

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/364780242>

Elektrikli Otomobillerin Entropi Esaslı ARAS Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Conference Paper · October 2022

CITATIONS
0

READS
29

2 authors:



Yusuf Şahin

Burdur Mehmet Akif Ersoy University

68 PUBLICATIONS 368 CITATIONS

SEE PROFILE



Kenan Karagül

Pamukkale University

66 PUBLICATIONS 171 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İstatistiksel Metotlar ve Genetik Algoritmayla Modellenmesi [View project](#)



Vehicle Routing Problem, Travelling Salesman Problem, Transportation Problem, Julia Language [View project](#)

Elektrikli Otomobillerin Entropi Esaslı ARAS Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Yusuf Şahin^{1*}, Kenan Karagül²

¹İşletme Bölümü / Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye

²Lojistik Bölümü / Pamukkale Üniversitesi, Türkiye

*(ysahin@mehmetakif.edu.tr)

Özet – Çevre kirliliğinin insan yaşamını ciddi oranda tehdit eder hale gelmesi ülkeleri birtakım önlemler almaya yöneltmektedir. Farklı ülkelerden ardi ardına yapılan açıklamalar, önümüzdeki yirmi yıllık süreçte çevreye oldukça fazla zarar veren araçların kullanımının azaltılması için yasal önlemlerin devreye gireceğini göstermektedir. Alınan önlemlerden biri de ulaşım da halen yaygın olarak kullanılan otomobillerin zaman içerisinde kullanımının azaltılması için fosil yakıtlı araçların kullanımının yasaklanmasıdır. Bununla birlikte, otomobil üreticilerinin enerji verimi yüksek ve doğaya saygılı otomobiller üretme konusunda birbiriyle yarışa girdikleri ve kullanıcılara bu konuda daha çok seçenek sunabilir hale geldikleri görülmektedir. Ülkemizde de satılan elektrikli otomobil sayısı yıldan yıla artış göstermektedir. Otomobil satın alma kararı birden fazla kriter ve yine birden fazla alternatifin olduğu durumlarda çok kriterli bir karar problemi haline gelir. Bu kararın alınmasında kişisel tercihlerin yanı sıra otomobillerle ilgili teknik özellikler de dikkate alınır. Bu çalışmada, Türkiye’de satışta olan yüzde yüz elektrikli araçların çeşitli kriterler ile birlikte Entropi esaslı ARAS yöntemiyle değerlendirilmesi yapılmıştır. Otomobillerin alıcı tarafından değerlendirilmesinde kullanılan hızlanma, en yüksek hız, maksimum güç ve bagaj hacmi gibi standart kriterlerin yanı sıra elektrikli otomobillerde aranan şarj süresi, menzil ve pil kapasitesi gibi kriterler de değerlendirme için kullanılmıştır. Entropi yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak sekiz adet otomobil alternatifi ARAS yöntemiyle değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre yedinci alternatif menzil, fiyat, şarj süresi ve güç özelliklerinde üstünlüğü nedeniyle ilk sırada yer almıştır.

Anahtar Kelimeler – Yenilenebilir enerji, Elektrikli araba seçimi, çok kriterli karar verme, entropi, ARAS,

I. GİRİŞ

Günden güne artan küresel ısınma tehlikesi çevreyi ve buna bağlı olarak da insan yaşamını olumsuz etkilemeye başlamıştır. Bu tehlikenin en önemli kaynağı ise ulaşım da ve enerji üretiminde fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazlarıdır. Doğayı ve insan yaşamını etkileyen bu zararlı gazlar ile başa çıkmanın yegâne yolu ise ulaşım ve enerji üretiminde yenilenebilir, temiz ve ekonomik enerji üretim alternatiflerini devreye alınmasıdır [1]. Günümüzde çevre kirliliğinin en önemli etmenlerinin başında fosil yakıtlı araçlar gelmektedir. Çevresel faydaları ve yüksek enerji

verimliliği nedeniyle, elektrikli araçlara olan ilgi akademi, otomotiv endüstrisi ve devlet kuruluşlarında her geçen gün artmaktadır. Özellikle hem pille çalışan bir motor hem de içten yanmalı bir motorla donatılmış plug-in hibrit-elektrikli araçlar (PHEV) yakıt tüketimini azaltırken uzun bir menzile sahip olduğu için kentsel yeşil ulaşım modu olarak günümüzde daha fazla tercih edilmektedir [2], [3].

