

## Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi

Adnan ABDULVAHİTOĞLU\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-2659-6709

Aslı ABDULVAHİTOĞLU<sup>2</sup> ORCID 0000-0002-3603-6748

Mustafa KILIC<sup>2</sup> ORCID 0000-0002-8006-149X

<sup>1</sup>Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisi, Ankara

<sup>2</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 14.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ABDULVAHİTOĞLU, A., ABDULVAHİTOĞLU, A., KILIÇ, M., (2022). Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1061-1076.

### Öz

Küreselleşme ve dünya nüfusundaki hızlı artış birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bunlardan birisi de İçten Yanmalı Motorla çalışan araçların neden olduğu ulaşım, trafik ve çevre sorunudur. Bu yüzden bilim insanları bir yandan ulaşım ve trafik sorununu çözmeye çalışırken diğer yandan yenilenebilir ve çevre dostu alternatif enerji kaynakları ile bunları kullanan araçlar üzerine yoğunlaşmaktadır. Özellikle elektrik makineleri, bataryalar ve güç elektroniği alanlarında yaşanan teknolojik gelişmeler, girişimcileri elektrikli araç üretimine yönlendirmektedir. Elektrikli Araç çalışmalarında yaşanan ilerlemeler sayesinde batarya ile çalışan Elektrikli araçlar yavaş yavaş fosil yakıt kullanan araçların yerini almaya başlamıştır. Ancak daha iyi performans gösterecek batarya geliştirme çalışmaları devam ettiğinden elektrikli araç kullanımı yavaş, fakat hızlanarak devam etmektedir. Batarya geliştirme çalışmalarında öncelikle hızlı şarj, taşıt menzili, uzun pil ömrü, düşük maliyet, batarya kapasitesi, şarj süresi, batarya verimi ve batarya güç değeri vb. gereksinimler karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu noktada Lityum-İyon bataryalar ön plana çıkmaktadır. Ancak geliştirilen Lityum-İyon batarya çeşitlerinin değişik performans özellikleri, Elektrikli Araç üreticilerinin batarya seçiminde karar vermelerini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama kullanılarak, karar vericilere Lityum-İyon batarya seçiminde yardımcı olacak bir model önerilmiştir. Böylece Elektrikli Araç üretim çalışmalarında yer alan işletmelere en uygun bataryayı seçme, elektrikli araçların maliyetini azaltma ve performanslarını artırma çalışmalarında faydalı olunması öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli araç, Batarya, Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA), İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama (TOPSIS), Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Adnan ABDULVAHİTOĞLU, [abdulvahitoglu@gmail.com](mailto:abdulvahitoglu@gmail.com)

## Assessment of Electric Vehicle Batteries Via Integrated Swara-Topsis Approach

### Abstract

Globalization and the rapid increase in the world population bring along many problems. One of them is the traffic, transportation, and environmental issues brought on by internal combustion engine-powered vehicles. Therefore, scientists focus on renewable and environmentally friendly alternative energy sources and vehicles that use them. Technological developments, especially in the fields of electrical machines, batteries and power electronics, have led entrepreneurs to turn to electric vehicles. Great progress has been made in Electric Vehicle studies, causing battery-powered Electric Vehicles to gradually replace internal combustion engine powered vehicles. However, since the battery development studies that will perform better are continuing, the use of Electric Vehicle continues slowly but accelerated. In battery development studies for Electric Vehicles, first of all, requirements such as fast charging, vehicle range, long battery life, low cost, battery capacity, charge time, efficiency battery, power of battery and etc. are tried to be met. At this point, lithium-Ion batteries come to the fore. The different performance characteristics of the developed lithium-Ion battery types make it difficult for Electric Vehicle manufacturers to decide on battery selection. In this study, a model for lithium-Ion battery selection is proposed by using Step-by-Step Weight Evaluation Ratio Analysis and Ranking of Preferences Based on Similarity to Ideal Solution, which are among the Multi-Criteria Decision Making methods. Thus, it is foreseen that it will be beneficial for the enterprises involved in Electric Vehicle production studies to select the most suitable battery, reduce the cost of Electric Vehicles and increase their performance.

**Keywords:** Electric vehicle, Battery, Step-by-Step Weight Evaluation Ratio Analysis (SWARA), Ranking of Preferences Based on Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

### 1. GİRİŞ

Hızla gelişmekte ve değişmekte olan dünyada, başta teknolojik gelişmeler olmak üzere bilimde söz sahibi ülkeler, uluslararası ilişkiler ve ekonomide de etkili olmaktadır. Böylece bilim ve teknolojiye sağladıkları üstünlüğü kullanarak dünya nimetlerinin paylaşılmasında belirleyici olmakta ve kendi toplumlarının refah seviyelerini arttırmaktadırlar.

Ancak kullanılan fosil enerji kaynaklarının neden olduğu çevre kirliliğindeki hızlı ve tehlikeli artış ile bu kaynakların hızla tükenmesi, tüm dünyayı alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Özellikle, yoğun fosil yakıt kullanımından kaynaklanan çevre kirliliği ve İçten Yanmalı Motor (İYM)'ların sebep olduğu zararlı gaz salınımı önem arz etmektedir.

Dünyada en çok kullanılan fosil enerji kaynaklarından petrol tüketiminin

yaklaşık %60'ını İYM'lar tek başına yapmaktadır. Buna bağlı olarak da dünya CO<sub>2</sub> salınımının %25,5'ine sebep olmaktadır. Karayolu taşımacılığı ise bu kullanımın içinde tüm CO<sub>2</sub> salınımının %16'sına tek başına sebep olmaktadır [1]. Bu sebeplerden dolayı İYM'lar ve fosil enerji kaynakları yerine kullanılacak alternatif çözüm arayışları artarak devam etmektedir. Özellikle Elektrikli Araç (EA) ve EA'lar için batarya kapasitelerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son yılların en gözde konuları arasında yer almaktadır [2]. Zararlı gaz salınımının olmaması, çevre dostu olması, şanzımana ihtiyaç duymaması, gürültüsüz çalışması, enerji verimliliği vb. sebeplerden dolayı EA kullanımına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. 2020 yılında dünya genelinde EA satışı 2,5-3 milyon olarak gerçekleşirken, 2021 yılında 6,6 milyona ulaşmıştır. Bu artış, firmaların EA'lar üzerine yaptıkları araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları ve üretim faaliyetlerinde artış olduğunu göstermektedir. Otomotiv sektörünün öncü

firmalarının yaptığı açıklamalar bu sayıların daha da artacağını göstermektedir. Jaguar ve Alfa Romeo sırasıyla 2025 ve 2027 yılında, Opel 2028 yılından itibaren ve Mercedes 2030 yılına kadar Avrupa'da ürettikleri tüm araçların elektrikli olacağını beyan etmişlerdir. Audi firması benzinli ve dizel araç üretimini 2026 yılında sonlandıracağını, Land Rover firması da 2024 yılında elektrikli araç üretimine başlayacağını açıklamışlardır. Diğer büyük otomobil firmalarının da benzer açıklamaları bulunmaktadır [3]. İYM pazarında kaçırdığı fırsatı EA pazarında yakalamak isteyen Türkiye'nin bu sektörde var olmasını sağlayacak elektrikli otomobil fabrikasının resmi olarak 29 Ekim 2022'de açılması ve 2023 yılının ilk üç ayında satışa başlaması planlanmaktadır [4].

