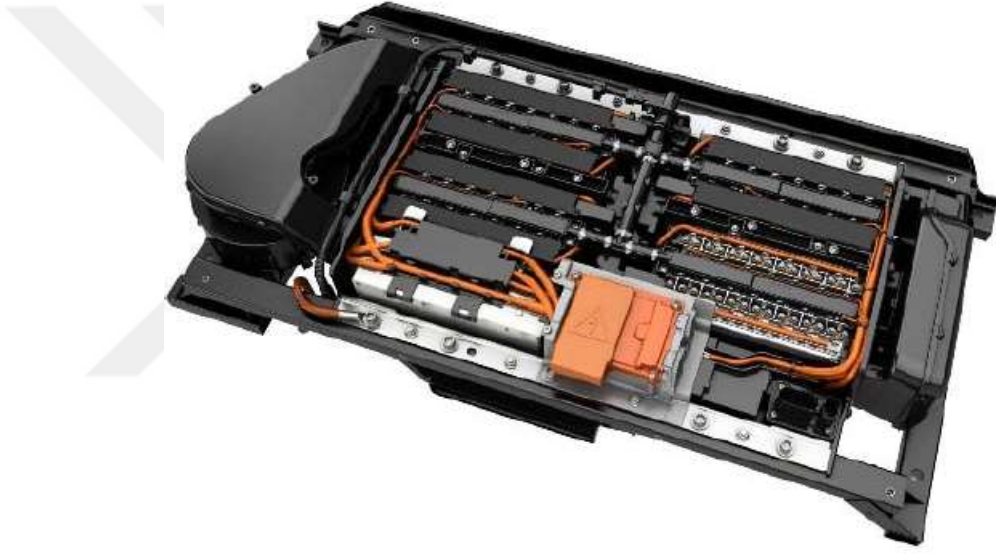
Isı Yalıtımı ve/veya Termal İletkenlik: Batarya sistemlerinde bazı bölgelerde ısıyı yalıtım, bazı bölgelerde ise etkin şekilde dağıtmak gerekmektedir. Bu durum, uygulamaya özel malzeme seçimini gerekli kılar. Örneğin; hücreler arası boşluklarda ısı geçişini önlemek için düşük termal iletkenliğe sahip yalıtkan plastikler, soğutma plakalarında ise ısıyı hızla uzaklaştıran iletken katkı termoplastikler tercih edilmektedir (Zou ve ark., 2024).

UV Direnci ve Düşük Nem Emme Oranı: Araçların dış ortamla temas eden batarya modülleri, ultraviyole (UV) ışınlarına ve atmosferik neme karşı maruz kalmaktadır. Bu çevresel etmenler, plastik malzemelerin zamanla bozulmasına, renk değişimine, çatlama veya mukavemet kaybına neden olabilir. UV stabilizatörlerle güçlendirilmiş ve düşük nem emme kapasitesine sahip plastikler, bu tür çevresel zorlamalara karşı daha dayanıklıdır (Badiie ve ark., 2014).

Düşük Yoğunluk ve Geri Dönüştürülebilirlik: Otomotiv endüstrisinde her gramlık ağırlık azalması, doğrudan yakıt tüketimini ve karbon emisyonlarını etkilemektedir. Bu nedenle kullanılan malzemelerin hafif, dayanıklı ve geri dönüştürülebilir olması, sürdürülebilir üretim ilkeleri açısından büyük önem taşır (Brandl ve ark., 2012).

Bu tür uygulamalarda kullanılan mühendislik termoplastiklerinin doğru şekilde seçilebilmesi için sadece teknik özelliklerin değil, aynı zamanda üretim maliyeti, işlenebilirlik, tedarik zinciri sürekliliği ve çevresel etki analizi gibi parametrelerin de

göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu doğrultuda, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımları, karar vericilerin teknik, ekonomik ve çevresel kriterleri aynı anda değerlendirmelerine olanak tanıyarak bilimsel temelli, objektif ve sürdürülebilir malzeme seçim süreçlerini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, hibrit araç batarya sistemlerinde plastik kullanımı sadece yapısal bir tercih değil; aynı zamanda enerji güvenliği, araç performansı ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle doğrudan ilişkili stratejik bir mühendislik kararıdır. Yüksek sıcaklık dayanımı başta olmak üzere, plastiklerin çok yönlü özellikleri sayesinde hibrit araç teknolojisinin daha güvenli, verimli ve çevreci bir şekilde gelişmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 2.1. Volkswagen Jetta hibrid aracın yüksek voltaj bataryası (Kurmaev ve ark., 2020)

Şekil 2.1, Volkswagen Jetta model hibrit elektrikli aracın yüksek voltajlı bataryasını göstermektedir. Bu batarya, aracın arka aksının üzerine yerleştirilmiştir ve soğutma işlemi, araç içinden alınan arındırılmış hava ile sağlanmaktadır. Batarya sistemi, 60 lityum-iyon hücreden oluşur ve toplamda 1,1 kWh kapasiteye sahiptir (Kurmaev ve ark., 2020).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, 2000 ile 2025 yılları arasını kapsayan sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Malzeme seçimi ve termoplastik malzemeler ile ilgili birçok veri tabanında (Web of Science, SCOPUS ve Google Scholar gibi) detaylı bir tarama yapılmıştır. “Malzeme seçimi”, “Plastik”, “Termoplastik”, “Çok Kriterli Karar Verme” ve bunların İngilizce ifadeleri “Material Selection”, “Plastics”, “Thermoplastics”, “Multi-Criteria Decision Making” gibi birçok anahtar kelime belirlenmiştir. Yapılan taramalar sonucunda, belirlenen dahil etme kriterlerini karşılayan makaleler tespit edilmiştir. Elde edilen çalışmalar arasından tekrar eden yayımlar çıkarılmış, ardından daha detaylı bir inceleme ile kriterlere uymayan makaleler elenmiştir. Kalan çalışmalar sistemli bir şekilde sınıflandırılmış, imalatta ÇKKV kullanımı, termoplastik Malzemeler ile ilgili ÇKKV kullanımı ve malzeme seçiminde ÇKKV kullanımı olacak şekilde ve kategorilere ayrılmıştır.

3.1 İmalatta Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı

Günümüz imalat sektöründe, ürün kalitesinin artırılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşılması açısından karar verme süreçlerinin bilimsel yöntemlerle desteklenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, çok sayıda alternatifin ve birden fazla değerlendirme kriterinin yer aldığı üretim süreçlerinde geleneksel karar verme yöntemleri yetersiz kalabilmekte; karar vericilerin sezgisel veya deneyime dayalı yaklaşımları, çoğu zaman tutarsız ya da optimize edilmemiş sonuçlara neden olabilmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek amacıyla geliştirilen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, imalat mühendisliği alanında son yıllarda giderek artan bir kullanım alanı bulmuştur. ÇKKV yöntemleri, aynı anda birden fazla kriterin göz önünde bulundurulmasını sağlayan sistematik karar verme araçlarıdır. İmalatta malzeme seçimi, işleme parametrelerinin optimizasyonu, uygun takım ya da proses kombinasyonunun belirlenmesi gibi karar problemleri, bu yöntemlerle daha etkin bir şekilde analiz edilebilmektedir. Özellikle sürdürülebilir üretim uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, teknik kriterlerin yanı

sıra ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler de değerlendirme sürecine dahil edilmekte ve bu durum ÇKKV yöntemlerini vazgeçilmez hâle getirmektedir.

Singaravel ve ark. (2018), torna işleminde optimum kesme parametrelerinin ve uygun kaplamalı takım malzemesinin belirlenmesinde ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi uygulamıştır. Bu çalışmada, AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde kullanılan farklı kesme hızları, ilerleme oranları, talaş derinlikleri ve takım kaplamaları; yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik ve malzeme kaldırma oranı (MRR) gibi çoklu performans kriterleriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ARAS yönteminin imalat süreçlerinde teknik verimliliği artırmak amacıyla çok kriterli optimizasyon açısından güvenilir ve uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu ortaya koymuştur. Yöntemin düşük hesaplama yükü ve karar vericiye sağladığı esneklik, üretim süreçlerinde hızlı ve etkili kararlar alınmasını kolaylaştırmaktadır. Benzer şekilde, Sun ve ark. (2022) frezeleme işlemi için geliştirdikleri bir sistemde, havacılık uygulamalarında karşılaşılan karmaşık yüzey geometrileri ve hassas işleme gereksinimlerini göz önünde bulundurarak, TOPSIS ve Adversarial Interpretive Structural Modeling (AISM) tekniklerini entegre etmişlerdir. Geliştirilen TOPSIS-AISM tabanlı sistem, kesme verimliliği, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti gibi birden fazla performans göstergesini eşzamanlı olarak değerlendirmiştir. Söz konusu yaklaşım, yalnızca teorik olarak değil, aynı zamanda deneysel uygulamalarla da test edilerek yüksek doğrulukla sonuç verdiği gösterilmiştir. Elde edilen kararların deneysel verilerle %95'in üzerinde uyumlu olması, karar verme sisteminin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini kanıtlamaktadır. Ayrıca, sistemin ikinci bir karar döngüsüyle aynı optimum sonucu üretmesi, karar sürecinin tutarlılığını ve tekrar edilebilirliğini ortaya koymaktadır.

Chakraborty ve Chakraborty (2022), ÇKKV yöntemlerinin imalat mühendisliğindeki çok çeşitli uygulamalarını derinlemesine inceledikleri çalışmalarında, 120'den fazla bilimsel çalışmayı analiz etmiş ve malzeme seçimi, kesme parametreleri optimizasyonu, takım tercihi gibi alanlarda GRA, ARAS, TOPSIS ve EDAS gibi yöntemlerin yaygın biçimde uygulandığını ortaya koymuşlardır. Bu derleme çalışmasında, özellikle hibrid yaklaşımların (örneğin, AHP-TOPSIS veya Entropi-ARAS gibi) karar kalitesini önemli ölçüde artırdığı ve farklı ağırlıklandırma teknikleriyle entegre edildiğinde daha doğru ve güvenilir sıralamalar sunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, deneysel tasarım yöntemleri (Taguchi, RSM vb.) ile birlikte

kullanıldığında ÇKKV yaklaşımlarının süreç iyileştirme ve optimizasyonda oldukça güçlü sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Diğer bir önemli çalışmada ise, Der ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, 3 boyutlu yazıcıyla üretilmiş ASA termoplastik plakaların CO₂ lazerle kesilmesi sürecinde uygulanan SWARA-TOPSIS yaklaşımı dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, kesme hızı, lazer gücü ve tabla yüksekliği gibi parametrelerin kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü gibi çıktılar üzerindeki etkileri analiz edilmiş; SWARA ile belirlenen kriter ağırlıkları, TOPSIS yöntemiyle alternatif parametre kombinasyonlarının sıralanmasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, çoklu çıktının aynı anda optimize edilmesine olanak sağlamış, böylece üretim kalitesi artırılırken aynı zamanda daha az enerji tüketimi ve malzeme israfı sağlanmıştır. Özakin (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise talaşlı imalat süreçlerinde enerji verimliliği, işleme süresi ve üretim maliyetleri gibi kriterler dikkate alınarak EDAS yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada sürdürülebilir üretim yaklaşımı merkeze alınmış; sadece teknik kriterler değil, çevresel etki kriterleri de değerlendirme sürecine dahil edilmiştir. EDAS yönteminin hem maksimum fayda hem de minimum maliyet hedeflerini birlikte ele alabilmesi, bu tür çok boyutlu optimizasyon problemlerinde büyük avantaj sağlamıştır.

Sonuç olarak, ÇKKV yöntemlerinin imalattaki kullanımı, mühendislik kararlarının daha nesnel, tutarlı ve sürdürülebilir şekilde alınmasına olanak sağlamaktadır. Gerek malzeme seçimi gerekse üretim parametrelerinin optimizasyonu gibi çok kriterli problemler, bu yöntemlerle daha güvenli ve sistematik şekilde çözülebilmekte, aynı zamanda üretim sürecinin kalitesi ve verimliliği artırılmaktadır. Gelecekte yapay zekâ tabanlı sistemlerle entegre çalışacak ÇKKV yaklaşımları, imalat mühendisliğinde daha esnek, veri odaklı ve dinamik karar sistemlerinin temelini oluşturacaktır.

3.2 Termoplastik Malzemeler ile İlgili Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı

Termoplastik malzemeler, hafiflik, kimyasal dayanıklılık, kolay şekillendirilebilirlik ve geri dönüştürülebilirlik gibi avantajları nedeniyle birçok mühendislik uygulamasında tercih edilmektedir. Ancak özellikle yüksek sıcaklık ortamlarında

kullanılacak olan termoplastiklerin seçimi, çok sayıda performans kriterinin eşzamanlı değerlendirilmesini gerektirir. Bu kriterler arasında maksimum sıcaklık dayanımı, mekanik mukavemet, termal iletkenlik, nem emme oranı, aşınma direnci, yoğunluk ve çevresel etki gibi teknik ve çevresel değişkenler yer alır. Bu bağlamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, mühendislik uygulamalarında optimum termoplastik seçiminin rasyonel, tutarlı ve sistematik bir şekilde yapılmasını sağlayan etkili araçlardır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, ÇKKV yöntemlerinin yalnızca performansa dayalı seçimlerde değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik temelli malzeme kararlarında da başarıyla uygulandığını ortaya koymaktadır. Soni ve ark. (2023), atık plastiklerin tarımsal atıklarla birleştirilerek sürdürülebilir yapı malzemeleri olarak kullanılmasına yönelik yenilikçi bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu çalışmada, polietereketon (PEEK) gibi yüksek performanslı termoplastiklerin pirinç kabuğu külü (RHA) ve silis kumu ile kombinasyonu değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, kompozit malzemeleri yoğunluk, su emme oranı, basma ve eğilme mukavemeti ile aşınma direnci kriterleri üzerinden incelemiş ve AHP-WASPAS yöntemi ile en uygun bileşimi belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar, %70 PEEK, %15 RHA ve %15 kum bileşiminin optimum özellikler sunduğunu, özellikle minimum su emme ve aşınma değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, atık malzemelerin dögüsel ekonomi çerçevesinde değerlendirilerek, sürdürülebilir termoplastik kompozitlerin seçimi için ÇKKV yöntemlerinin ne kadar etkin kullanılabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, Dasgupta ve ark. (2025), geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (PET) ile ögütülmüş atık lastik (GTR) karışımından elde edilen kompozitlerin değerlendirilmesinde Entropi-TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, çekme dayanımı, elastikiyet ve ısıya dayanıklılık gibi kriterler temel alınarak yapılan analizlerde, %70 PET ve %30 GTR oranına sahip kompozitlerin en iyi performansı sunduğu belirlenmiştir. Bu tür bir analiz, özellikle atık bazlı termoplastiklerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde objektif karar destek mekanizmalarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, çalışmada kullanılan entropi yöntemiyle kriter ağırlıklarının nesnel olarak belirlenmesi, karar sürecine güvenilirlik kazandırmıştır.