Otomobil sayısı açısından ülkemizin durumu incelendiğinde, 2022 yılı ağustos ayı itibari ile trafiğe kayıtlı araç sayısının 26 milyonun üzerinde olduğu ve bu araçların %54,1’ini ise otomobillerin

oluşturduğu görülmektedir [4]. Buradan hareketle, mevcut durumda trafikte 14 milyon civarında otomobilin bulunduğu söylenebilir. Bu rakamın ise yaklaşık %10'luk kısmını hibrit ve elektrikli arabalar oluşturmaktadır [5]. Gerek çevresel duyarlılık gerekse yakıt maliyetlerindeki artış nedeniyle her geçen gün toplam araç sayısındaki payı artan hibrit ve elektrikli araçlar otomobil üreticilerinin de bu alana yönelmesini sağlamıştır. Önümüzdeki 20 yıllık süreçte özellikle dizel araçların kullanımı ile ilgili birçok ülkede yasaklar başlayacak olması bu yönelimin en önemli nedenlerinden biridir. Firmalar her geçen gün tanıttıkları yeni modeller ile bu segmentte rekabet etmeye çalışmaktadır. Ülkemiz de Bursa'nın Gemlik ilçesinde kurulan ve TOGG (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu) markasıyla üretimi yapılacak olan yüzde yüz elektrikli otomobiller ile önümüzdeki süreçte bu yarışa dahil olacaktır.

Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla beraber artan alternatif sayısı ve satın alma kriterlerinin çokluğu, elektrikli araç seçim ve değerlendirme problemini çok kriterli karar problemi haline getirmektedir. Geleneksel araçlar ile kıyaslandığında menzilin nispeten kısa olması, zayıf alt yapı desteği anlamına gelen yakıt istasyonu sayısındaki kısıtlar ile satın alma maliyetlerinin yüksek oluşu tüketicileri bu araçları satın alma kararı verirken düşündüren önemli etmenlerdir. Diğer taraftan, ülkelerin bu araçların yaygınlaşması için sağladığı destekler ve içten yanmalı araç kullanımına getirmeyi planladıkları çeşitli kısıtlamalar bu araçların daha fazla tercih edileceğini göstermektedir.

Literatür incelendiğinde, özellikle son beş yıllık periyotta çok kriterli karar yöntemlerinin elektrikli araçlarla ilgili çalışmalara konu olduğu görülmektedir. Cai vd. [6] Pekin'deki taksi filosunun sürdürülebilir stratejilerini ekonomik, politik ve çevresel etkiler açısından belirlemek ve değerlendirmek için genel bir yaşam döngüsü analizi çerçevesinde TOPSIS, SAW, ELECTRE II ve Borda Sayım yöntemlerinden oluşan hibrit bir yaklaşım önermiştir. Xu vd. [7] paylaşımlı elektrikli araç programlarının hizmet performansını değerlendirmek için elektrikli araçlar, şarj istasyonları, ödeme ve internet hizmetleri gibi ana başlıkların altında 22 kriter belirlemiştir. Belirlenen bu kriterler 3 farklı yöntem (deterministik, aralık sayılar ve sezgilere dayalı bulanık sayılar) ile ağırlıklandırılmış ve bu ağırlıklar VIKOR

yönteminde kriter ağırlığı olarak kullanılmıştır. Domingues vd. [8] Portekiz'de kullanılan farklı güç aktarma organlarına sahip araçları (benzinli ve dizel içten yanmalı motorlu araçlar, plug-in hibrit elektrikli araçlar ve elektrikli) sınıflandırmak için ELECTRE III yöntemini kullanmıştır. Barfod vd. [9] Danimarka'daki elektrikli ticari araçların pazarda benimsenmesi için algılanan zorluklar, fırsatlar ve politika girişimlerine ilişkin politika yapıcı kuruluşlardaki uygulayıcıların algılarına incelemiştir. Bunun için SWOT analizi ve çok kriterli karar verme tekniklerini birleştirerek çevre dostu teknolojilerin pazardaki yayılmasını değerlendirmek için COPE-SMARTER adlı dört adımdan oluşan uzman tabanlı bir sistem önermiştir. Liu vd Wei [10] şarj altyapı projelerinin başarısı için risk faktörlerini anket yoluyla araştırmış ve Bulanık TOPSIS yöntemiyle kamu-özel iş birliği ile gerçekleştirilen elektrikli araç altyapı projelerinin genel risk seviyelerini hesaplamıştır. Fazeli vd. [11] elektrikli araçların benimsenmesine yönelik maliye politikalarını TOPSIS yöntemi kullanılarak değerlendirmiştir. Lemme vd. [12] farklı araç teknolojilerinin ekonomik ve çevresel boyutlarında seçilen parametrelerin etkisini ve küçük ölçekli araç paylaşımı için en uygun filo kompozisyonunu değerlendirmek için bir tamsayı programlama modeli önermiştir. Modelin karar değişkenleri saf elektrikli, plug-in hibrit ve içten yanmalı motorlu araçlardan oluşmuş ve Brezilya'da bulunan araç paylaşım sistemi VAMO'ya uygulanmıştır. Erbaş vd. [13] elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimi için coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı ve çok kriterli karar modeli önermiştir. Yer seçimi için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Ju vd. [14] elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçiminde kullanılan kriterleri Bulanık AHP ile ağırlıklandırılmış ve gri ilişkisel izdüşüm yöntemi ile kuruluş yeri alternatiflerini sıralamıştır. Xu vd. [15] Çin'in Tianfu bölgesinde inşa edilecek şarj istasyonların yer seçimi için kriter ağırlıklarını Bulanık Entropi yöntemiyle belirlemiş ve alternatifleri ELECTRE yöntemiyle sıralamıştır. Ziamba [16] yerel ve eyalet yönetiminin ihtiyaçlarını mümkün olan en büyük ölçüde karşılayan bir elektrikli araç önerisini yapabilmek için PROSA-C (PROMETHEE for Sustainability Assessment Criteria) adı verilen çok kriterli karar analizi yöntemini Monte Carlo simülasyon yöntemi ile birleştirerek bütünlük bir yöntem kullanmıştır. Wałtróbski vd. [17] elektrikli yük araçlarının