Literatürde EA'lar üzerine EA şarjının elektrik dağıtım şebekesine etkisi [2], EA'ların geleceği [5], EA bataryası kutu kapaklarının tasarımı [3], esas tahrik unsuru olarak yakıt pilini seçen EA uygulaması [6], bataryalı EA parametrelerinin hesaplanması [7], EA batarya seçimi [8], hibrit EA'ların modellenmesi [9] vb çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda ortaya çıkan çok faktörlü problemlerin çözülmesi için çalışan araştırmacılar karar verme sürecinde zorlanmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada araştırmacılara bilimsel karar desteği sağlanması sürecinde ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır.

ÇKKV teknikleri karar vericilere çok sayıda kriteri göz önüne alarak değerlendirme yapma fırsatı vermektedir [10]. Abdulvahitoğlu vd karakol kuruluş yeri seçiminde [11], Abdulvahitoğlu İYM motor radyatörlerinde kullanılan farklı nanoakışkanları değerlendirmede [12], Abdulvahitoğlu ve Kilic farklı biodizellerin

özelliklerinin ağırlıklandırılmasında ÇKKV yöntemlerini kullanmışlardır [13]. Son yıllarda geliştirilen ve en yaygın kullanılan ÇKKV tekniklerinden biri olan SWARA tekniği ile ev planı, mimar, personel seçimi [14-16], İYM'ların enerji analizi [17], enerji santrali kuruluş yeri seçimi [18] vb. çalışmalar yapılmıştır. Ancak EA'ların dezavantajlarının neden olduğu sorunlar ile ilgili çalışmalarda ÇKKV yöntemlerinin daha önce hiç kullanılmadığı görülmüştür

Bu çalışmada EA Ar-Ge çalışmalarında karşılaşılan sorunların ÇKKV yöntemleri ile önem değerleri bulunarak, işletmelerin EA stratejilerinin planlanması aşamasında hangi faktöre ne derece ağırlık verileceği, hangi sorunla mücadele için ayrılan kaynak ve emeğin EA çalışmalarına katkı sağlayacağı konularında karar desteği sağlanması amaçlanmıştır. Giriş bölümünde ilgili literatür taraması yapılmıştır. Birinci bölümde EA'lar ile ilgili genel hususlar ve EA'ların avantajları ile dezavantajları üzerine durulmuştur. İkinci bölümde çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde önce EA sorunlarının önem derecelerinin belirlenebilmesinde SWARA yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra en önemli sorun olarak ortaya çıkan batarya geliştirme çalışmaları üzerine durulmuştur. Bu noktada batarya özellikleri tespit edilip tekrar SWARA tekniği kullanılarak bu kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra batarya cinsleri TOPSIS yöntemi ile sıralanarak en uygun seçenek belirlenmiştir. Sonuç bölümünde SWARA, TOPSIS ve diğer ÇKKV yöntemlerinin benzer konularda kullanılabileceğine yönelik teklifler ile çalışma tamamlanmıştır. Çalışmanın aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın aşamaları

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

EA'ların hızla yaygınlaşması ve bu araçların en önemli parçaları olan elektrik motorları ve bataryaları ile bataryaların şarj sistemleri araştırmacıların dikkatini çeken konuların başında gelmektedir. Bu konunun öneminin bilincinde olan Türkiye, Bursa ilinin Gemlik ilçesinde kurulan ve sadece elektrikli araç üretecek olan otomobil fabrikasında çalışmalara başlamıştır. Böylece İYM'larda fosil yakıtlar yerine elektrik enerjisi kullanılması her geçen gün daha fazla yaygınlaşacak ve fosil yakıtlara bağlılık azaltılarak ithalatından tasarruf edilmiş olunacaktır.

### 2.1. Elektrikli Araçlar

EA çalışmaları 19. yüzyılın başlarına kadar gitmektedir. Profesör Stratingh 1835 yılında ilk EA modelini [19], Robert Davidson 1938 yılında ilk elektrikli lokomotifini geliştirmiştir [20]. 1886 yılında Karl Benz'in İYM'u üretilip satışa sunmasından sonra 1895 yılında Morris ve Salomon bir iki koltuklu elektrikli araç üretmişlerdir. İngiltere'de 1897 yılında bir taksi şirketi 15 adet elektrikli taksiyi hizmete almıştır [21]. 1901 yılında New York'ta taksi firmaları elektrikli araçlar ile de hizmet vermişlerdir [22].

Geçmiş 1800'li yıllara dayanan EA'lar, menzil, batarya, şarj imkânları vb sorunlar yüzünden uzun süre hak ettiği ilgiyi görememişlerdir. Bu yüzden 1920-1960 yılları arasında neredeyse tüm EA üreticileri İYM'lu araç üretimi yapmışlardır. Bu dönemde EA'lara ilgi sürekli azalmıştır [5]. 20. yüzyılın ikinci yarısında başlayan küresel iklim değişikliğine duyarlılık, İYM'ların neden olduğu zararlı gaz salınımı ve hava kirliliği bazı küçük işletmeleri çevre dostu EA üretmeye yöneltmiştir [23]. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ve dünya ekonomik buhranı başta petrol fakiri Avrupa ülkeleri olmak üzere Amerika, Almanya, İtalya ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerin tekrar EA çalışmalarına başlamalarını tetiklemiştir.

Bunlardan biri Siemens firmasının Berlin'de 1982'de elektrikli trolleybüs üretimine başlamasıdır

[24]. Batarya alanında yapılan araştırmalar neticesinde kurşun-asit bataryaların geliştirilerek EA'larda kullanılması [21] bu çalışmaları yaygınlaştırmıştır. Hükümetler de 1980'li yıllardan itibaren çevre dostu EA'lara ilgi duymaya ve EA çalışmalarını resmi hükümet politikaları ile desteklemeye başlamışlardır. Günümüzde elektrikli araçlara olan talep giderek artmaktadır. Bu yüzden elektrikli araç altyapı teknolojileri de geliştirilmektedir. Teknolojik alt yapılardan bazıları batarya sistemleri, iletişim, ağ entegrasyonu ve şarj sistemleridir [25].

Elektrikli araç tasarımında İYM yerine elektrik motoru (EM) kullanılmaktadır. EM'un ihtiyaç duyduğu enerji bataryalardan sağlanmaktadır [19]. Sağlanan bu enerjiyi EM'nu harekete geçirerek aktarma organı ile tekerlere iletmekte böylece araç hareket etmektedir. Araştırmacılar birden fazla çeşit EA üzerinde çalışmaktadır. Bunlar [26];

- Elektrik bataryalı araç,
- Plug-in hibrit EA,
- Menzili genişletilmiş EA,
- Hibrit EA ve
- Yakıt hücreli EA'dır.

Yaygın olarak kullanılan bir EA modelinin kesiti aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bir elektrikli araç kesiti [27]

Günümüzde piyasalarda bulunan EA'lar ve bazıları özellikleri aşağıda Çizelge 1.'de belirtilmiştir.

