



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI**

**TÜRKİYE'DE BENZİNLİ ARAÇLARDAN ELEKTRİKLİ
ARAÇLARA GEÇİŞ SENARYOSUNUN DİNAMİK
YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ**

Doktora Tezi

Mohammd Ehsan SADIQ

Danışman
Doç. Dr. Miraç EREN

SAMSUN
2024

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANA BİLİM DALI**



**TÜRKİYE'DE BENZİNLİ ARAÇLARDAN ELEKTRİKLİ
ARAÇLARA GEÇİŞ SENARYOSUNUN DİNAMİK
YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ**

Doktora Tezi

Mohammd Ehsan SADIQ

Danışman

Doç. Dr. Miraç EREN

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohammd Ehsan SADIQ tarafından, **Doç. Dr. Miraç EREN** danışmanlığında hazırlanan “**TÜRKİYE'DE BENZİNLİ ARAÇLARDAN ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞ SENARYOSUNUN DİNAMİK YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ** ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 26.12.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. E. Muhsin DOĞAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi İktisat Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Miraç EREN Ondokuz Mayıs Üniversitesi İktisat Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Özgür ÖZAYDIN Ondokuz Mayıs Üniversitesi İktisat Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Murat EREN İğdır Üniversitesi Sağlık Yönetimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Murat Ahmet DOĞAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Havacılık Yönetimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

26 /12 / 2024

Mohammd Ehsan SADIQ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : TÜRKİYE'DE BENZİNLİ ARAÇLARDAN ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞ SENARYOSUNUN DİNAMİK YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 21.06.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 9

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

26 /12 / 2024

Doç. Dr. Miraç EREN

ÖZET

TÜRKİYE'DE BENZİNLİ ARAÇLARDAN ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞ SENARYOSUNUN DİNAMİK YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ

Mohammd Ehsan SADIQ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İktisat Ana Bilim Dalı
Doktora, Aralık/2024
Danışman: Doç. Dr. Miraç EREN

Bu araştırma, Türkiye'de benzinli araçlardan elektrikli araçlara (EV'ler) geçişi dinamik bir yaklaşımla incelemekte ve bunun sürdürülebilir ulaşım üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Benzine büyük ölçüde bağımlı olan ulaştırma sektörü, sera gazı emisyonlarına ve hava kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenen elektrikli araçların benimsenmesinin bu çevre ve enerji güvenliği endişelerini nasıl giderebileceğini araştırmaktadır. Standart Bass yayılım modelini kullanan bu araştırma, 2012'den 2022'ye kadar olan kapsamlı verileri kullanarak Bataryalı Elektrikli Araçların (BEV'ler) ve Fişli Hibrit Elektrikli Araçların (PHEV'ler) Türkiye'deki benimsenme dinamiklerini analiz etmektedir.

Bulgular, BEV'lerin benimsenmesinde önemli bir artışa işaret etmektedir; 2012'de 35 adet olan satışların 2045'te 64.242 adede yükseleceği ve 2030 civarında zirveye ulaşacağı öngörülmektedir. Bunun tersine, PHEV'lerin benimsenmesi minimum büyüme göstererek 2025'ten itibaren yaklaşık 397.000 birimde sabitlenmektedir. Çalışma, BEV piyasasının genişlemesini desteklemek için sağlam bir şarj altyapısının ve hedeflenen teşviklerin kritik rolünü vurgulamaktadır. Benimseme tahminlerinin doğruluğunu artırmak için Genelleştirilmiş Bass Modeli (GBM) de uygulanmıştır. GBM sonuçları, Standart Bass Modeline kıyasla hem BEV'ler hem de PHEV'ler için daha yüksek bir piyasa potansiyeli ve yenilikçilerin ve taklitçilerin etkisinin daha zayıf olduğunu göstermektedir. Ayrıca Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Model, BEV'lerin hızlı benimsenme aşamasını yakalamakta ve önemli şarj altyapısı geliştirmenin önemini altını çizmektedir.

Bu araştırma, teorik ekonomik modeller ile ampirik piyasa verileri arasında köprü kurarak politika yapıcılara, sektör paydaşlarına ve araştırmacılara değerli bilgiler sağlamaktadır. Tüketici davranışını anlamak ve sürdürülebilir taşımacılığı teşvik etmek için stratejik kararları bilgilendirmek adına sağlam bir çerçeve sunmaktadır. Temiz enerjinin kolaylaştırdığı elektrikli araçlara geçiş, Türkiye'nin sürdürülebilir geleceği için hayati önem taşımakta olup, altyapıya ve destekleyici politikalara sürekli yatırım yapılmasını gerektirmektedir.

