

STANDART SAPMA TÜMLEŞİK MARCOS YÖNTEMİ İLE HİBRİT SUV OTOMOBİL SEÇİMİ

Dr. Adnan ABDULVAHİTOĞLU

Department of Industrial Engineering/Mudanya University ÇađrıŐan
ORCID: 0000-0002-2659-6709

Doç. Dr. AŐlı ABDULVAHİTOĞLU

Department of Mechanical Engineering / Adana Alparslan TÜRKEŐ Science and Technology
University
ORCID: 0000-0002-3603-6748

ÖZET

Otomotiv Sektörü, diğer sanayi kolları ve endüstrilerle yakın bir ilişki içinde çalıŐtıđı için dünya ekonomisini derinden etkilemektedir. Otomotiv endüstrisi, pek çok sektörden girdi olarak ve verdiği çıktılarla pazarlama, lojistik, enerji gibi alanlarda geniŐ bir iŐ yelpazesi oluŐturarak küresel gelişim ve ekonomik büyümenin lokomotifi haline gelmektedir. Bu nedenle, diğer sektörlerdeki teknolojik gelişmeler otomotiv sektörünü doğrudan ve olumlu yönde etkilemektedir. Otomotiv firmaları yoğun bir küresel rekabet içerisinde her geçen gün daha sürdürülebilir, daha teknolojik, daha konforlu ve daha ekonomik ürünlerle piyasada yer almaktadır. Özellikle küresel ısınmanın azaltılması ve iklim deđiŐikliđinin nlenmesine yönelik çalışmalar, otomotiv sektöründe büyük bir değişim ve dönüŐüm sürecini başlatmıştır. Otomotiv endüstrisindeki bu hızlı geliŐimle birlikte, tamamen elektrikli (EA), fişe takılabilir hibrit elektrikli (FHEA) ve hibrit elektrikli (HEA) araçlar, karbon emisyonlarını azaltma ve daha sürdürülebilir bir dünya oluŐurma amacıyla tüketicilerin beğenisine sunulmaktadır. Bu araçların avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirildiğinde, birçok tüketicinin tam elektrikli araçlara (EA) hl tereddütle yaklaŐtıđı, değişik endiŐelerden dolayı İçten Yanmalı Motorlu (İYM) araçlardan vazgeçemediği görülmektedir. Bu tüketiciler daha çok HEA kullanmak istemekte, ancak hangi marka ve model aracın daha iyi bir tercih olacağı konusunda karar verme aŐamasında zorlanmaktadırlar. Bu alıŐmada HEA satın almak isteyen tüketiciler karar desteği vermek maksadıyla, çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Standart Sapma ve MARCOS yntemlerinin bir arada kullanıldığı bir model nerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Ara, SUV Hibrit Ara, KKV, Standart Sapma, MARCOS.

HYBRID SUV CAR SELECTION WITH STANDARD DEVIATION INTEGRATED MARCOS METHOD

ABSTRACT

The automotive sector has a profound impact on the global economy as it operates in close connection with various branches of industry. The automotive industry serves as a driving force for global development and economic growth by creating a wide range of business opportunities in areas such as marketing, logistics, and energy, fueled by inputs and outputs from numerous sectors. Consequently, technological advancements in other industries directly and positively influence the automotive sector. In an intensely competitive global market, automotive companies consistently introduce products that are more sustainable, technologically advanced, comfortable, and economical.

Particularly, efforts to mitigate global warming and combat climate change have triggered a significant transformation in the automotive industry. Amid this rapid evolution, fully electric (EV), plug-in hybrid electric (PHEV), and hybrid electric (HEV) vehicles have been introduced to reduce carbon emissions and promote a more sustainable world. However, when the advantages and disadvantages of these vehicles are evaluated, many consumers remain hesitant about fully electric vehicles (EVs) and continue to favor Internal Combustion Engine (ICE) vehicles due to various concerns. These consumers often prefer HEA but face challenges in deciding which brand or model would be the best choice. To address this issue, this study proposes a model that integrates the Standard Deviation and MARCOS methods from Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques to provide decision support for consumers considering the purchase of an HEV.

Keywords: Electric Vehicle, SUV Hybrid Vehicle, MCDM, Standard Deviation, MARCOS.

1. GİRİŞ

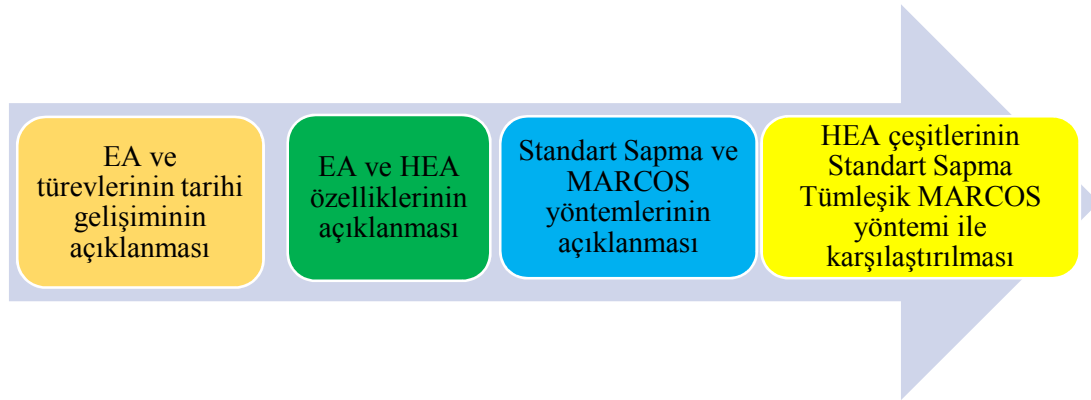
Küreselleşme, ulaşım imkanlarındaki artış ve iletişim teknolojilerindeki gelişim ve değişim ile dünya nüfusunun 8 milyarlı rakamlara ulaşması, birçok hayat probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunlardan birisi de trafiğe çıkan araç sayısındaki artışın neden olduğu trafik sıkışıklığı, yoğun CO2 salınımı, hava kirliliği ve nihayetinde küresel iklim değişikliğidir. İçten Yanmalı Motor (İYM)'lu araçlarda kullanılan fosil yakıt türevleri, hem çevreye zarar vermekte hem de her geçen gün daha fazla tükenmektedir. Bu noktada alternatif yakıt kaynaklarının özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ihtiyacı, daha yaşanabilir bir dünya için zaruretini ötesine geçmektedir.