**Çizelge 1.** EA'lar ve bazı özellikleri [28]

EA Modeli	Menzil (km)	Batarya kapasitesi (kWh)	Şarj süresi (%80)-Min	Verim (Wh/km)	Güç (kW)
BMW i3 94 Ah	165	27.2	26	125	165
Hyundai kona	395	64	44	162	150
Mercedes EQC 400 4MATIC	370	80	35	216	300
Renault Zoe ZE50 R135	310	52	56	168	100
Smart EQ	100	16.7	40	167	60
Toyota bZ4X	370	71.4	32	193	160
Audi e-tron 50 quattro	280	64.7	25	231	230
Volkswagen ID.4 pure performance	285	52	31	182	124
Peugeot 2008 active	245	45	26	184	136
Citroen e-C4	263	45	26	173	136

### 2.1.1. Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları

EA'lar İYM'lu araçlara göre daha verimli çalışırlar. Tek bataryadan güç alan bir EA yaklaşık %46 verim ile çalışırken İYM'lu araçlar yaklaşık %18-25'lik verim ile çalışmaktadır [21]. EA'ların fayda ve kısıtları EA çeşidi ve kullanım alanlarına göre de değişmektedir. Araştırmacıların tespit ettiği bu avantajlar ve dezavantajlar aşağıda belirtilmiştir. Bunlar [5,6,21,23,26,29-31];

#### Avantajları;

- EA'larda çevreye herhangi bir zararlı gaz salınımı olmaz.
- Hava kirliliğini azaltarak çevreci çalışmalara katkı sağlarlar.
- EA'larda kullanılan EM'leri sessiz çalışırlar.
- Gürültü kirliliğini azaltarak çevreci çalışmalara katkı sağlarlar.
- Rejenaratif frenleme sayesinde fren ömürleri daha uzundur.
- Motor ağırlıkları daha azdır.
- İYM'lu araçlara göre daha az enerji kaybı olduğu için motor verimliliği daha yüksektir.
- Araçtaki EM jeneratör gibi kullanılarak bataryalar şarj edilir.
- EA'ların yakıt ve bakım maliyetleri İYM'lu araçlara göre çok daha azdır.
- Yeni nesil teknolojiler ile fotovoltaik enerjiden istifade edilerek bataryalar şarj edilebilir.

- Taşıtın transmisyon sistemi EA'larda İYM'lu araçlara göre daha az karmaşık olduğu için az bakım gerektirir ve yağ değişikliğine ihtiyaç duymaz.
- Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkı sağlarlar.

#### Dezavantajları;

- EA'ların üretimi kullandığı yüksek teknolojiden dolayı maliyeti de yüksektir. Bu husus satış fiyatına yansımakta ve pazar payının daralmasına neden olmaktadır.
- Zararlı etkilerinin az olması ve yakıt maliyeti daha düşük olması nedeniyle İYM'lu araçlara göre daha fazla ve yaygın kullanılacak olmasının önümüzdeki yıllarda trafik ve otopark sorununun artmasına neden olması beklenmektedir.
- EA'ların kullandığı teknoloji, İYM'lu araçlardan farklı bir bakım ve onarım süreci gerektirmektedir. Araç servis istasyonlarında tüketicinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek seviyede ve yeterli miktarda eğitimli teknik personele ihtiyaç duyulacaktır.
- EA performansı henüz tam olarak kanıtlanmamıştır. Örneğin bataryası biten bir EA yolda kalmakta, en yakın şarj istasyonuna çekici ile gitmesi gerekmektedir.
- Oldukça ağır olan bataryalar taşıt menzilini sınırlamaktadır.
- Trafik kazalarında deformasyona uğrayan araçta batarya kaynaklı tehlikelerden korunmak için tedbir geliştirmeye çalışılmaktadır.

- EA'lerde batarya yerleşimi sorununu çözmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir.
- Batarya ağırlığından dolayı yolcu ve faydalı yük taşıma kapasitesi azalmaktadır.
- İYM kullanan araç depoları kısa sürede doldurulabilmesine rağmen EA bataryalarının şarj süresi uzundur. Şarj süresin kısaltılması ise batarya ömrünün kısalmasına neden olmaktadır.
- EA'ların menzili İYM'lu araçlara göre daha kısadır.
- Yeni gelişen ve gelişmekte olan bir teknoloji olması nedeniyle batarya maliyetleri yüksektir.
- Şarj sürelerinin uzundur ve şehirlerin elektrik şebekesine bindireceği yük henüz hesaplanmamıştır.
- Şarj süresini kısaltmak için geliştirilen hızlı şarj teknolojileri için altyapı yeterli değildir ve bazı tehlikeli riskleri barındırmaktadır.

## 2.1.2. Elektrikli Araç Araştırma ve Geliştirme Çalışmalarında Karşılaşılan Sorunlar

Yukarıda belirtilen avantajlar ve dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda bazı dezavantajlar EA çalışmalarında bir sorun olarak ortaya çıkmakta ve çözülmesi zaruret haline gelmektedir. Bu sorunlar dokuz ana başlık altında özetlenerek, SWARA yöntemi ile önem dereceleri bulunacaktır. Bu kapsamda; mevcut elektrikli araçların sahip olduğu dezavantajlar ve gelecekte yeni tasarlanacak elektrikli araçların artan performans ihtiyacını karşılamak için çözülmesi gereken sorunlar değerlendirilerek, aşağıdaki değerlendirme kriterleri uzmanlar tarafından belirlenmiş ve Çizelge 2'de sunulmuştur. Bu uzmanların, elektrikli araçların tasarımı, üretimi, batarya gruplarının seçimi ve çok kriterli karar verme alanlarında çalışmaları [6,11-13,39] mevcuttur.

Çizelge 2. EA çalışmalarında karşılaşılan sorunlar

S. Nu.	Sembol	Sorun	Sorunun batarya seçim kriteri ile ilişkisi
1	C <sub>1</sub>	EA üretim maliyetinin yüksekliği	Batarya maliyetinin EA maliyetini artırması
2	C <sub>2</sub>	Servis istasyonlarında yeterli seviyede eğitimli teknik personel bulunmaması	Yeni tip bataryaların EA bakım onarım süreçlerini zorlaştırması
3	C <sub>3</sub>	EA menzilin kısa olması	Batarya kapasitesinin EA menzilin sınırlaması
4	C <sub>4</sub>	Trafik kazalarında deformasyondan etkilenen batarya kaynaklı tehlikeler	Bataryadan kaynaklanan arızalar sebebiyle EA kazalarının artması
5	C <sub>5</sub>	Yolcu, yük vb. faydalı yük taşıma kapasitesinin azlığı	Batarya güç değerinin EA yük taşıma kapasitesini sınırlaması
6	C <sub>6</sub>	EA bataryalarının şarj süresinin uzunluğu	Batarya şarj süresinin EA kullanım periyodunu olumsuz etkilemesi
7	C <sub>7</sub>	Batarya şarjı için elektrik şebekesinin altyapı yetersizliği	Batarya şarj istasyonlarının eksikliğine bağlı EA'ların kullanımında sorunlar yaşanması
8	C <sub>8</sub>	Zararlı etkilerinin az olması nedeniyle daha yaygın kullanılabilir olacak olmasının gelecek yıllarda trafik ve otopark sorununu artırması	Batarya performansında kaynaklanan olası arızaların trafik akışını engellemesi ve EA'ların şehir içi kullanımının artışına bağlı otopark sorununu arttırması
9	C <sub>9</sub>	Batarya bitince aracın yolda kalması, gibi araç performansındaki bazı eksiklikler	Batarya kapasitesinin ve veriminin az olmasından kaynaklanan EA menzilin sınırlı olması

## 2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Hayatın hemen hemen her alanında kullanılan ÇKKV yöntemleri karar vericilere çok sayıda faktörü göz önünde bulundurarak değerlendirme yapma imkânı vermektedir. Bir sıralama veya ağırlıklandırma yapılması gereken hemen hemen her alanda ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada uygulanması kolay, basit ve anlaşılır olması nedeniyle tercih edilen SWARA ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