değerlendirilmesi problemini ele almıştır. Önerdikleri karar modeli ile tek bir karar sürecinde hem kesin hem de belirsiz veri kümelerini ele alabilmek için PROMETHEE II ve Bulanık TOPSIS yöntemlerine dayanan çok adımlı ve çok kriterli bir analiz prosedürü oluşturmuştur. Sałabun ve Karczmarczyk [18] sürdürülebilir şehir taşımacılığı için en iyi araba modelinin seçimi için Karakteristik Nesnelere Yöntemini (COMET) kullanmıştır. Ziemba [19] yüksek sosyal kabul gören elektrikli aracın seçimi için Bulanık Promethee, Monte Carlo Simülasyonu yöntemi ve Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi yöntemlerinden oluşan entegre bir karar modeli önermiştir. Yıldız [20] elektrikli araçlarda kullanılacak akülerin performansının değerlendirilmesi ve bu değerlendirme sonrasında en uygun akünün seçilmesi problemine TOPSIS yöntemiyle çözüm aramıştır.

Literatürde bulunan ve yukarıda detayları sunulan çalışmalar incelendiğinde farklı çok kriterli karar analizi yöntemlerinin araç seçimi, istasyon yeri seçimi, araçların sınıflandırılması ve bu teknolojilerin yayılmasının önündeki engellerin analizi gibi farklı birçok alanda uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmada, Türkiye pazarında satışta olan yüzde yüz elektrikli sekiz araç modeli on dört kritere göre değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması için Entropi Yöntemi, alternatiflerin sıralanması için ise ARAS (the additive ratio assessment system) yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan yöntemlerin detayları, üçüncü bölümde yapılan analizler, dördüncü ve beşinci bölümde ise tartışma ve elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmelere yer verilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çok kriterli karar yöntemleri temel olarak ağırlıklandırma ve sıralama olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Bunun yanı sıra, Analitik Hiyerarşi Prosesi gibi bazı yöntemler hem ağırlıklandırma hem de sıralama için kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için objektif bir yöntem olarak değerlendirilen Entropi yöntemi kullanılırken, sıralama için ARAS yöntemi tercih edilmiştir.

A. Kriterlerin Belirlenmesi

Literatürde yer alan araç seçimi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, klasik bir aracın satın alınmasında hızlanma, en yüksek hız, maksimum güç, yük kapasitesi, koltuk sayısı, bagaj hacmi, fiyat ve yakıt tüketimi gibi kriterlerin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [21]. Elektrikli araç seçiminde ise bu kriterlerin yanı sıra bu araçlara özgü menzil, şarj süresi, pil kapasitesi gibi kriterlerin de değerlendirme için kullanılması gerekir. Bu çalışmada seçim kriterleri olarak Ziemba [19] tarafından kullanılan seçim ve değerlendirme kriterleri tercih edilmiş ve bu kriterler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri

Kısaltma	Kriterler	Amaç
C_1	Hızlanma (sn) (0-100 km/h)	min
C_2	En yüksek hız (km/sa)	max
C_3	Maksimum güç (PS)	max
C_4	Maksimum tork (N.m)	max
C_5	Pil kapasitesi (kWh)	max
C_6	Koltuk Sayısı	max
C_7	Bagaj Hacmi	max
C_8	Bagaj Hacmi (koltuklar yatık)	max
C_9	Fiyat (TL)	min
C_{10}	Menzil (km)	max
C_{11}	Şarj Süresi- AC 7.2 kW (Tek Faz) (sa)	min
C_{12}	Şarj Süresi- DC 50 kW Hızlı Şarj (dk)	min
C_{13}	Enerji tüketimi* (kWh/100km)	min
C_{14}	Aracın görünüşü	max

B. Entropi Yöntemi

Rudolph Clausius tarafından ortaya konan termodinamiğin ikinci kanunundan hareketle Claude E. Shannon [36] tarafından bilgi teorisine uyarlanan Entropi kavramı, sistemin düzensizlik ve belirsizliğin bir ölçüsü olarak tanımlanır [22]-[24]. Yöntemin kriter ağırlığı belirlemede kullanılan AHP, ANP ve Delphi gibi diğer yöntemlerden üstün yanı sıra eldeki mevcut veriyi kullanarak objektif bir değerlendirme yapılabilmesidir [25]. Performans değerlendirme [26], pazar seçimi [27], tedarikçi seçimi, istihdam tahmini [28] ve yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi [24] gibi birçok alanda uygulaması yapılan yöntem aşağıda detayları verilen 4 temel adımdan oluşmaktadır [24], [29].