Bu bağlamda Avrupa ve Amerika'da 1800'li yılların sonunda ilk EA'lar üretilmiştir. Hatta 1900'li yılların ilk çeyreğinde EA'lar altın çağını yaşamıştır. Ancak Ford K ve T modellerin seri üretimi ile İYM'lu araçların yaygınlaşması ve daha ucuz olması EA'ların sonunu getirmiştir (Güner, 2013). 1970'li yıllarda yaşanan soğuk savaş ve dünya enerji krizi EA'ların tekrar gündeme gelmesine neden olmuştur (Sandalow, 2009). 21.yüzyılda elektrikli makineler, batarya ve güç elektriği alanında yaşanan gelişmeler bu noktada etkili olmuştur (Abdulvahitoğlu vd., 2022). Bu kapsamda Türkiye'de 2010 yılında yapılan mevzuat çalışmaları ile EA türevleri ile ilgili yönetmelik çıkarılmış ve Tamamen Elektrikli Araç (EA), Hibrit Elektrikli Araç (HEA), Plug-in Elektrikli Araç (PHEA) tanımlamaları yapılmıştır (Sezen ve İşler, 2017).

EA çalışmalarındaki gelişmeler, İYM'lu araçlardan EA'lara hızlı bir dönüş süreci başlatmıştır.

Daha verimli bataryaların geliştirilmesi ve kullanılmaya başlanması en büyük sorun olan menzil sorununu ortan kaldırmış, EA kullanımının artmasına katkı sağlamıştır. Bu kapsamda öncelikle HEA'lar geliştirilmiş, ancak bu araçlarda İYM kullanımı devam ettiği için CO2 salınımında beklenen azalma olmamıştır. Bu yüzden bu araçların elektrik enerjisi kullanımının artırılması için daha geliştirilmiş batarya sistemleri ve bunların fişe takılarak şarj edilenleri PHEA'lar üretilmeye başlanmıştır. Nihayetinde menzili 1000 km.'ye kadar değişen batarya sistemlerine sahip EA'lar piyasada yer almaya başlamıştır (Abdulvahitoğlu ve Abdulvahitoğlu, 2023).

Literatürde; Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle EA seçimi (Abdulvahitoğlu vd., 2022a), EA bataryalarının ÇKKV yönetimleri ile değerlendirilmesi (Abdulvahitoğlu vd., 2022b), EA, HEA ve PHEA araçların SWOT analizi ile karşılaştırılması (Abdulvahitoğlu ve Abdulvahitoğlu, 2023), ÇKKV yöntemleri ile akademisyenlerin SUV araç seçimi (Abdulvahitoğlu ve Abdulvahitoğlu, 2019), CRITIC-EATWIOS yöntemleri ile EA performanslarının değerlendirilmesi (Büyükselçuk ve Tozan , 2022), EA'ların performans değerlendirilmesi (Baghdadi vd., 2013), EA'ların enerji yönetim algoritmalarının tasarlanması (Başlamışlı ve İnce, 2022), vb çalışmalar yapıldığı ancak, sadece HEA-SUV araçların Standart Sapma ve MARCOS yöntemlerin tümleşik kullanımı ile karşılaştırıldığı bir çalışma tespit edilmemiştir. Bu çalışma Şekil 1'de gösterilen aşamalardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Çalışmanın aşamaları

