T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ULUSLARARASI TİCARET VE FİNANSMAN ANABİLİM DALI
ULUSLARARASI TİCARET VE FİNANSMAN BİLİM DALI

TÜRKİYE'DEKİ İLLERİN ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONU YETERLİLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM BEDİROĞLU

DANIŞMAN: PROF. DR. YASİN GALİP GENÇER

YALOVA
OCAK 2025

T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ULUSLARARASI TİCARET VE FİNANSMAN ANABİLİM
ULUSLARARASI TİCARET VE FİNANSMAN BİLİM DALI

TÜRKİYE'DEKİ İLLERİN ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONU YETERLİLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM BEDİROĞLU
228124024

DANIŞMAN: PROF. DR. YASİN GALİP GENÇER

YALOVA
OCAK 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım "TÜRKİYE'DEKİ İLLERİN ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONU YETERLİLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

GİZEM BEDİROĞLU

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını ve değerli bilgilerini esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren, başarı odaklı sayın danışman hocam Prof. Dr. Yasin Galip GENÇER'e içtenlikle teşekkür ederim. Kendisiyle çalışma fırsatı bulmak hem akademik hem de kişisel gelişimim için büyük bir şans olmuştur.

Eğitim dönemim boyunca bilgi ve birikimlerini benimle paylaşarak her zaman yol gösterici olan Yalova Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü'ndeki tüm hocalarıma da teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez savunma sınavımda yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Bilge Leyli DEMİREL'e ve Doç. Dr. Ulaş AKKÜÇÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği sunan aileme, verdikleri sonsuz sevgi ve destek için en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, her anımda bana moral kaynağı olan yeğenim Eliz Minel'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bana destek olan tüm dostlarıma teşekkür ederim. Özellikle, bu süreç boyunca sabrı, anlayışı ve moral desteğiyle bana yol gösteren ev arkadaşıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak – 2025 Gizem BEDİROĞLU

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN ..... **Vİ**
ÖNSÖZ ..... **Vİİ**
İÇİNDEKİLER ..... **Vİİİ**
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **X**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **Xİ**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **Xİİ**
ÖZET ..... **Xİİİ**
ABSTRACT ..... **XİV**
1. GİRİŞ **1**
2.LİTERATÜR İNCELEMESİ **5**
2.1.ELEKTİRKLİ OTOMOBİL LİTERATÜR TARAMASI 5
2.2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ LİTERATÜR TARAMASI 9
2.3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU LİTERATÜR TARAMASI 11
3.ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE TÜRLERİ **13**
3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR 13
3.2.ELEKTRİKLİ ARAÇ TÜRLERİ 18
3.2.1.Hibrit Araçlar (HEV) 19
3.2.1.1. Paralel HEV 23
3.2.1.2.Seri HEV 23
3.2.1.3.Seri-Paralel HEV 25
3.2.2.Bataryalı elektrikli araçlar (BEV) 25
3.2.3.Fişli (Plug-In) hibrit elektrikli araçlar (PHEV) 26
3.2.4.Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV) 27
4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ **28**
4.1. VERİ ZARFLAMA ANALİZİNİN TANIMI 29
4.2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ 31
4.3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİNİN AMAÇLARI 32
4.4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİNİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ 33
4.5. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİ 34
4.5.1. Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) modeli 35
4.5.2. Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modeli 37
5. ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONLARI **39**
5.1. ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ 40
5.2. ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ TEKNOLOJİLERİ 42
5.2.1. AC seviye 1 şarj teknolojisi 42
5.2.2. AC seviye 2 şarj teknolojisi 43
5.2.3. DC hızlı şarj teknolojisi 44
5.3. KONNEKTÖR TÜRLERİ 44
5.3.1. Kombo 1 ve kombo 2 konnektör 45
5.3.2. CHAdeMO tip konnektör 45
5.3.3. GB/T tip konnektör 46

5.3.4. Type 1 tip konnektör 47
5.3.5. Type 2 tip konnektör 48
5.3.6. ChaoJi tip konnektör 49
5.3.7. Tesla şarj konnektörü 50
5.4. ŞARJ İSTASYONU YERLEŞİM STRATEJİLERİ 50
6. TÜRKİYE'DEKİ İLLERİN ELEKTRİKLİ OTOMOTİV ŞARJ İSTASYONU YETERLİLİKLERİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ 51
6.1. KARAR VERME BİRİMLERİNİN SEÇİLMESİ 52
6.2. GİRDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİNİN SEÇİLMESİ 52
6.3. VERİ ZARFLAMA MODELİNİN SEÇİLMESİ 53
6.4. UYGULAMA 55
6.4.1. CCR girdi yönlü model 55
6.4.2. CCR çıktı yönlü model 60
6.4.3. BCC girdi yönlü model 65
6.4.4. BCC çıktı yönlü model 69
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 75
KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

n	: Karar Birimlerinin Sayısı
m	: Girdi Sayısı
s	: Çıktı Sayısı
n	: Negatif Olmayan Konveks Kombinasyon Vektörü
%	: Yüzde

KISALTMALAR

HEV	: Hibrit Elektrikli Araçlar
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araçlar
FCEV	: Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar
EA	: Elektrikli Araçlar
VZA	: Veri Zarflama Analizi
EO	: Elektrikli Otomobiller
CCR	: Charnes, Cooper ve Rhodes
BCC	: Banker, Charnes ve Cooper
EA	: Elektrikli Araçlar
HEV	: Hibrit Elektrikli Araçlar
GM	: General Motors
PSA	: Peugeot Société Anonyme
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
PNGV	: Partnership for a New Generation of Vehicles; Yeni Nesil Taşıtlar İçin Ortaklık
EM	: Elektrik Motoru
İYM	: İçten Yanmalı Motor
DC	:Direct Current; Doğru Akım
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araçlar
PHEV	:Plug-in (Fişli) Hibrit Elektrikli Araçlar
FCEV	:Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar
KVB	: Karar Verme Birimleri
GSYH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
AC	:Alternating Current; Alternatif Akım
EPRI	: Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü
kW	: Kilowatt
AA	: Alternatif Akım
KŞS	: Kombine Şarj Sistemi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1 Çalışmada Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenleri 53
Tablo 2 CCR Girdi Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları..... 56
Tablo 3 CCR Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları 60
Tablo 4 BCC Girdi Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları..... 66
Tablo 5 BCC Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları 70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Paralel Hibrit Elektrikli Araç Yapısı 23
Şekil 2 Seri Hibrit Elektrikli Araç Yapısı 24
Şekil 3 Seri-Paralel Elektrikli Araç Yapısı 25
Şekil 4 Temel Veri Zarflama Analizi Modellerinin Sınıflandırılması 30
Şekil 5 İlk Elektrikli Araç Şarj Ünitesi 40
Şekil 6 Elektrikli Otomobillerde Kablosuz Şarj 41
Şekil 7 Kombo 1 ve Kombo 2 Konnektörleri 45
Şekil 8 CHAdeMO Tip Konnektör 46
Şekil 9 GB/T Tip Konnektör 47
Şekil 10 Type 1 Tip Konnektör 47
Şekil 11 Type 2 Tip Konnektör 48
Şekil 12 ChoaJi Tip Konnektör 49
Şekil 13 Tesla Şarj Konnektörü 50
Şekil 14 CCR Girdi ve Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkin Sayılan KVB Sıklıkları 64
Şekil 15 BCC Girdi ve Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkin Sayılan KVB Sıklıkları 74

TÜRKİYE'DEKİ ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONU YETERLİLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Elektrikli otomobiller, geleneksel içten yanmalı motorların aksine elektrik enerjisi ile çalışan taşıtlardır. Çevresel sürdürülebilirlik bilincinin artmasıyla birlikte elektrikli otomobil kullanımı da hızla artmaktadır. Özellikle son yıllarda elektrikli otomobil satışlarının arttığı görülmektedir. Bu durumda, elektrikli otomobil satışlarının gelecekte de devam etmesi öngörülmektedir. Artan elektrikli otomobil sayısı, beraberinde elektrikli otomobil şarj istasyonu ihtiyacını da getirmektedir. Dolayısıyla, elektrikli otomobillerin tercih edilmesi şarj istasyonlarının varlığı ve erişilebilirliği açısından önem arz etmektedir. Elektrikli otomobillerin tercih edilmesi ve stratejik planlama süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için; elektrikli şarj istasyonlarının kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu inceleme ile potansiyel yatırımcılara doğru yönlendirme sağlanması ve elektrikli otomobil kullanıcılarına uygun altyapının başarılı bir şekilde oluşturulması açısından kritik bir öneme sahiptir. Çalışmanın temel amacı, Türkiye genelindeki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini veri zarflama analizi ile değerlendirmektir. Araştırmada, Türkiye genelindeki 81 ilde faaliyet gösteren elektrikli araç şarj istasyonlarının yeterliliği, veri zarflama analizi modelleri ile detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Analizde, Türkiye'deki illerin mevcut şarj istasyonlarının yeterlilikleri değerlendirilerek, her bir il bazında elektrikli otomobil şarj istasyonları yeterli, kısmen yeterli ve yetersiz olarak sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla, Türkiye genelindeki şarj istasyonlarının stratejik planlama süreçleri ve kullanıcı ihtiyaçlarına uygun altyapı oluşturulması bakımından bu çalışmanın önemli bir rol oynaması amaçlanmaktadır.

Çalışmada, literatürde 30 yıldan fazla bir geçmişe sahip veri zarflama analizi kullanılmıştır. Bu yöntem, birden fazla girdi ve çıktının değerlendirilmesine olanak tanıyarak, göreceli performans değerlendirmesi yapılan birçok alanda yaygın olarak kullanılan etkili bir modeldir. Çalışmanın uygulama bölümünde, ilk olarak Charnes, Cooper, Rhodes (CCR) girdi ve çıktı yönlü model, daha sonra ise Banker, Charnes ve Cooper (BCC) girdi ve çıktı yönlü modeller ile elde edilen sonuçlar ayrı ayrı incelenmiştir. Bu çalışmada, CCR ve BCC modelleri kullanılarak Türkiye'deki 81 ildeki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterlilikleri değerlendirilmiştir. Bu analizlerin çözümünde R programlama dili kullanılarak her bir ildeki şarj istasyonlarının yeterlilik değerleri ve sıralamaları detaylı bir şekilde ölçülmüştür. Bu çalışma, Türkiye genelindeki elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliği konusunda verimli ve iyileştirme gereken bölgelerin belirlenmesiyle birlikte yeni yatırım kararları ve şarj istasyonu iyileştirme stratejileri oluşturulmasında yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli otomobil, Şarj istasyonu, Veri zarflama analizi, Türkiye

ASSESSMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION SUFFICIENCY IN TURKEY USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

ABSTRACT

Electric vehicles, unlike traditional internal combustion engine vehicles, operate using electric energy. With the growing awareness of environmental sustainability, the use of electric vehicles has been rapidly increasing. In particular, there has been a noticeable rise in electric vehicle sales in recent years. This trend suggests that electric vehicle sales will continue to increase in the future. The growing number of electric vehicles brings with it a need for electric vehicle charging stations. Therefore, the preference for electric vehicles is crucial in terms of the presence and accessibility of charging stations. In order to effectively implement the adoption of electric vehicles and strategic planning processes, a comprehensive examination of electric vehicle charging stations is necessary. This examination is critical for providing proper guidance to potential investors and ensuring the successful establishment of appropriate infrastructure for electric vehicle users. The main aim of this study is to evaluate the adequacy of electric vehicle charging stations across Turkey using Data Envelopment Analysis (DEA). In the research, the adequacy of electric vehicle charging stations operating in all 81 provinces of Turkey is assessed in detail using DEA models. The analysis evaluates the adequacy of the current charging stations in Turkey and classifies them as adequate, partially adequate, or inadequate on a province-by-province basis. Therefore, this study is expected to play an important role in the strategic planning processes and the development of user-appropriate infrastructure for charging stations across Turkey.

In the study, Data Envelopment Analysis, a method with over 30 years of history in the literature, is used. This method allows for the evaluation of multiple inputs and outputs, making it an effective model widely used in various fields that require relative performance assessment. In the application section of the study, the Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) input-output model was first applied, followed by the Banker, Charnes, and Cooper (BCC) input-output models, and the results obtained from each model were analyzed separately. In this study, the CCR and BCC models were used to evaluate the adequacy of electric vehicle charging stations in all 81 provinces of Turkey. The adequacy values and rankings of charging stations in each province were measured in detail using the R programming language in the analysis. This study aims to guide the identification of efficient and underperforming regions in terms of electric vehicle charging station adequacy across Turkey, and to assist in the formulation of new investment decisions and charging station improvement strategies.

Keywords: Electric vehicles, Charging station, Data envelopment analysis, Turkey

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, keşfedildiği ilk günden itibaren geniş bir alanda çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Bu enerji kaynağı, endüstriyel sektörden ev kullanımına, iletişim teknolojilerinden sağlık sektörüne kadar hayatımızın temel bir parçası haline gelmiştir. Son yıllarda, elektrikli otomobiller fosil yakıtlı araçlara alternatif oluşturarak enerji kaynaklarına olan ihtiyacı ve taşıt endüstrisindeki değişimi hızlandırmıştır. Ayrıca, elektrikli otomobiller çevre dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım çözümü olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte şarj istasyonları bu dönüşümün kritik bir parçası haline gelmiştir. Şarj istasyonlarının yeterliliği, konumları ve sayıları elektrikli otomobillerin günlük kullanımını doğrudan etkileyen belirleyici unsurlardır. Bu çalışmada, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliklerini veri zarflama analizi ile değerlendirmek ve sürdürülebilir ulaşımın güçlendirilmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Elektrikli otomobiller, günümüzdeki popülerliğine rağmen oldukça köklü bir tarihe sahiptir. Bu otomobillerin temelleri üç tekerlekli araçlar gibi eski dönemlere dayanmaktadır. Son yıllarda, bu araçlar daha fazla ilgi görmekte ve içten yanmalı otomobillere göre daha büyük bir talep görmektedir. Yakıt konusundaki avantajları ve çevreci özellikleriyle elektrikli otomobillere olan ilgiyi arttırmaktadır (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

Elektrikli otomobil teknolojisi, kentsel yaşamda önemli avantajlar sunan, kirliliği azaltma ve enerji verimliliği gibi net sıfır emisyon hedeflerini destekleyen temiz bir mobilite teknolojisidir. Bunun yanı sıra, sera gazı emisyonlarının etkilerini azaltmak için ise yenilenebilir enerji kaynakları kullunılmaktadır (Zapotecas-Martínez ve ark., 2023). Bu bağlamda, elektrikli otomobillerin yenilenebilir enerjiyle entegrasyonu sadece çevre dostu değil aynı zamanda sürdürülebilir bir ulaşım modeli oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Günümüzde, elektrikli otomobil kullanımının giderek yaygınlaşmasıyla şarj istasyonlarının sayısındaki artış açıkça görülmektedir (İpek, 2022). Bu durum, elektrikli otomobil altyapısının gelişmesini ve pil teknolojisinin ilerlemesini sağlarken, toplumun bu teknolojiye uyum süreci de hızla ilerlemektedir. Ancak, bu değişim sadece çevresel etkilerle sınırlı kalmamaktadır. Aynı zamanda ekonomik, enerji güvenliği ve toplumsal altyapı gibi geniş bir perspektifte önemli dönüşümlere de yol açmaktadır.

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte şarj altyapısının genişlemesi ve iyileştirilmesi kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Aynı zamanda, şarj istasyonlarının konumlandırılması, sayıları ve erişilebilirliği elektrikli otomobil sahiplerinin günlük

yaşamlarını belirleyen kritik faktörler haline gelmiştir. Yeterli şarj istasyonu altyapısının sağlanması elektrikli otomobil teknolojisinin etkili bir şekilde benimsenmesi açısından oldukça önemlidir. Eğer yeterli bir şarj altyapısı sağlanabilirse elektrikli otomobil kullanıcılarının menzil endişeleri de önemli ölçüde azalacaktır. Sürücülerin bu çevre dostu teknolojiye uyum sağlama süreci ise kolaylaşacaktır. Şarj istasyonlarına kolay erişim elektrikli otomobillerin daha yaygın olarak kullanılmasını destekleyecektir. Ek olarak bu durum fosil yakıt talebindeki düşüşe de neden olabilir. (Gavranovic ve ark., 2014).

Öte yandan, literatürde elektrikli araçların küresel düzeyde kullanımının arttığı belirtilmektedir (Arı, 2020). Ayrıca, elektrikli otomobillerin gelişmekte olan bir pazar olduğu ve şarj istasyonlarının stratejik bir şekilde konumlandırılması üzerine araştırmalar yapılmaktadır (Dörtköşe ve ark., 2022). Elektrikli otomobil kullanımını teşvik etmek amacıyla, şarj istasyonlarının maliyetlerinin düşürülmesi, şarj kapasitelerinin ve sistem verimliliklerinin arttırılması ve özel planlamalarla altyapının daha etkin bir şekilde oluşturulması hedeflenmektedir. Elektrikli otomobillerin kullanımını desteklemek için gerekli olan şarj istasyonları, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde önemli bir zorluk ve ihtiyaç kaynağı oluşturmaktadır (Arı, 2020). Elektrikli otomobil altyapısını etkili bir şekilde geliştirebilmek şarj istasyonlarını en ekonomik biçimde konumlandırmak ve geniş bir kullanıcı kitlesine hizmet verebilmek amacıyla stratejik planlama gerekmektedir.

Şarj istasyonlarının yeterliliği elektrikli otomobillerin yaygınlaşması ve sürdürülebilir ulaşımın teşvik edilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Elektrikli otomobil kullanımının artış göstermesi şarj altyapısının talebini karşılamak amacıyla yeterli ve uygun kapasiteli şarj istasyonlarının sağlanmasını gerekli kılmaktadır. Yetersiz şarj altyapısı kullanıcıların günlük yaşamlarında ve uzun mesafe seyahatlerinde elektrikli otomobil kullanmalarını zorlaştırabilir. Dolayısıyla bu durum elektrikli otomobillerin benimsenmesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu bağlamda, şarj istasyonlarının yeterliliği, elektrikli otomobil pazarının büyümesini desteklemek, çevresel sürdürülebilirliği artırmak ve enerji dönüşümünü hızlandırmak için önemli bir unsurdur. Bu çalışmada, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini veri zarflama analizi kullanarak değerlendirmek ve şarj istasyonlarının mevcut durumu ortaya koymak hedeflenmektedir. Elektrikli otomobil kullanımının hızla arttığı günümüzde şarj altyapısının talebi karşılayabilmesi ve kullanıcıların güvenini sağlayabilmesi için etkin bir planlama ve yönetim stratejisinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu araştırma ile mevcut şarj istasyonlarının dağılımını değerlendirerek eksiklikleri tespit etmek, çözüm önerileri

sunmak ve sürdürülebilir ulaşımın desteklenmesine yönelik stratejik adımlar atılmasına katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, elektrikli otomobiller ve şarj istasyonları hakkında bilgi vererek, Türkiye'deki illerin veri zarflama analizi (VZA) yöntemiyle elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini değerlendirmektir. Çalışmada, etkinlik ve verimliliğin ölçümünde matematiksel bir teknik olarak veri zarflama analizi tercih edilmiştir. VZA, ekonomi, yönetim muhasebesi ve yöneylem araştırması gibi literatürde çeşitli alanlarda 30 yılı aşkın bir süredir kullanılan bir yöntemdir. Araştırma kapsamında Türkiye'nin 81 ilinin 2022 yılına ait veriler kullanılmıştır. İl bazında kişi başına GSYH, kişi başına elektrik tüketimi, motorlu kara taşıtları ve konut sayısı girdi değişkenleri olarak belirlenirken; çıktı değişkenleri arasında ise elektrikli otomobil sayısı, elektrikli araç şarj istasyonu sayısı ve elektrikli otomobil kullanım oranı yer almaktadır. İl bazında ele alınan bu değişkenler ise; Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ve Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK)'dan elde edilmiştir.

Araştırmanın sonraki bölümünde, literatür taraması yapılacak ve önceki çalışmalardan elde edilen bilgiler üç ana başlık altında incelenecektir. Bu üç alt başlık; elektrikli otomobil literatür taraması, veri zarflama analizi literatür taraması ve elektrikli araç şarj istasyonu literatür taramasıdır. Daha sonra, elektrikli araçlar ve türleri hakkında temel bilgiler aktarılacaktır. Ardından, veri zarflama analizi yöntemi detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Bu yöntem, çalışmanın odak noktalarından birini oluşturacak ve elektrikli otomobil şarj istasyonlarının performansının değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceğine dair ayrıntılı bilgiler sunacaktır. İlgili literatür ve teorik çerçevenin sağlanmasından sonra Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri veri zarflama analiziyle detaylı bir biçimde incelenecektir. Son bölümde, elde edilen bulgular ve sonuçlar ışığında araştırmanın genel değerlendirmesi sunularak çalışmanın tamamlanması hedeflenmektedir.

Araştırmanın Konusu

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte elektrikli otomobillerin önemi giderek artmaktadır. Ancak akademik yazın incelendiğinde, Türkiye'nin elektrikli otomobil şarj istasyonu durumunu değerlendiren ve şarj istasyonlarına odaklanan bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu doğrultuda, literatürdeki eksikliği gidermek ve katkı sunmak amacıyla, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini analiz etmek, mevcut durumu kapsamlı bir şekilde değerlendirmek ve olası eksiklikleri tespit etmek üzere bu araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışma, elektrikli otomobillerin yaygınlaşması için kritik bir rol oynayan

şarj istasyonlarına odaklanarak Türkiye'deki mevcut durumu veri zarflama yöntemi ile ele alınmıştır. Ele alınan konunun önemi; sürdürülebilir ulaşımı desteklemek, elektrikli araç kullanımını teşvik etmek ve altyapıyı geliştirmek açısından vurgulanmaktadır. Araştırma, Türkiye'nin elektrikli otomobil şarj altyapısındaki potansiyel eksiklikleri belirleyerek bu alanda gelişim için yönlendirici öneriler sunulmuştur. Sonuç olarak çalışmanın, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj altyapısına yönelik stratejik önerilere ışık tutması hedeflenmektedir.

Araştırmanın Önemi

Türkiye'de elektrikli otomobillerin yaygınlaşması, sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin temellerinin atılması açısından kritik bir adımdır. Ancak, bu dönüşümün başarılı olabilmesi için etkili bir şarj altyapısının oluşturulması gerekmektedir. Elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliği, bireysel ulaşımın dönüşümüne katkı sağlamanın ötesinde, enerji altyapısının güçlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, yeşil ekonominin teşvik edilmesi ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında da stratejik bir rol üstlenmektedir.

Akademik literatürde, elektrikli araçlar ve şarj istasyonları üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, yapılan araştırmalarda, elektrikli otomobil şarj istasyonları yeterliliği konusunda bir değerlendirme çalışması bulunmamaktadır. Bu noktada, Türkiye'nin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının mevcut durumunu objektif bir şekilde değerlendirmek bu çalışmanın önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi üzerine odaklanarak sürdürülebilir ulaşımın güçlendirilmesine yönelik stratejik önerilerde bulunmayı amaçlamaktadır.

Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerin aşılabilmesi için şarj istasyonlarının dağılımı, erişilebilirliği ve kapasitesinin etkin bir şekilde optimize edilmesi önem arz etmektedir. Elde edilecek bulgular, karar vericiler ve sektör paydaşları için daha verimli politikaların oluşturulmasına ve yeşil ekonominin teşvik edilmesine yönelik stratejik yol haritaları sunmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı nicel veri yöntemlerinden biri olan veri zarflama analizi ile Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğinin objektif bir değerlendirmesini gerçekleştirmektir. Bu sayede literatüre katkı sağlanması ve ileride yapılacak araştırmalara zemin oluşturması planlanmaktadır. Günümüzde elektrikli otomobil

teknolojisinin hızla evrim geçirmesi, şarj istasyonlarının optimal konumlandırılması ve etkin bir şekilde yönetilmesinin büyük bir önem kazanmasını sağlamıştır.

Elektrikli otomobillerin sürdürülebilir ulaşım geleceğinde kritik bir rol oynaması düşünüldüğünde, bu araştırma, şarj istasyonlarının yeterliliğine odaklanarak önemini arttırmaktadır. Türkiye genelinde mevcut şarj altyapısının etkinliğini değerlendirme amacı güden bu çalışmanın sonuçları sürdürülebilir ulaşım altyapısının güçlendirilmesine yönelik karar alıcılar ve sektör paydaşları için önemli bir rehberlik sunabilir.

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte, bu araştırma sektöre önemli bir katkı sağlamayı hedefleyerek şarj istasyonlarının gereksinimlerine dair daha fazla vurgu yapmayı ve kritik bir rol üstlenmeyi amaçlamaktadır. Elektrikli otomobiller ve şarj istasyonları genel olarak akademik literatürde incelenmiş olsa da özellikle şarj istasyonlarının yeterliliklerine odaklanan detaylı analizlerin literatürde eksik olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu doldurarak şarj istasyonlarının sürdürülebilir ulaşım ekosisteminin kritik bir parçası olduğunu vurgulamayı ve bu unsurların yeterliliklerini objektif bir şekilde analiz etmeyi hedeflemektedir.

2.LİTERATÜR İNCELEMESİ

Elektrikli otomobillerin enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılamak, çevresel etkileri en aza indirgemek ve sürdürülebilir ulaşım sistemleri kurmak, günümüzün en önemli çevre ve enerji hedeflerinden biri haline gelmiştir. Elektrikli otomobiller, içten yanmalı motor yerine elektrikle çalışan bataryalarla hareket eden sıfır emisyonlu taşıma araçlarıdır. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte, bu araçların şarj edilmesine yönelik altyapı ihtiyacı da artmaktadır. Literatürde ise genellikle elektrikli araçlar ve şarj istasyonları ayrı ayrı ele alınırken bu çalışma özelinde elektrikli otomobil şarj istasyonlarına odaklanılmıştır. Bu bölümde, literatür incelemesi üç alt başlıkta incelenmiştir. Bu alt başlıklar; elektrikli otomobil literatür taraması, veri zarflama analizi literatür taraması ve elektrikli otomobil şarj istasyonu literatür taramasıdır. Alt başlıklara ayrılarak yapılan literatür taramasıyla birlikte mevcut durum kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

2.1.Elektirkli Otomobil Literatür Taraması

Yeşil mobilitenin bir örneği olan elektrikli otomobiller enerji verimliliği ve çevre dostu özellikleriyle dünya genelinde hızla yayılmaktadır. Türkiye'de ise bu araçlar, fosil yakıt

tüketiminin azaltılması ve karbon salınımının düşürülmesi gibi avantajlarla sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunmakta ve giderek daha fazla ilgi görmekle birlikte popülerleşmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, geçmişten günümüze gerçekleştirilen elektrikli otomobillerle ilgili bir literatür taraması yapılmıştır. Bu bölümdeki amaç elektrikli otomobiller ile ilgili mevcut durumu ortaya koymaktır. Elektrikli otomobillerin (EO) tarihsel gelişimi, teknolojik yeniliklerin, ekonomik faktörlerin ve çevresel kaygıların bir birleşimi olarak şekillenmiştir.

Geçmişteki çalışmalar incelendiğinde; Marshall (1924) tarafından yapılan ilk incelemelerden itibaren elektrikli otomobillerin motorlu taşıma sistemlerine olan etkisi tartışılmaya başlanmıştır. Ancak 1930'larda, Philadelphia'daki elektrikli araçların hız denemeleri ve çeşitli yenilikler üzerine yapılan çalışmalar, elektrikli araçların potansiyeline dair erken dönemde bazı iyimser görüşler ortaya koymuştur (R., 1932).

Elektrikli otomobillerde 1960'larda yapılan araştırmalar önemli bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Bu dönemde, enerji krizlerinin etkisiyle, alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi artmış ve elektrikli otomobillerin yeniden popülerleşmesi için bilimsel araştırmalar hız kazanmıştır. Bu bağlamda, Orr (1967), elektrikli otomobillerin ekonomik açıdan nasıl daha sürdürülebilir hale getirilebileceğini ve bu araçların toplumsal faydalarını incelemiştir.

Aynı dönemde, Hoffman (1967), elektrikli otomobillerin sistem tasarımına dair önemli bir çalışma yapmıştır. Bu otomobillerin daha verimli hale gelmesi için gerekli olan mühendislik çözümlerini tartışmıştır. 1969 yılında ise Hoffman, elektrikli otomobillerin geleceği üzerine yaptığı bir diğer çalışmada; özellikle batarya teknolojilerindeki gelişmelerin elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasındaki kilit faktörlerden biri olduğunu vurgulamıştır (Hoffman, 1969).

Daha sonraki çalışmalar, 1980'lerin sonlarında, elektrikli otomobillerin ticari başarı potansiyelini araştıran birkaç önemli çalışma yapılmıştır. Beggs ve ark. (1981) araştırmada, ekonomik faktörler ve tüketici tercihleri göz önünde bulundurularak, elektrikli otomobillerin gelecekteki pazar payının artabileceğini ancak bunun için altyapı ve fiyatlandırma stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini öngörmüştür. Bu dönemde ayrıca, plastik gövde panelleri gibi yeni malzemeler üzerine yapılan araştırmalar elektrikli otomobillerin ağırlığını azaltarak verimliliklerini arttırmayı hedeflemiştir (Plastics, 1997). Ek olarak, Rienstra ve Nijkamp (1998), Amsterdam'da elektrikli otomobillerin ulaşım sistemi içindeki rolünü inceleyerek, 2015 yılına kadar elektrikli otomobillerin şehir içi ulaşımda önemli bir yer tutabileceğini öne sürmüşlerdir.

Diğer taraftan, 2000'li yılların başında, elektrikli otomobillerin güç kaynakları üzerine yapılan araştırmaların arttığı gözlemlenmiştir. Bu dönemde, batarya teknolojilerinin gelişimi, elektrikli araçların yaygınlaşmasındaki en önemli engellerden biri olarak öne çıkmıştır. Shukla ve ark, (2001), elektrikli araçlarda kullanılan enerji kaynaklarının verimliliğini değerlendirmiştir. Yanı sıra, batarya teknolojilerinin geliştirilmesinin bu araçların geleceği için kritik bir faktör olduğunu vurgulamıştır.

Aynı dönemde, Shinnar (2003), hidrojen ekonomisi ve yakıt hücreleri teknolojisinin elektrikli otomobiller için potansiyel bir alternatif olabileceğini savunmuştur. Batarya teknolojileri üzerine yapılan araştırmaların bir diğer önemli alanı ise, kullanılan elektrolitlerin iyileştirilmesidir. Öte yandan, Borchardt (2004), elektrikli otomobil bataryalarındaki elektrolit teknolojilerini inceleyerek polimer elektrolitlerinin bu alandaki potansiyeline dikkat çekmiştir. Elektrikli otomobillerin tasarım ve üretim süreçlerinde çevresel faktörlerin daha fazla ön plana çıkması gerektiğini vurgulayan çalışma ise Wright ve Curtis (2005) tarafından yapılmıştır.

Elektrikli ve hibrit araçların çevresel ve ekonomik etkileri üzerine yapılan araştırmalar 2000'lerin ortalarında artış göstermiştir. Makhkamdjanov (2006), Özbekistan'da elektrikli otomobillerin çevresel sorunlara çözüm sunma potansiyelini incelemiştir. Elektrikli ve hibrit otomobillerin hava kirliliğini azaltma ve fosil yakıt tüketimini düşürme konusunda önemli rol oynayabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca, Granovskii ve ark. (2006), konvansiyonel, hibrit, elektrikli ve hidrojen yakıt hücreli araçların ekonomik ve çevresel karşılaştırmasını yapmıştır. Sørensen (2007) ise, hidrojen ve hibrit araçların yol performansını simüle etmiştir.

Ek olarak, Høyer (2008), alternatif yakıtlar ve elektrikli-hibrit araçların tarihsel gelişimini ele almıştır. Duke, Andrews ve Anderson (2009), Yeni Zelanda'da uzun menzilli batarya elektrikli otomobillerin uygulanabilirliğini incelemiştir. Daha sonra, Dijk ve Yarime (2010), hibrit-elektrik otomobil gelişimini arz ve talep dinamikleriyle ilişkilendirerek bu teknolojilerin toplumun ve hükümetlerin iş birliğiyle hızla yayılabileceğine dikkat çekmiştir.

Elektrikli otomobillerin benimsenmesi günümüze yaklaştıkça daha geniş bir perspektiften incelemiştir. Lieven ve ark. (2011), Almanya'da yaptıkları araştırmada, elektrikli otomobil satın alma isteği üzerinde etkili olan faktörleri incelemiştir. Delang ve Cheng (2012), Hong Kong örneğinde ise tüketicilerin elektrikli otomobillere olan tutumları araştırılmıştır.

Bu bağlamda, Klöckner ve ark. (2013), elektrikli otomobil satın alımının, kullanıcıların diğer çevre dostu davranışlarına nasıl etki ettiğini araştırmış ve elektrikli otomobil alımının, olumlu çevresel etkilerin yayılmasına yol açabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, Bitar ve ark. (2014),

elektrikli otomobillerin motor sistemlerine dair simülasyonlar yapmışlardır. Ardından, Barbarossa ve ark. (2015), elektrikli otomobillerin benimsenmesinde bireysel kimliğin rolünü incelenmiş ve çevre bilincine sahip tüketicilerin elektrikli otomobillere daha yatkın olduğunu ortaya koymuşlardır.

Diğer çalışmalar incelendiğinde; Ustabaş (2015), Türkiye ekonomisi örneğiyle elektrikli otomobillerin mikro ve makro düzeydeki etkilerini çalışılmıştır. Fakat, Wielinski ve ark. (2016), serbest yüzeyli araç paylaşım sistemlerinde elektrikli ve hibrit otomobillerin kullanımını ele almışlardır. Brandstätter ve ark. (2017) ise, elektrikli otomobil paylaşım sistemlerinde şarj istasyonlarının yerleşimini optimize eden bir model geliştirmiştir.

Ek olarak elektrikli otomobillerin yaygınlaşması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ustabaş ve Simav (2018), otomotiv endüstrisindeki dönüşümün Türkiye'ye etkilerini inceleyerek yerli üretim ve elektrikli araçların ekonomik, çevresel ve toplumsal faydalarını vurgulamışlardır. Weiss ve ark. (2019) ise elektrikli ve plug-in hibrit araçların öğrenme hızları ve kullanıcı maliyetleri üzerinden bu araçların CO2 ve hava kirliliği emisyonlarını azaltma maliyetlerini analiz etmişlerdir.

Ayrıca, Gündüz ve Yakar (2020), Avrupa Birliği ve Türkiye'deki elektrikli otomobillere yönelik vergi teşviklerini inceleyerek bu teşviklerin elektrikli otomobil talebini artırmakta ne kadar etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer taraftan, Gavcar ve Kara (2020), elektrikli araç seçimi üzerine entropi ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak tüketicilerin hangi faktörlere göre araç tercih ettiklerini modellemişlerdir. Kaymaz ve Demir (2020) ise, elektrikli otomobiller için motor seçimini ele almıştır.

Yanı sıra, Ari (2020), küresel elektrikli otomobil piyasasını inceleyerek farklı ülkelerdeki pazar dinamiklerini ve bu araçların yaygınlaşmasına etki eden faktörleri değerlendirmiştir. Türkiye özelinde ise Barın ve arkadaşları (2021), elektrikli otomobil markalarının pazarlama stratejilerini YouTube gönderileri üzerinden analiz ederek sosyal medya kullanımının tüketici davranışları üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Günümüze en yakın çalışmalardan biri olan Alyar (2022), elektrikli araçların yapısı ve yangın riskleri üzerine çalışmış ve bu araçların güvenlik standartları ile ilgili önemli bulgulara ulaşmıştır. Daha sonra, Cerruti ve ark. (2023), elektrikli otomobillerin İtalya'nın enerji sistemi üzerindeki etkilerini değerlendirerek bu araçların enerji talebine ve sera gazı emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Acar ve Taşkın (2024) ise, Türkiye'de elektrikli otomobillerin

benimsenmesi sürecini nitel bir araştırma ile incelemiş, bu sürecin önündeki engeller ve fırsatları ele almışlardır.

