

## Sürdürülebilir Elektrikli Ulaşım için Stratejik Planlama: Bursa İlinde Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi Analizi

Adnan ABDULVAHİTOĞLU<sup>1,a</sup>, Aslı ABDULVAHİTOĞLU<sup>2,b</sup>, Ziya ARSLAN<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Mudanya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

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

<sup>3</sup>Togg Fabrikası Proje Departmanı, Bursa, Türkiye

<sup>a</sup>ORCID: 0000-0002-2659-6709; <sup>b</sup>ORCID: 0000-0002-3603-6748; <sup>c</sup>ORCID: 0009-0003-0721-6840

### Makale Bilgileri

Geliş : 20.03.2025

Kabul : 05.12.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1661781

### Sorumlu Yazar

Adnan ABDULVAHİTOĞLU

abdulvahitoglu@gmail.com

### Anahtar Kelimeler

Elektrikli araç

Şarj istasyonu

Şarj istasyonu kuruluş yeri seçimi

ÇKKV

Borda kuralı

**Atf şekli:** ABDULVAHİTOĞLU, A., ABDULVAHİTOĞLU, A., ARSLAN, Z., (2025). Sürdürülebilir Elektrikli Ulaşım için Stratejik Planlama: Bursa İlinde Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(4), 959-976.

### ÖZ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği günümüzün en önemli çevresel sorunları arasında yer almakta, fosil yakıt kullanımı nedeniyle artan sera gazı emisyonları bu süreci daha da hızlandırmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğiyle mücadele, düşük karbonlu teknolojilerin kullanılmasını öne çıkarmaktadır. Küresel karbon emisyonlarının önemli bir kısmından sorumlu olan ulaşım sektöründe, fosil yakıtla çalışan içten yanmalı motorlu (İYM) araçlar hem çevresel kirlilik hem de halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Elektrikli araçlar (EA), bu bağlamda çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Ancak EA'ların geniş ölçekte benimsenmesi yalnızca teknolojik ilerlemeye değil, aynı zamanda kullanıcıların bu teknolojiye adaptasyonunu kolaylaştıracak yeterli şarj altyapısının ve destekleyici ekosistemlerin geliştirilmesine de bağlıdır. Bu çalışmada, Türkiye'nin ilk yerli ve milli EA fabrikası Togg'un kurulu bulunduğu Bursa ilinde potansiyel şarj istasyonu konumları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile analiz edilerek en uygun konumların belirlenmesi amaçlanmıştır. Dört farklı ÇKKV yöntemiyle alternatifler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, sonuçlar, Borda kuralı ile birleştirilerek nihai sıralama oluşturulmuştur.

## Strategic Planning for Sustainable Transportation: Analysis of Electric Vehicle Charging Station Location Selection in Bursa Province

### Article Info

Received : 20.03.2025

Accepted : 05.12.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1661781

### Corresponding Author

Adnan ABDULVAHİTOĞLU

abdulvahitoglu@gmail.com

### Keywords

Electric vehicle

Charging station

Charging station location selection

MCDM

Borda rule

**How to cite:** ABDULVAHİTOĞLU, A., ABDULVAHİTOĞLU, A., ARSLAN, Z., (2025). Strategic Planning for Sustainable Transportation: Analysis of Electric Vehicle Charging Station Location Selection in Bursa Province. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(4), 959-976.

### ABSTRACT

Among the foremost environmental concerns of our era are global warming and climate change, and the process is further accelerated by the increasing greenhouse gas emissions that result from the consumption of fossil fuels. Mitigating greenhouse gas emissions and combating climate change necessitates the widespread adoption of low-carbon technologies. The transportation sector, which accounts for a substantial share of global carbon emissions, poses significant environmental and public health risks due to its heavy reliance on fossil fuel-powered internal combustion engine (ICE) vehicles. In this context, electric vehicles (EV) emerge as a more environmentally sustainable alternative. However, the large-scale adoption of EVs relies not only on technological progress but also on the development of sufficient charging infrastructure and supportive ecosystems that ease user adaptation to this technology. This study aims to analyze potential charging station locations in Bursa, where Togg, Turkey's first domestic and national EV factory, is located, using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods to determine the most suitable locations. The alternatives were analyzed comparatively using four different MCDM methods, and the results were combined with the Borda Rule to create the final ranking.

## 1. GİRİŞ

Ulaşım sektörü, teknolojik gelişmelerin doğrudan şekillendirdiği ve büyük dönüşümler geçiren bir alandır. Sanayi Devrimi'nden itibaren ulaşım teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, ekonomik ve toplumsal yapıyı önemli ölçüde etkilemiştir. Bu bağlamda otomobillerin gelişim tarihi, 18. yüzyılda buharlı motorların icadından günümüzün çevre dostu elektrikli motor (EM)'larına kadar uzanan bir değişimi kapsamaktadır. Bu süreçte İYM'li araçlar uzun yıllar sektöre hâkim olmuş, ancak neden oldukları CO2 salınımı ve küresel ısınma gibi çevresel kaygılar alternatif arayışlarını hızlandırmıştır.

Otomotiv endüstrisinde önemli dönüm noktalarından biri olan EA'ların kökeni 19. yüzyıla dayanmaktadır. 1828'de Macar fizikçi Ányos Jedlik, ilk EM'lu aracı tasarlamış, ardından 1834'te Thomas Davenport raylar üzerinde hareket eden bir EA geliştirmiştir. 1881'de Fransız mucit Gustave Trouvé, elektrikle çalışan üç tekerlekli bir araç üretmiştir [1]. Ancak dönemin yetersiz enerji depolama teknolojileri, EA'ların yaygınlaşmasını geciktirmiştir. Karl Benz'in 1886 yılında İYM'lu aracı üretmekle pazarda girmesinden hemen sonra Morris ve Salomon 1895 yılında iki koltuklu bir EA üretmişlerdir. Hatta 1897 yılında İngiltere'de, 1901 yılında ise New York'ta EA'lar taksi olarak hizmet vermişlerdir [2]. 20. Yüzyılın başlarında ABD'de Ford'un, üretim bandı sistemini kullanmaya başlaması otomotiv endüstrisinde üretimi devrim niteliğinde artırmış, İYM'lu araç pazarı daha düşük maliyet, uzun menzil ve enerjiye ulaşım kolaylığı gibi sebeplerden dolayı hızlı bir büyüme göstermiştir [3]. Bu gelişmeler EA'ların bir kenara itilerek unutulmasına; menzil, batarya, şarj imkânları gibi sorunlardan dolayı da yıllarca hak ettiği ilgiyi görememesine neden olmuştur. Hemen hemen tüm EA üreticileri 1920-1960 yıllarında tamamen İYM'lu araç üretimine odaklanmışlardır [4]. İYM'ların neden olduğu CO2 emisyonu, hava ve gürültü kirliliği, bazı küçük ölçekli firmaları çevre dostu EA üretimine yöneltmiştir [5]. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ise, özellikle petrolde dışa bağımlı gelişmiş ülkelerin EA çalışmalarını desteklemesine neden olmuştur [6].

Ancak bu dönemde geliştirilen prototipler, batarya teknolojisinin yetersizliği nedeniyle yaygınlaşamamış, düşük hız ve kısa menzil gibi sınırlamalardan dolayı başarılı olamamışlardır. 1980'lerde batarya teknolojisindeki ilerlemeler, elektrikli araçların potansiyelini yeniden artırmıştır [7]. EA'ların modern anlamda yükselişi 1990'larda hız kazanmış, Toyota Prius gibi hibrit araçlar EM ve İYM'ları birleştirerek bir geçiş süreci başlatmıştır. 2000'li yıllarda lityum-iyon bataryaların yaygınlaşması, menzil ve performans açısından önemli iyileştirmeler sağlamıştır. 2008'de, tamamen elektrikli yapısıyla yüksek performans ve uzun menzil sunan Tesla Roadster sektörde dönüm noktası olmuştur [8].