2. MATERYAL VE METOD

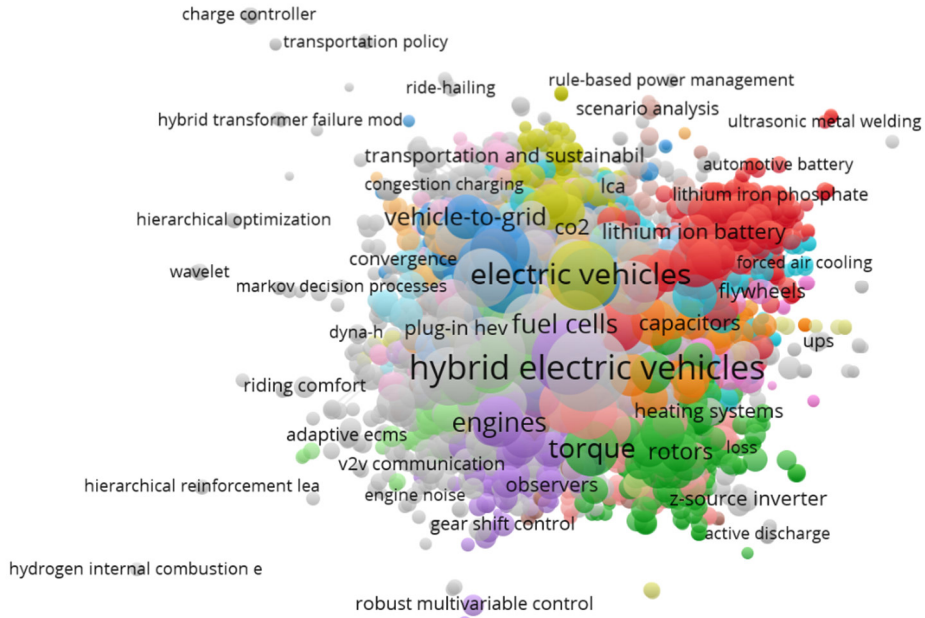
Günümüzde küresel iklim değişikliği ile mücadele kapsamında öncelikle fosil yakıtların kullanımının asgari seviyeye indirilmesi, yeşil enerji kaynaklarının kullanılması ve sürdürülebilir mühendislik uygulamalarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda son yıllarda öne çıkan EA teknolojilerinde ümit verici gelişmeler yaşanmaktadır. Ancak hala bazı dezavantajlardan dolayı insanlar tamamen EA'lara geçme konusunda tereddüt yaşamamasına, özellikle 2024 yılı sonunda yaşanan ekonomik ve politik gelişmeler EA kullanımında yeni tereddütler ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu bağlamda daha az tereddüt yaşanan ilk EA türevi olan HEA'lar ele alınmış, hâlihazırda orta sınıf HEA SUV araçlar karşılaştırılarak tüketicilere HEA seçiminde bir karar desteği verilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla ÇKKV yöntemlerinden Standart Sapma yöntemi araç özelliklerinin önem derecelerinin bulunması için, en yeni ÇKKV yöntemlerinden biri olan MARCOS yöntemi ise seçeneklerin karşılaştırması için kullanılmıştır.

2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA)

18. yüzyılda başlayan ilk EA çalışmaları 1835'da Stratingh'ın ilk elektrikli otomobili ve 1938'de Davidson'un elektrikli lokomotifini ile hayat bulmuştur. 1842'de kurşun-asit akülerin geliştirmesi ile EA'lar 1900'lü yılların başına kadar piyasada yer almıştır (Sayın ve Yüksel 2011). Daha sonraları İYM'lu araçların geliştirilmesi ve daha ucuz olması ile piyasadan çekilmiştir.

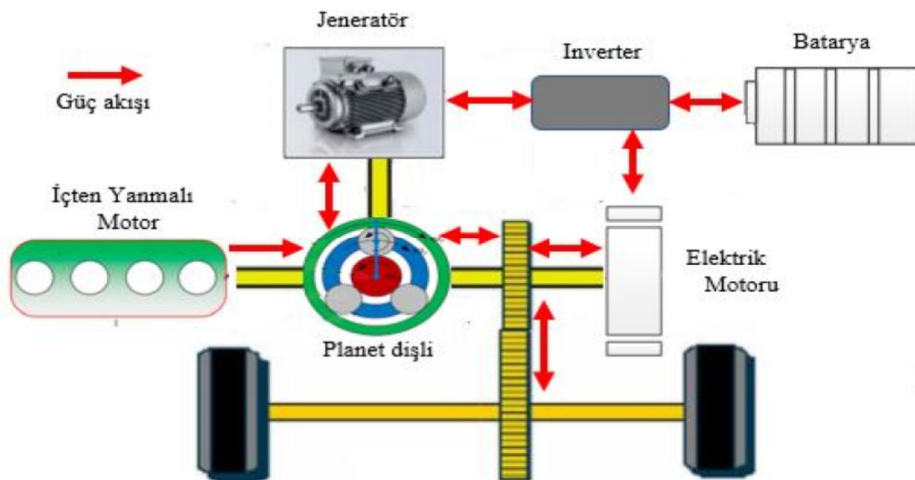
1960'lı yıllardan itibaren fosil yakıt kaynaklı hava kirliliği, küresel iklim değişikliği, petrol krizi, soğuk savaş ve diğer politik gelişmelerden dolayı EA'ların kullanımı ve geliştirilmesi tekrar gündeme gelmiştir (Kerem, 2014). 1900'lü yılların son çeyreğinde Honda, Toyota, Nissan, Ford gibi markalar EA üretimi yapmışlar ancak yeteri kadar ilgi uyandıramamışlardır. Tesla'nın 21.yüzyılın başında Lityum-iyon bataryaları geliştirmesi EA çalışmaları ve kullanımının önünü açmıştır.

Web of Science’te Vosviewer kullanılarak yapılan analiz sonucunda tespit edilen HEA konulu çalışmaların aşağıda Şekil 2.’de gösterildiği gibi EA konulu çalışmaların merkezinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 2. HEA konulu çalışmalar

Türkiye’de yoğun bir şekilde EA çalışmaları devam etmekte olup, EA kullanımının 2030 yılına kadar 2,5 milyon rakamına ulaşması beklenmektedir. Ancak EA kullanımının beklenenden daha hızlı artması durumunda. Türkiye’de mevcut elektrik altyapısının bu durumu kaldıramayacağından 2025 yılından itibaren acilen elektrik dağıtım şebekeleri başta olmak üzere altyapı sorunun çözülmesine yönelik çalışmalara başlanması gerekmektedir (Tör vd., 2021). HEA’larda İYM’lara ilave olarak pillerden de güç sağlanır. Tamamen EA’larda ise İYM bulunmaz. EA, HEA ve PHEA başlıkları altında ele alınan EA türlerinden (Tören ve Mollahasanoğlu, 2022) HEA’ların yapısı Şekil 3.’te gösterilmiştir.

