

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT OTOMOBİLLERİN SEÇİMİNE YÖNELİK BİR
MODELİN GELİŞTİRİLMESİ**

ESRA ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2018

HİBRİT OTOMOBİLLERİN SEÇİMİNE YÖNELİK BİR MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SELECTION OF HYBRID CAR

ESRA ŞİMŞEK

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.
2018

“HİBRİT OTOMOBİLLERİN SEÇİMİNE YÖNELİK BİR MODELİN GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 13 / 09 / 2018 tarihinde, **KALİTE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Kabak

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Yusuf Tansel İç

Üye : Doç. Dr. Kumru Didem Atalay

ONAY

... / ... / 2018

Prof. Dr. Ö.Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 25 / 09 / 2018

Öğrencinin Adı, Soyadı : Esra Şimşek
Öğrencinin Numarası : 21610446
Anabilim Dalı : Kalite Mühendisliği
Programı : Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans
Danışmanın Adı, Soyadı : Doç. Dr. Yusuf Tansel İç
Tez Başlığı : Hibrit Otomobillerin Seçimine Yönelik Bir Modelin
Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 24 sayfalık kısmına ilişkin, 25 / 09 / 2018 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %16 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay
... / 09 / 2018

Öğrenci Danışmanı Doç. Dr. Yusuf Tansel İç

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini benimle paylaşan, emek, ilgi ve tavsiyeleri ile her zaman destek olan yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Yusuf Tansel İç'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca verdikleri maddi ve manevi sonsuz destek için sevgili annem Emel Şimşek ve babam Mustafa Şimşek'e, kardeşim Furkan Şimşek'e, yardımları ve desteği için Hasan Yaman'a ve sevgili arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.



ÖZ

HİBRİT OTOMOBİLLERİN SEÇİMİNE YÖNELİK BİR MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Esra ŞİMŞEK

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

Sürekli artan dünya nüfusu, şehirleşme ve sanayileşmenin çok büyük etkisiyle enerji ihtiyacımız her geçen gün artmakta fakat buna paralel olarak aynı kolaylıkta bu ihtiyaç karşılanamamaktadır. Talep edilen enerjinin arzı için ülkeler farklı kaynak araştırmaları yapıp bunlara başvurmaktadır. Bu nedenle teknoloji de süratle gelişmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle araç yoğunluğu artmakta buna bağlı olarak karbon gibi zararlı gazlar atmosfere salınmaktadır. Kıtlaşan enerji kaynaklarından dolayı petrol fiyatları artmakta, enerji pahalılaşmakta, kullanılan zararlı maddelerle doğaya zarar verilmekte ve küresel ısınmaya neden olunmaktadır.

Ülkelerin bu durumlara karşı önlem almak amacıyla yaptığı çalışmalar bu zararlı etkenleri azaltmaya yöneliktir. Bu kapsamda bazı hukuksal düzenlemeler getiriyor ve buna yönelik araç üretimlerine izin veriyor hatta bu araçlara vergi indirimi sağlıyorlar. Bu doğrultuda hibrit otomobillerin seçimine yönelik çok ölçütlü karar verme yöntemiyle bir modelin geliştirilmesine yönelik bir tez çalışması sunulmaktadır. Bu çalışmayla en uygun şartlarda en verimli aracı seçmek hedeflenmiştir. Bu çalışmada geleneksel TOPSIS modeli ve çalışma penceresi yaklaşımı uygulanmaktadır. Çalışmanın sonucunda klasik TOPSIS yöntemi yerine, ÇP'nin kullanımı daha doğru sıralama sonuçları verebilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Hibrit araç, otomobil, karbon emisyonu, çevre kirliliği, küresel ısınma, çok ölçütlü karar verme, TOPSIS, Taguchi, çalışma penceresi

Danışman: Doç. Dr. Yusuf Tansel İç, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SELECTION OF HYBRID CAR

Esra ŞİMŞEK

Başkent University, Institute of Science

The Department of Industrial Engineering

Our energy requirement increases day by day with the huge effect of the monotone increasing world population, urbanization and industrialization. As a result, the needs for the energy cannot be satisfied with the suitable resources. For the supply of requested energy, the governments investigate different suitable energy sources. For this reason, technology develops rapidly. With the progress of technology vehicle density increases and this causes the atmospheric release of harmful gases like carbon. Because of the running short of the energy sources; oil prices increase, the energy prices become higher, and the using of the harmful materials such a crude oil increase the global warming. The governments studies for the purpose of taking precautions against these situations are aimed at reducing these detrimental effects. In this context they put up some legal arrangement and allow the production of hybrid vehicles in the direction of their studies even they debate these vehicles. In this direction a study is carried out towards being developed a model towards choosing hybrid vehicles with the method of multiple criteria decision making. By this means, it is aimed to choose the most suitable vehicle under the most applicable conditions. In this study, traditional TOPSIS model and Operating Window approach are applied. As a result of the study, instead of the classical TOPSIS method, the use of operating window in critical criteria can yield more accurate sorting results.

KEYWORDS: Hybrid vehicle, automobile, carbon emission, global warming, environmental pollution, Multiple Criteria Decision Making, TOPSIS, Taguchi method, operating window.

Advisor: Associate Professor Dr. Y. Tansel İç, Baskent University, Department of Industrial Engineering.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	Sayfa
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGELER LİSTESİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR.....	4
3.METODOLOJİ.....	8
3.1 Taguchi Metodu.....	8
3.2 Çalışma Penceresi Yaklaşımı.....	9
3.3 TOPSIS Metodu.....	9
4.UYGULAMA.....	13
5.ÇALIŞMA PENCERESİ TABANLI TOPSIS MODELİNİN GELENEKSEL TOPSIS MODELİYLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	21
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	24
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	25

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1	Ülkelerin karbon emisyon hedefleri.....	2
Çizelge 2	Karar matrisi.....	14
Çizelge 3	Normalize karar matrisi.....	15
Çizelge 4	Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.....	15
Çizelge 5	TOPSIS sıralama puanları.....	16
Çizelge 6	Çalışma penceresi değerlerinin hesaplanması.....	17
Çizelge 7	Çalışma penceresi değerleriyle oluşturulmuş karar matrisi.....	18
Çizelge 8	ÇP-TOPSIS sonuçları.....	19
Çizelge 9	TOPSIS ve ÇP-TOPSIS sıralama sonuçlarının karşılaştırılması.....	21
Çizelge 10	Ağırlık senaryoları.....	22
Çizelge 11	Üç farklı ağırlık setine göre sıralama farklılıkları.....	22

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

y_i	Performans yanıtının i. gözlem değeri
n	Bir denemedeki test sayısı
$\bar{y}$	Gözlem değerlerinin ortalaması
S^2	Gözlem değerlerinin varyansı
S/N	Sinyal gürültü oranı
A_{ij}	i. alternatifin j faktörünün karar matrisi
a_{ij}	i. alternatifin j.faktör elemanı
R_{ij}	i. alternatifin j faktörünün standart karar matrisi
V	Ağırlıklı standart karar matrisi
A^*	İdeal çözüm
A^-	Negatif ideal çözüm
w_i	Değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri
J	Fayda (maksimizasyon) değeri
J'	Kayıp (minimizasyon) değeri
S_i^*	İdeal ayırım
S_i^-	Negatif ideal ayırım ölçüsü
C_i^*	i.alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
FMCDM	Fuzzy Multi Criteria Decision Making
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

PSI	Preference Selection Index
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
OW	Operating Window (Çalışma Penceresi)
ÇP	Çalışma Penceresi



