

Ticari Araç Filoları için Sürdürülebilirlik Odaklı Elektrikli Araç Batarya Seçimi: Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Bir Değerlendirme

İrem DÜZDAR¹, Eylül ASLAN^{2*}

¹ Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

¹ iremduzdar@gmail.com, ² eylulaslan045@gmail.com

(Geliş/Received: 08/02/2025;

Kabul/Accepted: 02/07/2025)

Öz: Ticari araç filosu, bir şirketin ulaşım veya taşımacılık için kullandığı tüm araçları ifade eder ve belediyeler, lojistik şirketleri, toplu taşıma sistemleri gibi merkezi sistemlerden oluşur. İklim değişikliğiyle ilgili çevresel endişeler arttıkça, sera gazı emisyonlarının başlıca nedenlerinden biri ulaşım sektörüdür. Elektrikli otomobil teknolojisi, ticari alanda daha geniş kullanımına olanak sağlayacak şekilde ilerleme kaydetmiştir. Elektrikli araç bataryaları bu bağlamda önemli bir yere sahiptir. Sıkı çevre düzenlemeleri, elektrikli araç üreticilerini kapalı devre geri dönüşümüne yönlendirmiştir. Bu filolarda elektrikli araçların batarya seçimi, filonun operasyonel verimliliği ve çevresel etkileri doğrudan etkiler. Çalışma, batarya seçiminde performans, ekonomi ve çevresel sürdürülebilirlik etkilerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), MOORA ve COPRAS yöntemleriyle, farklı batarya alternatifleri değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. AHP ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, MOORA ve COPRAS ile batarya alternatifleri sıralanmıştır. Sonuçlar, Li-Ion bataryanın en iyi alternatif olduğunu gösterirken, Na-NiCl₂ bataryası ikinci, Pb-Asit bataryası ise en kötü alternatif olarak belirlenmiştir. Duyarlılık analiziyle yapılan analizler, sıralamaların büyük ölçüde sabit kaldığını ve modelin güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Elektrikli araç bataryalarının seçimi, ticari araç filolarının enerji verimliliğini artırırken, çevresel etkilerin azaltılmasına ve ekonomik faydalar sağlamaya katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Batarya seçimi, elektrikli araç, sürdürülebilirlik, Copras, Moora.

Sustainability-Oriented Electric Vehicle Battery Selection for Commercial Fleets: An Evaluation Using a Multi-Criteria Decision-Making Approach

Abstract: A commercial vehicle fleet consists of all vehicles used by a company for transportation or logistics, including centrally managed systems such as municipalities, logistics companies, public transportation, and large-scale distribution networks. The transportation sector is a major contributor to greenhouse gas emissions, and as environmental concerns about climate change grow, electric vehicle technology has advanced for wider use in the commercial sector. Electric vehicle batteries play a crucial role in this context. Strict environmental regulations have pushed electric vehicle manufacturers toward closed-loop recycling. In these fleets, the choice of electric vehicle batteries directly impacts operational efficiency and environmental effects. This study highlights the importance of considering performance, economy, and environmental sustainability in battery selection. Using the Analytical Hierarchy Process (AHP), MOORA, and COPRAS methods, different battery alternatives were evaluated and ranked. AHP determined the criteria weights, and MOORA and COPRAS ranked the alternatives. The results indicate that Li-Ion batteries are the best option, followed by Na-NiCl₂ batteries, and Pb-Acid batteries as the least favorable. Sensitivity analysis shows that the rankings remain stable and the model provides reliable results. Choosing the right electric vehicle batteries improves energy efficiency, reduces environmental impacts, and supports long-term economic benefits.

Key words: Battery selection, electric vehicle, sustainability, Copras, Moora.

1. Giriş

Ticari araç filoları; belediyeler, lojistik şirketleri, toplu taşıma sistemleri ve büyük ölçekli dağıtım ağları gibi çok sayıda aracın merkezi olarak yönetildiği sistemlerdir. Bu tür filolarda yapılacak her teknolojik tercih, toplam operasyonel verimliliği ve çevresel etkileri doğrudan etkileyebilmektedir. Batarya seçimi, sadece tek bir aracın değil, filonun tamamının enerji tüketimi, bakım maliyeti ve karbon salımı üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle bu çalışma, bireysel araç kullanıcılarından ziyade ticari filoları merkeze alarak, daha yaygın, toplu ve stratejik etki yaratan bir karar problemine odaklanmaktadır.

Ticari filoların elektrikli araç geçişi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Ticari araç filoları, daha verimli ve çevre dostu elektrikli araçlar kullanarak karbon ayak izini azaltacaktır. Dünya genelinde iklim değişikliğiyle ilgili çevresel endişeler arttıkça, bu değişikliğe yol açan sera gazı emisyonlarının en

* Sorumlu yazar: eylulaslan045@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-7642-8121, ² 0009-0002-9247-4299

önemli faktörlerden olan ulaşım sektörü de büyük yeniliklere sahne olmuştur. Bu doğrultuda, elektrikli araçlar için yapılan Ar-Ge çalışmaları ve altyapı yatırımları hız kazanmıştır. Son dönemde, elektrikli araç teknolojisi, bu araçların ticari alanda daha geniş bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyacak şekilde önemli bir ilerleme kaydetmiştir [1]. Sıkı çevre düzenlemeleri elektrikli araç orijinal ekipman üreticilerini kapalı devre geri dönüşümüne sahip olmaya zorlamıştır [2]. Elektrikli araç bataryalarının doğru bir şekilde seçimi, filoların operasyonel verimliliğini artırırken, çevresel etkileri de en aza indirme fırsatı sunmaktadır.

Elektrikli araçlar sadece ticari filolar için değil, toplum ve çevre için de fayda sağlamaktadır. İçten yanmalı araçlara kıyasla daha düşük emisyon değerleri ile hava kirliliğini azaltarak iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlarlar. Ayrıca, sessiz çalışma özellikleri sayesinde gürültü kirliliği yaratmazlar ve sürücüsüne huzurlu bir sürüş deneyimi sunar. Karbon ayak izi, çevreye verilen zararın ölçülmesinde kullanılan bir terimdir ve insan aktiviteleri sonucunda atmosfere salınan tüm sera gazı emisyonlarının toplamını belirtir Elektrikli araçlar, benzinli ve dizel araçlarla kıyaslandığında daha az karbon salınımı yaparak zararlı gazların atmosfere salınımını sınırlamaktadır. Bu da havanın temiz kalmasını ve halk sağlığının korunmasını sağlar. Ek olarak, elektrikli araçlar enerjiyi daha etkin bir şekilde kullanır, bu da daha az enerji tüketimi anlamına gelir ve enerji kaynaklarının daha sürdürülebilir biçimde kullanılmasına katkıda bulunur [1].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2023 yılı verilerine göre, 2010 yılından bu yana elektrikli araç piyasası her geçen yıl yükseliş gösteriyor. 2011 yılında dünya çapında satılan elektrikli araba sayısı 110 bin kadardı. 2018 yılında bu sayı 2 milyonu buldu. 2023 yılında ise bu sayı 7 kat büyüdü ve dünya çapında 14 milyona yakın elektrikli araç satıldı [3]. Elektrikli araçların üretimi, global sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda hızla artmaktadır [4].

1. 1. Literatür Araştırması

Hamurcu vd. yapmış oldukları çalışmada elektrikli araçlar için seçilecek olan bataryalar, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP ve MOORA yöntemleri ile sıralanmıştır. Kriterleri enerji yoğunluğu, spesifik enerji, elektrik verimliliği, nominal gerilim, deşarj oranı, çevrim, dayanıklılık olarak belirlenmiştir. Alternatifler Nikel-kadmiyum (Ni-Cd), Lityum-İyon (Li-Ion), Nikel Metal Hidrat (Ni-MH), Kurşun-asit (Pb-asit) batarya türleri olacak şekilde belirlenmiştir. En iyi alternatif batarya, Li-ion batarya olarak belirlenmiştir [5].

Abdulahitoğlu vd. yapmış oldukları çalışmada elektrikli araçlar için en iyi bataryanın seçimi amaçlanmıştır. Yöntem olarak AHP ve COPRAS kullanılmıştır. Kriterler nominal gerilim, enerji yoğunluğu, Hacimsel enerji yoğunluğu, özgül güç, yaşam döngüsü, çalışma sıcaklığı şeklinde belirlenmiştir. Alternatifler Pb-asit, Ni-Cd, Ni-MH, Sodyum Nikel Klorür (Na-NiCl₂, Zebra), Li-Ion şeklindedir. Li-ion pil tipi en iyi seçenek olarak seçilmiştir ve Ni-Cd pil en az tercih edilen alternatiftir [6].

Abdulahitoğlu vd. yapmış oldukları çalışmada yöntem olarak Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) kullanılmıştır. En iyi bataryayı seçmek amaçlanmıştır. Kriterler özgül güç, özgül enerji yoğunluğu, güvenilirlik, güvenlik, fiyat şeklinde belirlenmiştir. Batarya alternatifleri C bataryalar, Lityum Manganer Oksit Bataryalar, Lityum Demir Fosfat bataryalar, Lityum Nikel Manganer Kobalt Oksit Bataryalar, Lityum Titanat bataryalar şeklindedir. Lityum Nikel Manganer Kobalt Oksit bataryalar en yüksek sıralamaya sahip olmuştur [7].