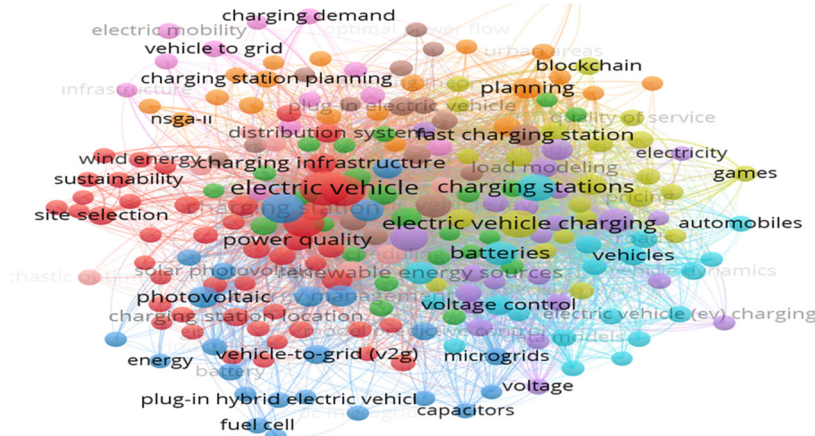
Avrupa Birliği (AB), İklim Anlaşması ve küresel emisyon azaltma hedefleri doğrultusunda, 2035 yılı itibarıyla yeni benzinli ve dizel araç satışını yasaklamayı planlayarak EA'ların yaygınlaşmasını teşvik eden politikalar geliştirmekte ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerini desteklemektedir. Bu doğrultuda, elektrikli araç şarj istasyonları (EAŞİ) için altyapının genişletilmesi gibi geleceğe yönelik projeler hayata geçirilmeye çalışılmaktadır [9]. İYM'lu araç sektöründe küresel ölçekte etkili bir konum elde edemeyen Çinli üreticiler, EA üretimi ve batarya teknolojileri alanında yaptıkları yatırımlar sayesinde sektörde dünya liderliğine ulaşmıştır. Çinli üreticiler, maliyet etkinliği ve yenilikçi tasarımlarıyla dikkat çekmekte ve küresel pazarda rekabet avantajı elde etmektedir [10].

2023-2024 yıllarında küresel ölçekte yaşanan ekonomik ve siyasi gelişmeler, özellikle ABD ve AB merkezli otomotiv devlerinin Çinli üreticilerin pazar hâkimiyeti konusunda endişe duymalarına yol açmış ve kısa vadede elektrikli araç sektöründe bazı tereddütlere neden olmuştur. Bununla birlikte, 2025 yılında dünyada meydana gelen ekonomik ve siyasi gelişmeler ile fosil yakıt kaynaklarını çeşitlendirme çalışmaları, AB ülkelerinin EA yatırımlarına yeniden hız vermesine neden olmuştur.

Bu gelişmelerin yakinen takip edildiği Türkiye'de 25 Haziran 2018 yılında EA üretimi için Togg girişim grubu oluşturulmuş olup, bu girişimin Trugo ve Trumore alt markaları bulunmaktadır. Togg fabrikasının 29 Ekim 2022'de resmi açılışı yapılmış ve 2023 yılında ilk EA'lar piyasa yerini almıştır. Türkiye'de yoğun ilgi duyulan Togg'un ilk EA'ı olan T10X modelini 2025 yılında C segmentindeki T10F modelinin takip etmesi, 2032 yılına kadar pazardaki farklı ihtiyaçlara cevap verecek yeni modelleri ile piyasada yer alması beklenmekte ve 1 milyon araç satışına ulaşılması hedeflenmektedir [11].

Literatürde, Türkiye'de EAŞİ altyapısı [12], EM ve İYM'lu araçların enerji verimliliklerinin karşılaştırılması [13], bulanık mantık ile EAŞİ yer seçimi [14], hibrit şarj sistemleri [15], Hızlı tren istasyon yer seçimi [16], EAŞİ yerlerinin elektrik şebekesi üzerine etkisi [17], EA tercihinin etki eden faktörler [18],

EA otoparklarında şarj yönetimi [19], uzman görüşlerine dayalı ÇKKV yöntemleri ile EA seçimi [20], Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tümleşik ÇKKV ile EAŞİ yer seçimi [21], EA şarj yöntemleri [22], AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile optimum EAŞİ yeri seçimi [23], EA'ların güç transfer sistemi tasarımı [24], hibrit güç sistemleri [25], EA bataryalarının SWARA-TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi [26], ömrü tamamlanmış EA bataryalarının çevresel yönetimi [27], EA ve İYM'lu araçların çevresel yaşam döngüsü karşılaştırması [28], optimum EAŞİ yeri seçim modeli ve stratejileri [29], yeşil araç rotalama probleminde Bulanık AHP ve EDAS yöntemlerinin kullanımı [30], EA'larda batarya şarj uygulamaları [31] vb EA konulu yüzlerce çalışma yapıldığı görülmektedir. Web of Science'te yayınlanan çalışmaların Wosviewer kullanılarak analizi sonucunda EA temalı çalışmaların aşağıda Şekil 1.'de gösterildiği gibi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. EA temalı çalışmalar (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Literatürde, EA teknolojileriyle ilgili pek çok sorunun çözüldüğü ve bu teknolojilerin hızla gelişmeye devam ettiği görülmektedir. Ancak EA kullanımındaki hızlı artış ile birlikte EA şarj altyapısı, EAŞİ konumlandırması ve elektrik dağıtım ağı yetersizliği gibi sorunlar halen devam etmektedir. Bu nedenle EA edinimine ve EAŞİ yeri seçimine etki eden birçok kriter bulunmaktadır.

Karara etki eden kriterlerin sistematik ve tutarlı bir şekilde değerlendirilmesi, karar verme süreçlerinin daha şeffaf hale getirilmesi, belirsizliklerle daha iyi başa çıkılarak karmaşık problemlerin daha etkili bir şekilde çözülmesi ve daha bilinçli kararlar alınması maksadıyla ÇKKV yöntemlerinden sıklıkla yararlanılmaktadır [32]. Bu yüzden bu çalışmada ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan analiz ile araştırmacılara bilimsel karar desteği sağlanmıştır. Literatürde Bursa ili özelinde EAŞİ kuruluş yerlerinin ÇKKV yöntemleri ile analiz edildiği bir çalışmaya rastlanmaması, bu araştırmanın özgünlüğünü vurgulamaktadır.

Bu çalışmanın giriş bölümünde ilgili literatür incelenerek EA ve EAŞİ ile ilgili genel hususlar ve ele alınmıştır. İkinci bölümde, kullanılan ÇKKV yöntemleri tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, oluşturulan senaryoya ve mevcut verilere dayanarak ÇKKV yöntemleri ile Bursa ilinde muhtemel EAŞİ konumları karşılaştırılarak optimum EAŞİ kuruluş yerleri belirlenmiştir. Sonuç bölümünde ise, ÇKKV yöntemlerinin, benzer karar problemlerinde kullanımına yönelik öneriler sunulmuştur. Çalışmanın aşamaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın aşamaları

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde EA'ların hızla yaygınlaşması, bu araçların temel bileşenleri olan EM'ları, bataryalar ve batarya şarj sistemleri üzerine yapılan araştırmaların önemini artırmaktadır. Türkiye'de, Bursa'da kurulan ve



Çizelge 1'de görüldüğü üzere, Türkiye'de trafiğe kayıtlı araç sayısındaki artış, otomotiv sektörünün dinamik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. EA payındaki yükseliş ise sürdürülebilir ulaşım hedefleri doğrultusunda önemli bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, Türkiye'de şarj altyapısının genişletilmesi ve çevre dostu araçların teşvik edilmesi, ulaşımın çevresel etkilerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