Ordu ve Der (2023) tarafından yapılan bir diğerk çalışmada ise, esnek pulsating heat pipe (PHP) sistemlerinde kullanılabilircek polimerik malzemelerin seçimi için üç farklı hibrid ÇKKV yaklaşımı (AHP-GRA, AHP-CoCoSo ve AHP-VIKOR) karşılaştirmalı olarak uygulanmıştır. Termal iletkenlik, gaz geğirgenliği, kimyasal dayanıklılık ve maliyet gibi teknik kriterler dikkate alınarak yapılan değerlendirme sonucunda, PTFE (politetrafloroetilen), PE (polietilen) ve PP (polipropilen) malzemeleri ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada kullanılan GRA (Grey Relational Analysis) ve VIKOR yöntemleri, farklı karar ortamlarında hassasiyet analizi ile desteklenerek en uygun malzemelerin seğilmesini sağlamıştır. Ayrıca her üç yöntemin Spearman korelasyon katsayısı ile karşılaştırılması, sonuçların tutarlılığını değerlendirme açısından önemli bir yöntemsel katkı sunmuştur. Kang ve ark. (2023), otomotiv uygulamaları için polimer bazlı kompozitlerin çok kriterli değerlendirmesini VIKOR yöntemiyle geręekleřtirmiřtir. Mekanik performans (darbe dayanımı, sertlik, çekme mukavemeti), ekonomik verimlilik (maliyet, üretim süresi) ve çevresel etki (geri dönüştürülebilirlik, enerji tüketimi) gibi kriterleri kapsayan kapsamlı analiz sonucunda, ABS (akrilonitril bütadien stiren), PA6 (poliamid) ve PP (polipropilen) gibi mühendislik termoplastiklerinin farklı dolgu malzemeleriyle takviye edilerek çok yönlü performans gösterdiği ortaya konulmuştur. VIKOR yöntemi ile elde edilen sıralamalar, teknik performans ve çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurmayı mümkün kılmış ve böylece optimum malzeme kararlarının alınmasına zemin hazırlamıştır. Santiago ve ark. (2019) ise biyoyumlu ve çevre dostu mühendislik plastiklerinin seçiminde AHP-VIKOR yöntemini kullanarak özellikle medikal ve biyomedikal uygulamalara uygun termoplastiklerin belirlenmesini hedeflemiştir. Polikarbonat (PC), PEEK ve PA12 gibi malzemelerin esneklik, biyoyumluluk, sterilizasyon dayanımı ve çevresel etki gibi kriterler üzerinden değerlendirildiği bu çalışmada, PEEK malzemesi çok yüksek performans göstermiş ve diğer malzemelere kıyasla daha sürdürülebilir bir seçenek olarak öne çıkmıştır. Ayrıca, bu çalışmada kullanıcı uzmanlığına dayalı AHP yöntemi ile nicel veriye dayalı VIKOR yaklaşımının birlikte kullanılması hem sezgisel hem de matematiksel temelli karar sürecinin sağlıklı biçimde yürütülmesini sağlamıştır.

Tüm bu çalışmalar ışığında değerlendirildiğinde, termoplastik malzeme seçimi sürecinin, yalnızca teknik performans kriterleriyle değil; aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, maliyet, geri dönüştürülebilirlik ve çevre dostu üretim gibi çoklu kriterlerle birlikte ele alınması gerektiği görülmektedir. Bu tür çok kriterli ortamlar

için geliştirilen ve sürekli gelişen ÇKKV yöntemleri (SWARA, AHP, TOPSIS, VIKOR, WASPAS vb.), araştırmacılara ve endüstri profesyonellerine nesnel, tekrarlanabilir ve güvenilir karar destek araçları sunmaktadır. İlerleyen dönemlerde yapay zekâ destekli ÇKKV modellerinin, özellikle endüstriyel otomasyon ve malzeme mühendisliği alanlarında daha fazla önem kazanacağı öngörülmektedir.

3.3 Malzeme Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı

Malzeme seçimi, mühendislik ve üretim sistemlerinde ürün performansı, operasyonel güvenilirlik, maliyet etkinliği ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bir malzemenin işlevsel uygunluğu, yalnızca mekanik veya termal özellikleri ile değil; aynı zamanda çevresel etkisi, üretim kolaylığı, bakım gereklilikleri ve yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu toplam maliyet gibi çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir. Bu türden çok boyutlu karar problemlerinde karar vericilerin objektif ve tutarlı kararlar verebilmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımı hayati önem taşımaktadır. ÇKKV yöntemleri, özellikle birbirleriyle çelişen çok sayıda kriterin mevcut olduğu malzeme seçimi süreçlerinde, alternatiflerin sistematik şekilde sıralanmasını ve optimum seçeneğin belirlenmesini sağlar. Bu yöntemler, mühendislik sistemlerinin farklı kısımlarında, özellikle de alternatif malzeme seçeneklerinin karşılaştırılmasında, karar vericilere güçlü bir karar destek yapısı sunmaktadır. Literatürde, malzeme seçimi problemlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında TOPSIS, VIKOR, AHP, ELECTRE, COPRAS, PROMETHEE ve WASPAS gibi sıralama temelli tekniklerin yanı sıra FAHP, DEMATEL ve ANP gibi ağırlıklandırma yöntemleri de önemli yer tutmaktadır.

Bu alandaki önemli çalışmalardan biri Anojkumar ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, şeker endüstrisinde kullanılan boru hatları için en uygun paslanmaz çelik türünü seçmek amacıyla FAHP (Bulanık AHP) ile birlikte dört farklı ÇKKV yöntemi (TOPSIS, VIKOR, ELECTRE ve PROMETHEE) entegre bir şekilde uygulanmıştır. Seçim sürecinde dikkate alınan kriterler arasında korozyon direnci, aşınma dayanımı, mekanik mukavemet, kimyasal stabilite ve bakım maliyetleri gibi faktörler yer almıştır. Çalışmanın en dikkat çekici yönü, farklı ÇKKV

yöntemlerinden elde edilen sıralamaların karşılaştırılarak analiz edilmesi ve yöntemler arası benzerliklerin değerlendirilmesidir. Sonuçlar, FAHP ile ağırlıklandırılmış VIKOR yönteminin, alternatifler arasında en istikrarlı ve güvenilir sıralamayı sunduğunu göstermiştir. Bu yaklaşım, özellikle belirsizlik içeren ortamlarda kararların daha isabetli verilmesini sağlamaktadır. Malzeme seçiminde ÇKKV kullanımının faydalarını daha kapsamlı ele alan bir diğer çalışma, Emovon ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, mühendislik alanında malzeme seçimini konu alan literatürdeki eğilimler sistematik biçimde taranmış ve farklı ÇKKV yöntemlerinin hangi koşullarda tercih edildiği incelenmiştir. Sonuçlara göre, TOPSIS ve AHP en yaygın kullanılan yöntemler olurken; sürdürülebilirlik, üretim maliyeti ve işlevsel uygunluk gibi kriterlerin değerlendirilmesinde VIKOR, PROMETHEE ve ELECTRE gibi daha gelişmiş tekniklerin tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada, hibrit ÇKKV yaklaşımlarının (Örneğin, Entropi-AHP, DEMATEL-VIKOR) tek başına kullanılan yöntemlere kıyasla daha dengeli ve doğru sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Emovon ve ark. (2020) özellikle sürdürülebilir mühendislik uygulamaları ve çevresel etki analizi içeren malzeme seçimlerinde ÇKKV yöntemlerinin entegre kullanımının stratejik bir yaklaşım olduğunu vurgulamaktadır.

Mousavi-Nasab ve Sotoudeh-Anvari (2017) ise, farklı ÇKKV yöntemlerinin malzeme seçimindeki etkinliğini doğrudan karşılaştıran önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, TOPSIS ve COPRAS yöntemleri birbiriyle kıyaslanarak, çelişkili kriterleri aynı anda değerlendirme kabiliyetleri bakımından incelenmiştir. Araştırma, farklı yöntemlerin aynı veri seti üzerinde nasıl farklı sıralama çıktıları verdiğini göstererek, karar vericilerin hangi yöntemi ne zaman tercih etmesi gerektiği konusunda da yön gösterici bilgiler sunmuştur. Özellikle, TOPSIS yönteminin yüksek hesaplama hızı ve kullanıcı dostu yapısı nedeniyle mühendislik kararlarında daha sık tercih edildiği, buna karşın COPRAS yönteminin daha ayrıntılı ayırım yapabildiği ve karar alternatifleri arasında daha hassas sıralamalar yapabildiği ortaya konmuştur. Tian ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, iç mekân dekorasyonunda kullanılacak yeşil malzeme alternatiflerinin seçimi için AHP ile gri sistem teorisi destekli bir TOPSIS yaklaşımı geliştirilmiştir. Geleneksel TOPSIS yönteminin deterministik yapısının belirsizlik içeren malzeme seçim ortamlarında yetersiz kalabildiği durumlarda, gri sistem yaklaşımı alternatifler arasındaki ilişkilerin daha sağlıklı analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem ile hem niteliksel hem de niceliksel veriler

birlikte değerlendirilmiş, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir malzeme seçimi mümkün hâle getirilmiştir. Ayrıca, alternatifler sadece performans kriterleriyle değil, çevresel etki, kullanım kolaylığı ve estetik gibi kullanıcı merkezli kriterlerle de değerlendirilmiştir.

Yang ve ark. (2018) tarafından yürütülen daha güncel bir çalışmada ise, DEMATEL, ANP ve VIKOR gibi gelişmiş ÇKKV yöntemleri birlikte kullanılarak malzeme seçiminde kriterler arasındaki nedensel ilişkiler modellenmiştir. Geleneksel ÇKKV yöntemlerinden farklı olarak, DEMATEL ve ANP yaklaşımları, kriterler arasındaki bağımlılıkları ve geri besleme etkilerini dikkate alarak ağırlıklandırma sürecini daha gerçekçi hâle getirmiştir. Ardından, bu ağırlıklar VIKOR yöntemi ile entegre edilerek alternatif malzemeler sıralanmıştır. Bu hibrit yöntem sayesinde, karar sürecinin hem yapısal ilişkiler hem de optimalite kriteri bakımından dengeleyici bir yaklaşımla ele alındığı görülmüştür. Bu tür sistematik analizler, malzeme seçimi gibi karmaşık ve çok boyutlu problemlerin üzümünde ileri seviye karar destek modelleri sunmaktadır.

Çizelge 3.1'deki çalışmalarla birlikte bir araya getirildiğinde, malzeme seçiminde ÇKKV yöntemlerinin sağladığı başlıca avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

- Çok boyutlu karar ortamlarında tutarlılık sağlamaktadır.
- Teknik, evresel ve ekonomik kriterleri birlikte değerlendirme olanağı sunmaktadır.
- Karar alternatifleri arasında sayısal ve sıralı karşılaştırma yapılmasını mümkün kılmaktadır.
- Belirsizlik ve çelişki içeren karar durumlarında uzman görüşlerini sistematik olarak işleme almaktadır.
- Farklı yöntemlerin entegre kullanımı (hibrit yaklaşımlar), daha dengeli ve doğru sonuçlar üretmektedir.

Çizelge 3.1. ÇKKV yöntemlerinin imalat ve malzeme seçimine yönelik literatürde kullanımı

Yazarlar (Yıl)	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri	Alternatif Sıralama Yöntemi
Basar ve Der (2025)	Bulanık AHP	CoCoSo, TOPSIS, VIKOR
Van Dua ve ark. (2024)	Entropy, MEREC, LOPCOW, CRITIC, MEAN	MARA, RAM, PIV
Ordu ve Der (2024)	AHP	GRA, CoCoSo, VIKOR
Der ve ark. (2024)	SWARA	CoCoSo
Abishini ve Karthikeyan (2023)	AHP	TOPSIS, EDAS, VIKOR
Ordu ve Fedai (2023)	Bulanık AHP	Bulanık AHP
Bhaskar ve Khan (2022)	AHP	VIKOR, TOPSIS, MOORA, ELECTRE, PROMETHEE
Malaga ve ark. (2022)	IEM	CODAS
Chandra ve ark. (2022)	SWARA	COPRAS
Chatterjee ve Chakraborty (2021)	DEMATEL	MABAC
Agrawal (2021)	IEM	SAW, MOORA, TOPSIS, VIKOR
Ghaleb ve ark. (2020)	AHP	TOPSIS, VIKOR

Dolayısıyla, ÇKKV yöntemleri günümüzde yalnızca mühendislik projelerinde değil, aynı zamanda sürdürülebilir malzeme seçimi, yeşil üretim, ürün yaşam döngüsü değerlendirmesi ve çevresel etki analizleri gibi birçok farklı alanda karar vericiler için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Gelecekte yapay zekâ destekli ÇKKV sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, bu yöntemlerin otomatikleştirilmiş karar sistemlerine entegre edilmesi kaçınılmaz hale gelecektir.

Bu çalışma, ÇKKV'yi hibrit araç batarya paketleri için termoplastik malzeme seçimine uygulayarak literatürü geliştirmekte ve yüksek sıcaklıklardaki operasyonel zorlukları ele almaktadır. Termal stabilite, maliyet ve çevresel etki gibi kriterlerin dengesini vurgulayan karşılaştırmalı malzeme analizine yenilikçi bir bakış açısı sunmaktadır. Bu araştırma, hibrit araçlar için malzeme seçiminde detaylı bir çerçeve sunarak, malzeme bilimine katkıda bulunmakta ve otomotiv teknolojisinde sürdürülebilir ilerlemeleri desteklemektedir. Hibrit araç batarya paketleri için uygun termoplastik malzemelerin seçimi, son araştırmalarda önemli bir dikkat çekmiştir, ancak çoğu çalışma sınırlı bir kriter setine odaklanmakta veya tek bir karar verme yöntemi kullanmaktadır. Bu yaklaşım, malzeme seçim sürecinin çok boyutlu doğasını tam olarak yansıtmamakta ve karar verme çerçevesinde önemli boşluklar bırakmaktadır. Özellikle, termoplastik malzemelerin çevresel etkilerini, sürdürülebilirlik faktörlerini ve uzun vadeli performansını dikkate alan kapsamlı bir karşılaştırmanın eksikliği vardır. Bu çalışma, bu bilgi boşluğunu, termoplastik malzemeleri sistematik bir şekilde değerlendirmek ve sıralamak için ÇKKV yaklaşımını kullanarak ele almayı amaçlamaktadır ve böylece hibrit araç batarya paketlerinde malzeme seçimi için daha bütünsel ve bilinçli öneriler sunmaktadır.