Adım 1: m alternatif sayısı, n ise kriter sayısı olmak üzere ilk olarak Denklem (1) kullanılarak veriler normalleştirilir ve bu sayede normalize edilmiş karar matrisi ($A = [P_{ij}]_{m \times n}$) oluşturulur.

x_{ij} : i . alternatifin j . kriter için aldığı değer

P_{ij} : i . alternatifin j . kriter için normalize değeri

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad ; \forall j \quad (1)$$

Adım 2: Her bir ölçüt için Entropi değeri (E_j) Denklem (2) ile hesaplanır.

$$E_j = \left(\frac{-1}{\ln(m)} \right) \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}] \quad ; \forall j \quad (2)$$

Adım 3: Çeşitliliğin derecesi olarak kullanılan belirsizlik değeri (d_j) Denklem (3) ile hesaplanır.

$$d_j = 1 - E_j \quad ; \forall j \quad (3)$$

Adım 4: Son olarak Denklem (4) ile j . kriterin önem derecesi (ağırlığı) “ w_j ” hesaplanır.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad ; \forall j \quad (4)$$

Dördüncü adımın uygulanmasıyla birlikte kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiş olur ve elde edilen ağırlıkların toplamı 1’e eşittir.

C. ARAS Yöntemi

Zavadskas ve Turskis [30] tarafından geliştirilen ARAS (Additive Ratio Assessment) yönteminde uygulanabilir bir alternatifin karmaşık nispi verimliliğini ifade eden fayda fonksiyonu değeri, karar probleminde kullanılan kriterlerin değerlerinin ve ağırlıklarının nispi etkisi ile doğru orantılıdır. Takip edilen bir dizi adımın ardından her bir alternatif için hesaplanan fayda derecesine göre sıralama işlemi gerçekleştirilir. Beş temel adımdan oluşan yöntemin, yazılım test metodu seçimi [31], kalite ölçümü [32], yer seçimi [33], konut seçimi [34], finansal performans değerlendirme [35] gibi alanlarda uygulamaları literatürde mevcuttur. Yöntemin temel adımları aşağıda gösterilmiştir [30]:

Adım 1: Yöntemin ilk adımında m adet uygun alternatif (satırlar) ile bu alternatiflerin n adet kriter (sütunlar) için aldığı değerlerden meydana gelen karar matrisi oluşturulur. Oluşturulan karar matrisi Denklem (5)’te gösterilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} ; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (5)$$

m tane alternatif n tane kriterden oluşan karar probleminde x_{ij} değeri i . alternatifin j . kriter için almış olduğu değeri, x_{0j} ise j kriteri için optimal

değeri ifade eder. Eğer j kriteri için optimal değer bilinmiyorsa Denklem (6)’daki eşitliklerden uygun olanı ile optimal değer hesaplanır.

$$x_{0j} = \max_i x_{ij} \quad (\text{Eğer yüksek olması isteniyorsa})$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij} \quad (\text{Eğer düşük olması isteniyorsa}) \quad (6)$$

Adım 2: Bu adımda normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Normalizasyon işlemi için kriter fayda yönlü ise Denklem (7), maliyet yönlü ise iki aşamalı olan Denklem (8) kullanılır. Bu işlemin ardından normalize edilmiş karar matrisi (\bar{X}) oluşturulmuş olur.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (7)$$

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*} ; \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (8)$$

Adım 3: Uzman görüşü veya farklı yöntemlerle elde edilen kriter ağırlıkları (w_j) ile normalize karar matrisinde yer alan değerler (\bar{x}_{ij}) çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (\hat{X}) oluşturulur. Kriter ağırlıkları toplamı 1 olacak şekilde ağırlıklandırılmış karar matrisi Denklem (9)’da gösterildiği gibi olacaktır.

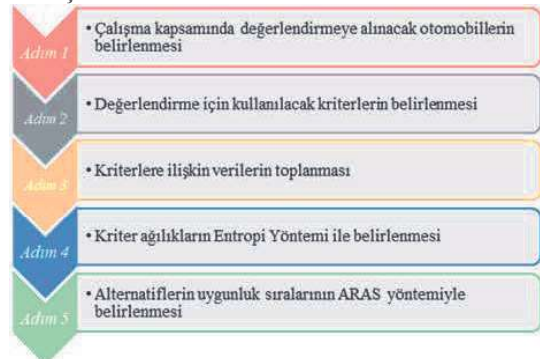
$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \dots & \hat{x}_{0j} & \dots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \dots & \hat{x}_{ij} & \dots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \dots & \hat{x}_{mj} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix} ; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (9)$$

Adım 4: Optimallik fonksiyonu Denklem (10) yardımıyla belirlenir. Burada s_i i . alternatifin optimallik fonksiyon değerini ifade etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} ; = \overline{0, m} \quad (10)$$

Adım 5: Elde edilen S_i değerlerinin büyükten küçüğe sıralanmasıyla karar alternatiflerinin sırası belirlenmiş olur.