Literatür incelemesinin bu bölümündeki çalışmalar, elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasının ekonomik, çevresel ve toplumsal etkilerini daha iyi anlamamıza olanak tanımaktadır. Aynı zamanda elektrikli otomobillerin geçmişten günümüze kadar gelişimine dair önemli veriler sunulmaktadır.

2.2. Veri Zarflama Analizi Literatür Taraması

Veri Zarflama Analizi (VZA), karar birimlerinin göreceli etkinliğini değerlendirmek için matematiksel programlama yöntemlerini kullanan bir performans ölçüm tekniğidir. Temel olarak Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) ve Banker, Charnes ve Cooper (BCC) olmak üzere iki ana modelden oluşmaktadır. Literatürde VZA, farklı disiplinlerde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Verimlilik kavramının teorik temelleri, Koopsman'ın 1951 tarihli çalışmasına dayanmaktadır. Nitekim, teknik etkinlik kavramı da ilk kez Koopsman tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu temeller üzerine Debreu (1951) ve Farrell (1957), verimlilik ölçümlerini geliştirerek yüksek girdili firmaların performans analizine yönelik kapsamlı yöntemler sunmuşlardır. Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR), söz konusu teorik çerçeveyi genişleterek 1978 yılında ilk VZA modelini yani CCR modelini, literatüre kazandırmışlardır. Bunu takiben, 1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper (BBC) ölçek ekonomilerinin göz ardı edilmesinin analitik eksikliklere yol açabileceğini öne sürerek farklı ölçeklerde değişken getirilere olanak tanıyan BCC modelini geliştirmiştir.

Veri zarflama analizi ile ilgili 2000'lerin başlarında yapılan çalışmalara baktığımızda; Aktürk ve Kıral (2002) tarafından yapılan araştırmada tarım sektöründe pamuk üretim faaliyetlerinin etkinliği VZA ile analiz edilmiştir. Daha sonra, Kocakalay ve Işık (2003) ise, kâr amacı güden ve gütmeyen işletmelerin etkinliklerini değerlendirmek amacıyla VZA'yı kullanmışlardır. Ayrıca, Nakanishi ve ark. (2004) akıllı ulaşım sistemlerinin performans değerlendirmesinde VZA kullanmış, bu yöntemle ulaşım ağlarının etkinliğini ölçmüş ve sistem iyileştirmeleri için önerilerde bulunmuştur. Bu dönemdeki diğer önemli çalışmalar arasında Farzipoor ve ark. (2005) tarafından yapılan araştırma yer almaktadır. Araştırma, birden fazla giriş değişkeni arasındaki korelasyon katsayılarının VZA sonuçları üzerindeki etkisini incelemiştir. Böylece, çoklu girişli sistemlerde verimlilik ölçümleri üzerinde korelasyonun rolü vurgulanmıştır.

Yanı sıra, Lin ve Hong (2006) ise, uluslararası havaalanlarının operasyonel performansını VZA ile değerlendirerek, hava ulaşım sektöründeki etkinlik analizlerine katkıda bulunmuşlardır. Öte yandan, Barnum ve ark. (2007) kamu taşımacılığı alt birimlerinin verimliliğini karşılaştırarak, toplu taşıma sistemlerinin iyileştirilmesi için veriye dayalı önerilerde bulunmuşlardır. Bu çalışmalar, veri zarflama analizinin farklı sektörlerdeki etkinlik analizlerinde ne denli güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Veri zarflama analizi kullanılan araştırmalara 2000'lerin sonlarında, enerji ve çevre alanlarında etkinlik değerlendirmeleri için yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Zhou ve ark. (2008), enerji ve çevre çalışmalarında VZA'nın kullanımını inceleyerek bu yöntemle çevresel sürdürülebilirliğin ölçülmesinin önemini vurgulamıştır. Kuosmanen ve ark. (2009), sera gazı azaltım stratejilerinin çevresel maliyet-fayda analizini VZA ile yapmış, alternatif zamanlama stratejilerinin etkinliğini değerlendirmiştir. Ulucan ve Atıcı (2010) ise, Türkiye elektrik sanayisinde parametrik olmayan etkinlik analizi kullanarak enerji üretimindeki verimliliği ve çevresel etkileri incelemişlerdir. Bu çalışmalar, enerji ve çevre politikalarının iyileştirilmesinde VZA'nın önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

İlerleyen yıllarda veri zarflama analizi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaya devam etmiştir. San Cristóbal (2011), yenilenebilir enerji teknolojilerinin verimliliğini çok kriterli VZA ile incelemiştir. Ek olarak, Kahveci (2012), tekstil sektöründe kaynak temelli stratejilerin ihracat performansına etkisini VZA ile değerlendirmiştir. Diğer yandan, Çiçek ve Onat (2013), inovasyon faaliyetlerinin firma performansına etkisini İMKB üzerinde VZA ile araştırmışlardır. Bray ve ark. (2014) ise, ulaşım sistemleri için bulanık entropi tabanlı özellik seçim teknikleri kullanarak VZA uygulamıştır. Yanı sıra, Sözen ve diğerleri (2015), Türkiye'de rüzgâr santrali yer seçiminde VZA ve TOPSIS yöntemlerini birleştirerek analiz yapmışlardır.

Bu bağlamda, Çakmak ve Örkcü (2016), Türkiye'deki illerin sosyo-ekonomik göstergelerle etkinliğini VZA ile incelemiştir. Ayrıca, Kutin ve ark. (2017), ASEAN konteyner limanlarının verimliliğini VZA kullanarak değerlendirmiştir. Gencer ve Akkucuk (2018) ise, otomotiv sektöründe satış sonrası verimliliği çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçmüşlerdir. Diğer taraftan, Gobbi ve ark. (2019), Brezilya limanlarında plastik atıkların çevresel yönetimini VZA ile analiz etmiştir. Daha sonra, Ergülen ve ark. (2020), COVID-19 sürecinde Türkiye'nin etkinliğini VZA ile değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, VZA'nın çeşitli sektörlerde etkinlik analizinde güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Ek olarak veri zarflama analizi finansal, çevresel ve inovasyon odaklı performans değerlendirmelerinde kullanılmaya devam etmiştir. Bu bağlamda, Konak ve Ayan Civelek (2021), BİST Teknoloji Endeksi'nde finansal performans değerlendirmesi yapmak için VZA ve TOPSIS yöntemlerini birleştirmiştir. Diğer yandan, Boccali ve ark. (2022), çevrimiçi yorum analizlerini kullanarak VZA ile değer temelli fiyat değerlendirmesi yapmış ve yöneticiler için stratejik karar desteği sağlamıştır. Yaşar ve Akın (2023) ise, Doğu Avrupa ülkelerinin çevresel performansını VZA ile incelemiş, çevre politikalarının etkinliğini değerlendirmiştir. Koç ve Gürler (2024), OECD ülkelerinin çevre koruma harcamalarının etkinliğini VZA ile ölçmüştür.

Veri zarflama analizi ile ilgili mevcut çalışmalar farklı alanlarda verimlilik ve performans değerlendirmeleri için güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Finansal, çevresel ve sosyal verimlilik analizlerinde kullanımı, karar vericilere etkin stratejiler geliştirme konusunda önemli bir katkı sunduğu gözlemlenmiştir.

2.3. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Literatür Taraması

Elektrikli araçlar, 19. yüzyılda kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, benzinli araçlara kıyasla daha az popülerdi ve genellikle şarj için ev prizleri gibi basit yöntemler tercih edilmekteydi. Zamanla elektrikli araçların yaygınlaşması ve çevresel faydaları şarj altyapısının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Literatürde elektrikli otomobiller yerine elektrikli araçlar kullanıldığı için çalışmanın bu bölümünde elektrikli araçlar olarak literatür taraması yapılmıştır. Alanyazın incelendiğinde; Ikeya ve ark. (1997), Japonya'daki batarya şarj sistemlerini incelemiş ve gece şarjının elektrik şebekesi üzerindeki yükü dengeleyebileceğini göstermiştir. Bu tür araştırmalar, elektrikli araçların yaygınlaşması için şarj altyapısının önemini vurgulamaktadır.

Elektrikli araç (EV) şarj istasyonlarıyla ilgili 2000'li yılların başlarında yapılan çalışmalar; Nansai ve ark. (2001), şarj altyapısının yaşam döngüsü analizini ele alırken, Dhameja (2002) hızlı şarj teknolojilerine odaklanmıştır. Yanı sıra, Bulletin (2003), şarj istasyonlarında güneş enerjisi kullanımını teşvik etmiştir. Ayrıca, Jiang ve Dougal (2004), yakıt hücresi destekli şarj istasyonu tasarımı üzerine çalışmalar yapmış, Malkhandi (2006) ise akıllı batarya sistemlerini geliştirmiştir.

Diğer yandan, Tomić ve Kempton (2007), elektrikli araç filolarının şebeke desteği için kullanımını incelemiş, Weinert ve ark. (2008) ise Çin'deki elektrikli araçların geleceğini değerlendirmiştir. Daha sonra Thomas (2009), yakıt hücresi ile bataryalı elektrikli araçları karşılaştırarak bu teknolojilerin avantajlarını ve zorluklarını analiz etmiştir. Mevcut

araştırmalar, şarj altyapısının geliştirilmesi ve entegrasyonu açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Elektrikli araç şarj istasyonlarına yönelik çalışmalar 2010 yılından itibaren hızla artmıştır. Dolayısıyla, Brown, Pyke ve Steenhof (2010), standartların gelişmekte olan elektrikli araç pazarında oynadığı kritik rolü vurgulamış, Miranda ve ark. (2011) ise akıllı bir şarj ağı için çoklu ajan yönetim sistemleri geliştirmiştir. Ayrıca, Liu ve arkadaşları (2012), merkezi şarj istasyonlarının kablosuz iletişim ağlarını modelleyip simüle ederken, Wang ve Lin (2013), farklı türde şarj istasyonlarının konumlandırılmasına yönelik kapsamlı bir model sunmuştur. Bunun yanında, Clemente ve arkadaşları (2014), araçların şarj istasyonlarına akıllı şekilde atanmasını ele almış, Capasso ve Veneri (2015) ise tam elektrikli ve plug-in hibrit araçlar için bir DC şarj istasyonunun deneysel çalışmasını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar, şarj altyapısının hem teknik hem de yönetimsel açıdan gelişmesine önemli katkılar sağlamıştır.

İlerleyen yıllarda elektrikli araç şarj istasyonları ile ilgili çalışmalar artış göstermeye devam etmektedir. Nitekim, Cuma ve ark. (2016), Çukurova Üniversitesi'nde elektrikli araç ulaşımı ve şarj istasyonu uygulamalarını simüle ederek yerel bir yaklaşım sunmuştur. Bu bağlamda, Fathabadi (2017), güneş ve rüzgâr enerjisi ile çalışan, şebekeye bağlı bir elektrikli araç şarj istasyonu modeli geliştirmiş ve bu modelde araçtan şebekeye enerji aktarımını incelemiştir. Bunun yanı sıra, He ve ark. (2018), elektrikli araçların sürüş menzilini dikkate alarak optimal şarj istasyonu konumlandırma üzerine bir model sunmuştur. Tel ve Kuşdoğan (2019), kablosuz güç iletimi ile elektrikli araçların şarj edilmesi üzerine çalışmalar yaparken, Topal (2020), elektrikli otobüsler için kullanılan hızlı şarj sistemlerini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Tüm bu çalışmalar, şarj altyapılarının verimliliğini artırmaya yönelik farklı perspektifler sunarak hem yerel hem de küresel ölçekte önemli katkılar sağlamıştır.

Son yıllarda elektrikli araç şarj istasyonları konusundaki çalışmalar daha da hızlanmış ve farklı yöntemlere odaklanmıştır. Bu bağlamda, Narasipuram ve Mopidevi (2021), şarj istasyonlarının teknolojik tasarım ve geliştirme süreçlerini ele almıştır. Ayrıca, Karapınar ve Daldaban (2022), elektrikli araçların şarj yöntemleri ve şarj istasyonu tipleri üzerine kapsamlı bir inceleme sunmuştur. Bununla birlikte, Alkan ve ark, (2023), Konya örneğinde AHP yöntemiyle uygun şarj istasyonu yer seçimine yönelik bir model geliştirmiştir. Ek olarak, Bilsel ve ark. (2024), sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı için elektrikli araç şarj istasyonu yer seçimi problemini çok amaçlı bir modelle ele almıştır.

Geçmişten günümüze elektrikli araç şarj istasyonlarına yönelik yapılan araştırmalar, teknolojik gelişmelerle paralel olarak hızla çeşitlenmiştir. Başlangıçta temel altyapı ve şarj yöntemleri üzerine yoğunlaşan çalışmalar, zamanla akıllı sistemler, kablosuz şarj ve sürdürülebilir enerji çözümleri gibi daha ileri düzey konulara evrilmiştir. Özellikle son yıllarda, şarj istasyonlarının yer seçimi, enerji verimliliği ve çevresel etkiler üzerine yapılan analizler önemli bir yer tutmaktadır. Literatür incelemesinin bu bölümünde, elektrikli araç şarj istasyonlarının evrimi ve mevcut durumu daha kapsamlı bir şekilde ele alınmakta ve bu alandaki gelişmelerin anlaşılmasına katkı sağlanmak amaçlanmıştır.

3.ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE TÜRLERİ

3.1. Elektrikli Araçlar

İnsanoğlu, tarih boyunca giderek belirginleşen ve temel bir ihtiyaç haline gelen ulaşım gereksinimini karşılamak adına çeşitli yöntemler ve teknolojiler geliştirmiştir. Ulaşım, insanların yer değiştirme ve farklı bölgelere erişim sağlama ihtiyacından doğmuş ve bu süreç zaman içinde çeşitli evrimler geçirmiştir. Literatürde, elektrikli otomobiller, genel olarak elektrikli araçlar başlığı altında ele alınmaktadır. Bu nedenle, çalışmanın bu bölümde elektrikli otomobiller özelinde elektrikli araçlar incelenmiştir.

Tarihsel kaynaklar, kendi tahrik sistemine sahip ilk aracın 1769 yılında Fransız mühendis ve tamirci Nicolas Joseph Cugnot tarafından tasarlanan bir askeri traktör olduğunu doğrulamaktadır (Üstün, 2017). Cugnot'un icadı, ulaşım teknolojisinin evriminde bir kilometre taşı oluşturarak gelecekteki motorlu taşıtların temelini atmıştır.

Günümüzde popüler olan elektrikli otomobiller ise aslında 1800'lerin başlarına kadar uzanan bir geçmişe sahiptir (Guarnieri, 2012). Yaklaşık olarak 200 yıldır elektrikli otomobillerin evrimi devam etmektedir. 1800'lü yıllarda, mekanik enerjiyle işleyen ilk otomobillerin ortaya çıkmasıyla birlikte elektrikli otomobiller için temel oluşturulmuştur. Kısa mesafe yolculukları, elektrikli otomobillerin menzilini o dönemde pek etkilemediği için elektrikli otomobiller oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Aynı zamanda, elektrikli otomobiller için ilk rejeneratif fren sistemi 1897 yılında geliştirilmiştir. Geliştirilen rejeneratif fren sistemi otomobillerin menzilini artırmak amacıyla kullanılmıştır (Chan, 2013). Elektrikli otomobiller, 1800'lü yıllara kadar uzanan tarihleriyle birlikte teknolojik açıdan önemli evrimler geçirmiştir. Ayrıca, otomobiller zaman içinde gelişim de göstermiştir (Kocabey, 2018). Bu gelişmeler, günümüz elektrikli otomobil teknolojisinin temelini oluşturmuştur.

Elektrikli otomobiller için 1830'lu yıllarda kullanılmak üzere şarj edilemeyen piller mevcuttu (Tural, 2014). Ticari elektrikli otomobillerin üretim süreci için neredeyse yarım yüzyıl beklenmesi gerekiyordu (Kerem, 2014). Bu sebeple, elektrikli otomobillerin popüler hale gelmesinde batarya teknolojisinin ilerlemeleri önem arz etmektedir.

Fransız elektrik mühendisi Gustave Trouvé, 1881 yılında, tarihsel olarak önemli bir kilometre taşı olan ilk elektrikli araç tasarlamıştır (Ehsani, 2018). İlk tasarlanan elektrikli araç, kurşun-asit pillerle güçlendirilmiştir. Ek olarak, 0,1 Hp'lik bir doğru akımlı motor tarafından tahrik edilen üç tekerlekli bir bisikletti. Tüm aracın ağırlığı sürücü dahil olmak üzere yaklaşık olarak 160 kg seviyesinde bulunmaktaydı (Høyer, 2008).

Benzer bir elektrikli araç ise, 1883 yılında iki İngiliz profesör tarafından tasarlamışlardır. Fakat, o dönemdeki sınırlı teknoloji seviyeleri nedeniyle araç halk arasında beklenen ilgiyi uyandırmamıştır. Bu dönemdeki benzinli araçlar, 15 km/s hız ve 16 km menzile sahiptir. Bu sebeple elektrikli araç (EA) kullanımı tercih edilmemiştir (Høyer, 2008).

Elektrikli otomobiller için ilk adımlar 19. yüzyılda atılmıştır. İçten yanmalı motor teknolojisi ise 20. yüzyıldan itibaren günümüze kadar ulaşım ihtiyaçlarını büyük ölçüde karşılamıştır. İçten yanmalı motorlar birincil enerji kaynağı olarak buharın yerini almıştır. Elektrik enerjisi ile çalışan otomobiller, dizel veya benzinle çalışan otomobillerden çok daha önce üretilmiştir (Kerem, 2014).

Fransız M.A. Darracq tarafından 1897 yılında tanıtılan rejeneratif frenleme sistemi o dönemin en önemli teknolojik ilerlemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, aracın kinetik enerjisini geri kazanarak akülerin tekrar şarj edilmesini mümkün kılmakta ve sürüş menzilini önemli ölçüde arttırmaktadır (Yıldırım, 2022). Özellikle kentsel sürüş koşullarında enerji verimliliğine önemli bir katkıda bulunduğu için hibrit elektrikli araçlar (HEA) ve elektrikli araçlar teknolojilerine önemli katkılarda bulunmuştur.

19. yüzyılda benzinli otomobillere kıyasla elektrikli otomobiller daha fazla geliştirilmeye açıktı. "Compagnie Internationale des transports automobiles électriques" firması tarafından "La Jamais Contente" adlı araç 1899 yılında üretilmiştir (Larminie ve Lowry, 2003). Dakikada ise 1 mil rekorunu kırmıştır. Ayrıca, 106 km/saat hızla dünyada 100 km/saat limitini aşan ilk kara aracı olmuştur (Varol, 2019).

Ford Model T, 1908-1927 yılları arasında üretilen ve dünyanın ilk seri üretim otomobili olan bir araçtır. Görece kısa bir süre içinde piyasaya sürülen bu model o dönemdeki rakiplerine

kıyasla sağlam ve ekonomik olması nedeniyle büyük ilgi görmüş ve hızla pazarın lideri haline gelmiştir (Callihan, 2010).

Elektrikli otomobiller alanında yapılan çalışmalar 1980 yılına kadar olan dönemde oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Çevresel endişeler bu alandaki araştırmaların artmasına neden olmuştur. Güç elektroniği ve pil teknolojisi alanındaki ilerlemelere rağmen araç performansı ve yelpazesi tatmin edici değildi. Modern elektrikli otomobil çağı yani 1980'lerin sonları ve 1990'ların başları, özellikle General Motors (GM) tarafından üretilen EV1 ve Peugeot Société Anonyme (PSA) 106 Electric gibi gerçekçi otomobillerin piyasaya sunulmasıyla doruk noktasına ulaşmıştır. Piyasaya sunulan otomobiller, önceki modellere kıyasla başarılı sonuçlar elde etmiştir (Schott ve ark., 2015). Ancak 1990'ların başlarında elektrikli otomobillerin benzinli otomobillerle performans ve menzil bakımından rekabet edemeyeceğini göstermiştir. Elektrikli otomobillerin benzine karşı rekabet edememesinin temel nedenlerinden biri bataryalardaki ağırlık sorudur.

"General Motors" firmasının piyasaya sürdüğü EV1 modeli ilk seri üretim elektrikli otomobildir (Johnson, 1999). Bu model, 1996-1999 yılları aralığında toplamda 1.117 adet üretilmiştir. Elektrikli otomobillerin içten yanmalı motorlara göre seri üretime geçiş süreci geliştirme çalışmalarının başlangıcından itibaren uzun bir zaman almasına rağmen yaklaşık doksan yıl sonra mümkün olabilmiştir. Bu durum, elektrikli otomobillerin karmaşık bir gelişme sürecinden geçtiğini vurgulamaktadır.

Türkiye perspektifinden elektrikli otomobillerin tarihine göz attığımızda ise 19. yüzyılın sonlarına doğru bu alanda önemli çalışmaların yapıldığını görebiliriz. Elektrikli tahrikli araçlar üzerine çalışmalar yapan bir isim olan İngiliz mühendis Magnus Volk'tür. Magnus Volk, 1887 yılında Immisch & Co. Şirketi'ne katılmıştır. İngiliz mühendis o dönemde Osmanlı Padişahı II. Abdülhamid için özel bir elektrikli araç tasarlamıştır (Volk, 1971).

Tasarlanan elektrikli araç, Osmanlı İmparatorluğu'nun 34. padişahı olan II. Abdülhamid için özel olarak üretilmiştir. II. Abdülhamid döneminde saygın mühendislik dergilerinde geniş bir yankı bulmuştur. Magnus Volk'ün bu çalışması, o dönemde teknoloji ve mühendislik alanında Osmanlı İmparatorluğu'nun ilgi odağı olmuş ve aracın tasarımı konusunda yapılan yazılı yayınlar bu ilgiyi pekiştirmiştir (Volk, 1971).

Özel olarak tasarlanan elektrikli araç, saatte 10 mil hıza ulaşabilen ve 50 mil menzile sahip olan bir taşıtı temsil etmekteydi. Bu araç, yaklaşık 350 kilogram ağırlığındaki bir batarya ile güçlendirilmiştir. Batarya, 20 Ah kapasiteye, 48 V voltajına ve 24 hücreden oluşuyordu. Ayrıca,

araç 1 beygir gücünde bir elektrik motoruna sahiptir (An Electric Dog-Cart, 1888; British Autocars for the Sultan of Turkey, 1895).

Türkiye'de ve dünya genelinde, elektrikli otomobillerin evriminde uzun bir duraklama dönemi yaşanmıştır. Bu duraklama dönemi, 1973 yılında OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü) tarafından uygulanan petrol ambargosu ile tetiklenmiştir. OPEC'in petrol ambargosu dünya genelinde önemli bir petrol krizine yol açarak enerji güvenliği konusunu gündeme getirmiştir (Volti, 2005). Bu kriz, özellikle gelişmiş ülkelerde enerji bağımlılığını azaltmak amacıyla alternatif yakıtlı araç teknolojilerine olan ilgiyi arttırmıştır.

Batarya teknolojisi, günümüzde de elektrikli araçların gelişimi önünde önemli bir engel teşkil etmektedir. Bataryalar, EA'ların aracın genel performansını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, bataryalar araçların menzilini de sınırlamaktadır. Yüksek akım ve gerilim üretebilmelerine rağmen bir aracın boyutuna uygun bir bataryayı yerleştirmek son yıllara kadar mümkün olmamıştır. Hacim ve birim ağırlık başına enerji depolama kapasitesi son derece zayıf olduğu için bu durum bataryaların EA'ların potansiyelini 21. yüzyılın başlarına kadar kısıtlamıştır (Menak ve ark., 2021).

Bu dönemde, birçok devlet ve kurum enerji kaynaklarına çeşitlilik kazandırmak ya da sürdürülebilir enerji teknolojilerini geliştirmek amacıyla alternatif enerji kaynaklarına yönelik yatırımlara ve araştırma geliştirme faaliyetlerine destek vermiştir. Ancak, teknolojideki sınırlamalar nedeniyle elektrikli araçlar o dönemde henüz istenilen performansa ulaşamamış ve içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet gücü zayıf kalmıştır. Petrol krizinin sona ermesiyle birlikte bu alandaki ilgi ve yatırımlar da zaman içinde azalmış ve elektrikli otomobillerin evrimi bir süreliğine duraklamıştır.

2000'li yılların başlarında yakıt tüketimini en aza indirgemek amacıyla elektrikli hibrit araçların, elektrikli araçların ve küçük araçların kullanımını artırmaya yönelik çalışmalara başlanmıştır. 2004 yılında, Kaliforniya merkezli otomobil üreticisi Tesla Motors tarafından Tesla Roadster geliştirilmiştir. Tesla Roadster 2008 yılında piyasaya sürüldü. 2010 yılında ise, Nissan Leaf ve Mitsubishi MiEV gibi elektrikli otomobiller, Amerika ve Japonya gibi çeşitli ülkelerde satışa sunulmuştur. 2012 yılından itibaren ise, BMW ActiveE, BYD e6, Citroen C1, Ford Focus Electric, Honda Fit, Coda, Mercedes-Benz Vito E-cell, Mia Electric, Renault Fluence Z.E., REVAi, Buddy, Smart ED, Tazzari Zero, Tesla Model S Transit Connect Electric, Wheego Whip LiFe, gibi birçok elektrikli otomobil piyasada yerini almıştır (Yıldırım, 2022).

Bu süreç, elektrikli otomobil teknolojilerinin yaygınlaşması ve kullanımının artması için önemli bir dönemeçtir.

Çin, son yıllarda elektrikli otomobil üretiminde ve kullanımında küresel ölçekte önemli bir konuma yükselmiştir. Bu başarının ardında yatan temel faktör; hükümetin güçlü teşvik politikaları, yerli üreticilerin hızla gelişmesi ve batarya teknolojilerindeki önemli ilerlemelerdir. Çin, 2023 yılı itibarıyla dünya genelindeki elektrikli araç satışlarının büyük bir kısmını üstlenmekte olup, BYD, NIO, Xpeng ve Li Auto gibi markalar hem iç pazarda hem de küresel ölçekte önemli bir pazar payı elde etmiştir. Çin hükümeti, çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek amacıyla elektrikli araç alımlarına yönelik vergi indirimleri ve hibe programları sunmaktadır. Aynı zamanda büyük şehirlerde elektrikli araçlara özel yol ve park alanları gibi ayrıcalıklar sağlanmaktadır. Bu politikalar, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasına büyük katkı sağlamakta ve ülke genelinde şarj altyapısının hızla büyümesine olanak tanımaktadır. Çin'deki bu hızlı gelişim, yalnızca iç pazarla sınırlı kalmayıp, Çinli otomobil üreticilerinin global pazarda da rekabet gücünü arttırmaktadır (Çokgezen, 2020).

Uzakdoğu ülkelerine baktığımızda özellikle Japonya ve Güney Kore elektrikli otomobil teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Sabır ve Taştan, 2023). Japonya, elektrikli otomobil pazarında uzun yıllardır önemli bir oyuncudur. Nissan ve Toyota gibi markalar, hibrit araçlarla başlamış son yıllarda ise tamamen elektrikli modellere yönelmiştir (Markets and Data, 2024). Güney Kore'de Hyundai ve Kia markalarıyla EV pazarında hızla büyürken LG Chem gibi batarya üreticileriyle küresel tedarik zincirine katkı yapmaktadır. Ülkede şarj altyapısına yapılan yatırımlar ve çevre dostu ulaşım politikaları elektrikli otomobil kullanımını da arttırmaktadır (Beev, 2024).

Son yıllarda dünya genelinde çevresel endişeler, enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik gibi faktörlerle birlikte elektrikli otomobillere olan ilgi yeniden artmıştır. Teknolojik gelişmeler batarya teknolojisinin iyileştirilmesi, çevre dostu araçlara yönelik talep ve elektrikli araçların benimsenmesini hızlandırmıştır. Türkiye'de de bu kapsamda çeşitli teşvikler ve altyapı gelişmeleriyle elektrikli otomobiller desteklenmeye başlanmıştır.

Geleceğin otomobil teknolojisi, günümüzde sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri ön planda tutan elektrikli otomobil teknolojilerine olarak tanınmaktadır (Boyalı, 2008). Bu teknolojiler, fosil yakıtlara dayalı araçların neden olduğu çevresel sorunları azaltarak temiz enerji kaynaklarına dayalı bir mobilite geleceği sağlamayı hedeflemektedir. Elektrikli otomobiller,

elektrik motorları ve gelişmiş batarya teknolojileri sayesinde yüksek enerji verimliliği ve düşük karbon ayak izi sunarak çevre dostu bir ulaşım alternatifi sunmaktadır.

Ancak, şu anki durumda Türkiye'deki elektrikli otomobil evrimi, henüz yeterli şarj istasyonu altyapısının olmaması nedeniyle tam anlamıyla hız kazanamamıştır. Elektrikli otomobillerin yaygın olarak kullanılabilmesi için şarj altyapısının genişletilmesi önemli bir adımdır ve bu konuda yapılan yatırımların arttırılması gerekmektedir.

3.2.Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli otomobiller, günümüzde ulaşım sektöründe önemli bir değişimi ve dönüşümü temsil etmektedir. Bu otomobiller, geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtlara çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Elektrikle çalışan otomobiller, fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltarak hava kalitesini iyileştirme ve karbon ayak izini minimize etme potansiyeline sahiptirler (Chan, 2003). Ayrıca, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla birlikte elektrikli otomobiller ulaştırma sektörünü daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru yönlendirmektedirler (Özbay ve ark., 2020). Bu bağlamda, elektrikli otomobil türleri, teknolojinin çeşitliliği ve adaptasyonu ile kullanıcılara çeşitli çevre dostu ulaşım seçenekleri sunmaktadırlar.

Elektrikli otomobillerin çeşitliliği farklı segmentlerde ve ihtiyaçlara yönelik olarak tasarlanmış farklı türleri içermektedir (Hosseinpour ve ark., 2015). Bu çeşitlilik, kullanıcıların mobilite ihtiyaçlarına uygun çözümler bulmalarına olanak tanımaktadır. Hibrit modeller, elektrikli ve içten yanmalı motorların bir arada kullanılmasıyla kısa ve uzun mesafelerde esnek bir sürüş sunmaktadır (Karamehmet ve Morgül, 2018). Literatürde belirtildiği üzere; tamamen elektrikli araçlar, sadece elektrik motorlarıyla çalışarak sıfır emisyonlu taşıma sağlamaktadır (Gençer ve Bediroğlu, 2024). Fişli hibrit araçlar, şarj edilebilir bataryaları sayesinde kısa mesafelerde elektrikle çalışabilirken uzun mesafelerde içten yanmalı motorları devreye alabilirler. Yakıt hücreli araçlar, hidrojen kullanarak sadece su buharı üreterek çevre dostu bir sürüş sunmaktadırlar (Demir, 2022). Bu çeşitlilik aynı zamanda elektrikli otomobil teknolojisinin adaptasyonunu arttırarak sürdürülebilir ulaşımın önünü açmaktadır. Elektrikli otomobiller, gün geçtikçe gelişen teknolojileri ve genişleyen altyapıyı kullanarak çevre üzerindeki etkileri en aza indirme konusunda önemli bir rol oynamaktadır.

Elektrikli otomobiller, gün geçtikçe gelişen teknolojiler ve genişleyen altyapı ile çevre üzerindeki etkileri en aza indirmede önemli bir katkı sağlamaktadır (Kerem, 2014). Ancak, bu teknolojinin yaygınlaşması ve etkili bir şekilde kullanılabilmesi için doğru altyapının

oluşturulması gerekmektedir. Bu noktada, elektrikli otomobil şarj istasyonlarının planlanması ve kurulması büyük bir öneme sahiptir (Birleştirici ve ark., 2015). Elektrikli otomobillerin türlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi şarj istasyonlarının ihtiyaçlarını belirlemede kritik bir etki yaratmaktadır. Bu ihtiyaçların doğru anlaşılması ise güçlü ve sürdürülebilir bir şarj altyapısının etkin bir şekilde oluşturulmasına katkı sağlaması beklenmektedir. Şarj istasyonlarının tasarımı, kapasitesi ve stratejik yerleşimi gibi faktörler, elektrikli araçların kullanımını teşvik edecek ve yaygınlaşmalarını mümkün kılacaktır. Bu çerçevede, mevcut teknoloji ve altyapıyı değerlendiren bir yaklaşım, elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasını hızlandıracak ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemine katkı sağlayacaktır.

Elektrikli otomobillerin mevcut türlerini anlamak, planlanan elektrikli otomobil şarj istasyonlarını kurmadan önce kapsamlı bir inceleme gerektirmektedir (Bilgilioğlu, 2022). Elektrikli otomobil türlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi şarj istasyonu ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yapısal sistemler perspektifinden ele alındığında elektrikli otomobil tiplerini dört temel kategoride inceleyebiliriz. Şarj istasyonlarının etkin bir şekilde tasarlanması ve kurulması için gerekli özelliklerin belirlenmesinde, elektrikli otomobil türlerinin incelenmesi gerekmektedir. Böylece, güçlü ve sürdürülebilir bir şarj altyapısının etkin bir şekilde oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

3.2.1.Hibrit Araçlar (HEV)

Hibrit araç ifadesi, en az iki enerji kaynağını içeren bir tahrik sistemi tarafından desteklenen bir aracı tanımlamaktadır (Arabacı, 2019). Hibrit elektrikli otomobil ise enerji kaynaklarından birini elektrik motoru kullanarak sağlayan, diğer tahrik kaynağını ise genellikle benzinli veya dizel bir içten yanmalı motor gibi farklı alternatiflerden seçen bir araçtır. Bu tip otomobiller, elektrik motoru ve içten yanmalı motorun entegre bir şekilde çalışmasıyla sürüş verimliliği ve çevre dostu özellikler sunmaktadır.

İçten yanmalı motor teknolojisindeki hızlı gelişmeler 1900'lü yılların başlarında kaydedilmiştir (Gürbüz ve Kulaksız, 2016). Bununla birlikte, hibrit elektrikli taşıtlar popülerliğini kaybetmiştir. Sonrasında hibrit elektrikli otomobiller seri üretimde geride kalmıştır. Mevcut durum, petrolün yaygın kullanımının ve Henry Ford'un benzin motorlarındaki temel sorunları çözerek motorları seri üretilebilir hale getirmesinin etkisiyle daha da belirgin hale gelmiştir. Ancak, 1973 ve 1977 yıllarında küresel enerji krizleriyle birlikte, mevcut petrol kaynaklarının sınırlı olduğu gerçeği ortaya çıkmıştır (Arı, 2023). Sonucunda ise alternatif enerji kaynaklarıyla çalışan taşıtlara olan ilgi artmıştır. İlginin azalmasıyla birlikte hibrit elektrikli otomobiller tekrar

ön plana çıkmıştır. Modern hibrit elektrikli otomobillerde bu dönemden sonra kayda değer ilerlemeler gözlemlenmiştir (Uğur, 2011).

Lohner-Porsche Elektromobil, Ferdinand Porsche tarafından tasarlanmıştır. Elektromobil 1899 yılında ortaya çıkmıştır. İlk başta tamamen elektrikle çalışan bir araç olan Elektromobil, Porsche tarafından yaklaşık bir yıl sonra içten yanmalı motor eklenerek hibrit bir konum kazanmıştır. Tekerlek içine entegre edilen elektrik motorları aracılığıyla hareket eden bu taşıt içten yanmalı motora bağlı bir jeneratör ve batarya kullanarak enerji sağlamıştır (Fallah, 2014). Bu özellikleriyle, Elektromobil, hibrit teknolojiyi kullanan ilk seri elektrikli taşıt olarak tarihe geçmiştir.

Woods Motor Vehicle şirketi, 1927 yılında hibrit elektrikli araç üretimine başlayarak bu alandaki faaliyetlerine adım atmıştır (Kabaktepe, 2012). Bu üretilen araç, ilk paralel hibrit olarak kabul edilebilecek bir yapıya sahiptir. Çünkü dört silindirli bir içten yanmalı motora ek olarak bir elektrik motorunu içermektedir. Diğer taraftan, Dr. Viktor Wouk ise 1975 yılında General Motors'un Buick Skylark modelini konvansiyonel otomobilden paralel hibrit bir araca dönüştürmüştür (Wakefield, 1998).