1.GİRİŞ

Tüm dünyada sanayileşme, teknoloji, gelişme ve büyüme her geçen gün artmaktadır. Buna bağlı olarak enerji ihtiyacı, doğa ve hava temizliği, yaşam kalitesinin artış beklentisi de artmaktadır. Hem sanayileşmenin artışı, hem de kalite ihtiyaçlarının artışına cevap olarak hayatımıza birkaç on yıl önce elektrikli araçlar girmiştir. Elektrikli araç, motorunda yakıt olarak elektrik kullanan araçlardır. Bazı araçlar gücünü dışarıdan bazılarıysa pillerden alır. Elektrikli otomobil; sürüş gücünün tamamını veya bir kısmını elektrik motoruyla üretilen tekerlerin dönmesini sağlayan teknolojiyle donatılmış otomobillere verilen isimdir. Elektrik motorunu aracın bataryalarında depoladığı enerji besler ve bu bataryalar çeşitli şekillerde şarj edilir. İlk elektrikli araç 1928'de yapılmıştır. Kaliforniya'da 1990 yılında kabul edilen sıfır emisyon araç yasası üzerine General Motors tarafından ilk elektrikli araç üretimi yapılmıştır. Daha sonra teknolojik imkanlar biraz daha geliştiğinde elektrikli araçların bazı dezavantajları üzerine hibrit (melez) araçlar üretilmiştir. Hibrit otomobilde iki motor türünü bir araya getiren bir teknoloji bulunmaktadır. Bunun sonucunda yakıt olarak hem elektrik hem benzin kullanılmaktadır. İlk olarak 1902 yılında Ferdinand Porsche tarafından geliştirilen bir otomobilde hibrit teknolojisi basit hali ile kullanılmıştır. Hibrit otomobiller için ticari olarak ilk atılımı yapan marka ise Toyota olmuştur. 1997 yılında geliştirdiği Toyota Prius modeli ile seri üretime geçmiştir. Hibrit araçların çalışma stili otomobillerin benzin sarfiyatını azaltmaktır. Bunu sağlamak için sıkışık trafikte, düşük hızlarda benzin motoru yerine elektrik motorunu kullanmakta ve bu sayede kısmen sıfır emisyon salınımı sağlamaktadırlar. Elektrik motorunun çalışması için gerekli enerji, benzin motoru çalıştırıldığı zamanlarda ya da frenleme sırasında akülere şarj edilmektedir. Dolayısıyla bu araçların elektriğe bağlanarak şarj edilmesi gibi bir gereksinim yoktur [1,2].

Dünyadaki petrol rezervlerinin azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatlarının artması, karbon salınımındaki artış ve buna bağlı zararlar, küresel ısınma etkilerinin beraberinde getirdiği hukuksal düzenlemeler, fosil yakıtlı araçlar yerine hibrit ve elektrikli araçlarının kullanım zorunluluğunu her geçen gün artırmaktadır. Buna bağlı olarak ülkeler de kendilerini karbon salınımını azaltma hedeflerine

ulaştırmaya yönelik olarak (Çizelge 1) hibrit ve elektrikli araç teknolojilerine daha çok yatırım yapmaya başlamışlardır [3].

Çizelge 1 Kyoto Protokolü Ek B'de yer alan ülkeler ve bunların emisyon hedefleri % [3]

Ülke	Hedef (1990/2008-2012)
EU-15*, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Letonya, Liechtenstein, Litvanya, Monako, Romanya, Slovakya, Slovenya, İsviçre	-8%
Amerika**	-7%
Kanada, Macaristan, Japonya, Polonya	-6%
Hırvatistan	-5%
Yeni Zelanda, Rusya, Ukrayna	0
Norveç	1%
Avustralya	8%
İzlanda	10%

* 1997 yılında Kyoto Protokolü'nü kabul eden 15 Avrupa Birliği üyesi ülke için, kendi aralarında dağıtılacak olan % 8'lik bir hedef belirlenmiştir. Hedefler, bu ülkeler grubu için genel bir amaç oluşturmaktadır, tek tek bireysel hedef olarak değil bahsedilen 15 ülkenin genel hedefi olarak %8'lik bir azaltma hedefi söz konusu olmaktadır.

**ABD, Kyoto Protokolü'nü onaylamama niyetini açıkça protokol taraflarına belirtmiştir. Sözleşmenin Ek l'inde listelenmiş olsalar da, protokolün kabul edildiği sırada, sözleşmenin tarafları olmadığı için, Beyaz Rusya ve Türkiye protokole tarafır. Protokolün Ek B'sine dahil edilmemiştir, salınım sınırlandırma ve taahhüdü yoktur.

Ülkeler küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda önlem alabilmek adına Kyoto Protokolü'nü imzalamışlardır. Bu sayede karbon salınımını azaltma hedeflerine ulaşmaya yönelik olarak çeşitli hamleler yapmaktadırlar. Çünkü protokolün imzalanma nedeni, zararlı gazlarının küresel ısınmaya sebebiyet vermesi ve bu oranın yaşamı olumsuz yönde etkilemesidir. Kyoto Protokolü, gelişmiş ülkeler için daha önemli bir durumdadır. Çünkü bu ülkelerin sanayileşme ve gelişmişliğe bağlı olarak atmosfere salınan sera gazı oranı diğer ülkelere oranla daha fazladır. Bu nedenle sanayileşmiş olan ülkelerin çekincesi olmuştur ve 2001 yılında ABD, 2011'de de Kanada geri çekilmiştir. Bununla birlikte dünyanın en kalabalık ülkelerinden olan Çin ve Hindistan da protokolü imzalamıştır. Az gelişmiş ve geri kalmış ülkelerin sera gazı salınımı düşük olmasına rağmen bu ülkelerin de birçoğu protokole imza atmıştır. Ancak bu ülkelerin sera gazı salınımı zaten sınırlı olduğundan hedefi tutturma zorunluluğu yoktur. Bu ülkeler yıllık olarak salınım

oranını bildirmelidir ve iklim değişikliklerine karşı önlem alma zorunlulukları vardır [4].

Gelişmiş ve sanayileşmiş olan ülkeler, bu protokol ile 1990 yılındaki salınım oranlarına uygun olarak 2008-2012 yılları arasında salınımlarını yüzde 5 oranında azaltmayı taahhüt etmişlerdir. Protokole imza atan her ülke, kendi hedefinden ve bu hedefi gerçekleştirmesinden sorumludur. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinden mevcut salınım oranlarını yüzde 8, Japonya'dan da yüzde 5 oranında azaltması beklenilmektedir. Düşük salınım oranına sahip bazı ülkelerin ise bu oranları yükseltmesine izin verilmektedir [5,6].

Bu protokol, benzer hedefler ve çalışmalar eşliğinde atmosfere, çevreye, doğaya daha az zarar vermek adına elektrikli ve hibrit araçlara olan ihtiyacı ve ilgiyi artırmıştır. Hibrit araçlar, kullanıcılara düşük yakıt tüketimine rağmen yüksek performans başta olmak üzere birçok avantajı sağlamaktadır. Kullanıcılar benzinli, dizel ve LPG'li araçlarda bakım maliyetine ve yakıt maliyetine katlanmaktadırlar. Hibrit araçlar gürültüsüz ve performans kaybına neden olmayan vites geçişi sağlamaktadır. Şarj edilmeye gerek duymaz, kendi elektrik enerjisini kendisi üretir ve frene basıldığında kendini şarj eden hibrit sistemleri bünyesinde barındırmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da ülkelerin de hedeflediği üzere düşük zararlı gaz salınımı sağlayabilmektedir.