Loganathan vd. yapmış oldukları çalışmada WPM modeli kullanarak en iyi pil teknolojisini seçmeyi amaçlamışlardır. Kriterler fiyat, emniyet, ömür, ağırlık, geri dönüştürülebilirlik, üretilebilirlik, hızlı şarj olarak belirlenmiştir. Alternatifler Lityum metal pil, Grafen pil, Alüminyum-hava bataryası, katı hal şarj edilebilir lityum pil olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadan, katı hal pil teknolojisi en iyi pil olarak belirlenmiştir [2].

Shah vd. yapmış oldukları çalışmada yöntem olarak Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) yöntemini kullanmıştır. Kriterler özgül enerji, enerji yoğunluğu, özgül güç, güç yoğunluğu, ömür, çalışma sıcaklığı aralığı, fiyat, aşırı şarj toleransı şeklinde belirlenmiştir. Alternatifler Nikel-kadmiyum piller, Kurşun Asit piller, Nikel Metal Hidrit piller ve Lityum iyon piller ve Çinko-hava ve Sodyum Nikel Klorür piller olacak şekilde belirlenmiştir [8].

Yücenurşen vd. yapmış oldukları çalışmada elektrikli araçlar için kullanılan batarya tiplerini analiz etmişlerdir. Çeşitli marka ve modeldeki araçların akü kapasitesi, menzili, toplam enerji, ağırlık, enerji yoğunluğu gibi özelliklerini incelemişlerdir [9].

Son yıllarda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleriyle elektrikli araç bataryalarının değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı teknik performans ve ekonomik kriterlere odaklanmakta; enerji yoğunluğu, özgül güç, nominal gerilim, şarj süresi, maliyet ve ömür gibi ölçütler öne çıkmaktadır. Örneğin Hamurcu vd., AHP ve MOORA yöntemlerini kullanarak Li-Ion bataryayı en uygun seçenek olarak belirlemiştir. Abdulvahitoğlu vd. ise AHP ve COPRAS yöntemlerini kullanarak benzer bir sonuca ulaşmıştır. Farklı ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalı kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır.

Bununla birlikte, mevcut çalışmaların çoğu çevresel sürdürülebilirlik kriterlerini ikincil önemde ele almakta veya değerlendirmelerine hiç katmamaktadır. Oysa bataryaların geri dönüştürülebilirlik oranı, karbon ayak izi ve hammadde tedarik kaynakları gibi faktörler, çevresel etki açısından belirleyicidir. Bu kriterlerin ihmal edilmesi, sürdürülebilir ulaşım sistemleri bağlamında önemli bir boşluk yaratmaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmanın özgün katkısı; sürdürülebilirlik kriterlerine özel ağırlık verilerek oluşturulan kapsamlı kriterlerin hem MOORA hem de COPRAS yöntemleriyle analiz edilmesi ve duyarlılık analiziyle modelin sağlamlığının test edilmesidir. Literatürde elektrikli araç bataryaları üzerine yapılan çok kriterli karar verme çalışmaları bulunmakla birlikte, bu çalışmaların büyük bölümü bireysel kullanıcı düzeyinde kalmakta, ticari araç filoları için sürdürülebilirlik odaklı bütüncül bir değerlendirme sunmamaktadır. Bu yönüyle çalışma, ticari filolar özelinde sürdürülebilir karar desteği sağlayan nadir çalışmalardan biri olma özelliği taşımaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, ticari araç filoları için elektrikli araç bataryalarının seçiminde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), MOORA ve COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. ÇKKV yöntemleri, çok sayıda alternatifi, birbirinden farklı öneme sahip birçok ölçüte göre sistematik biçimde karşılaştırılması ve sıralanmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, kullanılacak yöntemlerin seçiminde hem literatürdeki yaygınlıkları hem de problem yapısına uygunlukları dikkate alınmıştır.

AHP yöntemi, karar verme sürecinde kriterlerin ağırlıklandırılmasında yaygın olarak kullanılan güçlü bir yöntemdir. İkili karşılaştırmalar yoluyla karar vericilerin öznel yargılarını sayısallaştırarak tutarlılık analizi yapılmasına imkân sağlar. Bu çalışmada AHP, performans, ekonomik ve sürdürülebilirlik ana kriterlerinin ve alt kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

MOORA yöntemi hem maksimize hem de minimize edilmesi gereken kriterleri birlikte ele alabilen, hesaplaması kolay ve farklı alt yaklaşımlar (oran, önem katsayısı, referans noktası) içeren esnek bir analiz yöntemidir. Literatürde mühendislik ve enerji sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir.

COPRAS yöntemi ise alternatiflerin faydalı ve faydasız yönlerini aynı anda analiz edebilen, göreceli önem derecelerini ve performans indekslerini açıkça ortaya koyan bir yöntemdir. Özellikle batarya teknolojisi gibi çok yönlü değerlendirme gerektiren karar problemlerinde etkili sonuçlar üretmektedir.

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, MOORA ve COPRAS yöntemlerinde kullanılmak üzere girdi olarak değerlendirilmiştir. Böylece, farklı karar yöntemlerinin alternatif sıralamaları üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Elektrikli araç bataryalarının seçimi, teknik performans, ekonomik maliyet ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu kriterlere dayalı bir karar problemidir. AHP yöntemi, bu kriterler arasındaki öncelik düzeyini sistematik biçimde ortaya koyarken; MOORA ve COPRAS yöntemleri, sayısal veriler üzerinden alternatiflerin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle, seçilen yöntemler çalışmanın amacına ve verinin yapısına uygunluk göstermektedir.

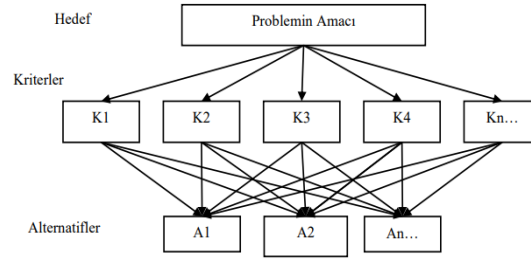
2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştiren Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. En çok kullanılan yöntemlerden biri olan AHP, birçok kriteri birlikte değerlendirerek fazla sayıda alternatif içinden en uygun alternatifi bulmayı sağlaması yönüyle diğer yöntemlere göre üstünlük kuar [10].

AHP yönteminde amaç ve bu amaca yönelik kriterler belirlenir. Alternatifler de belirlendikten sonra hiyerarşik yapı kurulur [11].

2.1.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Hiyerarşik yapı hedef, kriterler, varsa ana kriterler ve alternatiflerden oluşur. AHP yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. AHP yapısı [5].

2.1.2. İkili karşılaştırma matrisleri

Karşılaştırmalarda önem derecesi tablosu kullanılır. Bu değerlerle ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Önem derecesi tablosu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Saaty önem derecesi tablosu.

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki faktör aynı öneme sahip
3	Orta derecede önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemli
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerine göre kuvvetle daha önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede daha önemli
9	Mutlak derecede önemli	Bir faktör diğerine göre çok yüksek derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler	İki faktör arasındaki tercihte küçük farklar olduğunda kullanılır

2.1.3. Özvektör değeri ve tutarlılık oranı hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisinin normalleştirilip satır ortalamalarının hesaplanması sonucunda özvektör bulunur. Özvektör (w) değeri, Denklem 1 ile belirlenir.

$$w = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (1)$$

Özvektör değeri hesaplandıktan sonra ikili karşılaştırmaların tutarlılığı hesaplanır. Bu aşamada, tutarlılık oranının (CR) test edilmesi için Denklem 2 kullanılmaktadır. Formüldeki, tutarlılık göstergesi (CI) Denklem 3 ve Denklem 4 yardımıyla hesaplanmaktadır. Rassallık indeksi (RI), Tablo 2’den bulunur. CR değerinin 0,10’dan küçük çıkması durumunda oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu kabul edilir. Bu oranın aşılması matrisin tutarsız olduğu anlamına gelir ve ikili karşılaştırma matrislerinin gözden geçirilerek yeniden düzenlenmesi gerekir [12].

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Tutarlılık göstergesi (CI), Denklem 3 ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

CI değeri için en iyi öz değer (λ_{max}), Denklem 4 ile hesaplanır.

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (4)$$

Denklem 2’de kullanılan rassal indeks (RI) değeri, Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. RI değerleri [13].

N	RI	N	RI	N	RI	N	RI
1	0	4	0,90	8	1,41	11	1,51
2	0	5	1,12	9	1,45	12	1,48
3	0,58	6	1,24	10	1,49	13	1,56

2.1.4. Alternatiflerin önem sıralamalarının bulunması

Kriterlerin değerlendirilmesinde izlenen adımlar, alternatiflerin değerlendirilmesinde de uygulanır ve her bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları oluşturulur. Kriter ve alternatiflerin ağırlıkları hesaplanır. Ağırlıkların matris çarpımları yapılarak alternatiflerin öncelik seviyeleri bulunur. Bulunan değerler büyükten küçüğe sıralanır, en büyük değer birinci seçim en küçük değer ise sonuncu seçim olacak şekildedir.

2.2. MOORA Yöntemi

2006 yılında Brauers ve Zavadskas tarafından geliştirilen Multi Objective Optimization On The Basis Of Ratio Analysis (MOORA) yöntemi, günümüzde çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan bir tekniktir [14].

MOORA yönteminin avantajları arasında, tüm hedeflerin birlikte değerlendirilmesi, alternatifler ve hedefler arasındaki etkileşimlerin bir bütün olarak ele alınması ve subjektif ağırlıklar yerine objektif, yönsüz değerlerin kullanılması yer almaktadır [15].

