

Arastırma Makalesi

Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Elektrikli Otomobil Seçimi: SD-MULTIMOORA Yaklaşımı

Electric Car Selection with Multi-Criteria Decision-Making Techniques: SD-MULTIMOORA Approach

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

Çukurova Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler

tcoskun@cu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-5314-3748>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
05.11.2021	27.12.2021

Öz

Petrol ve doğalgaz, enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan önemli kaynaklardır. Fosil yakıtların yoğun kullanılması, sadece kıt kaynakların tükenmesine neden olmamakta, çevreye zararlı gazlar da oluşturmaktadır. Gündelik hayatta yoğun olarak kullanılan benzinli ve dizel araçlara hükümetlerce getirilen vergilendirmeler, bu tür araçların sınırlı kaynakları tüketiyor olması ve artan çevre bilinci gibi nedenlerle, bireylerin ve üreticilerin tercihleri hibrit ve elektrikli otomobiller olmaya başlamıştır. Bu çalışmada, tüketici ve karar alıcıların çeşitli özelliklere sahip elektrikli otomobil alternatiflerinden en uygununu seçebilmeleri için yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur. Yöntem olarak çok kriterli karar verme tekniklerinden SD ve MULTIMOORA kullanılmıştır. SD ile yapılan değerlendirmede en önemli ilk 2 kriter aracın torku ve DC şarj süresidir. En az öneme sahip son 2 kriter ise menzil ve azami hızdır. MULTIMOORA ile alternatiflerin sıralanmasında Hyundai Kona 150 kW birinci sıradaki, Renault ZOE ise beşinci sıradaki alternatiftir. Çalışma, elektrikli otomobil seçimindeki kriterler ve güncel alternatiflerin değerlendirilmesi açısından yenilikçi olup ileriki çalışmalara öncü olacak kapsamdadır.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, SD, MULTIMOORA, elektrikli otomobil, araç seçimi

Abstract

Oil and natural gas are important in meeting energy needs. The intensive use of fossil fuels is responsible for the depletion of scarce resources and also emits harmful gases. Due to the government's taxation on gasoline and diesel vehicles, the consumption of limited resources and the increasing environmental awareness including the preferences of individuals and manufacturers, have led to increasing interest in hybrid and electric vehicles. This study presents an innovative approach for consumers and decision-makers to choose the best electric car alternatives. SD and MULTIMOORA, multi-criteria-decision-making techniques, were used as methods. The first 2 important criteria in the evaluation made with SD are the vehicle's torque and DC charging time. The last 2 criteria of least importance are range and top speed. In the ranking of alternatives with MULTIMOORA, Hyundai Kona 150kW is the first alternative and Renault-ZOE is the fifth alternative. The study is innovative due to the criteria for choosing electric cars and the evaluation of current alternatives. Therefore it falls within the scope of being a pioneer for future studies.

Keywords: Multi-criteria decision making, SD, MULTIMOORA, electric car, vehicle selection

Önerilen Atıf /Suggested Citation

Çoşkun, İ. T., 2022 Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Elektrikli Otomobil Seçimi: SD-MULTIMOORA Yaklaşımı, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 57(1), 68-82.

1. Giriş

Toplumların sosyal yaşantıları ve ihtiyaçları, insanoğlunun var olduğu günden beri sürekli değişim ve dönüşüm süreci yaşamıştır. İnsanlar, bu değişim ve dönüşüm sürecinde bulunduğu çevreden etkilendiği gibi, bu çevreyi de büyük ölçüde etkilemişlerdir. Yaşam olgusunun devam edebilmesi için tüketim yapılması, tüketim yapılabilmesi için de üretim yapılması zorunluluktur. Ülke nüfuslarının giderek artması, ulusal ve uluslararası rekabetin hızlanmasına yol açmıştır. Nüfusla birlikte artan insan hareketliliği, kıt kaynakların daha hızlı bir şekilde tükenmesine neden olmuştur. Hızlı üretim ve tüketim sonucunda hava ve su kirliliklerinin artması, sınırlı kaynakların giderek tükenmesi, gelecek nesillere de yaşanabilir bir dünya bırakma bilincinin oluşması ile yenilenebilir enerji kaynakları daha önemli hale gelmeye başlamıştır. Fosil yakıt olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi kaynaklar, enerji ihtiyacının karşılanmasında en önemli girdileri oluşturmaktadır. Fakat ulaşım, ısınma ve elektrik üretiminde petrol, kömür ve doğalgaz gibi kaynakların yoğun kullanılması, sadece bu kıt kaynakların tükenmesine neden olmamakta, enerji üretimi sürecinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ile çevreye zararlı gazların salınımına ve doğada geri dönüştürülemez atıkların da oluşmasına neden olmaktadır.

Fosil kaynakların çevreye olan olumsuz etkilerinin ve sınırlı olmasının dışında, hızlı nüfus artışıyla oluşan enerji talebi, enerji arzı için yeni arayışlara neden olmuştur. Bunun sonucunda petrol tüketiminin azaltılması yönünde yapılan çalışmalar günden güne hızlanmakta, daha az karbon salımı sağlayan enerji teknolojileri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Oluşabilecek enerji krizlerinin önlenmesi için alternatif enerji politikaları benimsenmeye çalışılmış, hem kamu sektörü hem de özel sektör önemli atılımlar gerçekleştirmeye başlamıştır. Araç imalatında da bu perspektifte düzenlemelerin yapılması ve atılımların gerçekleştirilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Politika yapıcılar tarafından getirilen emisyon sınırlamaları ile araç üretimi gerçekleştiren işletmeler ürün çeşitlendirmelerine giderek hibrit ve elektrikli araç üretimine hız vermeye başlamışlardır. Vergilendirmeler ve artan çevre bilinci gibi nedenlerle de bireyler, hibrit ve elektrikli araçları daha fazla talep etmeye başlamışlardır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2021 tarihli raporuna göre; son on yılda elektrikli otomobil sayısında çok hızlı bir artış olmuştur. 2020'de dünyadaki elektrikli otomobil stoku, 2019'a göre %43 artarak 10 milyona ulaşmıştır. Artan arz ve talepler, hükümetlerin çevre koruyucu tedbirleri, dünyaca tanınan araç üreticilerinin üretim planlamalarının da değişmesine neden olmuştur. Ford 2030'dan itibaren Avrupa'da satılacak tüm araçların elektrikli olacağını, Jaguar 2025'ten itibaren sadece elektrikli araç üreteceğini ve 2039'a kadar sıfır karbon projesini hedeflediğini, ABD'li otomobil üreticisi General Motors 2035'e kadar benzinli ve dizel araç üretimini sonlandırarak yalnızca elektrikli araç üretimine geçeceğini duyurmuştur. Benzer olarak BMW, Ferrari, Daimler, Honda, Hyundai, Land Rover, Renault, Toyota, Volkswagen ve Volvo markaları da 2030-2040 yılları arasında kademeli olarak elektrikli modellerin üretimlerini arttıracıklarını, dizel ve benzinli araçların üretimini ise yine bu süreçte sonlandıracıklarını açıklamışlardır.

Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği (ACEA) Sıfır Emisyonlu Mobiliteye Geçiş 2020 raporuna göre; elektrikle şarj edilebilen arabaların sayısı 2014-2019 yılları arasında 389.000 artarak 458.915'a yükselmiştir. Yine aynı raporda, AB'de elektrikle şarj edilebilen araba satışlarının son üç yılda %110 ve şarj noktalarının da %58 arttığı belirtilmiştir. Yalnızca Avrupa'da değil, dünyanın bir çok yerinde benzer eğilimler görülmektedir. Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneğinin (TEHAD) verilerine göre Türkiye'de 2016'da 44, 2017'de 77 adet olan elektrikli araç satışı, 2020'de 844, 2021 yılının ilk 6 ayında ise 894 adete ulaşmıştır. Yine TEHAD'ta yer alan bilgilere göre, çeşitli firmaların şarj istasyonu yatırımları hızla artmış olup, 2020 Kasım ayı itibarıyla 81 ilin tamamında elektrikli araçlara şarj hizmeti sunulabilir hale gelmiştir. 2011'de 20 adet olan araç şarj ünitesi sayısı, 2020'de 2000 adeti aşmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TUİK) verilerine göre de hızla büyüyen bir pazarla karşılaşılmaktadır. TUİK'in Motorlu Kara Taşıtları Eylül 2021 raporuna göre Elektrik-Hibrit grubu araçların trafik kayıtlarının oranı, tüm yakıt gruplarına göre Ocak-Eylül 2020'de %3,1 iken 2021'de %8,7 ye yükselmiştir. Üreticilerin artan arzları ve teknolojik gelişmeler, hükümetlerin vergilendirme yaklaşımları ve çevreci politikaları, bireylerin sürdürülebilirliğe dair değişen algı ve tutumları sonucu farklılaşan talep eğilimleri, elektrikli araçları bugünden büyük bir pazarın bileşeni haline getirmeye başlamıştır.

Üreticiler, tüketicilerin zevk, talep ve beklentilerine göre arz koşullarını oluşturmakta ve ürünlere dair özellikleri geliştirmektedirler. Tüketiciler de sunulan farklı alternatifler arasından en işlevsel ve maliyet etkin olanı, en akılcı yaklaşımla, zevk ve beklentilerine uygun olarak seçebilmeyi istemektedirler. Ödedikleri bedelin karşılığını tam olarak alabilme, bütçe kısıtlarına göre en optimal olana sahip olma eğilimi göstermektedirler.

Bu çalışmanın, insan yaşantısının vazgeçilmez ihtiyaçlarından birisi olan ulaşım sektöründe, gelecek yıllarda büyük bir pazar payına sahip olacak olan elektrikli araçların seçimi için yol gösterici bir nitelikte olması amaçlanmaktadır. Tüketicilere ve karar alıcılara, mevcut koşullar altında en iyiyi seçebilmelerine olanak sağlamak için Türkiye’de Ekim 2021 itibariyle güncel olarak distribütör satışında olan ve çeşitli kriterlere (seçim özelliklerine) sahip elektrikli otomobil alternatiflerinin kıyaslanmasında, yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur. Araştırma kapsamında ele alınan kriterlerin değerlendirilmesinde ve alternatiflerin sıralanmasında, çok kriterli karar verme tekniklerinden Standard Deviation (SD) ve Multi Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MULTIMOORA) teknikleri bütünsel olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde temel bilgiler ve çalışmanın amacı sunulmuştur. İkinci bölümde literatür özeti, üçüncü bölümde yöntem, dördüncü bölümde uygulama ve bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. Literatür

Çalışmanın literatür bölümü 3 kısımda yapılandırılmıştır. Öncelikle çok kriterli karar verme teknikleri ile farklı türdeki araçların seçimine dair yapılmış çalışmalar ele alınmıştır. Sonrasında kriter ağırlıklandırma kullanılan SD yöntemi ile ilgili çalışmalar sunulmuştur. Literatür bölümünün son kısmında ise alternatiflerin sıralanmasında kullanılan MULTIMOORA yöntemi ile yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Yedla ve Shrestha (2003) çalışmalarında üç nitel ve üç nicel kriter altında, farklı üç alternatifin değerlendirmesini Analytical Hierarchy Process (AHP) yöntemiyle yapmışlardır. Bu çalışma Delhi’de çevresel açıdan sürdürülebilir ulaşım sistemi için alternatif seçeneklerin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Sakthivel, vd., (2013) çalışmalarında beş alternatif arasından en iyi otomobili seçmek için güvenlik, performans, ekonomik yön, dış görünüm, kolaylık, bayi, garanti ve emisyonlar gibi değerlendirme kriterlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada bulanık AHP, Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) ve Grey Relational Analysis (GRA) teknikleri kullanılmıştır. Yavaş, vd., (2014)’nin çalışmalarında AHP ve Analytic Network Process (ANP) yöntemlerini kullanarak otomobil satın alma sürecinde tüketicilerin dikkate aldığı kriterler ele alınmış ve alternatifler sıralanmıştır. AHP’ye göre donanım, tasarım ve yakıt türü kriterleri sırasıyla en önemli kriterler, ANP’ye göre ise iç tasarım, güvenlik donanımı ve 1,6 motor hacmi sırasıyla en önemli kriterlerdir. Hamurcu ve Eren (2018) çalışmalarında kentsel ulaşımın daha iyi hale getirilebilmesi için yüksek kapasiteli elektrikli otobüslerin seçiminde ANP ve The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada kapasite, hız, menzil, manevra kabiliyeti, tasarım ve performans kriterlerinin önem düzeyleri ANP ile belirlenmiş, beş farklı alternatifin sıralanması ise TOPSIS ile yapılmıştır. Babacan’ın (2020) çalışmasında orta gelir düzeyine sahip bireylerin satın alabilecekleri 22 otomobil alternatifi, 8 kriter altında incelenmiştir. Kriter ağırlıklarını elde etmek için AHP ve alternatifleri sıralamak için ise Vise KriterijumsaOptimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) kullanılmıştır. Gavcar ve Kara (2020) çalışmalarında 11 farklı elektrikli otomobilin batarya kapasitesi, beygir gücü, aerodinamik katsayısı, menzili ve satış fiyatı kriterleri altında karşılaştırılması ENTROPİ ve TOPSIS yöntemleri ile yapılmıştır. Alakaş, vd., (2021)’nin çalışmalarında toplu taşıma araçlarından hangisinin daha uygun olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. AHP yöntemi ile iç hacim, dış hacim, yakıt türü, maliyet, performans, yolcu istekleri olmak üzere altı ana kriterin ve 24 alt kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. 3 farklı alternatif ise TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır.

