

PAPER DETAILS

TITLE: Elektrikli Araçların Performanslarının CRITIC-EATWIOS ile Değerlendirilmesi

AUTHORS: Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK,Hakan TOZAN

PAGES: 1670-1688

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2002684>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Elektrikli Araçların Performanslarının CRITIC-EATWIOS ile Değerlendirilmesi

 Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK ^{a,*},  Hakan TOZAN ^b

^a Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Fenerbahçe Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: elif.buyukselcuk@fbu.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1002851

Öz

Küresel ısınma neticesinde tüm uluslar birtakım önlemler almak üzere harekete geçmişlerdir. Bu önlemler çerçevesinde ülkeler elektrikli araçların üretimi ve satışı üzerine yoğunlaşmışlardır. Ülkemizde de son yıllarda bu araçların kullanımı giderek yaygın hale gelmektedir. Bu çalışma, piyasada mevcut araçların performanslarını değerlendirerek alıcılara karar verme süreçlerinde destek olmayı amaçlamaktadır. Literatürde elektrikli sportif çok amaçlı araçların (Electric Sports Utility Vehicles, e-SUV) verimliliğini bütünsel Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önemi (CRITERIA Importance Through Intercriteria Correlation-CRITIC) ve Girdi-Çıktıların Tatminine Dayalı Etkinlik Analizi Tekniği (Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing-EATWIOS) yöntemlerini kullanarak değerlendiren bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma bu boşluğu doldurarak, e-SUV'ların verimliliklerini değerlendirmektedir. CRITIC yönteminden elde edilen ağırlıklar EATWIOS yönteminde kullanılarak e-SUV'ların verimlilikleri değerlendirilmiştir. Belirlenen yedi tane girdi ve dört tane çıktı faktörüne göre Türkiye'de satılan beş farklı markaya ait e-SUV'lar performans açısından değerlendirilmiştir. e-SUV satın alma sürecinde enerji tüketiminin, fiyatın ve araç ağırlığının önemli faktörler olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak İngilizler tarafından üretilen e-SUV'un en iyisi olduğu sonucuna ulaşılmış ancak verimliliğin çok yüksek olmadığı, verimliliğin artırılması için çalışmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Performans ölçümü, CRITIC, EATWIOS, Elektrikli araç, Çok kriterli karar verme

Evaluation of Electric Vehicles Performance via CRITIC-EATWIOS

ABSTRACT

As a result of global warming, all nations have taken action to take some precautions. Within the framework of these measures, countries have focused on the production and sale of electric vehicles. In our country, the use of these tools has become increasingly common in recent years. This study aims to support the buyers in their decision-making processes by evaluating the performance of the vehicles available in the market. In the literature, the efficiency of electric sport utility vehicles (Electric Sports Utility Vehicles, e-SUV) and the Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing-EATWIOS) methods were not found in a study evaluating it. This study fills this gap and evaluates the efficiency of e-SUVs. The weights obtained from the CRITIC method were used in the EATWIOS method to evaluate the efficiency of e-SUVs. According to the determined seven input and four output factors, e-SUVs of five different brands sold in Turkey were evaluated in terms of performance. It was concluded that energy consumption, price and vehicle weight are important factors in the e-SUV purchasing process. As a

result, it has been concluded that the e-SUV produced by the British is the best, but it has been emphasized that the efficiency is not very high and studies should be done to increase the efficiency.

Keywords: Performance measurement, CRITIC, EATWIOS, Electric vehicle, Multi criteria decision making

I. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, plansız kentleşme ve sanayileşme, doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı ve benzeri etkenlere bağlı olarak çevre kirliliği insanoğlunun çözmesi gereken en önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Tüm dünyayı tehdit eden bu etkenler arasında kullanılan enerji kaynaklarının da yeri önemlidir. Küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden olan sera gazlarının %23'ü kullanılan enerji kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Tüm dünyada kullanılan bu enerjinin neredeyse çeyreği de ulaşım için harcanmaktadır [1], [2]. Ulaşım araçları denilince ilk olarak otomobil, midibüs, minibüs, otobüs, kamyon, tren ve uçaklar aklı gelmektedir. Bu araçlarda kullanılan yakıtlardan kaynaklanan kirlleticilerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için ülkeler önlemler almak amacıyla yeni birtakım stratejiler geliştirmişlerdir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün yaptığı açıklamalara göre hava kirliliği insan sağlığını ciddi anlamda tehdit eden bir unsurdur. Dünya çapında yaklaşık iki milyon insanın erken ölümüne neden olmaktadır [1]. Son yıllarda çevreye karşı olan duyarlılık ve çevre bilincinin artması ile otomobil üreticisi firmalar yeşil ve sürdürülebilir çevre için birtakım önlemler almak amacıyla harekete geçmişlerdir [3]. Teknoloji ile, otomobillerde içten yanmalı motorlar kullanmak yerine yeni nesil enerji kaynaklarını kullanarak ürettikleri otomobillerde elektrikli motorları tercih etmektedirler. Sıfır CO₂ emisyonlu elektrikli araçların üretimi ile hava kirliliği azaltılması sağlanmaktadır [4]. Bu nedenle birçok ülke benzin ve dizel yakıt kullanan araçların satışını yasaklayacağını duyurmuştur. 2016 yılında Norveç, benzin ve dizel yakıt kullanan araçların 2025 yılından itibaren satışının yasaklanacağını ilan ederken aynı tarihlerde Almanya'da 2030 yılından itibaren benzer uygulamayı yürürlüğe koyacağını bildirmiştir. Bu karar ile ülke 2050 yılına kadar CO₂ emisyonlarını %95 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu ülkeleri takiben Fransa, İngiltere, İskoçya, Hollanda ve Avrupa'nın pek çok ülkesi de aynı politikayı izleyeceklerini duyurmuşlardır [5], [6]. Bu tür politikalar, Avrupa başta olmak üzere tüm dünyada elektrikli araçların üretilerek satılmasını ve kullanılmasını gündeme getirmiştir.

Günümüzde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de farklı markaların ürettikleri elektrikli araçlar satışa sunulmuştur. Mevcut elektrikli araçların performanslarının ölçülmesi farklı çok sayıdaki girdi ve çıktı parametrelerinin birlikte dikkate alınarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilebilir. Aslında bu problem literatürde sıklıkla karşılaşılan çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen teknikler kullanılarak çözülebilir. Elektrikli araçlar içerisinde performans değerlendirmesine göre en iyisinin belirlenmesi hem kullanıcı hem de ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından olumlu katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışmada, piyasada mevcut olan e-SUV'ların performanslarına göre değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece, e-SUV almak isteyen tüketicilere karar verme sürecinde destek sağlanmıştır. Performans ölçümünde kullanılacak olan girdi ve çıktı parametrelerinin ağırlıklarının belirlenmesinde, objektif bir yöntem olan CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation-Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önemi) tekniği kullanılmıştır. Girdi ve çıktı parametreleri için ağırlıklar belirlendikten sonra, EATWIOS (Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing-Girdi Çıktı Tatminine Dayalı Etkinlik Analizi) tekniği kullanılarak mevcut araçların performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Birleştirilmiş CRITIC-EATWIOS yöntemleri, uygulama kolaylığı ve objektif sonuçlar elde etmemizi sağlayan yöntemler olduğundan tercih edilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, konunun önemine ve amacına değinilmiştir. İkinci, üçüncü bölümlerde ise konu ile ilgili yapılan bilimsel yayınlar irdelenmiş ve bu çalışmada kullanılan yöntem ve tekniklere değinilmiştir. Dördüncü bölümde mevcut e-SUV'lar için belirlenen girdi ve çıktı parametrelerine göre

araçların performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ise beşinci bölümde özetlenmiştir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması sonucunda tamamen elektrikli olan araçların performanslarının değerlendirilmesi üzerine çok kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan biri elektrikli araçların menziline yönelik yapılan bir çalışmadır. Laurikko ve arkadaşları İskandinavya'daki hava koşullarına bağlı olarak Citroen C-Zero aracının gerçek menzilin belirlenmesi üzerine testler yapmışlardır. Araç içerisindeki ısıtma sisteminin kapalı olması durumunda, yollardaki kar ve buzlanmaya bağlı olarak enerji tüketiminin artmasından dolayı menzilin azaldığı sonucuna varmışlardır. Hatta araç içerisindeki ısıtma sisteminin devreye girmesi ile şehir içi kullanımında menzilin %50 daha azaldığını göstermişlerdir [7].