MOORA yöntemleri, Oran Yöntemi, Referans Noktası Yaklaşımı, Önem Katsayısı Yaklaşımı, Tam Çarpım Yaklaşımı ve MULTIMOORA Yaklaşımı gibi farklı tekniklerle uygulanabilir. Her bir yaklaşım, çok kriterli karar verme süreçlerinde alternatiflerin sıralanmasını sağlamak için farklı hesaplama yöntemleri sunar.

2.2.1. Başlangıç karar matrisinin oluşturulması

Alternatiflerin ve amaçların performans değerleri belirlenerek başlangıç karar matrisi oluşturulmaya başlanır. Denklem 5 ile oluşturulur. MOORA yönteminin ilk adımında kullanılan başlangıç matrisi tablosu oluşturulur. Matriste, her bir alternatifin her bir kriterdeki performans ölçüm değeri “ x_{ij} ” olarak ifade edilir. Burada “ i ”, alternatifin numarasını; “ j ”, ilgili kriterin ya da ölçütün adını temsil eder. Ayrıca, “ m ” toplam alternatif sayısını, “ n ” ise toplam kriter sayısını belirtir [11].

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.2.2. Matrisin normalize edilmesi

Matrisin normalize edilmesi, kriterlerin maksimum yönlü veya minimum yönlü olmasına bakılmadan Denklem 6 ile gerçekleştirilir [11].

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (6)$$

2.2.3. Alternatiflerin performanslarının hesaplanması

2.2.3.1. MOORA- oran yaklaşımı

Normalize edilmiş maksimize edilmesi gereken performans değerlerinin toplamından, minimize edilmesi gereken performans değerlerinin toplamı çıkarılır. Bu işlem Denklem 7 ile gerçekleştirilir [11].

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (7)$$

g , maksimize edilecek, $(n - g)$, minimize edilecek kriterlerin sayısını ifade etmektedir. y_i^* ise i . seçeneğin tüm kriterlere göre normalize edilmiş değerini ifade eder. y_i^* değerleri büyükten küçüğe sıralanır ve sıralamadaki birinci seçenek en uygun seçenek olarak belirlenir [11].

2.2.3.2. MOORA- önem katsayısı yaklaşımı

Gerçek hayatta, karar vericiler genellikle tüm kriterleri eşit derecede önemli görmez. Bu yöntemde, MOORA-Oran yaklaşımı ile normalleştirilen veriler, kriterlerin önemine göre ağırlıklandırılır. Her bir kriterin ağırlığını ifade eden w_j katsayısı ile bu veriler çarpılarak, bazı kriterlere daha fazla, bazılarına ise daha az önem verilmesi sağlanır. Performans değerleri Denklem 8 ile bulunur [15].

$$y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij} w_j - \sum_{j=g+1}^n x_{ij} w_j \quad (8)$$

y_i değerleri büyükten küçüğe sıralanır ve sıralamada en yüksek değeri alan seçenek en uygun seçenek olarak değerlendirilir [11].

2.2.3.3. MOORA- referans noktası yaklaşımı

Oran sistemi yöntemine ilave olarak, her amaç için ayrı “Maksimum Amaç Referans Noktaları” belirlenir. Bu noktalar, amaç minimizasyon olduğunda minimum (min) ve maksimizasyon olduğunda maksimum (max) noktalarıdır. Belirlenen bu referans noktalardan, her x_{ij}^* için uzaklıklar Denklem 9 ile hesaplanır [15].

$$\min_j \max_i (r_j - x_{ij}) \quad (9)$$

2.3. COPRAS Yöntemi

Complex Proportional Assessment (COPRAS) yöntemi, alternatifleri adım adım analiz ederek önem ve fayda derecelerine göre sıralar. Bu yöntem, diğer karar verme yöntemlerine kıyasla daha kolay ve sade işlemler sunar [16]. COPRAS yöntemi, avantaj sağlayan kriterleri en üst seviyeye çıkarmayı ve dezavantaj oluşturan kriterleri en aza indirmeyi amaçlar [17].

COPRAS yöntemi, maksimize ve minimize edilmesi gereken kriterlerin bulunduğu karar problemlerinde kolayca kullanılabilir. Çözüm sırasında, her iki kriter türü ayrı ayrı analiz edilir. COPRAS yönteminin diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre avantajı, alternatiflerin fayda düzeylerini açıkça göstermesidir. Alternatifler birbiriyle kıyaslanarak, diğerlerine göre ne kadar avantajlı ya da dezavantajlı oldukları yüzde olarak ifade edilir [18].

COPRAS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [17-19, 20]:

2.3.1. Karar matrisinin oluşturulması

Modeldeki değişkenler:

$A_j = i$. Alternatif	$i = 1, 2, \dots, m$
$C_j = j$. değerlendirme ölçütü	$j = 1, 2, \dots, n$
$W_j = j$. değerlendirme ölçütünün önem düzeyi	$j = 1, 2, \dots, n$
$X_{ij} = j$. Değerlendirme ölçütü açısından i . alternatife değeridir.	

COPRAS yönteminin birinci adımında karar matrisi oluşturulur ve matris Denklem 10'daki gibi gösterilir.

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \cdot & X_{1n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{21} & X_{22} & X_{23} & \cdot & X_{2n} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & \cdot & X_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{m3} & \cdot & X_{mnn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

2.3.2. Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması

Normalize edilmiş karar matrisi değerleri Denklem 11 ile bulunur.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

2.3.3. Ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması

Ağırlıklandırılmış karar matrisi, normalize edilmiş karar matrisi sütunlarının kriterlere atanan w_j ağırlıkları ile çarpılmasıyla elde edilir ve bu işlem Denklem 12 ile gerçekleştirilir.

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j \quad (12)$$

2.3.4. Faydalı ve faydasız ölçütlerin hesaplanması

Bu aşamada, faydalı ölçütler, hedefe ulaşmak için yüksek değerlerin daha iyi olduğu kriterleri ifade eder. Faydasız ölçütler ise hedefe ulaşmada düşük değerlerin daha iyi olduğu ifade etmektedir. Bu değerler Denklem 13 ve Denklem 14 ile hesaplanır.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad \text{Faydalı ölçütler} \quad (13)$$

$$S_i^- = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad j = k+1, k+2, \dots, n \quad \text{Faydasız ölçütler} \quad (14)$$

2.3.5. Qi göreceli önem derecelerinin hesaplanması

Qi değerleri, her bir alternatifin göreceli öncelik derecesini gösterir ve bu değer, Denklem 15 kullanılarak hesaplanır. Hesaplama sonucu en yüksek göreceli öncelik değerine sahip olan alternatif, en uygun seçenek olarak belirlenir.

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-}} \quad (15)$$

2.3.6. En yüksek göreceli önem değerlerinin hesaplanması

En yüksek göreceli öncelik değeri Denklem 16 ile bulunmaktadır.

$$Q_{\max} = \max\{Q_i \mid i = 1, 2, \dots, m\} \quad (16)$$

2.3.7. Alternatifler için performans indeksi Pi değerlerinin hesaplanması

Her alternatif için Pi adı verilen performans göstergesi, Denklem 17 ile hesaplanır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \cdot 100\% \quad (17)$$

Hesaplanan P_i performans değerlerinin arasından 100 olan alternatif en yüksek performansa sahip olarak kabul edilir. Alternatiflerin sıralaması, performans indekslerinin büyükten küçüğe doğru düzenlenmesiyle yapılır.

3. Uygulama

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan beş farklı batarya teknolojisi; sürdürülebilirlik, teknik performans ve ekonomik boyutlar dikkate alınarak çok kriterli bir değerlendirme sürecine tabi tutulmuştur. Uygulama, öncelikle literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda kriterlerin ve batarya alternatiflerinin belirlenmesiyle başlamıştır. Ardından, belirlenen kriterlerin göreceli önem düzeyleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle hesaplanmış ve elde edilen ağırlıklar, çok kriterli sıralama yöntemlerinden MOORA ve COPRAS yöntemlerinde kullanılmıştır. Bu yöntemlerle yapılan analiz sonucunda batarya alternatifleri çok boyutlu yapılarıyla değerlendirilmiş ve ticari filo yönetimi bağlamında sürdürülebilirlik odaklı en uygun batarya seçeneği belirlenmiştir. Bu uygulama, karar vericilere sürdürülebilir ve sistematik bir yaklaşım sunarak elektrikli araç bataryası seçimini daha rasyonel bir zemine oturtmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi uygulanmıştır. AHP, karar vericilerin ikili karşılaştırmalar yoluyla kriterler arasındaki göreceli önemi belirlemelerine ve karar sürecinde tutarlılık analizi yapmalarına imkân tanıyan güçlü birçok kriterli karar verme yöntemidir.

AHP analizinde kullanılacak ikili karşılaştırma matrisleri, bu alanda uzman üç kişinin görüşleri doğrultusunda oluşturulmuştur. Uzmanların görevleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Birleştirilmiş ana kriter ikili karşılaştırma matrisi.

Uzman 1	Filo Yöneticisi
Uzman 2	Elektrikli Araç Uzmanı
Uzman 3	Filo Elektrikli Araç Yöneticisi

3.1. Kriter ve alternatifler

Belirlenen kriterler ve açıklamaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kriterler ve açıklamaları.