Kılıç ve Çerçioğlu (2016) çalışmalarında, TCDD tarafından iltisak hattı düşünülen, yük taşıma kapasitesi yüksek olan organize sanayi bölgesi, tesis, fabrika vb. 78 lokasyon için planlanan demiryolu bağlantısı için öncelik sıralaması yapılmıştır. Ağırlıklandırma için CRITIC, SD ve MW teknikleri, alternatiflerin sıralanmasında ise TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Ulutaş ve Karaköy’ün

(2019) çalışmalarında SD ve Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) yöntemlerinden oluşan bir çok kriterli karar verme modeli ile G20 ülkelerinin LPI (lojistik performans endeksi) değerlerine göre sıralanması amaçlanmıştır. Koşaroğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada, pay senetleri BIST'te işlem gören mevduat bankalarına ait performansın, çok kriterli karar verme tekniklerinden SD ve Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS) kullanılarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Işık ve Koşaroğlu'nun (2020) çalışmalarında 2010-2019 yıllarını kapsayan 10 yıllık dönemde BIST'e kote petrol firmalarının piyasa göstergelerine dayalı performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Performansların ölçülmesinde SD ve Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) yöntemleri kullanılmıştır. Maheshwari, vd., (2021) çalışmalarında, fren disklerinin tasarımındaki değişkenler, sonlu elemanlar analizi ve çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak incelenmiş ve analiz edilmiştir. 7 değişkene (performans parametresine) sahip 32 alternatif EDAS, Complex Proportional Assessment (COPRAS), TOPSIS ve Additive Ratio Assessment (ARAS) yöntemleri ile sıralanmış, kriter ağırlıklandırma ise SD yöntemi kullanılmıştır.

Baležentis, Baležentis ve Brauers (2012) çalışmalarında, bir şirkette personel seçim problemi için, sekiz kriter altındaki dört alternatifin değerlendirilmesine yönelik bulanık MULTIMOORA tekniği kullanılmıştır. Aksoy, Ömürbek ve Karaatlı (2015) tarafından yapılan çalışmada TKİ'ye(Türkiye Kömür İşletmeleri) ait sekiz işletmenin 2008-2012 yılları arasındaki performanslarının değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. AHP ile yedi kriterin ağırlıklandırıldığı çalışmada, performans sıralamasında MULTIMOORA ve COPRAS yöntemleri kullanılmıştır. Aytekin'in (2016) çalışmasında, hastaların hastane seçiminde etkili olan sekiz kriter ele alınmış, öncelikle anket aracılığı ile verilen yanıtlara göre kriterler ağırlıklandırılmış, sonrasında ise Eskişehir şehir merkezinde yer alan üçü kamu ve beşi özel hastane olmak üzere sekiz farklı alternatif MULTIMOORA ile sıralanmıştır. Ömürbek ve Aksoy (2017), imalat sektörünü oluşturan otuz iki farklı imalat alt sektörünün 2005-2015 yılları arasındaki performanslarını değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmalarında MULTIMOORA tekniğini kullanmışlardır. Taş, Yılmaz ve Ergör (2021) çalışmalarında Ege Bölgesi'nde göçle mücadelede operasyonel faaliyetlerin sürdürülmesi konusunda kritik öneme sahip bir lojistik tesisin yer seçimine yönelik çözüm önerisi, AHP ve MULTIMOORA teknikleriyle geliştirilmiştir. Rani, vd., (2021)'nin çalışmalarında bir dizi alternatif yöntem arasından en uygun gıda atığı arıtma yönteminin seçimi için SVNSs (Tek değerli nötrozofik kümeler), CRITIC ve MULTIMOORA yöntemleri entegre olarak kullanılmıştır.

3. Yöntem

Çok kriterli karar verme teknikleri, yalnızca belirli bilim dallarında değil, disiplinlerarası birçok çalışmada yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Farklı özelliklere sahip alternatiflerin değerlendirmesinde ortaya çıkan karar zorluğunu ortadan kaldıran, farklı matematiksel yaklaşımlarla birçok probleme etkin ve hızlı çözümler üreten teknikler olması, nitel veya nicel problemlere çözüm yaklaşımları sunması, çok farklı alanlarda kullanılabilir olmasını ve araştırmacıların sürekli yeni teknikler geliştirmesini sağlamıştır. Bu tekniklerden bazıları, TOPSIS, VIKOR, Elimination and Choice Translating Reality English (ELECTRE), MOORA, MOOSRA ve MULTIMOORA'dır.

Karar verme sürecinde değerlendirilen alternatiflerin tümünün aynı özelliklere sahip olması mümkün değildir. Alternatiflerin ayırıcı özelliklerinin aynı önem düzeylerine sahip olamayacağı göz önünde bulundurulduğunda; karar verme sürecinde en önemli adımlardan biri, kriterlerin önceliklendirilmesi; diğer bir ifade ile ağırlıklandırılmasıdır. Uzman kişilerin görüşleri alınarak yapılan ağırlıklandırma işlemleri subjektif (öznel) ağırlıklandırma, kriterlerin kendi nicelik değerlerinin üzerinden yapılan ağırlıklandırma ise objektif (nesnel) ağırlıklandırma (Demircioğlu ve Coşkun 2018:184-185). AHP, The Decision Making Trial And Evaluation Laboratory (DEMATEL) ve Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS) gibi teknikler subjektif, CRITIC, ENTROPI, MW (Ortalama Ağırlık) ve SD (Standart Sapma) gibi yöntemler ise objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden bazılarıdır.

Bu çalışmada elektrikli otomobil alternatiflerini değerlendirmek üzere MULTIMOORA, bu alternatiflerin sahip olduğu kriterlerin ağırlıklandırılması amacıyla da SD yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan yöntemlerle ilgili bilgiler yer almaktadır.

SD

Çok kriterli karar verme çalışmalarında elde edilen nihai sıralama ve performans puanı, büyük ölçüde kriterlere atanan ağırlıklara bağlıdır. Ağırlıkların atanması ise genellikle karar vericiler tarafından yapılır. Ancak karar verme süreciyle ilgili insan temelli belirsizlikler nedeniyle, nihai sonuç karar vericinin önyargılarından etkilenebilir. Bunu önlemek için objektif ağırlıklandırma metodolojisi olan SD kullanılabilir. SD yöntemi, her bir kritere tarafsız bir şekilde ağırlık tahsis eder ve karar vermede yer alan kişisel önyargıları en aza indirerek karar sürecine önemli oranda katkı sağlar (Maheshwari vd., 2021:350).