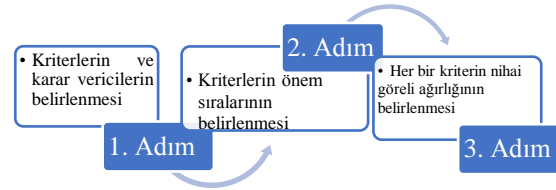
### 2.2.1. SWARA (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) Yöntemi

Karar problemlerinde subjektif kriterlerin ağırlıklandırmasını yapabilmek için kısıtlı sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri de SWARA yöntemidir. Bu nedenle tercih edilen SWARA yöntemi, 2010 yılında Kersulene ve arkadaşları tarafından, uzmanların bilgi, tecrübe ve görüşüne dayalı değerlendirmelerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir [32,33]. SWARA, çeşitli kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan bir ÇKKV yaklaşımıdır. SWARA, karar vericilerin göstergeleri seçmesini, değerlendirmesini ve ağırlıklandırılmasını sağlar. Ağırlıklandırma süreci boyunca göstergeleri tartarken karar vericilerin doğruluğunu değerlendirme kapasitesi, SWARA'nın diğer tekniklere göre en önemli faydasıdır [34]. Yöntem takım çalışmasına imkân vermesi, uygulaması basit, kolay ve anlaşılır olması nedeniyle tercih edilmektedir [35]. Uzman görüşlerini önem vererek etkili bir şekilde kullanılmasını sağladığı için literatürde uzman odaklı bir yaklaşım olarak bilinmekte ve kullanılması tavsiye edilmektedir [17,36].

SWARA yöntemi, diğer yaygın kullanılan yöntem olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine göre daha az karşılaştırma yapmaya imkân verdiği [37] için çok daha fazla kriterli problemlerde kolaylıkla kullanılabilir. AHP yönteminde Saaty [38] tarafından önerilen 1-9 ölçeği kullanılırken SWARA yönteminde karar vericiler fikirlerini ifade etmede daha fazla özgürlüğe sahiptir [39].

Bu durum karar vericilerin AHP ve BWM (İyi-Kötü Yöntemi) yöntemine göre daha rahat değerlendirme yapmalarına imkân vermektedir [34,40]. SWARA yöntemi üç adımdan oluşan bir uygulama sürecine sahiptir [41]. Bu yöntemin karar verme sürecinde sağladığı katkılardan biri de, bazı problemlerde işletme, kurum, kuruluş veya hükümetlerin politikalarına göre sıralama yapılabilmesine imkân vermesidir. Yani uzmanların bilgi ve tecrübe sahibi oldukları durumlar ile önceliklerin bilindiği problemlerde SWARA yönteminin kullanılması önerilmektedir [41,42].

Bu çalışmada EA çalışmalarında karşılaşılan sorunların ve devamında batarya seçim çalışmalarında batarya özelliklerinin önem derecelerinin belirlenmesi için kullanılacak olan SWARA yönteminin adımları aşağıda Şekil 3'te açıklanmıştır.



Şekil 3. SWARA yönteminin aşamaları

**Adım 1: Kriterler ve Karar Vericilerin Belirlenmesi;** İlk aşamada karar probleminde yer alan faktörler ve bu faktörleri değerlendirecek olan karar vericiler tespit edilir. Karar probleminde  $n$  adet kriter ( $C_n, n=1,2, \dots, n$ ) ve karar takımında  $m$  adet karar verici ( $K_m, m=1,2, \dots, m$ ) bulunur.

**Adım 2: Kriterlerin Önem Sırasının Belirlenmesi;** Bu yöntemde uzmanlar her bir kriterinin önemini kendine göre belirledikten sonra kriterleri en önemliden en önemsiz doğru sıralarlar [30]. Bir önceki aşamada sıralanmış olan kriterler,  $j$ . kriterin ( $j+1$ ) kritere göre hangi miktarda önemli olduğu belirleyerek kriterlerin göreceli önem dereceleri tespit edilir. Bu değer " $s_j$ " olarak ifade edilir.

Karar vericiler bu değerlendirmede en önemli faktöre 1,00 tam puan verirler. Diğer faktörlere ise 0 ile 1 arasında 5'in katları ile ifade edilen değerleri verirler. Sonra sırasıyla " $k_j$ " ve " $q_j$ " katsayıları belirlendikten sonra her bir kriter için her bir karar vericinin belirlediği önem dereceleri " $w_j$ " hesaplanır.

Her bir uzman " $k_j$ " katsayıları her bir kriter için ayrı ayrı (1) numaralı formül ile belirler.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Her bir uzmanın her bir kriter için formül (2) ile belirlediği ağırlıklar " $q_j$ " ile gösterilir.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{s_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Her bir uzman her bir kriterinin göreceli ağırlığını " $w_j$ " (3) numaralı formül ile hesaplar.

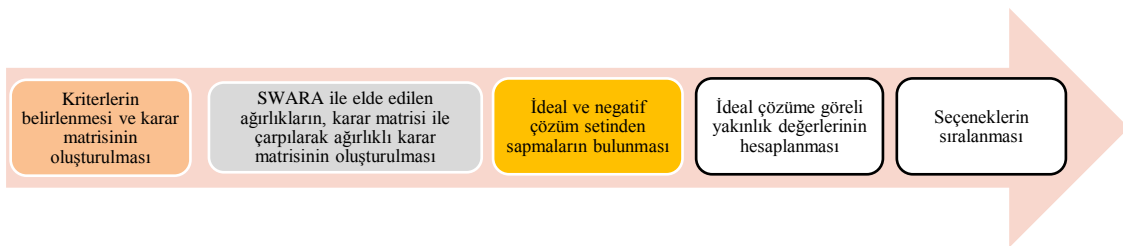
$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (3)$$

**Adım 3: Her Bir Kriterin Nihai Göreceli Ağırlıklarının Belirlenmesi;** Birden fazla uzman ile yapılan hesaplamalarda uzmanların yaptığı

değerlendirmeler sonucu elde edilen göreceli ağırlıklar " $w_j$ " değerlerinin geometrik ortalaması alındıktan sonra nihai sonuç elde edilir [42].

### 2.2.2. TOPSIS (İdeal Çözüm Benzerliğe Göre Tercih Sıralama) Yöntemi

TOPSIS tekniği çok kriterli sorunların çözümünde, mevcut seçenekleri belirlenen faktörlere göre sıralamak için Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Bu teknikte faktörler ideal çözüme olan pozitif ve negatif uzaklıklarına göre değerlendirilerek alternatifler sıralanır ve en iyi çözüm ortaya konur [43]. Tesis yeri seçimi, yatırım değerlendirme, tedarikçi seçimi, araç tercihi, silah ve teçhizat seçimi, hedef belirleme gibi hayatın çok değişik alanlarında seçeneklerin belirlenen faktörlere göre değerlendirilmesinde karar vericilere yardımcı olan ÇKKV tekniklerinden biridir [44]. Bu tekniğin temelinde en iyi değerlere sahip ideal çözüme en çok yakın olan seçeneği belirlemek bulunmaktadır. Aynı zamanda istemediğimiz negatif çözüme veya sonuçlara en uzak olan seçenek de belirlenmektedir. TOPSIS hayatın hemen her alanında karşılaşılan gerçek dünya problemlerinde karar vericiye kolaylık sağladığı için akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır [11,13]. TOPSIS aşağıda Şekil 4'de belirtilen sıraya göre uygulanır.