Rejeneratif fren sistemi, hibrit elektrikli taşıtlar için büyük önem taşıyan bir özellik olarak 1978 yılında David Arthurs tarafından geliştirilmiştir. Bu sistem, ilk kez Arthurs tarafından Opel GT modeli üzerinde test edilmiştir. Öte yandan, Audi firması ise Duo adı verilen konsept ile 1898 yılında ilk hibrit elektrikli otomobili tanıtmıştır (Ünlü ve ark., 2003).

ABD Başkanı Bill Clinton 1993 yılında, araç teknolojisi ve alternatif yakıtın önemini anlayarak hibrit elektrikli araçların geliştirilmesi için Chrysler, Ford, General Motors, gibi birden fazla kuruluşu bir arada toplayan "PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles; Yeni Nesil Taşıtlar İçin Ortaklık)" adlı oluşumu başlatmıştır (Beyaz, 2022). Bu çabaların bir sonucu olarak, General Motors Precept ve Ford Prodigy adı verilen paralel hibrit konseptinde araçlar üretilmiştir (Kerem, 2014).

Toyota, 1997 yılında Japonya'da Toyota Prius modelini pazara sunmuştur. Toyota Prius modeli, modern hibrid elektrikli taşıtların ilk ve en başarılı örneği olarak kabul edilmektedir. Prius model araç, 2000 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde satışa sunulmuştur (Çam ve ürün, 2017).

Hibrit otomobiller 1990'lı yıllarda, Honda Insight ve Toyota Prius'un 1999'da ticarileşmesiyle yakıt tüketimi sorunlarına çözüm getiren ilk hibrid elektrikli taşıtlar olarak öne çıkmıştır (Honda Insight, 2024). 2000'li yıllara gelindiğinde, 2002'de Honda, hibrid versiyonuyla Civic

modelini piyasaya sürmüştür. Ford, 2005'te ise Escape modeliyle ilk hibrid elektrikli SUV'yi tanıtmıştır. Toyota, 2006'da hibrid Camry üretimine başlarken, Nissan 2007'de Altima modelini hibrit olarak satışa sunmuştur. Altima modeli, Hybrid Synergy Drive güç aktarım sistemine sahiptir ve üretimi 2011'e kadar devam etmiştir (Wikipedia, 2025).

2009'da Ford, Fusion modelinin hibrit versiyonunu piyasaya sürmüştür (Arabam, 2024). Ancak araç 2020'de pazara veda etmiştir. Hyundai, aynı yıl Elantra LPI modelini hibrit elektrikli otomobil olarak tanıtmıştır (Hürriyet, 2024). Mercedes-Benz, 2009'da S400 BlueHybrid modelini çıkartmıştır. Bu otomobil, ilk Lityum-İyon bataryası kullanan hibrid elektrikli otomobil olarak öne çıkmaktadır. Toyota, 2010'da İngiltere'deki Burnaston fabrikasında Hibrit Auris modelinin üretimine başlamıştır. Hibrit Auris model Avrupa'da seri üretilen ilk hibrit otomobil olmuştur(Wikipedia, 2025).

Peugeot, 2012'de 3008 Hybrid4 modelini piyasaya sürerek seri üretilen ilk dizel elektrikli otomobili sunmuştur (Donanım Haber, 2024). Porsche, 2013'te 918 Spyder modeliyle şarj edilebilir spor hibrid elektrikli otomobili tanıtmıştır (Wikipedia, 2024). BMW, 2014'te i8 modeliyle şarj edilebilir özelliklere sahip hibrit elektrikli otomobili satışa sunmuştur (Wikipedia, 2024). 2015'te BMW'nin 330’e iPerformance modeli tanıtıldı ve 2016'da Amerika ve Avrupa'da piyasaya sunulmuştur (Sekiz Silindir, 2024). Hyundai, 2016'da şarj edilebilir tam elektrikli ve hibrit olmak üzere üç farklı Ioniq modelini piyasaya sürmüştür (Otopark, 2024). Toyota, 2016'nın başlarında C-HR modeliyle SUV hibrit elektrikli otomobili satışa sunmuştur (Toyota Türkiye, 2024).

Gelişen teknoloji ve çevre dostu trendlerle birlikte hibrit otomobiller 2017 yılında, Toyota ve Honda gibi öncü markaların hibrit portföylerini genişletmeye devam ettiği bir dönem olmuştur. Toyota'nın Prius Prime gibi şarj edilebilir modelleri ve Honda'nın Clarity gibi çeşitli hibrit ve elektrikli otomobiller tanıtması, hibrit teknolojisinin çeşitlendirilmesine katkı sağlamıştır (AA, 2024). Ayrıca, birçok otomobil üreticisi de hibrit teknolojisini daha fazla modelinde kullanma trendine yönelik adımlar atmıştır.

2018 yılında ise Hyundai, otomobillerde Ioniq ailesini genişleterek şarj edilebilir hibrit ve tam elektrikli modelleri pazara sunmuştur (Hyundai, 2024). Toyota'nın hibrit modelleri, dünya genelindeki popülerliğini korurken, Honda ve Ford gibi büyük markalar da hibrit portföylerini güncelleyerek yeni modellerini tanıtmıştır. Bu dönemde hibrit otomobiller, sadece çevre dostu seçenekler olmanın ötesine geçerek geniş bir tüketici kitlesine hitap eden bir alternatif haline gelmiştir.

Otomobil endüstrisindeki elektrifikasyon trendi hız kazanırken 2019 yılı ve sonrası da hibrit otomobiller için oldukça önem arz etmektedir. 2019 yılında, BMW markası i3 120Ah modelli taşıtı piyasaya sürmüştür (Donanım Haber, 2024). Audi markası ise 2019 yılının başlarında Jaguar I-Pace ve Tesla Model X ile rekabet etmeye başlayacak Audi e-Tron modelini piyasaya sürmüştür (Webtekno, 2024).

Çin, son yıllarda hibrit ve elektrikli araç üretiminde küresel bir lider konumuna gelmiştir. 2020 yılı itibarıyla Çin hükümeti çevre dostu ulaşım araçlarını teşvik etmek amacıyla çeşitli vergi indirimleri ve sübvansiyonlar sağlamıştır. Bu durum, hibrit ve elektrikli otomobil pazarının hızla büyümesine olanak tanımıştır (Çokgezen, 2020).

Çinli otomobil üreticileri, BYD, NIO, Geely ve Xpeng gibi markalar, sadece yerel pazarda değil, uluslararası alanda da büyük bir rekabet gücü kazanmışlardır (Euronews, 2024). Bu süreçte, hibrit teknolojisinin benimsenmesi, Çin'in enerji dönüşümüne katkı sağlamak amacıyla kritik bir strateji haline gelmiştir. Özellikle Geely, Polestar ve Lynk & Co. gibi markalar hibrit ve elektrikli araç portföylerini sürekli olarak genişletmiştir. Çin'deki batarya üreticileri de bu süreçte küresel tedarik zincirinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Elektrifikasyonun hızla arttığı bu dönemde, Çin'in hibrit otomobil üreticileri, dünya çapında çevre dostu ulaşım çözümlerine yönelimin artmasına katkı sağlamış ve teknolojik gelişmeleri uluslararası pazarlara sunmuştur (Çokgezen, 2020).

Dünya genelinde hibrit ve elektrikli araç sayıları, geçen yıllarda sürekli bir artış göstermiştir. 2016 yılında 280,000 olan hibrit araç sayısı, 2017'de 400,000'e yükselerek bu trendi başlatmıştır. Takip eden yıllarda ise hibrit araçların popülaritesi giderek artmıştır: 2018'de 630,000, 2019'da 570,000, 2020'de 980,000, 2021'de 1,940,000, 2022'de 2,840,000 ve 2023'te 2,920,000 adet hibrit araç bulunmaktadır. (EV Statistics, 2023).

Hibrit elektrikli araçlar, Türkiye otomobil pazarındaki payını her geçen gün hızla artırmaktadır. 2016'da 517 adet olan hibrit araç sayısı, 2017'de 925'e yükselmiş, 2018'de 4.415 olmuştur. Daha sonra, 2019'da tekrar yükselerek 13.877'ye ulaşmıştır. Türkiye'de 2020 yılında toplam 33.690 adet hibrit araç satışı gerçekleşmiştir. Bu rakam, 2021'de 86.682'ye yükselmiştir. Öte yandan, 2022'de 134.662 olarak kayıtlara geçmiştir (TÜİK, 2024). 2023 yılında ise piyasaya Toyota bZ4X, BMW iX1 ve Renault Megane E-Tech modelleri sürülmüştür.

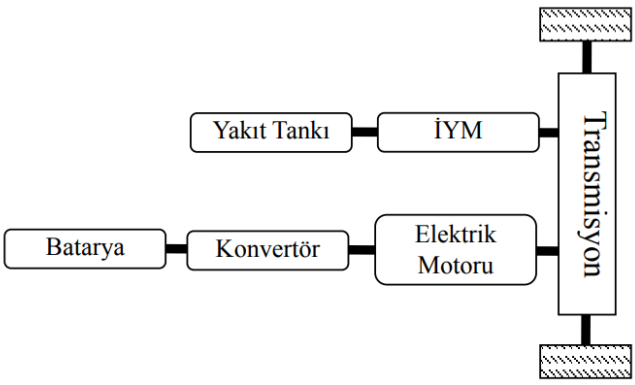
Türkiye'de satılan hibrit araç sayısı 2024 yılının ağustos ayında ise 316.742 olarak kayıtlara geçmiştir. Bu gelişmeler, Türkiye'de hibrit elektrikli araçlara olan talebin sürekli bir artış

gösterdiğini ve otomobil pazarındaki bu teknolojik dönüşümün ivme kazandığını göstermektedir (TÜİK, 2023).

3.2.1.1. Paralel HEV

Paralel hibrid elektrikli araçlar, içten yanmalı motorun yanı sıra bir elektrik motorunu da içeren her iki güç kaynağını eş zamanlı olarak kullanabilen hibrid araç türüdür (Chau ve Wong, 2002). Elektrik motoru (EM) ve içten yanmalı motor (İYM), tipik olarak iki debriyaj aracılığıyla tekerlek tahrik mili ile bağlandıklarından, tahrik gücü tek başına İYM tarafından veya her iki motor tarafından eş zamanlı olarak sağlanabilir. Kavramsal olarak, doğası gereği düşük emisyon ve yakıt tüketimi sağlamak üzere tasarlanmış bir İYM gibi elektrikle desteklenmiş bir yapıya sahiptir. Elektrik motoru, sürüş esnasında üretilen momentumdan daha fazla enerjiye sahip olduğunda, bu fazla enerjiyi geri kazanmak için rejeneratif frenleme veya motordan gelen emiş gücü ile aküyü şarj etme işlevini yerine getirebilir. Paralel hibrit elektrikli araçlar, seri hibrit araçlara göre iki tahrik motoruna sahip olması, önemli bir avantaj olarak değerlendirilir. Seri hibrit araçlara kıyasla, bu konfigürasyonun dezavantajı, pil enerjisi tükendiğinde aynı performansı sürdürebilmek için daha büyük İYM ve geniş bir elektrik motoru kullanma gerekliliğidir. Diğer bir dezavantajı ise uzun menzilde, pilin enerjisi tükendikten sonra sadece içten yanmalı motorun maksimum sürekli güce sahip olması gerekirken, seri hibritlere göre elektrik motorunun yaklaşık iki katı kadar büyük bir İYM kullanılması zorunluluğudur (Zeng ve Wang, 2015). Paralel hibrid elektrikli araç yapısı Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1 Paralel Hibrit Elektrikli Araç Yapısı



Kaynak: Şekil 1, [Tie ve Tan, 2013)'den uyarlanmıştır.]

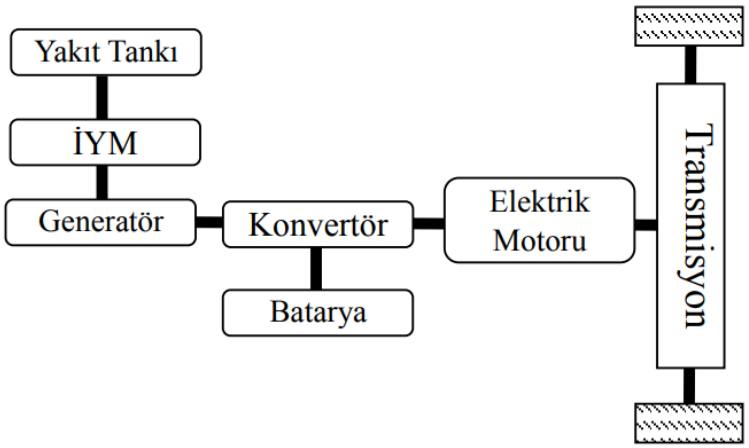
3.2.1.2.Seri HEV

Seri hibrit elektrikli araç (HEV), sürüş esnasında yalnızca elektrik motoru tarafından tahrik edilen ve içten yanmalı motorun elektrik üretmek için bir jeneratör olarak kullanıldığı bir

konfigürasyona sahip olan bir taşıt türüdür (Chau ve Wong, 2002). Motorun mekanik çıkışı, başlangıçta bir jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Dönüştürülen elektrik enerjisi daha sonra iki ana şekilde kullanılmaktadır. İlk olarak, bu enerji aküyü şarj etmek için kullanılır böylece araç enerji depolayabilir. İkinci olarak, elektrik enerjisi tekerlekleri hareket ettirmek amacıyla aküden bağımsız bir DC (Direct Current) bara aracılığıyla elektrik motoruna iletilir. Bu şekilde, araç sürüş esnasında yalnızca elektrik motoru tarafından tahrik edilebilir veya ihtiyaç duyulduğunda içten yanmalı motor da devreye alınabilir. Kavramsal olarak, sürüş menzilini içten yanmalı motorlu araçlarla benzer bir seviyeye çıkarmayı hedefleyen bir elektrikli aracın motor destekli bir konseptidir (Altunkaya, 2018). Mekanik bağlantı üzerinde herhangi bir debriyajın olmaması motor-jeneratör setinin konumunu belirlemek için gerekli olan esneklik avantajını beraberinde getirmektedir. Bu özellik, sistemdeki bileşenlerin daha etkili bir şekilde koordinasyonunu sağlar ve çeşitli işleyiş senaryolarına daha iyi uyum sağlama imkânı tanımaktadır. Seri hibrit elektrikli araçların basit tasarımının avantajlarına rağmen içinde içten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru olmak üzere üç farklı itiş cihazına ihtiyaç duyulması bu konfigürasyonun karmaşıklığını arttırarak dezavantaj oluşturmaktadır (Bayındır, 2011).

Seri hibrid elektrikli otomobil tasarımında tahrik elemanları en üst düzeydeki güç taleplerine göre ölçeklendirilir. Bu nedenle, tahrik elemanları geniş boyutlara sahip olup otomobil içinde önemli bir hacmi işgal etmektedirler (Şahan, 2018). Bu durum, seri hibrid konfigürasyonunun en belirgin dezavantajlarından birini ifade etmektedir. Genellikle büyük yer kaplaması nedeniyle bu tür konfigürasyonlar genellikle askeri araçlar, ticari araçlar ve otobüsler gibi daha geniş iç hacim gerektiren araçlarda tercih edilmektedir (Ehsani ve ark., 2007). Seri hibrid elektrikli araç yapısı Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 2 Seri Hibrit Elektrikli Araç Yapısı

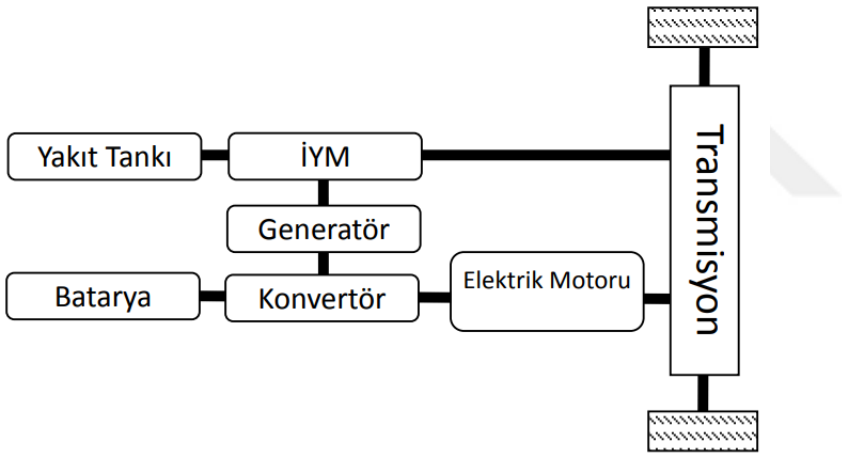


Kaynak: Şekil 2, [Tie ve Tan, 2013)'den uyarlanmıştır.]

3.2.1.3.Seri-Paralel HEV

Seri-paralel hibrid elektrikli araçlar, sürüş sırasında hem içten yanmalı motoru hem de elektrik motorunu kullanarak daha esnek bir enerji yönetimi sağlayan taşıtlardır. Seri-paralel konfigürasyonda, paralel konfigürasyondan ayıran önemli bir özellik, ek bir jeneratörün varlığıdır. Seri konfigürasyondan ayrılan bir özellik olarak içten yanmalı motorun elektrik motoruyla doğrudan mekanik bir bağlantısının bulunduğu seri-paralel konfigürasyonu mevcuttur (Ehsani ve ark., 2007). Yapısal olarak karmaşık ve maliyet açısından zorlayıcı olan bu düzen ileri kontrol yöntemlerine olan ihtiyaç nedeniyle dezavantajlıdır. Seri-paralel hibrit konfigürasyonun örnekleri Toyota Prius gibi otomobillerde bulunmaktadır (Qi ve ark., 2011). Seri-paralel elektrikli araç yapısı Şekil 3'te görülmektedir.

Şekil 3 Seri-Paralel Elektrikli Araç Yapısı



Kaynak: Şekil 3, [Tie ve Tan, 2013)'den uyarlanmıştır.]

3.2.2.Bataryalı elektrikli araçlar (BEV)

Bataryalı elektrikli araçlar, enerji ihtiyacını elektrik bataryalarından karşılayan ve içten yanmalı motor yerine elektrik motorları kullanan taşıtlardır. Bataryalı elektrikli araçlar, enerji ihtiyacını bataryadaki depolanan elektrik enerjisini kullanarak sağlayan elektrik motorlarına sahiptir (Poullikkas, 2015). Bu yenilikçi teknoloji, sürdürülebilir ulaşımın önünü açarken otomobillerin çevresel etkilerini azaltma ve enerji verimliliğini arttırma amacını taşımaktadır.

Bataryalı elektrikli araçlarda fosil yakıt tüketimi olmadığı gibi kullanım aşamasında da herhangi bir egzoz emisyonu da meydana gelmemektedir (Zhang ve Yao, 2015). BEV tasarımında, her bir tekerleğe özgü motorların monte edilerek motorun ve güç elektroniği

tekerlek sistemine entegre edilmesi verimliliği arttırırken ayrıca alan tasarrufu sağlar ve tasarımcılara gövde tasarımında daha fazla esneklik tanımaktadır. Bu tekerleklerin yaklaşık %85'e varan yüksek bir rejeneratif frenleme yeteneği bulunmaktadır (Vidyanandan, 2018). Bu konfigürasyon araç bileşenlerinin sayısını azaltmak, şanzımandaki enerji kaybını en aza indirmek, bakımı kolaylaştırmak ve ağırlığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda genel sistem güvenilirliğini ve verimliliğini arttırmaktadır. Bu optimizasyonlar, sürdürülebilirlik ilkesiyle birleşerek bataryalı elektrikli araçların uzun vadeli performansını güçlendirmektedir. Ayrıca, çevre dostu ulaşımın daha etkin bir şekilde gerçekleşmesine de katkı sağlamaktadır.

Tekerlek içi motor sistemleri, özellikle yüksek tork ve düşük hızlı uygulamalara yönelik olarak tasarlanmıştır (Rahman ve ark., 2006). Bu özel tasarım, bataryalı elektrikli araçların performansını optimize etmekte ve verimli bir sürüş deneyimi sağlamaktadır. Günümüzde, otomotiv piyasasında farklı türlerde birçok bataryalı elektrikli araçlar bulunmaktadır. Bu da çeşitli ihtiyaçlara uygun sürdürülebilir ulaşım seçeneklerini mümkün kılmaktadır. En son üretilen BEV'ler, gelişmiş performans sağlayan Li-ion pil paketleri ile donatılmıştır. Bu, daha uzun menziller ve daha yüksek hızlarla güçlendirilmiş bir sürüş deneyimi sunmaktadır. Genellikle, bir BEV yaklaşık 120-390 km menzile ve maksimum 200 km/saat hıza ulaşabilmektedirler (Poullikkas, 2015).

3.2.3.Fişli (Plug-In) hibrit elektrikli araçlar (PHEV)

Fişli (plug-in) hibrit elektrikli araçlar (PHEV), hem içten yanmalı bir motor hem de şarj edilebilen bir bataryaya sahip olup elektrik şebekesinden enerji alarak çalışabilen taşıtlardır. Diğer yandan, Fişli hibrit elektrikli araçlar, en az 4 kilowatt (kW)-saat pil kapasitesine sahip olup, pilini harici bir kaynaktan şarj edebilen ve elektrik modunda en az 16 km sürüş yapabilen hibrit araçlardır (Pollet ve ark., 2012). Verimlilik bakımından, Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar, bataryayı uzatmak için içten yanmalı motoru kullanmayan, tamamen elektrikle çalışan bir modu destekleyen en etkili hibrit araç türüdür. Bu araçlarda, elektrik şebekesinden tam şarj alabilen bir pil takımı bulunmaktadır. Bu da ana şarj modu gibi içten yanmalı motoru devreye sokmadan elektrikle çalışmayı sağlamaktadır. Ayrıca, PHEV'nin bir diğer özelliği de rejeneratif frenleme ile şarj seçeneğidir. Bu özellik, sera gazı emisyonları açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Fişli HEV araçlar, kullanılan elektriği hidroelektrik, güneş veya rüzgâr gibi sıfır emisyonlu yenilenebilir enerji kaynaklarından veya temiz enerji kaynakları kombinasyonundan temin ederek çevresel etkileri en aza indirmektedir (Galus ve ark., 2010).

2017 yılında gerçekleştirilen bir araştırmaya göre PHEV'ler yeşil güç üretim profillerine dayalı olarak sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla, Fişli PHEV'lerin çevresel avantajlarından tam olarak yararlanabilmeleri için, piyasaya sürülürken sıfır emisyonlu elektrik üretim teknolojileri ile entegre edilmeleri gerekmektedir (Requia ve ark., 2017). Farklı araştırmalar ise fişli hibrit elektrikli araçların elektrik şebekesinden şarj edildiğinde geleneksel içten yanmalı motorlu araçlar ve diğer hibrit modellerle karşılaştırıldığında, CO2 ve diğer kirleticileri daha az yayma eğiliminde olduklarını göstermektedir (Davies ve Kurani 2013). Bu bağlamda, Fişli HEV'lerin ulaştırma sektöründeki emisyon etkisini azaltma potansiyeli elektriğin temiz enerji kaynaklarından sağlandığı bölgelerde önemli ölçüde artmaktadır (Denholm ve Kurani, 2013).

3.2.4.Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV)

Yakıt hücreli hibrit elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlar ve elektrik motorlarına ek olarak bir yakıt hücresi sistemini içeren özel bir konfigürasyona sahip taşıtlardır. Bu araçlar, genellikle hidrojeni oksijenle reaksiyona girerek elektrik enerjisi üreten yakıt hücrelerini kullanmaktadırlar. Üretilen elektrik enerjisi, aracın elektrik motorunu tahrik etmektedir ve böylece hareket sağlanmaktadır (Boyraz, 2019). Yakıt hücreli hibrit araçlar, içten yanmalı motorun yanı sıra yakıt hücresi sistemi sayesinde düşük emisyonlu ve çevre dostu bir sürüş sunmaktadır. Hidrojen depolama ve dağıtım altyapısının gelişimiyle birlikte yakıt hücreli hibrit araçlar gelecekte sürdürülebilir ulaşımın önemli bir unsuru olacaktır. Yakıt hücreli hibrit araçlar hem içten yanmalı motorun avantajlarından yararlanarak uzun mesafe sürüş sağlamaktadır hem de yakıt hücresi teknolojisinin çevresel avantajlarına katkıda bulunmaktadır (Alpsalaz, 2018).

Ulaştırma sektörünün sürdürülebilirliği için umut vaat eden seçeneklerden biri hidrojenin yakıt olarak kullanılmasıdır. Hidrojenle çalışan araçlar, yüksek yakıt maliyeti ve sınırlı hidrojen altyapısı gibi zorluklarla karşılaşsa da hızla gelişen bir pazarda önemli bir yer edinmektedir. Araştırmalara göre yakıt hücreli elektrikli araçlar, geleneksel taşıtların performansına benzer bir düzeye ulaştıkları için potansiyel alıcılar için cazip hale gelmektedir. Bu bağlamda, Toyota'nın 2014 yılında üretimine başladığı, 650 km menzile sahip, 175 km/saat hıza çıkabilen ve 3 dakikadan kısa sürede tam tank yakıt ikmali yapabilen FCEV modeli olan Toyota Mirai, başarılı bir örnek teşkil etmektedir (Brey ve ark., 2018).

Yakıt hücreli elektrikli araçlar, elektrikli taşımacılık endüstrisinde önemli bir uzun vadeli potansiyeli temsil etmektedir. Bu araçların uygulanabilirlikleri ve işletme performansları teknoloji geliştiricileri tarafından aktif bir şekilde araştırılmaktadır. FCEV'ler, uzun yıllar süren

araştırmaların bir ürünü olarak ortaya çıkarak elektrikli araç ve hibrit elektrikli araç nesillerini takip eden bir evrimi temsil etmektedir. Benzer özelliklere sahip olmalarına rağmen bu teknolojiler farklı enerji kaynaklarına dayanmaktadır (Tanç ve ark., 2018).

4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Veri Zarflama Analizi, günümüzde organizasyonların ve sistemlerin etkinliğini ölçmede kullanılan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Temel olarak sistemler, belirli bir amaca ve sürece yönelik olarak kurgulanmaktadır. Ayrıca, mevcut süreçler doğrultusunda sistem içerisinde çok yönlü girdiler kullanılarak çeşitli çıktılar da üretilmektedir (Sevinç, 2021). VZA, bu süreçlerin etkinliğini değerlendirmek amacıyla girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Ek olarak, karar birimlerinin performansı da karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Bu şekilde, kaynakların ne kadar verimli kullanıldığı ve karar alma süreçlerinin etkinliği gibi unsurlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle rekabetin yoğun olduğu günümüz iş dünyasında karar birimlerinin performansını optimize etmek ve süreçleri iyileştirmek amacıyla veri zarflama analizi hem akademik çalışmalarda hem de uygulamalı analizlerde sıklıkla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

VZA'nın temelinde, her bir karar biriminin aynı girdilerle ne kadar fazla çıktı üretebildiğini analiz etmek yatmaktadır. Bu analiz, karar birimlerinin etkinlik seviyelerini ölçerek kaynakların en verimli biçimde kullanıldığı durumları ortaya koymaktadır. VZA, özellikle doğrusal programlama tekniklerine dayanarak çeşitli girdilerle çıktılar arasındaki ilişkiyi modellenebilir hale getirmektedir. Bu nedenle, karar birimleri arası karşılaştırma yaparken sadece çıktı miktarına değil aynı zamanda girdilerin kullanımına da odaklanılmaktadır. Bu yaklaşım üzerine özellikle maliyet azaltma, kaynakların yeniden dağıtımı ve organizasyonel stratejilerin geliştirilmesi gibi alanlarda önemli kazanımlar sağlanmaktadır. VZA'nın sağladığı bu ayrıntılı verimlilik analizi, performansın optimize edilmesine olanak tanırken yönetim birimlerine de veriye dayalı stratejik kararlar alma imkânı da sunmaktadır (Yalçınkaya ve Durmaz, 2021).

Veri Zarflama Analizi, ilk olarak Farrell (1957) tarafından teknik etkinlik ve verimliliği ölçmek amacıyla matematiksel bir model olarak önerilmiştir. Bu yaklaşım, başlangıçta Amerikan tarım sektöründeki verimlilik ölçümlerinde; teknik etkinlik, fiyat etkinliği ve genel ekonomik etkinlik olmak üzere ayrı ayrı ele alınmıştır. Zamanla, teknik etkinlik ile fiyat ve ekonomik etkinliğin birleşimi daha da kapsamlı bir analizle sunulmuştur. 1978'de ise Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR), doğrusal programlama prensiplerini temel alarak VZA'yı kamu sektöründeki verimliliği ölçmek için revize edilmiştir. Ardından, bu versiyon adlarının ilk harfleri ile "CCR

Modeli" olarak tanınmıştır. 1984'te ise Banker, Charnes ve Cooper (BCC), ölçek ekonomilerinin göz ardı edilmesinin analizlerde eksiklik yaratabileceğini belirtmesi ile birlikte farklı ölçeklerde değişken geri dönüşleri dikkate alan yeni bir VZA modelini geliştirmişlerdir. Bu model ise literatürde "BCC Modeli" olarak bilinmektedir. Ek olarak, VZA'nın kapsamını daha da genişleterek çok yönlü performans ölçümlerinde önemli bir araç haline gelmiştir (Kök ve Ay, 2013).

4.1. Veri Zarflama Analizinin Tanımı

Doğrusal programlamaya dayalı bir yöntem olan veri zarflama analizi çok sayıda girdi ve çıktıya sahip olan karar birimlerinin göreli etkinliklerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir. Verimlilik kavramının temelleri Koopsman'ın 1951 tarihli çalışmasına kadar uzanmaktadır. Ek olarak, teknik etkinlik kavramını literatüre ilk olarak Koopsman tarafından kazandırılmıştır. Ardından, Debreu (1951) ve Farrell (1957), verimlilik ölçümlerini daha ileriye taşıyarak yüksek girdili firmaların performans değerlendirmelerini analizlerinde ele almışlardır. Charnes, Cooper ve Rhodes ise, bu kavramsal temeller üzerine inşa ederek 1978 yılında ilk VZA modelini ortaya koymuşlardır. Dolayısıyla bu model, karar birimlerinin etkinlik seviyelerini karşılaştırmaya olanak tanımıştır (Oruç, 2008).

Veri zarflama analizi, çoklu girdi ve çıktıya sahip karar birimlerinin etkinliklerini analiz etmek için kullanılan doğrusal programlama temelli parametrik olmayan bir yöntem olarak bilinmektedir. Benzer amaçlar taşıyan yöntemlerden ayrılan VZA farklı birimlerin farklı ölçü birimleri üzerinden kıyaslanmasına olanak sağlamaktadır. Literatürde, bu yöntem ile kurumlar, işletmeler, organizasyonlar gibi yapılar karar birimi olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, her birimin performansıyla birlikte sahip oldukları girdiler ve ürettikleri çıktılar çerçevesinde incelemeler yapılmaktadır. VZA, birimlerin minimum girdi ile maksimum çıktı üretmesini "etkin" olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, en verimli karar birimi diğer birimlerin etkinliğini veya yeterliliğini değerlendirmek için referans noktası olarak belirlenmektedir. Bu etkinlik sınırı diğer karar birimlerinin performansını ölçmek için bir kıyas noktası olarak işlev görmektedir. Ek olarak, birimler etkinlik sınırına göre karşılaştırılmaktadır.

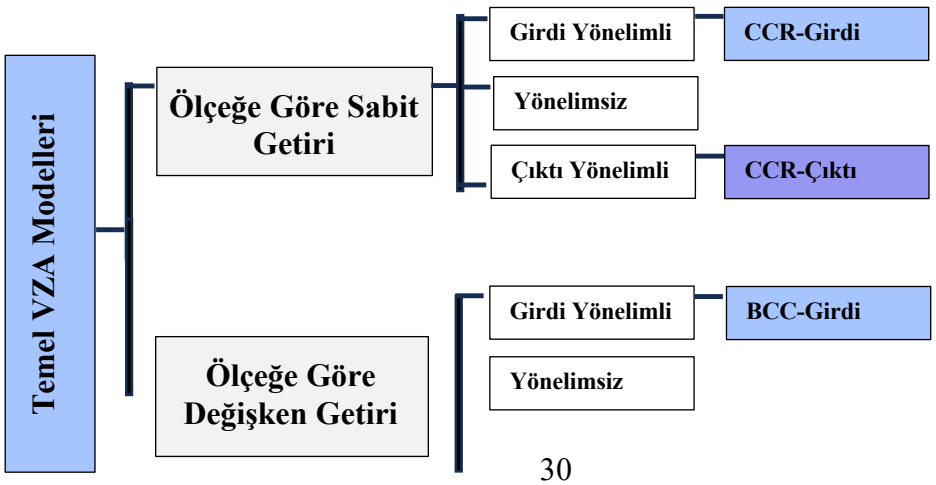
VZA esas olarak iki ana model olan CCR modeli ve BCC modeline sahiptir (Koçak ve Boran, 2019). Veri Zarflama Analizi, birimlerin verimliliğini değerlendirirken hem sabit bir çıktı seviyesine ulaşmak için gerekli minimum girdiyi (girdi odaklı) hem de sabit bir girdi kullanarak elde edilebilecek maksimum çıktıyı (çıktı odaklı) dikkate alan modeller geliştirebilme imkânı sunmaktadır. Bu yöntem, analiz sürecinde girdiler ile çıktılar arasında belirli bir fonksiyonel

ilişkiyi varsaymamaktadır. Mevcut durum ise onu diğer parametrik yöntemlerden ayıran önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. VZA, etkinlik sınırları oluştururken yalnızca en verimli çalışan birimlerin oluşturduğu sınırları kullanmaktadır. Bu sınırlar, diğer birimlerin performanslarını göreli olarak değerlendirmek için bir referans noktası sağlamaktadır. Bilinen sınırların tüm karar birimlerini içeren bir etkinlik bölgesi oluşturması matematik literatüründe "envelopment" olarak adlandırılmıştır. Ardından, bu terim doğrudan Türkçeye "zarflama" şeklinde geçmiştir. VZA'nın bu esnek ve parametrik olmayan yapısı çok sayıda farklı ölçütle donatılmış birimlerin etkinlik analizinde geniş bir uygulama alanı sunmaktadır.

Her sistemin girdi ve çıktı ağırlıkları etkinlik derecesini optimize eden bir Veri Zarflama Analizi modeline dayanmaktadır. Ancak, hangi tür modelin kullanılacağı, araştırmanın kapsamı ve varsayımlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Temel modeller, ölçek varsayımlarına ve yönelimlerine göre farklılaşmaktadır. VZA hem sabit getiriler hem de değişen getiriler varsayımları altında uygulanabilmektedir. Bu yöntem, girdilerle en yüksek çıktıyı elde etme (output-oriented) ve belirli bir çıktı seviyesini en az girdiyle elde etme (input-oriented) gibi iki yaklaşım ile etkinlik ölçümünü gerçekleştirmektedir.

Girdi yönelimli yaklaşım, girilen miktarını azaltmadan kullanılan girdi miktarının ne ölçüde düşürülebileceğini belirlemeye çalışırken; çıktı yönelimli yaklaşım ise girdi setinin ve miktarının sabit kalması koşuluyla girilen miktarının artırılmasını amaçlamaktadır (Altın, 2010). Bu bağlamda, eğer girdi değişkenleri üzerinde kontrol sınırlı ya da çıktı yönelimli bir model; çıktılar üzerinde kontrol sınırlı veya yoksa girdi yönelimli bir model tercih edilmelidir. Temel VZA modellerinin ölçek varsayımlarına ve yönelimlerine göre sınıflandırılması Şekil 13'te sunulmaktadır (Özden, 2008).

Şekil 4 Temel Veri Zarflama Analizi Modellerinin Sınıflandırılması



Kaynak: Özden, 2008.

4.2. Veri Zarflama Analizinin Tarihsel Gelişimi

Veri Zarflama Analizi, etkinlik ölçüm ve değerlendirme süreçlerinde önemli bir yer edinmiş bir yöntemdir. İlk olarak Koopsman'ın 1951 yılında yaptığı bir çalışmada teknik etkinlik kavramını kullanmasıyla birlikte ortaya çıktığı bilinmektedir. Daha sonra, 1957'de Farrell'in çalışması yüksek girdili firmalar için etkinlik çözümlerinin dahil edilmesiyle birlikte veri zarflama analizinin temelleri atılmaya devam etmiştir. Farrell bu çalışmada, bir firmanın etkinliğini birden fazla girdi ve tek bir çıktı kullanarak ölçmüştür (Cook ve Seiford, 2009).