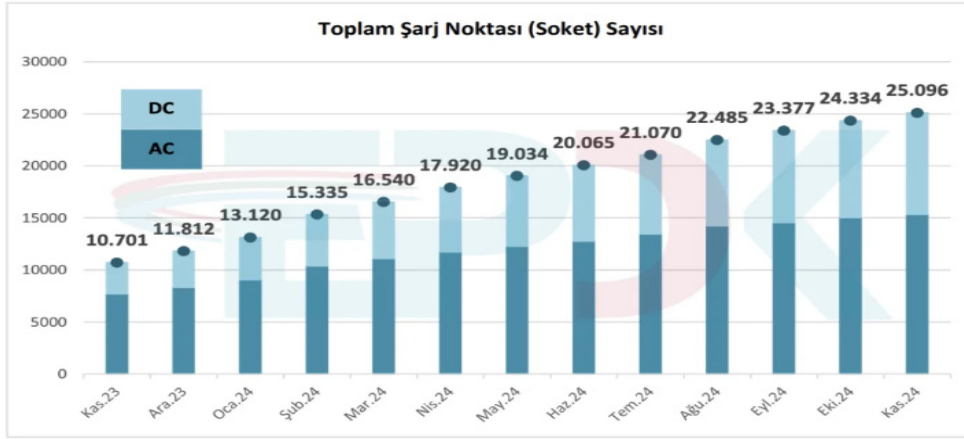
**Çizelge 1.** Türkiye'deki otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı

Yıl	Benzin	Dizel	LPG	Hibrit	Elektrik	Toplam
2019	3 020 017	4 769 714	4 661 707	13 877	1 176	12 503 049
2020	3 201 894	5 014 356	4 810 018	33 690	2 797	13 099 041
2021	3 495 172	5 158 803	4 923 275	86 682	6 267	13 706 065
2022	3 817 104	5 261 876	5 005 563	134 662	14 552	14 269 352
2023	4 362 975	5 425 652	5 094 751	222 328	80 043	15 221 134
2024	4 860 582	5 531 873	5 163 524	365 480	165 896	16 122 636

## 2.2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Kuruluş Yerinin Belirlenmesi

EAŞİ'lerinin konum seçimi, stratejik, çevresel, teknolojik, ekonomik vb faktörler dikkate alınarak belirlenmektedir [29]. İdeal konumlar; şehir merkezleri, otoyollar, alışveriş merkezleri ve dinlenme tesisleri gibi erişimi kolay alanlarda seçilmeli, enerji altyapısının uygunluğu, çevresel etkiler ve yatırım maliyetleri analiz edilmektedir. Ayrıca, sürdürülebilir ulaşımın desteklenmesi ve kullanıcıların şarj hizmetine hızlı erişimi temel hedefler arasındadır [34]. Bu süreçte, teknolojik gereksinimler, yerel yönetim düzenlemeleri ve toplumsal ihtiyaçlar da karar mekanizmasında belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) 2024 yılı Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri raporuna göre (Şekil 5.), Kasım 2024 itibarıyla Türkiye'de toplam EA şarj istasyonu sayısı 25.096'ya ulaşmıştır. Ekim 2024'te bu sayı 24.334 olup, bir ayda %3,13'lük (762 adet) bir artış gözlemlenmiştir [35]. Bu artış, Türkiye'de EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte şarj altyapısının da hızla geliştiğini göstermektedir.



**Şekil 5.** Türkiye'de toplam şarj noktası sayısı [35]

EA'ların şarj edilmesi, sürdürülebilir ulaşımın temel unsurlarından biridir. EA'lar, bataryalarına enerji depolamak için şarj istasyonlarına veya ev tipi şarj cihazlarına bağlanarak çalışır. Şarj altyapısının yaygınlaşması, elektrikli araçların benimsenmesini artırmak ve kullanıcı deneyimini iyileştirmek açısından kritik öneme sahiptir. Şarj işlemleri genellikle üç kategoriye ayrılmaktadır: yavaş (AC), hızlı (AC veya DC) ve ultra hızlı (DC) [22]. Halka açık hızlı şarj istasyonları, seyahat sürelerini azaltarak kullanıcıların gereksinimlerini daha verimli karşılamaktadır.

Bununla birlikte, EA'ların yaygınlaşması, şarj altyapısının yeterliliği, enerji yönetimi ve kullanıcı deneyimi açısından çeşitli zorlukları da beraberinde getirmektedir. Şarj altyapısının geliştirilmesi yalnızca yeni istasyonların inşasıyla sınırlı kalmamakta; enerji verimliliği, şebeke yükü yönetimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi unsurları da kapsamaktadır. Bu süreçte, teknolojik gelişmeler ve politika

destekleri ile kamu ve özel sektör iş birliği karşılaşılan sorunların çözümünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu iş birlikleri, enerji yönetimi stratejilerinin etkinleştirilmesi ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesi yoluyla EA ekosisteminin daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlamaktadır [36]. EA'ların dünya çapında hızla yaygınlaşmasıyla birlikte, birçok araştırmacı EAŞİ'lerinin en uygun konumunu belirlemek için çeşitli yaklaşımlar önermiştir. Bu konudaki çalışmalarda ÇKKV yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [34,37-40].

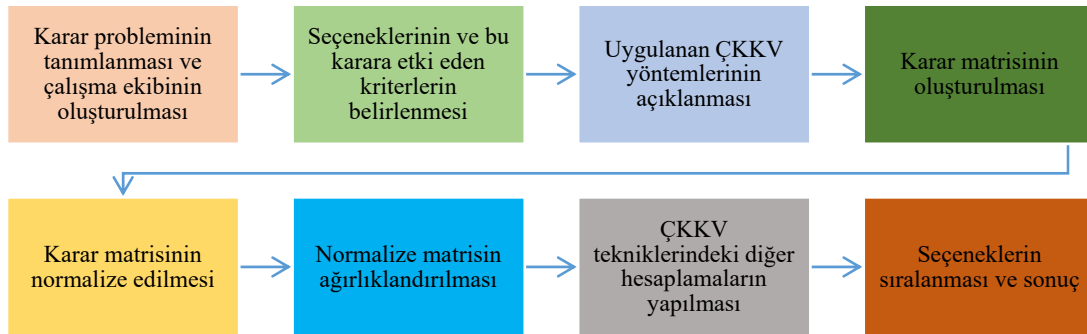
Bursa'da yaklaşık 400 elektrikli araç (EA) şarj istasyonu bulunmaktadır [35]. Büyük şehirlerde şarj istasyonlarının stratejik konumlandırılması, kullanıcı memnuniyeti ve sürdürülebilir enerji kullanımını açısından önemlidir. Bu doğrultuda, Bursa'daki istasyonların ÇKKV yöntemleri ile belirlenmesi, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmada, analiz edilen potansiyel şarj istasyonu konumları Şekil 6'te gösterilmiştir.



Şekil 6. Bursa'daki şarj cihazlarının konumları

### 2.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Hemen hemen tüm gerçek hayat problemlerinde sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri çok sayıda kriteri birlikte göz önünde bulundurarak değerlendirme yapma imkanı vermektedir. Seçeneklerin sıralanması veya probleme etki eden kriterlerin önem derecelerinin bulunması gereken hemen hemen her alanda ÇKKV yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde 200'e yakın ÇKKV yöntemi bulunmakta ve buna ger geçen gün yenileri eklenmektedir [41]. ÇKKV yöntemlerin aşamaları aşağıda Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Çok kriterli karar verme süreci [41]

Bu çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında; her bir kriterin etkisini "çıkarılma etkisi" üzerinden değerlendirerek, kriterin gerçek katkısını doğrudan ölçtüğü için diğer istatistiksel yaklaşımlara göre daha doğal ve mantıksal bulunması nedeniyle güncel kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan MEREK yöntemi tercih edilmiştir.

Seçeneklerin sıralanması işlemi için ise MAIRCA, MABAC, MOOSRA ve COPRAS yöntemleri tümleşik olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler, farklı matematiksel yaklaşımlara dayanan güncel yöntemler olmaları

nedeniyle tercih edilmiştir. MAIRCA yöntemi, ideal ve gerçek performans arasındaki farkı minimize ederek dengeye dayalı bir sıralama yaklaşımı benimserken; MABAC yöntemi, alternatiflerin sınır alanına olan uzaklıklarını dikkate alarak uzaklık temelli bir değerlendirme yapar. MOOSRA yöntemi, fayda ve maliyet oranlarını esas alarak alternatiflerin nispi üstünlüklerini ortaya koyarken; COPRAS yöntemi, kriter ağırlıkları üzerinden oransal bir analiz gerçekleştirir. Bu çeşitlilik, farklı algoritmik yaklaşımların sonuçlar üzerindeki etkisini karşılaştırma imkânı sunduğundan, analizlerin tutarlılığı ve güvenilirliği açısından bu yöntemlerin birlikte kullanılması uygun görülmüştür.