İki yöntemin kullanımı ile oluşturulan karar metodolojisinin temel adımları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Karar sürecinin temel adımları

III. BULGULAR

Çalışma kapsamında ülkemizde satışta olan sekiz adet elektrikli araç Tablo 1’de detayları sunulan on dört adet kriter kullanılarak değerlendirilmeye tabi

tutulmuştur. Bu araçların ilgili kriterler için aldıkları değerler Tablo 2’de gösterilmiştir. Bu tablo aynı zamanda karar matrisine karşılık gelmektedir.

Tablo 2. Karar Matrisi

Kriter Alt.	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
	min	max	max	max	max	max	max	max	min	max	min	min	min	max
A_1	9.9	155	136	395	39.2	5	332	1114	1020000	305	6	48	14.3	8
A_2	9.6	150	150	320	55.33	5	467	1141	1539000	350	9	30	15.6	10
A_3	7.3	150	184	270	32.6	4	211	731	1092033	242	2.5	36	14.8	7
A_4	6.9	160	218	337	71.4	5	452	858	1824000	466	10	56	16	7
A_5	8.9	155	120	300	53.61	5	285	526	920000	310	8	30	18	9
A_6	7.4	180	231	330	75	5	416	1295	1596802	425	8	28	23.8	10
A_7	4	160	292	520	66.5	5	340	1320	1533000	432	5.75	30	17.5	8
A_8	5.2	188	325	605	77.4	5	490	1300	2072000	506	7.33	73	17.2	9

A. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında kriter ağırlıkları Entropi Yöntemi ile belirlenmiştir. Entropi yönteminin ilk adımı olarak, Tablo 2’de gösterilen karar

matrisindeki verilere Denklem (1) kullanılarak normalizasyon işlemi uygulanır. Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen normalize karar matrisi Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Normalize Karar Matrisi (Entropi)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
A_1	0.167	0.119	0.082	0.128	0.083	0.128	0.111	0.134	0.088	0.100	0.106	0.145	0.104	0.118
A_2	0.162	0.116	0.091	0.104	0.117	0.128	0.156	0.138	0.133	0.115	0.159	0.091	0.114	0.147
A_3	0.123	0.116	0.111	0.088	0.069	0.103	0.070	0.088	0.094	0.080	0.044	0.109	0.108	0.103
A_4	0.117	0.123	0.132	0.110	0.152	0.128	0.151	0.104	0.157	0.153	0.177	0.169	0.117	0.103
A_5	0.150	0.119	0.072	0.097	0.114	0.128	0.095	0.063	0.079	0.102	0.141	0.091	0.131	0.132
A_6	0.125	0.139	0.139	0.107	0.159	0.128	0.139	0.156	0.138	0.140	0.141	0.085	0.173	0.147
A_7	0.068	0.123	0.176	0.169	0.141	0.128	0.114	0.159	0.132	0.142	0.102	0.091	0.128	0.118
A_8	0.088	0.145	0.196	0.197	0.164	0.128	0.164	0.157	0.179	0.167	0.130	0.221	0.125	0.132

Normalizasyon işleminin ardından Denklem (2), (3) ve (4) kullanılarak sırasıyla entropi değeri (E_j), belirsizlik değeri (d_j) ve ağırlıklar (w_j) hesaplanır. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 4’te gösterilmektedir.

Tablo 4. Kriter Ağırlıkları

Kriterler	E_j	d_j	w_j
C_1	0.9826	0.0174	0.0820
C_2	0.9984	0.0016	0.0073
C_3	0.9735	0.0265	0.1245
C_4	0.9817	0.0183	0.0862
C_5	0.9821	0.0179	0.0840

C_6	0.9988	0.0012	0.0055
C_7	0.9848	0.0152	0.0716
C_8	0.9812	0.0188	0.0886
C_9	0.9832	0.0168	0.0791
C_{10}	0.9875	0.0125	0.0587
C_{11}	0.9737	0.0263	0.1235
C_{12}	0.9700	0.0300	0.1411
C_{13}	0.9940	0.0060	0.0281
C_{14}	0.9958	0.0042	0.0197

Elde edilen ağırlıklar incelendiğinde en yüksek ağırlıkları hızlı şarj süresi (C_{12}), maksimum güç (C_3) ve yavaş şarj süresi (C_{11}) almıştır. Kriter ağırlıklarının büyükten küçüğe sıralaması $C_{12} >$