4. MATERYAL ve METOT

4.1 Alternatif Malzemeler

Hibrit araç batarya paketleri için polimer malzeme seçimi otomotiv endüstrisinde derinlemesine bir değerlendirme gerektirmektedir. Bu değerlendirme, polimer malzemelerin termal stabilitesi, mekanik özellikleri ve hibrit araç operasyonlarının zorlu gereksinimlerini karşılama yeteneklerine odaklanmaktadır (Bkz. Şekil 4.1). Polietilen Tereftalat (PET), olağanüstü mekanik ve termal stabilite özellikleriyle tanınır. Termal bozulma ve boyutsal stabiliteye karşı dayanıklılık gerektiren bileşenler için sağlam bir çözüm sunarak, batarya paketlerinin yapısal bütünlüğünü ve uzun ömürlülüğünü artırmayı vaat eder (Nisticò, 2020). Polisülfon (PSU), olağanüstü yüksek sıcaklık direnci ve mekanik dayanıklılığı ile tanınır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan parçalarda ideal bir seçimdir, termal yönetimi iyileştirir ve sistemin dayanıklılığını artırır (Simari, 2020). Polietereterketon (PEEK), olağanüstü termal direnci ve mekanik dayanıklılığı ile öne çıkar. Zorlu uygulamalar için uygun olup, termal ve mekanik gerilimlere karşı üstün direnç sunarak performans standartlarını önemli ölçüde yükseltir (Paszkievicz ve ark., 2023). Poliamid-imid (PAI), dikkat çekici yüksek sıcaklık performansı ve boyutsal stabilite sergiler. Bu özellik, termal stres altında sürekli güvenilirlik gerektiren kritik bileşenler için çok önemlidir ve batarya paketlerinin güvenliğini ve operasyonel verimliliğini sağlar (Liu ve ark., 2022). Polifenilen Sülfid (PPS), mükemmel kimyasal direnci ve termal stabilitesi ile tanınır. Aşındırıcı maddelere ve yüksek sıcaklıklara karşı direnç gerektiren ortamlarda özellikle uygundur, batarya paketlerinin dayanıklılığını ve performansını artırır (Chen ve ark., 2021). Polikarbonat (PC), yüksek darbe dayanımı ve termal dirence sahiptir. Bu, bileşenleri fiziksel darbelerden korumak için cazip bir seçenek yapar, böylece batarya paketinin güvenlik özelliklerini ve termal strese karşı direncini iyileştirir (Sabet, 2023). Polietilen (PE), üstün elektriksel yalıtım özellikleri ve kimyasal direnci ile değerli bir malzemedir. Bileşenlerin yalıtımı için idealdir ve sistemin elektriksel güvenliğini ve performansını artırır (Haque ve ark., 2021). Polipropilen (PP), kimyasal direnç, termal stabilite ve mekanik özelliklerin iyi bir dengesini sunar (Der ve ark., 2021). Hibrit araç batarya paketlerinin operasyonel gereksinimlerini karşılar, sistemin

uzun ömürlülüğüne ve güvenilirliğine katkıda bulunur. Polistiren (PS), batarya paketinin kritik olmayan parçaları için uygundur, burada Polivinil Klorür (PVC) mükemmel elektriksel yalıtım özellikleri ve kimyasal direnç ile bilinir. Elektriksel yalıtım ve koruyucu kaplama için uygun olup, çevresel performans, güvenlik ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

4.1.1 Alternatif Malzemelere Ait Özellikler, Varyasyonları ve Gerekçeleri

Bu çalışmada hibrit araçların batarya taşıyıcı yapılarında kullanılabilecek 10 farklı termoplastik malzeme değerlendirilmiştir. Ancak plastik malzemeler, farklı katkı maddeleri, üretim yöntemleri veya modifikasyonlarla çok sayıda varyasyona sahiptir. Bu nedenle, malzeme özelliklerinin doğru yorumlanabilmesi ve karşılaştırılabilirliğin sağlanabilmesi için her bir malzemenin hangi varyasyonunun dikkate alındığı açıkça belirtilmelidir.

Çizelge 4.1'de sunulan veriler, her bir polimerin yaygın olarak kullanılan mühendislik tipi varyasyonunu temel almaktadır. Seçilen varyasyonlar, ilgili polimerin otomotiv, havacılık veya elektronik sektörlerinde sıklıkla tercih edilen formlarını temsil etmektedir. Örneğin, PET için "PET-G (Glycol-modified)" formu tercih edilmiştir; çünkü bu varyasyon, daha yüksek darbe dayanımı ve işlenebilirlik sunar. Benzer şekilde, PEEK için dolgu içermeyen, saf hali kullanılmıştır; çünkü bu haliyle ısı direnci ve mekanik dayanım gibi özellikleri daha tutarlıdır ve malzemenin gerçek potansiyelini daha net yansıtır.

Seçilen tüm varyasyonlar, aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir:

- Yaygın endüstriyel kullanım (Özellikle otomotiv sektöründeki örnek uygulamalar),
- Ticari erişilebilirlik (Piyasada yaygın bulunan türler),
- Mekanik ve ısıl kararlılık açısından temsil gücü (Her polimerin performans kapasitesini doğru yansıtır),
- Literatürdeki karşılaştırmalı analizlerde referans alınan varyasyonlar.

Bu bağlamda her malzeme için yoğunluk (D), elastik modül (EM), maksimum sıcaklık dayanımı (MTR), nem emme oranı (MAR) ve aşınma direnci (WR) gibi temel mühendislik özellikleri toplanmış ve bu değerlere göre Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Çalışmada karşılaştırılan malzemelere ait özellikler

Malzemeler	Kullanılan varyasyon/tür	Maksimum sıcaklık (°C)	Elastik modül (GPa)	Aşınma direnci (mm ³)	Nem emme oranı (%)	Yoğunluk (kg/m ³)	Referanslar
PET	PET-G (Glycol-modified)	70	2,0	75	0,2	1380	Nisticò (2020)
PSU	Standart Polysulfone	150	2,4	60	0,3	1240	Lufrano vd. (2020)
PEEK	Unfilled PEEK	250	3,6	20	0,2	1320	Paszkiwicz vd. (2023)
PAI	Torlon 4203L	270	4,1	15	0,2	1430	Grate vd. (2021)
PPS	Linear PPS	230	3,0	30	0,1	1350	Chen vd. (2004)
PC	Makrolon 2805	135	2,4	60	0,3	1200	Hubmann vd. (2023)
PE	LDPE (Low-Density PE)	90	0,2	90	0,4	960	Khampratueng ve Anal (2025)
PP	Homopolymer PP	120	1,5	50	0,3	910	Dobránky vd. (2021)
PS	General Purpose PS	100	2,0	80	0,4	1050	Kik vd. (2020)
PVC	Rigid PVC (uPVC)	80	3,2	55	0,3	1390	Rahmatabadi vd. (2023)

4.2 Kriterler

Hibrit araç batarya paketleri için polimer malzeme seçimi, otomotiv endüstrisinde birkaç kritik kriterin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir (Bkz. Şekil 4.1). Her bir kriter, bu tür uygulamaların zorlu operasyonel talepleri altında malzemelerin uygunluğunu belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu değerlendirme, seçilen polimer malzemelerin hibrit araç ortamlarının ortaya koyduğu zorluklara dayanacak şekilde performans, güvenlik ve dayanıklılığı optimize etmelerini sağlar. İlk olarak, maksimum sıcaklık direnci ve Termal Genleşme Katsayısı (CTE) çok önemlidir. Yüksek sıcaklık direnci, hibrit araç batarya paketlerinde kullanılan malzemelerin uzun ömürlülüğü ve güvenilirliği için kritik öneme sahiptir. Aşırı sıcaklıklara dayanabilen malzemeler, değişim ve bakım sıklığını azaltarak kaynak tüketimini ve atık üretimini düşürür. Ayrıca, termal kaçak (thermal runaway) gibi felakete yol açabilecek olayları engelleyerek bu malzemeler, batarya yangınlarıyla ilişkili çevresel riskleri azaltarak teknolojinin güvenliği ve sürdürülebilirliğine katkı sağlar (Balasubramaniam ve ark., 2020). Düşük termal genleşme, malzemelerin değişken sıcaklıklarda şekil değiştirmemelerini veya bozulmamalarını sağlamak için gereklidir. Düşük termal genleşme katsayısına sahip malzemeler, geniş bir sıcaklık aralığında yapısal bütünlüklerini korur, böylece mekanik arıza riskini azaltır. Bu stabilite, batarya paketlerinin uzun ömürlülüğü ve güvenilirliği için kritik olup, bakım ihtiyacını ve ilişkili çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilir araç operasyonlarını destekler (Guan ve ark., 2020).

İkinci olarak, yoğunluk ve mekanik dayanıklılık dikkate alındığında, aracın performansı ve verimliliği için çok önemlidir. Bir malzemenin yoğunluğu, aracın genel ağırlığını etkiler, bu da yakıt verimliliği ve enerji tüketimi üzerinde etkili olur. Hafif malzemeler, aracın enerji gereksinimlerini azaltarak sera gazı emisyonlarını düşürmeye katkıda bulunur. Yoğunluk ve dayanıklılığın optimal bir dengesine sahip malzemeler seçilerek, aracın sürdürülebilirliği iyileştirilir, bu da daha iyi yakıt ekonomisi ve azalan çevresel etki sağlar (Burd ve ark., 2021). Yüksek mekanik dayanıklılığa sahip malzemeler, titreşimler ve darbelere karşı dayanıklılığı artırarak yapıların bütünlüğünü sağlar. Bu dayanıklılık, sık parça değişimini azaltarak kaynakları ve enerjiyi korur, çünkü değiştirme parçalarının üretimi ve taşınması

sırasında harcanacak enerjiyi azaltır. Ayrıca, güçlü malzemeler aracın genel güvenliğini artırarak, bileşenlerin hizmet ömrünü uzatarak otomotiv endüstrisinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunur (Rojas ve Khan, 2022).

Ayrıca, malzemelerin elastik modülü ve aşınma direnci de önemlidir, çünkü bu özellikler malzemelerin darbe emme ve mekanik aşınmaya karşı direnç sağlama yeteneklerini belirler. Bir malzemenin elastik modülü, stres altında şeklini ve fonksiyonunu koruma yeteneğini gösterir. Sertlik ve esnekliğin uygun bir dengesine sahip malzemeler, bileşenlerin operasyonel streslere dayanmasına olanak tanır, böylece kalıcı deformasyonlar engellenir. Bu özellik, hibrit araç sistemlerinin verimliliğini ve güvenilirliğini korumak, onarım ve parça değişimlerini azaltmak ve sürdürülebilirliği desteklemek için çok önemlidir (Rojas ve Khan, 2022). Aşınmaya dayanıklı malzemeler, düzenli kullanım sırasında meydana gelen bozulmayı minimize ederek bileşenlerin operasyonel ömrünü uzatır. Aşınma direnci, değiştirme sıklığını azaltır, bu da ham maddeler ve enerji tasarrufu sağlar. Bileşenlerin dayanıklılığını artırarak aşınma direnci, doğrudan sürdürülebilir üretim uygulamalarını destekler ve atık miktarını azaltır (Okokpujie ve ark., 2024).

Kimyasal direnç, nem emme oranı ve termal iletkenlik de önemlidir. Bir malzemenin, özellikle batarya elektrolitleri gibi aşındırıcı maddelerden kimyasal bozulmaya karşı dirençli olması, sürdürülebilir operasyon için kritik öneme sahiptir. Kimyasal olarak dirençli malzemeler, korozyona bağlı arızaları en aza indirerek batarya paketlerinin ve diğer bileşenlerin ömrünü uzatır. Bu, sadece tehlikeli atık üretimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda değiştirme parçalarının üretimi ve atıklarının çevresel etkilerini de düşürür (Rana ve ark., 2023). Düşük nem emme oranı, malzemenin çeşitli çevresel koşullarda özelliklerini koruması için gereklidir. Düşük nem emme kapasitesine sahip malzemeler, şişme, korozyon ve diğer nemle ilgili hasarlara karşı dirençlidir, bu da hizmet ömrünü uzatır ve değiştirme sıklığını azaltır. Bu özellik, atık miktarını ve sık malzeme değişimiyle ilişkili çevresel etkileri en aza indirerek sürdürülebilirliği artırır (Mayandi ve ark., 2020). Doğru termal iletkenlik, batarya paketleri içindeki etkili ısı yönetimi için çok önemlidir. Isıyı verimli bir şekilde dağıtan veya yalıtan polimer malzemeler, optimal çalışma sıcaklıklarının korunmasına yardımcı olur, aşırı ısınmayı engeller ve bataryanın ömrünü uzatır. Termal yönetimi optimize ederek, bu malzemeler hibrit araçların genel sürdürülebilirliğine katkıda bulunur, enerji

verimliliğini artırır ve termal kaynaklı arızaların olasılığını azaltır (Zhang ve ark., 2021).

Son olarak, güneşe maruz kalan malzemelerin UV kaynaklı bozulmalara karşı direnç göstermesi, uzun vadeli dayanıklılık için gereklidir. UV dirençli malzemeler, yapısal bütünlüklerini ve performanslarını zamanla korur, bu da parça değiştirme ihtiyacını ve yeni parçaların üretiminin çevresel etkisini azaltır. Bu direnç, özellikle güneşe sıkça maruz kalan dış bileşenler için çok önemlidir ve hibrit araçların sürdürülebilirliğini, malzeme ömrünün iyileştirilmesiyle destekler (Andrady ve ark., 2023).

Karar verme süreçlerinin sıralama ve seçim sonuçlarının güçlü ve güvenilir olabilmesi için uygun kriterlerin seçilmesi ve bunlara hem öznel hem de mantıklı ağırlıkların uygulanması çok önemlidir. Bu bağlamda, çalışmada SWARA yöntemi kullanılmıştır—bu, kriterlerin ağırlıklandırılması için öznel bir yaklaşımdır. Kriterler, makine mühendisleri, endüstri mühendisleri ve alandaki akademisyenlerden oluşan bir uzman grubunun işbirlikçi değerlendirmesiyle ağırlıklandırılmıştır. Bu kriterlerin her biri, seçilen malzemelerin yalnızca hibrit araç batarya paketlerinin teknik gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda daha geniş sürdürülebilirlik hedeflerine de katkıda bulunmasını sağlamak amacıyla dikkatle seçilmiştir. Bu faktörlerin optimize edilmesiyle, verimli ve güvenli olan, aynı zamanda çevresel sorumluluk taşıyan hibrit araçların geliştirilmesinin desteklenmesi amaçlanmaktadır.