### 2.3.1. MEREC Yöntemi

Keshavarz-Ghorabae ve arkadaşları tarafından 2021 yılında geliştirilen MEREC yönteminde; probleme etki eden kriterlerin önem derecelerini (ağırlıklarını) bulmak için her bir kriterin alternatiflerin toplam performansı üzerindeki kaldırılma etkisi dikkate alınarak hesaplamalar yapılır. Yöntem aşağıdaki adımlar takip ederek uygulanmaktadır [42,43].

1. Adım. Karar matrisi oluşturulması. Eşitlik (1)'de gösterilen (mxn) ebadındaki X karar matrisi oluşturulur.  $x_{ik}$  karar matrisinin elemanlarını, n alternatifleri, m ise kriterleri ifade eder.

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

2. Adım. Karar matrisinin normalize edilmesi. Yönü maksimizasyon olan kriterler eşitlik (2) ve yönü minimizasyon olan kriterler eşitlik (3) kullanılarak normalize edilir.

$$n_{ij}^x = \frac{\min_k x_{kj}}{x_{ij}} \quad (2)$$

$$n_{ij}^x = \frac{x_{ij}}{\max_k x_{kj}} \quad (3)$$

3. Adım. Seçeneklerin genel performanslarının hesaplanması.  $S_i$  değerleri eşitlik (4)'de gösterilen logaritmik bir fonksiyon ile hesaplanır.

$$S_i = \ln\left(1 + \frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)|\right) \quad (4)$$

4. Adım. Kriter çıkararak seçeneklerin performanslarının hesaplanması. Sırasıyla her bir kriter yok sayılarak Eşitlik (5) ile seçeneklerin performansları hesaplanır. m kriter sayısı kadar m performans seti hesaplanır. j kriterin kaldırıldığı i seçeneğin performansı  $S'_{ij}$  olarak gösterilir.

$$S'_{ij} = \ln\left(1 + \frac{1}{m \sum_{k, k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)|}\right) \quad (5)$$

5. Adım. Mutlak sapmaların hesaplanması. 3 ve 4. Adımdaki değere bağlı olarak eşitlik (6) ile j kriterin kaldırılma etkisi ( $E_j$ ) hesaplanır.

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad (6)$$

6. Adım. Kriterlerin nihai ağırlıklarının bulunması. Her bir kriterin nihai ağırlığı ( $w_j$ ) Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır.

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad (7)$$

### 2.3.2. MAIRCA Yöntemi

Gigovic ve arkadaşları tarafından geliştirilen MAIRCA yönteminin temeli, ideal ve ampirik derecelendirmeler arasındaki boşlukların tanımlanmasına dayanır. Her kriter için ayrı ayrı boşlukların toplanmasıyla, karar seçeneklerin toplam boşluğu bulunur. Toplam boşluk değerleri en küçükten en büyüğe doğru sıralanarak değeri en az olan seçenek, en iyi seçenek olarak belirlenir. MAIRCA yöntemi (8)-(18) numaralı eşitlikler kullanılarak uygulanır [44-46].

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması. X karar matrisi (8) numaralı eşitlik ile oluşturulur.

$$X^* = \begin{bmatrix} x_{11}^* & \dots & x_{1p}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}^* & \dots & x_{mn}^* \end{bmatrix} \quad (i = 1, \dots, m \text{ and } j = 1, \dots, n) \quad (8)$$

2. Adım Matrisin normalize edilmesi. X karar matrisi maksimizasyon yönlü kriterler için (9), minimizasyon yönlü kriterler için ise (10) numaralı eşitlik kullanılarak (11) numaralı eşitlikte gösterilen normalize matris elde edilir.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (9)$$

$$n_{ij} = \frac{x_i^+ - x_{ij}}{x_i^+ - x_i^-} \quad (10)$$

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & \dots & n_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

3. Adım. Alternatiflerin seçilme olasılıklarının ( $P_i$ ) belirlenmesi. (12) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$P_i = P_{i+1} = \dots = P_m = 1/m \quad (12)$$

4. Adım. Teorik değerlendirme matrisinin oluşturulması. (13) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$t_{ij} = P_i * w_{ij} \quad (13)$$

5. Adım. Reel değerlendirme matrisinin oluşturulması. (14) numaralı eşitlik ile (15) numaralı eşitlikte gösterilen R reel değerlendirme matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = t_{ij} * n_{ij} \quad (14) \quad R = \begin{bmatrix} t_{11}n_{11} & \dots & t_{1n}n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{11}n_{m1} & \dots & t_{mn}n_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

6. Adım. Toplam fark matrisinin oluşturulması. (16) numaralı eşitlik ile (17) numaralı eşitlikte gösterilen fark matrisi oluşturulur.

$$G = T - R \quad (16) \quad G = \begin{bmatrix} t_{11} - r_{11} & \dots & t_{1n} - r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} - r_{m1} & \dots & t_{mn} - r_{mn} \end{bmatrix} \quad (17)$$

7. Adım. Alternatiflerin kriter fonksiyon değerlerinin hesaplanması. (18) numaralı eşitlik ile hesaplanır. Daha sonra  $Q_i$  değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak seçenekler sıralanmış olur.

$$Q_i = \sum_j^n g_{ij} \quad (18)$$

### 2.3.3. MABAC Yöntemi

İngilizce açılımı “Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison” olan ve Pamučar ve Čirović tarafından geliştirilen MABAC yöntemi, karar alternatiflerinin kriter fonksiyonlarına ilişkin değerlerinin, sınır yakınlık alanına olan uzaklıkları dikkate alınarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu yöntem, karar alternatiflerinin performansını daha dengeli bir biçimde ölçmeyi amaçlamakta olup, (19)-(27) numaralı eşitlikler kullanılarak altı adımda uygulanmaktadır [47,48].

1. Adım. Başlangıç matrisinin oluşturulması. (19) numaralı eşitlik ile X başlangıç matrisi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (19)$$

2. Adım. Başlangıç matrisi normalize edilir. Fayda yönlü kriterler (20) numaralı eşitlik ile maliyet yönlü olanlar ise (21) numaralı eşitlik ile normalize edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (20) \quad r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (21)$$

3. Adım. Normalize matris ağırlıklandırılır. (22) numaralı eşitlik ile ağırlıklandırma işlemi yapılır.

$$V_{ij} = W_j * (1 + r_{ij}) \quad (22)$$

4. Adım. Sınır yakınlık alanlarının belirlenmesi (23) numaralı eşitlik ile bulunur.

$$g_i = \left( \prod_{j=1}^m V_{ij} \right)^{1/m} \quad (23)$$

5. Adım. Seçeneklerin sınır yakınlık alanlarına uzaklıklarının hesaplanması. (24-26) numaralı eşitlikler ile hesaplanır.

$$G = [g_i]_{1 \times n} \quad (24)$$

$$Q = (v_i - G) = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \dots & v_{1n} - g_n \\ v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \dots & v_{2n} - g_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} - g_1 & v_{m2} - g_2 & \dots & v_{mn} - g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{eğer } q_{ij} > 0 \\ G & \text{eğer } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{eğer } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (26)$$

6. Adım. Alternatiflerin sıralanması. (27) numaralı eşitlik ile nihai sıralama elde edilir. Daha sonra  $S_i$  değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak seçenekler sıralanmış olur.

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (27)$$

### 2.3.4. MOOSRA Yöntemi

İngilizce açılımı “Multi-Objective Optimization Based on Simple Ratio Analysis” olan MOOSRA yöntemi, 2012 yılında Das ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem; kısa hesaplama süresi, az sayıda

matematiksel işlem gerektirmesi, yüksek güvenilirliği ve uygulanma kolaylığı nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. MOOSRA yöntemi, (28)-(31) numaralı eşitlikler kullanılarak beş adımda uygulanmaktadır [49-51].