$C_3 > C_{11} > C_8 > C_4 > C_5 > C_1 > C_9 > C_7 > C_{10} > C_{13} > C_{14} > C_2 > C_6$ şeklindedir. Araç görünüşü, koltuk sayısı ve en yüksek hız gibi kriterler son sıralarda yer almıştır.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından ARAS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması aşamasına geçilir. ARAS yönteminde de karar matrisinin oluşturulmasının ardından ilk yapılan

işlem normalizasyon işlemidir. Kriterin fayda ya da maliyet olmasına durumuna göre Denklem (7) veya Denklem (8)'den birisi kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Arından normalize karar matrisindeki değerler kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulur. Bu matrisler sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Normalize Karar Matrisi (ARAS)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
Optimal	0.175	0.127	0.164	0.164	0.141	0.114	0.141	0.137	0.155	0.143	0.230	0.142	0.128	0.128
A_1	0.071	0.104	0.069	0.107	0.071	0.114	0.095	0.116	0.139	0.086	0.096	0.083	0.128	0.103
A_2	0.073	0.101	0.076	0.087	0.101	0.114	0.134	0.119	0.092	0.099	0.064	0.132	0.117	0.128
A_3	0.096	0.101	0.093	0.073	0.059	0.091	0.061	0.076	0.130	0.068	0.230	0.110	0.124	0.090
A_4	0.102	0.108	0.110	0.092	0.130	0.114	0.130	0.089	0.078	0.132	0.058	0.071	0.114	0.090
A_5	0.079	0.104	0.061	0.081	0.098	0.114	0.082	0.055	0.155	0.088	0.072	0.132	0.102	0.115
A_6	0.095	0.121	0.117	0.090	0.137	0.114	0.119	0.135	0.089	0.120	0.072	0.142	0.077	0.128
A_7	0.175	0.108	0.147	0.141	0.121	0.114	0.098	0.137	0.093	0.122	0.100	0.132	0.104	0.103
A_8	0.135	0.127	0.164	0.164	0.141	0.114	0.141	0.135	0.069	0.143	0.078	0.054	0.106	0.115

Tablo 6. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi (ARAS)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
Optimal	0.014	0.001	0.020	0.014	0.012	0.001	0.010	0.012	0.012	0.008	0.028	0.020	0.004	0.003
A_1	0.006	0.001	0.009	0.009	0.006	0.001	0.007	0.010	0.011	0.005	0.012	0.012	0.004	0.002
A_2	0.006	0.001	0.009	0.007	0.008	0.001	0.010	0.011	0.007	0.006	0.008	0.019	0.003	0.003
A_3	0.008	0.001	0.012	0.006	0.005	0.000	0.004	0.007	0.010	0.004	0.028	0.016	0.003	0.002
A_4	0.008	0.001	0.014	0.008	0.011	0.001	0.009	0.008	0.006	0.008	0.007	0.010	0.003	0.002
A_5	0.006	0.001	0.008	0.007	0.008	0.001	0.006	0.005	0.012	0.005	0.009	0.019	0.003	0.002
A_6	0.008	0.001	0.015	0.008	0.011	0.001	0.009	0.012	0.007	0.007	0.009	0.020	0.002	0.003
A_7	0.014	0.001	0.018	0.012	0.010	0.001	0.007	0.012	0.007	0.007	0.012	0.019	0.003	0.002
A_8	0.011	0.001	0.020	0.014	0.012	0.001	0.010	0.012	0.005	0.008	0.010	0.008	0.003	0.002

Son olarak da optimallik fonksiyonu ve bu değerlerin büyükten küçüğe sıralanmasıyla alternatiflerin sıralanması elde edilir. Belirlenen optimal fonksiyon değerleri ve fayda dereceleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Fonksiyon Değerleri ve Alternatiflerin Sıralaması

	S_i	K_i
Optimal	0.159812	1
A_7	0.126175	0.78952
A_8	0.117576	0.735715
A_6	0.1112	0.695819
A_3	0.106632	0.667237
A_2	0.0983982	0.615713
A_4	0.0954727	0.597407
A_1	0.0933275	0.583984
A_5	0.0914067	0.571965

Elde edilen sonuçlara göre en iyi alternatif 7 numaralı alternatiftir. Bunu sırasıyla 8, 6, 3, 2, 4, 1 ve 5 numaralı alternatifler takip etmektedir. Yapılan çalışmada araç görünümü dışında subjektif bir kriter kullanılmamıştır. Yapılan bu puanlama ise araç tanıtımlarından elde edilen izlenimlere göre hali hazırda araç sahibi olan kişiler tarafından yapılan kıyaslama sonucunda ortak bir değerlendirme puanı olarak belirlenmiştir. Hesaplanan kriter ağırlığı dikkate alındığında bu değerlendirmenin sonuca çok fazla bir etkisinin olmadığı, bu kriter çıkarılarak yapılan analizde de yine aynı sıralamanın elde edildiği görülmüştür.