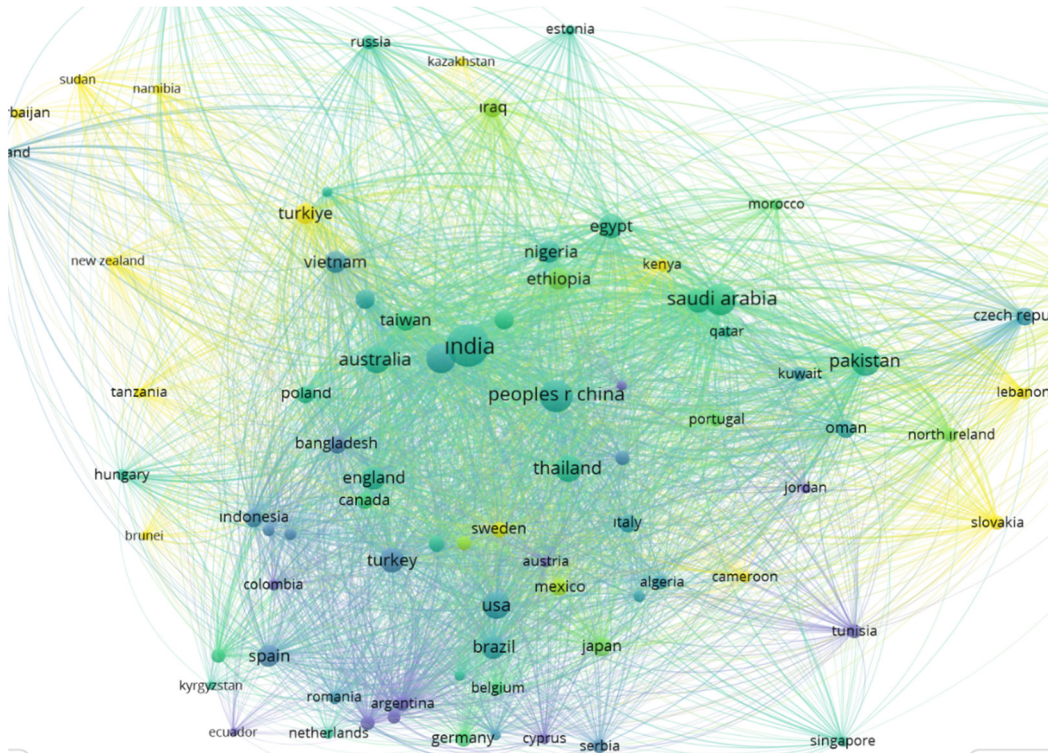


Şekil 3. HEA’ların yapısı (Gül vd., 2023).

HEA'lar, İYM ile birlikte çalışan küçük bir elektrik motoru(EM)'yla yakıt verimliliğinin artırılmasını ve emisyonların azaltılmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu otomobillerdeki otomatik dur-kalk sistemi ile rejeneratif frenleme sistemi gibi özellikler enerji tasarrufu sağlar. EM, içten yanmalı motora ekstra güç sağlayarak yakıt tüketimini azaltır ve performansı artırır. İYM de fren sistemi vb faktörlerde EM'un şarj olmasını sağlar.

EA ve PHEA'lara göre daha küçük batarya ve EM'una sahip olan HEA'ların, tamamen elektrikli menzilleri sınırlı ve kısadır. Ancak İYM ile birlikte kullanıldığı için ayrıca bir şarj sistemi veya süresine ihtiyaç duymaz. Çevre dostu, sürdürülebilir ve tasarruflu bir seçenek olan HEA'lar, tamamen EA'lara geçişte bir köprü görevi görmektedir. Bu bağlamda HEA'lar, İYM ile EM'un gücünü ve kullanım avantajlarını birleştirerek araç performansı ile çevresel sürdürülebilirlik arasında uyumlu ve dengeli bir çözüm getirmektedir.

HEA'lar, yakıt tasarrufu ve yüksek performans avantajlarıyla otomotiv sektöründe öne çıkmaktadır. EA'ların yüksek maliyetleri, güvenlik ve menzil sorunları, alıcıları daha erişilebilir bir seçenek olan HEA'lara yönlendirmektedir. 2024 yılı başına kadar tamamen EA'lara geçmeyi planlayan otomotiv devlerinin değişik sebeplerden dolayı HEA'lara yöneldikleri görülmektedir. Örneğin İsveç'li Volvo firması, 2030'da tamamen elektrikli üretime geçmeyi planlarken, bu süreçte hibrit satışlarını artırmayı hedefliyor ve 2024 sonuna kadar satışlarının %90'ının hibrit ve elektrikli modellerden oluşmasını bekliyor. Bir dünya markası olan Ford ise, tamamen elektrikli SUV planlarından vazgeçerek hibrit sistemlere yatırım yapacağını açıkladı. Hyundai hibrit modellerini 14'e çıkarırken, Volkswagen de hibrit yatırımlarını genişletiyor (Gerçekgündem, 2024). Web of Science'te Vosviewer kullanılarak yapılan analiz sonucunda dünyada HEA konulu çalışma yapılan ülkelerin başında aşağıda Şekil 4.'te gösterildiği gibi Çin, Hindistan ve ABD gelmektedir.-