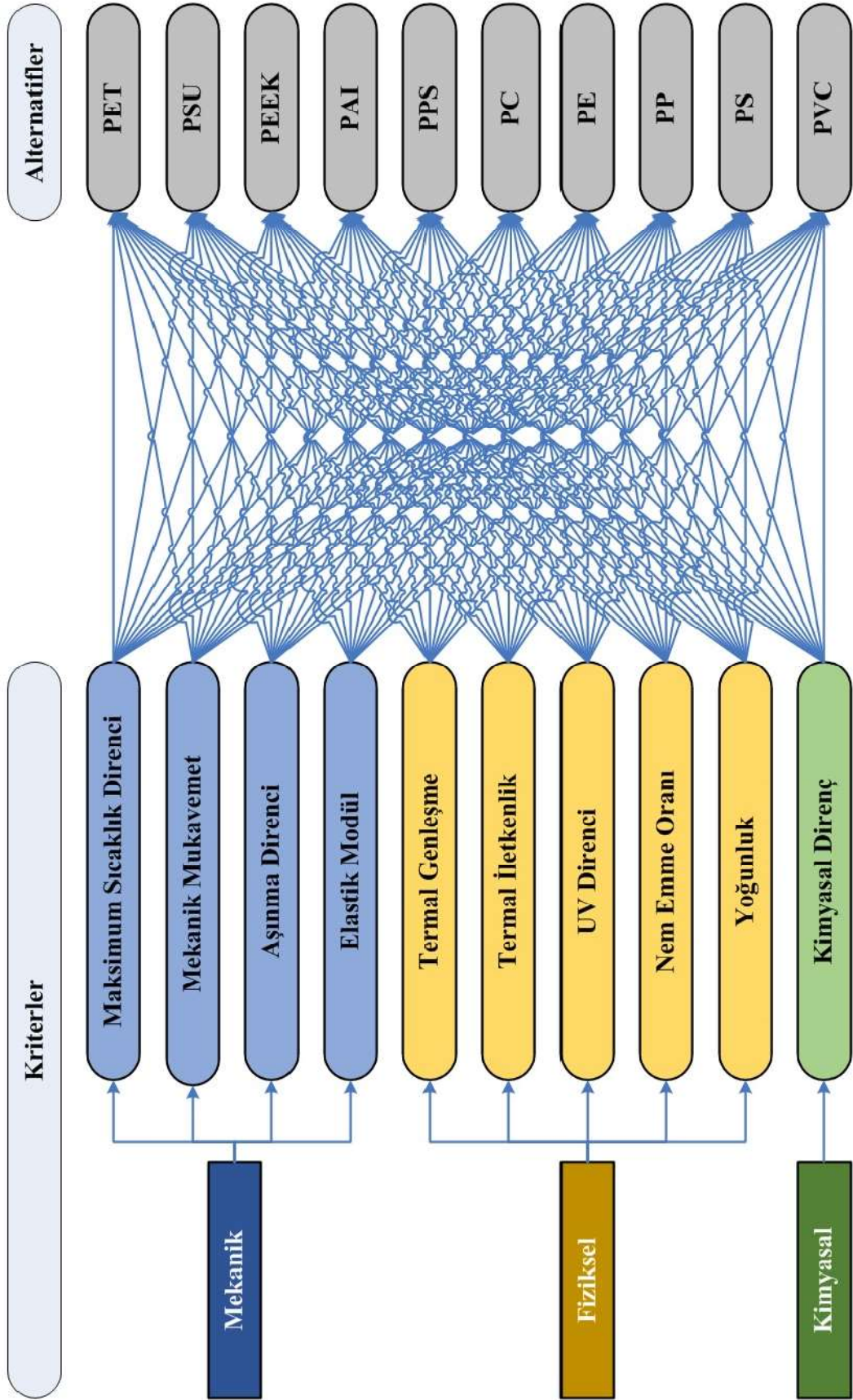
Çalışmada kullanılan kriterler optimizasyon yönü açısından sınıflandırılmıştır. Maksimum sıcaklık direnci (MTR), mekanik mukavemet (MS), kimyasal direnç (CR), aşınma direnci (WR), elastik modül (EM), termal iletkenlik (TC), termal genleşme (TE), nem emme oranı (MAR) ve UV direnci (UVR) gibi kriterler maksimize edilmesi gereken fayda kriterleridir. Buna karşın, yoğunluk (D) kriteri ise minimize edilmesi gereken maliyet kriteri olarak değerlendirilmiştir. Bu yönlendirme, malzeme seçiminde hem performansı artırmak hem de sistem verimliliğini korumak amacıyla belirlenmiştir.

Özetle, hibrit araç batarya paketleri için polimer malzeme seçimi sürecinde, bu kriterlerin performans, güvenlik ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak dengeli bir değerlendirme yapılır. Bu kapsamlı yaklaşım, seçilen polimer malzemelerin hibrit araçların verimli ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için

gereken yüksek standartlara uygun olmasını sağlar. Kriterlerin birimleri ve kısaltmaları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kriterler, birimleri ve kısaltmaları

Kriterler	Birim	Kısaltmalar
Maksimum Sıcaklık Direnci	°C	MTR
Mekanik Mukavemet	MPa	MS
Kimyasal Direnç	-	CR
Aşınma Direnci	mm ³	WR
Elastik Modül	GPa	EM
Termal Genleşme	µm/m/°C	TE
Termal İletkenlik	W/mK	TC
UV Direnci	-	UVR
Nem Emme Oranı	%	MAR
Yoğunluk	kg/m ³	D



Şekil 4.1. Optimizasyon probleminin hiyerarşik yapısı

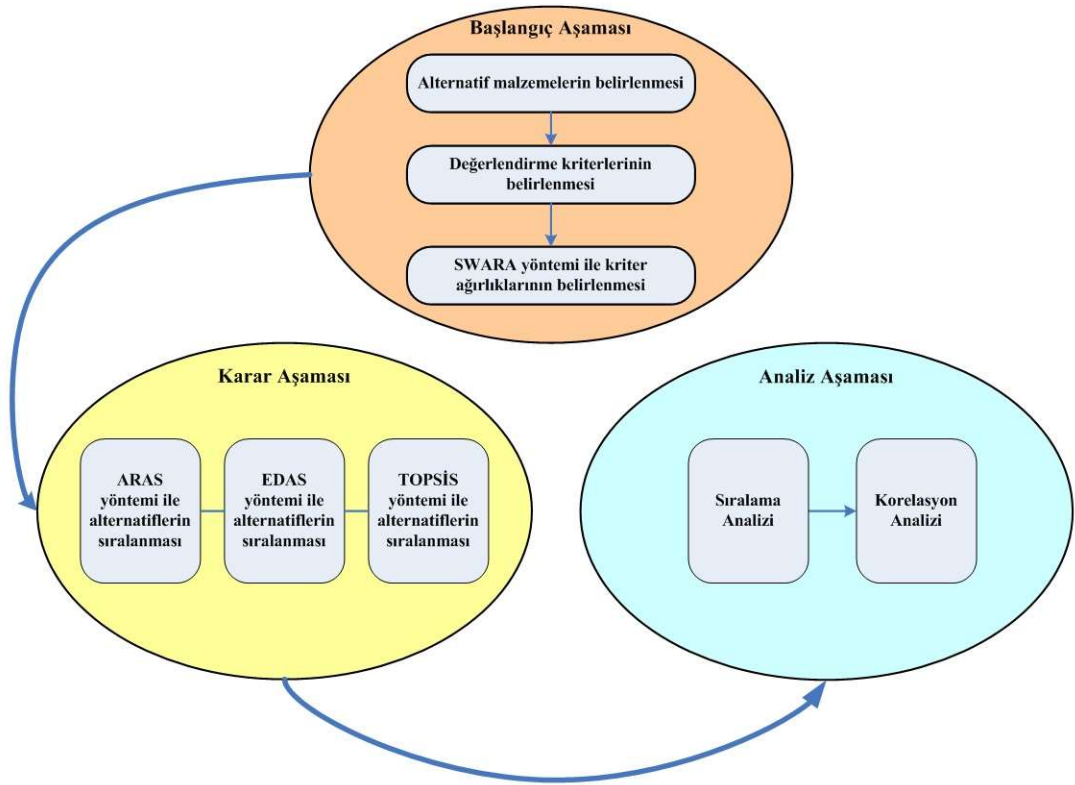
4.3 Karşılaştırmalı Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

Hibrit araç batarya paketleri için termoplastik malzeme seçim sürecinde üç aşamalı bir yaklaşım benimsenmiştir (Bkz. Şekil 4.2). İlk aşama, aynı zamanda başlangıç aşaması olarak bilinen hibrit araç batarya paketlerinin üretimi için uygun alternatif termoplastiklerin kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikler açısından belirlenmesi, bu seçim süreci için uygun kriterlerin belirlenmesi ve nihayetinde kriterlerin birbirlerine göre görece avantajları dikkate alınarak kriter ağırlıklarının hesaplanmasını içermektedir. İkinci aşama, karar aşaması, alternatif malzemelerin sıralanmasını içeren ve üç farklı ÇKKV yöntemi kullanarak yapılan bir aşamadır: ARAS, EDAS ve TOPSİS.

Daha sonra, ilk aşamada SWARA yaklaşımı kullanılarak ağırlıklandırılan kriterler, karar aşamasında ÇKKV yöntemlerine dahil edilmiştir. Son aşama ise sıralama analizi ve korelasyon analizinden oluşan analiz aşamasıdır; bu analiz, bu üç farklı ÇKKV yaklaşımıyla üretilen sıralamaların birbirleriyle ne kadar uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmanın karar aşamasında, hibrit araç batarya paketleri için termoplastik malzemeleri değerlendirmek ve sıralamak amacıyla üç farklı ÇKKV yöntemi, yani ARAS, EDAS ve TOPSİS seçilmiştir. Bu yöntemlerin seçimi, özellikle birden fazla ve çoğu zaman çelişkili kriterlerin bulunduğu senaryolarda karmaşık karar verme problemleriyle başa çıkmadaki kanıtlanmış etkinliklerine dayanmaktadır. ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi, alternatiflerin fayda fonksiyonlarını doğrudan dahil etme yeteneği sayesinde tercih edilmiştir; bu da açık ve kapsamlı bir karşılaştırma yapmayı sağlar (Zavadskas ve Turskis, 2010). EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yöntemi hem fayda hem de maliyet kriterlerini işleme konusundaki dayanıklılığı nedeniyle seçilmiştir; bu, çalışmada dikkate alınan çeşitli kriterlerle uyumludur (Keshavarz Ghorabae ve ark., 2015). TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ise, alternatiflerin ideal çözüme yakınlıklarına göre sıralanmasını sağlayan sezgisel yaklaşımı nedeniyle seçilmiştir; bu da karar verme sürecini kolaylaştırır (Behzadian ve ark., 2012). Bu ÇKKV yöntemleri, farklı alanlarda çeşitli karar verme problemlerine başarıyla

uygulanmıştır. Örneğin, ARAS, çevre yönetimi ve tedarikçi seçimi gibi alanlarda kullanılmış ve farklı bağlamlarda esnekliğini göstermiştir. EDAS, envanter sınıflandırması ve sürdürülebilir enerji planlamasında etkili olduğunu kanıtlamış ve birden fazla kriter bazında malzeme değerlendirmesi için sağlam bir seçim yapmıştır. TOPSİS, sadeliği ve etkinliği ile yaygın olarak tanınmakta ve malzeme seçimi ve proje yönetimi gibi alanlarda uzun bir kullanım geçmişine sahiptir. Bu yöntemlerin karmaşık karar ortamlarındaki başarılı uygulamaları göz önüne alındığında, bu yöntemler çalışmamızda termoplastik malzemelerin kapsamlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için seçilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan yaklaşımın yapısı

4.3.1 Adım-Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) Yaklaşımı

SWARA yöntemi, kriter ağırlıklarını belirlemek için bir ÇKKV tekniği olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin adımları, Keršulienė ve ark. (2010) tarafından özetlendiği şekilde aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Kriterlerin önemi azalan sırayla önceliklendirilir.

Adım 2: Her bir kriter için Ortalama Değerin Karşılaştırmalı Önemi (s_j) belirlenir. Kriter j , kriter ($j + 1$) ile karşılaştırılır. Kriter j 'nin, kriter ($j + 1$) ile karşılaştırıldığında göreceli önemi belirlenir.

Adım 3: Katsayı (k_j), Denklem (1) kullanılarak hesaplanır.

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

Adım 4: Denklem (2), önem vektörünü (q_j) hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$w_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{x_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5: Kriter ağırlıkları (w_j), Denklem (3) kullanılarak belirlenmektedir.

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (3)$$

4.3.2 Toplamsal Oran Değerlendirme (ARAS) Yaklaşımı

Standart ÇKKV problemi, her biri birden fazla karar faktörü tarafından tanımlanan ve bunların aynı anda göz önünde bulundurulması gereken bir dizi karar seçeneğini önceliklendirme sürecini içermektedir. ARAS yaklaşımına göre, uygulanabilir bir seçeneğin genel göreceli etkinliğini değerlendiren fayda fonksiyonu değeri, bir projede değerlendirilen ana kriterlere atanan değerler ve ağırlıkların karşılaştırmalı etkisiyle doğrudan bağlantılıdır. ARAS yöntemi şu adımlardan oluşmaktadır (Zavadskas ve Turskis, 2010):

Adım 1: Bir başlangıç karar matrisi geliştirilir; alternatifler satırlarda, kriterler ise sütunlarda yer alır. İlk satırda, kriterler için en uygun alternatif değerleri bulunur. Bu değerler, hangi alternatifin ilgili kriterin en ideal değerini karşıladığına bağlı olarak, o

kriter için en uygun değer olarak kabul edilir. Kriter j'nin optimal değeri (x_{0j}), Denklem (4) kullanılarak hesaplanır.

$$x_{0j} = \begin{cases} \max_i x_{ij}, & \text{Eğer kriter } j \text{ maksimizasyon yönlü ise} \\ \min_i x_{ij}, & \text{Eğer kriter } j \text{ minimizasyon yönlü ise} \end{cases} \quad (4)$$

Adım 2: Başlangıç karar matrisi oluşturulduktan sonra, normalizasyon prosedürü uygulanır. Bu bağlamda, minimizasyon odaklı kriterler için Denklem (5) kullanılır veya maksimizasyon odaklı kriterler için Denklem (6) uygulanır. x_{ij} , kriter j için alternatif i'nin değerini temsil eder ve \bar{x}_{ij} , normalleştirilmiş x_{ij} değeri olmak üzere,

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (5)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=0}^m 1/x_{ij}} \quad (6)$$

Adım 3: Sonrasında, normalizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, karar matrisi Denklem (7) kullanılarak ağırlıklandırılır. \hat{x}_{ij} , ağırlıklandırılmış \bar{x}_{ij} değerini ve w_j kriter j'nin ağırlık değerini temsil etmek üzere,

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j \quad (7)$$

Adım 4: Her bir alternatif için, optimal fonksiyon (S_i) değeri ve alternatif fayda derecesi (K_i) Denklem (8) ve (9) kullanılarak hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} \quad (8)$$

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (9)$$

4.3.3 Ortalama Çözümünden Uzaklık (EDAS) Yaklaşımına Dayalı Değerlendirme

EDAS tekniği, alternatifleri değerlendirmek için ortalama çözümü bir temel olarak kullanmaktadır. Bu, PDA (Pozitif Ortalama Mesafesi) ve NDA (Negatif Ortalama Mesafesi) adlı iki metrik içermektedir. Bu metrikler, kriterlerin faydalı veya faydalı olmayan şekilde olup olmadığına bağlı olarak belirlenmektedir. Çelişkili kriterlerle karşılaşıldığında bu yöntem son derece faydalıdır. Tercih edilen alternatif, ideal çözüme olan mesafeyi daha kısa ve nadir çözümden olan mesafeyi daha büyük gösterir. EDAS yaklaşımının adımları şu şekilde açıklanmıştır (Keshavarz Ghorabae ve ark., 2015):

Adım 1: İlk karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Her bir kriter için ortalama değer (AV) hesaplanır ve bu, Denklem (10) kullanılarak yapılır. n, kriterlerin sayısını ifade etmek üzere,

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \quad (10)$$

Adım 3: Kriterlerin fayda ve maliyet türüne göre sınıflandırılmasına dayalı olarak ortalamadan pozitif (PDA) ve negatif mesafe (NDA) değerleri hesaplanmaktadır. Maksimizasyon yönlü kriterler için Denklem (11) ve (12) kullanılırken, minimizasyon yönlü kriterler için Denklem (13) ve (14) uygulanmaktadır.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (11)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (12)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (13)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (14)$$

Adım 4: Her bir alternatif için PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamları, Denklem (15) ve (16) ile hesaplanmaktadır.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij} \quad (15)$$

$$NP_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij} \quad (16)$$

Adım 5: Tüm alternatifler için PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamları, Denklem (17) ve (18) kullanılarak normalize edilmektedir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (17)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)} \quad (18)$$

Adım 6: Alternatiflerin değerlendirme puanları (AS), Denklem (19) kullanılarak hesaplanmaktadır. Ardından, alternatifler değerlendirme puanı (AS) değerlerine göre azalan sırayla sıralanmaktadır. En yüksek AS değerine sahip alternatif, mevcut seçenekler arasında en optimal seçenek olarak kabul edilmektedir.