IV. TARTIŞMA

Çalışma kapsamında günümüzün ve yakın geleceğin önemli bir konusu olan elektrikli

otomobiller ile ilgili bir karar modeli önerilmiştir. Özellikle son beş yıllık periyotta hem bilimsel hem de ticari anlamda önemi hızla artan elektrikli otomobillerin, menzil, pil ömrü ve yakıt istasyonu sayısı gibi birtakım engellerin aşılmasıyla önümüzdeki dönemde piyasada daha baskın bir seçenek olarak karşımıza çıkacağı düşünülmektedir. Bunların yanı sıra, yine gelecek yıllarda içten yanmalı motorların kullanımının kısıtlanacağı ve hatta yasaklanacağı düşünülecek olursa önümüzdeki yirmi yıllık sürecin sonunda elektrikli otomobillerin tek seçenek olacağı tahmin edilmektedir. Kullanılan kriterler literatürden alınmış olmasına karşın, literatürde daha çok istasyon yer seçimi, sosyal politikalar ve elektrikli araç filo karmasının belirlenmesi gibi çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bireysel kullanımın artmasıyla birlikte elektrikli otomobillerin seçim ve değerlendirmesi problemi daha fazla ilgi görür hale geleceği öngörülmektedir.

V. SONUÇLAR

İnsanoğlunun özellikle son elli yıllık periyotta pervasızca doğayı kirletmesi, günümüzün önemli problemlerinden biri olan küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin olası sonuçlarının hızlı bir şekilde ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum, enerjinin çevreye en az zarar ile üretilmesi ve tüketilmesi noktasında çalışmalar yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Otomobillerde kullanılan fosil yakıtlar çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden biridir. Farklı ülkelerde fosil yakıt kullanımı ile ilgili olarak devreye alınması planlanan yasal düzenlemeler otomobil üreticilerini de elektrikli araç üretimine yönlendirmiştir. Bu noktadan hareketle çalışma kapsamında ülkemizde satışı yapılan elektrikli otomobillerin değerlendirilmesi için bir karar modeli oluşturulmuş ve otomobil alternatifleri arasında bir sıra ilişkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda farklı ağırlıklandırma ve sıralama yöntemleri kullanılabileceği gibi kullanıcının satın alma kararını vermesinde etkili olan servis ve güvenlik gibi kriterler de ekstra olarak değerlendirme aşamasında dikkate alınabilir.

KAYNAKLAR

[1] Khan, F., Ali, Y. & Khan, A.U., (2020). Sustainable hybrid electric vehicle selection in the context of a developing country. *Air Qual Atmos Health*, 13(4), 489–499.

- [2] TÜİK, Motorlu Kara Taşıtları, Ağustos 2022, Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Taşıtlari-Agustos-2022-45711>(Erişim tarihi: 15.09.2022)
- [3] Amjad, M.; Ahmad, A.; Rehmani, M.H.; & Umer, T., (2018). A review of EVs charging: From the perspective of energy optimization, optimization approaches, and charging techniques. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 62, 386–417.
- [4] Li, W., Lin, Z., Cai, K., Zhou, H., & Yan, G. (2019). Multi-objective optimal charging control of plug-in hybrid electric vehicles in power distribution systems. *Energies*, 12(13), 2563.
- [5] Enerji Günlüğü, Türkiye’de trafikteki araçların yüzde 1’i elektrikli veya hibrit, Erişim Linki: <https://www.enerjigunlugu.net/turkiyede-trafikteki-araclarin-yuzde-1-i-elektrikli-veya-hibrit-50404h.htm>, Erişim Tarihi: 15.09.2022
- [6] Cai, Y., Applegate, S., Yue, W., Cai, J., Wang, X., Liu, G., & Li, C. (2017). A hybrid life cycle and multi-criteria decision analysis approach for identifying sustainable development strategies of Beijing’s taxi fleet. *Energy Policy*, 100, 314–325.
- [7] Xu, F., Liu, J., Lin, S., & Yuan, J. (2017). A VIKOR-based approach for assessing the service performance of electric vehicle sharing programs: A case study in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 148, 254–267.
- [8] Domingues, A. R., Marques, P., Garcia, R., Freire, F., & Dias, L. C. (2015). Applying multi-criteria decision analysis to the life-cycle assessment of vehicles. *Journal of cleaner production*, 107, 749–759.
- [9] Barfod, M. B., Kaplan, S., Frenzel, I., & Klauenberg, J. (2016). COPE-SMARTER – A decision support system for analysing the challenges, opportunities and policy initiatives: A case study of electric commercial vehicles market diffusion in Denmark. *Research in Transportation Economics*, 55, 3–11.
- [10] Liu, J., & Wei, Q. (2018). Risk evaluation of electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in China using fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 189, 211–222.
- [11] Fazeli, R., Davidsdottir, B., Shafiei, E., Stefansson, H., & Asgeirsson, E. I. (2017). Multi-criteria decision analysis of fiscal policies promoting the adoption of electric vehicles. *Energy Procedia*, 142, 2511–2516.
- [12] Lemme, R. F., Arruda, E. F., & Bahiense, L. (2019). Optimization model to assess electric vehicles as an alternative for fleet composition in station-based car sharing systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 173–196.
- [13] Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., & Çetinkaya, C. (2018). Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. *Energy*, 163, 1017–1031.
- [14] Ju, Y., Ju, D., Gonzalez, E. D. S., Giannakis, M., & Wang, A. (2019). Study of site selection of electric vehicle charging station based on extended GRP method under picture fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1271–1285.
- [15] Xu, J., Zhong, L., Yao, L., & Wu, Z. (2018). An interval type-2 fuzzy analysis towards electric vehicle charging