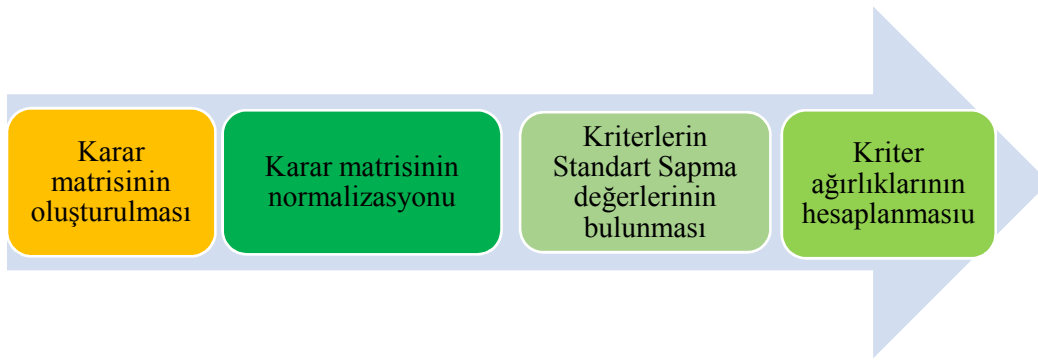
Şekil 4. HEA konulu çalışma yapılan ülkeler

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

ÇKKV teknikleri, karar vermede farklı görüşleri, değişkenleri ve büyük karmaşık verileri birlikte ele almak için 1960'lı yıllardan itibaren geliştirilmeye ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Afshari ve Ark., 2016). Karar verme sürecinde, seçenekler ile bu seçeneklerin tercihini etkileyen faktörlerin sayısı önemlidir. Seçenek ve faktör sayısının artması, karar verme sürecini zorlaştırdığından optimum çözümlere ulaşmak ve optimum kararları verebilmek için ÇKKV tekniklerine ihtiyaç duyulur (Abdulvahitoğlu vd., 2024).

2.2.1. Standart Sapma Yöntemi

Çok kriterli karar problemlerinde kriterlerin önem derecelerinin objektif olarak ortaya konması gerekmektedir (Petrović vd., 2023). Kriterlerin objektif verilerden oluşması ve bu verilerin pozitif, negatif veya sıfır değerine sahip olması durumuna bakmaksızın kullanılabilmesinden dolayı araştırmacılarca sıklıkla ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin adımları Şekil 5.'de gösterilmiştir (Abdulvahitoğlu ve Abdulvahitoğlu, 2023).



Şekil 5. Standart Sapma yönteminin aşamaları

Standart Sapma yöntemi 5 adımda uygulanır. Bunlar (Abdulvahitoğlu vd., 2023);

1.Adım. Karar matrisinin oluşturulması: Öncelikle formül (1) ile bir başlangıç matrisi oluşturulur.

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

2.Adım. Karar matrisinin normalize edilmesi: X Karar matrisi formül (2) ile normalize edilir.

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

3.Adım. Parametrelere ait Standart Sapma değerlerinin elde edilmesi: formül (3) kullanılarak hesaplanır.

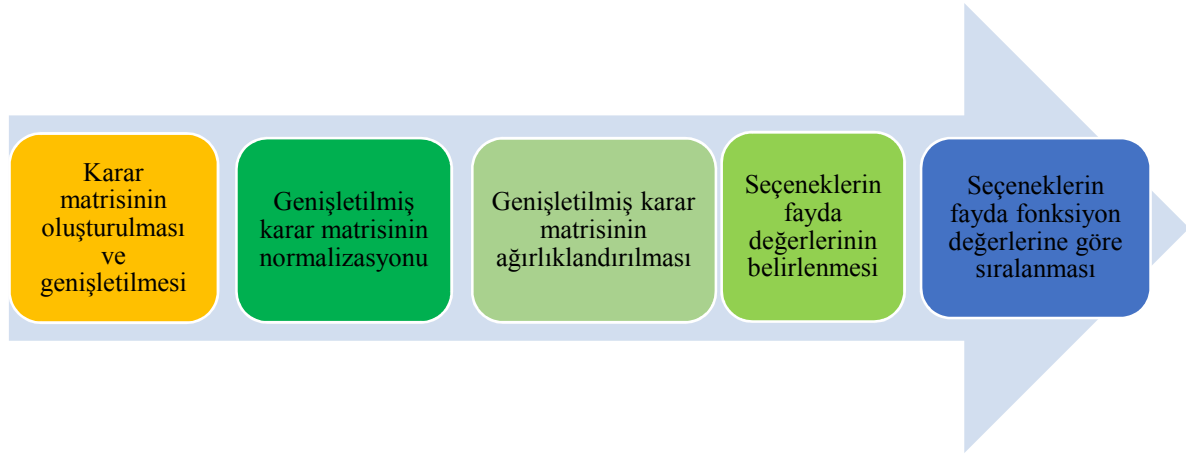
$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_{ij})^2}{m}} \quad (3)$$

4. Adım. Parametrelerin ağırlıklarının elde edilmesi: formül (4) ile her kriterin standart sapma değeri, standart sapma değerlerinin toplamına bölünür. Ortaya çıkan sonuçlar kriterlerin önem derecelerini ifade eder.

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{i=1}^n \sigma_j} \quad (4)$$

2.2.2. MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking According to Compromise Solution) Yöntemi

Türkçesi Uzlaşma Çözümüne göre Seçeneklerin Ölçümü ve Sıralanması olan MARCOS yöntemi Stević vd., (2020) tarafından 2020 yılında geliştirilmiş yeni ÇKKV tekniklerinden biridir. Bu yöntem ile seçenekler ve bunların referans değerleri, pozitif ve negatif seçenekler arasındaki ilişki temel alınarak belirlenir (Altıntaş, 2022). Optimum seçenek ideale en yakın ve referans değere en uzak olan seçenektir (Stević ve Brković, 2020). Fayda yönlü (max) kriterlerde en büyük değer, maliyet yönlü (min) kriterlerde ise en küçük değere sahip seçenek en iyi karardır (Chattopadhyay vd., 2020). MARCOS yönteminin adımları aşağıda Şekil 6.'da gösterilmiştir.