Anahtar Sözcükler: Elektrikli Araçlar, Benzinli Araçlar, Dinamik Yaklaşım, Türkiye, Sürdürülebilir Ulaşım, Bass Yayılım Modeli, Genelleştirilmiş Bass Modeli, Şarj Altyapısı.

ABSTRACT

EXAMINING THE TRANSITION SCENARIO FROM GASOLINE VEHICLES TO ELECTRIC VEHICLES IN TURKEY USING A DYNAMIC APPROACH

Mohammd Ehsan SADIQ
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Economics Programme
Ph.D., December/2024
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Miraç EREN

This research examines the transition from gasoline vehicles to electric vehicles (EVs) in Turkey through a dynamic approach, focusing on the implications for sustainable transportation. The transportation sector, heavily reliant on petroleum, significantly contributes to greenhouse gas emissions and air pollution. This study explores how EV adoption, powered by clean and renewable energy sources, can address these environmental and energy security concerns.

Employing the Standard Bass diffusion model, this research analyzes the adoption dynamics of Battery Electric Vehicles (BEVs) and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) in Turkey, using comprehensive data from 2012 to 2022. The findings indicate a substantial increase in BEV adoption, with projected sales rising from 35 units in 2012 to 64,242 units by 2045, peaking around 2030. Conversely, PHEV adoption shows minimal growth, stabilizing at approximately 397 thousand units from 2025 onwards.

The study highlights the critical role of a robust charging infrastructure and targeted incentives to support the expansion of the BEV market. To enhance the accuracy of adoption predictions, the Generalized Bass Model (GBM) is also applied. The GBM results suggest a higher market potential and a weaker influence of innovators and imitators for both BEVs and PHEVs compared to the Standard Bass Model. Furthermore, the Continuous Generalized Simultaneous Model captures the rapid adoption phase of BEVs and underscores the importance of developing substantial charging infrastructure.

This research provides valuable insights for policymakers, industry stakeholders, and researchers by bridging theoretical economic models with empirical market data. It offers a solid framework for understanding consumer behavior and informing strategic decisions to promote sustainable transportation. The transition to EVs, facilitated by clean energy, is vital for Turkey's sustainable future, necessitating ongoing investment in infrastructure and supportive policies.