Baghdadi ve arkadaşları [8], Peugeot iOn ve Ford Transit Connect gibi iki farklı markanın elektrikli araçlarını incelemişler ve gerçek yol ve laboratuvar koşullarında mevcut batarya kapasiteleri ile gittikleri menziller ve batarya şarj sürelerini test etmişlerdir. Laboratuvarında, farklı sabit hız ve torklar için testler yapılarak araç içi ısıtma ve soğutma sistemleri ile bataryanın etkinliği değerlendirilmiştir. Şehir içi ve şehir dışı belirlenen rotalarda ise aynı testler yapılarak sonraki simülasyonlarda kullanılmıştır. Başka bir çalışmada ise, elektrikli araçlarda kullanılan farklı altı türdeki motor, maksimum hız, maliyet, iklimlendirme sistemi, güvenlik, ağırlık ve verimlilik gibi pek çok faktöre göre değerlendirilmiştir. Verimlilik açısından bakıldığında sabit mıknaatıslı DC motorların diğer motor türlerine göre daha verimli olduğu sonucu elde edilmiştir.

Polonya'da yürürlüğe giren Elektromobilite ve Alternatif Yakıtlar Yasası ile sera gazlarının azaltılması ve elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Bu yasa, hükümet ve yerel yönetimlerin filolarını elektrikli araçlar ile genişletmesini ekonomik şartları da dikkate alarak öngörmektedir [9]. Bu bağlamda; Ziembra [9], 2020 yılında hükümet ve yerel yönetimlere elektrikli araç filolarının oluşturulmasında destek sağlamak üzere bir araştırma yapmıştır. Çalışmada farklı kategorilerde yer alan farklı marka ve modellerdeki elektrikli araçların farklı kriterlere göre değerlendirilmesinde Monte Carlo simülasyonu ile bütünleştirilmiş PROSA-C (PROMETHEE for Sustainability Assessment-Criteria) yöntemi kullanılmıştır.

Kentsel yük taşımacılığı kentlerde atmosferik emisyonları arttıran önemli etkenlerden biridir. Bu sebeple özellikle son yıllarda elektrikli veya alternatif yakıtları kullanan taşıma araçlarının yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralaması Örgütü (Preference ranking organization method for enrichment evaluation II-PROMETHEE II) ve bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-TOPSIS) yöntemleri ile elektrikli yük taşıyıcıları değerlendirilmiştir [10].

Erbaş ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada, elektrikli araçların sıfır karbondioksit salınımı, fiyat avantajı ve az gürültülü çalışmaları sonucunda tercih edilebileceklerini ancak yeniden şarj etme konusunda problemlili olabileceklerinin altını çizmişlerdir. Bu noktada uygun şarj istasyonlarının kuruluş yer seçimi problemini ele almışlardır. Problemin çözümünde bulanık analitik hiyerarşi proses (AHP) ve TOPSIS yöntemleri temeline dayanan coğrafi bilgi sistemini (Geographic Information System-GIS) kullanmışlardır. Uygulama Ankara'da gerçekleştirilmiş 12 farklı alternatif yer 15 farklı kriter gere değerlendirilmiştir.

Park ve arkadaşları [12] yaptıkları çalışmada; sürücülerin, elektrikli araçları kullanma niyetlerini etkileyen potansiyel faktörleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapısal eşitlik modelini (Structural Equation Modelling-SEM) kullanarak 998 örneği incelemişler ve maliyeti olumsuz bir faktör, memnuniyet, kullanışlılık ve tutumu üç olumlu faktör olarak tespit etmişlerdir. Bu potansiyel faktörlerin niyet üzerindeki toplam etkilerini hesaplamışlardır.

Artan hava kirliliği sonucunda, zamanla tüm dünyada sadece dizel yakıtlı araçların değil aynı zamanda tüm içten yanmalı araçların şehir merkezlerinde kullanımı yasaklanacaktır. Bu yasaklamayla elektrikli araçların kullanımı yaygınlaşacaktır [13]. Bir çalışmada, sürdürülebilir şehir ulaşımında en uygun araçların tespit edilmesi amacıyla Characteristics Objects Method (COMET) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada 6 farklı kriter ve 9 alternatif belirlenmiştir. Güç, maksimum tork, batarya kapasitesi, şarj süresi, menzil ve fiyat kriterlerine göre farklı marka ve modellerdeki araçlar değerlendirilmiştir [13].

Barfod ve arkadaşları [14], Danimarka’da ticari elektrikli araçların satışına yönelik pazarda yaşanan zorluklar, fırsatlar ve politika önlemlerine odaklanan bir çalışma yapmışlardır. Özel bir Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats-SWOT) analizi vakasını ve çok kriterli karar analizi (MCDA) yöntemlerini birleştirerek çevre dostu teknolojilerin pazardaki yayılmasını değerlendirmek için COPE-SMARTER adını verdikleri yeni dört adımlı uzman tabanlı bir teknik önermişlerdir. Konu hakkında yasal çalışmalara imza atan politikacılar için en büyük zorluğun finansal, işlemsel ve teknolojik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek satın alma maliyetleri başta gelen zorluktur. Aracın menzili ve kış şartlarında işletilmesi diğer zorluklardır. Algılanan promosyon gücü en yüksek olan fırsatlar, finansal ve çevreseldir; en yüksek promosyon gücüne sahip fırsat olarak uzun vadede genel tasarruflar, bunu enerji maliyeti tasarrufları ve uzun vadeli çevresel faydalar izlemiştir. En etkili olarak algılanan politika önlemleri, elektrikli ticari araçlar için düşük kayıt ücretleri, elektrikli ticari araçların satın alınması veya kullanılması için devlet sübvansiyonları ve araçlarda emisyonu dayalı vergilerdir.

2013 yılında yapılan bir çalışmada Fortune Türkiye Dergisinin açıkladığı ilk 500 firma içerisinde yer alan 10 adet lojistik firmasının performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde CRITIC tekniği kullanılırken, firmaların performanslarının değerlendirilmesinde Basit Toplam Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting-SAW), TOPSIS ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje-VIKOR) teknikleri kullanılmıştır. Geliştirilen bu bütünsel model ile farklı çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinin avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirilerek Borda Sayım Tekniği ile firmaların nihai sıralaması yapılmıştır [15].

Aytaç Adalı ve Tuş Işık [16] tarafından yapılan çalışmada fason üretim yapacak bir işletmenin belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Değerlendirmede zamanında teslimat, güvenilirlik, lokasyon, malzeme kalitesi, maliyet, ekipman ve üretim kapasitesi gibi kriterler dikkate alınmış ve bu kriterlerin ağırlıkları CRITIC metodu ile belirlenmiştir. Bu kriter ağırlıklarına göre Çok Nitelikli Fayda Teorisi (Multi-Attribute Utility Theory-MAUT) kullanılarak dört alternatif arasından en iyisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Yalçın ve Ünlü [17] tarafından yapılan araştırmada, araştırmacılar belli kriterler altında halka arz öncesi ve sonrası periyotlar için firmaların halka arz performanslarını bütünsel CRITIC-VIKOR yöntemleri kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çalışma yalnızca halka arzların geleneksel performans ölçütleri ile değil modern performans ölçütlerini de dikkate alarak çok karmaşık problemlere etkin ve doğru sonuçlar üretilmesine katkıda bulunmuştur.

Odu [18], ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemleri gruplandırarak çalışmada incelemiştir. Yaptığı çalışma ile bu teknikleri birbirleriyle kıyaslayarak literatüre katkıda bulunmuştur. Krishnan ve diğerleri [19] yaptıkları çalışmada CRITIC metodundan uyarladıkları yöntemi (Distance Correlation based CRITIC, D-CRITIC) akıllı telefonlar için belirlenen kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında test etmişlerdir. Hem CRITIC hem de D-CRITIC yöntemleri farklı testler uygulanarak analiz edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Aldring ve Ajay [20] yaptıkları çalışmada bulanık ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacı ile CRITIC ve Entropi yöntemlerini kullanmışlardır. Sonrasında ise farklı alternatif sıralama tekniklerini kullanarak (Evaluation based on Distance from Average Solution-EDAS, COmbinative Distance-based Assessment-CODAS, Weighted Sum Method-WSM, Weighted Product Method-WPM, TOPSIS, Weighted Aggregated Sum Product Assessment-WASPAS, VIKOR) problemi

çözmüşlerdir. Yatırım yapmak üzere dört farklı sektörde yer alan işletme, risk, çevresel faktör ve büyüme hızı kriterlerine göre farklı teknikler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Shi ve arkadaşları [21] tarafından yapılan çalışmada, bölgesel küçük ölçekli enerji üretim ve dağıtım sistemlerinde enerji kalitesi göstergeleri belirlenmiş ve bu göstergeler CRITIC yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Yük kapasitesinin en fazla ağırlığa sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 2021 yılında yapılan bir çalışmada, sürdürülebilir enerji kaynaklarının farklı kriterlere göre, çeşitli ÇKKV teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada ağırlıkların belirlenmesi için CRITIC, Entropy, AHP gibi farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılırken alternatiflerin sıralamasında ise, The Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE), Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE), TOPSIS, VIKOR, Organisation, Rangement et Synthèse de Données Relationnelles (ORESTE) gibi teknikler kullanılmıştır [22].