Kriter	Açıklama
P1 – Enerji Yoğunluğu [6]	Kütle başına düşen enerji miktarını ifade eder (MJ/L).
P2 – Özgül Güç [6]	1 kg bataryadan elde edilebilecek güç miktarını gösterir (W/kg).
P3 – Çevrim Sayısı [6]	Bataryanın tamamen şarj edilip boşaltıldığı döngü sayısıdır.
P4 – Çalışma Sıcaklığı [6]	Bataryanın bozulmadan çalışabileceği sıcaklık aralığıdır (°C).
P5 – Şarj Süresi [9]	Bataryanın tam şarj olma süresidir.
P6 – Kapasite Kaybı (Degradasyon) [21]	Bataryanın kullanım süresince kapasite kaybetme oranıdır.
P7 – Güvenlik [2]	Bataryanın çalışma sırasında oluşturabileceği risklere karşı güvenlik düzeyidir.
E1 – Toplam Maliyet [8]	Satın alma, bakım ve işletme maliyetlerinin toplamıdır (\$/kWh).
E2 – Ömür Boyu Maliyet [22]	Bataryanın tüm ömrü boyunca oluşturduğu toplam maliyettir (\$).
E3 – Geri Dönüşüm Değeri [23]	Kullanım ömrü sonunda geri dönüşümle elde edilebilecek maddi faydadır (\$).
S1 – Geri Dönüştürülebilirlik [2]	Bataryanın geri dönüştürülebilir parça oranı ve çevresel etkisidir.
S2 – Karbon Ayak İzi [24]	Bataryanın üretim, kullanım ve geri dönüşüm sürecinde yaydığı toplam karbon miktarıdır.
S3 – Hammadde Tedarik Kaynağı [25]	Hammaddelerin çevresel etkisi ve sürdürülebilir kaynaklardan temin edilme durumudur.

Alternatif bataryalar Lityum İyon (Li-ion) piller, Nikel Metal Hidrat (NiMH) piller, Nikel Kadmiyum (NiCd) piller, Kurşun-Asit (Pb-acid) piller, Sodyum Nikel Klorür (Na-NiCl₂) piller seçilmiştir ve Tablo 5’te verilmiştir. Bu piller elektrikli araçlarda kullanılan yaygın pillerdir [26].

Tablo 5. Elektrikli araç bataryası alternatifleri.

Batarya Türü	Kısaltma
Lityum İyon [26]	Li-Ion
Nikel Metal Hidrat [26]	NiMH
Nikel Kadmiyum [26]	NiCd
Kurşun-Asit [26]	Pb-Acid
Sodyum Nikel Klorür [26]	Na-NiCl ₂

Lityum iyon bataryalar, nikel tabanlı bataryalara göre daha yüksek anma gerilimi ve enerji yoğunluğuna sahiptir [27]. Elektrikli araçlar başta olmak üzere, taşınabilir elektroniklerde en yaygın tercih edilen batarya türüdür. Mevcut teknolojiye, birim hücrede en yüksek hücre gerilimi ve enerji yoğunluğu lityum iyon bataryalarda elde edilmektedir. Hafıza etkisinin olmaması, düşük kendi kendine deşarj oranı ve uzun çevrim ömrü gibi avantajlarıyla öne çıkar [28]. Ayrıca, fiziksel dayanıklılığı yüksek olup, ortalama ömürleri beş yıl civarındadır. En yüksek şarj verimine sahip bataryalardandır ve bakım gereksinimi en az olan türdür. Taşınabilir enerji depolama alanında öncelikli tercih olması, performans geliştirme olanaklarını artırmakta ve enerji depolamaya dayalı yeni teknolojilere öncülük etmektedir [29].

Nikel metal hidrat bataryalar, kadmiyum, kurşun veya cıva gibi toksik bileşenler içermediği için, nikel kadmiyum ve kurşun asit bataryalara göre çevresel açıdan daha dost bir seçenektir. Ayrıca, lityum iyon bataryalara kıyasla daha düşük maliyetlidir [30].

Nikel kadmiyum bataryalar, uzun raf ömrü ve çevrim başına düşük maliyetiyle ekonomik bir seçenek sunar [31]. En büyük avantajları, yüksek dayanıklılıkları ve uzun ömürleridir. Ancak enerji yoğunlukları düşüktür ve hafıza etkisi, zamanla kapasitelerinin azalmasına neden olur. Bu durum, bataryanın tam kapasite yerine daha düşük bir seviyeyi “hatırlayarak” şarjı sınırlandırmasıyla açıklanır. Ayrıca kadmiyum içermeleri nedeniyle çevre açısından olumsuz etkileri vardır ve kurşun asit bataryalara kıyasla maliyet açısından dezavantajlıdır [32].

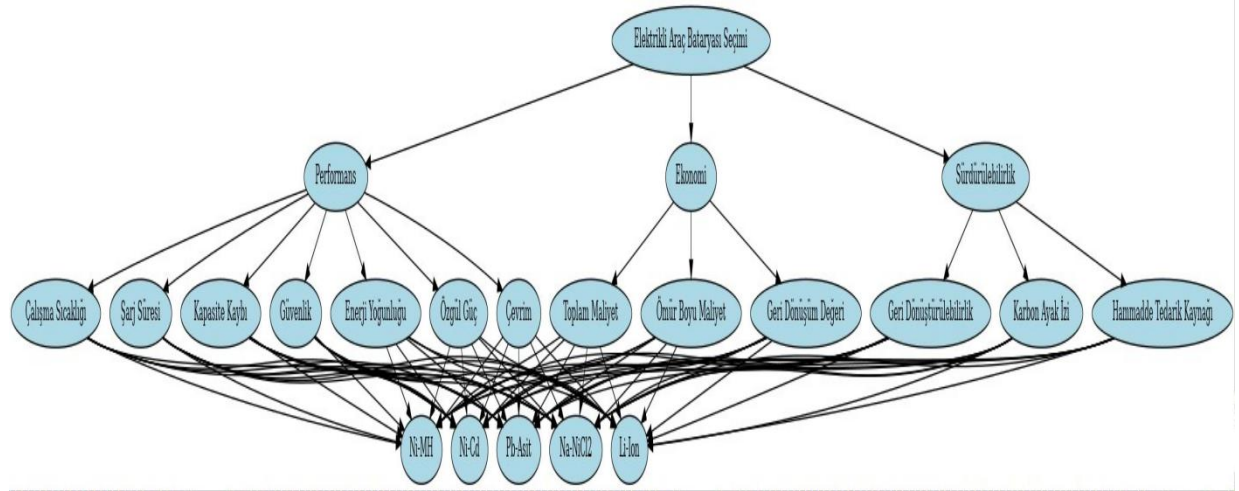
Kurşun asit bataryalar, uygun maliyetli olmaları, yüksek deşarj akımı sağlamaları ve hafıza etkisine sahip olmamaları nedeniyle tercih edilmektedir [27]. Ancak, enerji yoğunluklarının ve nominal gerilim değerlerinin düşük olması performanslarını sınırlamaktadır. Bu bataryalar, kullanılmadıklarında zamanla kapasitelerini kaybederek daha kısa ömürlü hale gelir. Her bir hücrenin yalnızca 2 voltluk enerji üretmesi, lityum iyon bataryalara kıyasla aynı gerilimin elde edilmesi için daha fazla hücre kullanılmasını gerektirir [28].

Sodyum-nikel klorür (Na-NiCl₂) ya da bilinen adıyla ZEBRA piller, elektrolit olarak sodyum tuzu kullanır [33] ve 245–350°C arasında değişen yüksek sıcaklıklarda çalışır. Bu piller, elektrikli araçlar için gerekli olan yüksek enerji ve güç yoğunluğu özelliklerine sahiptir. Ancak, bu yüksek çalışma sıcaklığı nedeniyle güvenlik önlemleri ve termal yönetim sistemleri üzerinde ciddi zorluklar ortaya çıkmaktadır [34].

3.2. AHP uygulaması

3.2.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Kriterlerinin ağırlıklarının bulunmasında AHP yöntemi adımları uygulanmıştır. AHP yöntemi çözümünde Ms Excel programı kullanılmıştır. AHP hiyerarşik yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. AHP hiyerarşik yapısı.

3.2.2. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Üç ayrı uzmandan alınan ikili karşılaştırma matrisleri eşit ağırlıklı olacak şekilde birleştirilmiş ortak bir matris elde edilmiştir. Birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 6- Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Birleştirilmiş ana kriter ikili karşılaştırma matrisi.

	Performans	Ekonomi	Sürdürülebilirlik
Performans	1	4,2172	7,6117
Ekonomi	0,2371	1	4,7177
Sürdürülebilirlik	0,1314	0,2120	1

Tablo 7. Birleştirilmiş performans alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P1	1	4,5789	0,9196	1,8420	2,0000	2,0274	3,0000
P2	0,2184	1	2,0138	0,7368	2,2680	5,1925	3,7798
P3	1,0873	0,4966	1	2,1898	2,1544	2,3052	1,2051
P4	0,5429	1,3572	0,4568	1	0,7469	2,2894	0,9196
P5	0,5000	0,4409	0,4642	1,3389	1	1,9574	1,6710
P6	0,4932	0,1926	0,4338	0,4368	0,5109	1	0,6057
P7	0,3333	0,2646	0,8298	1,0873	0,5984	1,6510	1

Tablo 8. Birleştirilmiş ekonomi alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi.

	E1	E2	E3
E1	1	1,2331	3,9149
E2	0,8110	1	1,4736
E3	0,2554	0,6786	1

Tablo 9. Birleştirilmiş sürdürülebilirlik alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi.

	S1	S2	S3
S1	1	5,3133	2,1055
S2	0,1882	1	0,8220
S3	0,4750	1,2164	1

3.2.3. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bütün karşılaştırma matrislerinin CR değeri 0,10 değerinden küçük çıkmıştır. Matrislerin tutarlı olduğu kabul edilmiştir.