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i) \quad (19)$$

4.3.4 İdeal Çözüme Benzerlik ile Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSİS) Yaklaşımı

TOPSİS tekniği, birçok kriterli karar verme yöntemidir ve alternatifleri, ideal en iyi ve en kötü değerlere yakınlıklarına göre değerlendirir. Bu yöntem, aşağıdaki altı adımı içerir (Zhao ve ark., 2021):

Adım 1: Bir karar matrisi (x_{ij}) alternatiflerin satırlarda ve kriterlerin sütunlarda temsil edildiği şekilde yapılandırılır. Karar verme sürecinde önemli bir zorluk, bu kriterlerin farklı birimlere sahip olmasıdır. Alternatifler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için, kriterlerin ya benzer birimlere sahip olması ya da normalleştirilmesi gerekmektedir. Çeşitli normalizasyon yöntemleri mevcuttur, örneğin lineer, monoton olmayan ve vektör normalizasyonu (Shukla ve ark., 2017). TOPSİS yöntemi geleneksel olarak Öklid mesafesini kullandığı için, kriter normalizasyonu için vektör normalizasyonu kullanılır (Ordu, 2023). Bu nedenle, bu karar matrisini normalleştirmek için Denklem (20) kullanılmaktadır.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2}} \quad (20)$$

Adım 2: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin (v_{ij}) geliştirilmesi, ilgili kriterin ağırlık değeri (w_{ij}) ile matris değeri (n_{ij}) çarpılarak yapılır, bu işlem Denklem (21) ile açıklanmıştır.

$$v_{ij} = w_j \times n_{ij} \quad (21)$$

Adım 3: Her bir kriter için ideal en iyi (v_j^+) ve en kötü (v_j^-) değerler belirlenir. Amaç, kriteri maksimize etmekse, ideal en iyi değer alternatifler arasında en yüksek değeri ifade ederken, ideal en kötü değer en düşük değeri ifade eder.

Adım 4: Denklem (22) ve (23) kullanılarak, ideal en iyi ve en kötü değerlerden Öklid mesafesi (d_i^+ , d_i^-) hesaplanır.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (22)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (23)$$

Adım 5: Her bir alternatif için performans puanları (PP) hesaplanır; bu puanlar, alternatiflerin ideal en iyi ve en kötü değerlere olan göreceli yakınlıklarını gösterir. Bu hesaplama, Denklem (24) kullanılarak yapılır.

$$PP_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (24)$$

Adım 6: Kriterler, ilgili performans puanları (PP) değerlerine göre, en büyüğünden en küçüğüne doğru sıralanır. En yüksek PP değerine sahip alternatif, en iyi performans gösteren olarak kabul edilir.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Kriter Ağırlıkları

Hibrit araç akü paketleri için uygun termoplastik malzemelerin seçilmesi sürecinde SWARA yaklaşımının kullanılması, çeşitli kriterlerin öneminin belirlenmesine yönelik yapılandırılmış ve niceliksel bir yaklaşımı kolaylaştırmıştır. Bu titiz hesaplama yönteminden elde edilen ağırlıklar, otomotiv endüstrisinin katı taleplerini karşılamak için kritik olan malzeme özelliklerinin sıralamasının derinlemesine anlaşılmasını sağlar. Kriterler önemlerine göre sıralanır ve daha sonra göreceli önem düzeyleri belirlenir. Daha sonra Denklem (1)-(3) uygulanarak kriter ağırlıkları Çizelge 5.1'deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Kriter ağırlıkları (%)

Kriterler	s_j	k_j	q_j	w_j
Maksimum sıcaklık direnci		1,00	1,000	0,1930
Mekanik mukavemet	0,10	1,10	0,909	0,1755
Kimyasal direnç	0,50	1,50	0,606	0,1170
Aşınma direnci	0,05	1,05	0,577	0,1114
Elastik modül	0,20	1,20	0,481	0,0928
Termal genleşme	0,15	1,15	0,418	0,0807
Termal iletkenlik	0,20	1,20	0,349	0,0673
UV direnci	0,15	1,15	0,303	0,0585
Nem emme oranı	0,10	1,10	0,276	0,0532
Yoğunluk	0,05	1,05	0,262	0,0506

Hibrit araç akü paketleri için hayati önem taşıyan ve %19,3 ağırlık taşıyan yüksek sıcaklık direnci önceliklerimizin başında geliyor. Aşırı termal koşullara dayanmak ve termal kaçaqları önlemek için gereklidir. Sonraki, titreşim gibi otomotiv streslerine dayanmak için hayati önem taşıyan mekanik dayanıklılıktır (%17,55). %11,7'lik kimyasal direnç, aşındırıcı elektrolitlere dayanıklılık ve pil ömrünün uzatılması açısından çok önemlidir. Operasyonel aşınmaya dayanmak ve performansı sürdürmek için %11,14 aşınma direnci gereklidir. Elastik modül (%9,28), bileşenlerin hizalanması için hayati önem taşıyan malzemelerin deformasyona karşı direnç göstermesini sağlar. %8,07 ağırlıklı termal genleşme, malzemelerin sıcaklık değişikliklerinden

kaynaklanan stresi en aza indirmesi açısından önemlidir. Isı iletkenliği (%6,73) ısı dağılımını ve yalıtımı dengelemeli ve pil performansını optimize etmelidir. %5,85 UV direnci, güneş ışığının neden olduğu bozulmaya karşı koruma sağlar. Nem emilimi (%5,32) nemdeki malzeme bütünlüğünü korumak için kritik öneme sahiptir. Son olarak yoğunluk (%5,06) araç ağırlığı üzerindeki etkisi açısından dikkate alınır ancak diğer özelliklere göre daha az kritiktir. Bu SWARA tabanlı ağırlıklandırma, pil paketleri için malzeme seçimini güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirlik hedeflerine uygun olarak yönlendirir.

5.2 SWARA Tabanlı ÇKKV Yaklaşımları

Kriter ağırlıklarının SWARA yöntemi kullanılarak doğru bir şekilde belirlenmesi üzerine, hibrit araç akü paketleri için uygun termoplastik malzemenin seçimini sağlamak üzere ARAS, EDAS ve TOPSİS olmak üzere üç farklı ÇKKV yöntemi sırayla uygulanmıştır. Çalışmada ele alınan yoğunluk kriteri minimizasyon yönlü olup diğer kriterler maksimizasyon yönlüdür. İlk olarak, bir başlangıç karar matrisi (Bkz. Çizelge 5.2) geliştirildi. Bu matrisin geliştirilmesi sırasında, kriterler için her bir alternatifin değeri (Maksimum sıcaklık direnci, elastik modül ve nem emme oranı) dikkate alınırken, diğer tüm kriterler için alternatifler 5 puanlık Likert ölçeğinde derecelendirildi (1: Ortalama en düşük değeri, 5: En yüksek değeri temsil etmektedir). Daha sonra ilgili metodolojiler uygulandı.

Çizelge 5.2. Başlangıç karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	PET	1,38	4	4	3	70	4	3	2	0,24	4
	PSU	1,24	5	5	4	55	5	4	3	0,32	4
	PEEK	1,32	5	5	5	47	5	5	2	0,25	5
	PAI	1,43	5	5	5	30	5	5	2	0,25	4
	PPS	1,35	4	4	4	55	4	4	1	0,24	4
	PC	1,20	3	4	3	65	3	3	3	0,20	3
	PE	0,96	2	3	2	160	2	2	4	0,42	2
	PP	0,91	3	3	2	125	3	2	4	0,16	3
	PS	1,05	2	3	3	75	2	2	4	0,04	2
	PVC	1,39	3	4	3	80	4	3	3	0,21	4

5.2.1 SWARA Tabanlı ARAS Yaklaşımı

Çizelge 5.2’de verilen başlangıç karar matrisi ve SWARA yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak SWARA tabanlı ARAS yaklaşımı ile alternatif termoplastikler kendi aralarında en iyiden en iyi olmayana doğru sıralanmışlardır. Denklem (4) kullanılarak kriterlerin optimal değerleri hesaplanmış ve başlangıç karar matrisi ile birlikte Çizelge 5.3’te gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Optimum kriter değerleri ile birlikte ARAS yönteminin başlangıç karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Optimum		0,91	5	5	5	160	5	5	4	0,42	5
Alternatifler	PET	1,38	4	4	3	70	4	3	2	0,24	4
	PSU	1,24	5	5	4	55	5	4	3	0,32	4
	PEEK	1,32	5	5	5	47	5	5	2	0,25	5
	PAI	1,43	5	5	5	30	5	5	2	0,25	4
	PPS	1,35	4	4	4	55	4	4	1	0,24	4
	PC	1,20	3	4	3	65	3	3	3	0,20	3
	PE	0,96	2	3	2	160	2	2	4	0,42	2
	PP	0,91	3	3	2	125	3	2	4	0,16	3
	PS	1,05	2	3	3	75	2	2	4	0,04	2
	PVC	1,39	3	4	3	80	4	3	3	0,21	4

Sonraki aşamada Denklem (5) ile minimizasyon karakterli kriterler, Denklem (6) ile maksimizasyon yönlü kriterler normalize edilmektedir ve normalize karar matrisi Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. ARAS yönteminin normalize karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	Optimum	0,1165	0,1220	0,1111	0,1282	0,1735	0,1190	0,1316	0,1250	0,1530	0,1250
	PET	0,0764	0,0976	0,0889	0,0769	0,0759	0,0952	0,0789	0,0625	0,0874	0,1000
	PSU	0,0850	0,1220	0,1111	0,1026	0,0597	0,1190	0,1053	0,0938	0,1166	0,1000
	PEEK	0,0799	0,1220	0,1111	0,1282	0,0510	0,1190	0,1316	0,0625	0,0911	0,1250
	PAI	0,0728	0,1220	0,1111	0,1282	0,0325	0,1190	0,1316	0,0625	0,0911	0,1000
	PPS	0,0765	0,0976	0,0889	0,1026	0,0597	0,0952	0,1053	0,0313	0,0874	0,1000
	PC	0,0854	0,0732	0,0889	0,0769	0,0705	0,0714	0,0789	0,0938	0,0729	0,0750
	PE	0,1058	0,0488	0,0667	0,0513	0,1735	0,0476	0,0526	0,1250	0,1530	0,0500
	PP	0,1114	0,0732	0,0667	0,0513	0,1356	0,0714	0,0526	0,1250	0,0583	0,0750
	PS	0,0953	0,0488	0,0667	0,0769	0,0813	0,0476	0,0526	0,1250	0,0128	0,0500
PVC	0,0714	0,0732	0,0889	0,0769	0,0868	0,0952	0,0789	0,0938	0,0765	0,1000	

Normalizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, karar matrisi Denklem (7) kullanılarak ağırlıklandırılmaktadır. Ağırlıklı karar matrisi Çizelge 5.5'te gösterilmektedir. Optimal fonksiyon (S_i) değeri ve alternatif fayda derecesi (K_i) Denklem (8) ve (9) kullanılarak hesaplanır.

Çizelge 5.5. ARAS yönteminin ağırlıklı normalize karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	Optimum	0,0059	0,0239	0,0195	0,0119	0,0140	0,0139	0,0147	0,0067	0,0103	0,0073
	PET	0,0039	0,0192	0,0156	0,0071	0,0061	0,0111	0,0088	0,0033	0,0059	0,0059
	PSU	0,0043	0,0239	0,0195	0,0095	0,0048	0,0139	0,0117	0,0050	0,0078	0,0059
	PEEK	0,0040	0,0239	0,0195	0,0119	0,0041	0,0139	0,0147	0,0033	0,0061	0,0073
	PAI	0,0037	0,0239	0,0195	0,0119	0,0026	0,0139	0,0147	0,0033	0,0061	0,0059
	PPS	0,0039	0,0192	0,0156	0,0095	0,0048	0,0111	0,0117	0,0017	0,0059	0,0059
	PC	0,0043	0,0144	0,0156	0,0071	0,0057	0,0084	0,0088	0,0050	0,0049	0,0044
	PE	0,0054	0,0096	0,0117	0,0048	0,0140	0,0056	0,0059	0,0067	0,0103	0,0029
	PP	0,0056	0,0144	0,0117	0,0048	0,0109	0,0084	0,0059	0,0067	0,0039	0,0044
	PS	0,0048	0,0096	0,0117	0,0071	0,0066	0,0056	0,0059	0,0067	0,0009	0,0029
PVC	0,0036	0,0144	0,0156	0,0071	0,0070	0,0111	0,0088	0,0050	0,0051	0,0059	

Optimal fonksiyon (S_i) değeri ve alternatif fayda derecesi (K_i) Denklem (8) ve (9) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 5.12'de verilmiştir.