Bu tez kapsamında, hibrit araçların seçimine ve fosil yakıtlı araçlarla kıyaslanmasına yönelik yeni bir Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) modeli geliştirilecektir. Geliştirilecek yöntemin detayları ilerleyen bölümlerde verilmektedir. İlk olarak 2. Bölümde literatür taramasına yer verilmiştir. 3. Bölümde ilgili metodolojiye yönelik açıklamalarda bulunulmuştur. 4. Bölümde uygulama çalışması gerçekleştirilmiş, 5.bölümde çalışma penceresi tabanlı TOPSIS modeli ile geleneksel TOPSIS modeli karşılaştırılmıştır. Son bölüm olan 6. bölümde tez kapsamında ulaşılan bilgiler özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.

2.LİTERATÜR

Bu bölümde hibrit elektrikli araç ya da farklı bir seçime yönelik ÇÖKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Literatür incelendiğinde bu çalışmalardan birinde Yedla ve Shrestha (2003) yaptıkları çalışmada Delhi'de çevresel sürdürülebilir taşıma sisteminde alternatif seçeneklerin seçimi için birçok ölçütlü karar modeli sunmuşlardır [7]. Çalışmada 6 kriter ele alınmıştır. Niceliksel olarak enerji tüketimi, çevre etkisi ve maliyet, niteliksel olarak ise teknolojik uygulanabilirlik, adapte edilebilirlik, uygulama engelleri kriterleri kullanılmıştır. Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci) kullanılarak Delhi'deki taşıma sistemi 1912'den itibaren ele alınmış ve çeşitli çizelgelerle bugüne kadarki gelişmeler açıklanmıştır. Çok kriterli karar verme ilkesine dayanan Analitik Hiyerarşi Prosesi biraz daha gelişmiş yeni yöntemlerdendir. Niceliksel kriterlerin daha ağırlıklı olduğu senaryoya göre öncelik sırası; CNG araba > 4 zamanlı 2 tekerlekli araç > CNG otobüs iken, niteliksel kriterlerin daha ağırlıklı olduğu senaryoya göre ise öncelik sırası; 4 zamanlı 2 tekerlekli araç > CNG otobüs > CNG araba şeklinde sıralanmıştır.

Diğer taraftan Tzeng, Lin ve Opricovic (2005) toplu taşıma için otobüs yakıtlarının çok kriterli analizi için yaptıkları çalışmada yeni alternatif yakıtlarla otobüslerin teknolojik gelişimini dikkate almışlardır [8]. Farklı otobüs türleri hibrit elektrikli araç, içten yanmalı araç gibi 12 farklı alternatif yakıt türü ele alınmıştır. Bu çalışmada TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve 12 farklı alternatif değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, hibrit elektrikli otobüsün toplu taşıma ve çevre kalitesini iyileştirmek adına daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Mohamadabadi ve Kumar (2009) yaptıkları çalışmada yenilenebilir ve yenilenemeyen taşımacılıkta yakıt türü açısından araçlarının sıralaması için PROMETHEE yöntemi (çok ölçütlü bir öncelik belirleme yöntemi) kullanılarak çok ölçütlü bir değerlendirme modeli geliştirmişlerdir [9]. Bu çalışmada, benzin, benzin-elektrik (hibrit), E85 etanol, dizel, B100 biyodizel ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) bazlı araçlar alternatif olarak değerlendirilmiştir. Bu alternatifler beş kritere göre sıralanmıştır: araç maliyeti, yakıt maliyeti, yakıt ikmal istasyonları arasındaki mesafe, tüketicinin kullanabileceği araç seçenekleri ve seyahat edilen birim

mesafe başına sera gazı (GHG) emisyonları. Ayrıca, çeşitli parametrelerdeki değişikliklerin son sıralamadaki etkisini incelemek için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Ekonomik parametreler üzerinde daha fazla ağırlığa sahip temel durum senaryosunda, benzinli araç diğer araçlardan daha yüksek sıralarda yer almıştır. Çevresel parametrelerde ise daha fazla ağırlığa sahip temel durum senaryosunda hibrit araç ilk sırada yer almış, hibrit aracı biyodizel bazlı araç takip etmiştir.

Diğer taraftan Vahdani, Zandieh ve Moghaddam (2010) alternatif otobüs yakıt tipi seçimi yapmıştır. Bu seçimi yaparken çeşitli yakıt türlerini (hidrojen ve metanol gibi) ele alarak bulanık TOPSIS ve Preference Selection Index (Tercih Seçme Dizini) yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışmada uygun otobüs yakıtlarının belirlenmesi için verimlilik, fiyat, kapasite gibi birçok faktör dikkate alınmalıdır. Elde edilen sonuçlara göre alternatif A1 (konvansiyonel dizel motor) birinci sıraya yerleştirilmiş ve A2 (CNG) ve A3 (LPG) ikinci ve üçüncü sıraya yerleştirilmiş [10].

Başka bir çalışmada Kabak ve Uyar (2013) lojistik sektöründe ağır ticari araç seçimi için çok ölçütlü bir yaklaşım geliştirmişlerdir [11]. Bu çalışmada, bir firmanın araç filosuna katmayı düşündüğü yeni yük aracı alım sürecinin değerlendirilebilmesi için gereken seçim ölçütlerinin belirlenmesi ve bu ölçütlerin önem ağırlıkları doğrultusunda en iyi aracın seçilmesi modellenmiştir. Ağır ticari araç seçimi için önerilen 20 ölçütün ağırlıkları ANP ile belirlenmiş ve araçların sıralaması PROMETHEE yöntemi ile yapılmıştır. 5 ana ölçüt ve 20 alt ölçüt kullanılmıştır.

Yavaş, T.Ersoz, F.Ersoz ve Kabak (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 'AHP ve ANP (Analytic Network Process) yöntemleri ile otomobil satın almada müşterilerin tercihleri incelenmiş ve buna uygun kriterler belirlenmiştir [12]. Çalışmada 7 ana kriter ve 20 alt kriter kullanılmıştır. Ana kriterler; ekipman, dizayn, yakıt tipi, motor gücü, şanzıman tipi, fiyat ve satış sonrası hizmet olarak belirlenmiştir. Bazı alt kriterler ise güvenlik ekipmanı, iç dizayn, dizel, 1600-2000 cc arası motor gücü, otomatik şanzıman, 60000 tl üzeri fiyat, servis ağı olarak belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada Yavuz, Oztaysi, Onar, Kahraman (2015) alternatif yakıtlı araçların hiyerarşik tereddütlü bulanık dilsel çok kriterli değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir [13]. Önerilen model, ABD’de bir ev sağlık hizmeti sağlayıcısının alternatif yakıt aracı seçim problemine uygulamışlardır. 8 farklı yakıt ve kaynak, 12 farklı kriter kullanılmıştır. Sonuçlar, bugünün koşullarında elektrikli aracın uygulamaya en uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kararın sağlamlığını da bir duyarlılık analizi ile göstererek şartlardaki olası değişiklikleri temsil eden üç senaryo analiz edilmiştir.

Biswas ve Das (2017) yeşil çevre için hibrit araç seçimi yapmıştır [14]. Çalışmada, çeşitli hibrit araç markaları uzun sürüş için araç maliyeti, kilometre, egzoz emisyonu, rahatlık ve yüksek yakıt tankı hacmi kriterleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu özellikler üzerinde çalışıldığında, hibrit araçlar için seçim stratejisi, entropi tabanlı çok yönlü sınır yaklaşım alanı karşılaştırma yöntemi kullanılarak çalışılmıştır. Araştırma sonucunda, şehirlerde oluşan hava kirliliğini diğer önemli çevresel faydalarla azaltan, enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltan ve yıllık yakıt maliyetini en aza indiren hibrit araçların seçimi hedeflenmiştir.