Keywords: Electric Vehicles, Gasoline Vehicles, Dynamic Approach, Turkey, Sustainable Transportation, Bass Diffusion Model, Generalized Bass Model, Charging Infrastructure.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusuna karar verirken ve hazırlık sürecinin her aşamasında değerli uzmanlığını ve zamanını benimle paylaşarak çalışmalarımı her zaman ilgilenen ve bana rehberlik eden danışman hocam Doç. Dr. Miraç EREN'e teşekkürü bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım. Doktora eğitimim boyunca tavsiyeler, bilgileriyle beni yönlendiren Prof. Dr. E. Muhsin DOĞAN, Doç. Dr. Murat EREN, Dr. Öğr. Üyesi Özgür ÖZAYDIN ve Dr. Öğr. Üyesi Murat Ahmet DOĞAN hocalarıma da teşekkürü bir borç bilirim. Beş yıllık üniversite kariyerim boyunca bana kattıkları ve gelecekte sesimi duyurmamı sağlayacak bilgileri bana kazandırdıklarından ötürü üniversite hocalarıma, Türkiye Bursu ile eğitim hayatım boyunca bana böyle bir eğitim fırsatı sunan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Yurt Dışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na (YTB) en içten teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, işime olan cesaretleri ve inançları için ve bana sevgi ve saygı terimlerinin önemini anlamamı öğrettikleri için aileme teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Mohammd Ehsan SADIQ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇEVRE KİRLİLİĞİ	10
3.1. Otomotiv Endüstrisi	10
3.2. Otomotiv Sektörünün Çevre Kirliliğine Etkileri.....	15
3.3. Türkiye'de Have Kirliliği ve Halk Sağlığı Üzerindeki Etkileri	25
3.4. Paris Anlaşması ve Türkiye'nin İklim Değişikliği ile Mücadeledeki Rolü	25
3.5. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve İklim Eylemi	26
3.6. Ulaşımda Geçici Değişiklikler	27
3.7. Yeşil Ulaşım Doğru.....	29
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ VE ÇEŞİTLERİ	31
4.1. Elektrikli Araçların Tanıtımı.....	31
4.2. Elektrikli Araçlar ve Fosil Yakıt Rezervlerinin Azalması	32
4.3. Elektrikli Araçların Geçmişi	33
4.4. Başlıca Elektrikli Araç Türleri.....	35
4.5. Elektrikli Araçların Avantajları	36
4.6. Elektrikli Araçların Zorlukları	37
4.7. Elektrikli Araçlarda Son Piyasa Gelişmeleri	39
4.8. Elektrikli Araç Şarj Altyapısında Küresel Gelişmeler	42
5. TÜRKİYE OTOMOTİV SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ	45
5.1. Türkiye Otomotiv Sektörünün Geçmişi	45
5.2. Türk Otomotiv Sanayisinin Ekonomiye Etkileri.....	48
5.3. Türkiye'de Elektrikli Araçlar	50
6. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BENİMSENMESİNİN DİNAMİK MODELLENMESİNE DAYALI METODOLOJİLER	53
6.1. Tahmin Modelleri	53
7. TÜRKİYE'NİN ELEKTRİKLİ ARAÇ BENİMSEMESİ BAĞLAMINDA YAYILIM MODELLERİNİN UYGULANMASI.....	59
7.1. Standart Bass Modelinin Uygulanması.....	59
7.2. Pillerli Elektrikli Araçlar (Battery Electric Vehicles-BEVs) Üzerinde Standart Bass Modelinin Uygulanması.....	59
7.3. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlarda (Plug-in Hybrid Electric Vehicles-PHEV) Standart Bass Modelinin Uygulanması.....	64
7.4. Genelleştirilmiş Bass Modelinin Uygulanması.....	68
7.5. Pillerli Elektrikli Araçlar (Battery Electric Vehicles-BEV) Üzerinde Genelleştirilmiş Bass Modelinin Uygulanması	69
7.6. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar (Plug-in Hybrid Electric Vehicles-PHEV) Üzerinde Genelleştirilmiş Bass Modelinin Uygulanması.....	74
7.7. Genelleştirilmiş Bass Difüzyon Modeli (GBDM) ile Pillerli Elektrikli Araç (BEV) ve Şarj Altyapısının Eşanlı Tahmini	79
8. SONUÇ	85
KAYNAKLAR	91

9. ÖZ GEÇMİŞ	97
---------------------------	-----------



SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACEA	: Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles)
BEV	: Pili Elektrikli Araç (Battery Electric Vehicle)
BM	: Bass Modeli
FDI	: Doğrudan Yabancı Yatırım (Foreign Direct Investment)
DTÖ	: Dünya Ticaret Örgütü (World Trade Organization - WTO)
EMS	: Çevre Yönetim Sistemi (Environment Management System)
EV	: Elektrikli Araç (Electric Vehicle)
FCV	: Yakıt Hücresel Araç (Fuel Cell Vehicle)
FCEV	: Yakıt Hücresel Elektrikli Araç (Fuel Cell Electric Vehicle)
GBM	: Genelleştirilmiş Bass Modeli
GHG	: Sera Gazı (Greenhouse Gas)
GM	: General Motors
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (Gross Domestic Product- GDP)
HEY	: Hidrojen Enerjisi Yatırımları
ICE	: Internal Combustion Engine (İçten Yınlalı Motor)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
MCFC	: Molten Carbonate Fuel Cell (Eriyik Karbonat Yakıt Hücresi)
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PHEV	: Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araç (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PHFC	: Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Proton Değişim Membran Yakıt Hücresi)
PEM	: Proton Exchange Membrane (Proton Değişim Membranı)
PM	: Partikül Madde
REX	: Range Extender (Menzil Uzatıcı)
SOFC	: Solid Oxide Fuel Cell (Katı Oksit Yakıt Hücresi)
TOGG	: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TTGV	: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TÜBA	: Türkiye Bilimler Akademisi
V2G	: Vehicle-to-Grid (Araçtan Şebekeye)
WTW	: Well-to-Wheel (Kuyudan Tekerleğe)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Binek (Hususi) Araçların Küresel Satış Verileri.....	15
Şekil 3.2. Sektörlere Göre AB Emisyon Düzeylerindeki Değişim (CO2 Eşdeğeri).....	24
Şekil 4.1. Elektrikli Araç Satışları, 2010-2024.....	41
Şekil 7.1. BM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu.....	61
Şekil 7.2. BM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini.....	62
Şekil 7.3. BM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu.....	65
Şekil 7.4. BM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini.....	66
Şekil 7.5. GBM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu.....	70
Şekil 7.6. GBM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini.....	71
Şekil 7.7. GBM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu.....	76
Şekil 7.8. GBM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini.....	77
Şekil 7.9. Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modeli uygulanarak oluşturulan diyagram.....	82