Yüksekyıldız [23], Türkiye'deki konteyner limanlarını farklı girdi ve çıktı parametrelerine göre değerlendirmiş ve bu limanların verimliliklerini ölçmüştür. Belirlediği girdi ve çıktıların ağırlıklarını Entropi yöntemini kullanarak hesaplarken, limanların performans ölçümlerinde girdi ve çıktı gibi değişkenlerin bir arada ele alınmasına imkân tanıyan EATWIOS performans ölçüm yöntemini kullanmıştır. Türkiye limanlarının en verimli olanlarının Marmara ve Ege Bölgesinde yer aldığı sonucuna ulaşmıştır. Görçün [24] aynı teknikleri kullanarak sadece Karadeniz Bölgesi'nde yer alan konteyner limanlarının verimlilik analizini yapmıştır. Yapılan çalışmaya göre, girdiler içerisinde en önemli ağırlığa sahip kriter limanların rıhtım uzunluğudur. Çıktılar içerisinde ise, yıllık gelir en önemli faktör olarak belirlenmiştir. En verimli Karadeniz konteyner limanı Constanza Limanı olarak belirlenmiştir.

Ilıkkın Özgür ve arkadaşları [25] yaptıkları çalışmada, 2002-2019 yılları arasında Türkiye'de bulunan 25 adet kamu şeker firmalarının verimliliklerinin ölçülmesi amacıyla CRITIC ve EATWOS bütünleşmiş metotlarını kullanmışlardır. Üretilen şeker miktarı ve melas çıktı olarak belirlenirken, pancar işleme kapasitesi, daimî ve geçici işçi sayısı, yakıt tüketimi girdiler olarak tespit edilmiş ve bu parametrelerin ağırlıkları CRITIC yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Yıllara göre ağırlıklar farklılık gösterse de en önemli girdi yakıt tüketimi, çıktı ise şeker miktarı olarak belirlenmiştir. EATWOS yöntemi ile de belirlenen yıllar arasında şeker firmalarının verimlilikleri değerlendirilmiştir. Hammaddeye yakınlık, üretim kapasitesi ve şeker kalitesi için iklimin daha elverişli olması nedeniyle, İç Anadolu Bölgesi'ndeki şeker fabrikalarını daha verimli olduğu belirlenmiştir.

2019 yılında yapılan bir çalışmada, EATWIOS ve Operational Competitiveness RAting (OCRA) yöntemleri kullanılarak tedarikçi değerlendirme süreci ele alınmış ve tedarikçiler verimliliklerine göre sıralanmışlardır. Farklı altı tedarikçi firma, fiyat gibi girdi ve zamanında teslimat gibi çıktı kriterlerine göre değerlendirilmiş ve sonuç olarak iki farklı yöntem içinde aynı sıralama elde edilmiştir [26].

Türkiye ve Avrupa Birliğine (AB) üye olan ülkelerde gerçekleştirilen AR-GE faaliyetlerinin verimliliklerinin ölçülmesi için Entropi ve EATWOS yöntemleri kullanılmıştır. 2014 ile 2016 yılları arasında Türkiye ve 26 AB üyesi ülke için yapılan çalışmada, AR-GE yoğunluğu ve araştırmacı sayısı girdi olarak alınırken, yayın sayısı, ileri teknoloji ihracatı ve toplam patent başvuru sayısı çıktı değişkenleri olarak tespit edilmiştir. Belirlenen yıllar için yapılan değerlendirme sonucunda, AR-GE faaliyetleri konusunda en verimli ülke olarak Almanya tespit edilmiştir. Birleşik Krallık, Fransa, İtalya ve Hollanda ise Almanya'yı sırasıyla takip eden ülkelerdir [27].

Özbek [28] tarafından yapılan çalışmada, Kırıkkale'de bulunan bir sivil toplum kuruluşunun 2005-2014 yılları arasında verimliliğinin ölçümü için Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis-DEA) ile EATWOS yöntemleri kullanılmıştır. Girdi ve çıktı faktörlerinin ağırlıkları ise, puanlama yöntemi ile elde edilmiştir. 2007 ve 2011 yılları derneğin verimliliğinin en düşük olduğu yıllar olarak tespit edilmiştir.

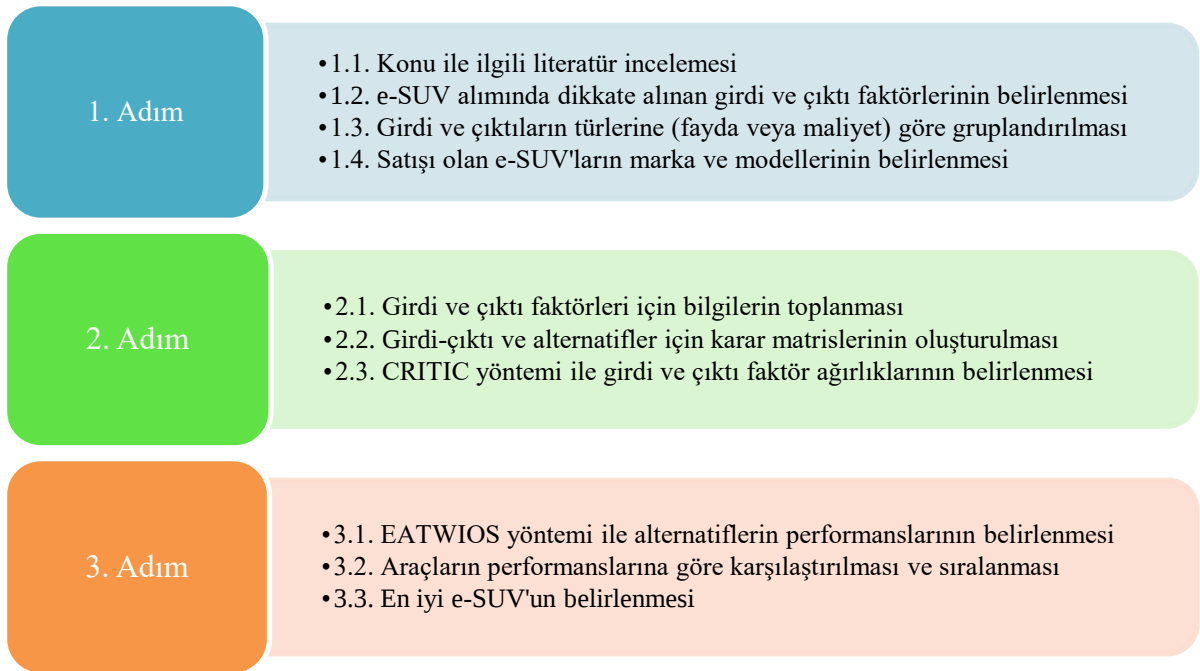
Sağlık Bakanlığına bağlı eğitim ve araştırma hastanelerinin performanslarının ölçümlerinde farklı ÇKKV teknikleri kullanarak kıyaslama yapılmıştır. 2013-2018 yılları arasında farklı girdi ve çıktı

değişkenleri için VIKOR, TOPSIS, Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA), EATWOS, COPRAS gibi farklı teknikler kullanılarak analiz edilmiş ve farklı yıllar için tekniklere bağlı olarak farklı sıralamalar elde edilmiştir [29].

Erol ve Erdebili [30] yaptıkları çalışmada demir çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmede iş sağlığı ve güvenliği performansını ölçmek için belirledikleri göstergeleri Entropi yöntemini kullanarak ağırlıklandırmışlardır. Daha sonra TOPSIS yöntemi ile firmanın yıllar içerisinde iş sağlığı ve güvenliği performansını değerlendirmişlerdir.

III. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, bütünlük CRITIC ve EATWIOS yöntemleri kullanılarak Türkiye’de satışa sunulan e-SUV araçlarının performanslarının ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu sürece ilişkin akış şeması Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Bütünlük CRITIC-EATWIOS akış şeması

A. GİRDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Konu ile ilgili literatür taranarak, elektrikli araçlara ilişkin forum sayfaları ile e-SUV satışı olan markaların resmi internet sayfaları, teknik katalogları ve konu hakkında bilgi içeren web siteleri incelenerek elektrikli araç alırken hangi kriterlerin dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu kriterler de girdiler ve çıktılar şeklinde iki grup altında incelenmiştir. Araçlarda kullanılan bataryanın garantisi, net batarya kapasitesi, bataryanın şarj süresi, elektrik motorunun gücü, elektrik motorunun maksimum torku, aracın yüksüz ağırlığı ve aracın fiyatı bu modelde girdi değişkenleri olarak ele alınmıştır. Aracın menzili, maksimum hızı, hızlanma performansı, enerji tüketimi ise çıktı parametreleri olarak belirlenmiştir. Araçlara ait CO₂ emisyon değeri tüm elektrikli araçlarda sıfır olduğundan bu parametre çıktı olarak dikkate alınmamıştır.