Palevicius, Podvieszko, Sivilevicius ve Prentkovskis (2018), 18 Litvanya şehir ve beldesinde elektrikli araçlar için kamu altyapısının karşılaştırmalı bir analizini gerçekleştirilmiştir [15]. Kantitatif analiz için böyle bir altyapıyı tanımlayan sekiz kriter önerilmiştir. Altyapının elektrikli araç sahipleri tarafından algılanması karmaşık faktörlere bağlı olduğundan, gelişiminin şu anki durumunu değerlendirmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmıştır: EDAS (evaluation based on distance from average solution), SAW (simple additive weighting), TOPSIS ve PROMETHEE II. Değerlendirme sonuçlarına göre, belirgin faktörler anlaşılmış ve altyapının iyileştirilmesi için elektrikli taşıtların kamu altyapısının etkin gelişimi için öneriler sunulmuştur.

Erbas, Kabak, Ozceylan ve Cetinkaya, (2018) elektrikli araç şarj istasyonlarının en uygun şekilde yerleştirilmesi için coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı bulanık çok ölçütlü karar verme analiziyle [16]; elektrikli araçların temel dezavantajı olan şarj problemine çözüm bulmak için elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimini gerçekleştiren bir çalışma sunmuşlardır. Çalışma sırasında saha seçimine uygun olarak coğrafi bilgi sistemi tabanlı bulanık analitik hiyerarşi süreci-TOPSIS

bütünleşik yöntemini kullanmışlardır. Önerilen çözüm bir vaka çalışması olarak Ankara'da uygulanmıştır.

Bu tez çalışmasında ise literatürden farklı olarak hibrit araç seçimi için Taguchi'nin çalışma penceresi yaklaşımının TOPSIS yöntemiyle bütünleştirilmesi ve böylece aralık şeklinde tanımlanabilen kriterlerin ortalama (veya tekil) değerleri yerine çalışma aralığının değerlendirmeye alınması hedeflenmektedir. Bu durum özellikle ikinci el satış fiyatı, güç ve tork gibi kriterlerin çalışma aralığının Taguchi'nin çalışma penceresi yaklaşımıyla değerlendirilebilmesini sağlayabilmektedir.



3.METODOLOJİ

3.1. Taguchi Metodu

Taguchi gürültü oranı (S/N-Sinyal/Noise ratio) fonksiyonu olarak ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.1-3.5) kullanılarak S/N oranları hesaplanır [17].

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.5)$$

Eşitliklerde y_i : Performans yanıtının i. gözlem değeri,

n : Bir denemedeki test sayısı,

$\bar{y}$: Gözlem değerlerinin ortalaması ve

S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

3.2. Çalışma Penceresi Yaklaşımı

Bunlara ek olarak, Clausling (2004) tarafından tanımlanan Çalışma Penceresi (OpWin) adında bir başka metrik daha vardır [18]. Çalışma penceresi, işletme parametrelerinin belirtilen fonksiyonel parametrelere (Armilotta ve Semeraro, 2013) [19] uygun ve ekonomik ve teknolojik açıdan en iyi sonuçları veren bir değer aralığıdır. Çalışma penceresi üst ve alt sınırları çalışma koşulları olarak tanımlanır, üç veya daha fazla boyutlu çalışma penceresi kullanılabilir. Çalışma penceresi, hata modlarında sabit bir hata oranı üreten giriş gürültüsündeki aralıktır. Çıktı varyansının girdi varyansına oranını ölçmek için ters bir yöntem gibi düşünülebilir. Ow ağırlaştırıcı stresli gürültünün büyüklüğü yüksek ve kontrol altında tutulduğunda belirlenir. Bu, OW'nin hızlı bir şekilde ölçülmesini sağlar. Bu OW yaklaşımı, uygulamada güvenilirliği açısından geleneksel yöntemlere oranla çok daha üstün olduğu kanıtlanmıştır [20].

Çalışma penceresi durumunda:

$$mak S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.6)$$

Sinyal-gürültü oranı, geri plandaki gürültü seviyesiyle istenilen sinyalin düzeyini karşılaştıran bir ölçüdür. Bu gürültü gücünün sinyal gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Sinyal gürültü oranı büyüdükçe o iletim ortamından aktarılabilecek veri miktarı yükselir [21].

3.3 TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 1980 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanır. Bu yöntemle alternatif seçeneklerin belirli ölçütler doğrultusunda ve ölçütlerin alabileceği en iyi ve en kötü değerler arasında en uygun duruma göre karşılaştırılıp değerlendirilmesi gerçekleştirilir. Yöntemin adımları aşağıda sıralanmıştır [22,24].

Adım 1. Karar matrisinin ve standart karar matrisinin oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında sıralanacak karar noktaları (hibrit araçlar), sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme kriterleri yer almaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Standart Karar Matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır ve R matrisi elde edilir. R matrisinin elemanları r_{ij} ile gösterilir ve denklem 3.8 ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1,\dots,m; j=1,\dots,n \quad (3.8)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Adım 2. Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V_{ij}) Oluşturulması

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir. Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi (V) Eşitlik (3.10)'daki gibi oluşturulur.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Adım 3. İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. İdeal çözüm setinin bulunmasında Eşitlik (3.11)'den hesaplanacak set,

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (3.11)$$

şeklinde gösterilebilir.

Negatif ideal çözüm seti ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunmasında Eşitlik (3.12)'den hesaplanacak set ise,

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (3.12)$$

şeklinde gösterilebilir.

Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme faktörü sayısı yani n elemandan oluşmaktadır. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise maliyet (minimizasyon) değerini göstermektedir.

Adım 4. Ayırım ölçütlerinin ve ideal çözüme görelî yakınlığın hesaplanması

İdeal ayırım (S_i^*) ölçüsünün hesaplanması Eşitlik (3.13)'de, negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçüsünün hesaplanması ise Eşitlik (3.14)'de gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.13)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.14)$$

Her bir karar noktasının ideal çözüme görelî yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme görelî yakınlık değerinin hesaplanmasında aşağıdaki Eşitlik (3.15) kullanılır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.15)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

4.UYGULAMA

Tez kapsamında bu bölüme kadar; hibrit araçlar ve önemi, elektrikli ve hibrit araçların tarihçesi ile kullanım gerekçeleri hakkında bilgi verilmiş ve hibrit araç seçimine yönelik olarak yapılan çalışmalarla ilgili literatür taramasıyla bu tezde takip edilecek metodolojiyle ilgili bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde ise hibrit elektrikli araç seçimi için önerilen metodolojinin uygulamasına yer verilmektedir. Bu kapsamda değerlendirilecek hibrit araç marka ve modelleri aşağıda sıralanmıştır:

- TOYOTA (Yaris, Auris, Auris Hybrid Touring Sports, Rav4, Prius, C-HR)
- LEXUS (CT 200h)
- KIA (Niro)
- HYUNDAI (IONIQ)
- VOLVO (XC 90 T8 Twin Engine)
- BMW (X5 Drive 40e, i8, 740 Le X Drive)

Bu modeller için uygulamada TOPSIS ve Çalışma Penceresi-TOPSIS bütünlüştür yöntemleri uygulanacak olup, bilgilerine erişilebilen ve Türkiye’de satışı en çok olan tüm marka ve modeller uygulama çalışmasında ele alınmıştır.