Şekil 6. MARCOS yönteminin adımları

MARCOS yönteminin adımları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır (Puska vd., 2021).

1. Adım. Başlangıç matrisinin oluşturulması: Formül (5) kullanılarak başlangıç karar matrisi oluşturulur.

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

2. Adım. Başlangıç matrisinin genişletilmesi: Pozitif (P) ve negatif (N) kriter değerleri Formül (6) ile başlangıç matrisine eklenerek elde edilir. N ve P değerlerin bulunmasında fayda yönlü kriterler için Formül (7)'den, maliyet yönlü kriterler için Formül (8)'den faydalanılır.

$$X = \begin{bmatrix} N_{i1} & N_{i2} & \dots & N_{in} \\ X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{in} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{cases} P = \max_i x_{ij} & j \in B \\ N = \min_i x_{ij} & j \in B \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} N = \max_i x_{ij} & j \in C \\ P = \min_i x_{ij} & j \in C \end{cases} \quad (8)$$

3. Adım. Genişletilmiş X matrisin normalize edilmesi: X matrisinin genişletilmiş hali fayda yönlü kriterlerde Formül (9), maliyet yönlü kriterlerde Formül (10) kullanılarak normalize edilir.

$$d_{ij} = \frac{x_{ij}}{P_i}, \quad j \in B \quad (9)$$

$$d_{ij} = \frac{N_i}{x_{ij}}, \quad j \in C \quad (10)$$

4. Adım. D standart matrisinin ağırlıklandırılması. X matrisinin standart hale getirilmesi ile elde edilen D matrisi daha önce Standart Sapma yöntemi kullanılarak elde edilen ağırlıklar ile çarpılarak Formül (11)'de gösterilen ağırlıklandırılmış genişletilmiş normalize matris V elde edilir.

$$v_{ij} = d_{ij} * w_j \quad (11)$$

5. Adım. Seçeneklerin fayda derecelerinin hesaplanması. Öncelikle Formül (12) ile ağırlıklı matrisin satır toplamları bulunur. Daha sonra pozitif çözüme göre fayda dereceleri Formül (13), negatif çözüme göre fayda dereceleri Formül (14) kullanılarak bulunur.

$$D_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (12)$$

$$K_1^+ = \frac{S_i}{S_{pi}} \quad (13)$$

$$K_1^- = \frac{S_i}{S_{ni}} \quad (14)$$

6. Adım. seçeneklerin fayda fonksiyonlarının hesaplanması. fayda fonksiyon değerleri pozitif çözüme göre Formül (15), negatif çözüme göre ise Formül (16) kullanılarak hesaplanır.

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^- + K_i^+} \quad (15)$$

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^- + K_i^+} \quad (16)$$

7. Adım. Seçeneklerin nihai fayda fonksiyon değerleri Formül (17) ile hesaplandıktan sonra seçenekler en büyükten en küçüğe doğru sıralanır.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1-f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1-f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (17)$$

3. HEA ÇEŞİTLERİNİN STANDART SAPMA TÜMLEŞİK MARCOS YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu araştırmada Türkiye’de orta segmentte yaygın olarak bilinen değişik marka SUV HEA’lar ele alınmıştır. Bu araştırmada ilk kısıt karşılaştırılan HEA’lar ile ilgili değişik kaynaklarda değişik rakamların yer almasıdır. Bu yüzden birden fazla kaynaktan araç özellikleri teyit edilerek veriler hazırlanmıştır. İkincisi her marka ve model araç tüm özelliklerini beyan etmediği için sadece hepsinde tespit edilebilen 9 ortak özelliğe göre karşılaştırma yapılmıştır. En önemli kısıt olan maliyet ise fiyatların bayiden bayiye değişebildiği görüldüğünden, ürün fiyatları araç tercihinde çok önemli olmasına rağmen okuyucuları yanlış yönlendirmem için değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Çoğunluğu araç markalarının internet sitelerinden derlenerek hazırlanan başlangıç matrisi aşağıda Çizelge 1.’de gösterilmiştir

Çizelge 1. Farklı marka ve model HEA özellikleri (yazar tarafından oluşturulmuştur)

	Birleşik yakıt tüketimi lt/100km	Birleşik CO2 salınımı gr/km	Dönüş çapı (m)	Hızlanma (0-100 km/s)	Ağırlık (Kg)	Bagaj hacmi (lt)	Birleşik max. Torque (Nm)	Yakıt depose (lt)	Birleşik max. güc. (hp)
Kriter Yönü	min	min	min	min	min	max	max	max	max
Toyota Yaris Cross Hybrid 1.5 92 PS e-CVT	4,8	109	11	11,2	1290	397	141	36	116
Renault Duster evolution mild hybrid advanced 130 hp	6	136	10,86	11	1390	520	230	50	97
Ford Puma Titanium 125 ps MHEV DC7	5,6	127	10,4	9	1373	456	240	42	155
Fiat Egea Cross 1.5 T4 Hibrit 130 HP Otomatik Lounge	5,4	124	10,9	9	1350	440	240	50	130
Kia Niro Hibrit 1.6 141 PS DCT Prestige	4,6	106	10,6	10,8	1425	421	265	45	141
Hyundai Kino 1.6 GDI HEV 6 DCT Hibrit	4,8	108	10,6	12	1485	466	265	38	141
Peugeot SUV 3008 136hp eDCS6	5,7	128	10,6	10	1478	520	230	53	136
Suzuki 1.4L Boosterjet 48V SHVS Mild Hybrid	5,9	132	10,4	9,5	1240	430	235	47	129
Fiat 500 X 1.5 T4 Hybrid Cross Plus Otomatik	5,6	122	11,05	9,4	1405	350	240	48	130