Şekil 4. TOPSIS yönteminin aşamaları

**Adım 1. Kriterlerin tanımlanması ve karar matrisinin oluşturulması;** Oluşturulan karar matrisinde, seçenekler satırlara bu seçeneklerin değerlendirileceği faktörler de sütunlara yazılarak D karar matrisi (4) oluşturulur.

$$D_j = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$



(5) numaralı formül kullanılarak standart karar matrisi R oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5)$$

#### Adım 2. Ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması;

Daha önce SWARA yöntemi ile belirleyeceğimiz ağırlık değerleri ( $w_i$ ) kullanılır. R matrisinin sütunlarında bulunan değerler, o sütundaki  $w_i$  değeri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi V oluşturulur. V matrisindeki değerlerden (6) numaralı formül ile ideal çözüm seti elde edilir.

$$S^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (6)$$

Benzer şekilde V matrisindeki değerlerden (7) numaralı formül ile negatif ideal çözüm seti elde edilir.

$$S^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (7)$$

**Adım 3. İdeal ve negatif çözüm setinden sapmaların bulunması;** Yukarıda formüllerde belirtilen  $J$  fayda (maksimizasyon) değeri,  $J'$  ise kayıp (minimizasyon) değeridir. TOPSIS yönteminde Euclidian Uzaklık Yaklaşımı kullanılarak formül (8) ile ideal ve formül (9) ile negatif ideal çözüm setinden sapmalar yani ayırım ölçümleri bulunur.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

**Adım 4. İdeal çözüme görelî yakınlık değerlerinin hesaplanması;** Karar alternatifleri ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılarak sıralanır. İdeal çözüme görelî yakınlık değerleri formül (10) ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (10)$$

#### Adım 5. İdeal çözüme yakınlık değerleri ile

**seçeneklerin sıralanması;** Burada  $C_i^*$  0 ile 1 arasında bir değer alır.  $C_i^* = 1$  olması karar noktasının ideal çözüme,  $C_i^* = 0$  olması ise karar noktasının negatif ideal çözüme yakınlığını gösterir [43]. Seçenekler aldıkları değerlere göre sıralanarak en uygun tercih yapılır.

### 3. EA ÇALIŞMALARINDA ÇKKV YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Bu çalışmada EA çalışmada karşılaşılan sorunların SWARA yöntemi ile önem dereceleri bulunarak en önemli sorun ortaya konacaktır. Daha sonra en önemli sorunun çözümüne yönelik araştırmaların incelenmesi sonucu elde edilen veriler tekrar ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS ile tümleşik olarak değerlendirilecek ve bir yol haritası çıkarılacaktır.

#### 3.1. Elektrikli Araç Çalışmalarında Karşılaşılan Sorunların SWARA Yöntemi ile Önem Derecelerinin Bulunması

EA'ların avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak belirtilen sorunlar Çizelge 1'de ortaya konmuştur. Bu sorunlar konusunda uzman üç karar verici [6,11-13,39] tarafından SWARA yöntemi ile değerlendirilmiş olup, karar vericilerin yaptığı sıralama aşağıda Çizelge 3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.** Uzmanların EA çalışmalarında karşılaşılan sorunları değerlendirmesi

K.V.	Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KV <sub>1</sub>	Kriter	C <sub>9</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>8</sub>
	$s_j$	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
KV <sub>2</sub>	Kriter	C <sub>3</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>8</sub>
	$s_j$	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
KV <sub>3</sub>	Kriter	C <sub>9</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>8</sub>
	$s_j$	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6

Her bir uzman sorunların göreceli önem derecelerini belirledikten sonra formül (1)-(3)'ten yararlanılarak diğer hesaplamalar yapılmıştır. 1'nci

uzmanın (KV1) yaptığı örnek hesaplama sonuçları Çizelge 4'de gösterilmiştir. Çizelgelerde virgülden sonra sadece ilk iki rakam gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** SWARA ile KV<sub>1</sub>'in değerlendirilmesi

K.V.	Önem sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KV <sub>1</sub>	Sorun	C <sub>9</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>8</sub>
	s <sub>i</sub>	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	k <sub>i</sub>	1	1,95	1,9	1,85	1,8	1,7	1,65	1,6	1,5
	q <sub>i</sub>	1,00	0,51	0,27	0,15	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01
	w <sub>i</sub>	0,47	0,24	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01

KV<sub>1</sub> için Çizelge 4'te yapılan örnek hesaplamalar her bir uzman görüşü için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen "w<sub>j</sub>" değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak nihai ağırlıklar elde edilmiştir. Daha sonra kriterler bu ağırlıklarına göre önem derecesi en büyükten en küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu ağırlıklar sıralamadan önceki hali ile her bir kriter ve her bir uzman karar verici (KV<sub>j</sub>) için Çizelge 5'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.** Uzmanlara göre EA sorunlarının önem dereceleri

Sorun	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>
C <sub>1</sub>	0,068937	0,127913	0,127913
C <sub>2</sub>	0,008534	0,012912	0,069142
C <sub>3</sub>	0,127534	0,473919	0,243035
C <sub>4</sub>	0,022528	0,021950	0,021950
C <sub>5</sub>	0,038298	0,038412	0,007825
C <sub>6</sub>	0,242314	0,243035	0,012912
C <sub>7</sub>	0,013654	0,069142	0,038412
C <sub>8</sub>	0,005689	0,004891	0,004891
C <sub>9</sub>	0,472512	0,007825	0,473919

Müteakiben elde edilen, sorunların nihai önem derecelerinin sıralaması Çizelge 6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 6.** EA sorunlarının birleştirilmiş önem derecelerine göre nihai sıralaması

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sorun	C <sub>9</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>8</sub>
Önem dereceleri (w <sub>j</sub> )	0,318085	0,281496	0,166087	0,108255	0,040403	0,030196	0,028179	0,022143	0,005157

Kriterlerin SWARA yöntemi ile elde edilen önem dereceleri Çizelge 6'da gösterilmiştir. SWARA ile yapılan değerlendirme sonucunda;

- EA üretim maliyetinin yüksekliği: %11 önem derecesinde,
- Servis istasyonlarında yeterli seviyede eğitilmiş teknik personel bulunmaması: %3 önem derecesinde,
- EA menziline kısa olması: %28 önem derecesinde,
- Trafik kazalarında deformasyondan etkilenen batarya kaynaklı tehlikeler: %2 önem derecesinde,
- Yolcu, yük vb. faydalı yük taşıma kapasitesinin azlığı: %2,5 önem derecesinde,
- EA bataryalarının şarj süresinin uzunluğu: %17 önem derecesinde,
- Batarya şarjı için elektrik şebekesinin altyapı yetersizliği: %4 önem derecesinde,
- Zararlı etkilerinin az olması nedeniyle daha yaygın kullanılabilir olmasının gelecek yıllarda trafik ve otopark sorununu artırması: %0,5 önem derecesinde,
- Batarya bitince aracın yolda kalması, gibi araç performansındaki bazı eksiklikler: %32 önem derecesinde sonucu belirlediği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre; toplamda %77 önem derecesi ile C<sub>9</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>6</sub> olarak belirtilen üç sorunun da bataryalardan kaynaklandığı görülmektedir. Bu

yüzden öncelikle batarya kaynaklı sorunlar üzerine durulması önerilmektedir.