SD yönteminin adımları şu şekildedir (Ünal, 2019:389, Maheshwari, vd., 2021:350 ve Koşaroğlu, 2020:410):

Adım 1: Satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar sürecinde kullanılacak değerlendirme kriterleri olmak üzere $m \times n$ tipinde karar matrisi oluşturulur.

$i = 1, 2, \dots, m$ (alternatifler) $j = 1, 2, \dots, n$ (kriterler)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

Adım 2: x_{ij}^* : i. alternatifin j. kritere göre normalize edilmiş değeri olmak üzere, karar matrisindeki kriterlerin fayda ve maliyet durumlarına göre normalizasyonu yapılır. Fayda kriterlerinde eşitlik (1), maliyet kriterlerinde ise eşitlik (2)'deki dönüşüm yapılır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$x_{ij}^* = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

Adım 3: Her kriter için standart sapma değerleri eşitlik (3) ile hesaplanır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j^*)^2}{m}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Burada \bar{x}_j^* her j. kriterin değerlerinin ortalamasıdır.

Adım 4: Son olarak kriter ağırlıkları eşitlik (4) ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

MULTIMOORA

Brauers ve Zavadskas tarafından 2010 yılında geliştirilen MULTIMOORA, Brauers ve Zavadskas tarafından 2006 yılında geliştirilen MOORA (Multi Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) metodunun ve Brauers tarafından 2001'de ortaya atılan tam çarpımsal formun birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur (Türe, Koçak ve Doğan 2017:830). MULTIMOORA, inşaat, ulaşım, ekonomi, personel seçimi, otomobil seçimi ve enerji gibi çeşitli alanlarda başarıyla uygulanmıştır (Aytekin, 2016:137).

Yalın bir yöntem olmayan MULTIMOORA, farklı MOORA yöntemleri ile yapılan nihai sıralamaların tamamının dikkate alınarak, sonuçların kıyaslanması ve baskınlık durumlarına göre değerlendirilmesidir. Bu yaklaşım, sonuçların etkinliğini arttırmaktadır. MOORA'nın adımları ve nihai değerlendirmenin yapıldığı MULTIMOORA yöntemi şu şekildedir (Önay ve Çetin, 2012:94-96, Zavadskas vd., 2015:3, Ceyhan ve Demirci, 2017:285-287, Gelen, 2018:20-24):

Adım 1: Satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar sürecinde kullanılacak değerlendirme kriterleri olmak üzere $m \times n$ tipinde karar matrisi oluşturulur.

$i = 1, 2, \dots, m$ (alternatifler) $j = 1, 2, \dots, n$ (kriterler)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

Adım 2: Normalizasyon işlemi $i = 1, 2, \dots, m$ (alternatifler) ve $j = 1, 2, \dots, n$ (kriterler) olmak üzere, eşitlik (5) yardımıyla yapılır. Yani her kriterin alternatif değeri, her kriterin alternatif değerinin karelerinin toplamının kareköküne bölünür.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

Burada x_{ij}^* : i . alternatifin, j . kriter için normalize edilmiş değeridir. $x_{ij}^* \in [0,1]$

Adım 3: Oran Metodu: Normalizasyon sonrası elde edilen tabloda amaçlar, minimum ya da maksimum hedefli amaç olmasına göre belirlenerek toplanırlar. Toplam maksimum amaç değerlerinden toplam minimum amaç değerleri çıkarılır. Kriterler için, yani $j=1, 2, \dots, g$ maksimize amaçlılar, $j=g+1, g+2, \dots, n$ minimize amaçlılar olmak üzere eşitlik (6)'daki gibi yazılır. Şayet ağırlıklandırma yapılacaksa, normalizasyon sonrasında elde edilen normalize karar matrisi üzerinde ağırlıklandırma yapılarak y_i^* değerleri hesaplanır.

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (6)$$

y_i^* : i . alternatifinin tüm amaçlar (kriterler) doğrultusunda normalize edilen değerlendirilmesidir. y_i^* 'lerin büyükten küçüğe doğru sıralanması sonucunda, alternatiflerin oran metoduna göre sıralaması elde edilir.

Adım 4: Referans Noktası Yaklaşımı: Her bir kriterde amaç maksimizasyon ise maksimum noktalar, amaç minimize edilecek ise minimum noktalar olan, maksimal amaç referans değerleri (r_j 'ler) belirlenir. Eşitlik (7) deki gibi, saptanan bu değerlerin her x_{ij}^* 'a olan uzaklıkları bulunur ve matris şeklinde yazılır. Şayet ağırlıklandırma yapılacaksa oran metodunda olduğu gibi, normalizasyon sonrasında elde edilen normalize karar matrisi üzerinde ağırlıklandırma yapılarak ağırlıklandırılmış x_{ij}^* ve r_j değerleri hesaplanır.

x_{ij}^* ; i . alternatifin, j . kriter için normalize edilen değeri,

r_j ; j . kriterin referans noktası, $i = 1, 2, \dots, m$ (alternatifler) $j = 1, 2, \dots, n$ (kriterler) olmak üzere

$$r_j - x_{ij}^* \quad (7)$$

değeri hesaplanır.

Oluşturulan yeni matriste eşitlik (8)'deki Tchebycheff Min-Max metrik işlemi uygulanarak her bir alternatifin kriterleri arasındaki maksimum değerleri seçilir.

$$\min_{1 \leq i \leq m} \{ \max_{1 \leq j \leq n} (|r_j - x_{ij}^*|) \} \quad (8)$$

Seçilen maksimum değerler ise küçükten büyüğe doğru sıralanır. Bu şekilde sonuçların da en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru sıralanması yapılır.

Adım 5: Tam Çarpım Formu Yaklaşımı: 1. adımdaki başlangıç matrisine normalizasyon uygulanmadan x_{ij} değerleri ile tam çarpım formu matrisi oluşturulur. Ağırlıklandırma gerekli ise yine bu matris üzerindeki değerlere katsayı ataması yapılır. $j=1, 2, \dots, g$ maksimize edilecek amaçlar olmak üzere A_i eşitlik (9), $j=g+1, g+2, \dots, n$ minimize edilecek amaçlar olmak üzere B_i eşitlik (10)'daki çarpım işlemleri ile hesaplanır. Yani A_i 'ler için maksimize edilecek tüm kriterlerin değerleri her alternatif için çarpılır, benzer olarak B_i 'ler minimize edilecek tüm kriterlerin değerleri her alternatif için çarpılır.

$$A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij} \quad (9)$$

$$B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij} \quad (10)$$

Hesaplanan A_i ve B_i değerleri eşitlik (11)'deki gibi oranlanır.

$$U'_i = \frac{A_i}{B_i} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

Bulunan U'_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatiflerin de en iyiden kötüye doğru sıralanması yapılır.