A.1. Batarya Garantisi

Elektrikli araç bataryaları, aracın sürüş esnasındaki deşarj ve aracın prize takılı olma esnasındaki şarj döngüleri ile kendini besler. Bu sürecin sürekli tekrarlanması ile zaman içerisinde bataryanın muhafaza edeceği enerji miktarının azalacağı aşîkârdır. Bu sebeple, üretici firmalar araçlarında kullanılan lityum-iyon bataryaları için 5-8 yıl aralığında veya aracın yaptığı belirli kilometreye kadar bataryalarına garanti vermektedirler. Fakat şu an için yapılan bir bataryanın 10 ile 20 yıl aralığında kullanımından sonra yenisi ile değiştirileceği yönündedir [31].

A.2. Batarya Kapasitesi

Genel anlamda batarya kapasitesi, elektrikli araç içerisinde bulunan bataryanın içerisinde bulunan enerjidir. Bu değer, aracın torku ve motor gücü kadar önemlidir çünkü kullanılan bataryanın büyüklüğü, kapasitesi ve ne kadar verimli kullanıldığı aracın menzilini etkilemektedir. Batarya kapasitesi, brüt ve net kapasite olarak ikiye ayrılmaktadır. Brüt kapasite, teorik olarak bataryanın tutabileceği enerji miktarını ifade etmektedir. Net veya kullanılabilir kapasite ise, aracın kendisini hareket ettirmek için gerekli olan enerji miktarını ifade eder. Enerji kapasitesi, belirli bir süre boyunca belirli bir güç çıkışı sağlama potansiyeli olarak ifade edilir ve kW-h birimi ile ölçülür. Otoyol şartlarındaki hızlarda bile pek çok elektrikli araç belirli sabit hızda kendini tutabilmek için sadece 20-30 kW enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, araçta yer alan 60 kW-h'lik bir batarya kapasitesi aracın 3 saate kadar kullanımına müsaade etmektedir. Burada, hava sıcaklığı ve hız bu kapasiteyi ve süreyi etkileyecek faktörlerdir [32], [33].

A.3. Batarya Şarj Süresi

Batarya şarj etme Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 olmak üzere üç grup altında incelenebilir. Bu şarj türlerine ilave olarak, kablosuz şarj etme ve batarya değiştirme (Quick Drop) teknikleri de gündeme gelmiştir [34], [35]. Seviye 1 şarj etme yöntemi yavaş şarj etme olarak da bilinir ve araçlar konut veya iş yerlerinde park halinde iken, şehir şebeke elektriğı kullanılarak bataryaları şarj edilir. Çok uzun sürede şarj yapıldığından şebekeye de çok fazla yük gelmemektedir. 5 – 12 saat aralığında şarj imkânı sunmaktadır [36]. Seviye 2 şarj etme yöntemi ise park alanları, marketler, caddeler, alışveriş merkezleri, üniversiteler, belediye tesisleri, müstakil evler ve apartmanlar gibi yerlere kurulan şarj istasyonlarıdır. Orta hızda şarj etme yöntemidir ve yaklaşık 1 – 4 saat aralığında batarya şarj edilir [37]. Seviye 3 şarj etme yöntemi ise, hızlı şarj etme yöntemi olarak da adlandırılır. Seviye 3 şarj etme, benzin istasyonları gibi çok kısa sürede dolum yapılabilen istasyonlarda gerçekleştirilir. Şarj süresi 15 – 30 dakika arasında değişmektedir [38].

A.4. Elektrik Motor Gücü

Elektrikli araçlarda elektrik motorunun görevi, batarya tarafından sağlanan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek tekerleklerle çekiş gücü vermektir. Otomotiv endüstrisinde motor gücü dendiğı zaman, belirli bir zaman diliminde motor tarafından üretilen mekanik enerji miktarı akla gelir [39]. Genellikle kW veya beygir gücü (BG) olarak ifade edilir. İster içten yanmalı motor olsun isterse elektrik motoru olsun mekanik enerji gücü, torku ve dakikadaki devir sayısını etkiler. Aslında elektrikli aracın menzilini sadece motor gücü direkt olarak etkilemez aynı zamanda sürüş modu da önemli bir faktördür ve bu sürücünden sürücüye göre değişebilir.

A.5. Elektrik Motor Torku

Bir elektrik motoru için itici güç torktur. Torkun birimi Newton-metre olarak ifade edilir. Tork, araçlarda hızlanma esnasında, daha yüksek hızlara kısa sürede çıkılmasını sağlayan ve aracın çekişinin güçlü olmasını sağlayan parametredir [40].

A.6. Yüksüz Ağırlık

Elektrikli araçlarda ağırlık da önemli bir kriterdir. Aynı batarya kapasitesi ile daha hafif malzemeler kullanılarak daha az ağırlığa sahip araçların üretimi ile daha yüksek verimlilik elde edilir. Daha düşük yoğunluklu malzemelerin araç tasarımında kullanılması ile aracın menzili arttırılabilir [41].

A.7. Fiyat

Tüm performans ile ilgili kriterlerin yanı sıra aracın fiyatı da nihai kullanıcılar tarafından dikkate alınan kriterlerden biridir. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında elektrikli araçların ilk yatırım maliyetleri daha fazladır. Pek çok ülkede elektrikli araçların kullanılması için teşvikler verilmesine rağmen, yine de aradaki maliyet farkı kapanmamıştır. Araçlarda kullanılan batarya maliyetinin düşürülmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır [42].

A.8. Menzil

Elektrikli araçlarda menzili artırma konusunda sürekli iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır [43]. Tam dolu bir batarya ile aracın gidebileceği maksimum mesafe kullanıcılar tarafından dikkate alınan kriterlerden bir diğeridir.

A.9. Maksimum Hız

Elektrikli araçlarda kullanıcılar tarafından araç alımı esnasında sıklıkla sorulan sorulardan biri de aracın maksimum hızıdır. Elektrikli araçlarda yüksek sabit hızlarda motor tüm özellikleri ile maksimum gücünde kullanılırken, gücün büyük bir bölümü aracın hızlanması için harcanır [44].

A.10. Hızlanma

İçten yanmalı motorlu araçlarda olduğu gibi elektrikli araçlarda da, aracın hızlanma oranı önemlidir. Genellikle de aracın durma anından 100 km hıza erişmesi için geçen sürenin saniye cinsinden ifade edilmesi ile aracın hızlanma değeri tespit edilir [45].

A.11. Enerji Tüketimi

Araç alımında kullanıcılar tarafından dikkat edilen bir diğer kritik nokta da, 100 km’lik bir menzil için aracın ne kadar enerji harcayacağıdır. Araçların enerji tüketimi için WLTP binek ve hafif ticari araçların enerji tüketimi ve emisyon salınımları değerlendirmek üzere kullanılan bir test prosedürüdür. Enerji tüketimi, iç ve dış faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Aracın tasarımı, kullanılan ekipmanlar, ısıtma-soğutma sistemi aracın iç özellikleri ile bağlantılı iken, hava şartları, yol durumu ise, dış koşullarla ilgili özellikler olup enerji tüketimini etkilemektedir [46].

B. CRITIC Yöntemi

CRITIC kriterlerin ağırlıklarını belirlemek üzere kullanılan kişisel yargılara yer vermeyen, girdi ve çıktı faktörlerinin karşılıklı ilişki durumlarını, yönünü ve yoğunluğunu dikkate alan objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir [47]. Faktörler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için korelasyon analizi ve korelasyon katsayısına ihtiyaç duyulur [10]. Bununla birlikte alternatiflerin faktörlere bağlı olarak aldıkları farklı değerler içinde standart sapmalar hesaplanır. Bu yöntemde karar vericilerin öznel değerlendirmeleri dikkate alınmamaktadır. Ayrıca diğer ÇKKV yöntemlerinde karşılaşılan fikir ayrılıklarının bu yöntemde ortadan kaldırılmış olması önemlidir. Objektif bir karar verme süreci için bu yöntem, kolaylıkla uygulanabilen, etkin bir yöntemdir. Bir karar probleminde m adet alternatifin ve n adet kriterin olduğu varsayımından yola çıkılarak CRITIC yönteminin adımları aşağıda verildiği gibidir [25]:

Adım 1. Alternatiflere ait girdi ve çıktı verileri kullanılarak karar matrisi $[X]$ elde edilir. Burada X_{ij} , her bir i alternatifinin j kriterine göre değerini ifade etmektedir.

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

$i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$

Adım 2. Fayda özellikli kriterler için Eş. 2 ve maliyet özellikli kriterler için Eş. 3 kullanılarak normalize karar matrisi $[N]$ elde edilir ve $[N]$ normalize karar matrisinin her bir elemanı n_{ij} olarak gösterilir.

$$[N] = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (2)$$

$$[N] = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (3)$$

Adım 3. Bu adımda kriterler arasındaki ilişkinin derecesini ölçmek üzere korelasyon değerleri hesaplanır.