Farrell'in veri zarflama analizinin temelini attığı bilinse de Charnes, Cooper ve Rhodes'un veri zarflama analizi adını verdiği bu yöntem 1978 yılında kadar ilgi görmemiştir. Veri zarflama analizi için bilinen ilk model CCR modeli olmuştur. 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen bu model, birçok sektörde performans analizi için yenilikçi bir yaklaşım sunmuştur. Mevcut model deterministiktir. Bu nedenle ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayandırılmaktadır. Başlangıçta kâr amacı gütmeyen kuruluşların etkinliğini ölçmek ve performanslarını artırmak amacıyla kullanılan veri zarflama analizi daha sonra işletmelerin etkinliğini değerlendirmek ve performanslarını artırmak için de kullanılmaya başlanmıştır (Gasımov, 2019).

VZA özellikle kaynakların etkin kullanımını ve verimliliği incelemek amacıyla uygulanan bir teknik olarak zamanla çeşitli modifikasyonlar ve genişletmelerle evrim geçirmiştir. Özellikle, sabit ve değişen ölçekli getiriler varsayımları altında uygulama imkânı sunması bu yöntemi daha da kullanılabilir hale getirmiştir. Ancak, girdi ve çıktı yönelimli analizlerin entegrasyonu beraberinde VZA'nın farklı sektörlerdeki uygulama alanlarını da genişletmiştir.

Yanı sıra, BCC ise 1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilen bir başka modeldir. Bu BCC modeli, ölçeğe göre değişken getirilere dayanmaktadır. BCC modeli beraberinde teknik etkinlik ve ölçeklendirme bağımsız olarak ölçülmeye başlanmıştır. Ek olarak, BCC modelinin ardından çarpımsal ve yönelimsiz toplamsal gibi çeşitli VZA modelleri de geliştirilmiştir (Gasımov, 2019).

Genel olarak VZA, ilk olarak 1978'de tanıtılmasından bu yana etkinlik değerlendirmesiyle birlikte alanında önemli bir araç olarak evrilmiştir. 1990'lı yıllarda ise bu yöntemin teorik alt

yapısı büyük ölçüde tamamlanmıştır (Karademir, 2013). Daha sonra, uygulama alanı da genişletilmiştir. Son dönemde, VZA'nın stokastik girdi ve çıktı etkinliğini analiz etme kapasitesi, onu daha da esnek bir model haline getirmiştir. Özellikle 2000'li yıllarda, veriye dayalı analizler üzerine yapılan çalışmaların sayısındaki artış beraberinde VZA'nın çok çeşitli alanlarda benimsenmesini ve etkinliğini arttırmasına yardımcı olmuştur. Bu bağlamda, VZA, modern veri analitiğinde merkezi bir rol oynamaya devam etmektedir.

4.3. Veri Zarflama Analizinin Amaçları

Veri Zarflama Analizi, karar verme birimlerinin etkinlik seviyelerini kapsamlı bir şekilde değerlendirip sınıflandıran bir yöntemdir. Ayrıca, VZA kaynak kullanımındaki eksiklikleri ve verimsiz birimleri tespit ederek sınırlı kaynakların en verimli şekilde tahsis edilmesi için yeni planlar geliştirmeyi amaçlamaktadır. VZA, yalnızca etkin birimlerin belirlenmesini sağlamakla kalmamaktadır. Aynı zamanda belirli girdi ve çıktı gruplarının etkinliğini analiz etmektedir. Bu grupların performansını optimize etmeye yönelik içgörüler sunmaktadır. Teorik sonuçları pratik verilerle karşılaştırarak etkili iş modellerini belirlemeye ve verimliliği düşük birimlerin performansını iyileştirmeye yönelik önemli bilgiler sunmaktadır.

Etkili bir performans değerlendirme sistemi işletme yönetiminde stratejik karar alma süreçlerinde kritik rol oynayan verileri ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, VZA'nın uygulanması; analiz sürecini kolaylaştıran özel paket programlar aracılığıyla aşağıdaki stratejik hedeflere ulaşılmasını amaçlamaktadır: (Eroğlu, 2007)

- Karşılaştırılan her birimin girdi ve çıktı boyutlarında göreli olarak hangi sebeplerle ve ne ölçüde verimsiz olduğunu tespit etmek,
- Birimleri etkinlik düzeylerine göre sınıflandırmak ve verimli birimlerle verimsiz birimleri ayırmak,
- Yönetim açısından benzer birimlerin performansını analiz etmek ve değerlendirmek,
- Birimlerin kendi kontrolleri dışında kalan program veya politikaların etkililiğini incelemek. Böylece program kaynaklı verimsizlikler ile yönetimsel verimsizlikleri birbirinden ayırt etmek,
- Kaynakların değerlendirilen birimlere daha verimli bir şekilde yeniden tahsisi için niceliksel bir dayanak oluşturmaktadır. Bu yeniden tahsis politikalarının temel amacı, sınırlı kaynakların en iyi sonuçlara ulaşmak için birimler arasında en uygun şekilde dağıtılmasını sağlamaktır,

- Birimler arasında doğrudan karşılaştırmaya gerek kalmadan etkin birimleri ya da verimli girdi-çıktı ilişkilerini tespit etmek,
- Belirli girdi-çıktı ilişkilerinin etkinliğini gerçek performansa dayalı olarak incelemek ve bu ilişkilerde uygulanabilir standartları değerlendirmek,
- Önceki araştırmaların sonuçlarıyla yeni veriler arasında karşılaştırmalar yaparak sürekli iyileştirme için veri toplamak şeklinde özetlenebilir.

Bu maddeler, birimler arasında kaynak kullanımını ve performans değerlendirmesini iyileştirmeye yönelik stratejik yaklaşımlara rehberlik etmektedir.

4.4. Veri Zarflama Analizinin Güçlü ve Zayıf Yönleri

Veri Zarflama Analizi, çok değişkenli bir performans değerlendirme aracıdır. Özellikle etkinlik ve verimlilik analizi için kullanılmaktadır. Bu yöntem, bir grup birimin performansını değerlendirirken aynı zamanda kaynakların nasıl kullanıldığını ve çıktıların ne kadar etkili olduğunu ölçmeyi amaçlamaktadır. VZA, genellikle karar verme süreçlerinde ve stratejik planlamada önemli bir rol oynamaktadır. Fakat VZA'nın bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Duygu, 2024).

VZA'nın Güçlü Yönleri:

- VZA, farklı organizasyonel bölümler arasında ortak paydalara veya birim farklılıklarına bakmaksızın çoklu girdi ve çıktı unsurlarının entegre bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu, sistemin genel verimliliğini de arttırmaktadır.
- Her bir Karar Verme Birimi (KVB) için amaç fonksiyonunu ayrı ayrı ele alarak en optimal sonuçları elde etmeyi hedeflenmektedir. Bu sayede her bir birimin özgün ihtiyaçlarına ve koşullarına özel çözümler geliştirilmektedir.
- VZA, performans değerlendirmesinde en iyi örneklem yöntemini kullanarak tüm KVB'ler için ideal bir sınır belirlenmektedir. Bu sınır, etkin ve etkin olmayan KVB'lerin ayrımını yapmayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, etkin olmayan birimlerin verimliliklerini artırmak için hedefler belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu özellik, VZA'nın dikkat çekici bir yöntem olmasını sağlamaktadır.
- Daha önce yapılmış verimlilik analizleri veya çalışmalarla karşılaştırma imkânı sunmakta mevcut durumun daha iyi değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

- Fonksiyonel analizin gerektirdiği varsayımlar bulunmadığı için parametrik verimlilik ölçüm yöntemlerine kıyasla daha fazla esneklik sergilemektedir.
- VZA, değişen piyasa yapıları ve çevresel koşullara kolayca adapte olabilme yeteneği ile öne çıkmaktadır.

VZA'nın Zayıf Yönleri:

- Veri odaklı bir analiz yöntemi olan VZA, kullandığı verilere son derece duyarlıdır. Bu nedenle yanlış veri veya değer seçimleri sonuçların doğruluğunu ciddi şekilde etkileyebilir. Bu durum ise yöntemin güvenilirliğini azaltabilir.
- VZA sonuçlarına istatistiksel hipotezlerin uygulanması parametrik bir yöntem kullanılmadığı için karmaşık hale gelebilir.
- KVB'lerin homojen bir biçimde seçilmesi, analizlerin geçerliliği için kritik bir faktördür. Aksi takdirde, sistem yanlışlıkla aşırı büyük veya küçük değerleri verimli olarak algılayabilir. Bu durum ise sonuçların doğruluğunu etkileyebilir.
- Sonuçların güvenilirliği, seçilen girdi ve çıktı bileşenlerinin incelenen alanla olan doğrudan ilişkisine bağlıdır. Bu nedenle, doğru bileşenlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.
- Her bir karar birimi için ayrı hesaplamalar yapmak zaman alıcı bir süreçtir ve bu durum uygulamanın etkinliğini olumsuz etkileyebilir.

VZA'nın güçlü ve zayıf yönlerinin analizi, bu yöntemin uygulama alanlarında daha etkili bir şekilde kullanılabilmesi için gerekli stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu analiz, VZA'nın avantajlarının en üst düzeye çıkarılması ve zayıf yönlerinin aşılması için hangi adımların atılması gerektiğini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Böylece, karar verme süreçlerinde VZA'nın etkinliği arttırılabilir ve organizasyonel verimlilik daha iyi bir şekilde sağlanabilir.

4.5. Veri Zarflama Analizi Modelleri

Veri zarflama analizinde, modeller ölçek getiri yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, ölçek bazında sabit getiri (CCR) ve değişken getiri (BCC) olmak üzere iki farklı ölçek yapısından bahsedilebilir. CCR modeli, karar birimlerinin verimliliğini sabit getirili bir ölçekte değerlendirilmektedir. BCC modeli ise ölçeğe göre değişken getirili bir yapı

sunmaktadır. Bu iki modelin seçimi analiz edilen verinin doğasına ve analiz hedeflerine göre belirlenmektedir. Her iki yapı da farklı analiz sonuçları ortaya çıkarabilmektedir.

Kullanılacak modelin türü araştırmanın kapsamına ve kabul edilen varsayımlara göre farklılık göstermektedir. Eğer karar birimlerinin sabit getiri sunduğu düşünülüyorsa ve birimlerin genel etkinlik düzeyi ölçülmek isteniyorsa; CCR veya yönelimden bağımsız modellerin tercih edilmesi uygundur. Bu seçim, araştırmanın metodolojik tutarlılığını destekleyerek analizde güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Karar verme birimleri (KVB) için ölçeğe göre değişken getiri varsayımı geçerli olduğunda ve birimlerin teknik etkinlikleri hesaplanmak istendiğinde; BCC veya toplamsal modellerin tercih edilmesi uygun görülmektedir. Karar verme birimlerinin etkinlikleriyle ilgili daha ayrıntılı bilgi elde edilmesi hedefleniyorsa yani etkin olmayan birimlerin verimsizliğinin teknik etkinlikten mi yoksa ölçekten mi kaynaklandığının belirlenmesi gerekiyorsa; toplam, teknik ve ölçek etkinliklerinin tamamının analiz edilmesi gerekmektedir. CCR modeli, BCC modeline göre daha kısıtlayıcıdır. Bu nedenle, genellikle daha az sayıda verimli birim üretmektedir (Dalfard ve ark., 2012).

CCR ve BCC modelleri, girdi yönelimli ve çıktı yönelimli olarak iki farklı yapıda oluşturulabilirler. Girdi yönelimli veri zarflama analizi (VZA) modelleri, belirli bir çıktı düzeyini en verimli şekilde üretmek için gerekli olan en uygun girdi kombinasyonunu incelemeyi amaçlamaktadır. Bu modeller, mevcut çıktıyı elde etmek için mümkün olan en düşük girdi seviyesinin kullanılmasını hedeflerken aynı zamanda çıktı yönelimli modeller mevcut girdilerle elde edilebilecek en yüksek çıktı miktarına odaklanmaktadırlar. Çıktı yönelimli VZA modelleri belirli bir girdi kombinasyonuyla en yüksek seviyede ne kadar çıktı elde edilebileceğini analiz etmektedir (Charnes ve ark., 1978).

4.5.1. Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) modeli

İlk olarak, Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında geliştirilen bu model, veri zarflama analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, modellere de temel oluşturmaktadır. CCR modeli, Farell'in verimlilik ölçümleme yönteminde kullandığı tek çıktı-girdi oranı kavramının genişletilmiş bir versiyonu olarak bilinmektedir. Ayrıca, girdi ve çıktılar hakkında ön bilgi gerektirmeyen aynı zamanda birden çok çıktının birden çok girdiye oranını esas alarak organizasyonel verimliliği ölçmeyi hedeflemektedir. CCR modelinin ana amacı, her verimsiz karar birimime karşılık gelen verimli karar birimlerini tanımlamaktır. Sabit getiri varsayımı altında birimlerin toplam etkinliklerinin belirlenmesi gerektiğinde CCR modeli tercih

edilebilmektedir. Model, girdi yönelimli ve çıktı yönelimli olmak üzere iki çeşide ayrılmaktadır. Karar birimi aynı girdilerle daha fazla çıktı üretebildiği durumda çıktı yönelimli CCR modeli olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla, aynı çıktıyı minimum girdiyle elde etme odaklı analizler ise girdi yönelimli CCR modelini ifade edilmektedir (Mondal ve Chakraborty, 2013).

CCR modelinin matematiksel ifadesi, *n* adet sayıda karar biriminin değerlendirdiği bir sistemde, *m* adet girdi ve *s* adet çıktı için tanımlanabilmektedir. Mevcut durumda, *j*'inci karar biriminin *i*'inci girdi miktarı $\boldsymbol{x_{ij} \geq 0}$ ve aynı birim tarafından üretilen *r*'inci çıktı miktarı $\boldsymbol{y_{rj} \geq 0}$ olarak ele alınmaktadır. Bu model, temel bir doğrusal programlama modeli olarak tanımlanan VZA amaç fonksiyonunu içermektedir. Modelin denklemi aşağıda sunulmaktadır. (Mondal ve Chakraborty, 2013).

$$\boldsymbol{Enb} = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \cdots + u_s y_{sk}}{v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} + \cdots + v_m x_{mk}} = \boldsymbol{Enb} \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}} \qquad (1)$$

Öyle ki, $\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq \boldsymbol{1; j = 1, \ldots, n}$ (2)

$$\boldsymbol{u_r > 0; r = 1, \ldots, s} \text{ ve } \boldsymbol{v_1 > 0; i = 1, \ldots, m} \qquad (3)$$

Denklem 3'te belirtilen enbüyükleme modelindeki parametreler aşağıda detaylandırılmaktadır.

$\boldsymbol{u_r}$: k. KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık

$\boldsymbol{v_i}$: k. KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlık

$\boldsymbol{y_{rk}}$: k. KVB tarafından üretilen r. çıktı

$\boldsymbol{x_{ik}}$: k. KVB tarafından kullanılan i. girdi

$\boldsymbol{y_{rj}}$: j. KVB tarafından üretilen r. çıktı

$\boldsymbol{x_{ij}}$: j. KVB tarafından kullanılan i. girdi

Eğer n adet karar verme birimi varsa bu birimlerin her biri için n farklı modelin oluşturulması ve her modelin göreceli etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla n tane optimizasyon modelinin çözülmesi gerekmektedir. Bu modellerin amaç fonksiyonu, k. KVB için toplam ağırlıklandırılmış çıktıların toplam ağırlıklandırılmış girdilere oranının en yüksek seviyeye çıkarılmasıdır. Her KVB için bu oranın en fazla 1 olması gerektiği ve en iyi amaç fonksiyonunun bu değeri geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Ancak bu karmaşık ve kesirli

problemin karar vericiler tarafından doğrudan çözülmesi oldukça zordur. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla Charnes, 1978 yılında doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve problemi çıktı maksimizasyonu veya girdi minimizasyonu şeklinde yeniden ifade etmiştir. Mondal ve Chakraborty (2013) ise çalışmasında, girdi minimizasyonu CCR modeline uyarlamış ve bu modelin amaç fonksiyonu aşağıdaki denklem ile gösterilmiştir.

$$\boldsymbol{g_k = Enk\ (\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik})} \qquad (4)$$

Öyle ki, $\boldsymbol{-\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} + \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} \geq 0; j = 1, \dots, n}$ (5)

$\boldsymbol{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} = 1}$ eşitliği ile birlikte, (6)

$\boldsymbol{u_r > 0; r = 1, \dots, s}$ ve $\boldsymbol{v_i > 0; i = 1, \dots, m}$ (7)

Verimlilik ölçülerinin hesaplanmasında $\boldsymbol{H_k = 1/g_k}$formülü kullanılmaktadır. Buradaki $\boldsymbol{H_k}$, k. karar verme biriminin verimlilik göstergesini temsil etmektedir. CCR modeline göre, bu değerin 1'e ulaşması durumunda ilgili KVB verimli olarak değerlendirilmektedir. Verimli kabul edilen bu KVB'ler sonrasında gelecekteki iyileştirmeler için referans noktası oluşturma potansiyeline sahiptir.

Göreceli toplam etkinlikler daha önce açıklanan girdi yönelimli CCR modeline ek olarak çıktı yönelimli CCR modelleri kullanılarak da hesaplanabilmektedir. Girdi yönelimli CCR modelinden elde edilen görece toplam etkinlik değeriyle birlikte çıktı yönelimli CCR modelinden elde edilen değerle eşitlik görülmektedir. Bu özelliğe sahip olan CCR modeli verimlilik analizinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, CCR modeli VZA modelleri arasında en temel ve en basit model olarak literatürde kabul edilmektedir.

4.5.2. Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modeli

Veri zarflama analizinde CCR modeli, ölçeğe dayalı sabit getiri varsayımına dayanırken Banker, Charnes ve Cooper, ölçek durumlarını ele almaktadır. Bu nedenle, BCC modeli olarak bilinmektedir ve veri zarflama analizine yeni bir çözüm önerisi geliştirmiştir. Bu model, organizasyonların optimal büyüklükte faaliyet göstermeleri kısıtlandığında uygun bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, bir karar verme biriminin sınırlı kaynaklarını kullanarak istenen çıktıları üretme yeteneğini ölçen saf teknik verimlilik puanını da hesaplamaktadır. Ek olarak BCC modeli, bir KVB'nin ölçekle ilişkili olarak artan, sabit ya da azalan getiriler altında nasıl bir performans sergilediğini gösterme yeteneğine de ortaya koymaktadır (Trzcianowska ve ark., 2019).

Mondal ve Chakraborty (2013) çalışmasında, BCC ve CCR modelleri arasındaki önemli bir farklılığın CCR modelinin verimliliği arttırmadan veya azaltmadan girdi ve çıktıları doğrusal bir şekilde ölçeklendirmeye odaklandığını belirtmişlerdir. BCC modelinde, CCR modellerinin dualine eklenen ve konvekslik kısıtı olarak bilinen (Σλj=1) kısıt eklenmiştir. Ayrıca, BCC modeli ile karar verme birimlerinin ölçekle ilişkili getiri türleri de belirlenebilmektedir. Dolayısıyla, BCC modelinin uygulamaları CCR modeline göre daha yüksek verimlilik puanları ürettiğini göstermektedir. Bu araştırmada, BCC modelinin matematiksel tanımı girdi yönelimli en küçültme modeli olarak teorik bir şekilde denklem aşağıda sunulmaktadır (Mondal ve Chakraborty, 2013).

$$\boldsymbol{Enk\ G_0} \tag{8}$$

Öyle ki, $\boldsymbol{\sum_j \lambda j\, y_{rj} - G_0 x_{i0} \leq 0}$ (9)

$$\boldsymbol{\sum_j \lambda j = 1} \tag{10}$$

$$\boldsymbol{\lambda j \geq 0} \tag{11}$$

Denklemde yer alan $\boldsymbol{y_{rj,}}$ j. karar verme birimleri için r. çıktı miktarıdır. Aynı zamanda, $\boldsymbol{x_{ij}}$ aynı karar verme birimleri için girdi miktarını temsil etmektedir. $\boldsymbol{\lambda}$ ise, negatif olmayan konvekslik kısıt vektörünü ifade etmektedir. Mevcut kısıt dolayısıyla BCC modellerinin ölçeğe değişken getiri varsayımının oluşturulmasını sağlamaktadır. Yukarıda yer alan BCC modeli, doğrusal programlama problemini çözerek karar verme birimlerinin etkinliğini analiz etmektedir. Girdi odaklı bir model kullanıldığında eğer bir KVB'nin nispi verimlilik skoru 1 ise bu durumda BCC modelinin etkin olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, eğer bu skor 1'den düşükse, KVB'nin verimsiz olduğu sonucuna varılmaktadır. Öte yandan, çıktı odaklı BCC modelinde durum farklıdır; burada verimlilik skoru 1'den büyükse, bu KVB'nin verimlilik açısından yetersiz olduğunu ifade etmektedir.

CCR modelinin BCC modeline geçişi sırasında eklenen konvekslik kısıtı veri zarflama analizinin daha kapsamlı olmasına yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda, bir karar verme birimi için hesaplanan ağırlıklar (λj'ler) toplamının durumunu ifade ederken KVB'nin ölçeğe bağlı getiri özelliklerini yansıtmaktadır. Toplamın birden büyük olduğu durumda KVB azalan ölçek getirisini ifade ederken birden küçük olduğu durumda ise artan ölçek getirisini ifade etmektedir. Diğer yandan, bire eşitse de sabit ölçek getirisini ifade etmektedir. Toplam etkinlik değeri, BCC modeliyle elde edilen görece saf etkinlik değeri ile görece ölçek etkinliğinin çarpımına eşittir. Dolayısıyla, bir KVB'nin verimli olup olmadığını belirlemek için ölçek etkinlik değeri, toplam etkinliğin saf etkinliğe bölümü ile hesaplanmaktadır (Koçak ve Boran, 2019).

Saf etkinlik ve ölçek etkinliği değerlerinin bilinmesi durumunda toplam etkinliği düşük olan bir karar verme biriminin verimsizliğinin kaynağını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Literatürde, veri zarflama analizi uygulamalarında toplam etkinliği ölçen CCR modeli ile saf etkinliği ölçen BCC modeli birlikte kullanılarak ölçek etkinlikleri hesaplanmış ve daha derinlemesine analizler yapıldığı görülmektedir. Bu yaklaşımla beraber KVB'lerin ölçek farklılıklarının etkisinin ortadan kaldırılarak saf teknik etkinliklerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri veri zarflama analizi ile değerlendirilmiştir. Bu nedenle, girdi değişkenleri olarak; il bazında kişi başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH), kişi başına elektrik tüketimi, motorlu kara taşıtları ve konut sayısı olarak belirlenmiştir. Ek olarak, çıktı değişkenleri ise; elektrikli otomobil sayısı, elektrikli araç şarj istasyonu sayısı ve elektrikli otomobil kullanım oranı olarak uzman kişiler tarafından belirlenmiştir. Bu değişkenlerle beraber VZA yöntemiyle Türkiye genelindeki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri açısından analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, VZA sonucunda Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri sonucuna ulaşılması hedeflenmektedir.

Çalışmada, illere ait girdi değişkenleri üzerinde herhangi bir kısıtlama bulunmadığı ve iller özelinde çıktı iyileştirmeye odaklandığı için aşağıda belirtilen matematiksel model çıktı odaklı BCC modeli üzerinden uygulanacaktır.

$$\boldsymbol{Enb\ G_0} \tag{12}$$

$$\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda j\, x_{ij} \leq\ x_{i0}, i = 1, \dots, m} \tag{13}$$

$$\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda j\, y_{rj} \geq G_0 y_{r0}, r = 1, \dots, s} \text{ olmak üzere,} \tag{14}$$

$$\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda j = 1} \tag{15}$$

$$\boldsymbol{\lambda j\ \geq 0, j = 1, \dots, n} \tag{16}$$

Bu çalışma çerçevesinde, yukarıda belirtilen denklem Türkiye'deki tüm illeri temsil eden karar verme birimleri için uygulanacaktır. Söz konusu doğrusal model, 81 il için R programlama dili kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bulgular çalışmanın sonraki bölümünde ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

5. ELEKTRİKLİ OTOMOBİL ŞARJ İSTASYONLARI

Elektrikli otomobiller sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi ve seyahatlerine devam edebilmesi için bataryalarını şarj edebilecekleri elektrikli otomobil şarj ünitelerine ihtiyaçları vardır. Bu üniteler hem kullanıcıların evlerinde hem de elektrikli otomobil şarj istasyonlarında bulunabilir.

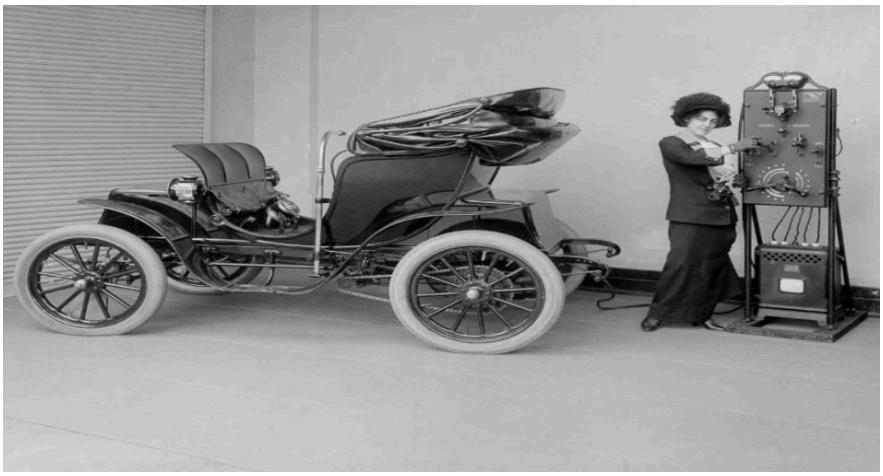
Günümüzde elektrikli otomobiller tercih edilmektedir (Kerem, 2014). Bu durum ise, elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliği konusundaki araştırma ihtiyacını açıkça ortaya koymaktadır. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşması, çevresel faydalarının yanı sıra enerji verimliliği açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, bu araçların kullanımının artış göstermesiyle birlikte şarj altyapısının da aynı oranda gelişmesi gerekmektedir.

Mevcut şarj istasyonlarının sayısının ve dağılımının yetersiz olması elektrikli otomobil sahiplerinin günlük kullanımlarını sınırlamaktadır. Dolayısıyla, uzun mesafeli yolculuklarda önemli zorluklar yaratmaktadır. Bu nedenle, elektrikli otomobillerin potansiyelinin tam olarak gerçekleştirilebilmesi için şarj istasyonu ağının genişletilmesi ve optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, şarj sürelerinin kısaltılması ve şarj teknolojilerinin geliştirilmesi de önem arz etmektedir.

5.1. Elektrikli Otomobil Şarj İstasyonlarının Tarihsel Gelişimi

Amerika Birleşik Devletleri'nde 20.yy.'ın başlarında mevcut araçların %38'inin elektrikli araçlardan oluştuğu bilinmektedir. Günümüzde güçlü bataryalara sahip olan elektrikli otomobillerin tarihi geçmişe dayanmaktadır. Örnek olarak, Morrison Electric modeli 1890 yılında tasarlanmıştır. Ayrıca bu model 3 beygir gücünde bir motorla donatılmıştı. Ek olarak, şarj olması yaklaşık olarak 10 saat sürdüğü bilinmekteydi. 1912'de The Pope Manufacturing Company Şekil 4'te gösterdiği üzere bilinen ilk şarj cihazını üretmiştir (Işık, 2023). Ancak, 1920'lerden itibaren petrol endüstrisindeki gelişmeler ve içten yanmalı motorlu otomobillerin seri üretime geçişi nedeni ile elektrikli otomobillere olan ilgi azalmıştır. Bu durum, uzun bir süre boyunca elektrikli araçlar ve şarj altyapıları alanlarında teknolojik ilerlemelerin durmasına neden olmuştur.

Şekil 5 İlk Elektrikli Araç Şarj Ünitesi



Kaynak: Işık, 2023.

EV1 modeli General Motors aracılığıyla 2001 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu model, standartlara uygun şekilde elektrik şebekesine bağlanarak şarj edilebiliyordu. Bu otomobil, General Motors'un elektrikli araç endüstrisine yeni bir perspektif kazandırmasına yardımcı olmuştur (Johnson, 1999). 2006 yılında Yazaki, şebekeye bağlanabilen yeni bir sistem geliştirmiştir. Geliştirilen sistemin güç transfer kapasitesi 19.2 kW'ye kadar ulaşabildiği bilinmekteydi. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, elektrikli otomobilleri daha kısa sürede şarj edilebilen yüksek güçte hızlı şarj istasyonları geliştirilmiştir. Daha sonra, 2000'li yılların başlarına geldiğimizde sadece birkaç ülkede ve sınırlı sayıda bulunan bu hızlı şarj istasyonları günümüzde birçok ülkede daha geniş çapta kullanılmaktadır.

Yenilikçi şarj teknolojileri, elektrikli otomobil şarj sistemlerinin gelişiminde oldukça önemli bir rol oynamıştır. Örnek olarak, Şekil 5'te gördüğümüz gibi, kablosuz şarj teknolojileri sayesinde elektrikli otomobiller kablosuz şarj pedlerinin üzerine park ederek otomobillerini şarj edebilmektedir. Bu teknoloji, kullanıcıların kablo kullanma zorunluluğunu ortadan kaldırarak şarj işlemini daha pratik ve kolay hale getirmektedir.

Şekil 6 Elektrikli Otomobillerde Kablosuz Şarj

Kaynak: Webtekno, 2024

Akıllı şarj sistemleri de elektrikli otomobil şarjının gelişiminde önemli bir yer tutmaktadır. Mevcut sistemler, enerji yönetimi ve şarj optimizasyonu için akıllı algoritmalar kullanarak son kullanıcılara daha verimli bir şarj deneyimi sunmaktadır. Akıllı şarj sistemleri, kullanıcıların şebeke taleplerini dengelemesine, enerji maliyetlerini düşürmesine ve şebekenin yük dengesini sağlamasına yardımcı olmak amacıyla enerji talebini optimize edebilmektedir.

5.2. Elektrikli Otomobil Şarj Teknolojileri

Günümüzde elektrikli araçlar, alternatif akım (AC) ya da doğru akım (DC) ile şarj edilebilmektedir. Mevcut akımları kullanan çeşitli şarj istasyonları yaygın bir şekilde kurulmuştur (Karapınar ve Daldaban, 2022). Bu şarj istasyonları, elektrikli otomobil sahiplerine esnek ve erişilebilir şarj çözümleri sunmaktadır.

Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI) tarafından yayınlanan "Consumer Guide to Electric Vehicle Charging" adlı rehberde, elektrikli araç şarj teknolojileri üç ana kategoriye ayrılarak tanımlanmıştır: AC Seviye 1, AC Seviye 2 ve DC Hızlı Şarj şeklindedir. Bu sınıflandırmalar, elektrik enerjisinin elektrikli otomobillerin batarya sistemlerine hangi şekilde aktarıldığını standartlar ve özellikler açısından belirlemektedir (İpek, 2022).

5.2.1. AC seviye 1 şarj teknolojisi

AC Seviye 1 şarj teknolojisi, elektrikli araçların en temel ve yaygın şarj yöntemlerinden biridir (Kerem, 2014). Genellikle 120 voltluk standart ev prizleri kullanılarak gerçekleştirilen bu şarj yöntemi düşük güçlü bir şarj çözümü sunmaktadır.

Teknik olarak, AC Seviye 1 şarj, 120 voltluk bir AC güç kaynağı ile çalışmaktadır. Ayrıca, genellikle 12 ila 16 amper arasında bir akım sağlamaktadır. Bu yöntem, aracın araç içi şarj cihazını kullanarak bataryaya enerji aktarmaktadır. Tipik olarak, AC Seviye 1 şarj cihazları 1.4 ila 1.9 kW arasında bir güç çıkışı sağlamaktadır.

AC Seviye 1 şarj, nispeten düşük güç çıkışı nedeniyle diğer şarj yöntemlerine kıyasla otomobilleri daha uzun sürede şarj etmektedir. Tamamen boş bir bataryanın tamamen dolması bataryanın kapasitesine bağlı olarak 8 ila 20 saat arasında sürdüğü bilinmektedir. AC Seviye 1 şarj, genellikle elektrikli otomobillerin evde şarj edilmesi için uygun görülmektedir (İpek, 2022). Ek olarak, standart prizler kullanılarak kolayca erişilebilir olması evde şarj imkânı olmayan kullanıcılar için bir avantaj sağlamaktadır.

AC Seviye 1 şarjın bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Avantajları arasında kolay erişim, düşük maliyet ve taşınabilirlik yer almaktadır. AC Seviye 1 şarj, standart elektrik prizleri kullanılarak hemen hemen her yerde kullanılabilmektedir. Ayrıca, kurulum maliyeti oldukça düşüktür. Çünkü AC Seviye 1 şarj, özel bir altyapı gerektirmemektedir. Fakat, dezavantajları arasında uzun şarj süresi ve yetersiz hız bulunmaktadır. Düşük güç çıkışı nedeniyle şarj süresi oldukça uzundur. Dolayısıyla, günlük kullanımda kısa sürede büyük miktarda enerji depolama ihtiyacı olan kullanıcılar için yetersiz kalabilmektedir.

5.2.2. AC seviye 2 şarj teknolojisi

AC Seviye 2 şarj teknolojisi, elektrikli araçların daha hızlı ve verimli bir şekilde şarj edilmesini sağlayan gelişmiş bir şarj yöntemidir (Karapınar ve Daldaban, 2022). Bu şarj yöntemi, genellikle 240 voltluk özel şarj üniteleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, 20 ila 80 amper arasında bir akım sağlamaktadır. AC Seviye 2 şarj cihazları, 3.3 kW ile 19.2 kW arasında değişen güç çıkışlarına sahiptir.

AC Seviye 2 şarj teknolojisi, yüksek güç çıkışı sayesinde bataryaların daha kısa sürede şarj edilmesine olanak tanımaktadır. Tamamen boş bir bataryanın dolması bataryanın kapasitesine ve şarj cihazının gücüne bağlı olarak 4 ila 8 saat arasında sürdüğü bilinmektedir. Bu kısa şarj süresi AC Seviye 2 şarjı, günlük kullanım için ideal kılmaktadır. Dolayısıyla, gece boyunca ya da iş yerinde park halinde olan araçların şarj edilmesi için kullanıma uygun görülmektedir. Ek olarak, AC Seviye 2 şarj hem evde hem de halka açık alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

AC Seviye 2 şarjın birçok avantajı vardır. En önemli avantajlarından biri, daha hızlı şarj süresidir. Dolayısıyla, yüksek güç çıkışı sayesinde araç bataryaları hızlı bir şekilde dolmaktadır.

Bu durum ise, günlük kullanımda büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca, bu şarj yönteminin hem evde hem de halka açık alanlarda kullanılabilir olması diğer avantajlarından biridir. Fakat, AC Seviye 2 şarjın dezavantajları arasında kurulum maliyeti ve gereksinimleri yer almaktadır.

5.2.3. DC hızlı şarj teknolojisi

DC hızlı şarj teknolojisi, elektrikli otomobillerin bataryalarını çok kısa sürede şarj etmek için kullanılan ileri düzey bir şarj yöntemidir(Karapınar ve Daldaban, 2022). Bu şarj yöntemi, doğrudan doğru akım (DC) kullanarak bataryayı şarj etmektedir. Bu sayede, araç içi dönüştürücüleri atlayarak yüksek hızda enerji aktarımı sağlamaktadır. Genellikle 50 kW ile 350 kW arasında değişen güç çıkışlarına sahiptir. DC hızlı şarj istasyonları, bataryaya doğrudan enerji aktararak şarj süresini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yöntem, özellikle uzun yolculuklarda ve kısa süre içerisinde bataryayı doldurmak gerektiğinde tercih edilmektedir.