Bulunan ana kriter ağırlıkları ve alt kriter ağırlıkları birbirleriyle çarpılarak birleştirilmiştir. Bu işlemin sonucunda kriterlerin ağırlıkları bulunmuştur. Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Kriterler ağırlıkları.

Kriterler	Ağırlıklar
P1	0,17
P2	0,14
P3	0,11
P4	0,08
P5	0,07
P6	0,06
P7	0,04
E1	0,12
E2	0,07
E3	0,04
S1	0,04
S2	0,02
S3	0,01

AHP yönteminden çıkan sonuçlara göre kriter sıralamaları P1> P2> E1> P3> P4>P5-E2> P6> P7- E3- S1> S2> S3 şeklinde olmuştur.

Uzman görüşlerine göre hesaplanan kriter ağırlıklarına bakıldığında performans ana kriterinin alt kriterlerinden P5, P6 ve P7 kriterleri; ekonomi ana kriterinin alt kriterlerinden E2 ve E3 kriterleri; sürdürülebilirlik ana kriterinin alt kriterlerinden S2 ve S3 kriterleri diğer kriterlere göre daha az öneme sahip olmuştur. Bu sebeple alternatif sıralamak için kullanılacak olan MOORA ve COPRAS yöntemlerinin çözümüne bu kriterler eklenmeyecektir.

AHP sonuçlarına göre, en yüksek öneme sahip kriterler enerji yoğunluğu (P1), özgül güç (P2) ve toplam maliyet (E1) olarak öne çıkmıştır. Buna karşılık, sürdürülebilirlik kriterlerinin toplam ağırlığı yalnızca %7 olarak belirlenmiştir. Bu durum, teknik ve ekonomik kriterlerin uzmanlar tarafından daha öncelikli görüldüğünü göstermektedir.

3.3. MOORA Uygulaması

Alternatifleri sıralamak için MOORA yöntemi kullanılmıştır. MOORA yöntemi çözümünde Ms Excel programı kullanılmıştır.

Tablo 7'deki AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıklarıyla çözüm yapılmıştır.

3.3.1. MOORA oran yaklaşımı yöntemi

Her alternatif için çözüme alınacak kriter değerleri bulunmuştur. Tablo 10'da gösterilmiştir. İlk olarak karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Karar matrisi.

	P1 [6]	P2 [6]	P3 [6]	P4 [6]	S1 [8]	E1 [22,25]
Kriter yönleri	maks	maks	maks	maks	maks	min
Önem Katsayısı	0,17	0,14	0,12	0,08	0,04	0,12
Li-Ion	250	430	2000	60	59	180
Ni-MH	95	300	2900	60	100	200
Ni-Cd	80	200	2000	50	100	350
Pb-Asit	35	180	1000	50	98	150
Na-NiCL ₂	120	155	1300	350	100	300

Daha sonra normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 12’de gösterilmiştir. Bu işlem Denklem 6 ile gerçekleştirilir.

Tablo 12. Normalleştirilmiş karar matrisi.

	P1	P2	P3	P4	S1	E1
Kriter yönleri	maks	maks	maks	maks	maks	min
Li-Ion	0,8174	0,7057	0,4576	0,1635	0,2842	0,3247
Ni-MH	0,3106	0,4923	0,6636	0,1635	0,4818	0,3607
Ni-Cd	0,2616	0,3282	0,4576	0,1362	0,4818	0,6313
Pb-Asit	0,1144	0,2954	0,2288	0,1362	0,4721	0,2705
Na-NiCL ₂	0,3923	0,2544	0,2975	0,9536	0,4818	0,5411

Sonraki adımda normalize edilmiş maksimize edilmesi gereken performans değerlerinin toplamından, minimize edilmesi gereken performans değerlerinin toplamı çıkarılmış Y_i değerleri bulunmuştur. Bu işlem Denklem 7 ile gerçekleştirilmiştir. Bulunan değerler büyükten küçüğe sıralanarak Moora Oran Yaklaşımına göre alternatif sıralaması bulunmuştur. Tablo 13’te gösterilmiştir.

Tablo 13. MOORA Oran yaklaşımına göre sıralama.

	Y_i	Sıralama
Li-Ion	2,1037	1
Ni-MH	1,7510	3
Ni-Cd	1,0341	4
Pb-Asit	0,9765	5
Na-NiCL ₂	1,8385	2

MOORA oran yaklaşımına göre alternatif sıralamasında en uygun tercih Li- Ion batarya olmuştur. En kötü tercih ise Pb- Asit batarya seçilmiştir.

3.3.2. MOORA Önem Katsayısı Yöntemi

Moora oran yaklaşımı yönteminde elde edilen normalleştirilmiş matris ve kriterlerin ağırlık değerleri çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilmiştir. Tablo 14’te gösterilmiştir.

Tablo 14. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

	P1	P2	P3	P4	S1	E1
Kriter yönleri	maks	maks	maks	maks	maks	min
Önem Katsayısı	0,17	0,14	0,12	0,08	0,04	0,12
Li-Ion	0,1390	0,0988	0,0549	0,0131	0,0114	0,0390
Ni-MH	0,0528	0,0689	0,0796	0,0131	0,0193	0,0433
Ni-Cd	0,0445	0,0459	0,0549	0,0109	0,0193	0,0758
Pb-Asit	0,0195	0,0414	0,0275	0,0109	0,0189	0,0325
Na-NiCL2	0,0667	0,0356	0,0357	0,0763	0,0193	0,0649

Bir sonraki adımda performans değerleri Denklem 8 ile bulunmuştur. Değerler Tablo 15’de gösterilmiştir. Bulunan değerler büyükten küçüğe sıralanmıştır.

Tablo 15. MOORA önem katsayısı yaklaşımına göre sıralama.

	Yi	Sıralama
Li-Ion	0,2781	1
Ni-MH	0,1904	2
Ni-Cd	0,0997	4
Pb-Asit	0,0856	5
Na-NiCL2	0,1686	3

Moora önem katsayısı yaklaşımına göre en iyi batarya tercihi Li- Ion batarya olmuştur. En kötü tercih ise Pb-Asit bataryası olmuştur.

3.3.3. MOORA Referans Noktası Yöntemi

Referans noktaları, maks yönlü kriterlerde maksimum değer; min yönlü kriterlerde minimum değer olacak şekilde belirlenmiştir. Belirlenen bu referans noktalardan, her x_{ij} için uzaklıklar Denklem 9 ile hesaplanmıştır. Değerler Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Referans noktalara olan uzaklıklar.

	P1	P2	P3	P4	S1	E1
Kriter yönleri	maks	maks	maks	maks	maks	min
Rj değerleri	0,8174	0,7057	0,6636	0,9536	0,4818	0,2705
Li-Ion	0,0000	0,0000	0,2059	0,7902	0,1975	0,0541
Ni-MH	0,5068	0,2133	0,0000	0,7902	0,0000	0,0902
Ni-Cd	0,5558	0,3774	0,2059	0,8174	0,0000	0,3607
Pb-Asit	0,7029	0,4103	0,4347	0,8174	0,0096	0,0000
Na-NiCL2	0,4250	0,4513	0,3661	0,0000	0,0000	0,2705

Her alternatifin en büyük değeri seçilmiş ve seçilen değerler büyükten küçüğe sıralanmıştır. En büyük değer en iyi alternatif olacak şekilde belirlenmiştir. Tablo 17’de gösterilmiştir.

Tablo 17. MOORA Referans noktası yaklaşımına göre sıralama.

	Yi	Sıralama
Li-Ion	0,7902	2
Ni-MH	0,7902	2
Ni-Cd	0,8174	4
Pb-Asit	0,8174	4
Na-NiCL ₂	0,4513	1

Moora referans noktası yaklaşımına göre en iyi seçenek Na-NiCL₂ olmuştur. En kötü seçenekler Ni-Cd ve Pb- Asit bataryaları olacak şekilde eşit derecede sıralanmışlardır.

3.4. COPRAS Uygulaması

Alternatifleri sıralamak için COPRAS yöntemi kullanılmıştır. COPRAS yöntemi çözümünde Ms Excel programı kullanılmıştır.

AHP yönteminde bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak çözüm yapılmıştır.

Karar matrisi Denklem 11 ile normalize edilmiştir. Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. Normalize karar matrisi.

	P1	P2	P3	P4	S1	E1
Kriter yönleri	maks	maks	maks	maks	maks	min
Li-Ion	0,4310	0,3399	0,2174	0,1052	0,1291	0,1525
Ni-MH	0,1638	0,2371	0,3152	0,1053	0,2188	0,1695
Ni-Cd	0,1379	0,1581	0,2174	0,0877	0,2188	0,2966
Pb-Asit	0,0603	0,1423	0,1087	0,0877	0,2144	0,1271
Na-NiCL ₂	0,2069	0,1225	0,1413	0,6140	0,2188	0,2542

Normalize edilmiş karar matrisinin kriter ağırlıkları ile çarpılmasıyla ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir. Tablo 19’da gösterilmiştir.