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. G20 Ülkelerindeki Motorlu Taşıt Üretimi (Milyon).....	13
Tablo 3.2. Avrupa'da PM2.5 ve Karbon Aerosollerinin Yıllık Ortalama Konsantrasyonları	22
Tablo 5.1. 2015-2018 Motorlu Kara Taşıtı İmalatı İstihdamı ve Payı.....	48
Tablo 5.2. Türkiye Otomotiv Sektörünün Değerlendirmesi.....	49
Tablo 7.1. Pillerli Elektrikli Araçta Standart Bass Modelinin Tahmini.....	59
Tablo 7.2. Pillerli Elektrikli Araçlar 2012'den 2022'ye kadar Türkiye'de Kümülatif Fiyili Satışlar ve Kümülatif Projeksiyonu.....	62
Tablo 7.3. Pillerli Elektrikli Araçlar için Bass Modeli Projeksiyonu.....	63
Tablo 7.4. Fiyili Hibrit Elektrikli Araçta Standart Bass Modelinin Tahmini.....	64
Tablo 7.5. Fiyili Hibrit Elektrikli Araçlar 2012'den 2022'ye kadar Türkiye'de Kümülatif Fiyili Satışlar ve Kümülatif Projeksiyonu	67
Tablo 7.6. Fiyili Hibrit Elektrikli Araçlar için Bass Modeli Projeksiyonu.....	67
Tablo 7.7. Pillerli Elektrikli Araçta Standart ve Genelleştirilmiş Bass Modelinin Tahmini	69
Tablo 7.8. BM ve GBM Modelleri (BEV) için Eğitim ve Test Doğruluğu	71
Tablo 7.9. Pillerli Elektrikli Araçlar için Genelleştirilmiş Bass Modeli Projeksiyonu	73
Tablo 7.10. Fiyili Hibrit Elektrikli Araçta Standart ve Genelleştirilmiş Bass Modelinin Tahmini	75
Tablo 7.11. BM ve GBM Modelleri (PHEV) için Eğitim ve Test Doğruluğu.....	77
Tablo 7.12. Fiyili Hibrit Elektrikli Araçlar için Genelleştirilmiş Bass Modeli Projeksiyonu .	78
Tablo 7.13. Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modelin Tahmini.....	80

1.GİRİŞ

Ulaşım sektörü, ekonomik büyümenin ve küresel ticaretin bel kemiğini oluştururken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi zorluklar yaratmaktadır. Fosil yakıtlara dayalı ulaşım sistemleri, iklim değişikliği ile ilgili endişeleri artıran sera gazı emisyonları ve hava kirliliği gibi çevresel etkilerin en büyük kaynaklarından biridir (IEA, 2022). Karayolu taşımacılığı, küresel karbon emisyonlarının yanı sıra ince partikül maddeler (PM2.5) ve nitrojen oksitler (NOx) gibi zararlı kirleticilerin başlıca kaynağıdır (Davis, 2019). Bu kirleticiler, özellikle büyük şehirlerde hava kirliliğine neden olarak solunum yolu hastalıkları ve kalp rahatsızlıkları gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır (UNEP, 2024). Bu durum, fosil yakıtlara dayalı ulaşım sistemlerinin çevresel ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini daha da belirgin hale getirmektedir. Fosil yakıtların kullanımı aynı zamanda enerji bağımlılığını artırmakta ve enerji güvenliği açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, ulaşım sistemlerinde fosil yakıtların yerini alacak daha temiz ve sürdürülebilir alternatiflere yönelmek büyük bir gereklilik haline gelmiştir. Bu bağlamda, fosil yakıtların çevresel ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla sürdürülebilir ulaşım çözümleri büyük önem kazanmaktadır. Elektrikli araçlar (EV'ler), bu çözümlerden biri olarak dikkat çekmektedir ve son yıllarda ulaştırma sektöründeki dönüşümün merkezinde yer almaktadır. Elektrikli araçlar, fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonlarını ve hava kirliliğini azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynamaktadır (Zhang ve Yao, 2015). Batarya teknolojilerindeki gelişmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artan entegrasyonu sayesinde, EV'ler yalnızca karbon ayak izini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda enerji güvenliğini de artırmaktadır. Elektrikli araçların sağladığı çevresel faydalar, özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde daha belirgin hale gelmekte ve toplum sağlığına olumlu katkılar sunmaktadır. Ayrıca, EV'ler fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji ithalatına olan gereksinimi de azaltmaktadır, bu da enerji güvenliği açısından stratejik bir avantaj sağlamaktadır.