DC hızlı şarj, yüksek güç çıkışı sayesinde bataryaların çok kısa sürede şarj edilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, 50 kW'lık bir DC hızlı şarj cihazı, ortalama bir elektrikli aracı yaklaşık 30-40 dakikada %80 oranında şarj edebilmektedir. Ek olarak, 150 kW veya daha yüksek güçlü istasyonlar ise bu süreyi 20 dakikanın altına indirebilmektedir. DC hızlı şarj istasyonları, otoyol kenarlarında, benzin istasyonlarında, alışveriş merkezlerinde ve şehir içi park alanlarında bulunan bu istasyonlar, elektrikli araç kullanıcılarına hızlı ve pratik bir şarj çözümü sunmaktadır.

DC hızlı şarjın birçok avantajı bulunmaktadır. En belirgin avantajı ise şarj süresinin son derece kısa olmasıdır. Yüksek güçlü şarj çıkışı sayesinde kullanıcılar kısa süre içinde araçlarının bataryalarını büyük oranda doldurma imkânına sahiptirler. Bu durum ise, uzun yolculuklar sırasında büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca, DC hızlı şarj istasyonlarının yaygınlaşması, elektrikli araçların daha geniş bir kitle tarafından benimsenmesini teşvik etmektedir. Ancak, dezavantajları arasında yüksek kurulum maliyetleri ve enerji talebi bulunmaktadır. DC hızlı şarj istasyonlarının kurulumu veya işletimi yüksek maliyetli olabilir.

5.3. Konnektör Türleri

Konnektör, elektronik devrelerde veya cihazlarda elektrik sinyallerinin iletilmesini ve bağlantıların yapılmasını sağlayan bir bileşendir. Farklı türdeki konnektörler, çeşitli cihazlar ve kablolar arasında güvenilir veya sağlam bir bağlantı kurmak için tasarlanmıştır. Konnektörler, fiş ve soket olarak iki temel parçadan oluşmaktadır. Kullanım alanları arasında otomobil sistemleri, telefonlar, araçlar ve endüstriyel makineler gibi birçok farklı cihaz yer almaktadır.

Konnektörler, elektrik akımını iletmek, veri transferini sağlamak ve çeşitli elektriksel veya elektronik sistemler arasında uyumluluk sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

5.3.1. Kombo 1 ve kombo 2 konnektör

Kombine şarj sistemi (KŞS), Volkswagen tarafından ilk kez 2013 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Kombine şarj sistemi kombo konnektörler, Amerika ve Avrupa'da mevcut olan alternatif akım (AA) şarj konnektörlerine ek olarak doğru akım (DC) taşıyan +/- pinlerin eklenmesi ile oluşmaktadır (Işık, 2023).

KŞS Kombo 1, J1772 Tip 1 konnektörünü temel alan iki pin eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu konnektör tipinde 350 kW'a kadar hem AC hem de DC şarj kapasitesine sahip olmaktadır. KŞS Kombo 1, Amerika'da yayın olarak kullanılmaktadır (Raff ve ark., 2019).

KŞS Kombo 2 ise, Tip 2 konnektörü temel alınarak yine iki ek pin eklenmesi ile tasarlanmaktadır. Aynı şekilde, 350 kW'a kadar DC ve AC şarjı desteklemektedir. KŞS Kombo 2, Türkiye ve Avrupa'da standart olarak kullanılmaktadır (Toth ve ark., 2012).

KŞS konnektörleri, yüksek şarj kapasitesi ve çift yönlü akım iletme yetenekleriyle elektrikli otomobiller için hem hızlı hem de güvenilir bir şarj çözümü sunmaktadır. Bu konnektörler, küresel şarj altyapısının standartlaşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 6'da kombo 1 ve kombo 2 konnektör türlerinin görselleri yer almaktadır.

Şekil 7 Kombo 1 ve Kombo 2 Konnektörleri

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.3.2. CHAdeMO tip konnektör

CHAdeMO tipi şarj konnektörü, 2009 yılında piyasaya sürülmüştür. Ek olarak, dört büyük Japon otomobil üreticisinin desteğiyle günümüzde dünyanın en yaygın şarj konnektörlerinden biri haline gelmiştir (Işık, 2023). 2018 yılında tanıtılan yeni versiyonu, 400 kW DC şarj hızına

ulaşabilen kapasitesiyle dikkat çekerken, KŞS kombo konnektörlerine kıyasla daha kompakt bir tasarıma sahip olduğu bilinmektedir (Mizuno ve ark., 2022).

Dünya genelinde 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 1.3 milyon CHAdeMO konnektörlü araç bulunmaktadır. Bu konnektörleri destekleyen ise yaklaşık 50 bin şarj istasyonu bulunmaktadır. CHAdeMO uyumlu istasyonlar ağırlıklı olarak Avrupa, Japonya ve ABD'de yoğunlaşmıştır. Türkiye'de de doğru akım (DA) şarj istasyonlarının büyük çoğunluğunda CHAdeMO uyumlu kablolar sunulmaktadır (EVStatistics, 2024).

CHAdeMO'nun yaygınlığı, bu konnektör tipinin güvenilirliği ve hızlı şarj kapasitesi ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, bu konnektörlerin dünya çapında geniş bir kabul görmesi, elektrikli araçların küresel olarak benimsenmesini ve şarj altyapısının gelişimini desteklemektedir. Elektrikli araç sahipleri için hızlı ve güvenilir şarj imkânı sunan CHAdeMO, sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır. Şekil 7'de CHAdeMO tip konnektör görseli yer almaktadır.

Şekil 8 CHAdeMO Tip Konnektör

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.3.3. GB/T tip konnektör

Çin, elektrikli araç dönüşümünü ve teknolojisini desteklemek amacıyla 2015 yılında kendi alternatif akım (AA) ve doğru akım (DA) şarj konnektör tasarımlarını tanıtmıştır. Çin'de satılan tüm elektrikli araç modellerinde kullanılan GB/T standardı günümüzde milyonlarca araçta kullanılmaktadır. GB/T soketleri, Çin'de DA şarj için 235 kW'a kadar şarj imkânı sunmaktadır. Bu soketler aynı zamanda elektrikli otomobil dönüşümünü Hindistan gibi Çin'e göre daha geri planda olan ülkelerde de takip etmektedir. Hindistan'da ise bu soket, Bharat EV Charger DC-001 olarak bilinmektedir (Işık, 2023).

Çin'in bu teknoloji alanındaki öncü rolü, küresel elektrikli araç dönüşümüne önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle GB/T standardının benimsenmesi, uluslararası alanda elektrikli araçların altyapısının gelişmesine olanak tanımaktadır. Bu durum ise, elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasını hızlandırmakta ve çevre dostu ulaşımın teşvik edilmesine katkı sağlamaktadır. Şekil 8'de GB/T tip konnektör görseli yer almaktadır.

Şekil 9 GB/T Tip Konnektör

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.3.4. Type 1 tip konnektör

Type 1 tip konnektör, elektrikli araçların şarj edilmesi için kullanılan bir tür şarj konektörüdür. Bu konnektör tipi, özellikle Kuzey Amerika ve bazı Asya ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Işık, 2023).

Type 1 konnektörü, elektrikli aracın şarj portuna takılan bir kabloya sahiptir. Ek olarak, aracın şebeke elektriğiyle bağlantısını sağlamaktadır. Genellikle AC (alternatif akım) şarjı desteklemektedir. Ayrıca, ev tipi şarj istasyonlarıyla da uyumludur (Bohn, 1019).

Type 1 konnektörleri, düşük ila orta güçteki şarj ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır ve genellikle 7 kW'a kadar şarj hızlarına izin verilmektedir. Type 1 tip konnektör, Amerika'da Seviye 1 şarj cihazlarında tercih edilmektedir. Şekil 9'da Type 1 tip konnektör görseli yer almaktadır.

Şekil 10 Type 1 Tip Konnektör

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.3.5. Type 2 tip konnektör

Type 2 konnektörü, elektrikli otomobillerin şarj edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir türdür (Işık, 2023). Bu konnektör tipi, özellikle ABD'de Seviye 2 şarj cihazlarında ve Avrupa'da Mod 1, 2, 3 şarj cihazlarında sıkça görülmektedir. Type 2 konnektörü, üç fazlı sistemlere bağlanabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, 22 kW'nin üzerinde şarj hızlarına da ulaşabilmektedir.

Avrupa Birliği'nin resmi şarj konnektörü olarak kabul edilen Type 2 konnektör, Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. 2013 yılından bu yana ise standart bir hal almıştır. Türkiye'de ise Mennekes olarak da bilinen bu konnektör, elektrikli araçların şarj edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Daha önce DC hızlı şarj için güncellenmesi düşünülen Type 2 konnektör ancak bu amaçla altına +/- pinlerin eklenmesiyle KŞS Kombo 2 olarak geliştirilmiştir (Bohn, 2019).

Tesla, Avrupa'daki Supercharger istasyonlarında bu konnektörün modifiye edilmiş bir versiyonunu kullanmaktadır. Type 2 SAE J3068 konnektörü, dünya genelinde hemen hemen her ülkede bulunabilmektedir. Ek olarak, elektrikli araçların şarj edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. ABD, Avrupa ve Türkiye gibi birçok ülkede yaygın olarak kullanılan bu konnektör birçok elektrikli aracın standart şarj arabirimini oluşturmaktadır. Birçok elektrikli otomobil şarj istasyonunda standart olarak sunulduğu bilinmektedir. Şekil 10'da Type 2 tip konnektör görseli yer almaktadır.

Şekil 11 Type 2 Tip Konnektör

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.3.6. ChaoJi tip konnektör

Japonya ve Çin'in iş birliğiyle geliştirilen ChaoJi soketi, elektrikli otomobillerin hızlı şarj edilmesinde devrim niteliğinde bir adımı temsil etmektedir (Işık, 2023). Bu soket, 1500 V ve 600 A gibi yüksek güç kapasitelerini destekleyerek 900 kW'lık bir DC şarj hızına ulaşabilme imkânı sunmaktadır. CHAdeMO 3.0 olarak da bilinen bu proje, elektrikli araçlar için standart bir şarj protokolü sağlamak amacıyla iki farklı protokol üzerinden uygulanması beklenmektedir.

ChaoJi soketi, ChaoJi-1 ve ChaoJi-2 olmak üzere iki farklı protokol üzerinden dünya genelinde kullanıma sunulması hedeflenmektedir. ChaoJi-1 protokolü sadece Çin'de geçerli olacakken, ChaoJi-2 protokolü Japonya ve diğer ülkelerde kullanılacaktır. Bu sayede, elektrikli araçların farklı coğrafi bölgelerdeki şarj ihtiyaçlarına uygun çözümler sunulacaktır (Diaz ve Cristina, 2018).

ChaoJi tip konnektörün, mevcut Type 1 SAE J1772, Type 2 SAE J3068 ve GB/T konnektörlerle uyumlu bir şekilde yeni elektrikli araçlara uygulanabileceği planlanmaktadır. Bu da mevcut altyapıya kolay bir geçiş ve uyum sağlayarak elektrikli otomobil kullanımının yaygınlaşmasını destekleyecektir. Şekil 11'de ChaoJi tip konnektör görseli yer almaktadır.

Şekil 12 ChoaJi Tip Konnektör

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.3.7. Tesla şarj konnektörü

Tesla'nın elektrikli otomobil pazarına sunduğu lityum iyon pilli araçlar, şarj altyapısı konusunda başlangıçta evrensel bir standardı benimsememiştir. 2008 yılında ilk modellerini piyasaya sürdüğünde Tesla'nın şarj ihtiyaçlarını karşılayacak bir standart konnektör tasarımı bulunmamakta idi. Ancak Tesla, bu eksikliği fark ederek AC ve DC şarjını tek bir kompakt konnektörde birleştiren bir tasarımın geliştirilmesine odaklanmıştır (Işık, 2023).

Günümüzde, yalnızca Tesla Supercharger şarj istasyonlarında bulunan ve 250 kW'a kadar hızlarda şarj imkânı sunan Tesla konnektörü, Çin ve Avrupa'da satılan araçlarda genel olarak kullanılan soketlerin yerini almıştır. Şekil 12'de Tesla şarj konnektörünün görseli yer almaktadır.

Şekil 13 Tesla Şarj Konnektörü

Kaynak: Mida EVSE, 2024

5.4. Şarj İstasyonu Yerleşim Stratejileri

Elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yerleşim stratejileri, sürdürülebilir ulaşım ve enerji verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu stratejiler, şehir planlaması ve altyapı gelişimi bağlamında elektrikli araç kullanıcılarının şarj ihtiyaçlarını karşılamak üzere optimize edilmelidir. İdeal bir yerleşim stratejisi şarj istasyonlarının yoğun trafik bölgelerinde, ticaret merkezlerine yakın konumlarda ve ana ulaşım arterlerinde konumlandırılmasını gerekmektedir. Bu şekilde, kullanıcıların şarj istasyonlarına erişim süreleri minimize edilirken şehir içi ulaşımda kesintisiz bir deneyim sağlanabilir.

Ayrıca, şarj istasyonlarının konumlandırılmasında enerji arz-talep dengesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı şarj altyapısının çevresel

etkilerini azaltmak için önemli bir strateji olarak benimsenmelidir. Özellikle güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklarla desteklenen şarj istasyonları karbon emisyonlarını azaltmada önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, şehirlerin enerji dağıtım şebekeleri ile uyumlu çalışacak şekilde planlanan şarj istasyonları enerji verimliliğini arttırırken aynı zamanda sürdürülebilir şehir konseptini de desteklemektedir.

Aynı zamanda, toplumun farklı kesimlerinin elektrikli araç kullanımını teşvik etmek için şarj istasyonlarının çeşitliliği ve erişilebilirliği de dikkate alınmalıdır. Konut alanlarına, iş yerlerine ve halka açık alanlara entegre edilen şarj istasyonları kullanıcıların araçlarını günlük rutinleri sırasında şarj edebilmelerini sağlamaktadır. Mevcut durum, elektrikli araçların benimsenme oranını artırırken şarj altyapısının yaygınlaşmasını ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin gelişmesini teşvik etmektedir.

Sonuç olarak, elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yerleşim stratejileri, şehirlerin sürdürülebilir ulaşım ve enerji politikaları ile uyumlu olmalı aynı zamanda kullanıcı dostu ve çevre dostu çözümler sunmalıdır. Bu stratejiler, yalnızca mevcut şarj ihtiyaçlarını karşılamakla kalmamalı ek olarak gelecekteki gelişmeler ve teknolojik ilerlemeler doğrultusunda esneklik sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

6. TÜRKİYE'DEKİ İLLERİN ELEKTRİKLİ OTOMOTİV ŞARJ İSTASYONU YETERLİLİKLERİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Elektrikli otomobil kullanım oranı günümüzde önemli ölçüde artış göstermektedir. Bu durum yalnızca küresel çapta olmamakla birlikte Türkiye özelinde de dikkat çekici bir gelişim sergilemektedir. Elektrikli otomobiller, karbon salınımını azaltma ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı minimize etme amacıyla tercih edilen elektrikli araçlar olarak bilinmektedir. Dolayısıyla elektrikli otomobiller sürdürülebilir bir ulaşım modeli sunarak çevreye olan duyarlılığı arttırmaktadır. Özellikle, kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerdeki hava kirliliğini azaltma ve enerji kaynaklarının verimli kullanımı gibi faktörler, elektrikli otomobillerin daha geniş kitleler tarafından benimsenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de elektrikli otomobil sayısındaki artışın devam etmesi çevre dostu ulaşımı teşvik eden stratejik bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşması beraberinde şarj altyapısının hızla geliştirilmesini de zorunlu hale getirmektedir. Türkiye'de otoyollar, şehir içi yollar ve ana durak noktalarına stratejik olarak yerleştirilen şarj istasyonları kullanıcıların elektrikli otomobillerini güvenli ve verimli bir şekilde kullanabilmeleri için kritik öneme sahiptir. Yaygın ve erişilebilir bir şarj

istasyonu ağı oluşturmak hem bireysel kullanıcıların hem de ticari filoların elektrikli araç kullanımını destekleyecek hem de bu araçların günlük yaşama entegrasyon sürecini hızlandıracaktır. Bu altyapının genişletilmesiyle beraber Türkiye'nin sürdürülebilir ulaşım hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayarak çevre dostu mobilite ekosisteminin gelişimini destekleyecektir. Bu bağlamda, çalışmada Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada kullanılan VZA yöntemi ile Türkiye'deki illerin yeterli sayıda elektrikli otomobil şarj istasyonuna sahip olup olmadığı bu bölümde değerlendirilecektir.

6.1. Karar Verme Birimlerinin Seçilmesi

Karar Verme Birimleri (KVB), verimlilikleri ölçmek amacıyla analiz edilen benzer fonksiyonlara sahip olan birey veya birimlerin oluşturduğu grup olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda, bu birimler genellikle veri zarflama analizi ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'deki tüm illerde elektrikli araç şarj istasyonlarının mevcut durumu göz önünde bulundurularak 81 ilin her biri KVB olarak ele alınmıştır. Bu durumda, çalışmanın karar verme birimi olan Türkiye'nin 81 ili kapsamlı bir analiz sürecine tabi tutulmuştur. Bu analizle birlikte Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının iller düzeyinde yeterliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

6.2. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Seçilmesi

Veri Zarflama Analizinin verimli sonuçlar sunması amacıyla girdi ve çıktı değişkenlerinin sistemi en iyi temsil eden faktörlerden seçilmesi gerekmektedir. Bu değişkenler, KVB'lerin durumunu en doğru şekilde yansıtmalı ve analiz edilen yapının temel özelliklerini açıklamalıdır (Koçak ve Boran, 2019). Girdi değişkenlerinin seçimi, Türkiye'deki 81 ilin elektrikli otomobil şarj istasyonu etkinliklerini değerlendirmek amacıyla veri zarflama analizi sürecinin temel bir aşamasını oluşturmaktadır. Bu analiz kapsamında kullanılacak girdi değişkenlerinin belirlenmesi için kapsamlı literatür taramaları yapılmış ve uzman görüşlerine başvurulmuştur. Literatürde, kişi başına Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYH) ve kişi başına elektrik tüketiminin, bir ilin ekonomik durumuna dair bulgularına sıkça rastlanmaktadır. Bu iki değişkenin, illerin altyapı yatırımlarına yönelik talep ve kapasitesini belirleyen temel göstergeler olduğu uzmanlar tarafından da doğrulanmıştır.

Literatüre ek olarak, motorlu kara taşıt sayısı ve konut sayısı değişkenlerinin elektrikli araç kullanım potansiyeli ve şarj istasyonlarına olan talebin belirlenmesinde etkili olduğuna uzman görüşleriyle birlikte karar verilmiştir. Motorlu taşıt yoğunluğu, özellikle mevcut ulaşım

altyapısının elektrikli otomobil geçişine uygunluğunu ve halkın elektrikli araçlara yönelik talebini öngörmede etkili bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Konut sayısı ise, nüfus yoğunluğu ve şehirleşme oranlarına paralel olarak şarj altyapısının yaygınlaşmasına olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Bu değişkenlerin seçimi, sadece altyapı ihtiyacını değil aynı zamanda illerin elektrikli otomobil kullanımına geçişte ne ölçüde hazır olduklarını da göstermektedir.

Türkiye'nin 81 iline ait en güncel veriler kullanılmıştır. Yapılan analizler ve uzman görüşleri doğrultusunda il bazında belirlenen girdi değişkenleri arasında**;** kişi başına GSYH, kişi başına elektrik tüketimi, motorlu kara taşıtları sayısı ve konut sayısı yer alırken çıktı değişkenleri ise**;** elektrikli otomobil sayısı, elektrikli araç şarj istasyonu sayısı ve elektrikli otomobil kullanım oranı olmuştur. Bu değişkenler, VZA yöntemiyle Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının yeterliliği açısından analiz edilmiştir. VZA sonucunda ise Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri değerlendirilmiştir.

Tablo 1 Çalışmada Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenleri

GİRDİLER	ÇIKTILAR
Kişi Başına GSYİH	Elektrikli Otomobil Sayısı
Kişi Başına Elektrik Tüketimi	Elektrikli Şarj İstasyonu Sayısı
Motorlu Kara Taşıtları Sayısı	Elektrikli Otomobil Kullanım Oranı
Konut Sayısı	

6.3. Veri Zarflama Modelinin Seçilmesi

Veri Zarflama Analizi, çoklu girdilerin ve çıktıları olan karar birimlerinin verimliliğini değerlendiren bir yöntemdir. Bu yöntem, belirli bir üretim faktörü ya da kaynak kullanımıyla elde edilen sonuçların mümkün olan en verimli seviyeye ulaşmasını analiz etmektedir. Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini ölçmek için VZA kullanımı beraberinde şarj altyapısının mevcut kaynaklarla ne kadar verimli kullanıldığını ortaya koymak açısından oldukça önem arz etmektedir. Ancak, VZA uygulaması için doğru modelin seçilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) ve BCC (Banker, Charnes, Cooper) modelleri arasındaki farkları ve her bir modelin kullanım koşullarını incelemek gerekmektedir.

Bu çalışmada, diğer VZA çalışmalarında yapılmayan bir yaklaşım benimsenerek, hem CCR modelinin girdi ve çıktı yönlü modelleri hem de BCC modelinin girdi ve çıktı yönlü modelleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu sayede, her iki modelin performans değerlendirmelerine nasıl etki

ettiği görülecektir. Ayrıca, bu yaklaşımla Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini en doğru şekilde analiz edebilmek amaçlanmıştır. Model seçimi, VZA metodunun temel varsayımları doğrultusunda yapılmıştır.

CCR modeli, sabit ölçek verimliliği varsayımına dayanmaktadır. Bu varsayım, bir karar biriminin çıktıları ve girdileriyle orantılı bir şekilde artmaktadır. Yani, eğer bir şarj istasyonu kapasitesini iki katına çıkarırsa şarj ettiği elektrik miktarının da iki katına çıkması beklenmektedir. CCR modelinin varsayımı, tüm şarj istasyonlarının benzer ölçekte çalıştığı ve ölçek büyüklüğüne bağlı olarak verimlilikte bir değişim yaşanmamasıdır. Bu model, daha çok homojen yapıdaki benzer kaynaklara sahip birimlerin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

Ancak Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının kapasite farklılıkları ve altyapı durumları göz önünde bulundurulduğunda CCR modelinin sabit ölçek verimliliği varsayımı bazı durumlarda yanıltıcı olabildiği görülmektedir. Örnek olarak, büyük şehirlerdeki şarj istasyonları daha fazla talep görmekte ek olarak daha fazla kullanıcıya hizmet verirken küçük şehirlerdeki şarj istasyonları daha sınırlı kapasitelere sahip olabilir. Bu durumda, küçük illerdeki şarj istasyonlarının verimli çalıştığı ancak büyük şehirlerde ölçek avantajlarından tam anlamıyla yararlanılamadığı gözlemlenebilir. Dolayısıyla, CCR modeli Türkiye'deki tüm illerin şarj istasyonlarını aynı ölçek üzerinden değerlendirdiği için bazı illerin verimliliğini doğru bir şekilde ölçülmediğine rastlanabilir. Bu durum ise modelin bazı iller için yanıltıcı sonuçlar üretmesine neden olabilir.

BCC modeli, değişken ölçek verimliliği varsayımına dayanmaktadır. BCC modeli, CCR modeline göre daha esnek bir yapıya sahiptir. BCC modeli, karar birimlerinin verimliliklerinin ölçekle birlikte değişebileceğini kabul etmektedir. Bu model, özellikle kaynakların etkin kullanımının ölçekle orantılı olarak değişebileceği durumlar için uygun görülmektedir.

BCC modelinin en önemli avantajı, farklı ölçeklerde faaliyet gösteren birimlerin yeterliliğini daha esnek ve gerçekçi bir biçimde analiz etmesidir. Türkiye genelinde büyük şehirlerde yer alan şarj istasyonları geniş talep nedeniyle yüksek kapasiteyle çalışırken aynı zamanda küçük şehirlerdeki istasyonlar daha sınırlı kapasitelere sahiptir. Ek olarak, şarj istasyonları aynı düzeyde talep görmeyebilir. Bu durumda, BCC modeli, küçük illerdeki şarj istasyonlarının kendi ölçeklerinde ne kadar verimli çalıştığını anlamamıza olanak tanımaktadır. Büyük şehirlerde ölçek avantajından faydalanan istasyonlar ise bu modelde kendi kapasite avantajlarıyla değerlendirilmektedir.

Ancak BCC modelinin bazı eksiklikleri de bulunmaktadır. Küçük şehirlerde düşük kapasiteyle çalışan şarj istasyonları, yüksek verimlilik seviyelerinde görünme eğiliminde olabilir. Bu durumda, modelin küçük birimlerde aşırı verimlilik yanılsaması yaratmasına neden olabilmektedir. Yani, küçük illerde düşük talep ve kapasiteye sahip bir istasyon verimli çalışıyormuş gibi görünebilir. Ancak bu durum, gerçekte sınırlı kaynaklarla çalışmasından kaynaklanıyor anlamına da gelebilir. Bu tür yanılgılara, modelin yorumlanmasında dikkat edilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, her iki modelin de güçlü yönleri ve sınırlamaları vardır. Bu nedenle, elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini değerlendirirken her iki modelin avantajları ve eksiklikleri göz önünde bulundurulmuştur.

6.4. Uygulama

Veri Zarflama Analizi çözümü için çeşitli yazılımlar ve araçlar mevcuttur. Bu çalışmada, açık kaynak kodlu, veri işleme ve istatistiksel analiz yeteneklerine sahip olan R programlama dili tercih edilmiştir. R programlama dili kullanılarak, ilk olarak girdi ve çıktı yönlü CCR modeli ardından ise girdi ve çıktı yönlü BCC modeli ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Bu süreç, her iki modelin verimlilik analizlerini gerçekleştirmek ve her birinin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. R dilinin esnek yapısı ve güçlü analiz araçlarıyla birlikte veri setinin işlenmesi ve modelleme sürecinin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlanması hedeflenmiştir.

Bu bölümde yer alan alt başlıklarda, VZA modelleriyle ilgili tablolar sunulmuştur. Tablolarda plaka kodu, iller, VZA modeli ve şarj istasyonu yeterlilik bilgileri bulunmaktadır. Şarj istasyonu yeterlilik bilgisi, "yeterli", "kısmen yeterli" ve "yetersiz" olmak üzere üç kategori halinde sınıflandırılmıştır. Ayrıca tablolar, en yeterli ilden en yetersiz ile doğru bir sıralama gözetilerek hazırlanmıştır.

6.4.1. CCR girdi yönlü model

CCR girdi yönlü model, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının yeterliliğini değerlendirirken kullanılabilecek bir yöntemdir. Bu model, girdi yönlü yaklaşımı benimseyerek her bir ilin mevcut şarj altyapısını optimize etmek amacıyla girdilerin (kişi başına GSYH, elektrik tüketimi, motorlu kara taşıtları sayısı ve konut sayısı) verimli bir şekilde kullanılmasını hedeflemektedir. CCR modeli, özellikle verimli kaynak kullanımı ve girdi optimizasyonu gerektiğinde güçlü bir çözüm sunmaktadır. Burada amaç, belirlenen çıktı değişkenlerine (elektrikli otomobil sayısı, şarj istasyonu sayısı ve elektrikli otomobil kullanım

oranı) ulaşmak için kullanılan girdileri minimize etmektir. Modelin çözümü, her ilin mevcut altyapısının yeterliliğini değerlendirmektedir. Ayrıca, elde edilen verilerle şarj istasyonu sayısının arttırılması veya iyileştirilmesi gereken bölgeler belirlenebilir. Ek olarak, CCR girdi yönlü modelinin oluşturabileceği dezavantajlar da vardır. Modelin sabit ölçek verimliliği varsayımı, Türkiye'deki illerin farklı altyapı kapasite ve taleplerini göz ardı edebilir. Örneğin, büyük şehirlerdeki şarj istasyonları daha fazla talep görmekte ve daha yüksek kapasiteye sahipken küçük şehirlerdeki istasyonlar sınırlı kapasiteye sahip olabilir. Bu durum, modelin küçük illerdeki istasyonların verimli çalıştığını gösterirken büyük şehirlerdeki istasyonların ölçek avantajlarından yeterince faydalanamadığını ve sonuçların yanıltıcı olabileceğini ortaya çıkarabilir. Modelin tüm avantajları ve dezavantajları göz önüne alınarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Tablo 2 CCR Girdi Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları

Plaka Kodu	İller	Girdi Yönelimli CCR Modeli Etkinlik Skoru	Şarj İstasyonu Yeterlilik Bilgisi
6	Ankara	1	Yeterli
7	Antalya	1	Yeterli
12	Bingöl	1	Yeterli
13	Bitlis	1	Yeterli
21	Diyarbakır	1	Yeterli
27	Gaziantep	1	Yeterli
30	Hakkâri	1	Yeterli
34	İstanbul	1	Yeterli
35	İzmir	1	Yeterli
48	Muğla	1	Yeterli
56	Siirt	1	Yeterli
62	Tunceli	1	Yeterli
69	Bayburt	1	Yeterli
72	Batman	1	Yeterli
16	Bursa	0,947	Kısmen Yeterli
38	Kayseri	0,873	Kısmen Yeterli
50	Nevşehir	0,866	Kısmen Yeterli
65	Van	0,859	Kısmen Yeterli
3	Afyonkarahisar	0,805	Kısmen Yeterli
14	Bolu	0,752	Kısmen Yeterli
77	Yalova	0,747	Kısmen Yeterli
25	Erzurum	0,711	Kısmen Yeterli
49	Muş	0,700	Kısmen Yeterli

26	Eskişehir	0,698	Kısmen Yeterli
32	Isparta	0,696	Kısmen Yeterli
61	Trabzon	0,695	Kısmen Yeterli
41	Kocaeli	0,683	Kısmen Yeterli
1	Adana	0,682	Kısmen Yeterli
20	Denizli	0,676	Kısmen Yeterli
42	Konya	0,673	Kısmen Yeterli
75	Ardahan	0,663	Kısmen Yeterli
22	Edirne	0,613	Kısmen Yeterli
47	Mardin	0,613	Kısmen Yeterli
53	Rize	0,601	Kısmen Yeterli
54	Sakarya	0,593	Kısmen Yeterli
17	Çanakkale	0,565	Kısmen Yeterli
28	Giresun	0,557	Kısmen Yeterli
8	Artvin	0,553	Kısmen Yeterli
11	Bilecik	0,551	Kısmen Yeterli
33	Mersin	0,537	Kısmen Yeterli
36	Kars	0,530	Kısmen Yeterli
74	Bartın	0,529	Kısmen Yeterli
9	Aydın	0,526	Kısmen Yeterli
64	Uşak	0,524	Kısmen Yeterli
81	Düzce	0,489	Yeterli Değil
58	Sivas	0,483	Yeterli Değil
63	Şanlıurfa	0,476	Yeterli Değil
59	Tekirdağ	0,465	Yeterli Değil
10	Balıkesir	0,452	Yeterli Değil
15	Burdur	0,441	Yeterli Değil
23	Elâzığ	0,431	Yeterli Değil
52	Ordu	0,427	Yeterli Değil
5	Amasya	0,426	Yeterli Değil
55	Samsun	0,419	Yeterli Değil
76	Iğdır	0,415	Yeterli Değil
78	Karabük	0,404	Yeterli Değil
57	Sinop	0,401	Yeterli Değil
70	Karaman	0,401	Yeterli Değil
19	Çorum	0,397	Yeterli Değil
29	Gümüşhane	0,395	Yeterli Değil
4	Ağrı	0,394	Yeterli Değil
80	Osmaniye	0,394	Yeterli Değil
68	Aksaray	0,376	Yeterli Değil
43	Kütahya	0,368	Yeterli Değil
39	Kırklareli	0,357	Yeterli Değil
46	Kahramanmaraş	0,354	Yeterli Değil

60	Tokat	0,342	Yeterli Değil
79	Kilis	0,341	Yeterli Değil
45	Manisa	0,336	Yeterli Değil
67	Zonguldak	0,325	Yeterli Değil
66	Yozgat	0,324	Yeterli Değil
51	Niğde	0,319	Yeterli Değil
18	Çankırı	0,312	Yeterli Değil
31	Hatay	0,308	Yeterli Değil
37	Kastamonu	0,302	Yeterli Değil
24	Erzincan	0,296	Yeterli Değil
73	Şırnak	0,296	Yeterli Değil
2	Adıyaman	0,271	Yeterli Değil
40	Kırşehir	0,234	Yeterli Değil
44	Malatya	0,215	Yeterli Değil
71	Kırıkkale	0,214	Yeterli Değil

Tablo 2'de Türkiye'deki illerin elektrikli şarj istasyonu yeterliliklerini veri zarflama analizi yönteminin Charnes, Cooper, Rhodes (CCR) girdi yönlü modeliyle en yeterli ilden en yetersiz ile doğru bir sıralama yapılmıştır. CCR modeli, birimler arasındaki girdi ve çıktı dengesini dikkate alarak illerin mevcut kaynaklarını ne ölçüde verimli kullandığını belirlemeye odaklanmaktadır. Bu analizde, iller elektrik tüketimi, motorlu taşıt sayısı, konut sayısı girdileri açısından incelenmiştir.

Etkinlik skorları 1,000 olan iller, bu model kapsamında "tam etkin" yani yeterli olarak değerlendirilmiştir. Bu iller, mevcut kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak elektrikli şarj istasyonu altyapısını etkin bir şekilde sağlama kapasitesine sahiptir. Tam etkin olarak sınıflandırılan 14 il arasında; Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Siirt, Tunceli, Bayburt ve Batman bulunmaktadır. Bu durum, söz konusu illerde elektrikli otomobil şarj istasyonlarının optimal düzeyde işlev gösterdiğini ve mevcut kaynaklarla hedeflere tam anlamıyla ulaşıldığını göstermektedir. Bu iller, verimlilik açısından diğer bölgelere örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışma özelinde etkinlik skoru 0,500 ile 1,000 arasında olan iller, kısmen etkin kabul edilmiştir. Bu iller, mevcut kaynakları verimli kullanmakla birlikte, tam etkinlik seviyesine ulaşamamıştır. Örnek olarak, Bursa'nın etkinlik skoru 0,947 olup oldukça yüksek bir verimlilik düzeyine işaret etmektedir; ancak yine de tam etkin seviyeye erişim için küçük iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kategorideki iller arasında Adana, Afyonkarahisar, Aydın, Bolu ve diğer bazı iller yer almaktadır. Bu iller, elektrikli otomobil şarj istasyonu açısından yetersiz

illere oranla daha iyi durumda olmalarına rağmen, sürdürülebilir bir gelişim için daha fazla elektrikli otomobil şarj istasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır.

Etkinlik skoru 0,500'ün altında kalan iller, analizde düşük etkinlik düzeyine sahip yani yetersiz olarak değerlendirilmiştir. Bu iller, mevcut kaynakları verimli kullanmada ciddi yetersizlikler yaşamaktadır. Aynı zamanda, şarj istasyonu altyapısının verimli çalışmasını sağlamak için önemli ölçüde iyileştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Özellikle, etkinlik skoru 0,214 olan en yetersiz il Kırıkkale, 0,215 olan Malatya, 0,271 olan Adıyaman ve 0,296 olan Erzincan gibi iller verimlilik açısından ciddi bir desteğe ihtiyaç duymaktadır. Bu illerin etkinliklerini arttırmak adına elektrikli otomobil şarj istasyonu ihtiyacının arttırılması ve önceliklendirilmesi gerekmektedir.

CCR modelinin sunduğu etkinlik skorları, bazı durumlarda yanıltıcı olabilir. Modelin girdi yönlü yaklaşımı, illerin mevcut altyapılarının verimli kullanımı üzerinde odaklanırken dışsal faktörleri ve yerel koşulları yeterince dikkate almayabilir. Örneğin, büyük şehirlerdeki şarj istasyonları, daha fazla talep ve yoğun trafikle karşı karşıya kalırken küçük şehirlerdeki istasyonlar daha düşük talep ile daha verimli çalışabilir. Ancak CCR modeli, her iki durumu aynı şekilde değerlendirip, büyük şehirlerde ölçek avantajlarını göz ardı edebilir. İstanbul (1,000) ve İzmir (1,000) gibi büyük şehirlerde şarj altyapısının verimliliği yüksek olsa da bu şehirlerdeki şarj istasyonları yüksek talep nedeniyle daha fazla zorlukla karşılaşabilir.