Adım 6: MULTIMOORA Yöntemi Uygulanan oran metodu, referans noktası metodu ve tam çarpım formu sonuçları kıyaslanarak değerlendirilir. Yapılan değerlendirmede baskınlık karşılaştırması yapılarak MULTIMOORA sonucuna ulaşılır.

MOORA yaklaşımında, tüm amaçlar ile alternatifler ve amaçlar arası tüm ilişkiler dikkate alınmaktadır. Sübjektif ağırlıklı normalleştirme yerine objektif yönsüz değerler kullanılır. Farklı MOORA teknikleri uygulanarak kıyaslamalı değerlendirmeler yapılabilmektedir (Karaca, 2011:23-25).

4. Uygulama ve Bulgular

Uygulama sürecinin ilk aşaması, kriterlerin belirlenmesidir. Literatürde araç seçimi ile ilgili birçok çalışma bulunmasına karşın elektrikli araç seçimi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Elektrikli araçların teknik ve fiziki birçok özelliğinin normal araçlardan farklı olması ve pazarının yeni yeni oluşmaya başlaması nedeniyle literatürde bulunan kriterlerden farklı olarak kriterlerin belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur.

Elektrikli araçlarla ilgili yine az sayıdaki çalışmada batarya kapasitesi, beygir gücü, aerodinamik katsayı, menzil ve satış fiyatı gibi kriterler kullanılmıştır. Sektör temsilcileri ile yapılan görüşmelerde tüketicilerin satış fiyatı, beygir gücü ve menzil gibi kriterlere yoğun olarak ilgi gösterdikleri bildirilmiştir. Aerodinamik katsayı kriterinin güncel olmayan kataloglarda yer aldığı, tüketicilerin bu katsayının rakamsal değerinden ziyade, menzil kriterine talep gösterdikleri belirtilmiştir. Yine benzer olarak batarya kapasitesinden ziyade aracın %100 veya %80 bataryasının dolu iken ne kadar yol kat edebileceği ve boş bataryanın ne kadar sürede dolmasının gerçekleşebileceği bilgilerinin önem arz ettiği ifade edilmiştir.

Bu görüşlerden hareketle bu çalışmada ele alınan kriterler, fiyat (TL), beygir gücü (kw), tork (nm), maksimum hız (km/sa), 0-100 km/sa hızlanma (sn), menzil (WLTP prosedürü ortalama kullanıcı) ve DC şarj süresi (50kw %80'e kadar) olarak belirlenmiştir. AC şarj süresi wallbox şarj ünitesi (22 kw, 11 kw, 7,4 kw veya 3,7 kw) tipine göre farklılık gösterdiği ve araçların tanıtım kataloglarında ortak bilgi bulunmadığı için çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Kriterlerin belirlenmesi sonrasında alternatifler ele alınmıştır. Türkiye'de hizmet veren ikinci el otomobil satış sitelerinde Ekim 2021 itibariyle satışta olan elektrikli araç marka ve modelleri; Audi E-Tron, BMW i3, Fiat 500 ve Panda, Honda E 154, Fisker Karma, Mercedes-Benz EQS, Mini Cooper Electric SE, Porsche Taycan, Renault Fluence Z.E., Twizy ve ZOE, Smart EQ, Tesla Model 3, S, X, Y ve son olarak ta Volkswagen ID.3'tür. Bu araçların ikinci el satış fiyatlarının yaklaşık 100.000TL ile 4.000.000TL arasında olması ve bu aralıkta araçların teknik özelliklerinin büyük farklılıklar göstermesi nedeniyle alternatifler daha homojen olarak belirlenmeye çalışılmış ve çeşitli sınırlamalar getirilmiştir. Alternatiflerin oluşturulmasında koyulan sınırlayıcı şartlar şu şekildedir:

- Türkiye'de resmi olarak distribütörlüğe ve yetkili teknik servise sahip markalar
- Ekim 2021 itibariyle resmi satış siteleri üzerinden satışa sunulan modeller
- Distribütör 0 km azami anahtar teslim satış fiyatı 800.000TL ve altındaki modeller

Bu kısıtların getirilmesindeki bir diğer sebep; bazı marka ve model araçlardan çok sınırlı sayıda bulunması, siparişe özel veya özel ithalat yoluyla getirilmesi nedeniyle serbest belirlenen satış fiyatlarıdır. Tüm bu koşulları sağlayan ve çalışma kapsamında değerlendirilen alternatifler şu şekildedir: A1 (BMW İ3s), A2 (Hyundai Kona 100 kw), A3 (Hyundai Kona 150 kw), A4 (Mini Cooper SE) ve A5 (Renault ZOE)

5 alternatif aracın sahip olduğu kriterlerin fayda (max) veya maliyet (min) bilgileri ve değerleri Tablo 1’de yer almaktadır. Araçlara ait tüm veriler, resmi internet sayfalarından ve ilgili markaların tanıtım broşürlerinden alınmıştır.

Tablo 1. Karar Matrisi

	K1 (min) Fiyat	K2 (max) Beygir gücü	K3 (max) Tork	K4 (max) Azami hız	K5 (min) Hızlanma	K6 (max) Menzil	K7 (min) DC şarj süresi
A1	761200	135	270	160	6,9	285	42
A2	487000	100	395	155	9,9	305	48
A3	734000	150	395	167	7,9	484	64
A4	583840	135	270	150	7,3	234	35
A5	401900	80	225	135	11,4	395	65

SD ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tablo 1’de yer alan karar matrisinin değerleri üzerinden 2. adımında yer alan işlemler yardımı ile Tablo-2’deki normalize karar matrisinin oluşturulmuştur.

Tablo 2. SD Normalize Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	0	0,785714	0,264706	0,78125	1	0,204	0,766667
A2	0,763151	0,285714	1	0,625	0,333333	0,284	0,566667
A3	0,075703	1	1	1	0,777778	1	0,033333
A4	0,493626	0,785714	0,264706	0,46875	0,911111	0	1
A5	1	0	0	0	0	0,644	0

SD yönteminin 3. ve 4. adımında yer alan işlemler yardımıyla Tablo 3’teki kriter ağırlıkları (w_i 'ler) elde edilmiştir.