Elektrikli araçların yaygınlaşması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik ederek enerji arz-talep dengesini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu durum, enerji üretiminde fosil yakıtların payını azaltarak karbon nötrlüğüne ulaşmayı hedefleyen ülkeler için kritik bir rol oynamaktadır. Elektrikli araçların yaygın kullanımı, özellikle kent içi ulaşımında sıfır emisyonlu bir alternatif sunarak

hava kalitesinin iyileşmesine ve toplum sağlığının korunmasına katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda, elektrikli araçların şebeke entegrasyonu sayesinde enerji depolama kapasiteleri kullanılabilir hale gelmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalı üretim profilleri dengeleme amacıyla daha etkili bir şekilde değerlendirilebilmektedir.

Türkiye, elektrikli araçlara geçiş sürecinde birçok iç sorunla karşı karşıyadır. Bu sorunların başında uygun bir şarj altyapısının kurulması, kullanıcı davranışlarının analiz edilmesi ve piyasa dinamiklerinin anlaşılması gibi faktörler yer almaktadır (Zhang ve Yao, 2015). Elektrikli araçların benimsenmesi, şarj altyapısının geliştirilmesi ve batarya maliyetlerindeki düşüş gibi unsurlarla ilişkilidir. Batarya maliyetlerinin düşmesi ve şarj sürelerinin kısalması, elektrikli araçların kullanıcılar için daha çekici hale gelmesini sağlamaktadır (Crabtree, 2019).

Türkiye'de elektrikli araçlara yönelik mevcut şarj altyapısı oldukça sınırlıdır ve bu durum, kullanıcıların elektrikli araçları tercih etme eğilimlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Şarj altyapısının yaygınlaşması ve şarj istasyonlarının erişilebilirliğinin artırılması, elektrikli araçların benimsenmesi açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, batarya maliyetlerinin yüksek olması ve tüketici farkındalığının düşük olması gibi faktörler, elektrikli araçların benimsenmesini engelleyen diğer önemli unsurlardır.

Elektrikli araçlara geçiş, sadece ulusal bir zorunluluk değil, aynı zamanda uluslararası taahhütlerin de bir sonucudur. Türkiye, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG'ler) ve Paris Anlaşması gibi uluslararası sözleşmeler çerçevesinde fosil yakıtlara dayalı ulaşım sistemlerinden uzaklaşmayı taahhüt etmiştir. Bu taahhütler, enerji güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından elektrikli araçların önemini daha da artırmaktadır. Ayrıca, akıllı şebeke teknolojileri ile entegre edilen elektrikli araçlar, enerji arz-talep dengesinin sağlanmasında ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda kritik bir rol oynamaktadır (Bellocchi ve diğ., 2018).

Elektrikli araçların yaygınlaşması, Türkiye'nin uluslararası enerji piyasalarındaki konumunu güçlendirme potansiyeline sahiptir. Elektrikli araçların enerji tüketiminde fosil yakıtların yerini alması, petrol ithalatına olan bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğini artırmaktadır. Bununla birlikte, elektrikli araçların yaygınlaşması, Türkiye'nin karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma çabalarını da desteklemektedir.

Elektrikli araçlara geçiş süreci, sürdürülebilir ulaşımın sağlanması açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu süreçte başarılı bir dönüşüm gerçekleştirilmesi, dinamik modelleme yaklaşımlarının etkin kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de benzinli araçlardan elektrikli araçlara geçiş sürecini dinamik bir modelleme yaklaşımıyla analiz ederek, sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesine katkı sağlamaktır. Elektrikli araçlara geçiş sürecinde, tüketici davranışları, piyasa dinamikleri ve politika müdahalelerinin birbirleriyle nasıl etkileşim içinde olduğu derinlemesine incelenmiştir. Dinamik modelleme, bu süreci daha iyi anlamak, çeşitli politika senaryolarını değerlendirmek ve bu senaryoların potansiyel etkilerini öngörmek için önemli bir araçtır.