Küçük şehirlerde ise, altyapının daha az yoğunluğu nedeniyle daha düşük taleple çalışan şarj istasyonları daha verimli görünebilir. Örneğin, Adıyaman ve Kırşehir gibi illerde düşük etkinlik skorları aslında şarj istasyonlarının kapasite sıkıntısı çekmesinden değil, düşük talep ve altyapı kapasitesinin az olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum, CCR modelinin büyük şehirlerdeki ölçek avantajlarını yeterince hesaba katmadığını ve verimlilik analizlerinin bu şehirlerde yanıltıcı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, CCR girdi yönlü modelinin yeterlilik analizine Türkiye'deki 14 il elektrikli otomobil şarj istasyonu bakımından yeterli iken 30 il kısmen yeterli 37 il ise yetersiz olarak bulunmuştur. Bu model, Türkiye'deki illerin altyapı farklılıkları ve yerel koşullar göz önüne alındığında bazı iller için yanıltıcı sonuçlar verebilir. Model, daha homojen yapıya sahip illerin karşılaştırılmasında etkili olsa da ölçek avantajlarının göz ardı edilmesiyle birlikte büyük şehirlerdeki verimlilik analizlerinin gerçek durumu yansıtmayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, CCR modelinin sonuçları, illerin altyapı iyileştirme süreçlerinde bir rehber olarak kullanılabilir, ancak dışsal faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

6.4.2. CCR çıktı yönlü model

CCR çıktı yönlü model, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının yeterliliğini değerlendirmek için kullanılabilecek bir başka yöntemdir. Bu model, çıktı yönlü bir yaklaşım benimseyerek her bir ilin mevcut şarj istasyonu altyapısının etkinliğini ve verimliliğini analiz etmektedir. Çıktı yönlü CCR modelinin en büyük avantajı, illerin potansiyel performanslarını arttırmak için kısıtlı altyapı kaynaklarından maksimum faydayı sağlama imkânı sunmasıdır. Özellikle hızlı büyüyen ve talebin yoğun olduğu şehirlerde bu model mevcut şarj altyapısının etkinliğini maksimize etmede faydalı bir araç olabilmektedir. Model, şarj istasyonlarının belirli bir altyapıyla ne kadar daha fazla araç şarj edebileceğini analiz ederek gelişime açık bölgeleri belirlemeye yardımcı olmaktadır. Böylece, hangi illerde mevcut altyapının daha verimli kullanılabileceği ve hangi illerde ek şarj istasyonu yatırımı gerektiği tespit edilebilir. Bu yönüyle, çıktı yönlü CCR modeli, sınırlı kaynaklarla daha yüksek verimlilik hedefleyen iller için bir çözüm sunmaktadır.

Öte yandan, çıktı yönlü CCR modelinin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Model, sabit ölçek verimliliği varsayımına dayandığından, Türkiye'deki illerin altyapı kapasiteleri ve talep yoğunlukları arasındaki farklılıkları yeterince yansıtamayabilir. Özellikle büyük şehirlerde daha fazla kullanıcıya hizmet eden şarj istasyonları ile küçük şehirlerde daha sınırlı kapasiteye sahip istasyonlar arasındaki ölçek farkları göz ardı edilebilir. Bu durum, küçük şehirlerin verimli görünmesine rağmen büyük şehirlerin gerçek potansiyelinin tam olarak değerlendirilmesini engelleyebilir. Sonuç olarak, çıktı yönlü CCR modelinin avantajları ve eksiklikleri dikkate alınarak elde edilen bulguların analiz edilmesi önem arz etmektedir.

Tablo 3 CCR Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları

Plaka Kodu	İller	Çıktı Yönelimli CCR Modeli Etkinlik Skoru	Şarj İstasyonu Yeterlilik Bilgisi
6	Ankara	1	Yeterli
7	Antalya	1	Yeterli
12	Bingöl	1	Yeterli
13	Bitlis	1	Yeterli
21	Diyarbakır	1	Yeterli
27	Gaziantep	1	Yeterli
30	Hakkâri	1	Yeterli
34	İstanbul	1	Yeterli
35	İzmir	1	Yeterli
48	Muğla	1	Yeterli

56	Siirt	1	Yeterli
62	Tunceli	1	Yeterli
69	Bayburt	1	Yeterli
72	Batman	1	Yeterli
16	Bursa	1,056	Kısmen Yeterli
38	Kayseri	1,146	Kısmen Yeterli
50	Nevşehir	1,154	Kısmen Yeterli
65	Van	1,164	Kısmen Yeterli
3	Afyonkarahisar	1,242	Kısmen Yeterli
14	Bolu	1,330	Kısmen Yeterli
77	Yalova	1,339	Kısmen Yeterli
25	Erzurum	1,406	Kısmen Yeterli
49	Muş	1,428	Kısmen Yeterli
26	Eskişehir	1,433	Kısmen Yeterli
32	Isparta	1,438	Kısmen Yeterli
61	Trabzon	1,439	Kısmen Yeterli
1	Adana	1,465	Kısmen Yeterli
41	Kocaeli	1,465	Kısmen Yeterli
20	Denizli	1,479	Kısmen Yeterli
42	Konya	1,485	Kısmen Yeterli
75	Ardahan	1,509	Kısmen Yeterli
22	Edirne	1,632	Kısmen Yeterli
47	Mardin	1,632	Kısmen Yeterli
53	Rize	1,665	Kısmen Yeterli
54	Sakarya	1,685	Kısmen Yeterli
17	Çanakkale	1,769	Kısmen Yeterli
28	Giresun	1,794	Kısmen Yeterli
8	Artvin	1,809	Kısmen Yeterli
11	Bilecik	1,816	Kısmen Yeterli
33	Mersin	1,862	Kısmen Yeterli
36	Kars	1,888	Kısmen Yeterli
74	Bartın	1,890	Kısmen Yeterli
9	Aydın	1,900	Kısmen Yeterli
64	Uşak	1,910	Kısmen Yeterli
81	Düzce	2,044	Yeterli Değil
58	Sivas	2,072	Yeterli Değil
63	Şanlıurfa	2,102	Yeterli Değil
59	Tekirdağ	2,152	Yeterli Değil
10	Balıkesir	2,211	Yeterli Değil
15	Burdur	2,270	Yeterli Değil
23	Elâzığ	2,318	Yeterli Değil
52	Ordu	2,340	Yeterli Değil
5	Amasya	2,350	Yeterli Değil

55	Samsun	2,388	Yeterli Değil
76	Iğdır	2,412	Yeterli Değil
78	Karabük	2,476	Yeterli Değil
57	Sinop	2,493	Yeterli Değil
70	Karaman	2,496	Yeterli Değil
19	Çorum	2,52	Yeterli Değil
29	Gümüşhane	2,533	Yeterli Değil
80	Osmaniye	2,535	Yeterli Değil
4	Ağrı	2,541	Yeterli Değil
68	Aksaray	2,660	Yeterli Değil
43	Kütahya	2,721	Yeterli Değil
39	Kırklareli	2,805	Yeterli Değil
46	Kahramanmaraş	2,827	Yeterli Değil
60	Tokat	2,925	Yeterli Değil
79	Kilis	2,930	Yeterli Değil
45	Manisa	2,975	Yeterli Değil
67	Zonguldak	3,075	Yeterli Değil
66	Yozgat	3,082	Yeterli Değil
51	Niğde	3,136	Yeterli Değil
18	Çankırı	3,209	Yeterli Değil
31	Hatay	3,243	Yeterli Değil
37	Kastamonu	3,312	Yeterli Değil
73	Şırnak	3,376	Yeterli Değil
24	Erzincan	3,379	Yeterli Değil
2	Adıyaman	3,690	Yeterli Değil
40	Kırşehir	4,266	Yeterli Değil
44	Malatya	4,647	Yeterli Değil
71	Kırıkkale	4,678	Yeterli Değil

Bu tablo, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini Çıktı Yönelimli CCR Modeli Etkinlik Skoru ile değerlendirmektedir. Her il için modelin hesapladığı etkinlik skorları, illerin mevcut şarj istasyonu altyapısının etkinlik düzeyini ve yeterliliğini göstermektedir. Tablo, illeri üç kategoriye ayırmıştır: Yeterli, Kısmen Yeterli ve Yeterli Değil. Bu model, her bir ilin çıktılarının mümkün olduğunca arttırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca, illerin mevcut kaynaklarıyla elde edebileceği maksimum çıktıyı da ölçmektedir. Çıktı yönlü modellerde amaç, mevcut kaynakları sabit tutarken elde edilen çıktıların arttırılmasıdır. Bu bağlamda etkinlik skoru 1 olan iller çıktı yönünden tam etkin olarak kabul edilmektedir; yani bu iller, mevcut kaynaklarıyla optimum çıktı düzeyine ulaşmış durumdadır.

Tabloda etkinlik skoru 1 olan iller arasında; Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Siirt, Tunceli, Bayburt ve Batman bulunmaktadır. Bu iller, kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak maksimum çıktı elde eden illerdir.

Etkinlik skorları 1 ile 2 arasında olan iller, "kısmen yeterli" olarak sınıflandırılmıştır. Bu durum ise, şarj istasyonu altyapısının belirli bir düzeyde mevcut olduğunu ancak daha verimli hale getirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bursa (1,056), Kayseri (1,146), Nevşehir (1,154), Van (1,164) gibi iller düşük etkinlik sapmalarına sahiptir. Rize (1,665), Çanakkale (1,769) ve Mersin (1,862) gibi iller kısmen yeterli kategorisinde olsa da mevcut altyapı kapasitelerinin önemli ölçüde artırılmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, kısmen yeterli iller, elektrikli otomobil kullanımını daha etkin desteklemek adına öncelikli olarak ele alınmalı ve bölgesel ihtiyaçlara göre uyarlanmış iyileştirme stratejileri geliştirilmelidir.

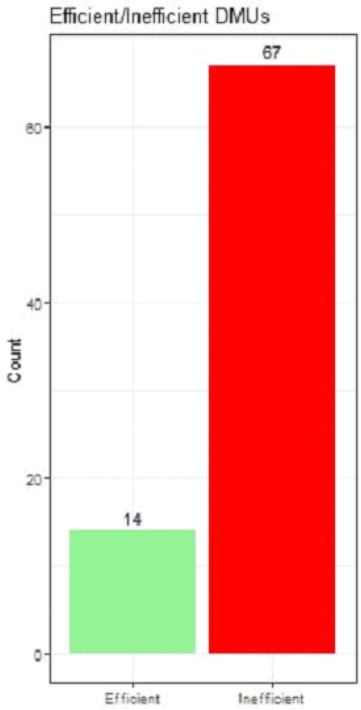
Bu iller arasında etkinlik skoru 4,678 ile en yüksek iyileştirme gereksinimine sahip olan Kırıkkale öne çıkmaktadır. Bu skor, Kırıkkale'nin çıktılarını arttırması gerektiğini göstermektedir. Benzer şekilde, etkinlik skoru 4,647 olan Malatya da ciddi bir iyileştirme ihtiyacı duyan iller arasındadır. Bu iller, elektrikli otomobil şarj istasyonu sayılarını arttırarak etkinliklerini yükseltebilirler.

Etkinlik skoru 2 ile 4 arasında değişen iller ise yetersiz düzeyde bir geliştirme ihtiyacı duyan illerdir. Bu iller arasında Kırklareli (2,805), Kahramanmaraş (2,827), Manisa (2,975), Tokat (2,925) ve Kilis (2,930) yer almaktadır. Bu iller, çıktı yönünden iyileştirilmesi gereken kaynak kullanım performansına sahiptir. Bu gruptaki illerin arttırılacak olan elektrikli otomobil şarj istasyonlarının daha stratejik bir planlama ile potansiyellerini maksimize edebilirler.

Sonuç olarak, CCR çıktı yönelimli modelin yeterlilik analizine göre Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının durumu şu şekilde sınıflandırılmıştır: 14 il yeterli, 30 il kısmen yeterli ve 37 il ise yetersizdir. Ancak, çıktı yönlü CCR modelinin de bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Modelin sabit ölçek verimliliği varsayımı, Türkiye'deki illerin farklı altyapı kapasiteleri ve talep yoğunluklarını tam olarak yansıtamayabilir. Bu durum, modelin sonuçlarının bölgesel farklılıkları yeterince dikkate almadığını göstermektedir. Örnek olarak, İstanbul ve Ankara gibi büyükşehirlerde, yüksek nüfus yoğunluğu ve daha fazla elektrikli araç kullanımı sebebiyle şarj istasyonları üzerindeki talep çok daha yüksektir. Bu şehirlerde şarj istasyonlarının etkinliği, küçük şehirlere kıyasla daha düşük gözükebilir çünkü model, ölçek ekonomilerinden yeterince faydalanamayan bir altyapıyı verimsiz olarak değerlendirme

eğilimindedir. Bunun sonucunda, büyükşehirlerde altyapının iyileştirilmesi veya kapasite artırımı gerektiği durumlar tam olarak tespit edilememiş olabilir.

Şekil 14 CCR Girdi ve Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkin Sayılan KVB Sıklıkları



Charnes, Cooper, Rhodes (CCR) girdi yönlü ve çıktı yönlü modelleri, illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri farklı perspektiflerden değerlendirilmiştir. Girdi yönlü CCR modeli, belirli bir çıktı düzeyini elde etmek için gereken girdileri minimize etmeyi hedeflemektedir. Ek olarak, çıktı yönlü CCR modeli ise mevcut girdilerle elde edilebilecek maksimum çıktıyı arttırmaya odaklanmaktadır. Girdi ve çıktı yönlü modellerde etkinlik skoru 1 olan iller mevcut kaynakların optimal seviyeye ulaşmış sayılmaktadır. Girdi yönlü modelde düşük skorlu iller kaynak kullanımında daha fazla verimliliğe ihtiyaç duyarken ise çıktı yönlü modelde düşük skorlu iller mevcut kaynaklarla daha fazla çıktı üretme potansiyeline sahip olduklarını göstermektedir.

Girdi ve çıktı yönlü CCR modelleri arasındaki fark ile şarj istasyonu verimliliği analizinde farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Girdi yönlü model, belirli bir çıktı düzeyini sağlamak için girdilerin en düşük seviyede tutulmasını hedeflemektedir. Çıktı yönlü model ise mevcut girdilerle elde edilen çıktıyı en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır.

Girdi yönlü analizde yeterli görülen iller mevcut altyapılarıyla belirli bir etkinlik skoruna ulaşmak için gerekli girdiyi minimum düzeyde kullanmaktadır. Çıktı yönlü analizde ise aynı iller mevcut altyapılarını tam kapasiteyle kullanarak ihtiyaç duyulan şarj hizmetini sağlamakta yeterli bir performans göstermektedir. Bu durum, her iki modelde de verimli görülen illerin altyapı kapasitelerinin mevcut talebe göre uygun olduğunu ve hem girdilerin optimal kullanımını hem de çıktıların en üst düzeyde elde edilmesini sağladıklarını göstermektedir.

Bu analizler doğrultusunda aynı 14 ilin her iki modelde de verimli olarak değerlendirilmesinin o illerin şarj istasyonu altyapısının hem girdi hem de çıktı perspektifinden etkinliğini kanıtladığını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda çalışmada kullanılan girdi ve çıktıların verilerinin de birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Diğer illerde her iki analiz perspektifiyle yeterli olmayan skorlar görülmesi ise altyapı kullanımında daha fazla iyileştirme gerektiğini işaret etmektedir.

6.4.3. BCC girdi yönlü model

Girdi yönlü BCC modeli, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini değerlendirmek için kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu model, özellikle farklı ölçeklerde faaliyet gösteren birimlerin yeterliliğini analiz etmektedir. Ayrıca, mevcut kaynakların daha etkin kullanımı için öneriler sunma açısından avantajlar sağlamaktadır. Yani, BCC modeli, her bir ilin elektrikli araç şarj istasyonu altyapısını optimize etmek için kullanılan girdileri minimize etmeye çalışırken aynı zamanda ölçek verimliliği (ölçek ekonomileri) faktörünü de dikkate almaktadır. Bu sayede, illerin belirlenen çıktı değişkenleri (elektrikli otomobil sayısı, elektrikli araç şarj istasyonu sayısı ve elektrikli otomobil kullanım oranı) ile uyumlu bir şekilde girdi seviyelerinin en verimli hale getirilmesi hedeflenmektedir.

Ancak BCC modelinin dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Değişken getiri varsayımı, bazı durumlarda küçük ölçekli birimlerin verimliliğini olduğundan yüksek gösterebilir. Bu durum, özellikle gelişmiş altyapıya sahip olmayan bölgelerde yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrıca, modelin girdi yönlü olması, çıktılar üzerindeki etkileri de ihmal edebilmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini değerlendirmede BCC girdi yönlü modeli, bölgesel farklılıkları dikkate alarak detaylı ve esnek bir analiz sunmaktadır. Ancak, veri zarflama analizinde modelin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak elde edilen sonuçları dikkatle değerlendirmesi önem arz etmektedir.

Tablo 4 BCC Girdi Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları

Plaka Kodu	İller	Girdi Yönelimli BCC Modeli Etkinlik Skoru	Şarj İstasyonu Yeterlilik Bilgisi
4	Ağrı	1	Yeterli
6	Ankara	1	Yeterli
7	Antalya	1	Yeterli
12	Bingöl	1	Yeterli
13	Bitlis	1	Yeterli
16	Bursa	1	Yeterli
21	Diyarbakır	1	Yeterli
27	Gaziantep	1	Yeterli
30	Hakkâri	1	Yeterli
34	İstanbul	1	Yeterli
35	İzmir	1	Yeterli
48	Muğla	1	Yeterli
49	Muş	1	Yeterli
56	Siirt	1	Yeterli
62	Tunceli	1	Yeterli
63	Şanlıurfa	1	Yeterli
65	Van	1	Yeterli
69	Bayburt	1	Yeterli
72	Batman	1	Yeterli
75	Ardahan	1	Yeterli
76	Iğdır	1	Yeterli
77	Yalova	1	Yeterli
50	Nevşehir	0,914	Kısmen Yeterli
36	Kars	0,908	Kısmen Yeterli
73	Şırnak	0,905	Kısmen Yeterli
38	Kayseri	0,887	Kısmen Yeterli
79	Kilis	0,871	Kısmen Yeterli
29	Gümüşhane	0,841	Kısmen Yeterli
3	Afyonkarahisar	0,825	Kısmen Yeterli
14	Bolu	0,818	Kısmen Yeterli
25	Erzurum	0,809	Kısmen Yeterli
41	Kocaeli	0,757	Kısmen Yeterli
57	Sinop	0,756	Kısmen Yeterli
74	Bartın	0,752	Kısmen Yeterli
26	Eskişehir	0,751	Kısmen Yeterli
61	Trabzon	0,739	Kısmen Yeterli
2	Adıyaman	0,738	Kısmen Yeterli
42	Konya	0,725	Kısmen Yeterli

1	Adana	0,717	Kısmen Yeterli
32	Isparta	0,700	Kısmen Yeterli
47	Mardin	0,686	Kısmen Yeterli
60	Tokat	0,683	Kısmen Yeterli
20	Denizli	0,678	Kısmen Yeterli
28	Giresun	0,676	Kısmen Yeterli
9	Aydın	0,649	Kısmen Yeterli
52	Ordu	0,646	Kısmen Yeterli
53	Rize	0,641	Kısmen Yeterli
66	Yozgat	0,623	Kısmen Yeterli
5	Amasya	0,622	Kısmen Yeterli
22	Edirne	0,619	Kısmen Yeterli
54	Sakarya	0,604	Kısmen Yeterli
55	Samsun	0,601	Kısmen Yeterli
15	Burdur	0,592	Kısmen Yeterli
11	Bilecik	0,590	Kısmen Yeterli
19	Çorum	0,588	Kısmen Yeterli
17	Çanakkale	0,583	Kısmen Yeterli
58	Sivas	0,579	Kısmen Yeterli
70	Karaman	0,578	Kısmen Yeterli
80	Osmaniye	0,574	Kısmen Yeterli
33	Mersin	0,569	Kısmen Yeterli
44	Malatya	0,569	Kısmen Yeterli
8	Artvin	0,567	Kısmen Yeterli
40	Kırşehir	0,566	Kısmen Yeterli
18	Çankırı	0,561	Kısmen Yeterli
23	Elâzığ	0,560	Kısmen Yeterli
81	Düzce	0,557	Kısmen Yeterli
64	Uşak	0,548	Kısmen Yeterli
51	Niğde	0,544	Kısmen Yeterli
78	Karabük	0,535	Kısmen Yeterli
37	Kastamonu	0,530	Kısmen Yeterli
46	Kahramanmaraş	0,524	Kısmen Yeterli
10	Balıkesir	0,521	Kısmen Yeterli
68	Aksaray	0,518	Kısmen Yeterli
59	Tekirdağ	0,500	Kısmen Yeterli
43	Kütahya	0,498	Yeterli Değil
24	Erzincan	0,484	Yeterli Değil
71	Kırıkkale	0,484	Yeterli Değil
31	Hatay	0,466	Yeterli Değil
67	Zonguldak	0,445	Yeterli Değil
39	Kırklareli	0,424	Yeterli Değil
45	Manisa	0,415	Yeterli Değil

Bu tabloda, girdi yönlü BCC modeli, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini analiz etmek için kullanılmıştır. Bu model, özellikle illerin mevcut kaynaklarının verimliliğini değerlendirerek bölgeler arasındaki farklılıkları da değerlendirmektedir. Tabloda skoru 1 olan iller, mevcut girdilerini en verimli şekilde kullanarak etkin olarak kabul edilirken, 1'in altında bir skora sahip olan iller, girdilerini daha verimli kullanma potansiyeline sahiptir.

İlk olarak, etkinlik skoru 1 olan iller analiz edildiğinde, bu iller modelin belirlediği ölçütlere göre en yüksek verimlilik seviyesine ulaşmış durumda olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterli olduğu anlamına gelmektedir. Tabloyu incelediğimizde, Ağrı, Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Bursa, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Muş, Siirt, Tunceli, Şanlıurfa, Van, Bayburt, Batman, Ardahan, Iğdır ve Yalova illerinin etkinlik skorunun 1 olarak listelendiği görülmektedir. Bu iller, girdilerini etkin bir şekilde kullanarak belirlenen çıktı seviyesine en az kaynakla ulaşmıştır. Bu da bu illerin kaynak kullanımında herhangi bir iyileştirme yapmalarına gerek olmadığını göstermektedir.

Diğer yandan, etkinlik skoru 1'den düşük olan iller, mevcut kaynaklarını tam verimlilikle kullanamamakta ve "kısmen yeterli" ya da "yeterli değil" olarak sınıflandırılmaktadır. 0,5 ile 1 arasında etkinlik skoruna sahip olan iller, "kısmen yeterli" olarak değerlendirilmiş ve bu illerin mevcut altyapılarında bazı iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Örneğin, Kayseri (0,887), Nevşehir (0,914) gibi iller, altyapı eksikliği bakımından düşük seviyedeki iyileştirmelerle yeterli hale getirilebilecek iller arasında yer almaktadır.

Etkinlik skoru 0,5'in altında olan iller, şarj istasyonu yeterlilik düzeyinin oldukça düşük olduğunu ve mevcut kaynakların verimli kullanılmadığını göstermektedir ve "yeterli değil" olarak nitelendirilmektedir. Örneğin, Manisa (0,415), Kırklareli (0,424) ve Zonguldak (0,445) gibi illerde altyapının önceliklendirilmesi gerekmektedir.

BCC modelinin avantajlarından biri olan değişken getiriler varsayımı ile illerin farklı ölçeklerdeki özellikleri bu model ile dikkate alınmıştır. Çalışmada, İstanbul ve İzmir gibi metropol şehirler ile daha az gelişmiş olan Muş veya Bitlis gibi iller aynı ölçütlere tabi tutulmaktadır. Bu modelde, hem gelişmiş illerin mevcut kaynaklarını daha etkin kullanmalarına hem de gelişmekte olan bölgelerin altyapı eksikliklerinin tespit edilmesine olanak tanımaktadır.

Model, girdi yönlü olması nedeniyle illerin aynı çıktıları daha az kaynakla elde edip edemeyeceği sorgulanmaktadır. Örnek olarak, kişi başına düşen GSYH yüksek olmasına rağmen etkinlik skorunun düşük olduğu illerde kaynakların yanlış kullanımı veya planlama eksiklikleri tespit edilebilir. Bu da yerel yönetimlere ve politika yapıcılara, daha etkili altyapı ve yatırım politikaları geliştirme konusunda yol gösterici bilgiler sunmaktadır.

Bununla birlikte, BCC girdi yönlü modelin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Modelin değişken getiriler varsayımı ile özellikle küçük ölçekli illerde yeterliliği olduğundan yüksek gösterebilir. Örnek olarak, şarj istasyonu yeterli sayıda olmadığı halde etkinlik skorunun yüksek çıktığı durumlar küçük illerin diğer girdiler açısından avantajlı olmasından kaynaklanabilir. Bu durum, politika önerilerinde yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Ayrıca, modelin girdi yönlü olması nedeniyle çıktılar üzerindeki etkiler her zaman net bir şekilde analiz edilemeyebilir. Elektrikli araç kullanım oranının veya şarj istasyonu sayısındaki artışın uzun vadeli etkilerini değerlendirmek için farklı modellerin de kullanılması gerekebilir.

Sonuç olarak, girdi yönlü BCC modeli, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının değerlendirilmesinde kullanılan bir modeldir. Bu modelde Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliği açısından; 22 il yeterli, 52 il kısmen yeterli, 7 il yetersiz olarak sınıflandırılmıştır. Girdi yönlü BCC modeli, illerdeki yeterlilikleri ortaya koyarak ileride konumlandırılacak olan elektrikli otomobil şarj istasyonlarının daha bilinçli kararlar alınmasına olanak tanımaktadır. Ancak, modelin sınırlamaları göz önüne de alınmıştır. Ayrıca, elde edilen veriler bu hususta dikkatli bir şekilde yorumlanmıştır.

6.4.4. BCC çıktı yönlü model

Çıktı yönlü BCC modeli, veri zarflama analizinde belirli birimlerin mevcut girdilerle maksimum çıktı üretme potansiyelini değerlendiren bir yaklaşımdır. Bu model, özellikle elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini analiz ederken, çıktı değişkenlerini (örneğin elektrikli otomobil sayısı ve şarj istasyonu sayısı) maksimize etmeye odaklanmaktadır. Ancak, çıktı odaklı bir model olmasının getirdiği sınırlamalar da bulunmaktadır.

Veri zarflama analizinde kullanılan çıktı yönlü BCC modeli, belirli girdiler sabit tutulduğunda birimlerin çıktılarını nasıl arttırabileceğini analiz etmesiyle bilinmektedir. Türkiye'deki iller bazında elektrikli şarj istasyonu sayısını veya elektrikli otomobil kullanım oranını arttırma potansiyelini belirlemek için bu modelin kullanılabilmektedir. Örnek olarak, aynı elektrik tüketimine sahip iki il arasında verimlilik farkı görüldüğünde hangi ilin altyapısının daha etkili olduğu net bir şekilde anlaşılabilmektedir.

BCC modeli, değişken getiri varsayımını dikkate alarak farklı ölçeklerdeki illeri adil bir şekilde değerlendirebilme esnekliği de sunmaktadır. Bu özellikle Türkiye gibi iller arasında ekonomik ve altyapısal farkların belirgin olduğu ülkelerde kullanılabilir. Özellikle küçük şehirler ile büyükşehirler arasında yapılan karşılaştırmalarda her ilin kendi koşullarında değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu durum bölgesel kalkınma ve yatırım kararlarında daha gerçekçi bir bakış açısı kazandırmaktadır. Ek olarak bu model ile otomobil kullanım oranını artırmak için hangi illerde şarj istasyonu altyapısına yatırım yapılması gerektiğini belirlemek BCC modelinin sağladığı avantajlardan biridir.

Çıktı yönlü BCC modelinin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. BCC modeli, çıktıların artırılmasına odaklandığı için girdilerin optimizasyonunu ikinci plana atmaktadır. Bu durum, kişi başına düşen GSYH, kişi başına elektrik tüketimi veya motorlu kara taşıtları sayısı gibi girdilerin etkin kullanılmamasına yol açabilmektedir. Özellikle girdilerin sınırlı olduğu ve dikkatle yönetilmesi gereken durumlarda bu eksiklik modelin sağladığı önerilerin yetersiz kalmasına neden olabilmektedir.

Modelin değişken getiri varsayımı, küçük ölçekli birimleri daha verimli olarak gösterebilir. Örneğin, az sayıda elektrikli araç bulunan bir ilde şarj istasyonu kullanım oranı yüksek görünerek bu ilin etkinlik puanı gereğinden fazla yükselebilmektedir. Bu tür durumlar, özellikle veri analizinde dikkat edilmezse yanlış yatırım kararlarına yol açabilir.

Sonuç olarak, çıktı yönlü BCC modeli çalışmada Türkiye'deki illerde elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini değerlendirmede kullanılmıştır. Çıktıların maksimize edilmesi ve bölgesel farklılıkların dikkate alınması bu modelin avantajları arasında yer almaktadır. Ancak, girdilerin ihmal edilmesi, küçük ölçekli birimlerin abartılı verimlilik sonuçları ve veri kalitesine bağımlılık gibi dezavantajları ise modelin sınırlamalarını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, çıktı yönlü BCC modeliyle elde edilen bulgular diğer analiz yöntemleriyle çalışmamızda desteklenmiş ve dikkatle yorumlanmıştır.

Tablo 5 BCC Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkinlik Skorları

Plaka Kodu	İller	Çıktı Yönelimli BCC Modeli Etkinlik Skoru	Şarj İstasyonu Yeterlilik Bilgisi
4	Ağrı	1	Yeterli
6	Ankara	1	Yeterli
7	Antalya	1	Yeterli
12	Bingöl	1	Yeterli

13	Bitlis	1	Yeterli
16	Bursa	1	Yeterli
21	Diyarbakır	1	Yeterli
27	Gaziantep	1	Yeterli
30	Hakkâri	1	Yeterli
34	İstanbul	1	Yeterli
35	İzmir	1	Yeterli
48	Muğla	1	Yeterli
49	Muş	1	Yeterli
56	Siirt	1	Yeterli
62	Tunceli	1	Yeterli
63	Şanlıurfa	1	Yeterli
65	Van	1	Yeterli
69	Bayburt	1	Yeterli
72	Batman	1	Yeterli
75	Ardahan	1	Yeterli
76	Iğdır	1	Yeterli
77	Yalova	1	Yeterli
38	Kayseri	1,078	Kısmen Yeterli
50	Nevşehir	1,120	Kısmen Yeterli
14	Bolu	1,123	Kısmen Yeterli
41	Kocaeli	1,154	Kısmen Yeterli
3	Afyonkarahisar	1,227	Kısmen Yeterli
26	Eskişehir	1,281	Kısmen Yeterli
8	Artvin	1,308	Kısmen Yeterli
32	Isparta	1,336	Kısmen Yeterli
20	Denizli	1,391	Kısmen Yeterli
25	Erzurum	1,401	Kısmen Yeterli
61	Trabzon	1,431	Kısmen Yeterli
22	Edirne	1,451	Kısmen Yeterli
1	Adana	1,465	Kısmen Yeterli
42	Konya	1,484	Kısmen Yeterli
53	Rize	1,508	Kısmen Yeterli
47	Mardin	1,535	Kısmen Yeterli
54	Sakarya	1,537	Kısmen Yeterli
64	Uşak	1,634	Kısmen Yeterli
81	Düzce	1,684	Kısmen Yeterli
17	Çanakkale	1,708	Kısmen Yeterli
11	Bilecik	1,719	Kısmen Yeterli
28	Giresun	1,740	Kısmen Yeterli
74	Bartın	1,745	Kısmen Yeterli
59	Tekirdağ	1,773	Kısmen Yeterli
36	Kars	1,78	Kısmen Yeterli

33	Mersin	1,821	Kısmen Yeterli
9	Aydın	1,881	Kısmen Yeterli
58	Sivas	1,952	Kısmen Yeterli
15	Burdur	1,982	Kısmen Yeterli
78	Karabük	2,076	Yeterli Değil
73	Şırnak	2,082	Yeterli Değil
39	Kırklareli	2,176	Yeterli Değil
23	Elâzığ	2,177	Yeterli Değil
10	Balıkesir	2,205	Yeterli Değil
5	Amasya	2,233	Yeterli Değil
55	Samsun	2,304	Yeterli Değil
52	Ordu	2,319	Yeterli Değil
68	Aksaray	2,388	Yeterli Değil
57	Sinop	2,394	Yeterli Değil
29	Gümüşhane	2,414	Yeterli Değil
80	Osmaniye	2,414	Yeterli Değil
43	Kütahya	2,445	Yeterli Değil
19	Çorum	2,466	Yeterli Değil
70	Karaman	2,492	Yeterli Değil
24	Erzincan	2,514	Yeterli Değil
67	Zonguldak	2,747	Yeterli Değil
60	Tokat	2,763	Yeterli Değil
46	Kahramanmaraş	2,775	Yeterli Değil
45	Manisa	2,844	Yeterli Değil
18	Çankırı	2,861	Yeterli Değil
79	Kilis	2,863	Yeterli Değil
51	Niğde	2,950	Yeterli Değil
66	Yozgat	3,022	Yeterli Değil
31	Hatay	3,230	Yeterli Değil
37	Kastamonu	3,305	Yeterli Değil
2	Adıyaman	3,627	Yeterli Değil
40	Kırşehir	3,775	Yeterli Değil
71	Kırıkkale	4,053	Yeterli Değil
44	Malatya	4,556	Yeterli Değil

Tablo 5’te Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini çıktı yönlü BCC modeli uygulanmıştır. Ayrıca sonuçlar yeterli, kısmen yeterli ve yetersiz olarak üç ayrı kategoride sınıflandırılmıştır. Bu model, belirli girdilerle çıktıları maksimize etmeyi hedeflediği için özellikle iller arasındaki yeterlilik değerlendirilmiştir. Ancak, tablodaki veriler de modelin bazı sınırlamalarını da ortaya koymaktadır.

Tabloda yer alan etkinlik skorları, her ilin mevcut altyapısıyla çıktılarının ne kadar verimli olduğunu göstermektedir. Etkinlik skoru 1 olan iller, mevcut girdilerle en yüksek çıktıyı elde edebildiklerinden etkin olarak kabul edilirken, 1'in üzerinde skora sahip iller ise daha fazla çıktı üretebilme potansiyeline sahip olan iller olarak değerlendirilir.

İlk olarak, etkinlik skoru 1 olan iller analiz edildiğinde, bu iller elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğinin en yüksek seviyesine ulaşmış durumdadır. Ağrı, Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Bursa, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Muş, Siirt, Tunceli, Şanlıurfa, Van, Batman, Bayburt, Ardahan, Iğdır ve Yalova illerinin etkinlik skoru 1 olarak listelenmiştir. Bu iller, mevcut girdileriyle potansiyel çıktının tamamını üretebilmekte olup daha fazla yeterlilik sağlama ihtiyacı bulunmamaktadır.

Diğer yandan, etkinlik skoru 1'in üzerinde olan iller ise girdilerini daha etkin kullanarak mevcut çıktıyı arttırabilme potansiyeline sahiptir. Adıyaman (3,627), Çankırı (2,861), Kastamonu (3,305), Kırşehir (3,775), ve Malatya (4,556) gibi yüksek skora sahip iller çıktılarının arttırılabilir olduğunu göstermektedir. Bu iller, verilen girdilerle daha yüksek bir çıktı elde edebilirler. Bu durum ise yeterliliklerini arttırmaları için iyileştirme fırsatlarının mevcut olduğunu göstermektedir.

Etkinlik skoru 1'in üzerinde olan iller, mevcut kaynaklarının yeterli olmamasından dolayı "Kısmen Yeterli" veya "Yeterli Değil" olarak değerlendirilmiştir. 1 ile 2 arasında etkinlik skoruna sahip olan iller, "Kısmen Yeterli" kategorisinde yer almakta ve mevcut altyapılarında iyileştirmeler yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Örneğin, Kayseri (1,078), Kocaeli (1,154) ve Konya (1,484) gibi iller, küçük ölçekli müdahalelerle daha etkin hale getirilebilecek iller arasındadır.