5.2.2 SWARA Tabanlı EDAS Yaklaşımı

Çizelge 5.2’de verilen başlangıç karar matrisi ve SWARA yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak SWARA tabanlı EDAS yaklaşımı ile alternatif termoplastikler kendi aralarında en iyiden en iyi olmayana doğru sıralanmışlardır. Denklem (10) kullanılarak her bir kriter için ortalama değer (AV) hesaplanmış olup ve başlangıç karar matrisi ile birlikte Çizelge 5.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.6. Ortalama değerler ile birlikte EDAS yönteminin başlangıç karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	PET	1,38	4	4	3	70	4	3	2	0,24	4
	PSU	1,24	5	5	4	55	5	4	3	0,32	4
	PEEK	1,32	5	5	5	47	5	5	2	0,25	5
	PAI	1,43	5	5	5	30	5	5	2	0,25	4
	PPS	1,35	4	4	4	55	4	4	1	0,24	4
	PC	1,20	3	4	3	65	3	3	3	0,20	3
	PE	0,96	2	3	2	160	2	2	4	0,42	2
	PP	0,91	3	3	2	125	3	2	4	0,16	3
	PS	1,05	2	3	3	75	2	2	4	0,04	2
	PVC	1,39	3	4	3	80	4	3	3	0,21	4
	AV	1,22	4	4	3	76	4	3	3	0,23	4

Sonraki aşamada ortalamadan pozitif (PDA) ve negatif mesafe (NDA) değerler için maksimizasyon yönlü kriterler için Denklem (11) ve (12), minimizasyon yönlü kriterler için Denklem (13) ve (14) kullanılmıştır ve Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. EDAS yönteminin PDA ve NDA değerleri

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	PET	0,0506	0,1963	0,1755	0,0928	0,0807	0,1170	0,1114	0,0532	0,0673	0,0585
	PSU	0,0000	0,1111	0,0000	0,0000	0,0000	0,0811	0,0000	0,0000	0,0323	0,1429
	PEEK	0,0000	0,3889	0,2500	0,1765	0,0000	0,3514	0,2121	0,0714	0,3763	0,1429
	PAI	0,0000	0,3889	0,2500	0,4706	0,0000	0,3514	0,5152	0,0000	0,0753	0,4286
	PPS	0,0000	0,3889	0,2500	0,4706	0,0000	0,3514	0,5152	0,0000	0,0753	0,1429
	PC	0,0000	0,1111	0,0000	0,1765	0,0000	0,0811	0,2121	0,0000	0,0323	0,1429
	PE	0,0184	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0714	0,0000	0,0000
	PP	0,2147	0,0000	0,0000	0,0000	1,0997	0,0000	0,0000	0,4286	0,8065	0,0000
	PS	0,2597	0,0000	0,0000	0,0000	0,6404	0,0000	0,0000	0,4286	0,0000	0,0000
	PVC	0,1411	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4286	0,0000	0,0000

Her bir alternatif için PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamları, Denklem (15) ve (16) ile hesaplanmış ve Çizelge 5.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.8. EDAS yönteminin PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamları SP ve SN değerleri

		SP	SN
Alternatifler	PET	0,0418	0,0493
	PSU	0,2388	0,0232
	PEEK	0,2925	0,0502
	PAI	0,2758	0,0727
	PPS	0,0818	0,0619
	PC	0,0047	0,1055
	PE	0,1767	0,2920
	PP	0,0876	0,2102
	PS	0,0299	0,3232
	PVC	0,0257	0,0672

Tüm alternatifler için PDA ve NDA'nın ağırlıklı toplamları, Denklem (17) ve (18) kullanılarak normalize edilmiştir. Son aşamada ise alternatiflerin değerlendirme puanları (AS), Denklem (19) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Çizelge 5.12'de verilmiştir.

5.2.3 SWARA Tabanlı TOPSİS Yaklaşımı

Çizelge 5.2’de verilen başlangıç karar matrisi ve SWARA yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak SWARA tabanlı TOPSİS yaklaşımı ile alternatif termoplastikler kendi aralarında en iyiden en iyi olmayana doğru sıralanmışlardır. Denklem (20) kullanılarak değerler normalize edilmiş ve Çizelge 5.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. TOPSİS yönteminin normalize karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	PET	0,3532	0,3357	0,3105	0,2673	0,2617	0,3277	0,2727	0,2132	0,3024	0,3495
	PSU	0,3174	0,4196	0,3881	0,3563	0,2056	0,4096	0,3636	0,3198	0,4032	0,3495
	PEEK	0,3378	0,4196	0,3881	0,4454	0,1757	0,4096	0,4545	0,2132	0,3150	0,4369
	PAI	0,3660	0,4196	0,3881	0,4454	0,1122	0,4096	0,4545	0,2132	0,3150	0,3495
	PPS	0,3455	0,3357	0,3105	0,3563	0,2056	0,3277	0,3636	0,1066	0,3024	0,3495
	PC	0,3071	0,2518	0,3105	0,2673	0,2430	0,2458	0,2727	0,3198	0,2520	0,2621
	PE	0,2457	0,1678	0,2328	0,1782	0,5982	0,1638	0,1818	0,4264	0,5292	0,1747
	PP	0,2316	0,2518	0,2328	0,1782	0,4674	0,2458	0,1818	0,4264	0,2016	0,2621
	PS	0,2687	0,1678	0,2328	0,2673	0,2804	0,1638	0,1818	0,4264	0,0441	0,1747
	PVC	0,3557	0,2518	0,3105	0,2673	0,2991	0,3277	0,2727	0,3198	0,2646	0,3495

Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin geliştirilmesi, Denklem (21) kullanılarak ilgili kriterin ağırlık değeri ile matris değeri çarpılarak yapılmış olup Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10. TOPSİS yönteminin ağırlıklı normalize karar matrisi

		Kriterler									
		MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
Alternatifler	PET	0,0179	0,0659	0,0545	0,0248	0,0211	0,0383	0,0304	0,0113	0,0204	0,0204
	PSU	0,0161	0,0824	0,0681	0,0331	0,0166	0,0479	0,0405	0,0170	0,0271	0,0204
	PEEK	0,0171	0,0824	0,0681	0,0413	0,0142	0,0479	0,0506	0,0113	0,0212	0,0256
	PAI	0,0185	0,0824	0,0681	0,0413	0,0091	0,0479	0,0506	0,0113	0,0212	0,0204
	PPS	0,0175	0,0659	0,0545	0,0331	0,0166	0,0383	0,0405	0,0057	0,0204	0,0204
	PC	0,0155	0,0494	0,0545	0,0248	0,0196	0,0288	0,0304	0,0170	0,0170	0,0153
	PE	0,0124	0,0329	0,0409	0,0165	0,0483	0,0192	0,0203	0,0227	0,0356	0,0102
	PP	0,0117	0,0494	0,0409	0,0165	0,0377	0,0288	0,0203	0,0227	0,0136	0,0153
	PS	0,0136	0,0329	0,0409	0,0248	0,0226	0,0192	0,0203	0,0227	0,0030	0,0102
	PVC	0,0180	0,0494	0,0545	0,0248	0,0241	0,0383	0,0304	0,0170	0,0178	0,0204

İdeal en iyi ve ideal en kötü değerleri belirlenmiş ve Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. TOPSİS yönteminin ideal en iyi ve ideal en kötü değerleri

	MTR	MS	CR	WR	EM	TE	TC	UVR	MAR	D
v_j^+	0,0117	0,0824	0,0681	0,0413	0,0483	0,0479	0,0506	0,0227	0,0356	0,0256
v_j^-	0,0185	0,0329	0,0409	0,0165	0,0091	0,0192	0,0203	0,0057	0,0030	0,0102

Denklem (22) ve (23) kullanılarak, ideal en iyi ve en kötü değerlerden Öklid mesafesi hesaplanmıştır. Denklem (24) kullanılarak ise performans skorları (PS) hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 12’de verilmiştir.

5.3 SWARA Tabanlı ÇKKV Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

ÇKKV yöntemleri, özellikle SWARA-ARAS, SWARA-EDAS ve SWARA-TOPSİS, hibrit araç akü paketlerinde kullanıma yönelik termoplastik malzemelerin değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi için sistematik bir çerçeve sağlar. Bu yöntemlerden elde edilen sıralamalar (Bkz. Çizelge 5.12), hibrit araçların operasyonel gereksinimleri ve güvenlik standartları açısından kritik öneme sahip kriterlere dayalı malzemelerin kapsamlı bir değerlendirmesini yansıtmaktadır. Bu analiz, diğer faktörlerin yanı sıra maksimum sıcaklık direncini, mekanik mukavemeti ve kimyasal

direnci vurgulayarak önceden belirlenmiş kriter ağırlıklarına dayanmaktadır. PEEK, sıralamada önde gelen bir materyal olarak ortaya çıkıyor ve sürekli olarak SWARA-ARAS ve SWARA-EDAS'ta birinci sırayı, SWARA-TOPSIS'te ise ikinci sırayı garantilemektedir. Bu öne çıkma, PEEK'in en yüksek ağırlıklı kriterlere uygun olan olağanüstü termal kararlılığına ve mekanik gücüne atfedilebilir. Malzemenin aşırı termal koşullar altında yapısal bütünlüğü ve performansı koruma yeteneği, hibrit araç akü paketlerinde termal kaçakların önlenmesindeki kritik zorluğun üstesinden gelir. Ayrıca PEEK'in kimyasal direnci, akü ortamındaki aşındırıcı maddelere karşı dayanıklılık sağlayarak akü sisteminin ömrünü ve güvenliğini artırır.

PSU ayrıca tüm ÇKKV yöntemlerinde güçlü bir performans sergileyerek SWARA-ARAS ve SWARA-EDAS'ta ikinci sırada ve SWARA-TOPSIS'te en üst sırayı elde ederek güçlü bir performans sergiliyor (Bkz. Şekil 5.1). PSU'nun yüksek sıralaması muhtemelen mükemmel yüksek sıcaklık direnci ve mekanik özelliklerinden kaynaklanmaktadır, bu da onu yüksek sıcaklıklara maruz kalan parçalar için ideal bir seçim haline getirmektedir. Bu, verimli termal yönetime ve yapısal dayanıklılığa katkıda bulunan ve pil takımının termal stres altında operasyonel güvenilirliğini sağlayan malzemelere duyulan ihtiyaçla uyumludur. Tüm yöntemlerde tutarlı üçüncü sıradaki sıralamasıyla PAI, temel kriter alanlarındaki dengeli performansını vurgulamaktadır. PAI'nin yüksek sıcaklık performansı ve termal stres altındaki boyutsal kararlılığı, onu kritik pil paketi bileşenleri için güvenilir bir malzeme seçimi haline getirmektedir. Sıralamadaki bu tutarlılık, malzemenin, öncelikli termal ve mekanik stabilite kriterleriyle uyumunu yansıtarak, hibrit araç akü paketlerinin güvenliğini ve operasyonel verimliliğini sağlamaya uygunluğunu vurguluyor.

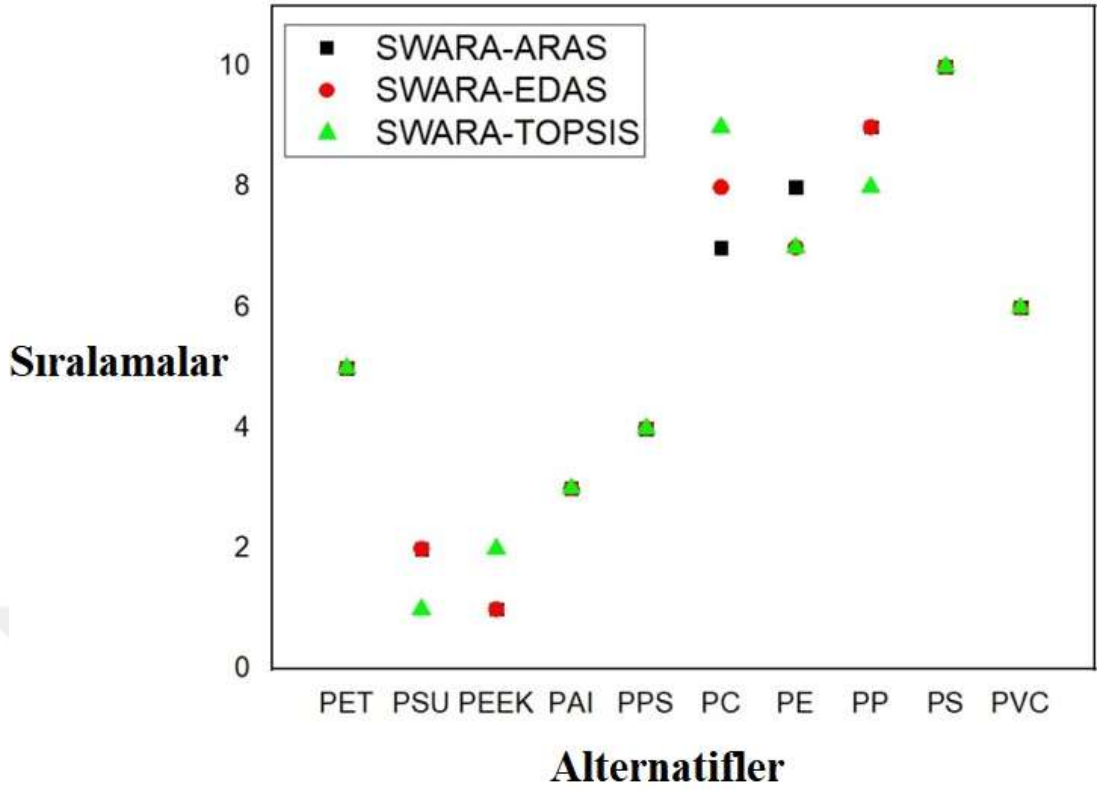
Polietilen Tereftalat (PET) ve Polifenilen Sülfür (PPS) de uygundur; PET iyi mekanik ve termal stabilite gösterirken PPS, pil paketlerinin uzun ömürlülüğü ve verimliliği için gerekli olan kimyasal direnci ve termal stabilitesiyle dikkat çekmektedir. Bu malzemelerin ÇKKV yöntemlerindeki sıralamaları, gerekli termal yönetim, güvenlik ve dayanıklılık kriterlerini karşıladıklarından hibrit araç uygulamalarındaki potansiyellerini doğrulamaktadır. Bunun tersine, Polistiren (PS) ve Polipropilen (PP) gibi malzemeler tüm yöntemlerde daha düşük sıralarda yer almakta ve bu da bunların hibrit araç akü paketlerinin yüksek sıcaklık ve mekanik açıdan zorlu ortamı için uygun olmayabileceğini göstermektedir. Örneğin PS, daha düşük termal kararlılığa ve

mekanik dayanıklılığa sahiptir, bu da onu yüksek sıcaklıklara maruz kalan kritik bileşenler için daha az ideal hale getirir.