Bu çalışma, 2012-2022 dönemine ait kapsamlı veriler kullanarak, Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEV) ve Pillerli Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV) için benimsemiş dinamiklerini analiz etmektedir. Modelleme aşamasında, Türkiye'de elektrikli araçların benimsenme sürecini analiz etmek ve gelecekteki yayılım dinamiklerini tahmin etmek amacıyla Bass Modeli ve Genelleştirilmiş Bass Modeli (GBM) kullanılmıştır. Bass Modeli, yenilikçilerin ve taklitçilerin pazar üzerindeki etkilerini dikkate alarak teknolojik yeniliklerin yayılma süreçlerini açıklamaktadır (Bass, 1969).

Türkiye bağlamında, bu model elektrikli araç piyasasındaki tüketici davranışlarını anlamak için başlangıç noktası olarak kullanılmıştır. Ancak, Bass Modeli'nin sabit yenilikçilik ve taklitçilik oranlarına dayanması, değişen piyasa koşullarını yeterince yansıtamaması nedeniyle öngörü kabiliyetinde sınırlamalar barındırmaktadır. Bu sınırlamayı aşmak amacıyla çalışmada Genelleştirilmiş Bass Modeli tercih edilmiştir. GBM, piyasa büyüklüğü, tüketici tercihleri, devlet teşvikleri, şarj altyapısının gelişimi ve ekonomik koşullar gibi dışsal faktörlerin etkilerini modele entegre ederek daha esnek ve dinamik bir yapı sunmaktadır (Mahajan, Muller ve Bass, 1990). Bu sayede Türkiye'de elektrikli araçların benimsenme sürecine dair şarj altyapısının gelişimi dışsal faktörün etkisi dahil edilerek daha gerçekçi öngörüler elde edilmiştir. Ayrıca eşanlı modelleme yöntemi kullanılarak, şarj altyapısının yaygınlaşması ve tüketici benimsemesi arasındaki geri bildirim döngüsü gibi karmaşık etkileşimler de incelenmiştir. Bu yöntem, elektrikli araçların benimsenmesini etkileyen faktörlerin dinamiklerini detaylı bir şekilde ele alarak literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Bu araştırmanın bulguları, Türkiye'nin elektrikli araçlara geçiş sürecinde karşılaşılan zorlukları ve bu zorlukların nasıl aşılabileceğini anlamak için önemli ipuçları sunmaktadır. Elektrikli araçların Türkiye pazarındaki yayılma hızını ve piyasa potansiyelini değerlendirme açısından önemli katkılar sağlayan bu bulgular, politika yapıcılar ve endüstri paydaşları için stratejik karar alma süreçlerine rehberlik edebilecek öngörüler sunmaktadır. Altyapı yatırımları, teşvikler ve tüketici davranışlarının yönetimi, bu geçiş sürecinin başarısında kilit rol oynamaktadır. Dinamik modelleme, tüm bu unsurları içeren senaryoları inceleyerek, Türkiye'nin elektrikli araçlara geçiş sürecinde daha etkili ve stratejik adımlar atmasına olanak tanımaktadır.

Bu araştırmanın bazı önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak, verilerin yalnızca 2012'den 2022'ye kadar olan bir zaman aralığını kapsaması, uzun vadeli eğilimleri ve etkileri tam anlamıyla analiz etme yeteneğini sınırlandırmaktadır. Elektrikli araç piyasası hızla gelişen bir yapıya sahip olduğundan, özellikle 2022 sonrası dönemde ortaya çıkan gelişmeler, bu piyasanın gelecekteki dinamiklerini ve benimsenme süreçlerini daha derinlemesine anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, daha güncel verilerin eksikliği, bazı yeni trendlerin ve piyasa değişimlerinin gözden kaçmasına neden olabilir. Bunun yanı sıra, Türkiye'de Bass ve Genelleştirilmiş Bass modellerini elektrikli araçlar bağlamında uygulayan araştırmaların sınırlı olması, elde edilen bulguların yerleşik modellerle karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu modeller, yeni teknolojilerin benimsenme süreçlerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılmakta ve önemli öngörüler sağlamaktadır. Ancak, Türkiye bağlamında bu modellerin az uygulanmış olması, bulguların sağlamlığını ve genelleştirilebilirliğini kısıtlamaktadır. Literatürdeki bu boşluk, Türkiye'nin elektrikli araç piyasasının dinamiklerini tam anlamıyla değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır.