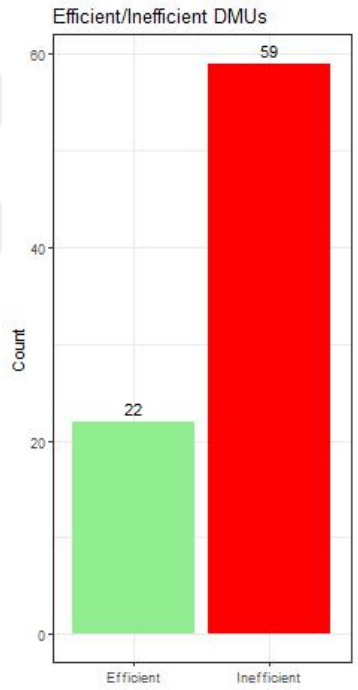
Tabloda görüldüğü üzere, model çıktıları maksimize etmeye odaklandığı için girdilerin yeterliliği veya optimizasyonu ikinci planda kalmaktadır. Örneğin, kişi başına düşen GSYİH veya kişi başına elektrik tüketimi gibi girdiler, etkinlik skoru üzerinde yeterince vurgulanmamıştır. Bu durum, düşük ekonomik kalkınmaya sahip bölgelerin neden düşük etkinlik skoruna sahip olduğunun tam olarak anlaşılmasını zorlaştırabilir.

Etkinlik skorunun 1'in çok üzerinde olduğu iller, teoride büyük bir iyileştirme potansiyeline sahip gibi görünse de bu durum bazen yanıltıcı olabilir. Örneğin, Malatya (4,556) ve Kırıkkale (4,053) gibi illerdeki skorlar sadece şarj istasyonu eksikliği nedeniyle yüksek olabilir. Ancak bu skorlar diğer altyapısal sorunların göz ardı edilmesine neden olabilir.

Etkinlik skorunun 1 olduğu iller genellikle "yeterli" kabul edilmektedir. Ayrıca, bu illere yönelik yatırım ihtiyacı göz ardı edilmektedir. Ancak, İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde elektrikli araçların yaygınlaşması durumunda şarj istasyonu kapasitesinin hızla yetersiz hale gelebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, yeterli kabul edilen iller de sürekli olarak izlenmeli ve gelecekteki talepleri karşılamak için önlemler alınmalıdır.

Sonuç olarak, çıktı yönlü BCC modeli iller arasındaki yeterliliklerini tespit etmek ve stratejik iyileştirme fırsatları sunmak için bir araçtır. Bu modelde Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliği açısından; 22 il yeterli, 29 il kısmen yeterli ve 30 il yetersiz olarak sınıflandırılmıştır. Ancak, modelin odaklandığı çıktı optimizasyonu, girdilerin değerlendirilmesini sınırlayabilir ve sonuçların yanıltıcı olmasına neden olabilir.

Şekil 15 BCC Girdi ve Çıktı Yönlü VZA Analizi Etkin Sayılan KVB Sıklıkları



Banker, Charnes ve Cooper (BCC) Girdi Yönlü ve Çıktı Yönlü model sonuçları, illerin yeterlilik performansını farklı bakış açılarıyla değerlendirilmiştir. Girdi Yönlü model, illerin belirli bir çıktı düzeyini koruyarak girdilerini ne kadar azaltabileceğini incelerken; çıktı yönlü model ise mevcut girdileri sabit tutarak çıktılarını ne kadar artırabileceklerini analiz etmektedir. Girdi yönlü analizde, birden fazla ilin etkinlik skorları 1'in altında kalmakta ve girdilerini daha verimli kullanarak maliyetleri düşürebileceklerini göstermektedir. Çıktı yönlü analizde ise etkinlik skorları genellikle daha yüksek olup illerin mevcut girdilerle daha fazla çıktı üretebilecek kapasiteye sahip oldukları görülmektedir.

Girdi ve çıktı yönlü BCC modelindeki illerin "yeterli", "kısmen yeterli" ve "yetersiz" çıkması, bu illerdeki durum incelendiğinde, modelin tutarlılığını ve sonuçlarının güvenilirliğini işaret etmektedir. Bu durum, modelin girdilere (örneğin kişi başına düşen GSYİH, motorlu araç sayısı gibi) ve çıktılara (elektrikli otomobil sayısı, şarj istasyonu yeterliliği gibi) verdiği ağırlıkların iyi dengelendiğini ve iller arasındaki farklılıkları doğru bir şekilde yakaladığını göstermektedir.

Tutarlılık, özellikle bölgesel karşılaştırmalar ve karar alma süreçleri için oldukça kritiktir. İki farklı model ile yapılan analizlerin aynı sonuçlara ulaşması karar vericilere güven veren bir durumdur.

Sonuçların iki modelde de aynı olması VZA'nın kullanılan veri setine oldukça duyarlı bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır. Yeterli iller (örneğin İstanbul, Ankara, İzmir gibi) yüksek etkinlik skorlarına sahipken yetersiz iller (örneğin Kırşehir, Malatya, Yozgat gibi) ise belirgin olarak düşük etkinlik skorlarıyla dikkat çekmektedir. Bu durum, analizin veriye olan bağımlılığını öne çıkarır.

Dolayısıyla, BCC girdi ve çıktı yönlü VZA analizlerinin tutarlı sonuçlar vermesi modelin güçlü bir yöntem olduğunu ve elektrikli araç altyapısındaki dengesizlikleri net bir şekilde ortaya koyduğunu göstermektedir. Modelin sağladığı güvenilir ve tutarlı sonuçlar karar vericilere somut ve uygulanabilir bir yol haritası sunmaktadır.

Yapılan tüm analizler, Türkiye'deki illerin verimlilik performanslarını çok boyutlu bir şekilde değerlendirerek önemli bulgular sunmaktadır. Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) ve Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modelleri kullanılarak yapılan girdi ve çıktı yönlü veri zarflama analizleri, illerin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının ne kadar yeterli olduğunu ve yeterliliklerini ortaya koymaktadır. CCR modelinde illerin genel etkinlik seviyeleri değerlendirilirken BCC modelinde ölçeğe göre etkinlik dikkate alınmıştır. Sonuçlar, bazı illerin belirli girdilerle daha yüksek çıktı elde etme kapasitesine sahip olduğunu gösterirken diğer illerde ise girdileri daha verimli kullanarak maliyetleri azaltma potansiyelinin bulunduğunu ortaya koymaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ulaşım, insanlık tarihinin en önemli ve sürekli evrilen ihtiyaçlarından biri olmuştur. Teknolojik yeniliklerle şekillenen ulaşım araçları arasında elektrikli otomobiller erken dönemden itibaren dikkat çeken alternatiflerden biridir. Elektrikli otomobiller son yıllarda çevresel kaygılar ve fosil yakıtların tükenme riski nedeniyle hızla popülerlik kazanmıştır. Ayrıca, dünya genelinde ulaşım sektöründe devrim niteliğinde değişimlere de yol açmıştır. İçten yanmalı motorlardan

farklı olan elektrikli otomobiller sıfır emisyonlu motorlarla çalışmaktadır. Bu sayede hava kirliliğini de azaltmaktadır. Bu çevre dostu özellikleri ve enerji verimliliği sağlayan yapıları sayesinde elektrikli otomobiller sürdürülebilir ulaşım çözümleri arasında önemli bir yer edinmiştir. Bunun yanı sıra, fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını teşvik etmesi de elektrikli otomobillerin global ölçekte artan popülaritesinin temel sebeplerindendir.

Elektrikli otomobillerin çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği hedefleri doğrultusunda dünya çapında hızla yayıldığı ve Türkiye'de de artan bir ilgiyle karşılandığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında literatür 3 başlık altında incelenmiştir. Literatür incelemesinin ilk bölümünde; elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasının ekonomik, çevresel ve toplumsal etkileri detaylı bir şekilde ele alınarak bu araçların geçmişten günümüze kadar olan gelişim sürecine dair önemli bilgiler sunulmaktadır. Bu kapsamda, elektrikli otomobillerin dönüşümü ve bu dönüşümün farklı boyutlardaki etkileri derinlemesine incelenmiştir. Literatür taramasının ikinci alt başlığında ise; veri zarflama analizine odaklanılmış ve bu yöntemin farklı alanlarda verimlilik ve performans değerlendirmelerinde güçlü bir araç olduğu ortaya konmuştur. Özellikle finansal, çevresel ve sosyal verimlilik analizlerinde sağladığı katkılar, karar vericilere etkin stratejiler geliştirme açısından önemli bir rehberlik sağladığı görülmektedir. Son alt başlıkta, elektrikli araç şarj istasyonlarının evrimi ve mevcut durumu kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek bu alandaki gelişmelerin anlaşılmasına yönelik değerli bilgiler sunulmuştur. Böylece, elektrikli araç ekosisteminin önemli bir parçası olan şarj altyapısının gelecekteki potansiyeli daha net bir şekilde ortaya çıkartılmıştır.

Elektrikli otomobillerin temelleri 19. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. İlk elektrikli araçların ortaya çıkışı beraberinde mekanik enerjiyle çalışan ilk otomobillerin üretilmesiyle paralel bir gelişim göstermiştir. Bu dönemde, elektrikli otomobiller genellikle kısa mesafe yolculuklar için tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise dönemin bataryaları sınırlı menzil sunmakla birlikte kısa mesafelerde oldukça verimli olmalarıdır. Elektrikli otomobillerin ilk örneklerinden biri ise 1897'de geliştirilen rejeneratif fren sistemi ile daha verimli hale getirilmiştir. Bu sistem, aracın kinetik enerjisinin geri kazanılmasını sağlayarak bataryaların şarj edilmesine yardımcı olmasına ek olarak elektrikli otomobillerin menzilini de arttırmıştır.

Elektrikli otomobillerin tarihindeki en önemli dönüm noktalarından biri olarak 1881 yılında Fransız mühendis Gustave Trouvé'nin tasarladığı ilk elektrikli araç yer almaktadır. Fakat, ilk elektrikli araçlar özellikle şehir içi ulaşımda önemli bir seçenek haline gelmiş olsa da batarya teknolojisinin sınırlamaları ve içten yanmalı motorların üstünlüğü ile elektrikli araçların geniş

çapta benimsenmesini engellemiştir. 20. yüzyılın başlarında ise elektrikli otomobiller hızla gelişmeye devam etmiştir. Ancak içten yanmalı motorların daha uzun menzil, daha hızlı şarj ve daha düşük maliyet avantajları elektrikli araçların yaygınlaşmasını engellemiştir.

20. yüzyılın sonlarına gelindiğinde çevresel kaygılar ve fosil yakıtlara bağımlılığın olumsuz etkileri elektrikli otomobillere olan ilgiyi yeniden arttırmıştır. 1973'teki petrol krizi alternatif enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmış ve elektrikli otomobil teknolojilerinin yeniden araştırılmasına yol açmıştır. Ancak, batarya teknolojisinin yetersizliği, elektrikli otomobillerin menzil ve performans sorunlarını beraberinde getirmiştir. 1980'lerde ilk seri üretim elektrikli otomobili piyasaya sürülmüştür. Ancak batarya kapasitesinin sınırlılığı nedeniyle bu araçların yaygınlaşması mümkün olmamıştır.

2000'li yıllarda ise, elektrikli otomobiller popülerlik kazanmaya devam etmiştir. Elektrikli otomobillerin geleceği yalnızca batarya kapasitesinin artmasıyla değil aynı zamanda enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve çevre dostu ulaşım çözümleri talebinin artmasıyla tarihte şekillendiği görülmektedir. Türkiye'de de elektrikli araçların gelişimi dünya genelindeki trende paralel bir şekilde ilerleme kaydetmiştir.

Elektrikli otomobiller ulaşım sektöründeki önemli yeniliklerden biridir. Ayrıca, bu taşıtlar bize çevre dostu ve sürdürülebilir ulaşım seçenekleri sunarak geleneksel içten yanmalı motorlu otomobillere karşı önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Elektrikli otomobiller, fosil yakıt kullanımını ortadan kaldırarak sera gazı emisyonlarını azaltmakta, hava kalitesini iyileştirmekte ve karbon ayak izini küçültmektedir. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşması aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarıyla uyumlu bir mobilite sistemini teşvik etmektedir. Ek olarak, daha sürdürülebilir bir ulaşım altyapısının inşa edilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, elektrikli otomobiller kullanım amacına ve sürüş tarzına göre çeşitli alt kategorilere ayrılmaktadır. Bu farklı elektrikli otomobil türleri çevre dostu ulaşım seçeneklerini çeşitlendirmekte ve her kullanıcıya uygun bir çözüm sunmaktadır. Elektrikli otomobillerin türleri, kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillenen çok çeşitli seçenekler sunmaktadır. Elektrikli araçların türleri; hibrit elektrikli araçlar, bataryalı elektrikli araçlar, fişli elektrikli araçlar ve yakıt Hücreli elektrikli araçlar olarak ayrılmaktadır.

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri ise şarj altyapısının yetersizliğidir. Elektrikli otomobiller, içten yanmalı motorlu araçların aksine bataryalarını şarj ederek çalıştığı için şarj istasyonlarının sayısının arttırılması ve altyapının güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Elektrikli otomobiller, içten yanmalı motorlu

araçların aksine bataryaları şarj edilerek çalıştığı için araçların şarj edilmesi konusunda yeterli istasyon altyapısının sağlanması önem arz etmektedir. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de elektrikli otomobil kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte şarj istasyonlarının sayısının artış göstermesi araçların daha verimli ve kesintisiz bir şekilde kullanımını sağlayacaktır. Ancak mevcut şarj istasyonu ağı elektrikli otomobillerin yaygınlaşması için yeterli görülmemektedir. Bu nedenle, literatürde de görülen bu boşluğun tamamlanması açısından çalışmada, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterlilikleri veri zarflama analizi ile incelenmiştir.

Türkiye'deki elektrikli otomobil kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılayabilmek için şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Elektrikli otomobillerin bataryalarının şarj edilmesi için daha fazla istasyon kurulması hem kullanıcı güvenliğini hem de araçların sürdürülebilir kullanımını destekleyecektir. Aynı zamanda, elektrikli otomobil şarj altyapısının gelişmesi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu açısından da büyük bir potansiyele sahiptir. Şarj istasyonları, sadece araç kullanıcıları için değil aynı zamanda enerji sektöründeki dönüşüm sürecini hızlandıracak olan bir etmen olarak elektrikli otomobillerin geleceğini şekillendirecek temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu sebeple, hükümetlerin ve özel sektörün iş birliğiyle, şarj altyapısının hızlı bir şekilde geliştirilmesi elektrikli otomobillerin daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlayacak önemli bir adım olacaktır.

Elektrikli otomobiller, teknolojik gelişmeler ve artan altyapı yatırımları sayesinde hızla evrilmekte ve daha fazla kullanıcının tercihi haline gelmektedir. Ancak, elektrikli otomobillerin yaygınlaşması için doğru altyapının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Elektrikli otomobil şarj istasyonları, bu dönüşümün önemli bir parçasıdır. Ayrıca, otomobil türlerine göre şarj altyapısının planlanması gerekmektedir. Bu noktada, elektrikli otomobil türlerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi şarj istasyonu ihtiyacının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Ek olarak, güçlü bir şarj altyapısının kurulmasını da sağlamaktadır.

Elektrikli otomobil şarj istasyonları, EV teknolojisinin benimsenmesi ve yaygınlaşması için kritik öneme sahip altyapı unsurlarıdır. Elektrikli araçlar, fosil yakıtlarla çalışan araçlara alternatif olarak çevresel etkileri azaltma ve hava kirliliğini engelleme gibi potansiyellere sahiptir. Ancak, bu teknolojinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi ve toplumsal kabulünün sağlanabilmesi için kullanıcıların araçlarını güvenli ve verimli bir şekilde şarj edebilecekleri yaygın bir şarj altyapısının varlığı önem arz etmektedir. Elektrikli otomobillerin mevcut

potansiyelinden tam anlamıyla faydalanabilmesi için şarj istasyonlarının hem sayısal olarak artması hem de coğrafi olarak stratejik noktalara yerleştirilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, şarj altyapısının yetersizliği, elektrikli otomobillerin kabulünü engelleyen en önemli faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Kullanıcılar günümüzde araçlarının menzilinin yeterli olup olmadığı ve en yakın şarj noktasının bulunabilirliği konusunda endişeler taşımaktadır. Bu tür kaygılar, özellikle uzun mesafeli yolculuklar söz konusu olduğunda elektrikli otomobillerin pratik kullanımı açısından önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle, hızlı şarj istasyonlarının kurulumu otomobil kullanıcılarının zaman kaybını en aza indirerek elektrikli araçların günlük kullanımda daha cazip hale gelmesini sağlayacaktır. Ayrıca, şarj istasyonlarının altyapı kalitesi ve erişilebilirliği de kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Türkiye'de elektrikli araçların sayısı son yıllarda artış göstermektedir. Buna paralel olarak şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Ülke genelinde hem devlet hem de özel sektör tarafından yapılan yatırımlar bu altyapının hızla geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle şehir içi ulaşımda elektrikli otomobillerin daha fazla tercih edilmesini teşvik etmek amacıyla şarj istasyonlarının belirli bölgelerde yoğunlaştırılması ve kullanıcıların bu istasyonlara kolay erişimini sağlamak için yerel yönetimlerin stratejik planlamalar yapması gerekmektedir. Ayrıca, şarj noktalarının çeşitliliği (yavaş şarj, hızlı şarj, ultra hızlı şarj gibi) ve teknolojik uyumluluğu bu altyapının etkinliğini arttıran diğer önemli faktörlerdir.

Türkiye'de elektrikli otomobillerin artan sayısı beraberinde elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliği konusunda önemli bir altyapı ihtiyacı doğurmuştur. Literatürde bu alanda bir boşluk tespit edilmiştir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, Türkiye'deki illerin şarj istasyonlarının yeterliliğini değerlendirmek için veri zarflama analizi yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada veri zarflama analizi kullanılmıştır. Bu yöntemin kökeni, 1951 yılında Koopsman'ın teknik etkinlik kavramını ortaya atmasıyla birlikte literatürde yerini almıştır. Takip eden yıllarda özellikle 1957'de Farrell'in yüksek girdili firmalar için etkinlik çözümlerini dahil etmesiyle birlikte veri zarflama analizinin temelleri güçlenmeye devam edilmiştir. Ancak veri zarflama analizi, özellikle Charnes, Cooper ve Rhodes'un 1978'de geliştirdiği metodoloji ile kendini tam anlamıyla tanımlamış ve bu yöntem "veri zarflama analizi" olarak kabul edilmiştir.

İlk olarak bu bağlamda geliştirilmiş olan CCR modeli, bu analizin temel yapı taşı olmuştur. Daha sonra 1984'te Banker, Charnes ve Cooper tarafından BCC modeli geliştirilmiştir. BCC

modeli, ölçek ekonomilerinin etkisini dikkate alarak değişken getiri sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan VZA, R programlama dili ile hesaplanmıştır. Bu çalışmanın alamet-i farikası yapılan veri zarflama analizinde hem CCR modelinin hem de BCC modelinin girdi ve çıktı yönlü modelleri ayrı ayrı hesaplanmış olmasıdır. Bu modeller aracılığıyla illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterlilikleri hem girdi hem de çıktı odaklı yaklaşımlar çerçevesinde değerlendirilmiştir. Ayrıca, yeterlilik düzeyleri kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Böylece, her bir il için detaylı ve çok yönlü bir analiz ortaya konmuştur.

Elektrikli otomobil şarj istasyonlarının yeterliliğini belirlemek amacıyla yapılan veri zarflama analizi sürecinde girdi değişkenlerinin doğru seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin 81 iline ait 2022 yılının verileri kullanılmıştır. Araştırmada, yapılan analizler ve uzman görüşleri alınmıştır. Bu görüşler doğrultusunda, il bazında belirlenen girdi değişkenleri arasında; kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi, motorlu kara taşıtları sayısı ve konut sayısı yer alırken, çıktı değişkenleri olarak; elektrikli otomobil sayısı, elektrikli araç şarj istasyonu sayısı ve elektrikli otomobil kullanım oranı seçilmiştir. Bu değişkenler, VZA yöntemiyle Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının yeterliliği açısından analiz edilmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında yurtdışı seyahatleri gerçekleştirilmiştir. Seyahatlerin amacı, farklı ülkelerdeki elektrikli otomobil ve şarj istasyonlarının kullanımını yerinde gözlemlemek ve Türkiye'deki mevcut durumu daha iyi anlayabilmektir.

Çalışmada, modellerin etkinlik sonuçları; yeterli, kısmen yeterli ve yetersiz olarak sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla, girdi Yönelimli CCR Modeli etkinlik skorlarını ve şarj istasyonu yeterliliği incelenmiştir. Bulgulara göre, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğinde; 14 il yeterli olurken 30 il kısmen yeterli ve kalan 67 il ise yetersizdir. Yeterli olan 14 il mevcut kaynaklarını şekilde kullanarak elektrikli şarj istasyonu altyapısını etkin bir şekilde sağlama kapasitesine sahiptir. Elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterli olan iller; Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Siirt, Tunceli, Bayburt, Batman'dır. Bu iller, yeterlilik açısından diğer bölgelere örnek teşkil etmektedir.

Bu modele göre, en yetersiz il etkinlik skoru 0,214 olan Kırıkkale ilidir. Kırıkkale'nin elektrikli otomobil şarj altyapısının oldukça yetersiz olduğunu ve potansiyelinin büyük ölçüde değerlendirilmediğini göstermektedir. Ayrıca, girdi yönelimli CCR modelinin ortalama etkinlik skoru 0,588''dir. Etkinlik skorunun 0,588 olması Türkiye genelinde elektrikli otomobil şarj

istasyon altyapısının geliştirilmesi gerektiği ve mevcut kaynakların bölgesel farklılıklardan dolayı verimli kullanılamadığını göstermektedir.

Çıktı Yönelimli CCR Modeli etkinlik skorlarını ve şarj istasyonu yeterlilik durumlarını incelenmiştir. Analizlerin sonuçlarına göre ise 14 il yeterli olurken 30 il kısmen yeterli ve kalan 67 il ise yetersizdir. Şarj istasyonu yeterli olan iller; Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Siirt, Tunceli, Bayburt, Batman'dır. Bu iller elektrikli otomobil şarj istasyonu bakımından yeterlidir.

Bu modele göre, en yetersiz il etkinlik skoru 4,678 olan Kırıkkale ili olarak tespit edilmiştir. Türkiye'deki Kırıkkale ilinin elektrikli otomobil şarj altyapısının belirgin şekilde yetersiz olduğu görülmektedir. Ek olarak, çıktı Yönelimli CCR Model'inin etkinlik skorlarının ortalaması 2,042 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen 2,042 ortalama etkinlik skorunun mevcut şarj altyapısının ve politikaların yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

Bu analizler doğrultusunda hem girdi yönelimli hem de çıktı yönelimli CCR modellerinde aynı 14 ilin her iki modelde de verimli olarak sınıflandırılması bu illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının hem kaynak kullanımı hem de sonuç üretimi açısından yeterli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu durum çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinin birbiriyle tutarlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. Öte yandan, diğer illerin her iki modelde de düşük etkinlik skorlarına sahip olması, mevcut altyapının verimli kullanılamadığını ve önemli iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğunu işaret etmektedir. Bu bulgular, Türkiye genelinde elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının dengeli bir şekilde geliştirilmesi gerektiğini ve kaynakların daha etkin bir şekilde değerlendirilmesine yönelik stratejik adımların atılmasının önemini vurgulamaktadır.

Girdi Yönelimli BCC Modeli etkinlik skorları ve elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'deki illerin elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliği açısından 22 il yeterliyken 52 il kısmen yeterli ve 7 il ise yetersiz durumdadır. Yeterli kabul edilen 22 il mevcut kaynaklarını verimli şekilde kullanarak elektrikli şarj istasyonu altyapısını etkin bir şekilde kurma kapasitesine sahiptir. Bu iller, Ağrı, Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Bursa, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Muş, Siirt, Tunceli, Şanlıurfa, Van, Batman, Bayburt, Ardahan, Iğdır ve Yalova'dır. Yeterli olan iller, şarj istasyonu altyapısı açısından diğer illere örnek oluşturacak seviyede yeterli bir altyapıya sahiptir.

Bu modele göre, en düşük etkinlik skoruna sahip il 0,415 ile Manisa ilidir. Bu skor, Manisa ilinin elektrikli otomobil şarj altyapısının önemli ölçüde yetersiz olduğunu ve mevcut potansiyelinin büyük oranda kullanılmadı görülmektedir. Ayrıca, girdi yönelimli BCC modelinin ortalama etkinlik skoru 0,736 olarak hesaplanmıştır. Bu durum da genel olarak illerin kaynak kullanımında belirli bir verimlilik sağladığını göstermektedir.

Çıktı Yönelimli BCC Modeli etkinlik skorlarını ve illerin şarj istasyonu yeterlilikleri incelenmiştir. Analizlerin sonuçlarına göre ise 22 il yeterli olurken 29 il kısmen yeterli ve kalan 59 il ise yetersizdir. Elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterli olan iller; Ağrı, Ankara, Antalya, Bingöl, Bitlis, Bursa, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkâri, İstanbul, İzmir, Muğla, Muş, Siirt, Tunceli, Şanlıurfa, Van, Batman, Bayburt, Ardahan, Iğdır ve Yalova'dır. Bu iller hesaplamalar sonucunda elektrikli otomobil şarj istasyonu açısından yeterli olarak görülmektedir.

Bu modele göre, en düşük etkinlik skoruna sahip il 4,556 ile Malatya ili olduğu tespit edilmiştir. Bu skor, Malatya ilinin elektrikli otomobil şarj altyapısının önemli ölçüde yetersiz olduğunu ve mevcut potansiyelinin büyük oranda kullanılmadı görülmektedir. Ayrıca, girdi yönelimli BCC modelinin ortalama etkinlik skoru 1,836 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, çoğu ilin kaynaklarını verimli bir şekilde kullanamadığını ve şarj istasyonlarının ihtiyaçları karşılamaktan uzak olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak, BCC modeli, elektrikli otomobil şarj istasyonu yeterliliğini hem girdi hem de çıktı yönelimli yaklaşımlarla inceleyerek illerin altyapı düzeyini karşılaştırmaktadır. Hem girdi hem de çıktı yönelimli BCC modellerinde aynı 22 ilin yeterli olarak sınıflandırılması kullanılan verilerin ve değişkenlerin tutarlılığını ortaya koymaktadır. Ancak en düşük etkinlik skoru açısından farklı illerin belirlenmesi, modelin odak noktalarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Girdi yönelimli BCC modeli, kaynakların mevcut kullanım etkinliğini değerlendirirken, çıktı yönelimli BCC modeli, elde edilen sonuçların hedeflere uygunluğunu analiz etmektedir. Bu bağlamda, Iğdır'ın girdi yönelimli modelde en düşük skora sahip olması mevcut kaynaklarını verimli kullanamadığını göstermektedir. Çıktı yönelimli modelde Malatya'nın en düşük skoru alması ise şarj istasyonu altyapısının ihtiyaçları karşılamaktan uzak olduğunu ve potansiyel çıktılar açısından ciddi eksiklikler taşıdığını işaret etmektedir. Dolayısıyla, iki modelin farklı sonuçlar üretmesi illerin hem kaynak kullanımındaki etkinliklerini hem de bu kaynaklardan elde edilen çıktıları ayrı perspektiflerden değerlendirdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum analizlerin kapsamını genişleterek daha bütünsel bir değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır.

Yapılan çalışma kapsamında, Türkiye'deki elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının mevcut durumu hem girdi ve çıktı yönelimli CCR hem de BCC modelleriyle kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, Türkiye genelinde elektrikli otomobil şarj istasyonu kapasitesinin yetersiz olduğunu ve bu alandaki yatırımların arttırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle kaynakların etkin kullanımı ve altyapının verimli bir şekilde geliştirilmesi, artan elektrikli araç sayısına uyum sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir.

Sonuç olarak, elektrikli otomobillerin hayatın her alanına entegrasyonu için şarj istasyonu altyapısının iyileştirilmesi ve genişletilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, hem mevcut kaynakların daha verimli kullanılması hem de yenilikçi çözümlerle şarj istasyonu sayısının arttırılması sürdürülebilir bir ulaşım ağı için temel bir gereklilik haline gelmiştir. İller arasındaki altyapı farklılıklarının giderilmesi ve ülke genelinde eşit erişim sağlanması elektrikli otomobillerin benimsenme hızını arttırarak çevre dostu ulaşım hedeflerine ulaşılmasını destekleyecektir. Bu doğrultuda, planlamalar ve stratejiler geliştirilmeli, özel sektör ve kamu iş birliğiyle kapsamlı bir dönüşüm gerçekleştirilmelidir.

Gelecek çalışmalar için ise illerin elektrikli otomobil şarj istasyonlarının bölgesel ve demografik farklılıklar doğrultusunda daha detaylı analiz edilmesi önem arz etmektedir. İllerin sosyo-ekonomik yapıları, nüfus yoğunlukları ve elektrikli araç kullanım potansiyelleri dikkate alınarak yapılacak bölgesel değerlendirmeler yatırımların öncelikli bölgelere yönlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, mevcut şarj istasyonu altyapısının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu ve bu kaynakların etkin kullanımına yönelik stratejik modellemeler geliştirilmelidir. Bunun yanı sıra, kullanıcı davranışları ve şarj istasyonlarının talep yoğunluklarına yönelik veri analizlerinin yapılması altyapının hem teknik kapasite hem de erişilebilirlik açısından optimize edilmesini sağlayabilir. Son olarak, kamu ve özel sektör iş birliği ile daha yenilikçi finansman modellerinin geliştirilmesi ve uluslararası uygulamaların incelenerek Türkiye'ye uyarlanması elektrikli otomobil şarj istasyonu altyapısının uzun vadeli sürdürülebilirliğini destekleyecektir.

KAYNAKLAR

A. Sözen, A. Mirzapour, M.T. Çakır, Ü. İskender ve F. Çipil, (2015) "Türkiye Kentlerinde VZA ve TOPSIS Yaklaşımını Kullanarak Rüzgâr Santralleri İçin En İyi Yer Seçimi", Gjes, Cilt 1, Sayı 1, S. 173–193, 2015.

AA. (2024). Otomotiv sektöründe hibrit dönüşümü. Anadolu Ajansı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/otomotiv-sektorunde-hibrit-donusumu-/1450161. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Acar, O., & Taşkın, Ç. (2024). Türkiye'de Elektrikli Otomobillerin Benimsenmesi Sürecinin Değerlendirilmesine Yönelik Nitel Bir Araştırma. Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 25(1), 205–241. Https://Doi.Org/10.53443/Anadoluibfd.1293056

Aktürk, D. Ve Kıral, T. (2002). Veri Zarflama Yöntemi İle Tarım Ürünlerinde Pamuk Üretim Faaliyetinin Etkinliğinin Ölçülmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 08(03), 197-203. Https://Doi.Org/10.1501/Tarimbil_0000000736

Alkan, T., Atiz, Ö. F., & Durduran, S. S. (2023). Elektrikli Araç Şarj İstasyonları İçin AHP Yöntemi İle Uygun Yer Seçimi: Konya Örneği. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1), 193-199. Https://Doi.Org/10.28948/Ngumuh.1189242.

Alpsalaz A., (2018). Hibrit ve Elektrikli Araçlarda Süperkapasitör ve Lityum İyon Bataryaların Kontrol Edilerek Güç Sistemlerinde Kullanılması, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Altunkaya S. M. (2018). Hibrit Elektrikli Araçlarda Enerji Depolama Yöntemleri ve Verimliliği Arttırmak İçin Yeni Bir Kişisel Sürüş Modu Algoritmasının Geliştirilmesi Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

Alyar, H. (2022). Elektrikli Otomobillerin Yapısı Ve Yangın Riskleri. Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi, 10(1), 1–8. Https://Doi.Org/10.52702/Fce.1057432.

An Electric Dog-Cart. (1888). The Engineer, 218.

Arabacı, E. (2019). Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Taşıtlardaki Güç Dağıtıcı (Power Splıt) Mekanizmasının Motor Hızı Değişimine Bağlı İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1), 394-404. https://doi.org/10.28948/ngumuh.517151

Arabam. (2024). 2000'lerin en iyi hibrit arabaları. Arabam.com. https://www.arabam.com/blog/genel/2000lerin-en-iyi-hibrit-arabalari/. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Arı, F. (2023). Başlıca Enerji Kaynakları Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(26), 697-718. https://doi.org/10.53092/duiibfd.1340196

Ari, Y. O. (2020). Küresel Elektrikli Otomobil Piyasasına Genel Bakış. Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 4(2), 193–203. Https://Doi.Org/10.47140/Kusbder.714905.

B. Johnson, "Environmental Products That Drive Organizational Change: General Motor's Electric Vehicle (Ev1)," Corporate Environmental Strategy, Vol. 6, No.2, Pp. 140–150, 1999, Doi: 10.1016/S1066-7938(00)80024-X.

B. Schott, A. Püttner, M. Müller, The Market For Battery Electric Vehicles, 2015, Pages 35-54, ISBN 9781782423775.

Banker, R., Charnes, A. and Cooper, W. (1984) Some Models For Estimating Technical and Scale Inefficiencies In Data Envelopment Analysis. Management Science, 30, 1078 1092. Http://Dx.Doi.Org/10.1287/Mnsc.30.9.1078.

Barbarossa, C., Beckmann, S. C., De Pelsmacker, P., Moons, I., & Gwozdz, W. (2015). A Self-Identity Based Model Of Electric Car Adoption Intention: A Cross- Cultural Comparative Study. Journal Of Environmental Psychology, 42, 149– 160. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jenvp.2015.04.001

Barın, A., Bingöl, M., & Karaarslan, M. H. (2021). Türkiye'deki Elektrikli Otomobil Markalarının Pazarlama İletişimi Kanalı Olarak Youtube Gönderilerinin İncelenmesi. Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 4(2), 78–107. Https://Doi.Org/10.52736/Ubeyad.970255

Barnum, D. T., Mcneil, S., & Hart, J. (2007). Comparing The Efficiency Of Public Transportation Subunits Using Data Envelopment Analysis. Journal Of Public Transportation, 10(2), 1-16. Https://Doi.Org/10.5038/2375-0901.10.2.1.

Bayındır, K. C., Gözüküçük, M. A., Teke, A. (2011). "A Comprehensive Overview Of Hybrid Electric Vehicle Powertrain Configurations, Powertrain Control Techniques and Electronic Control Units," Energy Conversion and Management, Elsevier, No. 52.

Beev. (2023). Top 6 Korean Electric Cars In 2023. Retrieved From Https://Www.Beev.Co/En/Blog/Electric-Cars/Top-6-Voitures-Electriques-Coreennes-2023/ (Erişim Tarihi: 9 Aralık 2024)

Beggs, S., Cardell, S., & Hausman, J. (1981). Assessing The Potential Demand For Electric Cars. Journal Of Econometrics, 17(1), 1–19. Https://Doi.Org/10.1016/0304-4076(81)90056-7.

Beyaz, F. (2022). Bıll Clınton Dönemi Abd-Çin İlişkileri. Journal of International Relations and Political Science Studies(5), 46-62.

Bilgilioğlu, S. S. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci İle Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(1), 165-174.

Bilsel, M., Kilic, H. S., Kalender, Z. T., & Tuzkaya, G. (2024). Multi-Objective Model For Electric Vehicle Charging Station Location Selection Problem For A Sustainable Transportation Infrastructure. Computers & Industrial Engineering, 198, 110695. Https://Doi.Org/10.1016/J.Cie.2024.110695.

Birleştirici, A., Şalci, M. S., Dikkulak, A., Güler, F., Turhan, E., Tic, G. E., & Aş, S. (2015). Elektrikli Araç Şarj Istasyonlari. Tuzla, Istanbul.

Bitar, Z., Al Jabi, S., & Khamis, I. (2014). Modeling And Simulation Of Series Dc Motors Electric Car. Energy Procedia, 50, 460–470. Https://Doi.Org/10.1016/J.Egypro.2014.06.056.