### 3.2. Elektrikli Araç Bataryaları

Literatürde EA bataryaları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca EA üreticileri de batarya sorunu üzerine durarak değişik batarya çeşitlerini geliştirmektedirler. Bu batarya çeşitlerinden biri de Li-ion bataryalardır. Li-ion bataryaların kullanılmama sebepleri enerji verimliliği, daha uzun kullanım ömrü ve diğer bataryalara göre daha hızlı şarj olabilmeleri olarak sıralanabilir.

Elektrikli araç üreticileri bataryayı seçerken bazı performans kriterlerini (Özgül enerji yoğunluğu, Özgül güç, güvenilirlik, Güvenlik ve maliyet olarak) göz önünde bulundurmaktadırlar [46]. Literatürde Li-ion batarya çalışmalarını; Lityum Kobalt Oksit, Lityum Manganez Oksit, Lityum Demir Fosfat, Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit, Lityum Titanat olmak üzere 5 çeşit üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür [47]. Bu bataryalar sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

**Lityum Kobalt Oksit (LiCoO<sub>2</sub>) Bataryalar;** İlk olarak 1991 yılında Sony tarafından geliştirilen lityum kobalt oksit pil, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür döngüsü ve kolaylığı nedeniyle çoğu kişisel elektronik cihaz için tercih edilen pil olmuştur. Katot elektrotu LiCoO<sub>2</sub> iken anot elektrotu grafitir. Bu pilde kullanılan katot malzemesi sıcaklığa karşı reaktiftir ve bu nedenle çalışma sırasında güvenli olmayan koşullara yol açabilecek şekilde termal olarak kararsız hale gelirler. Kobaltın sınırlı mevcudiyeti, EA'larda kullanım için uygun bir seçenek olmayı daha pahalı ve zor hale getirir. LCO'nin özgül enerji yoğunluğu, diğer pillere kıyasla mükemmeldir. Bu özellik, orta yük altında uzun süre en iyi şekilde çalışmasını sağlar [46,47].

**Lityum Manganez Oksit (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) Bataryalar;** Lityum manganez oksit piller (LMO) ilk olarak 1980'lerin başında piyasaya sürülmüştür. Ancak ticarileştirilmesi yaklaşık 15 yıl sürmüştür. Lityum kobalt oksit pilden daha iyi termal kararlılık sağlar, ancak yaklaşık %33 daha düşük kapasite ve daha düşük bir kullanım ömrü vardır. Lityum-

Manganez Oksit ve grafit sırasıyla katot ve anot için malzeme olarak kullanılır. Ayrıca kullanım için güvenlidir ve en ucuzudur. Ancak, Li-manganez, LCO'ya kıyasla orta düzeyde özgül enerji yoğunluğuna ve daha kısa ömre sahiptir [46,47].

**Lityum Demir Fosfat (LFP) Bataryalar;** yüksek akım derecesi ve uzun çevrim ömrünün yanı sıra düşük dirençli iyi elektrokimyasal performans sunar. Fosfat, yüksek aşırı şarj sıcaklığında fiziksel ve kimyasal özellikleri koruyarak kararlılığı artırır. Katot malzemesi olarak Lityum Demir Fosfat ve anot elektrotu olarak grafit kullanılır. İyi güç-ağırlık oranı, yüksek güvenlik özellikleri LFP pilleri daha popüler hale getirmiştir. Bu pillerin sınırlamaları, orta düzeyde özgül enerji yoğunluğu ve yüksek kendi kendine deşarj olmalarıdır [46,47].

**Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (LNMC0) Bataryalar;** Nikel, yüksek özgül enerjisi, ancak zayıf stabilitesi ile bilinir. Manganez, düşük iç direnç elde etmek için bir spinel yapı oluşturma avantajına sahiptir. Nikel ve manganezin birleştirilmesi birbirinin gücünü artırarak NMC'yi en başarılı Li-ion sistemi ve EA güç aktarma organları için uygun hale getirir. Bu piller, yüksek özgül enerji ve mükemmel termal özelliklerinden dolayı şu anda yüksek talep görmektedir [46,47].

**Lityum Titanat Bataryalar;** Lityum-Titanat Pil (LTO) adı, anot için kullanılan malzemenin adından türetilmiştir, diğer piller ise katot malzemesinin adını almıştır. Li-titanat nanokristaller, 20 kat daha az anot yüzey alanı veren grafitte kıyasla anotta daha fazla yüzey alanı sağlar. Bu, elektronların hızlı bir şekilde içeri ve dışarı akmasına izin verir ve böylece hızlı yeniden şarj olmasını sağlar. Bu pil malzemesinin düşük elektronik iletkenliği, yüksek güç seviyelerinde düşük performansla neden olabilir [47].

Araştırmacıların daha çok EA'larda kullanım bataryaların bazı teknik özellikleri üzerine durdukları görülmektedir. Bu çalışmada ise EA bataryalarında tespit edilen dezavantajlarının neden olduğu sorunlar birbirleri ile karşılaştırılıp önem değerleri tespit edilerek, önceliklerine göre alınacak tedbirlerin belirlenmesi gerektiği üzerine

durulmuştur. Bu hesaplamalarda araştırmacılara bilimsel destek sağlanması amacıyla ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS yöntemi tümleşik olarak kullanılmıştır.

### 3.3. SWARA-TOPSIS Yöntemlerinin Tümleşik Kullanımı ile En Uygun EA Batarya Çeşidinin Belirlenmesi

Yukarıda belirtilen batarya çeşitlerinin değişik özellikleri bulunmaktadır. Belirli konularda avantajları dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle araştırmacıların batarya çalışmalarında göz önünde bulundurduğu beş temel özelliğe göre değerlendirme yapılacaktır. Bu özellikler aşağıda Çizelge 7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 7.** Batarya özellikleri

S. Nu.	Sembol	Özellik
1	$\hat{O}_1$	Özgül güç
2	$\hat{O}_2$	Özgül enerji yoğunluğu
3	$\hat{O}_3$	Güvenilirlik
4	$\hat{O}_4$	Güvenlik
5	$\hat{O}_5$	Fiyat

Bu özelliklerin SWARA yöntemi ile değerlendirmesi Çizelge 8’de gösterilmiştir.

**Çizelge 8.** Uzmanların batarya özelliklerini değerlendirmesi

Uzman	Sıra	1	2	3	4	5
KV <sub>1</sub>	Kriter	$\hat{O}_1$	$\hat{O}_2$	$\hat{O}_3$	$\hat{O}_5$	$\hat{O}_4$
	$s_j$	-	0,95	0,9	0,85	0,8
KV <sub>2</sub>	Kriter	$\hat{O}_2$	$\hat{O}_1$	$\hat{O}_4$	$\hat{O}_5$	$\hat{O}_6$
	$s_j$	-	0,95	0,9	0,85	0,8
KV <sub>3</sub>	Kriter	$\hat{O}_5$	$\hat{O}_2$	$\hat{O}_4$	$\hat{O}_5$	$\hat{O}_6$
	$s_j$	-	0,95	0,9	0,85	0,8

Her bir uzman sorunların göreceli önem derecelerini belirledikten sonra formül (1)-(3)’ten yararlanılarak diğer hesaplamalar yapılmıştır. 1’nci uzmanın (KV<sub>1</sub>) yaptığı örnek hesaplama sonuçları Çizelge 9’da gösterilmiştir. Çizelgelerde virgülden sonra sadece ilk iki rakam gösterilmiştir.