Değerlendirmede kullanılacak kriterler ise aşağıda listelenmektedir:

- Motor ve şanzıman
- Bileşik yakıt tüketimi (l/100 km)
- Gövde tipi (kapı sayısı)
- CO₂ salınımı (gr/km)
- Servis ağı
- Garanti süresi (yıl)
- Yakıt tüketimi (l/100 km)
- Tork (Nm)
- Fiyat (tl)
- 2.el fiyatı (tl)

Kriterler; genç, yetişkin, yaşlı, erkek, kadın, gelir düzeyi düşük, gelir düzeyi yüksek, çevre dostu gibi birçok tüketici özelliği göz önümde bulundurulurken hemen hemen tüm kesimlere hitap edebilecek tarzda belirlenmeye çalışılmıştır. Araç marka ve modelleri bazında satıcı firma katalogları [25-30] ve birebir görüşmeler sonucunda elde edilen kriterlere ait veriler kullanılarak TOPSIS yönteminin ilk adımı olan karar matrisi aşağıdaki Çizelge 2’de verildiği gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 2 Karar matrisi

Marka	Model	Motor ve Şanzıman	Birleşik Yakıt Tüketimi l/100 km)	Gövde Tipi (Kapı Sayısı)	CO ₂ Emisyon Salımı (gr/km)	Servis Ağı	Garanti Süresi (Yıl)	2.El Fiyatı* (TL)	Fiyat (TL)	Tork (Nm)
TOYOTA	Yaris	1.5	3.6	5	82	58	5	66500	107850	4400
	Auris	1.8	4.1	5	91	58	5	115000	167350	4000
	Auris Hybrid Touring Sports	1.8	4.1	5	96	58	5	130445	186350	2800
	RAV 4	2.5	5.1	5	118	58	5	192220	274600	270
	Prius	1.8	3.6	5	84	58	5	79000	309820	3600
	C-HR	1.8	3.8	5	86	58	5	137760	196800	3600
LEXUS	CT 200h	1.8	4.1	5	94	58	3	990127	1414468	207
KIA	Niro	1.6	3.8	5	88	56	5	152500	163500	2400
HYUNDAI	IONIQ	1.6	3.9	5	92	76	5	129900	168000	4000
VOLVO	X C 90 T8 2.0 Twin Engine	2	2.1	5	120	33	3	605000	633,988	5400
BMW	X 5 Drive 40 e	2	3.3	5	77	39	2	605000	885000	600
	1 8	1.5	2.1	2	49	39	2	675000	1250800	3700
	740 Le X Drive	2	2	5	45	39	2	726670	1038100	4400
Fayda/Maliyet Kriteri		Fayda	Maliyet	Fayda	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Fayda

*Bu fiyatlar ortalama olarak 1-7 yaş arası araçlar için alınmıştır.

Tezde ilk olarak geleneksel TOPSIS yöntemi ile sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda normalize karar matrisi, ağırlıklı normalize karar matrisi, ideal ve negatif ideal çözümler ve sıralama puanları sırasıyla Çizelge 3-5’teki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3 Normalize karar matrisi

Model	Motor ve Şanzıman	Birleşik Yakıt Tüketimi (l/100 km)	Gövde Tipi (Kapı Sayısı)	C2 Emisyon Salımı (gr/km)	Servis Ağı	Garanti Süresi (Yıl)	2. El Fiyatı (TL)	Fiyat (TL)	Tork (Nm)
Yaris	0.226	0.276	0.287	0.256	0.297	0.330	0.040	0.043	0.355
Auris	0.271	0.314	0.287	0.284	0.297	0.330	0.068	0.067	0.323
Auris HTS	0.271	0.314	0.287	0.300	0.297	0.330	0.077	0.075	0.226
RAV 4	0.377	0.391	0.287	0.369	0.297	0.330	0.114	0.111	0.022
Prius	0.271	0.276	0.287	0.263	0.297	0.330	0.047	0.125	0.291
C-HR	0.271	0.291	0.287	0.269	0.297	0.330	0.082	0.079	0.291
CT 200h	0.271	0.314	0.287	0.294	0.297	0.198	0.588	0.570	0.017
Niro	0.241	0.291	0.287	0.275	0.287	0.330	0.091	0.066	0.194
IONIQ	0.241	0.299	0.287	0.288	0.389	0.330	0.077	0.068	0.323
X C 90 T8 2.0	0.301	0.161	0.287	0.375	0.169	0.198	0.359	0.255	0.436
X 5 Drive 40 e	0.301	0.253	0.287	0.241	0.200	0.132	0.359	0.356	0.048
İ 8	0.226	0.161	0.115	0.153	0.200	0.132	0.401	0.504	0.299
740 Le X Drive	0.301	0.153	0.287	0.141	0.200	0.132	0.432	0.418	0.355
Ağırlık	5	10	4	10	4	4	7	9	8

Çizelge 4 Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

Marka	Model	Motor ve Şanzıman	Birleşik Yakıt Tüketimi (l/100 km)	Gövde Tipi (Kapı Sayısı)	CO2 Emisyon Salımı (gr/km)	Servis Ağı	Garanti Süresi (Yıl)	2. El Fiyatı (TL)	Fiyat (TL)	Tork (Nm)
TOYOTA	Yaris	0.019	0.045	0.019	0.042	0.019	0.022	0.005	0.006	0.047
	Auris	0.022	0.052	0.019	0.047	0.019	0.022	0.008	0.010	0.042
	Auris HTS	0.022	0.052	0.019	0.049	0.019	0.022	0.009	0.011	0.030
	RAV 4	0.031	0.064	0.019	0.060	0.019	0.022	0.013	0.016	0.003
	Prius	0.022	0.045	0.019	0.043	0.019	0.022	0.005	0.018	0.038
	C-HR	0.022	0.048	0.019	0.044	0.019	0.022	0.009	0.012	0.038
LEXUS	CT 200h	0.022	0.052	0.019	0.048	0.019	0.013	0.068	0.084	0.002
KIA	Niro	0.020	0.048	0.019	0.045	0.019	0.022	0.010	0.010	0.025
HYUNDAI	IONIQ	0.020	0.049	0.019	0.047	0.026	0.022	0.009	0.010	0.042
VOLVO	X C 90 T8 2.0	0.025	0.026	0.019	0.061	0.011	0.013	0.041	0.038	0.057
BMW	X 5 Drive 40 e	0.025	0.041	0.019	0.039	0.013	0.009	0.041	0.053	0.006
	İ 8	0.019	0.026	0.008	0.025	0.013	0.009	0.046	0.074	0.039
	740 Le X Drive	0.025	0.025	0.019	0.023	0.013	0.009	0.050	0.062	0.047
	A*	0.031	0.025	0.019	0.023	0.026	0.022	0.068	0.006	0.057
	A-	0.019	0.064	0.008	0.061	0.011	0.009	0.005	0.084	0.002

Çizelge 5 TOPSIS sıralama puanları

Model	S_i^+	S_i^-	C_i^+	Sıra
Yaris	0.034	0.095	0.735	3
Auris	0.040	0.089	0.688	9
Auris HTS	0.042	0.082	0.660	11
RAV 4	0.060	0.072	0.545	13
Prius	0.034	0.082	0.706	5
C-HR	0.036	0.087	0.707	4
CT 200h	0.047	0.067	0.591	12
Niro	0.038	0.084	0.689	7
IONIQ	0.039	0.090	0.695	6
X C 90 T8 2.0	0.041	0.090	0.688	8
X 5 Drive 40 e	0.030	0.059	0.667	10
i 8	0.023	0.077	0.773	2
740 Le X Drive	0.010	0.088	0.898	1

Yukarıdaki uygulamada yakıt tüketimi ve tork değerleri kataloglarda çalışma aralığı şeklinde, 2. el fiyatlar ise birden fazla fiyat opsiyonu ile sunulmaktadır. Örneğin yakıt tüketiminde birleşik yakıt tüketimi değerinin alınması veya tork değerinde maksimum veya minimum değerlere göre değerlendirme yapılması yerine Taguchi'nin çalışma penceresi yaklaşımı kullanılarak bu değerler yerine S/N çalışma penceresi değeri kullanılmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6 Çalışma penceresi değerlerinin hesaplanması