Tablo 3. SD Kriter Ağırlıkları

	w₁	w₂	w₃	w₄	w₅	w₆	w₇
Ağırlıklar	0,146178	0,140154	0,157242	0,127701	0,14377	0,134318	0,150638

MULTIMOORA ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Tablo 1’de yer alan karar matrisine eşitlik (5) yardımıyla normalizasyon işlemi yapılır. Elde edilen normalize karar matrisi Tablo 4’te, SD ile elde edilen ağırlıklara göre oluşturulan ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi ise Tablo 5’te yer almaktadır.

Tablo 4. Normalize Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	0,55848	0,49180	0,37864	0,46531	0,34882	0,36216	0,35996
A2	0,35730	0,36430	0,55394	0,45077	0,50049	0,38757	0,41138
A3	0,53852	0,54645	0,55394	0,48566	0,39938	0,61503	0,54851
A4	0,42835	0,49180	0,37864	0,43623	0,36904	0,29735	0,29997
A5	0,29487	0,29144	0,31554	0,39260	0,57632	0,50194	0,55708

Tablo 5. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	0,08164	0,06893	0,05954	0,05942	0,05015	0,04864	0,05422
A2	0,05223	0,05106	0,08710	0,05756	0,07195	0,05206	0,06197
A3	0,07872	0,07659	0,08710	0,06202	0,05742	0,08261	0,08263
A4	0,06262	0,06893	0,05954	0,05571	0,05306	0,03994	0,04519
A5	0,04310	0,04085	0,04962	0,05014	0,08286	0,06742	0,08392

Tablo 5'te yer alan ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki değerler üzerinden eşitlik (6) ile yapılan işlemler ile oran metoduna göre ve eşitlik (7) ile yapılan işlemler ile referans noktasına göre alternatifler sıralanmıştır. Tam çarpım formu için ise; Tablo 4'te yer alan normalize karar matrisine Tablo 3'te yer alan SD kriter ağırlıkları verilerek alternatifler sıralanmıştır. 3 yöntem ile (oran metodu, referans noktası ve tam çarpım formu) değerlendirilen alternatiflerin sonuçları Tablo 6'da yer almaktadır. MULTIMOORA yöntemine göre alternatiflerin sıralanması için yine Tablo 6'daki sonuçların baskınlık durumu dikkate alınmıştır.

Tablo 6. MULTIMOORA ve Alternatiflerin Sonuç Sıralaması

	Oran Metodu	Referans Noktası	Tam Çarpım Formu	MULTIMOORA
A1	4	3	4	4
A2	3	1	3	3
A3	1	2	1	1
A4	2	5	2	2
A5	5	4	5	5

SD yöntemi ile objektif olarak yapılan kriter değerlendirmelerine göre kriterlerin önem sıralaması; $w_3 \geq w_7 \geq w_1 \geq w_5 \geq w_2 \geq w_6 \geq w_4$ şeklinde olmuştur. Buna göre en önemli ilk 2 kriter aracın torku ve DC şarj süresidir. En az öneme sahip son 2 kriter ise aracın bataryasının tam dolu iken gidebileceği menzil ve azami hızdır.

MOORA oran metodu, referans noktası yaklaşımı ve tam çarpım formuna göre ayrı ayrı yapılan sonuç değerlendirmeleri sonrasında MULTIMOORA ile alternatiflerin nihai sıralanması elde edilmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde, bir önceki bölümde kriterlerin SD yöntemi ile elde edilen önem katsayıları kullanılmıştır. Alternatiflerin sıralanması ise $A3 \geq A4 \geq A2 \geq A1 \geq A5$ şeklinde olmuştur. Buna göre birinci sıradaki alternatif A3 Hyundai Kona 150 kW, beşinci sıradaki alternatif ise A5 Renault ZOE'dir.

5. Sonuç ve Öneriler

Teknolojik gelişmeler, fosil yakıtların sınırlı ve tükenen kaynaklar olması, artan çevre bilinci ve daha düşük maliyetli ulaşım imkânı gibi nedenler, elektrikli araçların her geçen gün hayatımızda daha fazla yer almasına neden olmaktadır. Elektrikli araçlarla ilgili yalnızca akademik veya sektörel düzeyde yapılan çalışmaların yaygınlaşıyor olması değil, piyasadaki arz ve talebin de hızla artıyor olması, gelecekte yaşanacak değişimler hakkında ipuçları sunmaktadır.

Bu çalışmanın, her geçen gün daha farklı model ve özelliklerle piyasaya çıkan elektrikli araç alternatiflerinin değerlendirilmesi, araçların sahip olduğu kriterlerin incelenmesi ve gelecekte yapılacak çalışmalarda diğer araştırmacılara da yol gösterici nitelikte bir çalışma olması hedeflenmiştir. Ekim 2021 itibarıyla Türkiye’de resmi distribütör satışında olan ve değeri 800.000 TL altındaki 5 alternatif araç incelenmiştir. Bu araçların değerlendirilmesinde ise 7 farklı kriter kullanılmıştır.

Çalışmada yöntem olarak, karar problemlerinde etkin çözümler sunan ve farklı MOORA yaklaşımlarının bir arada değerlendirildiği MULTIMOORA tekniği tercih edilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında ise objektif değerlendirilme tekniklerinden biri olan SD yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, elektrikli otomobil seçimi için ele alınan kriterlerden en önemli ilk ikisi aracın torku ve DC şarj süresidir. En az öneme sahip son iki kriter ise aracın bataryasının tam dolu iken gidebileceği menzil ve azami hızdır. Beş farklı alternatifin değerlendirilmesi sonucunda birinci sıradaki alternatif A3 Hyundai Kona 150 kW, sonuncu sıradaki alternatif ise A5 Renault ZOE olarak bulunmuştur. Hyundai Kona 150 kW, yüksek sayılabilecek fiyatına ve uzun sayılabilecek şarj süresine rağmen, en yüksek tork, beygir gücü ve azami hız değerlerine sahiptir. Ayrıca 0-100 km/sa hızlanma konusunda alternatifler içerisinde üçüncü sırada yer almasına rağmen, en uzun menzile sahip araçtır. Son sıradaki Renault ZOE ise en düşük fiyat ve en iyi ikinci sırada olan azami menzil kriterlerine karşın; beygir gücü, tork, azami hız, hızlanma ve DC şarj süresi konusunda alternatifler arasında son sırada yer alan araçtır.