1. Adım. Başlangıç matrisinin oluşturulması.  $X^*$  başlangıç matrisi (28) numaralı eşitlik ile ifade edilir.

$$X^* = \begin{bmatrix} x_{11}^* & \dots & x_{1p}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}^* & \dots & x_{mn}^* \end{bmatrix} \quad (i = 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n) \quad (28)$$

2. Adım. Başlangıç matrisi normalize edilmesi. Normalizasyon için (29) numaralı eşitlik kullanılır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad (29)$$

3. Adım. Normalize edilmiş matris ağırlıklandırılması. Ağırlıklandırma işlemi (30) numaralı eşitlik ile yapılır.

$$a_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j \quad (30)$$

4. Adım. Fayda maliyet oranları bulunması. Fayda yönlü kriterlerin değerler toplamı maliyet yönlü kriterlerin değerler toplamına eşitlik (31) kullanılarak bölünür.

$$Y_i = \frac{\sum_j^g x_{ij}^* \cdot w_j}{\sum_{j'=g+1}^n x_{ij'}^* \cdot w_j} \quad (31)$$

$j = 1, 2, \dots, g$  fayda yönlüleri için,  $j' = g + 1, g + 2, \dots, n$  maliyet yönlüleri için

5. Adım. Seçenekler sıralanması.  $Y_i$  değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak seçenekler sıralanmış olur.

### 2.3.5. COPRAS Yöntemi

İngilizce açılımı "The Complex Proportional Assessment" olan COPRAS yöntemi, Zavadskas ve Kaklauskas tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem, kriterlerin fayda ve maliyet odaklı amaçlarını dikkate alarak alternatifleri değerlendirir. COPRAS'ın en önemli avantajı, alternatifleri karşılaştırarak bunların birbirlerine göre hangi oranda daha iyi ya da daha kötü olduğunu oransal olarak ortaya koyabilmesidir. Diğer Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerine kıyasla daha az işlem gerektirmesi ve daha basit formüller kullanması, yöntemin uygulanabilirliğini artırmaktadır. COPRAS yöntemi, (32)-(38) numaralı eşitlikler kullanılarak altı adımda uygulanmaktadır [52-54].

1. Adım. Başlangıç matrisinin oluşturulması.  $X$  başlangıç matrisi eşitlik (32) ile ifade edilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ddots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (32)$$

2. Adım. Başlangıç matrisinin normalize edilmesi. Başlangıç matrisi (33) numaralı eşitlik ile normalize edilir.

$$X_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (33)$$

3. Adım. Normalize edilmiş matrisin ağırlıklandırılması. Normalize edilmiş matris (34) numaralı eşitlik ile ağırlıklandırılır.

$$r_{ij} = x_{ij}^* w_j \quad (34)$$

4. Adım. Fayda ve maliyet ölçütlerinin hesaplanması. Fayda ölçütü (35), maliyet ölçütü ise (36) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k r_{ij} \quad (35)$$

$$S_i^- = \sum_{j=k+1}^m r_{ij} \quad (36)$$

5. Adım. Göreli önem derecelerinin belirlenmesi.  $Q_i$  göreli önem dereceleri eşitlik (37) ile bulunur.

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{S_i^-}\right)} \quad (37)$$

6. Adım. Göreli önem derecelerinin en büyüğünün belirlenmesi ve seçeneklerin performans indekslerinin hesaplanması. Performans indeksleri eşitlik (38) ile hesaplanır. Daha sonra  $P_i$  değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak seçenekler sıralanmış olur.

$$P_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}}\right) * 100 \quad (38)$$

### 2.3.6. BORDA Yöntemi

Borda yöntemi, 1784 yılında Borda tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, birden fazla analiz yönteminden elde edilen sıralamaların birleştirilerek tek bir nihai sıralama oluşturulmasını sağlar [55]. Borda Kuralı'na göre, en yüksek değere sahip alternatife (n-1) puan verilirken, en düşük değere sahip alternatife 0 puan verilmektedir [56]. Borda kuralı ile her bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yönteminden elde edilen sonuçlar puanlanmakta; ardından elde edilen Borda skorlarının eşitlik (39) ile toplanmasıyla alternatiflerin toplam puanları hesaplanmaktadır. Son olarak, bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak alternatiflerin nihai sıralaması belirlenmektedir [32].

$$B_i = \sum_{k=1}^r m - a_{ik} \quad (39)$$

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada EAŞİ konumları, Bursa ilinde EA araç kullanıcılarının yoğun olduğu bölgeler, ticaret ve sanayi alanları, üniversiteler, oteller, AVM'ler ve dinlenme tesisleri gibi potansiyel noktalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Konumların belirlenmesinde ve değerlendirilmesinde bu konuda uzman mühendislerin görüşlerine başvurulmuştur. Togg fabrikasında çalışan EA konusunda uzman personel ile yapılan görüşmeler sonucunda EA şarj istasyonlarının konumlarının belirlenmesine etki eden 8 parametre tespit edilmiştir. Muhtemel EAİŞ kuruluş yerlerin belirlenmesine etki eden faktörler ve kodları [46];

- i. Kurulum maliyeti ( $K_1$ ),
- ii. Araç yoğunluğu ( $K_2$ ),
- iii. Erişilebilirlik ( $K_3$ ),
- iv. Müşteri tercihi ( $K_4$ ),
- v. Elektrik altyapı uygunluğu ( $K_5$ ),
- vi. Yıllık operasyon ve bakım maliyeti ( $K_6$ ),
- vii. Yasal düzenlemeler ve izinler ( $K_7$ ),
- viii. Yakın çevredeki şarj istasyonları ( $K_8$ ) olarak belirlenmiştir.

Bu bağlamda Bursa ili özelinde EAŞİ kurulabilecek 21 nokta belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalar aşağıda Çizelge 2’de gösterilmiştir [46].

**Çizelge 2.** Bursa ilinde muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri

S. no	Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	S. no	Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri
1	Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	12	Uludağ oteller bölgesi
2	Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	13	Hilton otel
3	İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	14	Almira otel
4	Korupark AVM	15	Kervansaray otel
5	Suryapı AVM	16	Kültürpark
6	Anatolium AVM	17	Bursaspor stadı
7	Özdilek park AVM	18	Organize sanayi bölgesi
8	Kent meydanı AVM	19	Nilüfer sanayi bölgesi
9	Uludağ Üniversitesi	20	Demirtaş sanayi bölgesi
10	Bursa Teknik Üniversitesi	21	Heykel tarihi Bursa alanı
11	Mudanya Üniversitesi		

EAŞİ kurulacak konular belirlendikten sonra EA projesinde çalışan mühendisler tarafından yapılan değerlendirmelere göre çizelgeler doldurulmuştur. İlk aşamada MEREC yöntemi ile ağırlıklar bulunmuş, daha sonra MAİRCA yöntemi ile kuruluş yerleri en uygun olandan itibaren sıralanmıştır. Mühendislerin Çizelge 3’de belirtilen 1-9 dilsel ölçeği kullanarak doldurulan başlangıç matrisi Çizelge 4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.** Uzmanların kullandığı dilsel ölçek [57]

Değer	Açıklama
1	Çok düşük
3	Düşük
5	Normal
7	Yüksek
9	Çok yüksek

**Çizelge 4.** Başlangıç matrisi

Şarj istasyonu konumu kriter yönü	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>
	max	max	max	max	min	min	min	min
Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	9	9	5	9	7	5	5	9
Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	9	9	5	9	7	5	5	9
İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	9	9	9	9	7	5	5	9
Korupark AVM	9	9	9	5	7	5	7	9
Suryapı AVM	9	9	9	5	7	5	7	7
Anatolium AVM	7	9	9	5	7	5	7	9
Özdilek park AVM	7	9	9	5	7	5	7	5
Kent meydanı AVM	9	9	9	5	7	5	7	9
Uludağ Üniversitesi	7	9	7	5	7	5	7	1
Bursa Teknik Üniversitesi	5	9	7	5	7	5	7	1
Mudanya Üniversitesi	5	9	7	5	7	5	7	1
Uludağ oteller bölgesi	7	5	7	3	9	5	9	1
Hilton otel	7	9	5	5	7	5	9	1
Almira otel	7	9	5	5	7	5	9	7
Kervansaray otel	7	9	5	5	7	5	9	1
Kültürpark	7	9	7	5	7	5	7	3
Bursaspor stadı	5	9	7	5	7	5	7	1
Organize sanayi bölgesi	9	9	9	9	7	5	7	1
Nilüfer sanayi bölgesi	9	9	9	9	7	5	7	1
Demirtaş sanayi bölgesi	9	9	9	9	7	5	7	1
Heykel tarihi Bursa alanı	9	9	9	5	7	5	5	7