Çizelge 5.12. Hibrit ÇKKV yöntemlerinin parametre değerleri

Malzemeler	SWARA-ARAS			SWARA-EDAS				SWARA-TOPSİS			
	S_i	K_i	Sıra	NSP	NSN	AS	Sıra	d_i^+	d_i^-	PS_i	Sıra
PET	0,087	0,678	5	0,143	0,847	0,495	5	0,049	0,049	0,500	5
PSU	0,106	0,831	2	0,816	0,928	0,872	2	0,036	0,075	0,672	1
PEEK	0,109	0,850	1	1,000	0,845	0,922	1	0,039	0,079	0,668	2
PAI	0,106	0,824	3	0,943	0,775	0,859	3	0,044	0,078	0,637	3
PPS	0,089	0,697	4	0,280	0,808	0,544	4	0,048	0,053	0,524	4
PC	0,079	0,613	7	0,016	0,674	0,345	8	0,060	0,035	0,364	9
PE	0,077	0,599	8	0,604	0,096	0,350	7	0,076	0,054	0,416	7
PP	0,077	0,598	9	0,300	0,350	0,325	9	0,067	0,041	0,380	8
PS	0,062	0,482	10	0,102	0,000	0,051	10	0,085	0,024	0,219	10
PVC	0,084	0,653	6	0,088	0,792	0,440	6	0,055	0,041	0,426	6

Metodolojide ayrıntıları verilen seçim sürecinde, hibrit araç akü paketlerinin güvenliğini ve performansını sağlamak için kritik olan maksimum sıcaklık direnci, mekanik dayanıklılık ve kimyasal direnç gibi kriterler kullanılıyor. Farklı ÇKKV yöntemlerinde PEEK ve PSU gibi malzemelerin tutarlı sıralaması, bunların sağlamlığını ve bu uygulama için uygunluğunu vurgulayarak, bilinçli malzeme seçimi kararları vermede kapsamlı bir değerlendirmenin önemini vurgulamaktadır. Hibrit araç akü paketi uygulamaları için belirlenen özel kriterlere dayalı olarak bu sıralamaların ayrıntılı incelenmesi, malzeme seçiminde karmaşık bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu araştırma, ÇKKV yöntemlerinden yararlanarak, yalnızca hibrit araçların teknik gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirlik gibi daha geniş hedeflere de karşılık gelen termoplastik malzemeleri tanımlamak için yönetsel bir çerçeve sunmaktadır. Bu kapsamlı değerlendirme, malzeme seçim sürecinde bilinçli karar vermeyi destekleyerek otomotiv endüstrisinde hibrit araç teknolojisinin ilerlemesine değerli bilgiler katmaktadır.



Şekil 5.1. SWARA tabanlı ÇKKV yöntemlerine göre sıralamanın karşılaştırılması

Spearman'ın sıralama korelasyonu katsayısı (SRKK) analizi, çeşitli ÇKKV yöntemleri tarafından üretilen sonuçların benzerliğini değerlendirmek için yapılmıştır (Der ve ark., 2024a; Der ve ark., 2024b). Bu araştırmada, üç farklı SWARA tabanlı ÇKKV yaklaşımı tarafından üretilen sıralamaların tutarlılığı incelenmiş ve SRKK'ler hesaplanarak Çizelge 5.13'te sunulmuştur. Tüm yaklaşımlar arasındaki korelasyon katsayıları 0,90'ın üzerinde olup, bu da üç ÇKKV yöntemi arasında yüksek bir sonuç benzerliği olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.13. SWARA tabanlı ÇKKV yöntemlerinin korelasyon analizi

	SWARA-ARAS	SWARA-EDAS	SWARA-TOPSİS
SWARA-ARAS	1,0000	0,9879	0,9515
SWARA-EDAS		1,0000	0,9758
SWARA-TOPSİS			1,0000

6. SONUÇ

Bu tez çalışması, hibrit araç teknolojisinin yaygınlaşması ve sürdürülebilir otomotiv çözümlerine olan talebin artması doğrultusunda, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren batarya paketlerinde kullanılacak uygun polimer malzemelerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle batarya sistemleri, hibrit araçların kalbinde yer almakta; ısı kaçak, mekanik zorlanmalar, kimyasal etkileşimler gibi çok boyutlu problemler bu bileşenlerin seçiminde yüksek mühendislik dikkati gerektirmektedir. Bu bağlamda, yalnızca teknik performans değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, güvenlik ve ekonomik verimlilik gibi kriterlerin birlikte değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu ihtiyaca karşılık verebilmek amacıyla çalışmada SWARA tabanlı üç farklı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi (ARAS, EDAS ve TOPSİS) kullanılarak, toplam 10 farklı termoplastik malzeme, 10 teknik ve çevresel kriter temelinde sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması, SWARA yöntemiyle uzman görüşleri doğrultusunda yapılmış ve elde edilen ağırlıklar, karar matrislerinin ağırlıklı değerlendirmesinde kullanılmıştır.

SWARA yöntemiyle yapılan ağırlıklandırma sonucunda en yüksek öneme sahip kriterin Maksimum Sıcaklık Direnci (%19,3) olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla Mekanik Mukavemet (%17,55), Kimyasal Direnç (%11,70), Aşınma Direnci (%11,14) ve Elastik Modül (%9,28) takip etmiştir. Bu sıralama, hibrit araç batarya paketlerinde kullanılan malzemelerin, yüksek sıcaklıklarda çalışırken aynı zamanda mekanik zorlanmalara karşı da yeterli direnci göstermesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Yoğunluk, UV direnci, nem emme oranı gibi kriterler daha düşük ağırlıklara sahip olsa da çevresel dayanıklılık ve hafiflik açısından göz ardı edilmemesi gereken parametrelerdir.

Her üç yöntemin uygulanmasıyla elde edilen sıralamalar incelendiğinde PEEK (Polyetheretherketone), PSU (Polysulfone) ve PAI (Polyamide-imide) malzemeleri, tüm yöntemlerde üst sıralarda yer almış ve tutarlı bir şekilde en uygun malzeme alternatifleri olarak öne çıkmıştır. Özellikle PEEK malzemesi, mükemmel termal stabilitesi, üstün mekanik özellikleri ve kimyasal direnç kapasitesi sayesinde hem

SWARA-ARAS hem de SWARA-EDAS yöntemlerinde birinci sırada, SWARA-TOPSİS yönteminde ise ikinci sırada yer alarak bu tür uygulamalara ne derece uygun olduğunu göstermiştir. PSU ve PAI malzemeleri ise yüksek sıcaklıklara dayanım, boyutsal kararlılık ve darbe direnci gibi özellikleri ile PEEK'e benzer düzeyde performans sergileyerek öncelikli alternatifler arasında konumlanmıştır.

Orta seviyedeki sıralamalarda PPS (Polyphenylene Sulfide) ve PET (Polyethylene Terephthalate) malzemeleri yer almış, bu malzemeler özellikle kimyasal direnç ve mekanik özellikler bakımından uygunluk göstermiştir. Bununla birlikte, daha düşük sıralarda yer alan PS (Polystyrene), PP (Polypropylene) ve PVC (Polyvinyl Chloride) gibi malzemeler, yüksek sıcaklık ve zorlu çevresel koşullar altında yeterli performans gösteremedikleri için hibrit araç batarya paketleri için önerilmemektedir.

Üç farklı ÇKKV yöntemiyle elde edilen sıralamaların tutarlılığı, Spearman'ın Sıralama Korelasyon Katsayısı (SRKK) analizi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tüm yöntem çiftleri arasında 0,95'in üzerinde korelasyon katsayıları elde edilmiş ve bu durum yöntemler arası yüksek tutarlılığı teyit etmiştir. Bu bulgu, karar vericilere uygulanabilirliği yüksek, güvenilir ve tekrar edilebilir bir değerlendirme çerçevesi sunduğunu göstermektedir. Böylelikle malzeme seçimi süreci, tek bir yöntemle bağımlı kalmadan daha sağlam bir temele oturtulmuştur.

Günümüzde hibrit araç batarya paketlerinde en yaygın kullanılan mühendislik plastikleri arasında Polikarbonat (PC), Polipropilen (PP) ve Polietilen (PE) öne çıkmaktadır. Bu malzemeler uygun maliyetli olmaları, yeterli düzeyde elektriksel yalıtıcılık sunmaları ve kolay işlenebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak, bu plastikler özellikle yüksek sıcaklık dayanımı ve termal kararlılık açısından sınırlı performans göstermektedir. Bu çalışmada SWARA tabanlı çok kriterli karar verme yöntemleriyle en uygun plastik olarak belirlenen Polietereterketon (PEEK), mevcutta kullanılan bu plastiklere kıyasla çok daha yüksek maksimum sıcaklık direnci, üstün kimyasal dayanım, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek mekanik mukavemet gibi kritik avantajlar sunmaktadır. Bu üstünlükleri sayesinde, PEEK'in batarya sistemlerinde termal kaçak riskini azaltabileceği, darbe ve titreşim kaynaklı hasarları en aza indirebileceği ve batarya ömrünü uzatabileceği değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma yalnızca teorik bir sıralama sunmakla kalmayıp, güncel

malzeme tercihlerini sorgulayan ve daha üstün mühendislik performansı sağlayabilecek alternatifleri ortaya koyan önemli bir katkı sunmaktadır.

Bu çalışmanın en dikkat çekici katkılarından biri, yalnızca teknik özelliklere değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik odaklı çevresel faktörlere de eşit önem vermesidir. Günümüzde çevresel performans, mühendislik kararlarının ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Bu doğrultuda, nem emme oranı, UV dayanımı, yoğunluk ve geri dönüştürülebilirlik gibi çevresel kriterlerin değerlendirme sürecine dahil edilmesi, çalışmayı özgün ve çağdaş kılmaktadır. Ayrıca, karar verme sürecinin SWARA yöntemiyle uzman görüşlerine dayalı olarak öznel şekilde yapılandırılması ve ardından bu ağırlıkların ARAS, EDAS ve TOPSIS gibi objektif sıralama yöntemlerine entegre edilmesi, hibrid karar destek sistemleriyle güçlü bir karar yapısı oluşturulmasına olanak tanımıştır.

Bu çalışmada kriterler, termal, mekanik, kimyasal ve çevresel özelliklere odaklanılarak belirlenmiştir. Ancak, gelecekteki çalışmalarda işlenebilirlik (moldability), üretim maliyeti, yangına dayanıklılık (flammability rating), geri dönüştürülebilirlik oranı, CO₂ ayak izi, tedarik zinciri güvenilirliği, yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve çevresel etki puanı (EIP) gibi kriterlerin de karar sürecine entegre edilmesi hem daha endüstri odaklı hem de sürdürülebilirlik merkezli kararlar alınmasına katkı sağlayacaktır. Örneğin, üretim maliyeti kriteri ile malzeme seçim süreci ekonomik uygulanabilirlik açısından zenginleştirilebilir; geri dönüştürülebilirlik ve CO₂ ayak izi gibi sürdürülebilirlik kriterleri ise çevresel etkiyi azaltan malzemelerin öne çıkmasına olanak sağlayabilir. Ayrıca, yangına dayanıklılık gibi kriterlerin değerlendirilmesi, özellikle batarya paketlerinde yangın güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür kriterlerin eklenmesi, çok boyutlu ve daha gerçekçi malzeme seçimi kararlarının alınmasına katkı sağlayacak ve endüstriyel geçerliliği artıracaktır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması; hibrit araç batarya paketleri gibi kritik mühendislik uygulamaları için uygun malzeme seçiminin, sadece mühendislik değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik etmenlerle de şekillendiğini ortaya koymuştur. Termoplastik malzemelerin performanslarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, hibrit araç teknolojisinde güvenli, uzun ömürlü ve sürdürülebilir çözümlerin benimsenmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamlı analiz, otomotiv sektöründeki mühendislik

uygulamaları için somut ve uygulanabilir bir rehber niteliği taşımakta olup, sektörde faaliyet gösteren firmalara ve araştırmacılara malzeme seçiminde bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır. İleriye dönük olarak, çalışmanın dinamik kullanım senaryoları (örneğin darbe, şok, ısı döngüsü testleri gibi) ve yaşam döngüsü analizleri (LCA) ile desteklenmesi, sonuçların endüstriyel geçerliliğini daha da artırabilir. Ayrıca, karar verme sürecine bulanık mantık, yapay zekâ ve makine öğrenimi temelli sistemlerin entegre edilmesi, gelecekte daha öngörücü ve esnek karar modellerinin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abderrafai, Y., Diouf-Lewis, A., Sosa-Rey, F., Farahani, R. D., Piccirelli, N., Lévesque, M., & Therriault, D., Additive Manufacturing and Characterization of High Temperature Thermoplastic Blends for Potential Aerospace Applications, *Composites Science and Technology*, 231, 109839, 2023.
- Abishini, A.H., Karthikeyan, K.M.B. Application of MCDM and Taguchi Super ranking Concept for Materials Selection Problem, *Materials Today: Proceedings*, 72, 2480-2487, 2023.
- Agrawal, R. Sustainable Material Selection for Additive Manufacturing Technologies: A Critical Analysis of Rank Reversal Approach, *Journal of Cleaner Production*, 296, 126500, 2021.
- Andrady, A.L., Heikkilä, A.M., Pandey, K.K., Bruckman, L.S., White, C.C., Zhu, M., Zhu, L., Effects of UV Radiation on Natural and Synthetic Materials, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 22, 1177–1202, 2023.
- Awd Allah, M.M., Abd El-Halim, M.F., Abd El Aal, M.I., Abd El-baky, M.A., Comparative Analysis of Metal–Thermoplastic Hybrid Circular Structures Under Quasi-static Lateral Loading: Implications for Crashworthiness, *Fibers Polymers*, 26, 1265–1280, 2025.
- Basar, G., Der, O. Multi-Objective Optimization of Process Parameters for Laser Cutting Polyethylene Using Fuzzy AHP-Based MCDM Methods, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E*, 2025.
- Balasubramaniam, S., Mohanty, A., Balasingam, S.K., Kim, S.J., Ramadoss, A., Comprehensive Insight into the Mechanism, Material Selection and Performance Evaluation of Supercapatteries, *Nano-Micro Letters*, 12, 85, 2020.
- Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., Ignatius, J., A State-of-the-Art Survey of TOPSIS Applications, *Expert Systems with Applications*, 39, 13051-13069, 2012.