Tablo 19. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

	P1	P2	P3	P4	S1	E1
Kriter yönleri	maks	maks	maks	maks	maks	min
Önem Katsayısı	0,17	0,14	0,12	0,08	0,04	0,12
Li-Ion	0,0732	0,0476	0,0261	0,0084	0,0051	0,0183
Ni-MH	0,0278	0,0332	0,0378	0,0084	0,0087	0,0203
Ni-Cd	0,0234	0,0221	0,0261	0,0070	0,0088	0,0356
Pb-Asit	0,0103	0,0199	0,0130	0,0070	0,0086	0,0153
Na-NiCL ₂	0,0352	0,0171	0,0169	0,0491	0,0088	0,0305

Faydalı ölçüt ve faydasız ölçütler hesaplanmıştır. Bu aşamada Denklem 13 ve Denklem 14 kullanılmıştır. Değerler Tablo 20’de gösterilmiştir.

Sonraki adımda Qi olarak belirtilen göreceli önem değerleri Denklem 15 ile hesaplanmıştır. Pi değerlerinin hesaplanmasında da Denklem 16 kullanılmıştır. Hesaplanan Pi değerleri büyükten küçüğe sıralanmıştır. En büyük değer en iyi alternatif olacak şekilde belirlenmiştir. Tablo 21’de gösterilmiştir.

Tablo 20. S +i, S -i ve S -min/S -i değerleri.

	S +i	S -i	S -min/S -i
Li-Ion	0,1605	0,0183	0,8333
Ni-MH	0,1160	0,0203	0,7500
Ni-Cd	0,0874	0,0356	0,4285
Pb-Asit	0,0588	0,0153	1,0000
Na-NiCL ₂	0,1272	0,0305	0,5000

Tablo 21. Qi, Pi değerleri ve sıralama.

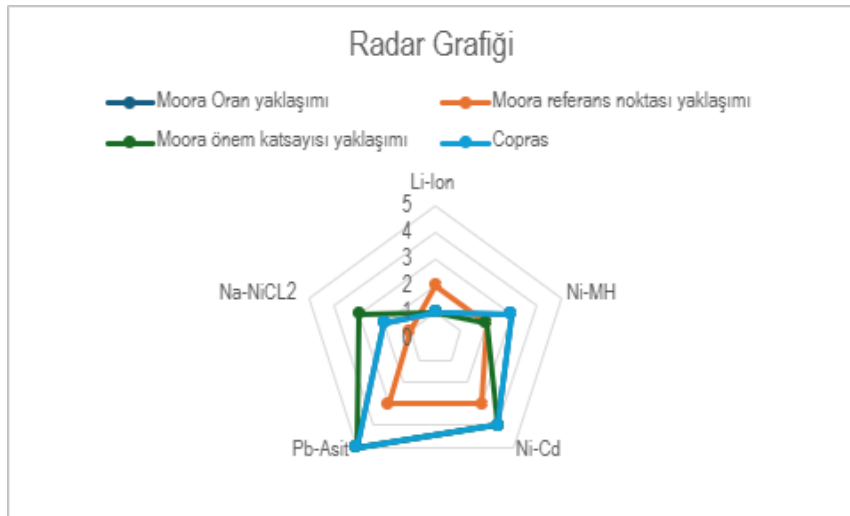
	Qi	Pi	Sıralama
Li-Ion	0,1890	100,0000	1
Ni-MH	0,1417	74,9549	3
Ni-Cd	0,1021	54,0094	4
Pb-Asit	0,0930	49,1969	5
Na-NiCL ₂	0,1442	76,3146	2

Copras yöntemine göre en iyi batarya tercihi Li- Ion batarya olmuştur. En kötü tercih ise Pb- Asit bataryası olmuştur.

4. Uygulama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sonuçlara göre, MOORA yönteminin Oran Yaklaşımına göre sıralama Li-Ion batarya en uygun seçenek olarak belirlenirken, ardından Na-NiCl₂, Ni-MH, Ni-Cd ve Pb-Asit gelmiştir. MOORA'nın Önem Katsayısı Yaklaşımında ise yine Li-Ion batarya en iyi seçenek olarak değerlendirilmiş, bunu Ni-MH, Na-NiCl₂, Ni-Cd ve Pb-Asit takip etmiştir. MOORA'nın Referans Noktası Yaklaşımında ise Na-NiCl₂ batarya en uygun seçenek olarak öne çıkarken, Li-Ion ve Ni-MH eşit değerlendirilmiş, Ni-Cd ve Pb-Asit ise eşit ve en düşük sırada yer almıştır. COPRAS yöntemine göre yapılan değerlendirmede ise Li-Ion batarya yine en iyi alternatif olarak bulunmuş; bunu sırasıyla Na-NiCl₂, Ni-MH, Ni-Cd ve Pb-Asit takip etmiştir.

Yöntemlerin sıralamaları radar grafiğinde gösterilmiştir. Şekil 3'te mevcuttur.

**Şekil 3.** Alternatiflerin sıralama sonuçlarını gösteren radar grafiği.

Li-Ion bataryasının açık bir şekilde en uygun alternatif olduğu görünmektedir. Na-NiCl₂ bataryası MOORA referans noktası yaklaşımında ilk sırada, MOORA önem katsayısı yaklaşımında ve COPRAS yönteminde 2. sırada yer almaktadır. Bu sonuçlar Na-NiCl₂ bataryasının güçlü bir aday olduğunu göstermektedir. Ayrıca COPRAS yöntemi ve MOORA oran yaklaşımı yöntemlerinin sıralaması aynı olduğu için radar grafiğinde bu iki yöntemin çizgilerinin üst üste geldiği görünmektedir. Isı haritası oluşturulmuştur. Şekil 4'te verilmiştir.

	Moora Oran yaklaşımı	Moora referans noktası yaklaşımı	Moora önem katsayısı yaklaşımı	Copras
Li-Ion	1	2	1	1
Ni-MH	3	2	2	3
Ni-Cd	4	3	4	4
Pb-Asit	5	3	5	5
Na-NiCl ₂	2	1	3	2

Şekil 4. Yöntemlere göre alternatif sıralamalarının ısı haritası.

Isı grafiğinde mavi renk daha yüksek sıralamaları, kırmızı renk ise daha düşük sıralamaları göstermektedir.

Grafikte de görüldüğü üzere en iyi sıralamaları mavi renkle gösterilen Li- Ion batarya olarak en uygun batarya seçilmiştir.

Na-NiCl₂ bataryası MOORA referans noktası yaklaşımında ilk sırada, Moora oran yaklaşımı ve COPRAS yönteminde ikinci sırada ve MOORA önem katsayısı yaklaşımı yönteminde üçüncü sırada yer alarak ikinci en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

Ni- MH bataryası MOORA referans noktası yaklaşımında ve MOORA önem katsayısı yaklaşımında ikinci sırada, MOORA oran yaklaşımı ve COPRAS yöntemine üçüncü sırada çıkarak en iyi üçüncü alternatif olarak belirlenmiştir.

Ni-Cd bataryası MOORA referans noktası yaklaşımına göre üçüncü sırada; MOORA oran yaklaşımı, MOORA önem katsayısı yaklaşımına ve COPRAS yöntemine göre dördüncü sırada çıkarak en iyi dördüncü alternatif olarak belirlenmiştir.

Pb- Asit bataryası grafikte en çok kırmızı renkle gösterilen bataryadır. MOORA referans noktası yaklaşımına göre üçüncü sırada; MOORA oran yaklaşımında, MOORA önem katsayısı yaklaşımında ve COPRAS yönteminde beşinci sırada çıkarak en kötü alternatif olarak belirlenmiştir.

5. Duyarlılık Analizi

Bu çalışmada kullanılan karar verme modelinin sağlamlığını test etmek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizinin temel amacı, kriter ağırlıklarında meydana gelebilecek değişimlerin, alternatiflerin sıralamaları üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu kapsamda, beş farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar, en yüksek ağırlığa sahip kriter ile sırasıyla en düşükten daha yüksek ağırlığa sahip kriterlerin ağırlıklarının yer değiştirmesi esasına dayanır. Her bir senaryoda, ağırlık değişimi sonrası alternatiflerin sıralamaları hem MOORA hem de COPRAS yöntemleri kullanılarak yeniden hesaplanmıştır.

Senaryo 1'de, en yüksek ağırlığa sahip kriter (P1: 0.17) ile en düşük ağırlığa sahip kriter (S1: 0.04) yer değiştirmiştir. Bu değişim, modelin en uç noktalarında yer alan kriterlerin etkisini test etmeyi amaçlamaktadır.

Senaryo 2'de, en yüksek ağırlığa sahip kriter (P1: 0.17) ile sondan bir önceki en düşük ağırlığa sahip kriter (P4: 0.08) yer değiştirilmiştir. Bu senaryoda, uçtan bir diğer uca değil, daha ılımlı bir değişim kurgulanmıştır.

Senaryo 3'te, en yüksek ağırlığa sahip kriter (P1: 0.17) ile sondan üçüncü en düşük ağırlığa sahip kriter (P3: 0.12) arasında ağırlık değişimi yapılmıştır. Böylece sıralama üzerindeki orta düzeyde bir değişim test edilmiştir.

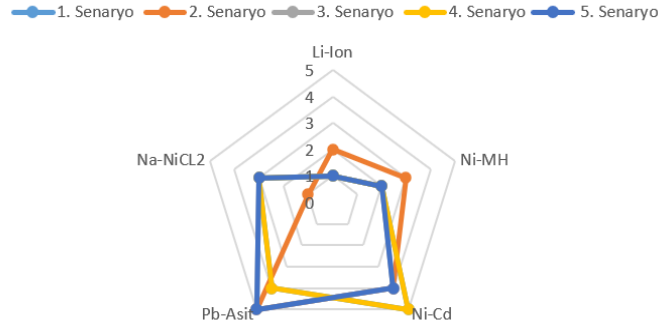
Senaryo 4'te, en yüksek ağırlığa sahip kriter (P1: 0.17) ile sondan dördüncü en düşük ağırlığa sahip kriter (E1: 0.12) yer değiştirilmiştir. Bu senaryo da orta seviye bir ağırlık kaydırmasını temsil etmektedir.