Başlangıç matrisinin (1)-(4) numaralı formüller ile değerlendirilmesi ile elde edilen kriter ağırlıkları Çizelge 2.’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kriterlerin ağırlıkları

Kriterler	Birleşik yakıt tüketimi lt/100km	Birleşik CO2 salınımı gr/km	Dönüş çapı (m)	Hızlanma (0-100 km/s)	Ağırlık (Kg)	Bagaj hacmi (lt)	Birleşik max. Tork (Nm)	Yakıt deposu (lt)	Birleşik max. güç (hp)
Ağırlıklar	0,11055	0,11033	0,10840	0,11102	0,10912	0,11198	0,11424	0,11218	0,11219

Kriter ağırlıkları Satndart Sapma yöntemi ile hesaplandıktan sonra seçeneklerin sıralanması için MARCOS yöntemi kullanılır. MARCOS yönteminde (5)-(11) numaralı formüller uygulanarak elde edilen ağırlıklandırılmış genişletilmiş normalize matris Çizelge 3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Ağırlıklandırılmış genişletilmiş normalize matris

	Birleşik yakıt tüketimi lt/100km	Birleşik CO2 salınımı gr/km	Dönüş çapı (m)	Hızlanma (0-100 km/s)	Ağırlık (Kg)	Bagaj hacmi (lt)	Birleşik max. Tork (Nm)	Yakıt deposu (lt)	Birleşik max. güç (hp)
Kriter Yönü	min	min	min	min	min	max	max	max	max
s-	0,110554	0,110328	0,108399	0,111016	0,109119	0,075372	0,060782	0,076196	0,077179
s1	0,138192	0,137657	0,108892	0,118946	0,125614	0,085494	0,060782	0,076196	0,092296
s2	0,110554	0,110328	0,110296	0,121108	0,116577	0,111982	0,099148	0,105828	0,077179
s3	0,118451	0,118147	0,115174	0,148021	0,118021	0,098199	0,103459	0,088896	0,123327
s4	0,122838	0,121005	0,109891	0,148021	0,120031	0,094754	0,103459	0,105828	0,103435
s5	0,144201	0,141553	0,113001	0,123351	0,113714	0,090662	0,114236	0,095246	0,112188
s6	0,138192	0,138932	0,113001	0,111016	0,109119	0,100353	0,114236	0,08043	0,112188
s7	0,116373	0,117224	0,113001	0,133219	0,109636	0,111982	0,099148	0,112178	0,108209
s8	0,112428	0,113671	0,115174	0,140231	0,130679	0,0926	0,101303	0,099479	0,10264
s9	0,118451	0,122989	0,108399	0,141723	0,115333	0,075372	0,103459	0,101595	0,103435
s+	0,144201	0,141553	0,115174	0,148021	0,130679	0,111982	0,114236	0,112178	0,112188

Çizelge 3.'te belirtilen özelliklerden beş tanesi maliyet yönlü dört tanesi ise fayda yönlüdür. (12)-(17) numaralı formüller kullanılarak seçeneklerin nihai fayda fonksiyon değerleri bulunmuş olup, elde edilen değerler Çizelge 4.'te seçeneklerin sıralaması ise Çizelge 5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Seçeneklerin sıralanmasında kullanılan değerler

S. Nu.	Seçenek	Kİ+	Kİ-	Kİ- +Kİ+	f(Kİ+)	f(Kİ-)	1- f(Kİ+)	1- f(Kİ-)	f(Kİ)
1	Toyota Yaris Cross Hybrid 1.5 92 PS e-CVT	0,84	1,13	1,96	0,57	0,43	0,43	0,57	0,63
2	Renault Duster evolutionmild hybrid advanced 130 hp	0,85	1,15	2,00	0,57	0,43	0,43	0,57	0,65
3	Ford Puma Titanium 125 ps MHEV DC7	0,91	1,23	2,14	0,57	0,43	0,43	0,57	0,69
4	Fiat Egea Cross 1.5 T4 Hibrit 130 HP Otomatik Lounge	0,91	1,23	2,14	0,57	0,43	0,43	0,57	0,69
5	Kia Niro Hibrit 1.6 141 PS DCT Prestige	0,93	1,25	2,18	0,57	0,43	0,43	0,57	0,70
6	Hyundai Kino 1.6 GDI HEV 6 DCT Hibrit	0,90	1,21	2,11	0,57	0,43	0,43	0,57	0,68
7	Peugeot SUV 3008 136hp eDCS6	0,90	1,22	2,12	0,57	0,43	0,43	0,57	0,69
8	Suzuki 1.4L Boosterjet 48V SHVS Mild Hybrid	0,89	1,20	2,09	0,57	0,43	0,43	0,57	0,68
9	Fiat 500 X 1.5 T4 Hybrid Cross Plus Otomatik	0,88	1,18	2,06	0,57	0,43	0,43	0,57	0,67