Marka	Model	Yakıt Tüketimi (l/100 km)			Tork (Nm)			Fiyat (TL)			
		Şehir İçi Yakıt Tüketimi	Şehir Dışı Yakıt Tüketimi	ÇP	Düşük	Yüksek	ÇP	2.EI			ÇP
TOYOTA	Yaris	3.3	3.6	-0.033	3600	4400	-0.17372	66500	72500	76500	-2.04967
	Auris	3.9	4.1	-0.011	142	4000	-22.9858	115000	N/A	N/A	9.64E-16
	Auris HTS	4.6	3.6	-0.258	1400	2800	-1.9382	130445	149080	167715	-1.973
	RAV 4	5.1	4.9	-0.007	210	270	-0.27146	192220	219680	247140	-1.973
	Prius	3.6	3.6	3E-05	142	3600	-22.0732	79000	78000		-0.0007
	C-HR	3.4	4.1	-0.151	142	3600	-22.0732	137760	157440	177120	-1.973
LEXUS	CT 200h	4.1	4	-0.003	142	207	-0.60283	990127	1131574	1E+06	-1.973
KIA	Niro	3.8	3.8	5E-06	1000	2400	-2.97411	152500	N/A	N/A	0
HYUNDAI	IONIQ	3.9	3.9	1E-05	147	4000	-22.686	129900	N/A	N/A	0
VOLVO	XC 90 T8 2.0	2.1	2.1	0	2200	5400	-3.11265	605000	N/A	N/A	4.82E-16
BMW	X5Drive 40 e	3.3	3.3	0	350	600	-1.20496	605000	631300	N/A	-0.00786
	i 8	2.1	2.1	0	320	3700	-15.3052	675000	N/A	N/A	4.82E-16
	740 Le X Drive	2.4	2.5	-0.007	1550	4400	-4.05789	726670	830480	934290	-1.973

Çizelge 7 Çalışma penceresi değerleriyle oluşturulmuş karar matrisi

Marka	Model	Motor ve Şanzıman	(l/100 km) OW	Gövde Tipi (Kapı sayısı)	CO2 Emisyon Salınımı (gr/km)	Servis Ağı	Garanti Süresi (Yıl)	2.El Fiyatı OW (TL)	Fiyat (TL)	Tork OW (Nm)
TOYOTA	Yaris	1.5	-0.03284	5	82	58	5	-2.04967	107850	-0.17372
	Auris	1.8	-0.01086	5	91	58	5	9.64E-16	167350	-22.9858
	Auris HTS	1.8	-0.25837	5	96	58	5	-1.973	186350	-1.9382
	RAV 4	2.5	-0.00695	5	118	58	5	-1.973	274600	-0.27146
	Prius	1.8	0.000028	5	84	58	5	-0.0007	309820	-22.0732
	C-HR	1.8	-0.15133	5	86	58	5	-1.973	196800	-22.0732
LEXUS	CT 200h	1.8	-0.00265	5	94	58	3	-1.973	1414468	-0.60283
KIA	Niro	1.6	0.0000048	5	88	56	5	0	163500	-2.97411
HYUNDAI	IONIQ	1.6	0.000014	5	92	76	5	0	168000	-22.686
VOLVO	X C 90 T8 2.0	2	0	5	120	33	3	4.82E-16	633,988	-3.11265
BMW	X 5 Drive 40 e	2	0	5	77	39	2	-0.00786	885000	-1.20496
	İ 8	1.5	0	2	49	39	2	4.82E-16	1250800	-15.3052
	740 Le X Drive	2	-0.00724	5	45	39	2	-1.973	1038100	-4.05789

Bu kapsamda tekrar normalize karar matrisi, ağırlıklı normalize karar matrisi, ideal ve negatif ideal çözümler ve sıralama puanları sırasıyla Çizelge 8'deki gibi elde edilmiştir. Tork kriterinin Çizelge 7'deki ÇP değerinin nasıl hesaplandığını aşağıdaki örnekle gösterebiliriz:

Yaris otomobilin düşük tork değeri 3.600, yüksek tork değeri ise 4.400'dür (Çizelge 6). ÇP tork değerini bulmak amacıyla öncelikle;

$$S/N_1 = 1/2 * ((3.600^2) + (4.400^2)) = 16.160.000$$

eşitliği (bkz.Eş. 3.1) ile "En Düşük En İyi-EDE" durumu için geçerli olan S/N değeri bulunur. Sonrasında;

$$S/N_2 = 1/2 * (((1/3600)^2) + (1/4400)^2) = 6,44067 \cdot 10^{-8}$$

Eşitliği (bkz.Eş.3.2) ile "En Büyük En İyi-EBE" durumu için geçerli olan S/N değeri bulunur.

Çizelge 8 ÇP-TOPSIS sonuçları

Normalize matris	Motor ve Şanzıman	Birleşik Yakıt Tüketimi (l/100 km) OW	Gövde Tipi (Kapı Sayısı)	C2 Emisyon Salımı (gr/km)	Servis Ağı	Garanti Süresi (Yıl)	2. El Fiyatı OW (TL)	Fiyat (TL)	Tork OW (Nm)
Yaris	0.226	-0.109	0.287	0.256	0.297	0.330	-0.421	0.043	-0.004
Auris	0.271	-0.036	0.287	0.284	0.297	0.330	0.000	0.067	-0.480
Auris Hybrit Touring Sports	0.271	-0.857	0.287	0.300	0.297	0.330	-0.406	0.075	-0.040
RAV 4	0.377	-0.023	0.287	0.369	0.297	0.330	-0.406	0.111	-0.006
Prius	0.271	0.000	0.287	0.263	0.297	0.330	0.000	0.125	-0.461
C-HR	0.271	-0.502	0.287	0.269	0.297	0.330	-0.406	0.079	-0.461
CT 200h	0.271	-0.009	0.287	0.294	0.297	0.198	-0.406	0.570	-0.013
Niro	0.241	0.000	0.287	0.275	0.287	0.330	0.000	0.066	-0.062
IONIQ	0.241	0.000	0.287	0.288	0.389	0.330	0.000	0.068	-0.474
X C 90 T8 2.0 Twin Engine	0.301	0.000	0.287	0.375	0.169	0.198	0.000	0.255	-0.065
X 5 Drive 40 e	0.301	0.000	0.287	0.241	0.200	0.132	-0.002	0.356	-0.025
İ 8	0.226	0.000	0.115	0.153	0.200	0.132	0.000	0.504	-0.320
740 Le X Drive	0.301	-0.024	0.287	0.141	0.200	0.132	-0.406	0.418	-0.085
Ağırlık	5	10	4	10	4	4	7	9	8

Ağırlıklı normalize matris

Yaris	0.019	-0.018	0.019	0.042	0.019	0.022	-0.048	0.006	0.000
Auris	0.022	-0.006	0.019	0.047	0.019	0.022	0.000	0.010	-0.063
Auris Hybrit Touring Sports	0.022	-0.140	0.019	0.049	0.019	0.022	-0.047	0.011	-0.005
RAV 4	0.031	-0.004	0.019	0.060	0.019	0.022	-0.047	0.016	-0.001
Prius	0.022	0.000	0.019	0.043	0.019	0.022	0.000	0.018	-0.060
C-HR	0.022	-0.082	0.019	0.044	0.019	0.022	-0.047	0.012	-0.060
CT 200h	0.022	-0.001	0.019	0.048	0.019	0.013	-0.047	0.084	-0.002
Niro	0.020	0.000	0.019	0.045	0.019	0.022	0.000	0.010	-0.008
IONIQ	0.020	0.000	0.019	0.047	0.026	0.022	0.000	0.010	-0.062
X C 90 T8 2.0 Twin Engine	0.025	0.000	0.019	0.061	0.011	0.013	0.000	0.038	-0.009
X 5 Drive 40 e	0.025	0.000	0.019	0.039	0.013	0.009	0.000	0.053	-0.003
İ 8	0.019	0.000	0.008	0.025	0.013	0.009	0.000	0.074	-0.042
740 Le X Drive	0.025	-0.004	0.019	0.023	0.013	0.009	-0.047	0.062	-0.011
A*	0.031	0.000	0.019	0.023	0.026	0.022	0.000	0.006	0.000
A-	0.019	-0.140	0.008	0.061	0.011	0.009	-0.048	0.084	-0.063