Çalışma, elektrikli araç seçimine dair incelenen kriterler ve güncel alternatiflerin ele alınması yönlerinden yenilikçidir. SD ve MULTIMOORA yöntemlerinin birlikte kullanıldığı az sayıdaki çalışmalardan biridir. Literatüre katkı sağlayacak ve ilerideki çalışmalara öncü nitelikte olacak bir kapsamdadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar için yapılacak öneriler ise şu şekildedir:

- Tüketici zevk ve talepleri doğrultusunda, karar vericilerin görüşlerine başvurularak subjektif değerlendirme yöntemleri olan WINGS, DEMATEL veya AHP gibi yöntemlerle aynı kriterler değerlendirilerek sonuçlar kıyaslanabilir.
- Kriterlerin kapsamı genişletilerek veya mevcut kriterler üzerinden, CRITIC, ENTROPI veya MW gibi farklı objektif ağırlıklandırma metodları kullanılabilir.
- Farklı çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak daha fazla sayıda alternatif ele alınabilir.
- Otomobil dışındaki elektrikli araçlar için, SD-MULTIMOORA yöntemi uygulanabilir.

Yazar katkıları

Çalışmanın tamamı tek yazar tarafından yürütülmüştür.

Çıkar çatışmaları

Yazarın beyan edeceği herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynakça

- Aksoy, E., Ömürbek, N., & Karaatlı, M. (2015). AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri’nin performans değerlendirmesi. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 33(4), 1-28.
- Alakaş, H. M., Yazıcı, E., Cebeci, S., Yılmaz, E.E. & Eren, T. (2021). Toplu Ulaşım Sistemlerinde Araç Tipi Seçimi: Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(1), 269-287.
- Aytekin, A. (2016). Hastaların Hastane Tercihinde Etkili Kriterler ve Hastanelerin MULTIMOORA ile Sıralanması: Eskişehir Örneği. İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi, 4(4), 134-143.

- Babacan, A. (2020). Türkiye’de Orta Gelir Grubuna Yönelik Otomobil Seçimi: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Olarak Vikor Yöntemi. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21(1), 293-307.
- Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. Expert Systems with applications, 39(9), 7961-7967.
- Ceyhan, İ. F., & Demirci, F. (2017). MULTIMOORA Yöntemiyle Finansal Performans Ölçümü: Leasing Şirketlerinde Bir Uygulama. Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(15), 277-296.
- Demircioğlu, M., & Coşkun, İ. T. (2018). CRITIC-MOOSRA Yöntemi ve UPS Seçimi Üzerine bir Uygulama. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 27(1), 183-195.
- Gavcar, E., & Kara, N. (2020). Elektrikli Otomobil Seçiminde Entropi ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması. İş ve İnsan Dergisi, 7(2), 351-359.
- Gelen, M.B. (2018). Çok Amaçlı Çizelgeleme Probleminin Genetik-Multimoora Hibrit Algoritması İle Çözümü. Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2018). Yüksek Kapasiteli Elektrikli Otobüslerin Seçiminde Hibrit Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 1-10.
- Türe, H., Koçak, D., & Doğan, S. (2017). MULTIMOORA Yöntemi ile Ülke Riski Değerlendirmesi. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3), 824-844.
- Işık, Ö., & Koşaroğlu, M. (2020). Analysis of the Financial Performance of Turkish Listed Oil Companies Through the Application of SD and MAUT Methods. Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 55(3), 1395-1411
- Karaca, T. (2011). Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Kritik Yolun Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 133.
- Kılıç, O., & Çerçioğlu, H. (2016). TCDD İltisak Hatları Projelerinin Değerlendirilmesinde Uzlaşık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1).
- Koşaroğlu, Ş. M. (2020). Bist’te İşlem Gören Bankaların Performanslarının SD ve EDAS Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(3), 406-417.
- Maheshwari, N., Choudhary, J., Rath, A., Shinde, D., & Kalita, K. (2021). Finite Element Analysis and Multi-criteria Decision-Making (MCDM)-Based Optimal Design Parameter Selection of Solid Ventilated Brake Disc, Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 102(2), 349-359.
- Ömürbek, N., & Aksoy, E. (2017) Ulusal Verimlilik İstatistiklerine Göre İmalat Sektörlerinin Performansının Değerlendirmesinde Multi-Moora Yönteminin Uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 22(1), 1-19.
- Önay, O., & Çetin, E. (2012). Turistik Yerlerin Popülaritesinin Belirlenmesi:İstanbul Örneği. İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi, (72), 90-109.
- Rani, P., Mishra, A. R., Krishankumar, R., Ravichandran, K. S., & Kar, S. (2021). Multi-Criteria Food Waste Treatment Method Selection Using Single-Valued Neutrosophic-CRITIC-MULTIMOORA Framework. Applied Soft Computing, 111, 107657.
- Sakthivel, G., Ilankumaran, M., Nagarajan, G., Raja, A., Rangunadhan, P. M., & Prakash, J. (2013). A Hybrid MCDM Approach for Evaluating an Automobile Purchase Model. International Journal of Information And Decision Sciences, 5(1), 50-85.
- Taş, A., Yılmaz, L., & Ergör, Z. B. (2021), Logistics Location Selection in Migration Management: an Analysis of Aegean Region. Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 56(2), 682-697.

- Ulutaş, A., & Karaköy, Ç. (2019). G-20 Ülkelerinin Lojistik Performans Endeksinin Çok Kriterli Karar Verme Modeli İle Ölçümü. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 20(2), 71-84.
- Ünal, E.A. (2019). Özel Sermayeli Ticari Bankalarının Finansal Performansının SD ve WASPAS Yöntemleri İle Ölçülmesi. Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi, 4(3), 384-400.
- Yavaş, M., Ersöz, T., Kabak, M., & Ersöz, F. (2014). Otomobil Seçimine Çok Kriterli Yaklaşım Önerisi. İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi, 2(4), 110-118.
- Yedla, S., & Shrestha, R. M. (2003). Multi-criteria Approach for the Selection of Alternative Options for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 37(8), 717-729.
- Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Razavi Hajiagha, S.H., & Hashemi, S.S. (2015). The Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy MULTIMOORA Method for Group Decision Making in Engineering. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 1-13.