### 3.1. MEREC Yöntemi ile EAŞİ Yeri Seçimine Etki Eden Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Çizelge 4’de puanlanan konumların MEREC yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda başlangıç matrisi doğrusal orantı yöntemi ile normalize edilmiştir. Daha sonra MEREC yönteminde (1)-(7) numaralı eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda EAŞİ konumu seçim kriterlerinin ağırlıkları aşağıda Çizelge 5’te gösterildiği gibi ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 5.** EAŞİ kuruluş yeri seçim kriterleri ve ağırlıkları

Kriterler	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>
Ağırlıklar	0,0905	0,1242	0,1750	0,1430	0,0495	0,0968	0,0587	0,2623

Çizelge 5’da görüldüğü gibi en önemli üç kriter sırasıyla “K<sub>8</sub>: Yakın çevredeki şarj istasyonları”, “K<sub>3</sub>: Erişilebilirlik” ve “K<sub>4</sub>: Müşteri tercihi” olarak belirlenmiştir.

### 3.2. MEREC Yöntemi ile EAŞİ Yeri Seçimine Etki Eden Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kuruluş yerim seçim kriterlerinin ağırlıkları hesaplandıktan sonra MAIRCA yöntemi ile (8)-(18) numaralı eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda her bir EA Şarj istasyonu kuruluş yerinin aldığı puan ve sıralaması aşağıda Çizelge 6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 6.** Şarj istasyonu konumlarının MAIRCA puanı ve sıralaması

Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra	Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra
Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	0,003669	10	Uludağ oteller bölgesi	0,05284	13
Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	0,003669	10	Hilton otel	0,05284	8
İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	0,003669	2	Almira otel	0,054422	14
Korupark AVM	0,032784	9	Kervansaray otel	0,054422	8
Suryapı AVM	0,038231	6	Kültürpark	0,054664	7
Anatolium AVM	0,043683	12	Bursaspor stadı	0,054664	5
Özdilek park AVM	0,043884	4	Organize sanayi bölgesi	0,054794	1
Kent meydanı AVM	0,043884	9	Nilüfer sanayi bölgesi	0,060075	1
Uludağ Üniversitesi	0,043884	3	Demirtaş sanayi bölgesi	0,075623	1
Bursa Teknik Üniversitesi	0,046226	5	Heykel tarihi Bursa alanı	0,077428	11
Mudanya Üniversitesi	0,046427	5			

### 3.3. MABAC Yöntemi ile EAŞİ Kuruluş Yerlerinin Sıralanması

MABAC yöntemi ile (19)-(27) numaralı eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda her bir EA Şarj istasyonu kuruluş yerinin aldığı puan ve sıralaması aşağıda Çizelge 7’de gösterilmiştir

**Çizelge 7.** Şarj istasyonu konumlarının MABAC puanı ve sıralaması

Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra	Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra
Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	-0,0339	12	Uludağ oteller bölgesi	-0,2016	15
Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	-0,0339	12	Hilton otel	-0,0193	8
Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	0,1411	2	Almira otel	-0,2160	16
İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	-0,0320	10	Kervansaray otel	-0,0193	9
Korupark AVM	0,0336	6	Kültürpark	0,0320	7
Suryapı AVM	-0,0772	14	Bursaspor stadı	0,0523	5
Anatolium AVM	0,0539	4	Organize sanayi bölgesi	0,3740	1
Özdilek park AVM	-0,0320	11	Nilüfer sanayi bölgesi	0,3740	1
Kent meydanı AVM	0,0975	3	Demirtaş sanayi bölgesi	0,3740	1
Uludağ Üniversitesi	0,0523	5	Heykel tarihi Bursa alanı	-0,0350	13
Bursa Teknik Üniversitesi	0,0523	5			

### 3.4. MOOSRA Yöntemi ile EAŞİ Kuruluş Yerlerinin Sıralanması

MOOSRA yöntemi ile (28)-(31) numaralı eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda her bir EA Şarj istasyonu kuruluş yerinin aldığı puan ve sıralaması aşağıda Çizelge 8’de gösterilmiştir

**Çizelge 8.** Şarj istasyonu konumlarının MOOSRA puanı ve sıralaması

Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra	Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra
Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	0,9683	10	Uludağ oteller bölgesi	1,1687	7
Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	0,9683	10	Hilton otel	1,6092	4
İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	1,1300	8	Almira otel	0,7942	14
Korupark AVM	0,8816	12	Kervansaray otel	1,6092	4
Suryapı AVM	1,0351	9	Kültürpark	1,3886	5
Anatolium AVM	0,8444	13	Bursaspor stadı	1,8030	3
Özdilek park AVM	1,2003	6	Organize sanayi bölgesi	3,0032	1
Kent meydanı AVM	0,8816	12	Nilüfer sanayi bölgesi	3,0032	1
Uludağ Üniversitesi	1,8945	2	Demirtaş sanayi bölgesi	3,0032	1
Bursa Teknik Üniversitesi	1,8030	3	Heykel tarihi Bursa alanı	0,9662	11
Mudanya Üniversitesi	1,8030	3			

### 3.5. COPRAS Yöntemi ile EAŞİ Kuruluş Yerlerinin Sıralanması

COPRAS yöntemi ile (32)-(38) numaralı eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda her bir EA Şarj istasyonu kuruluş yerinin aldığı puan ve sıralaması aşağıda Çizelge 9’da gösterilmiştir

**Çizelge 9.** Şarj istasyonu konumlarının COPRAS puanı ve sıralaması

Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra	Muhtemel EAŞİ kuruluş yerleri	Puanı	Sıra
Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	57,40239	11	Uludağ oteller bölgesi	63,19794	7
Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	57,40239	11	Hilton otel	74,15745	4
İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	63,94603	6	Almira otel	50,3513	14
Korupark AVM	55,91233	12	Kervansaray otel	74,15745	4
Suryapı AVM	59,05985	9	Kültürpark	66,17968	5
Anatolium AVM	54,26364	13	Bursaspor stadı	78,44802	3
Özdilek park AVM	62,02706	8	Organize sanayi bölgesi	100	1
Kent meydanı AVM	55,91233	12	Nilüfer sanayi bölgesi	100	1
Uludağ Üniversitesi	80,09672	2	Demirtaş sanayi bölgesi	100	1
Bursa Teknik Üniversitesi	78,44802	3	Heykel tarihi Bursa alanı	57,90242	10
Mudanya Üniversitesi	78,44802	3			

### 3.6. Borda Yöntemi ile Sonuçların Birleştirilmesi

EAŞİ istasyonu konumlarının dört farklı ÇKKV yöntemiyle yapılan sıralama sonuçları Borda kuralı ile birleştirilmiştir. Öncelikle eşitlik (39) ile her bir yöntemin borda değeri bulunmuştur. Daha sonra bu değerler toplanarak seçeneklerin toplam borda değeri bulunmuş ve nihai sıralama yapılmıştır. Yapılan bu işlemlerin sonucu Çizelge 10’da gösterilmiştir.