Boccali, F., Mariani, M. M., Visani, F., & Mora-Cruz, A. (2022). Innovative Value-Based Price Assessment In Data-Rich Environments: Leveraging Online Review Analytics Through Data Envelopment Analysis To Empower Managers and Entrepreneurs. Technological Forecasting and Social Change, 182, 121807. Https://Doi.Org/10.1016/J.Techfore.2022.121807.

Bohn, T. (2019). Scalable Electric Submeter Challenges For Electric Vehicle Charging; Low Level AC To DC Extreme Fast Charging For Commercial Vehicles. In 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC) (Pp. 1-9). IEEE.

Borchardt, J. K. (2004). Electrolytes For Electric Car Batteries: Polymers. Materials Today, 7(6), 17. Https://Doi.Org/10.1016/S1369-7021(04)00275-5.

Boyalı, A., "Hibrit Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.

Boyraz D. (2019). Hibrid Elektrikli Araçlarda Bulanık Mantık Tabanlı Enerji Yönetimi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Brandstätter, G., Kahr, M., & Leitner, M. (2017). Determining Optimal Locations For Charging Stations Of Electric Car-Sharing Systems Under Stochastic Demand. Transportation Research Part B: Methodological, 104, 17–35. Https://Doi.Org/10.1016/J.Trb.2017.06.009.

Bray, S., Caggiani, L., Dell'orco, M., & Ottomanelli, M. (2014). Features Selection Based On Fuzzy Entropy For Data Envelopment Analysis Applied To Transport Systems. Transportation Research Procedia, 3, 602-610. Https://Doi.Org/10.1016/J.Trpro.2014.10.039.

Brey J.J., Carazo A.F. and Brey R. (2018) Exploring The Marketability Of Fuel Cell Electric Vehicles In Terms Of Infrastructure and Hydrogen Costs In Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8: 2893–2899.

British Autocars For The Sultan Of Turkey. (1895). The Autocar.

Brown, S., Pyke, D., & Steenhof, P. (2010). Electric Vehicles: The Role and Importance Of Standards In An Emerging Market. Energy Policy, 38(7), 3797-3806. Https://Doi.Org/10.1016/J.Enpol.2010.02.059.

Bulletin, P. (2003). Solar Incentive Program To Power Charging Stations. 2003(3), 3. Https://Doi.Org/10.1016/S1473-8325(03)00307-9.

Callihan, P. F. (2010). A Major Study Of American (Ford) Compared With Japanese (Honda) Automotive Industry Their Strategies Affecting Survivability. Cleveland State University.

Capasso, C., & Veneri, O. (2015). Experimental Study Of A DC Charging Station For Full Electric and Plug-In Hybrid Vehicles. Applied Energy, 152, 131–142. Https://Doi.Org/10.1016/J.Apenergy.2015.04.040.

Cerruti, G., Chiola, M., Bianco, V., & Scarpa, F. (2023). Impact Of Electric Cars Deployment On The Italian Energy System. Energy and Climate Change, 4, 100095. Https://Doi.Org/10.1016/J.Egycc.2023.100095.

Chan, C. C. (2003). Advances In Electric Vehicles. *HKIE Transactions, 10*(4), 1–13. https://doi.org/10.1080/1023697x.2003.10667923

Chan, C. C. (2013). "1828-1930'da Elektrikli Araçların Yükselişi ve Düşüşü: Alınan Dersler [Geçmişimizi Taramak]", *IEEE Proceedings, 101*(1), 206–212. https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2228370

Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978) Measuring The Efficiency Of Decision Making Units. European Journal Of Operational Research, 2, 429-444. Http://Dx.Doi.Org/10.1016/0377-2217(78)90138-8

Chau, K. T., & Wong, Y. S. (2002). Overview Of Power Management In Hybrid Electric Vehicles. Energy Conversion and Management, 43(15), 1953-1968.

Clemente, M., Fanti, M. P., & Ukovich, W. (2014). Smart Management Of Electric Vehicles Charging Operations: The Vehicle-To-Charging Station Assignment Problem. IFAC Proceedings Volumes, 47(3), 918–923. https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.01061

Cook, W. D.; Seiford, L. M. Data Envelopment Analysis (DEA)-Thirty Years On. European Journal Of Operational Research, 2009, 192.1: 1-17.

Cuma, M. U., Cengiz, A. H., & Tümay, M. (2016). Çukurova Üniversitesinde Kentsel Elektrikli Araç Ulaşımı ve Şarj İstasyonu Uygulama Simülasyonu. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 343-354. Https://Doi.Org/10.21605/Cukurovaummfd.310314.

Çakmak, E., & Örkcü, H. H. (2016). Türkiye'deki İllerin Etkinliklerinin Sosyo-Ekonomik Temel Göstergelerle Veri Zarflama Analizi Kullanarak İncelenmesi. Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(1), 30- 48.

Çam, M. & Ürün, E., (2017). Sürdürülebilir Pazarlama Uygulamaları: Toyota Örneği Üzerinden Bir İçerik Analizi. Sustaınable Marketıng Actıvıtıes: A Content Analyze Of The Toyota Case Study. 61. 780-805.

Çiçek, H., & Onat, O. (2013). İnovasyon Odaklı Faaliyetlerin Firma Performansına Etkisinin Veri Zarflama Analizi İle Belirlenmesi; IMKB Üzerine Bir Araştırma. Mehmet Akif Ersoy University Journal Of Social Sciences Institute, 4(7), 46-53.

Çokgezen Jy. (2022). Çin Otomotiv Sektörünün Gelişimi, Eurasian Academy Of Sciences Social Sciences Journal, 104-127

Dalfard, V. M., Sohrabian, A., Najafabadi, A. M., & Alvani, J. (2012). Performance Evaluation and Prioritization Of Leasing Companies Using The Super Efficiency Data Envelopment Analysis Model. Acta Polytechnica Hungarica, 9(3), 183-194.

Davies J, and Kurani K S (2013) Moving From Assumption To Observation: Implications For Energy and Emissions Impacts Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Energy Policy, 62: 550–560.

Delang, C. O., & Cheng, W.-T. (2012). Consumers' Attitudes Towards Electric Cars: A Case Study Of Hong Kong. *Transportation Research Part D:Transport and Environment, 17*(6), 492–494. https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.04.004

Demir, A. (2022). Hibrid, Tam Elektrikli ve Yakit Hücreli Araçlar Trendi ve Emniyet Yükümlülüklerinin Değerlendirilmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 21(41), 136-155.

Dhameja, S. (2002). Electric Vehicle Battery Fast Charging. In S. Dhameja (Ed.), *Electric Vehicle Battery Systems* (pp. 95–114). Newnes. https://doi.org/10.1016/B978-075069916-7/50005-4

Dijk, M., & Yarime, M. (2010). The Emergence of Hybrid-Electric Cars: Innovation Path Creation Through Co-Evolution of Supply and Demand. *Technological Forecasting and Social Change, 77*(8), 1371–1390. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.05.001

Donanım Haber. (2024). 2019 BMW i3, 310 kilometrelik menziliyle tanıtıldı. Donanım Haber. https://www.donanimhaber.com/2019-BMW-i3-310-kilometrelik-menziliyle-tanitildi-103738. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Donanım Haber. (2024). Peugeot 3008 HYbrid4: Dünyanın ilk dizel motorlu hibrit aracı. Donanım Haber.https://www.donanimhaber.com/Peugeot-3008- HYbrid4-Dunyanin-ilk-dizel-motorlu-hibrit-araci--21867. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Dörtköşe, S., Yazgan, H. R., & Ercan Cömert, S. (2022). Elektrikli Araç Şarj İstasyon Yerlerinin Akış Yakıt İkmal Yer Modeli Kullanılarak Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 38(2), 371-382.

Duke, M., Andrews, D., & Anderson, T. (2009). The Feasibility Of Long Range Battery Electric Cars In New Zealand. Energy Policy, 37(9), 3455–3462. Https://Doi.Org/10.1016/J.Enpol.2008.10.047

Durmuş, F. S. & Kaymaz, H. (2020). Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 3 (2), 123-139.

Duygu, U. (2024). "Konya İlindeki Halk Kütüphanelerinin Performanslarının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi." Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ehsani, Gao Ve Miller (2007), "Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives" Proceeding Of The IEEE (IEEE, 95(4), 719-728).

Ergülen, A., Bolayır, B., Ünal, Z., Harmankaya, İ. (2020). Covid-19 Sürecinde Türkiye'nin Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(Ek), 275-286. Https://Doi.Org/10.36362/Gumus.838327.

Eroğlu, H. Bankacılıkta Veri Zarflama Analizi Uygulaması. 2007. Phd Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Euronews. (2024). Çinli otomobil üreticileri, AB'nin gümrük vergilerinden kaçınmak için hibrit araçlara yöneliyor. Euronews. https://tr.euronews.com/business/2024/12/06/cinli-otomobil-ureticileri-abnin-gumruk-vergilerinden-kacinmak-icin-hibrit-araclara-yoneli. Erişim Tarihi: 6 Aralık 2024.

EV Statistics. (2022, February). EVs Using The CHAdeMO Connector Have The Best EV-To-Charger Ratio In The US. *EV Statistics.* Retrieved May 26, 2024, from

https://evstatistics.com/2022/02/evs-using-the-chademo-connector-have-the-best-ev-to-charger-ratio-in-the-us/

Fallah, S. (2014). Electric and Hybrid Vehicles - Technologies, Modeling and Control: A Mechatronic Approach.

Farrell, M.J. (1957) The Measurement Of Productive Efficiency. Journal Of The Royal Statistical Society, 120, 253-290. Https://Doi.Org/10.2307/2343100

Farzipoor Saen, R., Memariani, A., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2005). The Effect of Correlation Coefficient Among Multiple Input Vectors on the Efficiency Mean in Data Envelopment Analysis. *Applied Mathematics and Computation, 162*(2), 503–521. https://doi.org/10.1016/j.amc.2003.12.117

Fathabadi, H. (2017). Novel Grid-Connected Solar/Wind Powered Electric Vehicle Charging Station With Vehicle-To-Grid Technology. Energy, 132, 1–11. Https://Doi.Org/10.1016/J.Energy.2017.04.161.

G. Varol, (2019). Elektrikli Araçlarda Enerji Depolama ve Geri Kazanımlı Frenleme Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Galus M. D., Zima M. and Andersson G. (2010). On Integration Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Into Existing Power System Structures. Energy Policy, 38(11):6736–6745.

Gasımov, F. (2019). Banka Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Karşılaştırmalı Ölçümü: Türkiye Örneği. Master's Thesis. Finans Enstitüsü.

Gasımov, F. Banka Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Karşılaştırmalı Ölçümü: Türkiye'de Faaliyet Gösteren Mevduat Bankalarının 2015-2017 Yıllarına Ait Verileri Üzerine Bir Uygulama. T.C. İstanbul Ticaret Üniversitesi Dış Ticaret Enstitüsü, Tartışma Metni, 2019.

Gavcar, E., & Kara, N. (2020). Elektrikli Otomobil Seçiminde ENTROPI ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması. İş ve İnsan Dergisi, 7(2), 351–359. Https://Doi.Org/10.18394/İid.695702.

Gavranovic, H., Barut A., Ertek G., Yüzbaşıoğlu, O. B., Pekpostalcı O. & Tombuş Ö. 2014. Optimizing The Electric Charge Station Network Of Eşarj. Procedia Computer Science 31, 15-21.

Gencer, Y. G., & Akkucuk, U. (2017). Measuring Quality In Automobile Aftersales: Autoservqual Scale. Amfiteatru Economic, 19(44), 110.

Gencer, Y. G., & Akkucuk, U. (2018). Measuring Aftersales Productivity By Multi Attribute Decision Making Methods: An Application In The Automotive Sector. International Journal OfcAdvanced and Applied Sciences, 5(9), 88–95.

Gençer, Y. G., & Bediroğlu, G. (2024). Elektrikli Araç Satışları, Karbon Emisyonu ve Elektrik Tüketimi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 23(91), 1192-1209.https://doi.org/10.17755/esosder.1452405.

Gobbi, C. N., Sanches, V. M. L., Guimarães, M. J. O. C., Freitas, M. A. V. de, & Pacheco, E. B. A. V. (2019). Efficiency In The Environmental Management Of Plastic Wastes At Brazilian Ports Based On Data Envelopment Analysis. *Marine Pollution Bulletin, 142*, 377–383. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.061

Granovskii, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2006). Economic and Environmental Comparison Of Conventional, Hybrid, Electric and Hydrogen Fuel Cell Vehicles. Journal Of Power Sources, 159(2), 1186–1193. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jpowsour.2005.11.086.

Guarnieri, M. (2012). "Elektrikli Arabalara Bakış", 2012 Üçüncü IEEE Elektro- Teknoloji Konferansı Konferansı (Hıstelcon), Pavia, İtalya, 2012, S. 1-6.

Gündüz, O., & Yakar, S. (2020). Avrupa Birliği ve Türkiye'de Elektrikli Otomobillere Yönelik Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 29*(4), 204–222. https://doi.org/10.35379/cusosbil.833463

Gürbüz, Y., & Kulaksız, A. A. (2016). Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 117-125.https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.011

He, J., Yang, H., Tang, T.-Q., & Huang, H.-J. (2018). An Optimal Charging Station Location Model With The Consideration Of Electric Vehicle's Driving Range.

Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 86, 641–654. Https://Doi.Org/10.1016/J.Trc.2017.11.026.

Hoffman, G. A. (1967). Systems Design Of Electric Automobiles. Transportation Research, 1(1), 3–19. Https://Doi.Org/10.1016/0041-1647(67)90091-3

Hoffman, G. A. (1969). Future Electric Automobiles. Technological Forecasting, 1(2), 173–183. Https://Doi.Org/10.1016/0099-3964(69)90018-0

Honda Insight. (2024). 1999 : La Honda Insight, coupé, l'herbe sous le pied de la Toyota Prius . L'Alsace. https://www.lalsace.fr/magazine-automobile/2024/06/16/1999-la-honda-insight-coupe-l-herbe-sous-le-pied-de-la toyota-prius. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Hosseinpour, S., Chen, H., & Tang, H. (2015). Barriers To The Wide Adoption Of Electric Vehicles: A Literature Review Based Discussion. In *Proceedings of the 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* (pp. 2329–2336). Portland, OR, USA.https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273259

Høyer, K. G. (2008). The History Of Alternative Fuels In Transportation: The Case Of Electric and Hybrid Cars. Utilities Policy, 16(2), 63–71. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jup.2007.11.001.

Hürriyet. (2024). İlk LPG'li hibrit otomobil Hyundai'den. Hürriyet. https://www.hurriyet.com.tr/gundem/ilk-lpgli-hibrid-otomobil-hyundaiden-9418327. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Hyundai. (2024). Ioniq değişim başlıyor. Hyundai. https://www.hyundai.com/tr/tr/elektrifikasyonteknolojisi/elektrifikasyon/ioniq-degisim-basliyor. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Ikeya, T., Iwasaki, M., Takagi, S., Sugii, Y., Yada, M., Sakabe, T., Kousaka, E., Tsuchiya, H., Kanetsuki, M., Nasu, H., Ono, M., Narisoko, H., Mita, Y., Nishiyama, K., Adachi, K., & Iwahori, T. (1997). Collaborative IInvestigation On Charging Electric-Vehicle Battery Systems For Night-Time Load Levelling By Japanese Electric Power Companies. Journal Of Power Sources, 69(1–2), 103–111. Https://Doi.Org/10.1016/S0378-7753(97)02579-2.

İpek, B. (2022). Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Türkiye İçin Gelecek Dönem Elektrikli Araç Miktarı Tahmini (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu.

Jiang, Z., & Dougal, R. A. (2004). Design and Testing Of A Fuel-Cell Powered Battery Charging Station. Journal Of Power Sources, 115(2), 279–287. Fuel and Energy Abstracts, 45(3), 180. Https://Doi.Org/10.1016/S0140-6701(04)90143-9.

Johnson, B. C. (1999). Environmental Products That Drive Organizational Change: General Motor's Electric Vehicle (Ev1). Corporate Environmental Strategy, 6(2), 140–150. Https://Doi.Org/10.1016/S1066-7938(00)80024-X.

K. Tural, Elektronik Diferansiyelli Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kontrolü, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014. Https://Polen.İtu.Edu.Tr/Handle/11527/2939

Kabaktepe, B., 2012. A Methodology To Analyze Short Term Impacts Of Electric Vehicles On Costs, Emissions and Energy Consumption: Case Of Turkey, Master Thesis, Koc University, Istanbul.

Kahveci, E. (2012). Kaynak Temelli Strateji ve İhracat Performansı: Tekstil İşletmeleri Üzerinde Veri Zarflama Analizi İle Bir Uygulama. Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 67(02), 29-67. Https://Doi.Org/10.1501/Sbfder_0000002250.

Karaemir, Ç. (2013). Eğitim Merkezlerinde Etkinlik Analizleri: Veri Zarflama Analizi Kullanarak Performans Analizi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı.

Karamehmet, B., & Morgül, E. (2018). Tüketicilerin Elektrikli Araç Tercihleri: Literatür Taraması ve Türkiye'de Tanıtımına Yönelik Öneriler. Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi, (40), 246-260.

Karapınar, F., & Daldaban, F. (2022). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 38(3), 549-556.

Karl Georg Høyer, The History Of Alternative Fuels İn Transportation: The Case Of Electric and Hybrid Cars, Utilities Policy, Volume 16, Issue 2, 2008, Pages 63-71, ISSN 0957-1787. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jup.2007.11.001.

Kaymaz, H., & Demir, M. F. (2020). Elektrikli Otomobiller İçin Çekiş Motor Uç Seçimi. Uluslararası Uygulamalı Mühendislikte Son Teknolojiler Dergisi, 2(1), 35–41.

Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1-13.

Klöckner, C. A., Nayum, A., & Mehmetoglu, M. (2013). Positive And Negative Spillover Effects From Electric Car Purchase To Car Use. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 21, 32–38.Https://Doi.Org/10.1016/J.Trd.2013.02.007.

Kocabey, S. (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü ve Geleceği. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 1 (1), 16-23.

Kocakalay, Ş., & Işık, A. (2003). Veri Zarflama Analizi. Journal Of Science and Technology Of Dumlupınar University (005), 163-171.

Koç Arslan, S., & Gürler Hazman, G. (2024). Veri Zarflama Analizi İle OECD üyesi Ülkelerin Çevre Koruma Harcamaları Etkinliğinin Ölçülmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi, 22*(54), 2249–2279. https://doi.org/10.35408/comuybd.1463590

Koçak İ. Ve Boran K. (2019). Evaluation Of Effectiveness Of Electricity Consumption Of Provinces In Turkey With Data Envelopment Analysis. Journal Of Politechnic, 22(2), 351-365.

Konak, F., & Ayan Civelek, S. (2021). Veri Zarflama Analizi ve TOPSIS Yöntemi İle Finansal Performans Değerlendirmesi: BİST Teknoloji Endeksi Uygulaması. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 10(4), 3110-3131.Https://Doi.Org/10.15869/İtobiad.863596.

Koopmans, T. C. (1951). An Analysis Of Production As An Efficient Combination Of Activities. In T. C. Koopmans (Ed.), Activity Analysis Of Production And Allocation, Cowles Commission For Research In Economics, Monograph No. 13 (Pp. 33-97).

Kök, D.; Ay, O. E. (2013). 2008 Küresel Finansal Krizinin Türk Bankacılık Sektörü Etkinlik Düzeylerine Yansıması Üzerine Bir Araştırma: 2007-2009. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi.

Kuosmanen, T., Bijsterbosch, N., & Dellink, R. (2009). Environmental Cost–Benefit Analysis Of Alternative Timing Strategies In Greenhouse Gas Abatement: A Data

Envelopment Analysis Approach. Ecological Economics, 68(6), 1633-1642. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ecolecon.2008.07.012.

Kutin, N., Nguyen, T. T., & Vallée, T. (2017). Relative Efficiencies Of ASEAN Container Ports Based On Data Envelopment Analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics, 33*(2), 67–77.https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.06.004.

Larminie, J., & Lowry, J. (2003). Electric Vehicle Technology Explained. Https://Doi.Org/Doi:10.1002/0470090707.Ch1

Lieven, T., Mühlmeier, S., Henkel, S., & Waller, J. F. (2011). Who Will Buy Electric Cars? An Empirical Study ın Germany. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 16(3),236–243. Https://Doi.Org/10.1016/J.Trd.2010.12.001.

Lin, L. C., & Hong, C. H. (2006). Operational Performance Evaluation Of International Majör Airports: An Application Of Data Envelopment Analysis. Journal Of Air Transport Management, 12(6), 342-351. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jairtraman.2006.08.002.

Liu, C., Zhou, Q., Hu, J., Xu, H., & Zhang, H. (2012). Modelling and Simulation Of Centralized Electric Vehicle Charging Station Wireless Communication Networks. Procedia Engineering, 31, 746–750. Https://Doi.Org/10.1016/J.Proeng.2012.01.1096.

M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, K. Ebrahimi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cellvehicles- 3rd Edition, Crc Press, 2018.

Makhkamdjanov, B. M. (2006). Cars With Hybrid Drive and Electric Cars: A Way To Decision Of The Ecological Problems In Uzbekistan. Renewable Energy, 31(5), 611–616. Https://Doi.Org/10.1016/J.Renene.2005.08.010.

Malkhandi, S. (2006). Fuzzy Logic-Based Learning System and Estimation Of State-Of-Charge Of Lead-Acid Battery. Engineering Applications Of Artificial Intelligence, 19(5), 479–485.Https://Doi.Org/10.1016/J.Engappai.2005.12.005.

Manwaring, L. A. (1966). The Observer's Book Of Automobiles (12th Ed.). Library Of Congress Catalog Card, 62-9807.

Markets and Data. (2024). Japan Electric Vehicle Market. Retrieved From Https://Www.Marketsanddata.Com/İndustry-Reports/Japan-Electric-Vehicle Market (Erişim Tarihi: 10 Aralık 2024).

Marshall, J. (1924). The Choice Of A Motor-Car. The Lancet, 204(5262), 37–40. Https://Doi.Org/10.1016/S0140-6736(01)39570-3

Menak, R., Karadağ, T., Altuğ, M., Tan, N. (2021). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemleri Üzerine Bir Derleme Çalışması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Bölüm A: Mühendislik ve İnovasyon, 8(2), 234-275.

Mida Evse. (N.D.). Ev Guide. Mida Evse. Https://Www.Midaevse.Com/Tr/Ev-Guide-2/ (Erişim Tarihi: 26.05.2024)

Miranda, J., Borges, J., Mendes, M. J. G. C., & Valério, D. (2011). Development Of A Multi-Agent Management System For An Intelligent Charging Network Of Electric Vehicles. IFAC Proceedings Volumes, 44(1), 12267–12272. Https://Doi.Org/10.3182/20110828-6-It-1002.03492.

Mizuno, T., Saita, H., Otani, S., Morikawa, S., Sato, N. ve Ishida, K. (2022). 150 Kw'ın Üzerinde Sınıf Chademo Sıvı Soğutmalı Şarj Kablosu ve Konektörü. Fujikura Teknik İncelemesi.

Mondal, S. Ve Chakraborty, S. (2013). A Solution To Robot Selection Problems Using Data Envelopment Analysis. International Journal Of Industrial Engineering, 4(3), 355-372.

Nakanishi, Y. J., & Falcocchio, J. C. (2004). Performance Assessment Of Intelligent Transportation Systems Using Data Envelopment Analysis. Research In Transportation Economics, 8, 181-197. Https://Doi.Org/10.1016/S0739-8859(04)08009-6.

Nansai, K., Tohno, S., Kono, M., Kasahara, M., & Moriguchi, Y. (2001). Life-Cycle Analysis Of Charging Infrastructure For Electric Vehicles. Applied Energy, 70(3), 251–265. Https://Doi.Org/10.1016/S0306-2619(01)00032-0.

Narasipuram, R. P., & Mopidevi, S. (2021). A Technological Overview & Design Considerations For Developing Electric Vehicle Charging Stations. Journal Of Energy Storage, 43, 103225. Https://Doi.Org/10.1016/J.Est.2021.103225.

Orr, L. D. (1967). The Electric Car: Economics and Technology. Business Horizons, 10(2), 47– 56. Https://Doi.Org/10.1016/0007-6813(67)90028-6.

Oruç, K. O. Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama. 2008. Phd Thesis. SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Otopark. (2024). Hyundai'nin Ioniq ailesi tam 3 modelle Cenevre'de. Otopark. https://otopark.com/2016/02/25/hyundainin-ioniq-ailesi-tam-3-modelle- cenevrede/. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., Tektaş, M. (2020). Geleceğin Ulaşım Tercihi: Elektrikli Araçlar. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 3(1), 34-50.

Özden, H. (2008). Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 37(2), 167-185.

Pollet B. G., Staffell I. and Shang J. L., (2012). Current Status Of Hybrid, Battery and Fuel Cell Electric Vehicles: From Electrochemistry To Market Prospects. Electrochimica Acta, 84: 235–249.

Poullikkas A., (2015). Sustainable Options For Electric Vehicle Technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41: 1277–1287

Qi, L., Chen, W., Li, Y., Liu, S., Huang, J., Energy Management Strategy For Fuel Cell/Battery/Ultracapacitor Hybrid Vehicle Based On Fuzzy Logic, International Journal Of Electrical Power&Energy Systems, Cilt 43, Pp. 514- 525, 2011.

R. (1932). Fastest Electric Car On Philadelphia Road. Popular Science Monthly, December 1931. Journal Of The Franklin Institute, 213(1), 16. Https://Doi.Org/10.1016/S0016-0032(32)90741-8.

Raff, R., Golub, V., Pelin, D. ve Topić, D. (2019, Temmuz). Elektrikli Araçlar için Şarj Modlarına ve Konektörlere Genel Bakış. 2019 Yılında 7. Uluslararası Enerji Gençlik Konferansı (IYCE) (S. 1-6). IEEE.

Rahman K. M., Patel N. R., Ward T. G., Nagashima J. M., Caricchi F. and Crescimbini F. (2006) Application Of Direct-Drive Wheel Motor For Fuel Cell Electric and Hybrid Electric Vehicle Propulsion System. IEEE Transactions On Industry Applications, 42(5): 1185– 1192

Reinforced Plastics, (1997). Plastic Body Panels Reduce Electric Car's Mass, 41(2), 6. Https://Doi.Org/10.1016/S0034-3617(97)91610-6

Requia W. J., Adams M. D., Arain A., Koutrakis P. and Ferguson M. (2017) Carbon Dioxide Emissions Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles: A Life-Cycle Analysis In Eight Canadian Cities. Renewable and Sustainable Energy Reviews,78: 1390–1396.

Rienstra, S. A., & Nijkamp, P. (1998). The Role Of Electric Cars In Amsterdam's Transport System In The Year 2015; A Scenario Approach. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 3(1), 29–40. Https://Doi.Org/10.1016/S1361-9209(97)00013-8.

Sabır Taştan, N., & Taştan, K. (2023). Otomotiv Sektörü 2017-2023: Küresel Bir Analiz ve Türkiye. Stratejik Yönetim Araştırmaları Dergisi, 6(2), 120-143. Https://Doi.Org/10.54993/Syad.1326969.

San Cristóbal, J. R. (2011). A Multi-Criteria Data Envelopment Analysis Model To Evaluate The Efficiency Of The Renewable Energy Technologies. Renewable Energy,36(10), 2742- 2746. Https://Doi.Org/10.1016/J.Renene.2011.03.008.

Sekiz Silindir. (2024, Kasım 30). Hybrid motora sahip BMW 330e tanıtıldı. Sekiz Silindir.https://www.sekizsilindir.com/2015/09/hybrid-motora-sahip-bmw-330e tantld.html. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Sevinç, G. (2021). "Türkiye'deki İllerin Beyaz Eşya Satış Verimliliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi." Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Shinnar, R. (2003). The Hydrogen Economy, Fuel Cells, and Electric Cars. Technology In Society, 25(4), 455–476.Https://Doi.Org/10.1016/J.Techsoc.2003.09.024.

Shukla, A. K., Aricò, A. S., & Antonucci, V. (2001). An Appraisal Of Electric Automobile Power Sources. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 5(2),137–155. Https://Doi.Org/10.1016/S1364-0321(00)00011-3.

Sørensen, B. (2007). On The Road Performance Simulation Of Hydrogen and Hybrid Cars International Journal Of Hydrogen Energy, 32(6), 683–686. Https://Doi.Org/10.1016/J.İjhydene.2006.06.069.

Şahan N. (2018). Hibrit/Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum Bataryaların Isıl Yönetimi İçin Nanokompozit Faz Değiştiren Maddelerin Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.

Tanç, B., Arat, H. T., Baltacıoğlu, E., & Aydın, K. (2018). Overview Of The Next Quarter Century Vision Of Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *International Journal Of Hydrogen Energy, 10*, 100–112.

Tel, Ö. F., & Kuşdoğan, Ş. (2019). Elektrikli Araçların Kablosuz Güç İletimi İle Şarj Edilmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 15-26.

Thomas, C. E. (2009). Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared. International Journal Of Hydrogen Energy, 34(15), 6005–6020. Https://Doi.Org/10.1016/J.İjhydene.2009.06.003.

Tie, S. F. & Tan, C. W. (2013). A Review Of Energy Sources and Energy Management System In Electric Vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20,82-102.

Tomić, J., & Kempton, W. (2007). Using Fleets Of Electric-Drive Vehicles For Grid Support. Journal Of Power Sources, 168(2), 459–468. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jpowsour.2007.03.010.

Topal, O. (2020). Elektrikli Otobüslerde Kullanılan Şarj Hızlı Şarj Sistemleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (20), 93-100. Https://Doi.Org/10.31590/Ejosat.750221.

Toth, M., Weber, R., Benecke, J., Remisch, D. ve Kübel, M. (2012). Elektrikli Araçların Uluslararası Standartta DC ve AC Şarjı İçin Tek Konnektör. Atzelektronik Dünya Çapında, 7 (6), 16-19.

Toyota Türkiye. (2024). SUV segmentinin ikonik modeli Toyota C-HR Hybrid'in yeni nesli satışa sunuldu. Toyota Türkiye. https://www.toyota.com.tr/haberler-ve-etkinlikler/SUV-Segmentinin-ikonik-modeli-Toyota-C-HR-Hybridin-Yeni-Nesli-Satisa-Sunuldu.Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Trzcianowska, M., Lebel, L. Ve Beaudoin, D. (2019). Performance Analysis Of Log Yards Using Data Envelopment Analysis. International Journal Of Forest Engineering, 30(2), 144-154.

Uğur, E. (2011)."Prototip Bir Elektrikli Araç Üzerinde Enerji Yönetim Sisteminin Uygulanması," Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ulucan, A., & Atıcı, K. B. (2010). Enerji ve Çevre Konularında Parametrik Olmayan Etkinlik Analizi ve Türkiye Elektrik Sanayii Uygulaması. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 28(1), 173-203.

Uslu, H., & Demirel, O. (2022). Elektrikli Otomobil Satın Alma İstekliliğini Etkileyen Faktörler: Konya İli Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 13(35), 961–975. Https://Doi.Org/10.21076/Vizyoner.1024620

Ustabaş, A. (2015). Mikro ve Makro Etkileri Yönünden Elektrikli Otomobiller (Türkiye Ekonomisi Örneği). Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 36(1), 269–291.

Ustabaş, A., & Simav, O. (2018). Otomotiv Endüstrisindeki Dönüşüm ve Türkiye. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 3(2), 211–231. Https://Doi.Org/10.31454/Usb.476860.

Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., & Tırıs, M. (2003). *Elektrikli Araçlar.* TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.

Üstün, S. (2022). Otomobil İç Dünyasındaki İletişim Teknolojileri ve Endüstri 4.0 Beklentileri. Düşünce Dünyasında Türkiz, 8(43), 147-160.

Vergara Díaz, S. H., & Cristina, M. (2018). Analysis Of The Vehicle-To-Grid Technology: European Case Study Review.

Vidyanandan K. V., (2018). Overview Of Electric Machines For Electric and Hybrid Vehicles. Energy Scan, 3: 7–14

Volk, C. (1971). Magnus Volk Of Brighton. Phillimore

Volti, R. (2005). [Elektrikli Araç: Otomobil Çağında Teknoloji Ve Beklentiler Kitabının Incelemesi]. Teknoloji ve Kültür 46 (1), 213-215. Https://Doi.Org/10.1353/Tech.2005.0052.

Wakefield, E. H., (1998). History Of The Electric Automobile: Hybrid Electric Vehicles, SAE.

Wang, Y.-W., & Lin, C.-C. (2013). Locating Multiple Types Of Recharging Stations For Battery-Powered Electric Vehicle Transport. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 58, 76–87. Https://Doi.Org/10.1016/J.Tre.2013.07.003.

Webtekno. (2024, May 25). Elektrikli Araçlar İçin Kablosuz Şarj Üniteleri Geliyor. Webtekno.Https://Www.Webtekno.Com/Elektrikli-Araclar-İcin-Kablosuz-Sarj-Uniteleri-Geliyor-H62936.Html (Erişim Tarihi: 25.05.2024).

Webtekno. (2024). Teknoloji ve lüksü aynı anda sunan otomobil: 2019 Audi e-tron. Webtekno.https://www.webtekno.com/teknoloji-ve-luksu-ayni-anda-sunan-otomobil-2019-audi-e-tron-h58722.html. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Weinert, J., Ogden, J., Sperling, D., & Burke, A. (2008). The Future Of Electric Two-Wheelers and Electric Vehicles İn China. Energy Policy, 36(7), 2544–2555. Https://Doi.Org/10.1016/J.Enpol.2008.03.008.

Weiss, M., Zerfass, A., & Helmers, E. (2019). Fully Electric And Plug-In Hybrid Cars- An Analysis Of Learning Rates, User Costs, and Costs For Mitigating CO2 and Air Pollutant Emissions. Journal Of Cleaner Production, 212, 1478–1489. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jclepro.2018.12.019.

Wielinski, G., Trépanier, M., & Morency, C. (2016). Electric and Hybrid Car Use In A Free-Floating Carsharing System. *International Journal of Sustainable Transportation, 11*(3), 161–169.https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1220653

Wikipedia. (2024). BMW i8. Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/BMW_i8. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Wikipedia. (2024). Honda Civic. Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Honda_Civic. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Wikipedia. (2024). Porsche 918. Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Porsche_918. Erişim Tarihi: 30 Kasım 2024.

Wright, C., & Curtis, B. (2005). Reshaping The Motor Car. Transport Policy, 12(1), 11–22. Https://Doi.Org/10.1016/J.Tranpol.2004.07.004

Yalçınkaya, H., & Duramaz, S. (2021). Türk Bankacılık Sisteminde Kamusal Sermayeli Bankaların Karşılaştırmalı Etkinlik Analizi: 2008-2017 Dönemi Değerlendirmesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19*(Armağan Sayısı), 211–230.

Yaşar, F., & Akın, F. (2023). Doğu Avrupa Ülkelerinin Çevresel Performansının Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle İncelenmesi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 5(2), 36-50. Https://Doi.Org/10.46482/Ebyuiibfdergi.1380390

Yıldırım, M. (2022). Elektrikli Araçlarda Güvenlik Önlemleri. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.

Zapotecas-Martínez, S. Armas, R., And García-Nájera, A., (2023). A Multi-Objective Evolutionary Approach For The Electric Vehicle Charging Stations Problem. Expert Systems With Applications.

Zeng, X., & Wang, J. (2015). A Parallel Hybrid Electric Vehicle Energy Management Strategy Using Stochastic Model Predictive Control With Road Grade Preview. IEEE Transactions On Control Systems Technology, 23(6), 2416-2423.

Zhang R. and Yao E., (2015). Electric Vehicles' Energy Consumption Estimation With Real Driving Condition Data. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 41: 177–187.

Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). A Survey Of Data Envelopment Analysis In Energy and Environmental Studies. European Journal Of Operational Research, 189(1), 1-18. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ejor.2007.04.042.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Düzce'de tamamladı. 2019 yılında Yalova Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Finansman bölümüne kaydolmuştur. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra, Yalova Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Finansman Anabilim Dalı Uluslararası Ticaret ve Finansman alanında yüksek lisans programına başlamıştır.