İnternet Kaynakları

- <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>
- <https://www.ntv.com.tr/ekonomi/ford-elektrikli-arac-takvimini-acikladi-2030da-avrupada-butun-araclari-elektrikli-olacak,op3hsGffQE2OQ-EH2wmzFQ>
- <https://tr.euronews.com/2021/07/14/avrupa-daki-dev-otomobil-markalar-ne-zaman-yuzde-100-elektrikli-araclara-gececek>
- <https://www.acea.auto/publication/making-the-transition-to-zero-emission-mobility-2020-progress-report/>
- https://www.acea.auto/files/ACEA_progress_report_2020.pdf
- <https://www.tehad.org/2020/11/09/turkiye-sarj-istasyonu-haritasi-bolgeler-2020/>
- <https://www.tehad.org/2021/07/10/2021-ilk-6-ayinda-satilan-elektrikli-ve-hibrid-arac-rakamlari-belli-oldu/>
- <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Eylul-2021-37431&dil=1>

Research Article

Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Elektrikli Otomobil Seçimi: SD-MULTIMOORA Yaklaşımı

Electric Car Selection with Multi-Criteria Decision-Making Techniques: SD-MULTIMOORA Approach

İbrahim Tolga ÇOŞKUN

Çukurova Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler

tcoskun@cu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-5314-3748>

Extensive Summary

Introduction: With the acceleration of population growth, the energy demand for transportation, which is one of the people's most important needs, is increasing daily. Expending energy needs, limited fossil resources, the negative effects of non-renewable resources on the environment have led to new explorations in the energy sector. Studies encouraging the reduction of oil consumption have accelerated and energy technologies that provide less carbon emissions have begun to be developed. The inception of alternative energy policies have resulted in the reduction of consumption of oil, which is a scarce resource and will not be sufficient. In order to prevent future energy crises, both the public sector and the private sector have started to make important breakthroughs. With the emission limits imposed by policymakers, companies that produce vehicles have started to diversify their products and accelerate the production of hybrid and electric vehicles. Due to reasons such as taxation and increasing environmental awareness, the demand for hybrid and electric vehicles has escalated.

According to the report of the International Energy Agency (IEA) dated 2021; there has been a rapid increase in the number of electric cars in the last decade. In 2020, the world's electric car inventory reached 10 million, an increase of 43% compared to 2019. Increasing supply and demand, environmental protection measures of governments have also caused changes in the production plans of world-renowned vehicle manufacturers. Most of the world's leading vehicle manufacturers have announced that they will gradually increase the production of electric models between 2030-2040 and that they will gradually terminate the production of diesel and gasoline vehicles during this process. The increasing supply of manufacturers and technological developments, including the taxation approaches and environmental policies of governments as well as the demands of individuals as a result of changing perceptions and attitudes towards sustainability, have already caused electric vehicles to become a component of a large market.

The aim of this study is to guide the selection of electric vehicles, which will have a large market share in the transportation sector and is one of the indispensable needs of everyday life. In order to enable consumers and decision-makers to make the best possible choice under the present circumstances, with the view of ranking the electric vehicle alternatives with various criteria (selection features) and currently on distributors or merchandisers sale in Turkey as from October 2021, with a multi-criteria decision-making approach.

Methodology: First of all, criteria were determined and alternatives were created for the evaluation of electric vehicles. Seven criteria were determined in line with the criteria used in the limited number of studies in the literature and the opinions received from sales representatives. The criteria discussed in this study are C1: price (TL), C2: horsepower (kw), C3: torque (nm), C4: maximum speed (km/h), C5:

0-100 km/h acceleration (sec) , C6: range (WLTP procedure average user) and C7: DC charging time (50 kw up to 80%). Since the AC charging time differs according to the type of wallbox charger (22 kw, 11 kw, 7.4 kw or 3.7 kw) and there is no common information in the vehicle catalogues, it is excluded from the scope of the study.

In determining the alternatives; brands with official distributorship and authorized technical service in Turkey, models offered for sale on official sales sites as of October 2021, distributor 0 km maximum turnkey sales price 800.000TL and below are determined as limiting conditions. Alternatives meeting these conditions which are evaluated within the scope of the study are as follows: A1: BMW i3s, A2: Hyundai Kona 100 kW, A3: Hyundai Kona 150 kW, A4: Mini Cooper SE and A5: Renault ZOE. All data of the vehicles are taken from the official web pages and promotional brochures of the relevant brands.

In the method of the study, the MULTIMOORA technique, which offers effective solutions in multi-criteria decision-making problems and where different approaches are used, was preferred. In the weighting of the criteria, SD, which is one of the objective evaluation techniques of the criteria, was used.

Findings: The order of importance of the criteria according to the criteria evaluations made objectively with the SD method; $w_3 \geq w_7 \geq w_1 \geq w_5 \geq w_2 \geq w_6 \geq w_4$. Accordingly, the first 2 most important criteria are the vehicle's torque and DC charging time. The last 2 criteria that are least important are the range and maximum speed that the vehicle can travel when the battery is fully charged. After evaluating the results separately according to MOORA ratio method, reference point approach and full multiplication form, the final ranking of the alternatives was made with MULTIMOORA. In the evaluation of the alternatives, the importance of the coefficients formed by the evaluation of the criteria with the SD method in the previous section were used. The ranking of the alternatives was formed as $A3 \geq A4 \geq A2 \geq A1 \geq A5$. Accordingly, the first-ranked alternative is A3 Hyundai Kona 150 kW, and the fifth-ranked alternative is A5 Renault ZOE.

Conclusion and Recommendations: Reasons such as technological developments, limited and depleting resources of fossil fuels, increasing environmental awareness and lower cost transportation opportunities increase the need for electric vehicles to become progressively utilized.

This study aimed to evaluate the electric vehicle alternatives on the market with different models and features, to examine the criteria of the vehicles and to guide other researchers in future studies. In this context, five alternative cars were examined and seven different criteria were used to evaluate these tools.

According to the findings obtained in the study, the first two of the most important criteria were vehicle torque and DC charging time. The last 2 criteria that were least important were the range and maximum speed that the vehicle can travel when the battery is fully charged. By evaluating five different alternatives, the first alternative was found to be A3 Hyundai Kona 150 kw and the last alternative was A5 Renault ZOE. Despite its high price and long charging time, Hyundai Kona 150 kw has the highest torque, horsepower and maximum speed values. It is also the vehicle with the longest range, although it performs in the third place in terms of 0-100 km/h speed. Renault ZOE, which is in the last place, despite the lowest price and the second-best maximum range criteria; it is the least performing vehicle in horsepower, torque, top speed, acceleration and DC charging time.

The study is innovative in terms of the criteria examined for the selection of electric vehicles and the consideration of current alternatives. It is one of a few studies in which SD and MULTIMOORA methods are used together. It is in a scope that will contribute to the literature and will initiate future studies. Suggestions for future work are as follows:

- In line with consumer supply and demand, the results can be compared by evaluating the same criteria with methods such as WINGS, DEMATEL or AHP, which are subjective evaluation methods, by consulting the opinions of decision-makers.
- Different objective weighting methods such as CRITIC, ENTROPI or MW can be used by expanding the scope of the criteria or with the existing criteria.

- More alternatives can be considered by using different multi-criteria decision-making techniques.
- For electric vehicles other than automobiles, the SD-MULTIMOORA method can be applied.