**Çizelge 10.** ÇKKV yöntemlerinin sonuçlarının Borda kuralı ile birleştirilmesi

EA Şarj istasyon konumu	MAIRCA	Borda değeri	MABAC	Borda değeri	MOOSRA	Borda değeri	COPRAS	Borda değeri	Toplam Borda değeri	Nihai Borda sıralaması
Ankara-İzmir yolu benzin istasyonu	10	4	12	4	10	4	11	3	15	10
Yalova-İstanbul yolu benzin istasyonu	10	4	12	4	10	4	11	3	15	10
İstanbul İzmir otobanı Bursa tesisleri	2	12	2	14	8	6	6	8	40	4
Korupark AVM	9	5	10	6	12	2	12	2	15	10
Suryapı AVM	6	8	6	10	9	5	9	5	28	8
Anatolium AVM	12	2	14	2	13	1	13	1	6	13
Özdilek park AVM	4	10	4	12	6	8	8	6	36	5
Kent meydanı AVM	9	5	11	5	12	2	12	2	14	11
Uludağ Üniversitesi	3	11	3	13	2	12	2	12	48	2
Bursa Teknik Üniversitesi	5	9	5	11	3	11	3	11	42	3

**Çizelge 10. Devamı**

Mudanya Üniversitesi	5	9	5	11	3	11	3	11	42	3
Uludağ Oteller Bölgesi	13	1	15	1	7	7	7	7	16	9
Hilton Otel	8	6	8	8	4	10	4	10	34	6
Almira Otel	14	0	16	0	14	0	14	0	0	14
Kervansaray Otel	8	6	9	7	4	10	4	10	33	7
Kültürpark	7	7	7	9	5	9	5	9	34	6
Bursaspor Stadi	5	9	5	11	3	11	3	11	42	3
Organize Sanayi Bölgesi	1	13	1	15	1	13	1	13	54	1
Nilüfer Sanayi Bölgesi	1	13	1	15	1	13	1	13	54	1
Demirtaş Sanayi Bölgesi	1	13	1	15	1	13	1	13	54	1
Heykel Tarihi Bursa Alanı	11	3	13	3	11	3	10	4	13	12

Farklı ÇKKV yöntemleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 10'da görüldüğü gibi Bursa İlinde optimum EAŞİ konumu “Organize Sanayi Bölgesi”, “Nilüfer Sanayi Bölgesi” ve “Demirtaş Sanayi Bölgesi”, en uygun olmayan lokasyon ise “Almira Otel” olarak ortaya çıkmıştır. Farklı matematiksel mantığa bağlı dört değişik ÇKKV yöntemi ile elde edilen sonuçlar ve Borda kuralı ile elde edilen nihai sonucun birbirini doğruladığı görülmektedir. Organize sanayi bölgelerinin altyapı ve servis özelliklerinin yüksek olması ve başta otomotiv sanayi olmak üzere sanayi çalışanlarının yoğun EA kullanımı bu tespiti ayrıca doğrular niteliktedir. Çalışmada tüm hesaplamalar Microsoft Excel kullanılarak yapılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

EA'ların yaygınlaşması, Türkiye'nin enerji bağımlılığını azaltması ve karbon salınımını düşürmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu bağlamda, şarj altyapısının etkin planlanması, kullanıcıların sürdürülebilir bir ulaşım deneyimi yaşamalarını sağlayacaktır. Bu çalışma, EAŞİ'lerin konumlandırılmasında karar destek sistemlerinin kullanımına odaklanmış olup, Bursa ili özelinde önemli bulgular sunmaktadır. Bursa, sanayi ve ticaret alanındaki stratejik konumu nedeniyle şarj altyapısının geliştirilmesi gereken kritik şehirlerden biridir. Elektrikli araç kullanımının artmasına paralel olarak, mevcut istasyonların sayısı ve dağılımının etkin bir planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırmada, Bursa ili özelinde EAŞİ konumlandırılmasına odaklanılmıştır. Çalışma, yalnızca kent merkezindeki belirli bölgelerle sınırlandırılmış olup, kırsal alanlar kapsam dışı bırakılmıştır. Ana ulaşım güzergâhları, dinlenme tesisleri, alışveriş merkezleri, üniversiteler, turistik ve konaklama alanları, sanayi bölgeleri ve tarihi merkezler gibi stratejik noktalar; mevcut şarj istasyonları, trafik yoğunluğu, nüfus dağılımı ve enerji altyapısının uygunluğu gibi faktörler göz önünde bulundurularak aşağıda belirtilen varsayımlara göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda;

- EAŞİ'lerin doğru konumlandırılmasının sürdürülebilir enerji kullanımını artıracığı,
- Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin uygun istasyon yerlerinin belirlenmesinde etkili olduğu,
- Kullanıcı yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde şarj istasyonlarının konumlandırılmasının memnuniyeti artıracığı,
- Yeterli sayıda istasyonun EA kullanımının yaygınlaşmasını destekleyeceği değerlendirilmektedir.

Araştırmada kullanılan ÇKKV yöntemleri, nesnel ve sistematik karar mekanizmaları sağlayarak en uygun istasyon konumlarını belirlemede etkili olmuştur. EAŞİ'lerin stratejik konumlandırılması, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra kullanıcı memnuniyetini de yükseltmektedir. Bursa gibi hızla büyüyen şehirlerde bu altyapının planlanması, sürdürülebilir şehircilik hedeflerine ulaşmak açısından kritik bir gerekliliktir. Araştırma sonucunda ulaşılan başlıca bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- ÇKKV yöntemleri, EAŞİ konumlandırılmasında nesnel ve sistematik bir yaklaşım sunmuş, EAŞİ yeri seçimine etki eden kriterlerin önceliklendirilmesine olanak tanımıştır.
- Yakın çevredeki şarj istasyonları, erişilebilirlik ve müşteri tercihi en etkili faktörler olarak belirlenmiştir. Araç yoğunluğu ve yıllık operasyon ve bakım maliyeti de kritik rol oynamaktadır.

- iii. Değerlendirilen 21 konum arasında organize sanayi bölgelerinin (İlk üç sıralama: Organize Sanayi Bölgesi, Nilüfer Sanayi Bölgesi, Demirtaş Sanayi Bölgesi) ve altyapısı uygun alanlarının öne çıktığı görülmüştür.
- iv. Şehrin sanayi ve ticaret merkezi olması, EA kullanımını artırmaktadır. Mevcut şarj altyapısının güçlendirilmesi, enerji verimliliği ve sürdürülebilir ulaşım hedefleri için önem taşımaktadır.
- v. Farklı ÇKKV yöntemleri ile yapılan değerlendirme ile Borda Kuralı ile yapılan birleştirilmiş değerlendirmenin sonuçların aynı çıkması sonuçların güvenilirliğini ve tutarlılığını doğrulamaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, Bursa ili özelinde gerçekleştirilmiş olup, benzer yöntemlerle diğer şehirlerde de uygulanarak EA altyapısının gelişimine katkı sağlanabilir. Değişik ÇKKV yöntemleri ile kriter ağırlıklarını belirleme açısından tekrar yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir ve kriterlerde yapılacak değişikliklerin sonuca etkileri duyarlılık analizi ile tespit edilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kirsch, D.A. (2000). The electric vehicle and the burden of history. *Rutgers University Press*.
2. Larminie, J. & Lowry, J. (2012). Electric vehicle technology explained. *John Wiley & Sons.*
3. Puiboube, D. (2000), Un siècle d'automobile en France. *Paris: ETAL.*, 28.
4. Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.
5. Leitman, S. & Brant, B. (2008). Build your own electric vehicle. *The McGraw-Hill Companies Second Edition*.
6. Stoops, L. (2022). *How the 1970s oil crisis paved the way for the first EVs*. [https://qmerit.com/blog.](https://qmerit.com/blog/), Access date: 12 Mart 2025.
7. Mom, G. (2004). The electric vehicle: technology and expectations in the automobile age. *Johns Hopkins University Press*.
8. Chan, C.C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704-718.
9. European Commission, (2021). *Fit for 55: Delivering the EU's 2030 climate target on the way to climate neutrality*. <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions>. Access date: 5 Ocak 2025.
10. T.C. Ticaret Bakanlığı, (2025). *Çin elektrikli araç sektöründe dönüşüm: küresel eğilimler ve bölgesel dinamikler*. <https://ticaret.gov.tr/data/63db95d713b876d06090b612>, Access date: 22 Şubat 2025
11. Togg, (2025). [https://www.togg.com.tr.](https://www.togg.com.tr), Access date: 18 Şubat 2025.
12. Çakmak, R. ve Turan, A. (2022). Türkiye'de iller bazında elektrikli araç şarj istasyonu altyapısı: ölçekler aracılığıyla analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 246-268.
13. Albatayneh, A., Assaf, M.N., Alterman, D. & Jaradat, M. (2020). Comparison of the overall energy efficiency for internal combustion engine vehicles and electric vehicles. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 24(1), 669-680.
14. Karaşan, A., Kaya, I. & Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: a case study in Turkey. *Neural Computing and Applications*, 32, 4553-4574.
15. Öter, A. ve Baltacı, F. (2022). Elektrikli araçlar için akıllı hibrit şarj istasyonu örneği. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 160-175.
16. Kalan, O. (2024). Analitik hiyerarşi prosesi ile Mersin-Gaziantep yüksek hızlı tren hattı için istasyon yeri seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(1), 31-45.
17. Ahmad, F., Iqbal, A., Ashraf, I., Marzband, M. & Khan, I. (2022). Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review. *Energy Reports*, 8, 2314-2333.
18. Pandey, A., Singh, S.K., Srivastava, H.K. & Pandey, S. (2025). Factors causing electric vehicles adoption in India: a regression and sentiment analysis approach. *International Journal of Energy Sector Management*, 07, 2024-0048
19. Çiçek, A. ve Erdiç, O. (2019). PV-batarya hibrit sistemi içeren elektrikli araç otoparkının şarj yönetimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 466-474.
20. Güler, A. & Polatgil, M. (2024). Investigation of the effect of expert's opinions on multi-criteria decision-making techniques in electric vehicle selection. *European Transport*, 99, 1-17.