Adım 4. Her bir kriterde bulunan toplam bilgi miktarını ifade eden C_j , Eş. 4 kullanılarak hesaplanır.

$$C_j = \sigma_j \sum_{j'=1}^n (1 - r_{jj'}) \quad j' = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Burada, σ_j j. kriterine ait standart sapma değerini ve $r_{jj'}$ kriter çiftleri arasındaki korelasyon katsayısını ifade etmektedir.

Adım 5. Her bir kriter için ağırlıklar Eş. 5 kullanılarak hesaplanır. w_j , j. kriterine ait nesnel ağırlığı göstermektedir.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (5)$$

Tüm kriterler, Adım 5'te hesaplanan nesnel ağırlık değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek ağırlığa sahip kriterin en önemli kriter olduğu sonucuna varılır.

C. EATWIOS Yöntemi

EATWIOS ilk kez 1957 yılında Farrell tarafından tek girdi ve çıktıya dayalı geliştirilen verimlilik analizi yöntemi olarak ortaya çıkmış, 2006 yılında ise Peters ve Zelewski tarafından geliştirilerek literatüre kazandırılmıştır. Yöntem girdi ve çıktılar için maksimum getiriye sağlayarak tatmin edici çözümler geliştirmek üzere geliştirilen bir verimlilik analiz yöntemidir. Yönteme ait algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir [48]:

Adım 1. İlk olarak girdi ve çıktı matrislerinin oluşturulması gerekir. Girdi matrisi Eş. 6'daki, çıktı matrisi ise Eş. 7'deki gibi oluşturulur.

$$[X_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$i = 1,2,3, \dots, m$ ve $j = 1,2,3, \dots, n$

Burada x_{ij} , i. alternatifin j. girdi unsuru açısından sahip olduğu değerdir.

$$[Y_{ik}] = \begin{bmatrix} y_{11} & x_{12} & \dots & x_{1l} \\ y_{21} & x_{22} & \dots & x_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{ml} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$i = 1,2,3, \dots, m \text{ ve } k = 1,2,3, \dots, l$$

Burada y_{ik} , i. alternatifin k. çıktı unsuru açısından sahip olduğu değerdir.

Adım 2. Girdi ve çıktı matrisleri için normalizasyon işlemi yapılır. Girdi matrisi için Eş. 8 ve çıktı matrisi Eş. 9 kullanılarak normalize edilir.

$$s_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \forall i, j \quad (8)$$

$$r_{ik} = \frac{y_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ik}^2}}, \forall i, k \quad (9)$$

Girdi faktörleri için normalize matris $[S]$ Eş. 10 ve çıktılar için normalize matris $[R]$ Eş. 11'deki gibi elde edilir.

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1l} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{ml} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 3. Normalize edilmiş girdi ve çıktı matrislerinden yararlanılarak girdi ve çıktı mesafe ölçüleri hesaplanır. Girdi mesafe ölçüsünün hesaplanması için Eş. 12 ve çıktı mesafe ölçüsünün hesaplanması için Eş. 13 kullanılır.

$$id_{ij} = 1 - (\min_i \{s_{ij}\} - s_{ij}); \forall i, j \quad (12)$$

$$od_{ik} = 1 - (\max_i \{r_{ik}\} - r_{ik}); \forall i, k \quad (13)$$

Burada id_{ij} , i. alternatifin j. girdi unsuru açısından mesafe ölçüsü; od_{ik} , i. alternatifin k. çıktı unsuru açısından mesafe ölçüsüdür.

Adım 4. Mesafe boyutlarının ağırlıklandırılması için girdi ve çıktı ağırlıkları ile girdi ve çıktılar için belirlenen mesafe ölçüleri ayrı ayrı çarpılır. Girdi mesafe boyutunun ağırlıklandırılması için Eş. 14 ve çıktı boyutunun ağırlıklandırılması için Eş. 15 kullanılır.

$$id_{ij} \cdot w_j \quad (14)$$

$$od_{ik} \cdot w_k \quad (15)$$

w_j ve w_k sırasıyla j. girdi unsurunun ve k. çıktı unsurunun ağırlık değeridir.

Adım 5. Son adımda her bir alternatife ait performans değerleri aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır. Çıktı unsurları için hesaplanan mesafe ölçülerinin toplamının, girdi unsurları için hesaplanan mesafe ölçülerinin toplamına oranlanması ile her bir alternatife ait P_i yani performans değerleri hesaplanır.

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^l w_k od_{ik}}{\sum_{j=1}^n w_j id_{ij}} \quad (16)$$

Her bir alternatif için performans değerleri hesaplanır. P_i değeri yüksek olan alternatifin verimliliği ve performansı yüksektir. Bulunan bu performans değerlerine göre alternatifler sıralanır.

IV. BULGULAR

Bu çalışmada, bütünsel CRITIC ve EATWIOS yöntemleri kullanılarak Türkiye’de satışı olan elektrikli SUV’ların verimliliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Performans değerlemesinde kullanılacak kriterlerin birbiriyle ilişkili kriterler olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Seçilen kriterler ise girdi ve çıktı unsurları, kodları ve özellikleri Tablo 1’de tanımlanmıştır.

Tablo 1. Girdi ve çıktı unsurları

Girdiler (G)			Çıktılar (Ç)		
Tanım	Kod	Özellik	Tanım	Kod	Özellik
Batarya Garantisi (km)	G1	Fayda	Menzil (km) (WLTP’e göre)	Ç1	Fayda
Net Batarya Kapasitesi (kW-saat)	G2	Fayda	Maksimum Hız (km/saat)	Ç2	Fayda
Seviye 1 Şarj Süresi (dakika)	G3	Maliyet	Hızlanma (saniye) (0-100 km)	Ç3	Maliyet
Elektrik Motor Gücü (BG)	G4	Fayda	Enerji Tüketimi (kW-saat/100 km) (WLTP’e göre)	Ç4	Maliyet
Maksimum Tork (Nm)	G5	Fayda			
Yüksüz Ağırlık (kg)	G6	Maliyet			
Fiyat (TL)	G7	Maliyet			

Türkiye’de satışı yapılan beş farklı markaya ait e-SUV’lar içerisinde iki tanesi Alman otomobil markası, diğer iki tanesi İngiliz ve bir tanesi de İsveç otomobil markasıdır. Bu çalışmada alternatifler M1, M2, M3, M4 ve M5 şeklinde kodlanmıştır. Bu SUV’ların performansları yukarıda tanımlanan girdi ve çıktı unsurları için değerlendirilmiştir. Bu araçlara ait teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Bu araçlar için standart donanıma sahip olan paketler dikkate alınarak fiyat ve benzeri özellikler belirlenmiştir. Alternatiflerin her biri için farklı kriterlere göre performans değerleri tabloda verilmiştir. Tablo 2’deki değerler kullanılarak CRITIC yöntemi için $[X]$ karar matrisi elde edilir.

Tablo 2. e-SUV modellerine ait teknik özellikler

$[x_{ij}]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	100.000	74,0	450	286	400	2.260	1.088.000	455	180	6,8	18,8
2	160.000	80,0	354	408	760	2.495	1.228.000	440	180	5,1	20,8
3	150.000	44,5	450	143	353	1.491	394.000	263	140	8,2	18,6
4	160.000	90,0	510	400	696	2.208	1.380.000	470	200	4,8	23,6
5	160.000	78,0	330	408	660	2.188	721.000	418	180	4,9	22,0

Karar matrisinde 5 farklı alternatifin, 11 farklı kritere göre değerleri yer almaktadır. Fayda özellikli kriterler için Eş. 2 ve maliyet özellikli kriterler için ise Eş. 3 kullanılarak karar matrisi normalize edilerek $[N]$ normalize matrisi elde edilir ve elde edilen veriler kullanılarak her bir j faktörüne ait standart sapma değerleri hesaplanır (Tablo 3).