Araştırmanın iş akışı, giriş kısmında belirtilen kapsam ve amaca uygun bir şekilde, sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla oluşturulmuştur. İlk olarak, çalışmanın temel teorik çerçevesini belirlemek amacıyla elektrikli araçların yayılım dinamiklerini ele alan mevcut literatür taranmış ve Bass Modeli ile Genelleştirilmiş Bass Modeli gibi yayılım modellerine dayalı analizler yapılmıştır. Ardından Otomotiv endüstrisi ve çevre kirliliği, elektrikli araç ve çeşitleri ile ilgili bilgilerinin yanı sıra Türkiye otomotiv sektörünün gelişimi hakkında derinlemesine aydınlatıcı

bilgiler verilmiştir. Bunu takiben, Türkiye bağlamında elektrikli araçların benimsenmesine etki eden temel faktörlerin anlaşılması amacıyla veri toplama ve ön işleme süreci gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, 2012-2022 dönemine ait piyasa verileri, devlet teşvikleri ve şarj altyapısına ilişkin bilgiler derlenmiştir. Toplanan veriler, dinamik modelleme tekniklerinin uygulanabilmesi için analiz edilerek gerekli parametreler kalibre edilmiştir. Modelleme aşamasında, Bass ve GBM modelleri kullanılarak elektrikli araçların Türkiye pazarındaki yayılım potansiyeli ve benimsenme süreci simüle edilmiştir. Model çıktıları, farklı politika senaryolarının etkilerini değerlendirmek için kullanılmış ve sonuçlar, sürdürülebilir ulaşım politikalarına katkı sağlamak amacıyla yorumlanmıştır. Son olarak, çalışmanın bulguları, politikalar ve uygulamalar açısından öneriler geliştirilerek raporlanmış ve akademik topluluğun yanı sıra ilgili sektör paydaşlarıyla paylaşılabilir şekilde yapılandırılmıştır. Bu iş akışı, araştırmanın teorik katkısını güçlendirmekle birlikte, pratik faydalarının artırılmasını da hedeflemektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Elektrikli araçların benimsenmesini modellemek, dünya genelinde sürdürülebilir ulaşımın sağlanması ve fosil yakıt bağımlılığının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde elektrikli araç piyasa tahmininde kullanılan üç ana modelleme yaklaşımı bulunmaktadır: Temsil Tabanlı Modeller (Agent-Based Models), Temsilci Tabanlı Modeller (Consumer Choice Models) ve Yayılım ve Zaman Serisi Modelleri (Diffusion and Time Series Models) (Al-Alawi ve Bradley, 2013). Bu modelleme yaklaşımları, EV'ların yaygınlaşmasını etkileyen faktörleri ve dinamikleri anlamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca, dinamik modellerin teknolojiler arasındaki geçiş süreçlerini analiz etmek için kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır (Holland, Mansur, Yates (2020), Gnann ve diğ. (2015), Langer ve Lemoine (2018)). Bu çalışmalar, EV'ların benimsenmesi sürecindeki ekonomik ve çevresel etkileri daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır.

Temsil Tabanlı Modelleme: Temsil tabanlı modelleme, her aracın eylemlerini ve etkileşimlerini simüle etmek amacıyla sanal bir ortam oluşturan bilgisayar tabanlı bir simülasyon yöntemidir. Bu modelde, tüketiciler, otomobil üreticileri, politika yapıcılar ve yakıt tedarikçileri gibi farklı temsilciler arasındaki ilişkiler detaylı bir şekilde modellenmektedir (Al-Alawi ve Bradley, 2013). Temsil tabanlı modeller, EV'ların benimsenmesini etkileyen mikro düzeydeki faktörleri modelleme açısından güçlü bir araçtır; bu nedenle tüketicilerin demografik özellikleri, yaşam tarzları, sürüş ihtiyaçları gibi birçok faktörü göz önünde bulundurarak EV'ların yayılımını incelemek için kullanılır (Huang ve diğ., 2021).

Örneğin, Huang ve diğ. (2021), elektrikli araçların kabulünü etkileyen politikaların etkinliğini simüle etmek için geliştirilmiş bir temsil tabanlı modelleme önererek, devlet sübvansiyonlarının ve şarj tesisi inşaatının tüketicilerin EV tercihlerini nasıl etkilediğini analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, hibrit bir politikanın, sübvansiyonlar ve şarj altyapısının artırılmasının, EV'ların piyasa kabulünü hızlandırdığı gösterilmiştir. Benzer şekilde, Shafiei ve diğ. (2012), İzlanda'da EV'ların piyasa payı gelişimini modelleyerek yüksek benzin fiyatlarının ve uygun teşviklerin EV benimsenmesinde önemli bir rol oynadığını bulmuşlardır. Noori ve Tatari (2016) ise Amerika Birleşik Devletleri'nde EV'ların gelecekteki piyasa payını öngörmek amacıyla belirsizlikleri ele alan bir model kullanmış ve devlet

sübvansiyonlarının EV'ların benimsenmesinde hayati bir rol oynadığını vurgulamışlardır.