**Çizelge 9.** SWARA ile KV<sub>1</sub>’nin değerlendirilmesi

Uzman	Sıra	1	2	3	4	5
KV <sub>1</sub>	Kriter	$\hat{O}_9$	$\hat{O}_6$	$\hat{O}_3$	$\hat{O}_1$	$\hat{O}_5$
	$s_j$	-	0,95	0,90	0,85	0,80
	$k_j$	1,00	1,95	1,90	1,85	1,80
	$q_j$	1,00	0,51	0,27	0,15	0,08
	$w_j$	0,50	0,26	0,13	0,07	0,04

KV<sub>1</sub> için Çizelge 9’da yapılan örnek hesaplamalar her bir uzman görüşü için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen “w<sub>j</sub>” değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak nihai ağırlıklar elde edilmiştir. Daha sonra kriterler bu ağırlıklarına göre önem derecesi en büyükten en küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu ağırlıklar sıralamadan önceki hali ile her bir kriter ve her bir uzman karar verici (KV<sub>j</sub>) için Çizelge 10’da gösterilmiştir.

**Çizelge 10.** Karar vericilere göre batarya özelliklerinin önem dereceleri

Kriter	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>
$\hat{O}_1$	0,497593	0,255176	0,072596
$\hat{O}_2$	0,255176	0,497593	0,255176
$\hat{O}_3$	0,134303	0,040331	0,497593
$\hat{O}_4$	0,040331	0,134303	0,134303
$\hat{O}_5$	0,072596	0,072596	0,040331

Müteakiben yapılan kriterlerin nihai önem derecelerinin sıralaması Çizelge 11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 11.** Batarya özelliklerinin birleştirilmiş önem derecelerine göre nihai sıralaması

Sıralama	1	2	3	4	5
Kriterler	$\hat{O}_1$	$\hat{O}_2$	$\hat{O}_3$	$\hat{O}_4$	$\hat{O}_5$
Önem dereceleri (w <sub>j</sub> )	0,336	0,2751	0,2241	0,103	0,0618

Çizelge 11’e göre bataryaların özgül güç ve özgül enerji yoğunlukları en önemli özellik olarak ortaya çıkmıştır. Hesaplamalar Microsoft Excel yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu ağırlıklar kullanılarak yukarıda belirtilen 5 batarya çeşidi TOPSIS metodu ile sıralanacak ve istenilen özellikleri en çok karşılayan batarya seçilmiş olacaktır. İlk aşamada 1-5 ölçeği kullanılarak oluşturulan D karar matrisi aşağıda Çizelge 12’de gösterilmiştir.

**Çizelge 12.** D karar matrisi

Batarya çeşidi	$\hat{O}_1$	$\hat{O}_2$	$\hat{O}_3$	$\hat{O}_4$	$\hat{O}_5$
LCO	5	3	3	3	2
LNMCO	5	4	4	4	2
LMO	4	4	4	3	4
LFP	3	5	5	5	4
LTO	3	4	5	5	5

Daha sonra formül (4) kullanılarak karar matrisi normalize edilmiştir. Normalize edilmiş matrisinin

sütun değerleri SAWARA ile elde edilmiş wi değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmiştir. (5) ve (6) numaralı formüller kullanılarak pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri bulunmuştur. (7) ve (8) numaralı formüller kullanılarak pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklık değerleri elde edilmiştir. (9) numaralı formül ile elde edilmiş olan pozitif “ $S_i^+$ ” ve negatif ideal “ $S_i^-$ ” değerler kullanılarak ulaşılan nihai sonuç “ $C_i^*$ ” Çizelge 13’de gösterilmiştir.

**Çizelge 13.** Nihai sonuç çizelgesi

Batarya çeşidi	$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i^*$
LCO	0,0833	0,0733	0,4682
LNMC0	0,0462	0,0835	0,6441
LMO	0,0582	0,0553	0,4872
LFP	0,0737	0,0815	0,5250
LTO	0,2093	0,2128	0,5041

Sıralamada en yüksek değere LNMC0 cinsi batarya ulaşırken, en düşük değeri LCO cinsi batarya almıştır. Hesaplamalar Microsoft Excel yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

EA çalışmalarında karşılaşılan sorunlar arasında ilk üç önem sırasında batarya kaynaklı sorunlar olması batarya geliştirme çalışmalarını ön plana çıkarmaktadır. Tüm dünyada daha verimli EM ve EA bataryalarının geliştirilebilmesi için yapılan yoğun çalışmalardaki en belirgin amacın bataryaların enerji yoğunluğunu artırarak araç menziline de artırmak olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada da batarya özelliklerinden özgül güç ve özgül enerji yoğunlukları en önemli iki özellik olarak tespit edilmiştir. Literatürde araştırmacıların yoğunlaştığı Li-ion bataryalar hakkında pek çok çalışma olmasına rağmen ÇKKV metotlarından SWARA ve TOPSIS metodunun tümleşik kullanıldığı başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile literatüre katkıda bulunulması planlanmıştır.

Elde edilmiş olan sonuçlara göre;

- Önem dereceleri değerlendirildiğinde; %32 önem derecesi ile “Batarya bitince aracın yolda kalması”, %28 önem derecesi ile “EA menziline kısa olması” ve %17 önem derecesi ile “EA bataryalarının şarj süresi uzunluğu/zaman kaybı” olarak sıralanmıştır. Bu üç sorunun toplam ağırlıkların yaklaşık %77’sini oluşturduğu görülmektedir.
- Bu yüzden EA bataryalarının özellikleri araştırılarak, bu özellikler TOPSIS metodu ile sıralanmıştır.
- LNMC0 olarak belirtilmiş olan Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit bataryalar en yüksek sıralamaya sahip olmuş ve değerlendirilen kriterler içinde makul fiyatlı, güvenilir, emniyetli, özgül enerji yoğunluğu yüksek batarya olarak gözlemlenmiştir.

Gelecekte EA araç bataryaları ile ilgili çalışmalarda meydana gelen gelişmeler göz önünde bulundurularak, batarya özellikleri veya kriterlerinin sayısı artırılarak, bu çalışma tekrarlanabilir. Ayrıca, ÇKKV yöntemleri kullanılarak EA’ların diğer alt sistemleri ile ilgili benzer çalışmalar yapılabilir veya aynı çalışma farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılabileceği değerlendirilmiştir.

#### 5. KISALTMALAR

Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
İYM	: İçten Yanmalı Motorlar
EA	: Elektrikli Araç
Li-ion	: Lityum-iyon
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
SWARA	: Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama
EM	: Elektrik Motoru
LNMC0	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
LiCoO <sub>2</sub>	: Lityum Kobalt Oksit
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	: Lityum Manganez Oksit
LFP	: Lityum Demir Fosfat
LNMC0	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
LTO	: Lityum Titanat