Tablo 3. Normalize karar matrisi ve standart sapmalar

n_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,000	0,648	0,333	0,540	0,115	0,234	0,296	0,928	0,667	0,412	0,960
2	1,000	0,780	0,867	1,000	1,000	0,000	0,154	0,855	0,667	0,912	0,560
3	0,833	0,000	0,333	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
4	1,000	1,000	0,000	0,970	0,843	0,286	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000
5	1,000	0,736	1,000	1,000	0,754	0,306	0,668	0,749	0,667	0,971	0,320
σ_j	0,435	0,377	0,415	0,438	0,453	0,375	0,406	0,406	0,365	0,440	0,426

CRITIC yönteminin bir sonraki adımında faktörler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Faktörlere ilişkin korelasyon katsayıları

$r_{jj'}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,000	0,138	0,280	0,366	0,657	0,039	0,045	-0,147	0,053	0,467	-0,627
2	0,138	1,000	0,040	0,931	0,785	-0,871	-0,876	0,956	0,989	0,918	-0,784
3	0,280	0,040	1,000	0,369	0,379	-0,333	0,238	0,015	-0,088	0,314	0,028
4	0,366	0,931	0,369	1,000	0,919	-0,870	-0,708	0,837	0,870	0,989	-0,798
5	0,657	0,785	0,379	0,919	1,000	-0,723	-0,620	0,618	0,698	0,938	-0,815
6	0,039	-0,871	-0,333	-0,870	-0,723	1,000	0,820	-0,916	-0,820	-0,794	0,447
7	0,045	-0,876	0,238	-0,708	-0,620	0,820	1,000	-0,894	-0,885	-0,678	0,551
8	-0,147	0,956	0,015	0,837	0,618	-0,916	-0,894	1,000	0,960	0,788	-0,575
9	0,053	0,989	-0,088	0,870	0,698	-0,820	-0,885	0,960	1,000	0,861	-0,768
10	0,467	0,918	0,314	0,989	0,938	-0,794	-0,678	0,788	0,861	1,000	-0,875
11	-0,627	-0,784	0,028	-0,798	-0,815	0,447	0,551	-0,575	-0,768	-0,875	1,000

CRITIC yönteminin 4. ve 5. adımları uygulanarak her bir faktöre ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Faktörlere ilişkin ağırlık değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
w_j	0,089	0,068	0,085	0,073	0,076	0,123	0,124	0,079	0,069	0,073	0,141
Sıralama	4	11	5	8	7	3	2	6	10	9	1

Tablo 5 incelendiği zaman girdi ve çıktı faktörleri içerisinde en büyük ağırlığa sahip faktör enerji tüketimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faktörü sırasıyla aracın fiyatı ve aracın ağırlığı takip etmektedir. Fiyat karar verme sürecinde alıcılar tarafından dikkat edilmesi gereken kilit faktörlerden biridir. Ayrıca aracın ağırlığı da diğer faktörleri etkileyebilecek üçüncü önemli faktördür.

Belirlenen bu kriter ağırlıklarından sonra, piyasada halihazırda satışa sunulmuş olan e-SUV'ların performans değerlendirmesi için EATWIOS yönteminin adımlarından faydalanılmaktadır. Yöntemin ilk adımında girdi ve çıktı unsurlarına ait karar matrisleri Eş. 6 ve Eş. 7'de verildiği gibi elde edilir. Elde edilen bu karar matrisleri girdi unsurları için Eş. 8 ve çıktı unsurları için Eş. 9 kullanılarak normalize edilmiş değerleri hesaplanır. Elde edilen girdi unsurları için normalize matrisi $[S]$ ve çıktı unsurları için normalize matrisi $[R]$ Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. $[S]$ ve $[R]$ normalize matrisleri

$[s_{ij}]$	1	2	3	4	5	6	7	$[r_{ik}]$	1	2	3	4
1	0,302	0,442	0,475	0,371	0,300	0,469	0,474	1	0,489	0,455	0,498	0,403
2	0,484	0,478	0,373	0,529	0,569	0,518	0,535	2	0,473	0,455	0,373	0,446
3	0,454	0,266	0,475	0,185	0,264	0,309	0,172	3	0,283	0,354	0,600	0,399
4	0,484	0,537	0,538	0,518	0,521	0,458	0,602	4	0,505	0,505	0,351	0,506
5	0,484	0,466	0,348	0,529	0,494	0,454	0,314	5	0,450	0,455	0,359	0,472

Eş. 12 ve 13 kullanılarak, girdi ve çıktı faktörlerine ait mesafe ölçüleri hesaplanmış ve Tablo 7 ve 8’de özetlenmiştir.

Tablo 7. Girdi faktörleri için $\min_i s_{ij}$ ve id_{ij} değerleri

id_{ij}	1	2	3	4	5	6	7
1	1,000	1,176	1,127	1,185	1,035	1,160	1,302
2	1,181	1,212	1,025	1,344	1,305	1,208	1,363
3	1,151	1,000	1,127	1,000	1,000	1,000	1,000
4	1,181	1,272	1,190	1,333	1,257	1,149	1,429
5	1,181	1,200	1,000	1,344	1,230	1,145	1,142
$\min_i s_{ij}$	0,302	0,266	0,348	0,185	0,264	0,309	0,172

Tablo 8. Çıktı faktörleri için $\max_i r_{ik}$ ve od_{ik} değerleri

od_{ik}	1	2	3	4
1	0,984	0,949	0,898	0,897
2	0,968	0,949	0,773	0,940
3	0,777	0,848	1,000	0,893
4	1,000	1,000	0,751	1,000
5	0,944	0,949	0,758	0,966
$\max_i r_{ik}$	0,505	0,505	0,600	0,506

Girdi ve çıktı faktörleri için mesafe ölçülerinin ağırlıklandırılması için sırasıyla Eş. 14 ve Eş. 15’ten faydalanılarak hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 9 ve Tablo 10’da verilmiştir.

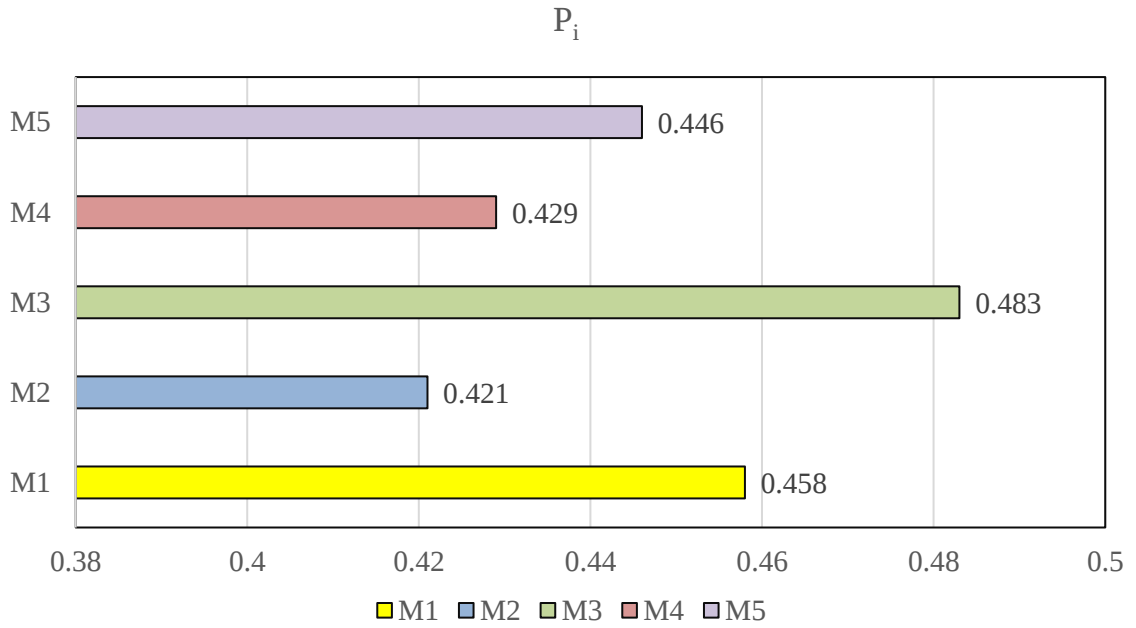
Tablo 9. Girdi faktörleri için $(w_j \cdot id_{ij})$ değerleri

$w_j \cdot id_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	$\sum_{j=1}^n w_j id_{ij}$
1	0,089	0,081	0,096	0,086	0,079	0,142	0,161	0,734
2	0,105	0,083	0,087	0,098	0,099	0,149	0,168	0,789
3	0,102	0,068	0,096	0,073	0,076	0,123	0,124	0,662
4	0,105	0,087	0,101	0,097	0,095	0,141	0,177	0,803
5	0,105	0,082	0,085	0,098	0,093	0,141	0,141	0,745

Tablo 10. Çıktı faktörleri için ($w_k \cdot od_{ik}$) değerleri

$w_k \cdot od_{ik}$	1	2	3	4	$\sum_{k=1}^l w_k od_{ik}$
1	0,078	0,066	0,065	0,127	0,336
2	0,077	0,066	0,056	0,133	0,332
3	0,062	0,059	0,073	0,126	0,320
4	0,079	0,069	0,055	0,141	0,344
5	0,075	0,066	0,055	0,137	0,333

Yöntemin son adımında Eş. 16 kullanılarak farklı e-SUV'lara ait performans değerleri (P_i) hesaplanmış ve Şekil 2'de sonuçlar özetlenmiştir.