- station allocation from a sustainable perspective. *Sustainable cities and society*, 40, 335-351.
- [16] Ziemba, P. (2020). Multi-criteria stochastic selection of electric vehicles for the sustainable development of local government and state administration units in Poland. *Energies*, 13(23), 6299.
- [17] Wańtróbski, J., Małecki, K., Kijewska, K., Iwan, S., Karczmarczyk, A., & Thompson, R. G. (2017). Multi-criteria analysis of electric vans for city logistics. *Sustainability*, 9(8), 1453.
- [18] Sařabun, W., & Karczmarczyk, A. (2018). Using the comet method in the sustainable city transport problem: an empirical study of the electric powered cars. *Procedia computer science*, 126, 2248-2260.
- [19] Ziemba, P. (2021). Multi-criteria approach to stochastic and fuzzy uncertainty in the selection of electric vehicles with high social acceptance. *Expert Systems with Applications*, 173, 114686.
- [20] Yıldız, A. (2021). Evaluation of the performance of batteries used in electric vehicles using TOPSIS method. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(2), 1848-1855.
- [21] Şahin, Y., Akyer, H. (2011). Ülke Kaynaklarının Verimli Kullanımı: 4x4 Arama ve Kurtarma Aracı Seçiminde AHS ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3(5), 72-87.
- [22] Zhang, H., Gu, C. L., Gu, L. W., & Zhang, Y. (2011). The evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy—A case in the Yangtze River Delta of China. *Tourism Management*, 32(2), 443-451.
- [23] Ömürbek, N., Hande, E. R. E. N., & Okan, D. A. Ğ. (2017). Entropi-Aras ve Entropi-MOOSRA yöntemleri ile yaşam kalitesi açısından AB ülkelerinin değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 29-48.
- [24] Şahin, Y. (2019). Akdeniz Bölgesi'nin Güneş Enerjisi Yatırımına Yönelik Özelliklerinin Entegre Entropi Multimoora Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(3), 846-864.
- [25] Çakır, S., & Perçin, S. (2013). AB Ülkeleri'nde bütünleşik Entropi ağırlık-TOPSIS yöntemiyle ar-ge performansının ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 77-95.
- [26] Orakçı, E., Ve Özdemir, A. (2017), Telafi edici çok kriterli karar verme yöntemleri ile Türkiye ve AB ülkelerinin insani gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 61-74.
- [27] Yavuz, V. (2016), Coğrafi Pazar Seçiminde PROMETHEE ve Entropi Yöntemlerine Dayalı Çok Kriterli Bir Analiz: Mobilya Sektöründe Bir Uygulama, *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 163-177.
- [28] Blien, U., Tassinopoulos, A. (2001), Forecasting regional employment with the ENTROPY method, *Regional Studies*, 35(2), 113-124.
- [29] Karami, A., Johansson, R., (2014), Utilization of Multi Attribute Decision Making Techniques to Integrate Automatic and Manual Ranking of Options, *Journal of Information Science and Engineering*, 30, 519-534.
- [30] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and economic development of economy*, 16(2), 159-172.
- [31] Karabašević, D. M., Maksimović, M. V., Stanujkić, D. M., Jocić, G. B., & Rajčević, D. P. (2018). Selection of software testing method by using ARAS method. *Tehnika*, 73(5), 724-729.
- [32] Stanujkić, D., & Jovanović, R. (2012, May). Measuring a quality of faculty website using ARAS method. In *Proceeding of the International Scientific Conference Contemporary Issues in Business, Management and Education (Vol. 545, p. 554)*.
- [33] Sihombing, V., Nasution, Z., Al Ihsan, M. A., Siregar, M., Munthe, I. R., Siregar, V. M. M., ... & Asfar, D. A. (2021, June). Additive Ratio Assessment (ARAS) Method for Selecting English Course Branch Locations. In *Journal of Physics: Conference Series (IOP Publishing)*, 1933(1), 012070.
- [34] Yıldırım, B. (2015). Çok kriterli karar verme problemlerinde ARAS yöntemi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(9), 285-296.
- [35] Karadağ Ak, Ö., Hazar, A., & Babuşcu, Ş. (2022). Evaluation of the financial performance of development and investment banks with entropy-based ARAS method. *Macroeconomics and Finance in Emerging Market Economies*, 1-21.
- [36] Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal*, 27(3), 623-656.