Senaryo 5'te ise, en yüksek ağırlığa sahip kriter (P1: 0.17) ile sondan beşinci en düşük ağırlığa sahip kriter (P2: 0.14) yer değiştirilerek, benzer ağırlıklara sahip kriterler arasında yapılan değişimin sıralamaya etkisi analiz edilmiştir.

Her bir senaryoda belirlenen yeni kriter ağırlıkları, MOORA ve COPRAS yöntemleri ile tekrar uygulanmış; her iki yöntemde elde edilen alternatif sıralamaları karşılaştırılarak, modelin kararlılığı değerlendirilmiştir. Bu analiz sayesinde, alternatif sıralamalarının ağırlık değişimlerine karşı ne derece hassas olduğu ortaya konmuş ve modelin güvenilirliği sınanmıştır.

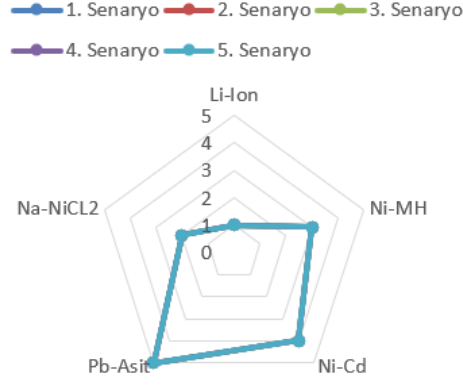
COPRAS ve MOORA yöntemleri kullanılarak yapılan duyarlılık analizi Şekil 5-8'de gösterilmiştir.

COPRAS Yöntemi Duyarlılık Analizi



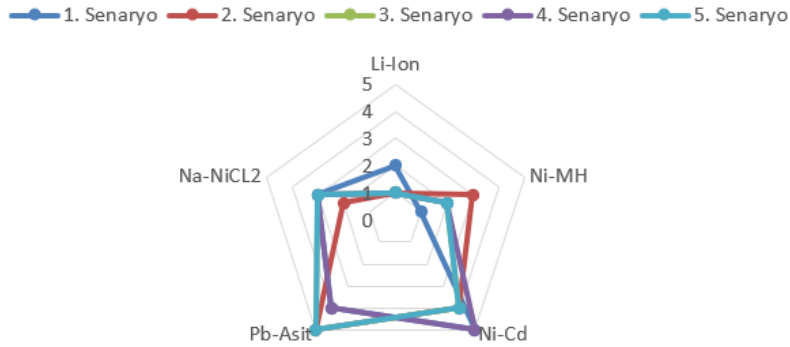
Şekil 5. COPRAS yöntemi duyarlılık analizi.

MOORA Oran Yaklaşımı Duyarlılık Analizi

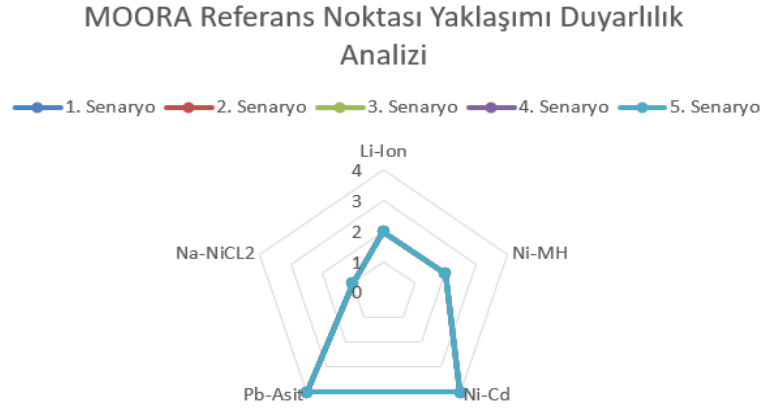


Şekil 6. MOORA oran yaklaşımı yöntemi duyarlılık analizi.

MOORA Önem Katsayısı Yaklaşımı Duyarlılık Analizi



Şekil 7. MOORA önem katsayısı yöntemi duyarlılık analizi.



Şekil 8. MOORA referans noktası yöntemi duyarlılık analizi.

COPRAS ve MOORA yöntemlerinin farklı senaryolarda nasıl davrandığı incelenmiştir. Her iki yöntemde de kriter ağırlıklarında değişiklikler yapılarak, sıralamaların ne ölçüde etkilendiği analiz edilmiştir.

COPRAS yöntemi ile yapılan analizde, Li-Ion batarya birinci sıradaki yerini korumuştur. Ni-MH batarya sabit şekilde ikinci sırada kalırken, Na-NiCl₂ üçüncü sırada yer almıştır. Ni-Cd ve Pb-Ac bataryalarının sıralamaları da değişmemiştir. Bu sonuçlar, COPRAS yönteminin senaryolar karşısında oldukça kararlı ve istikrarlı çıktılar verdiğini göstermektedir.

MOORA yönteminin üç farklı yaklaşımında da genel eğilim COPRAS ile benzerlik göstermektedir. Özellikle Oran Yaklaşımı ve Referans Noktası Yaklaşımı, senaryolara karşı son derece sabit sonuçlar üretmiştir. Örneğin, oran yaklaşımında Li-Ion batarya tüm senaryolarda birinci sırada, Na-NiCl₂ ikinci sırada, Ni-MH ise üçüncü sırada yer almıştır. Bu sonuçlar COPRAS yöntemiyle örtüşmektedir.

Yapılan duyarlılık analizi sonucunda hem COPRAS hem de MOORA yöntemlerinde elde edilen sıralamaların, kriter ağırlıklarındaki değişimlere rağmen büyük ölçüde sabit kaldığı görülmüştür. Her iki yöntemde de özellikle ilk üç sıradaki alternatifler (Li-Ion, Ni-MH ve Na-NiCl₂) senaryolar arasında anlamlı bir değişiklik göstermemiştir. Bu durum, kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin kararlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

6. Sonuç ve Öneriler

Ticari araç filoları; belediyeler, lojistik firmaları, toplu taşıma işletmeleri ve büyük ölçekli dağıtım ağları gibi çok sayıda aracın merkezi olarak yönetildiği sistemleri kapsamaktadır. Bu tür filolarda yapılacak her teknolojik tercih, sadece bireysel araç düzeyinde değil, toplam operasyonel verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik öneme sahiptir. Özellikle batarya teknolojisi seçimi, filonun genel enerji tüketimi, bakım maliyetleri ve karbon salımı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, çalışma bireysel kullanıcı odaklı değerlendirmelerin ötesine geçerek, ticari filolarda daha yaygın, toplu ve stratejik etki yaratan bir karar problemini ele almaktadır.

Günümüzde iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ulaşım sektörünün dönüşümü büyük önem kazanmıştır. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik artan baskılar ve sıkı çevre düzenlemeleri, elektrikli araç kullanımının hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu dönüşüm sürecinde ticari araç filolarının elektrikli araçlara geçişi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kilit rol oynamaktadır. Gelişen elektrikli araç teknolojileri ve batarya altyapıları sayesinde, artık bu araçların ticari kullanımı daha erişilebilir ve verimli hale gelmiştir.

Bu çalışmada ticari filolar için kullanılacak olan elektrikli araçların bataryalarının performans, ekonomi ve sürdürülebilirlik açısından incelenmesi yapılmış alternatif bataryalar sıralanmıştır. Yöntem olarak AHP, MOORA ve COPRAS kullanılmıştır. AHP ile kriter ağırlıkları bulunmuştur. Konuya hâkim üç uzmanla görüşülerek değerlendirme süreci desteklenmiştir. Uzmanlar; filo yöneticisi, elektrikli araç uzmanı ve filo elektrikli araç yöneticisi olarak farklı açılardan sürece katkı sağlamıştır. Bu sayede, belirlenen kriterlerin sektörel geçerliliği artırılmış ve karar verme sürecinin sağlamlığı güçlendirilmiştir. MOORA ve COPRAS ile alternatifler sıralanmıştır. Alternatifler MOORA oran yaklaşımı, Moora referans noktası yaklaşımı, Moora önem katsayısı yaklaşımı ve COPRAS ile toplamda 4 yöntem ile sıralanmışlardır. Alternatifler 13 kriterle değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda Li-Ion bataryanın 3 yöntemle göre en iyi alternatif olarak seçildiği gözlemlenmiştir. İkinci en iyi alternatifin Na-NiCl₂ bataryasının olduğu görülmüştür. Pb-Asit bataryanın ise bütün yöntemlerde en kötü batarya alternatifi seçildiği gözlemlenmiştir. Kullanılan yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sıralamaların genelinde benzer olduğu ve büyük farklılıkların olmadığı sonucuna varılmıştır.

Modelin sağlamlığını değerlendirmek amacıyla beş farklı senaryo ile duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu senaryolarda, en yüksek ağırlığa sahip kriter ile farklı düşük ağırlıklı kriterlerin yerleri değiştirilmiş ve yöntemlerin sonuçları yeniden analiz edilmiştir.

COPRAS ve MOORA yöntemlerinin farklı senaryolarda nasıl davrandığı incelenmiş ve her iki yöntemde de kriter ağırlıklarındaki değişikliklerle sıralamaların ne kadar etkilendiği analiz edilmiştir.