Şekil 2. Farklı markalar için e-SUV'ların performanslarının karşılaştırılması

Satışı yapılmakta olan farklı markalara ait e-SUV'ların belirlenen girdi ve çıktı unsurlarına göre performans açısından değerlendirilmesi sonucunda, İngilizler tarafından üretilen aracın en verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu araç enerji tüketimi, fiyat ve ağırlık gibi unsurlar göz önüne alındığında rakipleri içerisinde en iyi performansa sahip olan e-SUV'dur. İkinci sırada yer alan araç ise Almanlar tarafından üretilen ve performans açısından (menzil, hızlanma, net batarya kapasitesi) en iyi olan e-SUV'lerden biridir. Ancak fiyat açısından düşünüldüğünde oldukça pahalıdır. İlk araç ile kıyaslandığında daha ağır ve enerji tüketimi de daha fazladır. Performansı en düşük olan e-SUV yine Almanlar tarafından üretilen başka bir markanın elektrikli aracıdır. Markanın Türkiye'deki pazar payı binek ve ticari araçlar açısından oldukça yüksek olmasına rağmen, satışa çıkarmış olduğu e-SUV aracı oldukça pahalı, ağır ve enerji tüketimi de yüksektir.

Girdi ve çıktı unsurları için hesaplanan ağırlık değerleri göreceli olarak birbirlerine çok yakın değerler olarak bulunmuştur. Bu unsurlar için yapılan farklı ağırlık değerleri senaryoları için sonuçlarda farklılıklar gözlenmemiştir. İngilizler tarafından üretilen e-SUV performansı en yüksek olan araç olarak karşımıza çıkmıştır.

V. SONUÇ

Son yıllarda artan nüfus yoğunluğu, sanayileşme, doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı sürdürülebilir bir çevrenin varlığını imkânsız hale getirmektedir. Yerel ve küresel yönetimler ile tüm bireylerin katkıları ile el ele verilerek birtakım ciddi önlemler alınması kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle son dönemde yaşanan COVID-19 salgını sebebiyle alınan tedbirler kapsamında tam kapanmanın sonucunda doğa kendini tazeleme fırsatı yakalamıştır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de çevre kirliliği konusunda sıkıntılar yaşamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda 51 ilde hava kirliliği konusunda çalışmalar yapılmış ve bu illerin %98’inde hava kirliliği sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Hava kirliliğine neden olan en önemli kirletici kaynaklardan biri de ulaşım amacıyla kullanılan araçlardır. Havaya salınan egzoz gazlarının azaltılması amacıyla ülkeler yeni teknolojilerden yararlanmak üzere harekete geçmişlerdir.

Özellikle Avrupa’da pek çok ülke yeni politikalar benimsemişler ve hava kirliliğini önlemek adına keskin kararlar alarak tüm dünyaya duyurmuşlardır. Bu kararlardan en çarpıcı olanı ise, benzin veya dizel yakıtlı araçların satışının durdurularak tamamen elektrikli araçların pazarda yer almasıdır. Bu radikal değişim ile araştırmacılar ve otomotiv üreticileri araştırma-geliştirme faaliyetlerini bu alana kaydırmışlardır. Elektrikli araçlar, sıfır egzoz gazı emisyonları sebebiyle hava kirliliğinin önlenmesi konusunda önemli bir pazar payı yakalayacaklardır.

Pazarda mevcut pek çok markanın farklı modellerde elektrikli araçları vardır. Bu araçlar içerisinde bazıları, %100 elektrikli iken bazıları ise hem elektrikli hem de içten yanmalı motora sahip araçlardır. Bu çalışmada, tamamen elektrikli olan araçlar dikkate alınarak araçların verimliliği test edilmiştir. Elektrikli binek araçlar veya SUV araçlar içerisinde sadece SUV araçlar üzerine odaklanılmıştır. e-SUV’ların performanslarının ölçülmesi için yapılan araştırmalar sonucunda birtakım faktörler belirlenmiştir. Belirlenen faktörler aracın performansını doğrudan etkileyen ve birbiri ile yakın ilişki içerisinde olan faktörlerdir. Faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi için objektif yöntemlerden CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda belirlenen faktörler içerisinde en büyük ağırlığa sahip olan kriter 100 km’lik bir menzil için aracın ne kadar enerji tükettiğidir. Diğer kritik kriter e-SUV’ların satış fiyatlarıdır. Düşük maliyet ile en verimli aracın alınması önemli bir ölçüttür. Diğer kritik bir kriter ise, aracın ağırlığıdır. Özellikle elektrikli araçlarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarından biri de araç iç ve dışında daha hafif malzemeler kullanılarak aracın ağırlığının minimum seviyeye çekilmesidir. Araç ağırlığı aracın performansını önemli ölçüde etkileyecek kriterlerden biridir. En az ağırlığa sahip olan faktörler ise net batarya kapasitesi, hızlanma ve maksimum hızdır. Özellikle şehir içi kullanım için e-SUV tercihi yapılacak ise aslında maksimum hız ve 0-100 km/saat hızı kaç saniyede ulaştığının çok da önemi olmayabilir.

CRITIC yöntemi ile bulunan faktör ağırlıkları EATWIOS yöntemi için girdi değerleri olarak kullanılmıştır. Türkiye’de satışı bulunan beş farklı markanın e-SUV’larının verimliliklerini belirlemek için EATWIOS yöntemi sonucunda çarpıcı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Tüm araçlar için aslında çok da yüksek verimlilik değerleri elde edilmemiştir. Önemli kriterlerden biri olan fiyat açısından araçlar dikkate alındığında, sadece İngiliz otomotiv üreticisi firma tarafından üretilen e-SUV’un fiyatı diğerlerine göre neredeyse üçte bir oranında avantajlıdır. Ancak diğer elektrikli araçların maliyetleri oldukça yüksektir. Bu kadar yüksek maliyetli bir araç ile de çok yüksek çekiş gücü, menzil ve benzeri yüksek performans değerleri elde edilememektedir. Bu noktada elektrikli araçların fiyatlarında yapılacak düzenlemeler ile daha çok talep oluşturulabilir ve fiyat performans açısından değerlendirildiğinde verimliliği artırılabilir. Ayrıca, hükümetler tarafından elektrikli araçların kullanımına yönelik teşviklerde olumlu katkılar sağlayacaktır.

Değerlendirme sonucunda, tüm e-SUV’ların verimlilikleri birbirine yakın çıkmıştır. En iyi verimliliğe sahip aracı İngilizler üretmişken onu Almanların üretmiş olduğu e-SUV takip etmektedir. Bu araç, en düşük enerji tüketimi, fiyat ve hafifliği ile ön plana çıkmaktadır. Elektrik araçlarda konforlu ve ekonomik şartlar altında aracın kullanımı hem enerji tüketimini hem menzili hem de batarya şarj süresini

etkileyecektir. Agresif ve spor modunda araç kullanımını tercih eden sürücüler için bu değerler, olumsuz olarak etkilenecektir. Aslında bireylerin sürüş modu ile de elektrikli araçların verimlilikleri arttırılabilir. e-SUV’larda kullanılan bataryalar konusunda hala detaylı araştırmalar yapılmaktadır. Şehir içi kullanımlarda ve olumlu hava şartlarında bu araçlar daha verimli iken şehirlerarası ve olumsuz hava koşullarında verimlilikleri düşmektedir. Buna göre, batarya şarj süresi de önemli olan faktörlerden biridir ve şarj istasyon sayılarının arttırılması bu araçların tercih edilmesine olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, sadece e-SUV’ların performansları belli girdi ve çıktı değişkenlerine göre analiz edilmiştir. Gelecekte, aynı şartlar altında elektrikli binek araçlar değerlendirilebilir. Değerlendirme için farklı yöntemler tercih edilebilir. Literatürde kullanılan çok sayıda ÇKKV tekniği ile de değerlendirmeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Elektrikli araçların performanslarını arttırmak üzerine, sürekli olarak iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu gelişmelere bağlı olarak performans ölçümünde kullanılan girdi ve çıktı faktörlerinin güncellenmesi gerekebilir.

e-SUV’lara ait elde edilen girdi ve çıktı faktörlerine ait teknik veriler aslında en ideal şartlar altında ölçülen ve en iyi sonuçları yansıtan değerlerdir. Aslında bu veriler gerçek hayat şartlarında, farklı iklim koşullarında ve farklı sürücüler için farklı sürüş deneyimleri ile tüm araçlar için toplanmalıdır. Bu durum, çalışmadaki en büyük kısıtlayıcı faktör olmuştur. Ayrıca Türkiye’de satışı olan sınırlı sayıda e-SUV olması da çalışmayı sınırlandıran bir diğer faktör olmuştur.