- Belmonte, M., *Advanced Ceramic Materials for High Temperature Applications*, *Advanced Engineering Materials*, 8, 693–703, 2006.
- Bhaskar, A.S., Khan, A. *Comparative Analysis of Hybrid MCDM Methods in material Selection for Dental Applications*, *Expert Systems with Applications*, 209, 118268, 2022.
- Biron, M., *Material Selection for Thermoplastic Parts*, Elsevier, USA, 2016.
- Boyer, R.R., Cotton, J.D., Mohaghegh, M., Schafrik, R.E., *Materials Considerations for Aerospace Applications*, *MRS Bulletin*, 40, 1055-1066, 2015.
- Burd, J.T.J., Moore, E.A., Ezzat, H., Kirchain, R., Roth, R., *Improvements in Electric Vehicle Battery Technology Influence Vehicle Lightweighting and Material Substitution Decisions*, *Applied Energy*, 283, 116269, 2021.
- Chandra, M., Shahab, F., KEK, V., Rajak, S. *Selection for Additive Manufacturing Using Hybrid MCDM Technique Considering Sustainable Concepts*, *Rapid Prototyping Journal*, 28(7), 1297-1311, 2022.
- Chatterjee, S., Chakraborty, S. *Material Selection of a Mechanical Component Based on Criteria Relationship Evaluation and MCDM Approach*, *Materials Today: Proceedings*, 44, 1621-1626, 2021.
- Chen, G., Mohanty, A.K., Misra, M., *Progress in Research and Applications of Polyphenylene Sulfide Blends and Composites with Carbons*, *Composites Part B: Engineering*, 209, 108553, 2021.
- Chen, Z., Li, T., Yang, Y., Liu, X., Lv, R. *Mechanical and Tribological Properties of PA/PPS Blends*, *Wear*, 257(7-8), 696-707, 2004.
- Dai, H., Jiang, B., Hu, X., Lin, X., Wei, X., Pecht, M., *Advanced Battery Management Strategies for a Sustainable Energy Future: Multilayer Design Concepts and Research Trends*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110480, 2021.
- Der, O., Alqahtani, A.A., Marengo, M., Bertola, V., *Characterization of Polypropylene Pulsating Heat Stripes: Effects of Orientation, Heat Transfer Fluid, and Loop Geometry*, *Applied Thermal Engineering*, 184, 116304, 2021.

- Der, O., Ordu, M., Basar, G., Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters for Polyethylene Thermoplastic Material by Integrating Data Envelopment Analysis and SWARA-Based CoCoSo Approach, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 638-661, 2024a.
- Der, O., Ordu, M., Basar, G., Optimization of Cutting Parameters in Manufacturing of Polymeric Materials for Flexible Two-Phase Thermal Management Systems, *Materials Testing*, 66(10), 1700-1719, 2024b.
- Dixit, S., Rodriguez, S., Jones, M.R., Buzby, P., Dixit, R., Argibay, N., DelRio, F.W., Lim, H.H., Fleming, D., Refractory High-Entropy Alloy Coatings for High-Temperature Aerospace and Energy Applications, *Journal of Thermal Spray Technology*, 31, 1021–1031, 2022.
- Dobránský, J., Pollák, M., Běhálek, L., Svetlík, J. Implementation of a Recycled Polypropylene Homopolymer Material for Use in Additive Manufacturing. *Sustainability*, 13(9), 4990, 2021.
- Emovon, I., Ogheniyerovwho, O.S., Application of MCDM Method in Material Selection for Optimal Design: A Review, *Results in Materials*, 7, 100115, 2020.
- Ghaleb, A.M., Kaid, H., Alsamhan, A., Mian, S.H., Hidri, L. Assessment and Comparison of Various MCDM Approaches in the Selection of Manufacturing Process, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020(1), 4039253, 2020.
- Grate, J.W., Arnquist, I.J., Hoppe, E.W., Bliss, M., Harouaka, K., di Vacri, M.L., Anguiano, S.A. Mass Spectrometric Analyses of High Performance Polymers to Assess Their Radiopurity as Ultra Low Background Materials for Rare Event Physics Detectors, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 985, 164685, 2021.
- Guan, Q.F., Yang, H.B., Han, Z.M., Zhou, L.C., Zhu, Y.B., Ling, Z.C., Jiang, H.B., Wang, P.F., Ma, T., Wu, H.A., Yu, S.H., LightWeight, Tough, and Sustainable Cellulose Nanofiber-Derived Bulk Structural Materials with Low Thermal Expansion Coefficient, *Science Advances*, 6, eaaz1114, 2020.

- Haque, S.M., Ardila-Rey, J.A., Umar, Y., Mas'ud, A.A., Muhammad-Sukki, F., Jume, B.H., Rahman, H., Bani, N. A., Application and Suitability of Polymeric Materials as Insulators in Electrical Equipment, *Energies*, 14, 2758, 2021.
- Huang, B.C., Hung, F.Y., Effect of High Temperature and Thermal Cycle of 4043 Al Alloy Manufactured through Continuous Casting Direct Rolling, *Materials*, 16, 7176, 2023.
- Hubmann, M., Bakr, M., Groten, J., Pletz, M., Vanfleteren, J., Bossuyt, F., ..., Stadlober, B. Parameter Study on Force Curves of Assembled Electronic Components on Foils During Injection Overmolding Using Simulation, *Micromachines*, 14(4), 876, 2023.
- Kabir, M.M., Demirocak, D.E., Degradation Mechanisms in Li-ion Batteries: A State-of-the-Art Review, *International Journal of Energy Research*, 41, 1963–1986, 2017.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management*, 11, 243–258, 2010.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Olfat, L., Turskis, Z., Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS), *Informatica*, 26, 435–451, 2015.
- Khampratueng, P., Anal, A.K. Enhancing the Biodegradation of Low-density polyethylene (LDPE) Using Novel Bacterial Consortia: *Bacillus* sp. AS3 and *Sphingobacterium* sp. AS8, *Journal of Environmental Sciences*, 2025.
- Kik, K., Bukowska, B., Sicińska, P. Polystyrene Nanoparticles: Sources, Occurrence in the Environment, Distribution in Tissues, Accumulation and Toxicity to Various Organisms. *Environmental Pollution*, 262, 114297, 2020.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A.R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., Bansal, R.C., A Review of Multi Criteria Decision Making (MCDM) towards Sustainable Renewable Energy Development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609, 2017.

- Kurmaev, R.K., Struchkov, V.S., Novak, V.V. Experience in the Development of an Effective Thermal Management System for the High-Voltage Battery of the Vehicle, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2020.
- Li, L., Duan, Y., Engineering Polymer-Based Porous Membrane for Sustainable Lithium-Ion Battery Separators, *Polymers*, 15, 3690, 2023.
- Liu, Y.Y., Cao, J.H., Wang, Y., Shen, S.G., Liang, W.H., Wu, D.A., Colorless Polyamide–Imide Films with Enhanced Thermal and Dimensional Stability and Their Application in Flexible OLED Devices, *ACS Applied Polymer Materials*, 4, 7664–7673, 2022.
- Lufrano, E., Simari, C., Vecchio, C.L., Aricò, A.S., Baglio, V., Nicotera, I. Barrier Properties of Sulfonated Polysulfone/Layered Double Hydroxides Nanocomposite Membrane for Direct Methanol Fuel Cell Operating at High Methanol Concentrations, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(40), 20647-20658, 2020.
- Malaga, A.K., Agrawal, R., Wankhede, V.A. Material Selection for Metal Additive Manufacturing Process, *Materials Today: Proceedings*, 66, 1744-1749, 2022.
- Malik, M., Dincer, I., Rosen, M.A., Review on Use of Phase Change Materials in Battery Thermal Management for Electric and Hybrid Electric Vehicles, *International Journal of Energy Research*, 40, 1011-1031, 2016.
- Mayandi, K., Rajini, N., Ayirmis, N., Indira Devi, M.P., Siengchin, S., Mohammad, F., Al-Lohedan, H.A., An Overview of Endurance and Ageing Performance Under Various Environmental Conditions of Hybrid Polymer Composites, *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 15962–15988, 2020.
- McCluskey, F.P., Podlesak, T., Grzybowski, R., *High Temperature Electronics*, CRC Press, Boca Raton, 2019.
- Nisticò, R., Polyethylene Terephthalate (PET) in the Packaging Industry, *Polymer Testing*, 90, 106707, 2020.

- Okokpujie, I.P., Tartibu, L.K., Musa-Basheer, H.O., Adeoye, A.O.M., Effect of Coatings on Mechanical, Corrosion and Tribological Properties of Industrial Materials: A Comprehensive Review, *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 10, 2, 2024.
- Ordu, M., Evaluating Occupational Accidents and Diseases-Based Sustainable Performances of the Turkish Development Regions Using a Hybrid MCDM Approach, Editör (Mishra, B.K.), *Intelligent Engineering Applications and Applied Sciences for Sustainability*, IGI Global, Hershey, PA, 190-207, 2023.
- Ordu, M., Der, O., Polymeric Materials Selection for Flexible Pulsating Heat Pipe Manufacturing Using a Comparative Hybrid MCDM Approach, *Polymers*, 15, 2933, 2023.
- Ordu, M., Fedai, Y. A Novel Decision Support System Based on Fuzzy Multi Criteria Decision Making for Optimizing Machining Parameters, *Journal of Engineering Research*, 11(3), 228-237, 2023.
- Paszkiwicz, S., Lesiak, P., Walkowiak, K., Irska, I., Miadlicki, K., Królikowski, M., Piesowicz, E., Figiel, P., The Mechanical, Thermal, and Biological Properties of Materials Intended for Dental Implants: A Comparison of Three Types of Poly(aryl-ether-ketones) (PEEK and PEKK), *Polymers*, 15, 3706, 2023.
- Pierce, D., Haynes, A., Hughes, J., Graves, R., Maziasz P., Muralidharan, G., Shyam, A., Wang, B., England, R., Daniel, C., High Temperature Materials for Heavy Duty Diesel Engines: Historical and Future Trends, *Progress in Materials Science*, 103, 109-179, 2019.
- Pillai, R., Ren, Q.Q., Su, Y.F., Kurfess, Y., Feldhausen, T., Nag, S., Leveraging Additive Manufacturing to Fabricate High Temperature Alloys with Co-Designed Mechanical Properties and Environmental Resistance, *ASME Turbo Expo 2023: Turbomachinery Technical Conference and Exposition*, Boston, USA, 26-30 June 2023.
- Pollet, B.G., Staffell, I., Shang, J.L., Current Status of Hybrid, Battery and Fuel Cell Electric Vehicles: From Electrochemistry to Market Prospects, *Electrochimica Acta*, 84, 235–249, 2012.

- Rahmatabadi, D., Soltanmohammadi, K., Aberoumand, M., Soleyman, E., Ghasemi, I., Baniassadi, M., ..., Baghani, M. Development of Pure Poly Vinyl Chloride (PVC) with Excellent 3D Printability and Macro-and Micro-structural Properties, *Macromolecular Materials and Engineering*, 308(5), 2200568, 2023.
- Rana, S., Kumar, R., Bharj, R.S., Current Trends, Challenges, and Prospects in Material Advances for Improving the Overall Safety of Lithium-ion Battery Pack, *Chemical Engineering Journal*, 463, 142336, 2023.
- Rojas, O.E., Khan, M.A., A Review on Electrical and Mechanical Performance Parameters in Lithium-ion Battery Packs, *Journal of Cleaner Production*, 378, 134381, 2022.
- Sabet, M., The Impact of Graphene Oxide on the Mechanical and Thermal Strength Properties of Polycarbonate, *Journal of Elastomers & Plastics*, 55, 511–525, 2023.
- Shukla, A., Agarwal, P., Rana, R.S., Purohit, R., Applications of TOPSIS Algorithm on Various Manufacturing Processes: A Review, *Materials Today: Proceedings*, 4, 5320–5329, 2017.
- Simari, C., Lufrano, E., Brunetti, A., Barbieri, G., Nicotera, I., Highly-Performing and Low-Cost Nanostructured Membranes Based on Polysulfone and Layered Doubled Hydroxide for High-Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cells, *Journal of Power Sources*, 471, 228440, 2020.
- Tian, X., Yi, Y., Fang, B., Yang, P., Wang, T., Liu, P., Qu, L., Li, M., Zhang, S., Design Strategies of Safe Electrolytes for Preventing Thermal Runaway in Lithium Ion Batteries, *Chemistry of Materials*, 32, 9821–9848, 2020.
- Tomaszewska, A., Chu, Z., Feng, X., et al. Lithium-ion Battery Fast Charging: A Review, *eTransportation*, 1, 100011, 2019.
- Van Dua, T., Van Duc, D., Bao, N.C., Trung, D.D. Integration of Objective Weighting Methods for Criteria and MCDM Methods: Application in Material Selection, *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 131-148, 2024.

Zavadskas, E.K., Turskis, Z., A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision-Making, *Technological and Economic Development of Economy*, 16, 159–172, 2010.

Zhang, X., Chao, X., Lou, L., Fan, J., Chen, Q., Li, B., Ye, L., Shou, D., Personal Thermal Management by Thermally Conductive Composites: A Review, *Composites Communications*, 23, 100595, 2021.

Zhao, D., Bezgans, Y., Vdonin, N., Du, W., The Use of TOPSIS-Based-Desirability Function Approach to Optimize the Balances Among Mechanical Performances, Energy Consumption, and Production Efficiency of the Arc Welding Process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 3545–3559, 2021.



ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı** : Mustafa Sefa BULUT
2. **Unvanı** : Endüstri Mühendisi
3. **Öğrenim Durumu** : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2021

4. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Proses Mühendisi	KİPAŞ Holding	2024 - ...
Osmaniye Sorumlusu	Andaç Sağlık Ürünleri Ltd. Şti.	2024 - 2024
Endüstri Mühendisi	Fetih Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti.	2022 - 2022

5. Yayın:

- **Bulut, M.S.**, Ordu, M., Der, O., Basar, G. Sustainable Thermoplastic Material Selection for Hybrid Vehicle Battery Packs in the Automotive Industry: A Comparative Multi-Criteria Decision-Making Approach, *Polymers*, 16(19), 2768, 2024. <https://doi.org/10.3390/polym16192768>

6. Ulusal Konferansta Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiri:

- **Bulut, M.S.**, Ordu, M., Der, O. SWARA Tabanlı Karar Verme Yaklaşımları ile Hibrit Araç Akü Paketleri için Termoplastik Malzeme Seçimi. *43. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi*, 2-4 Ekim 2024, Trabzon, Türkiye, ss. 167.

7. Proje:

- Araştırmacı, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, “Yüksek Sıcaklık Uygulamaları için Termoplastik Malzeme Seçimi: Bir Karşılaştırmalı Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı”, (10.07.2024 – 09.07.2025), OKÜBAP-2024- PT2-004.



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Mustafa Sefa BULUT
Öğrenci Numarası	202211410030
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Doç. Dr. Muhammed ORDU
Tez Başlığı (Türkçe)	Yüksek Sıcaklık Uygulamaları için Termoplastik Malzeme Seçimi: Bir Karşılaştırmalı Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 57 sayfalık kısmına ilişkin, 20/05/2025 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 9'dur.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

20.05.2025

Mustafa Sefa BULUT

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Doç. Dr. Muhammed ORDU

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

AÇIKLAMALAR

- Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
- Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

80000 Osmaniye / TÜRKİYE

<http://osmaniye.edu.tr/lisansustu>

Tel: +90 328 827 10 00/4107-4006

E-Posta: lisansustu@osmaniye.edu.tr