Sıralama Sonuçları	S_i^*	S_i^-	C_i^*	Sıra
Yaris	0.031	0.160	0.837	8
Auris	0.030	0.163	0.846	7
Auris Hybrit Touring Sports	0.145	0.096	0.397	13
RAV 4	0.040	0.166	0.807	10
Prius	0.026	0.165	0.866	5
C-HR	0.091	0.096	0.514	12
CT 200h	0.035	0.153	0.815	9
Niro	0.025	0.177	0.877	3
IONIQ	0.030	0.168	0.847	6
X C 90 T8 2.0 Twin Engine	0.040	0.165	0.804	11
X 5 Drive 40 e	0.020	0.165	0.892	2
İ 8	0.024	0.155	0.868	4
740 Le X Drive	0.013	0.153	0.922	1

Daha sonra;

$S/N_3 = [-10 * (\text{LOG}_{10}(\text{EDE} * \text{EBE}))]$ eşitliği ile (bkz. Eş.3.6) ÇP değeri “-0,17372” olarak elde edilir. Bu değer de Yaris otomobili için hesaplanmış olan Tork için ÇP değeridir.

5. ÇALIŞMA PENCERESİ TABANLI TOPSIS MODELİNİN GELENEKSEL TOPSIS MODELİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışma penceresi (ÇP) tabanlı TOPSIS modelinin sıralama sonuçları klasik TOPSIS modeli ile karşılaştırılmış ve Çizelge 10'da sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde hibrit elektrikli otomobillerin sıralamasının önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Örneğin, X5 Drive 40e, ÇP tabanlı TOPSIS modelinde ikinci sırada yer alırken, klasik TOPSIS modelinde on birinci sırada yer almaktadır. Sonuçlar, X5 Drive 40e için iki model tarafından tamamen farklı sıralamaların sağlandığını göstermektedir. ÇP tabanlı TOPSIS modeli, X5 Drive 40e'nin özel çalışma değerlerini yakalayabilir. X5 Drive 40e'nin gerçek performansı, teknik katalog değerlerine nazaran, ÇP tarafından daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilir. Bu örnek, özellikle özel koşullarda kullanıldıklarında otomobil sıralamasında tek veya ortalama teknik özellik değerleri yerine ÇP'lerin kullanılmasının avantajlarını göstermektedir.

Çizelge 9 TOPSIS ve ÇP-TOPSIS sıralama sonuçlarının karşılaştırılması

Sıralama Sonuçları	TOPSIS	ÇP-TOPSIS
Yaris	3	8
Auris	9	7
Auris Hybrit Touring Sports	11	13
RAV 4	13	10
Prius	5	5
C-HR	4	12
CT 200h	12	9
Niro	7	3
IONIQ	6	6
X C 90 T8 2.0 Twin Engine	8	11
X 5 Drive 40 e	10	2
İ 8	2	4
740 Le X Drive	1	1

Daha ileri bir çalışma olarak, ağırlık seçiminin Çizelge 10'da verildiği üzere TOPSIS değeri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çizelge 10'da üç farklı ağırlık seti (Çizelge 10'da Senaryo I-III olarak gösterilmiştir) üretilmiş ve otomobillerin TOPSIS sıralaması yapılmıştır (Çizelge 11).

Çizelge 10 Ağırlık Senaryoları

Senaryo*	Motor ve Şanzıman	Birleşik Yakıt Tüketimi (l/100 km)	Gövde Tipi (Kapı Sayısı)	CO2 Emisyon Salımı (gr/km)	Servis Ağı	Garanti Süresi (Yıl)	2. El Fiyatı (TL)	Fiyat (TL)	Tork (Nm)
Orijinal	5	10	4	10	4	4	7	9	8
I	8	4	10	5	7	8	6	4	4
II	7	7	6	7	10	10	3	6	6
III	3	8	10	3	3	6	10	10	10

*: Ağırlık senaryoları, performansı daha ön planda tutmayı tercih eden daha genç kullanıcılar, aile birey sayısı yüksek sayıda olan aileler ve stil ve tasarıma daha fazla önem verebilecek olan kullanıcıların bulunması durumları değerlendirilerek belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 11 Üç farklı ağırlık setine göre sıralama farklılıkları

Model	Original		A-B	Scenario I		C-D	Scenario II		F-G	Scenario III		H-I
	A	B		C	D		F	G		H	I	
	TOPSIS	OW-TOPSIS		TOPSIS	OW-TOPSIS		TOPSIS	OW-TOPSIS		TOPSIS	OW-TOPSIS	
Yaris	3	8	-5	9	10	-1	2	7	-5	3	9	-6
Auris	9	7	2	7	5	2	6	5	1	7	8	-1
Auris Hybrit Touring Sports	11	13	-2	10	13	-3	8	13	-5	10	13	-3
RAV 4	13	10	3	12	4	8	12	8	4	13	7	6
Prius	5	5	0	5	3	2	3	4	-1	6	4	2
C-HR	4	12	-8	4	12	-8	4	12	-8	4	12	-8
CT 200h	12	9	3	3	9	-6	13	9	4	11	10	1
Niro	7	3	4	11	6	5	7	3	4	8	1	7
IONIQ	6	6	0	8	8	0	5	6	-1	5	5	0
X C 90 T8 2.0 Twin Engine	8	11	-3	6	7	-1	9	10	-1	2	3	-1
X 5 Drive 40 e	10	2	8	2	1	1	11	2	9	9	2	7
İ 8	2	4	-2	13	11	2	10	11	-1	12	11	1
740 Le X Drive	1	1	0	1	2	-1	1	1	0	1	6	-5
d ²			208			214			248			276
Spearman rank correlation test's result	r _s :		0.429			0.412			0.319			0.242
	Z:		1.485			1.428			1.104			0.837

Üç ağırlık senaryosu için ÇP tabanlı TOPSIS modelinin sıralama sonuçları daha sonra Spearman'ın sıra ilişkisi testi kullanılarak klasik TOPSIS modeli ile karşılaştırılmış ve üç özel senaryo için Çizelge 11'de sunulmuştur. Spearman sıra ilişkisi testi, Çizelge 11'in son satırında verilen (Z) değerleri hesaplar. Spearman testindeki Z test istatistiği Eşitlik (4.1) ve (4.2) kullanılarak hesaplanmış ve önceden belirlenmiş bir eşik değer olan 1,645 (%95 güven düzeyinde), hesaplanan Z test istatistiği 1.645'i aşarsa, H₀ hipotezi reddedilir yani anlamlı bir ilişki vardır. Eşitlik (4.1)

ve (4.2)'de d_j otomobil j 'nin sıralama farkını, K karşılaştırılacak otomobil sayısını ve r_s Spearman'ın sıra-ilişkisi katsayısını temsil eder.