COPRAS yöntemi, Li-Ion bataryanın birinci sıradaki yerini koruduğunu, Ni-MH bataryanın ikinci sırada kaldığını ve Na-NiCl₂'nin üçüncü sırada yer aldığını göstermiştir. Ni-Cd ve Pb-Asit bataryalarının sıralamaları değişmemiştir, bu da COPRAS yönteminin istikrarlı ve kararlı olduğunu ortaya koymaktadır.

MOORA yönteminin Oran ve Referans Noktası Yaklaşımları da benzer şekilde sabit sonuçlar üretmiştir. Özellikle, Li-Ion batarya tüm senaryolarda birinci, Na-NiCl₂ ikinci ve Ni-MH üçüncü sırada yer almıştır, bu sonuç COPRAS ile örtüşmektedir.

Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda, COPRAS ve MOORA yöntemlerinde de sıralamaların büyük ölçüde sabit kaldığı, özellikle ilk üç sıradaki alternatiflerin konumunun değişmediği gözlemlenmiştir. Bu da modelin istikrarlı ve güvenilir sonuçlar verdiğini kanıtlamaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre, Li-Ion bataryalar her iki yöntemle yapılan analizlerde de en uygun alternatif olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla Ni-MH ve Na-NiCl₂ bataryaları takip etmiştir. Ni-Cd ve Kurşun-Asit bataryalar ise düşük çevresel ve teknik performansları nedeniyle alt sıralarda yer almıştır.

Yapılan çalışmada MOORA ve COPRAS yöntemleri ile elektrikli araç bataryalarının sıralaması yapılmış ve en uygun batarya Li-Ion olarak belirlenmiştir. Literatürde Hamurcu vd.ve Abdulvahitoğlu vd. [4-5] tarafından yapılan benzer çalışmalarda da Li-Ion bataryanın en iyi alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, MOORA'nın Referans Noktası Yaklaşımında Na-NiCl₂ bataryanın öne çıkması, farklı yöntemlerin sonuçları üzerindeki etkisini göstermektedir. Diğer çalışmalardaki farklı yöntemler ve kriter ağırlıkları, alternatif sıralamalarda bazı farklılıklar yaratmıştır. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da Li-Ion bataryanın teknik ve ekonomik açıdan üstün olduğu ifade edilmiştir (Hamurcu vd., Abdulvahitoğlu vd.). Ancak bu çalışmanın özgün katkısı, sürdürülebilirlik kriterlerinin modele entegre edilmesi, duyarlılık analiziyle sonuçların sağlamlığının test edilmesi ve kriterlerin ticari filolar için değerlendirilmesidir.

Enerji yoğunluğu (MJ/L), özgül güç (W/kg), çevrim çalışma sıcaklığı (°C), geri dönüştürülebilirlik, toplam maliyet (\$/kWh) kriterleri ticari araç filolarına göre değerlendirildiğinde elektrikli araç batarya seçenekleri arasındaki en uygun bataryanın Li-Ion batarya olduğu sonucuna varılmıştır.

Ticari araç filoları, lojistik, kamu hizmetleri ve toplu taşıma gibi alanlarda çok sayıda aracın merkezi olarak yönetildiği sistemlerdir. Bu nedenle, bu tür yapılarda sürdürülebilirlik ilkesine uygun, performansı yüksek ve maliyet açısından verimli elektrikli araç bataryalarının tercih edilmesi büyük önem taşır. Doğru batarya seçimi, filonun genel enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra çevresel etkilerin azaltılmasına, karbon emisyonlarının düşürülmesine ve uzun vadede ekonomik faydaların sağlanmasına katkı sunar. Bu nedenle, belirlenen kriterlere göre en uygun batarya olarak seçilen Li-Ion batarya, ticari filolarda kullanılan elektrikli araçlarda tercih edildiğinde filonun genel enerji verimliliğini artıracak, çevresel etkileri azaltacak, karbon emisyonlarını düşürecek ve uzun vadede ekonomik faydalar sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Kırmızıgül İE, Baykal B. Elektrikli araç tercihinde tüketici motivasyonu. Sosyal Bilimler Metinleri. 2023;2023(2):223-241.
- [2] Loganathan MK, Tan CM, Mishra B, Msagati TAM, Snyman LW. Review and selection of advanced battery technologies for post-2020 era electric vehicles. IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India). 2019;1-5. Bengaluru, India.
- [3] IEA. World Energy Outlook 2023.
- [4] Ari YO. Küresel elektrikli otomobil piyasasına genel bakış. Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. 2020;4(2):193-203.
- [5] Hamurcu M, Çakır E, Eren T. Kullanıcı perspektifli çok kriterli karar verme ile elektrikli araçlarda batarya seçimi. IJERD 2021;13(2):733-749.
- [6] Abdulvahitoğlu A, Ekmekçi Güçlüten G. Utilizing an integrated AHP-COPRAS approach for battery selection in electric vehicles. IJAET 2023;12(4):121-132

- [7] Abdulvahitoğlu A, Abdulvahitoğlu A, Kılıç M. Elektrikli araç bataryalarının bütünleşik SWARA-TOPSIS metodunun değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. 2022;37(4):1061-1076.
- [8] Shimin VV, Shah VA, Lokhande MM. Electric vehicle batteries: A selection based on PROMETHEE method. 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON). 2016;1-6. Bikaner, India.
- [9] Yücenurşen A, Samancı A. Battery selection criteria for electric vehicles: Techno-economic analysis. IJAET 2023;12(2):65-74.
- [10] Sancaklı E. Tekstil sektöründe metal aksesuar tedarikçilerinin performans değerlendirme sürecinde bulanık analitik hiyerarşi ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin uygulanması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 2019;18(35):17-41.
- [11] Oral B. Tedarikçi performans değerlendirilmesinde bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması ve tekstil sektöründe bir uygulama [yüksek lisans tezi]. Tekirdağ: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı; 2022.
- [12] Özbek A, Eren T. Üçüncü parti lojistik (3PL) firmanın analitik hiyerarşi süreciyle (AHS) belirlenmesi. IJERD 2012;4(2):46-54.
- [13] Palaz H, Kovacı A. Türk Deniz Kuvvetleri denizaltılarının seçiminin AHP ile değerlendirilmesi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi. 2008; 3:53-60.
- [14] Brauers WK, Zavadskas EK. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. Control and Cybern. 2006;35(2):445-469.
- [15] Karaca T. Proje yönetiminde çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak kritik yolun belirlenmesi, yüksek lisans tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2011.
- [16] Ersöz F, Atav A. Çok kriterli karar verme problemlerinde MOORA yöntemi. KHO Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması. 2011.
- [17] Podvezko V. The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. Inzinerine Ekonomika - Engineering Economics. 2011;22(2):134-146.
- [18] Aksoy E, Ömürbek N, Karaatlı M. AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 2015;33(4):1-28.
- [19] Zavadskas EK, Kaklauskas A, Turskis Z, Tamosaitiene J. Contractor selection multi-attribute model applying COPRAS method with grey interval numbers. In: International Conference 20th EURO Mini Conference "Continuous Optimization and Knowledge-Based Technologies" (EuroOPT-2008); 2008 May 20-23; Neringa, Lithuania. 2008. p. 241-247.
- [20] Özdağoğlu A. Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS örneği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi. 2013;8(2):229-252.
- [21] Aktaş M, Baygüneş B, Kıvrak S, Çavuş B, et al. Elektrikli araç için düşük maliyetli bir batarya yönetim sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2020;227-238.
- [22] Apata O, Bokoro PN, Sharma G. Department of Electrical Engineering Technology, University of Johannesburg, Johannesburg 2028, South Africa. Energies. 2023;16(14):5274.
- [23] Güven CE, Gedik K. Ömrünü tamamlamış elektrikli araç bataryalarının çevresel yönetimi. Journal of the Institute of Science and Technology. 2019;9(2):726-737.
- [24] Üçtuğ FG. Türkiye'de üretilen elektrikli ve içten yanmalı motorlu araçların karşılaştırmalı çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi. Düzce University Journal of Science and Technology. 2022;10(4):1701-1714.
- [25] Gülcan MF, Alkan E, Çotuker O, Yuca Doğdu N. Lityum iyon batarya üretiminde kullanılan hammaddelerin incelenmesi ve Türkiye'nin batarya üretim potansiyelinin irdelenmesi. BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi. 2024;11(1):204-217.
- [26] Muratoğlu Y, Alkaya A. Elektrikli araç teknolojisi ve pil yönetim sistemi incelemesi. Elektrik Mühendisliği. 2016;(458):10-14.
- [27] Jia Ying Y. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. Renewable Sustainable Energy Rev. 2015; 49: 365-385.
- [28] Turğut M. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018.
- [29] Rigan M. Batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2020.
- [30] Yu H., Xie T., Paszczynski S., Wilamowski B.M. Advantages of radial basis function networks for dynamic system design. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2011; 58 (12): 5438-5450.
- [31] Kuşunoğlu S. Atık çinko-karbon ve alkali pillerden çinko ve mangan geri kazanılması. Doktora, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [32] Sayılğan E. Kullanılmış pillerden çinko ve mangan metallerinin geri kazanımı ekonomik analiz ve matematik modelleme. Doktora, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.
- [33] Cluzel C, Douglas C. Cost and performance of EV batteries. Final Report for The Committee on Climate Change; 2012.
- [34] Yong JY, Ramachandaramurthy VK, Tan KM, Mithulananthan N. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. Renewable Sustainable Energy Rev. 2015;49:365-385.