Çizelge 5. Seçeneklerin Sıralaması

S. Nu	Fayda değeri	HEV
1	0,704573	Toyota Yaris Cross Hybrid 1.5 92 PS e-CVT
2	0,693511	Renault Duster Evolutionmild Hybrid Advanced 130 hp
3	0,691877	Ford Puma Titanium 125 ps MHEV DC7
4	0,686302	Fiat Egea Cross 1.5 T4 Hibrit 130 HP Otomatik Lounge
5	0,683947	Kia Niro Hibrit 1.6 141 PS DCT Prestige
6	0,677722	Hyundai Kino 1.6 GDI HEV 6 DCT Hibrit
7	0,665992	Peugeot SUV 3008 136hp eDCS6
8	0,647335	Suzuki 1.4L Boosterjet 48V SHVS Mild Hybrid
9	0,634609	Fiat 500 X 1.5 T4 Hybrid Cross Plus Otomatik

SONUÇ

21.yüzyılın başlarında Tesla'nın batarya teknolojisinde yaptığı yenilik ile EA teknolojisindeki değişim ve gelişimin ivme kazanması ile büyük ve önemli gelişmelerin önü açılmıştır. Başlangıçta İYM'lu motorla çalışan araçların yerini alması beklenen EA çalışmalarında özellikle gelişmiş ülkeler 2025 yılından itibaren kademeli geçişi öngörmüşlerdir. EA'ların maliyeti zamanla yavaş yavaş düşmüş ve 1000km menzile ulaşabilen bataryalar geliştirilmiştir. Buna rağmen özellikle Kasım 2024 ABD seçimleri ile başta Uzak Doğu ve Avrupa olmak üzere tüm dünyada yaşanan ekonomik ve politik gelişmeler sonucu büyük otomotiv firmaları İYM'lu araçlarla bir süre daha devam etme kararı almışlardır. Bu bağlamda İYM kullanımının olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için HEA'lara yatırım yapma kararı aldıklarını da açıklamaya başlamışlardır. Bu değişimde Çin'in EA teknolojilerinde çok ileri gitmiş olması ve dünya otomotiv devleri ile batının petrol devlerinin ekonomik kaygıları etkili olmuştur.

EA'larda yaşanan başta güvenlik olmak üzere şarj için elektrik dağıtım şebekelerinin yetersizliği ve karbon ayak izi sorunları bu kaygıların daha da artmasına neden olmuştur. Bu yüzden bu çalışmada HEA'lar üzerinde durulmuş, önümüzdeki süreçte HEA'ların popülerliğinin aratacağı düşünülerek HEA sahibi olmak isteyen tüketicilere marka ve model seçiminde karar desteği sağlanmasına yönelik bir model oluşturulmuştur. Sonuç olarak büyük otomotiv devleri, EA teknolojisinde ve üretiminde Çinli otomobil firmaları ile rekabet edebilir seviyeye geldiğinde, dünyada yeşil enerji üretimi arttığında ve rüzgar, fotovoltaik, rejeneratif gibi kaynaklar ile tamamen kendi kendini şarj edebilen EA'ların geliştirilmesiyle çok daha farklı ve gelişmiş EA modellerinin yollarda yaygın olarak yer alması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A. ve Vural, D. (2022a). Elektrikli Otomobil Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme: Borda Tümlenmiş MULTIMOORA Yöntemi. 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences. November 10-13, 2022, Konya, Türkiye.

Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A. ve Kılıç, M., (2022b). Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4).1061-1076.

Abdulvahitoğlu, A. ve Abdulvahitoğlu, A., (2023). Hibrit Elektrikli Araçlar, Fişe Takılabilir Hibrit Elektrikli Araçlar Ve Tamamen Elektrikli Araçların Swot Analizi İle Karşılaştırılması. ISARC 6. International Hasankeyf Scientific Research and Innovation Congress, 18-19 November 2023, Batman, Türkiye.

Abdulvahitoğlu, A. ve Abdulvahitoğlu, A., (2019). An Academic View to Suv Car Preferences: Car Selection with Multi-Criteria Decision Making Techniques. Techno-Science, 2nd International Conference on Technology and Science, Burdur, 14-16 Nov. 2019,

Abdulvahitoğlu, A., Vural, D. ve Macit, İ., (2024). Selecting Facility Location of Gendarmerie Search and Rescue (GSR) Units; An Analysis of Efficiency in Disaster Response. Computers & Industrial Engineering, 197;110639,

Afshari, A., Vatanparast, M., ve Čočkaló, D., (2016). Application of Multi Criteria Decision Making to Urban Planning - A Review. Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC), 6:46–53.

Altıntaş, F.F.. (2022). Avrupa Ülkelerinin Enerji İnovasyonu Performanslarının Analizi: Mabac ve Marcos Yöntemleri İle Bir Uygulama, İşletme Akademisi Dergisi, 3 (2):188-216.

Baghdadi, M. E., Vroey, L.D., Coosemans, T., Mierlo, J. V., Foubert, W.ve. Jahn, R., (2013). Electric vehicle performance and consumption evaluation. World Electric Vehicle Journal, 6, 30–37.

Başlamışlı, S. Ç., & İnce, B. (2020). Şehir içi hibrit otobüslerin yakıt ekonomisi iyileştirilmesi için enerji yönetim sistemi algoritmalarının tasarımı ve uyarlanabilir bir hibrit algoritmanın geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(1), 559-576.

Chattopadhyay, R., Das, P. P., & Chakraborty, S. (2022). Development of A Rough Metamodel for Supplier Selection in An Iron and Steel Industry. Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications, 1-21.

Çaloğlu Büyükselçuk, E., & Tozan, H. (2022). Elektrikli Araçların Performanslarının CRITIC-EATWIOS ile Değerlendirilmesi. Duzce University Journal of Science and Technology, 10(4), 1670-1688.