$$r_s = 1 - \left[\frac{6 \cdot \sum_{j=1}^K (d_j)^2}{K \cdot (K^2 - 1)} \right] \quad (4.1)$$

$$Z = r_s \sqrt{(K - 1)} \quad (4.2)$$

Çizelge 11'den her üç senaryo için de Z değerinin (1.428, 1.104 ve 0.837) 1.645'ten daha düşük olduğu görülebilir. Düşük değerler bize, iki yaklaşımın sıralama sonuçları arasında anlamlı bir ilişki olmadığını söyler. Bu sonuca göre gerek orijinal ağırlıklarla gerekse diğer iki senaryoyla yapılan sıralama sonuçlarına göre ÇP-TOPSIS sıralaması ile TOPSIS sıralama sonuçları birbirinden farklı olmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sunulan Taguchi'nin çalışma penceresi (ÇP) yaklaşımına dayalı TOPSIS hibrit elektrikli otomobil seçim modeli, teknik şartname değerlerini kullanan seçim modellerine alternatif bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım özellikle çok seviyeli (veya çalışma aralığı şeklindeki) teknik özelliklerin değerlendirmesinde tüm aralığın kapsanmasını sağlayabilmektedir. Bu durum özellikle uzun sürüş süreleri boyunca farklı sürüş koşullarında kullanılacak hibrit araçların seçiminde tavsiye edilebilir. Bir ÇP-Taguchi-TOPSIS modelinin kullanılmasında dikkat edilmesi gereken nokta, sıralama sonuçlarının başarısının doğru seçim kriterlerine ve bunların ağırlık değerlerine bağlı olmasıdır. Önem değerleri kişisel olarak belirlenir ve dolayısıyla bunların doğruluğu, kullanıcıların hibrit elektrikli otomobil kullanımının koşulları ve ülke farklılıkları hakkındaki bilgisine hakim olmasına bağlıdır.

Bu çalışmada; fiyatı yüksek olmasına rağmen, kullanılan tüm yöntemlerde özellikleri çok iyi olduğu için BMW 740 Le X Drive otomobili 1. çıkmıştır. Örneğin Yaris'e bakacak olursak klasik TOPSIS'te 3. çıkarken, ÇP-TOPSIS'de 8. sırada yer alabilmiştir. ÇP-TOPSIS'de 2. sıradaki araç BMW X5 Drive 40e klasik TOPSIS'te 10. sırada yer almaktadır. Bu sonuçtan da görüldüğü üzere ÇP-TOPSIS yöntemi teknik özellikleri daha iyi olan araçları üst sıralarda çıkarabilmektedir. Ortalama değer veya alt/üst sınırların klasik TOPSIS yöntemi yerine, özellikle kritik kriterlerde ÇP'nin kullanımı daha doğru sıralama sonuçları verebilmektedir.

Sıralamadaki farklılığın diğer bir önemli nedeni otomobillerin fiyatlarıdır. Yaris'in fiyatının BMW X5 Drive 40e'den daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum 2. el fiyatı için de geçerlidir. Ancak fiyatının düşüklüğü Yaris'in klasik TOPSIS yönteminde 2. sırada yer almasına neden olmaktadır. Oysaki ÇP-TOPSIS modelinde 2. el fiyatı ÇP değerine dönüştürüldüğünde aradaki farklılık normalize edilmiş olmakta ve teknik özellikler sıralama sonuçlarında daha baskın hale gelmektedir. Bu yapısı ÇP-TOPSIS modelinin çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde fiyat kriteri nedeniyle daha az kaliteli makinelerin sıralamada ön sırada çıkması ve karar vericiyi yanıltmasını da engeller bir nitelikte olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Kerem, A. (2014). *Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2-4.
- [2] Güner, C. (2013). *Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç ile Menzil Artırıcı Elektrikli Araç Konseptlerinin Karşılaştırmalı Analizi*. Yüksek lisans tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 8-14, 35.
- [3] <http://www.airclim.org/acidnews/2011/AN3-11/principles-kyoto-protocol> 08.2018-09.2018
- [4] İnternet:<http://www.mfa.gov.tr/kuresel-isinma-bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-ve-kyto-protokolu.tr.mfa>
- [5] İnternet: <http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> 09.2018
- [6] İnternet: <http://bianet.org/bianet/cevre-ekoloji/54452-kyoto-protokolu-nedir-ne-degildir> 09.2018
- [7] Yedla, S., Shrestha, R.M. (2003). *Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi*. Pergamon Transportation Research Part A37 717–729.
- [8] Tzeng, G-H., Ling, C-W., & Opricovic, S. (2004). *Multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation*. Elsevier Energy Policy 33 (2005) 1373-1383.
- [9] Safaei Mohamadabadi, H., Tichkowsky G., & Kumar, A. (2008). *Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles*. Elsevier Energy 34 (2009) 112–125.
- [10] Vahdani, B., Zandieh, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2010). *Two novel FMCDM methods for alternative-fuel buses selection*. Elsevier, Applied Mathematical Modelling 35 (2011) 1396–1412.

- [11] Kabak, M., & Uyar, Ö.O. (2013). *Lojistik Sektöründe Ağır Ticari Araç Seçimi Problemine Çok Ölçütlü Bir Yaklaşım*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Cilt 28, No 1, 115-125.
- [12] Yavaş, M., Ersoz, T., Ersoz, F., & Kabak, M. (2014). *Proposal for Multi-Criteria Approach to Automobile Selection*. Research Gate, 2061-2069.
- [13] Yavuz, M., Oztaysi, B., Onar, S.C., & Kahraman, C. (2015). *Multi-criteria evaluation of alternative-fuel vehicles via a hierarchical hesitant fuzzy linguistic model*. Elsevier Expert Systems with Applications 42 2835–2848.
- [14] Biswas, T & Das, M. (2018). Selection of hybrid vehicle for green environment using multi-attributive border approximation area comparison method. *Management Science Letters* , 8(2), 121-130.
- [15] Palevicius, V., Podvieszko, A., Sivilevicius, H., & Prentkovskis, O. (2018). Decision-Aiding Evaluation of Public Infrastructure for Electric Vehicles in Cities and Resorts of Lithuania. *Sustainability* 2018, 10(4), 904.
- [16] Erbas, E., Kabak, M., Ozceylan, E., & Cetinkaya, C. (2018). Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. Elsevier Energy 163, 1017-1031.
- [17] Yıldırım, S. (2011). Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı. Yüksek lisans tezi Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 10-12, 25-28.
- [18] Clausing, D.P. (2004). *Operating window: an engineering measure for robustness*. Technometrics, 46(1), 25–29.
- [19] Armillotta, A., & Semeraro, Q. (2013). *Critical operating conditions for assemblies with parameter-dependent dimensions*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 227(5), 735–744.
- [20] İnternet:https://www.jstor.org/stable/25470757?seq=1#page_scan_tab_contents 09.2018

- [21] İnternet: https://tr.wikipedia.org/wiki/Sinyal-g%C3%BCr%C3%BClt%C3%BC_oran%C4%B1 09.2018
- [22] İc, Y. T., & Yıldırım, S., (2013). MOORA-Based Taguchi optimization for improving product or process quality, *International Journal of Production Research*, 51(11), 3321–3341.
- [23] İc, Y.T., Yurdakul, M. (2009). Development of a decision support system for machining centers election, *Expert Systems with Applications*, 36, 3505–3513.
- [24] İc, Y. T., Tekin, M., Pamukoglu, F. Z., & Yildirim, S. E. (2015). Development of a financial performance benchmarking model for corporate firms. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(1), 71-85.
- [25] İnternet: <https://www.toyota.com.tr>: 05.2018-06.2018
- [26] İnternet: <https://www.lexus.com.tr/hybrid>: 05.2018
- [27] İnternet: <https://www.kia.com/tr>: 05.2018
- [28] İnternet: <http://www.hyundai.com/tr>: 05.2018-06.2018
- [29] İnternet: <https://www.volvocars.com/tr>: 05.2018-06.2018
- [30] İnternet: <https://www.bmw.com.tr>: 05.2018