21. Iravani, H. (2022). A multicriteria GIS-based decision-making approach for locating electric vehicle charging stations. *Transportation Engineering*, 9, 100135.
22. Durmuş, F.S. ve Kaymaz, H. (2020). Elektrikli araç şarj yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139.
23. Dhingra, A., Jareda, A., Choudhary, H. & Agrawal, S. (2020). Selection of optimal electric vehicle charging station location using AHP-fuzzy TOPSIS approach. *In Proceedings of the 2nd International Conference on ICT for Digital, Smart, and Sustainable Development, ICIDSSD*.
24. Özüpak, Y. (2022). Elektrikli araçların kablosuz güç transferi sistemi için dairesel bobinli bir transformatörün tasarımı ve veriminin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 209-219.
25. Almasoudi, F.M., Bakeer, A., Magdy, G., Alatawi, K.S.S., Shabib, G., Lakhout, A. & Alomrani, S.E. (2024). Nonlinear coordination strategy between renewable energy sources and fuel cells for frequency regulation of hybrid power systems. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102399.
26. Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A. ve Kılıç, M. (2022). Elektrikli araç bataryalarının bütünleşik SWARA-TOPSIS metodu ile değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(4), 1061-1076.
27. Güven, E.C. ve Gedik, K. (2019). Ömrünü tamamlamış elektrikli araç bataryalarının çevresel yönetimi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 726-737.
28. Üçtuğ, F.G. (2022). Türkiye’de üretilen elektrikli ve içten yanmalı motorlu araçların karşılaştırmalı çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(4), 1701-1714.
29. Harshil, B. & Nagababu, G. (2023) Strategies and models for optimal EV charging station site selection. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1372(1), 012106.
30. Bakioğlu, G. (2024). Yeşil araç rotalama problemlerinin entegre pisagor bulanık AHP ve EDAS yöntemleri ile analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 12(4), 864-881.
31. Erdoğan, B., Tan, A. ve Tümay, M. (2024). Elektrikli araçlarda kullanılan batarya şarj uygulamaları için genetik algoritma ile geliştirilmiş bir rezonans dönüştürücü tasarımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(4), 1129-1142.
32. Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A. & Cengiz, N. (2024). A comprehensive analysis of apricot drying methods via multi-criteria decision-making techniques. *J. Food Process Eng.*, 47, e14759.
33. Türkiye İstatistik Kurumu, (2025). *Türkiye’de trafiğe kayıtlı araçlar*. <https://www.tuik.gov.tr>, Access date: 6 Şubat 2025.
34. Krishankumar, R. & Ecer, F. (2024). A multi-criteria framework for electric vehicle charging location selection using double hierarchy preferences and unknown weights. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133, 108251.
35. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2024). *Elektrikli araç şarj istasyonları hakkında düzenlemeler*. <https://www.epdk.gov.tr>, Access date: 4 Şubat 2025.
36. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), (2024). *Elektrikli araçların global durumu ve Türkiye’nin elektrikli araç girişimlerine katkısı*. <https://www.iea.org>, Access date: 14 Şubat 2025.
37. Zhang, Y., Liu, X., Zhang, T. & Gu, Z. (2019). Review of the electric vehicle charging station location problem. *International Conference on Dependability in Sensor, Cloud, and Big Data Systems and Applications*. Springer, Singapore, 435-445.
38. Alegre, S., Míguez, J.V. & Carpio, J. (2017). Modeling of electric and parallel-hybrid electric vehicles using Matlab/Simulink environment and planning of charging stations through a geographic information system and genetic algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1020-1027.
39. Genevois, M.E. & Kocaman, H. (2018). Locating electric vehicle charging stations in Istanbul with AHP based mathematical modelling. *International Journal of Transportation Systems*, 3.
40. Kumar, P. & Channi, H.K. (2024). Optimal electric vehicle charging station placement: a multi-criteria decision-making approach for site selection. *In 2024 International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)*, 1-6.
41. Cengiz, N., Abdulvahitoğlu, A. & Abdulvahitoğlu, A. (2025). Comparative analysis of different drying methods on strawberry aroma compounds via multi-criteria decision-making techniques. *Applied Sciences*, 15(815), 2-28.
42. Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. & Antucheviciene, J. (2021). Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREK). *Symmetry*, 13(4), 525

43. Ulutaş, A., Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G. & Novakovic, S. (2022). Pallet truck selection with MEREK and WISP-S methods. *Strategic Management*, 27(4), 23-29
44. Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z. & Milićević, M. (2016). The combination of expert judgment and GIS-MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depots. *Sustainability*, 8(4), 1-30.
45. Rani, P., Chen, S.M. & Mishra, A.R. (2023). Multiple attribute decision making based on MAIRCA, standard deviation-based method, and Pythagorean fuzzy sets. *Information Sciences*, 644, 119274.
46. Arslan Z. (2025). Elektrikli araç şarj istasyonları konum seçimi için karar destek sistemi Bursa örneği. *Yayımlanmamış tezsiz yüksek lisans projesi*. Mudanya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ABD, Bursa.
47. Pamučar, D. & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
48. Stojanović, I. & Puška, A. (2021). Logistics performances of gulf cooperation council's countries in global supply chains, decision making. *Applications in Management and Engineering*, 4(1), 174-193.
49. Taşcı, M.Z. (2024). Allianz sigorta şirketinin performansının LOPCOW-MOOSRA karar modeliyle analizi. *Social Sciences Studies Journal*, 8(104), 3963-3970.
50. Keleş, N. (2023). Türkiye'nin 81 ilinin sağlık performansının güncel karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (75), 120-141.
51. Demircioğlu, M. ve Çoskun, İ.T. (2018). CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 183-195.
52. Özbek, A. (2017). İlkokul öğretmenleri sağlık ve sosyal yardım sandığının finansal performans analizi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 1-31.
53. Hezam İ.M., Mishra, A.R., Rani, P., Saha, A., Smarandache, F. & Pamucar, D. (2023). An integrated decision support framework using single-valued neutrosophic-MASWIP-COPRAS for sustainability assessment of bioenergy. *Expert Systems with Applications*, 211, 118674.
54. Hezer, S., Gelmez, E. & Özceylan, E. (2021) Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR and COPRAS methods for the COVID-19 regional safety assessment. *Journal of Infection and Public Health*, 14(6), 775-786.
55. Akyüz, G. ve Aka, S. (2017). Çok kriterli karar verme teknikleriyle tedarikçi performansı değerlendirmede toplamsal bir yaklaşım. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 15(2), 28-46.
56. Hacıfettahoğlu, Ö. ve Pereçin, S. (2020). Bütünleşik ÇKKV yaklaşımı ile finansal boyutta Türk inşaat firmalarının performansının değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üni., Sos.Bil.Ens.Der.* 22(2), 543-567.
57. Cengiz, N. ve Abdulvahitoğlu, A. (2024). Entropy tümleşik TOPSIS tekniği ile optimum kayısı kurutma yönteminin belirlenmesi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 39(2), 267-281.