Sonuç olarak, sürdürülebilir bir çevre için Avrupa başta olmak üzere zamanla tüm dünyada elektrikli araçların kullanımı yaygın hale gelecektir. Buradaki kilit nokta bu araçların verimliliklerinin arttırılması üzerine çalışmaların hız kazanmasıdır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] E. Helmers, and P. Marx, “Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts,” *Environmental Sciences Europe*, vol. 24, no. 14, pp. 1–15, 2012.
- [2] A. Valavanidis, “The shift to diesel fuel engines and how the emission scandal of diesel vehicles unfolded,” *World Energy Consumption of Transportation Sector*, vol. 1, pp. 1–26, 2018.
- [3] C. Mahmoudi, A. Flah, and L. Sbita, “An overview of electric vehicle concept and power management strategies,” *International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*, Maghreb, 2014, pp. 1–8.
- [4] A. Efendi, and A. R. Fahmi, “Design and build of electric car frame SULA evolution,” *Journal of Mechanical Engineering Education*, vol. 6, no. 1, pp. 11–21, 2021.
- [5] M. Shammout, M. Cao, Y. Zhang, C. Papaix, Y. Liu, and X. Gao, “Banning diesel vehicles in London: Is 2040 too late?,” *Energies*, vol. 12, no. 3495, pp. 1–17, 2019.
- [6] S. Wappelhorst. (2020, May 11). *The end of the road? An overview of combustion-engine car phase-out announcements across Europe* [Online]. Available: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Combustion-engine-phase-out-briefing-may11.2020.pdf>
- [7] J. Laurikko, R. Granström, and A. Haakana, “Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving conditions,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 5, pp. 45–50, 2012.
- [8] M. E. Baghdadi, L. D. Vroey, T. Coosemans, J. V. Mierlo, W. Foubert, and R. Jahn, “Electric vehicle performance and consumption evaluation,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 6, pp. 30–37, 2013.

- [9] P. Ziemba, "Multi-criteria stochastic selection of electric vehicles for the sustainable development of local government and state administration units in Poland," *Energies*, vol. 13, no. 6299, pp. 1–19, 2020.
- [10] J. Wątróbski, K. Małecki, K. Kijewska, S. Iwan, A. Karczmarczyk, and R. G. Thompson, "Multi-criteria analysis of electric vans for city logistics," *Sustainability*, vol. 9, no. 8, pp. 1453, 2017.
- [11] M. Erbaş, M. Kabak, E. Özceylan, and C. Çetinkaya, "Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy multi-criteria decision analysis," *Energy*, vol. 163, pp. 1017–1031, 2018.
- [12] E. Park, J. Lim, and Y. Cho, "Understanding the emergence and social acceptance of electric vehicles as next-generation models for the automobile industry," *Sustainability*, vol. 10, no. 3, pp. 662, 2018.
- [13] W. Sałabun, and A. Karczmarczyk, "Using the COMET method in the sustainable city transport problem: An empirical study of the electric powered cars," *Procedia Computer Science*, vol. 126, 2018.
- [14] M. Barfod, Dr. Kaplan, I. Frenzel, and J. Klauenberg, "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*, 2016.
- [15] S. Çakır ve S. Perçin, "Çok kriterli karar verme teknikleriyle lojistik firmalarında performans ölçümü," *Ege Akademik Bakış*, c. 13, s. 4, ss. 449–459, 2013.
- [16] E. Aytaç Adalı, and A. Tuş Işık, "Critic and Maut methods for the contract manufacturer selection problem," *European Journal of Multidisciplinary Studies*, vol. 2, no. 5, pp. 93–101, 2017.
- [17] N. Yalçın, and U. Ünlü, "A multi-criteria performance analysis of initial public offering (IPO) firms using critic and vikor methods," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 24, no. 2, pp. 534–560, 2018.
- [18] G. O. Odu, "Weighting methods for multi-criteria decision making technique," *Journal of Applied Sciences Environmental Management*, vol. 23, no. 8, pp. 1449–1457, 2019.
- [19] A. R. Krishnan, M. M. Kasım, R. Hamid, and M. F. Ghazali, "A modified CRITIC method to estimate the objective weights of decision criteria," *Symmetry*, vol. 13, no. 6, pp. 973, 2021.
- [20] J. Aldring, and D. Ajay, "Critic-Entropy based fuzzy decision making models: A systematic analysis," *Journal of Computational Mathematics*, vol. 13, no. 6, pp. 1–20, 2021.
- [21] H. Shi, Y. Li, Z. Jiang, and J. Zhang, "Comprehensive power quality evaluation method of microgrid with dynamic weighting based on critic," *Measurement and Control*, vol. 54, no. 5-6, pp. 1097–1104, 2021.
- [22] M. Şahin, "A comprehensive analysis of weighting and multicriteria methods in the context of sustainable energy," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 18, pp. 1591–1616, 2021.
- [23] E. Yüksekııldız, "Entropi ve eatwos yöntemleri ile Türkiye konteyner limanlarının verimlilik analizi," *Verimlilik Dergisi*, c. 2, ss. 3–24, 2021.

- [24] Ö. F. Görçün, “Entegre entropi ve eatwos yöntemleri kullanılarak Karadeniz konteyner limanlarının verimlilik analizi,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 14, s. 3, ss. 811–830, 2019.
- [25] M. Ilıkkın Özgür, E. Soyu, H. Bağcı ve C. Demirtaş, “Türk şeker firmalarında critic ve eatwos yöntemiyle verimlilik analizi,” *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 224–244, 2021.
- [26] N. Kundakçı, “A comparative analyze based on eatwos and ocr methods for supplier evaluation,” *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 103–112, 2019.
- [27] H. Doğan, “Türkiye ve AB ülkelerinin ar-ge verimliliklerinin entropi-eatwos yöntemleri ile karşılaştırılması,” *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 23, ss. 233–251, 2020.
- [28] A. Özbek, “Çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle hayırsever kuruluşlarında verimlilik analizi,” *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 18, s. 2, ss. 99–113, 2017.
- [29] F. Baş, “Sağlık Bakanlığına bağlı eğitim ve araştırma hastaneleri performanslarının çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi,” Doktora tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2021.
- [30] M. Erol ve B. Erdebilli Kerem, “Firmaların iş sağlığı ve güvenliği performansının çok kriterli karar verme yöntemleri yardımıyla ölçülmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, ss. 337–359, 2021.
- [31] EDF Energy. (2021, July 9). *All about electric car batteries* [Online]. Available: <https://www.edfenergy.com/electric-cars/batteries>
- [32] P. Rong, and M. Pedram, “An analytical model for predicting the remaining battery capacity of lithium-ion batteries,” *Proceedings of Design, Automation, and Test in Europe Conference and Exhibition*, Munich, Germany, 2003, pp. 1148–1149.
- [33] J. Voelcker. (2021, July 9). *EVs explained: Battery capacity, gross versus net* [Online]. Available: <https://www.caranddriver.com/features/a36051980/evs-explained-battery-capacity-gross-versus-net/>
- [34] A. Kerem, “Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 1–13, 2014.
- [35] J. Cogen, “Report of the alternative fuel vehicle infrastructure of working group,” USA, Oregon State Report, 2010.
- [36] B. Yağcıtekin, M. Uzunoğlu ve A. Karakaş, “Elektrikli araçların şarjı ve dağıtım sistemi üzerine etkileri,” *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elâzığ, 2011, pp. 316–320.
- [37] G. Şen, A. R. Boynueğri ve M. Uzunoğlu, “Elektrikli araçların şarj yöntemleri ve araçların şebekeyle bağlantısında karşılaşılan problemlere yönelik çözüm önerileri,” *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elâzığ, 2011, pp. 357–362.
- [38] K. Erhan, M. Ayaz ve E. Özdemir, “Elektrikli araç şarj istasyonlarının güç kalitesi üzerine etkileri,” *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, c. 7, s. 1, 2013.

- [39] T. Finken, M. Felden, and K. Hameyer, "Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles," *Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines*, United States, 2008, pp. 1–5.
- [40] B. Gasbaoui, A. Chaker, A. Laoufi, B. Allaoua, and A. Nasri, "The efficiency of direct torque control for electric vehicle behaviour improvement," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 127–146, 2011.
- [41] F. Güven ve H. Rende, "Elektrikli araçların tasarımında malzeme seçiminin önemi," *Mühendis ve Makine*, c. 58, s. 689, ss. 81–95, 2017.
- [42] Y. Gürbüz ve A. A. Kulaksız, "Elektrikli araçlarla klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 117–125, 2016.
- [43] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. Marquez-Barja, "A review on electric vehicles: Technologies and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021.
- [44] M. Sapundzhiev, I. Evtimov, and R. Ivanov, "Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Romania, 2017, vol. 252, pp. 1–7.
- [45] E. A. Grunditz, and T. Thiringer, "Electric vehicle acceleration performance and motor drive cycle energy efficiency trade-off," *XIII. International Conference on Electrical Machines*, Greece, 2018, pp. 717–723.
- [46] M. Ilyes, A. Fotouhi, and N. Ewin, "Electric vehicle energy consumption modelling and estimation – A case study," *International Journal of Energy Research*, vol. 45, pp. 505–520, 2020.
- [47] T. C. Wang, and H. D. Lee, "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 8980–8985, 2009.
- [48] A. Özdağoğlu, "BIST sınai işletmelerinin gri entropi eatwios bütünleşik yaklaşımı ile performans değerlendirmesi," *İşletme Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 271–299, 2018.