## 6. KAYNAKLAR

1. Xu, F., Yu, G.Q., 2009. Tentative Analysis of Layout of Electric Vehicle Charging Stations, East of China Electric Power, 10, 1678-1682.
2. Yıldız, B., Çiftçi, H., Ayan, O., Türkay, B.E., 2018. Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. Güç Sistemleri Konferansı, 16-18 Kasım, Ankara.
3. Nişancı, D.Ş., Kurtuluş, E., 2022. Elektrikli Araçların Batarya Kutularında Tasarımın Yapıştırma Uygulamasına Etkisi. 2<sup>nd</sup> International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies (ICENSS-2022), Mayıs 07-09, Ankara.
4. Hisarcıkhoğlu, R., 2022. TOBB Başkanı Hisarcıkhoğlu yanıtladı: Togg Ne Zaman Trafığe Çıkacak, <https://www.ntv.com.tr/otomobil>, ERT: 25 Ağustos 2022.
5. Kerem, A., 2014. Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1-13.
6. Kilic, M., 2002. Esas Tahrik Unsuru Yakıt Pili Olan Elektrikli Araç Uygulaması ve Konfigürasyonu (Kılıç-1 Projesi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Müh. ABD Y. Lisans Tezi, İstanbul, 110.
7. Adedeji, B.P., 2022. A Novel Method for Estimating Parameters of Battery Electric Vehicles. Intelligent Systems with Applications, 15:200089.
8. Hamurcu, M., Çakır, E., Eren, T., 2021. Kullanıcı Perspektifli Çok Kriterli Karar Verme ile Elektrikli Araçlarda Batarya Seçimi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 13(2), 733-749.
9. Boyalı, A., 2010. Hibrid Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kural Tabanlı Kontrolü. İTÜ dergisi/d Mühendislik, 9(2), 83-94.
10. Gök Kısa, A.C., Ayçin, E., 2019. Evaluation of the Logistics Performance of OECD Countries with EDAS Method Based on SWARA. Çankırı Karatekin Üniversitesi, İİBF Dergisi, 9(1), 301-325.
11. Abdulvahitoğlu, A., Macit, İ., Koyuncu, M., 2021. Jandarma Karakolu Kuruluş Yerinin AHP-TOPSIS Tabanlı Bir Matematiksel Model ile Seçimi ve CAS/CBS ile Analizi; Bir İlimizde Uygulama. Güvenlik Bilimleri Dergisi, 10(2), 305-338.
12. Abdulvahitoglu, A., 2019. Using Analytic Hierarchy Process for Evaluating Different Types of Nanofluids for Engine Cooling Systems. Thermal Science 23 (5 Part B), 3199-3208
13. Abdulvahitoglu, A., Kılıç, M., 2022. A New Approach for Selecting the Most Suitable Oilseed for Biodiesel Production; The Integrated AHP-TOPSIS Method Ain Shams Engineering Journal, 13, 101604.
14. Juodagalvienė, B., Turskis, Z., Šaparauskas, J., Endriukaiytė, A., 2017. Integrated Multi-Criteria Evaluation of House's Plan Shape Based on the EDAS and SWARA Methods. Engineering Structures and Technologies, 9(3), 117-125.
15. Keršulienė, V., Turskis, Z., 2011. Integrated Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Model for Architect Selection. Technological and Economic Development of Economy, 17(4), 645-666.
16. Karabašević, D., Stanujkić, D., Urošević, S., Maksimović, M., 2016. An Approach to Personnel Selection Based on SWARA and WASPAS Methods. Journal of Economics, Management and Informatics, 7(1), 1-11.
17. Zavadskas, E.D., Cereska, A., Matijosius, J., Rimkus, A., Bausys, R., 2019. Internal Combustion Engine Analysis of Energy Ecological Parameters by Neutrosophic MULTIMOORA and SWARA Methods. Energies, 12, 1-26. doi:10.3390/en12081415.
18. Yücenur, G.N., İpekçi, A., 2021. SWARA/WASPAS Methods for a Marine Current Energy Plant Location Selection Problem. Renewable Energy, 163, 1287-1298.
19. Sayın, A.A., Yüksel, İ., 2011. Elektrikli Renault Fluence Aracı, Lityum-İyon Bataryasının Modellenmesi ve Batarya Yönetimi. Mühendis ve Makine, 52(616), 75-82.
20. Chan, C.C., 2013. The Rise and Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned. Proceedings of the IEEE, 101(1), 206 – 212.
21. Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F.,

- Tırıs, M., 2003. Elektrikli Araçlar. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.
22. Larminie, J., Lowry, J., 2003. Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley and Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
23. Leitman, S., Brant, B., 2008. Build Your Own Electric Vehicle, The McGraw-Hill Companies Second Edition, USA.
24. Singh, M., 2013. Green Energy for Metropolitan Transport. International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE), 4(1), 338-342.
25. Cuma, M.U., Cengiz, A.H., Tümay, M., 2016. Simulation of Urban Electric Vehicle Transport and Charging Station Implementation at Çukurova University. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 343-354.
26. Öztürk, T., 2013. Asenkron Motor ile Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, 97.
27. UKIP, 2014. Electric and Hybrid Vehicle Technology International, January 2014, Surrey, UK, 40.
28. Web: <https://ev-database.org/car> Erişim Tarihi: 22 Kasım 2022.
29. EEA Report, 2018. Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives, TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism Report, European Environment Agency, Rapor No: 13.
30. Ertaç, Y., 2008. Elektrikli Araçların Tasarımı ve Simülasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 150.
31. Akyüz, E., 2021. Kentsel Ulaşım: Elektrikli Araçların Artıları ve Eksileri Hagia Sophia 3. International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies, Full Texts Book, 15-16 Eylül, İstanbul, 685-696.
32. Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). Journal of Business Economics and Management, 11(2), 243-258.
33. Maghsoodi, A.I., Maghsoodi, A.I., Mosavi, A., Rabczuk, T., Zavadskas, E.K., 2018. Renewable Energy Technology Selection Problem Using Integrated H-SWARA-MULTIMOORA Approach. Sustainability, 10, 4481. doi:10.3390/su10124481.
34. Xuan, H.A., Trinh, V.V., Techato, K., Phoungthong, K., 2022. Use of Hybrid MCDM Methods for Site Location of Solar-Powered Hydrogen Production Plants in Uzbekistan. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 52, 101979. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.101979>.
35. Özbek, A., Demirkol, İ., 2018. Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin SWARA ve GIA Yöntemleri ile Analizi. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8(1), 71-86.
36. Adalı, E.A., Işık, A.T., 2017. The Decision Making Approach Based on SWARA and WASPAS Methods for the Supplier Selection Problem. International Review of Economics and Management, 5(4), 56-77.
37. Mostafaeipour, A., Jahangiri, M., Haghani, A., Dehshiri, S.J.H., Dehshiri, S.S.H., Issakhov, A., Sedaghat, A., Saghaei, H., E.T., Akinlabi, Sichilalu, S.M., Chowdhury, S., Techato, K., 2020. Statistical Evaluation of Using The New Generation of Wind Turbines in South Africa. Energy Reports 6:2816–27.
38. Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, US, 19-22.
39. Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A., 2022. İHA Kullanım Sorunlarının SWARA Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. 2<sup>nd</sup> International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences/(10.05.2022-13.05.2022)
40. Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E.K., 2015. A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method. Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 26(2), 181-187.
41. Salamai, A.A., 2021. An Integrated Neutrosophic SWARA and VIKOR Method for Ranking Risks of Green Supply Chain. Neutrosophic Sets and Systems, 41, 113-126
42. Zolfani, S.H., Saparauskas, J., 2013. New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy

- System. Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 24(5), 408-414.
43. Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag, Berlin, 58-191.
  44. Chen, S., Hwang, C., 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.
  45. Özcan, E.C., Ünlüsoy, S., Eren, T., 2017. AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 5(2), 204-219.
  46. Miao, Y., Hynan, P.K., von Jouanne, A., Yokochi, A., 2019. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. Energies, 12, 1074; doi:10.3390/en12061074
  47. Loganathan, M.K, Mishra, B., Tan, C.M., Kongsvik, T., Rai, R.N., 2021. Multicriteria Decision Making (MCDM for Selection of Li-ion Batteries Used in Electric Vehicles (EVs) Materials Today Proceedings 41, 1073-1077.