Temsil tabanlı modellerin en önemli avantajlarından biri, bireysel tüketicilerin ve diğer paydaşların etkileşimlerini detaylı bir şekilde modelleyerek piyasa dinamiklerini anlamamıza olanak tanımasıdır (Wolf ve diğ., 2015). Örneğin, Wolf ve diğ. (2015), Almanya'da EV'ların yayılmasını simüle ederek, farklı piyasa segmentlerine yönelik politikaların etkinliğini analiz etmişlerdir. Ayrıca, Zhuge ve Shao (2018), temsil tabanlı ulaşım tesisi geliştirme modeli ile şarj istasyonları ve otoparklardaki şarj noktaları gibi altyapı unsurlarının EV yayılımına olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmalar, EV'ların benimsenmesinde altyapının ve sosyal etkilerin önemli rol oynadığını göstermektedir. Eppstein ve diğ. (2011), tüketici araçlarını kullanarak PHEV'lerin benimsenme oranını tahmin eden bir temsil tabanlı model geliştirmişler ve bu modelde tüketicilerin çevresel ve finansal maliyetleri dikkate alarak PHEV teknolojisi için ne kadar ödemeye razı olduklarını analiz etmişlerdir. Çalışmada, tüketicilerin yıllık maaş, yaş, sosyal etkiler ve yakıt maliyeti gibi özellikleri dikkate alınmıştır. Sonuçlar, 10 yıl sonra PHEV penetrasyon oranının %25-38, 20 yıl sonra ise %30-60 arasında olacağını öngörmektedir.

Temsilci Tabanlı Modelleme: Temsilci tabanlı modelleme, tüketici tercihlerini ve karar verme süreçlerini modellemek için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu modeller, tüketicilerin belirli ürünleri tercih etme olasılıklarını hesaplamak amacıyla ayırık seçim ve logit modelleri gibi araçları kullanır (Al-Alawi ve Bradley, 2013). Temsilci tabanlı modelleme, özellikle tüketici tercihlerinin karmaşık olduğu ve piyasada yeni teknolojilerin olduğu durumlarda kullanışlıdır. Sikes ve diğ. (2010), Amerika Birleşik Devletleri'nde hibrit ve plug-in hibrit elektrikli araçların (HEV ve PHEV) benimsenme oranlarını tahmin etmek amacıyla geliştirdikleri modelde, tüketicilerin ve diğer paydaşların kararlarını etkileyen birçok faktörü dikkate almıştır. Bu faktörler arasında perakende fiyatı, performans, yakıt ekonomisi ve sübvansiyonlar gibi unsurlar bulunmaktadır.

Diamond (2009), ise hibrit elektrikli araçların piyasa payını belirleyen politikaların ve ekonomik faktörlerin etkisini incelemek için bir tüketici talebi modeli geliştirmiştir. Bu model, sosyal etkilerin ve ekonomik teşviklerin EV'ların benimsenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Mandys (2021), ise Birleşik Krallık'ta elektrikli araçların erken benimseyenlerini tanımlamak amacıyla temsilci tabanlı bir model kullanarak, tüketici tercihlerini ve araç özelliklerine olan

hassasiyetleri analiz etmiştir. Bu çalışmalar, tüketicilerin araç tercihlerini etkileyen faktörlerin ve politikaların EV'ların yayılımında kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Lee ve diğ. (2013), Kore'de HEV, EV ve HFCV'nin yayılması üzerindeki araç teknolojisi maliyetlerinin, altyapı kullanılabilirliğinin ve piyasa payının etkilerini analiz etmiş ve teknoloji maliyetindeki azalmaların ve altyapının geliştirilmesinin bu araçların piyasa payını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Li ve diğ. (2020), ise Çin'de pil garantisi gibi ürün özelliklerinin tüketicilerin EV'ları benimsemelerinde önemli bir olumlu etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır.

Yayılım ve Zaman Serisi Modelleme: Yayılım ve zaman serisi modelleri, yeni ürünlerin benimsenme hızını ve piyasadaki yayılımını analiz etmek amacıyla kullanılan modellerdir. Bass, Gompertz ve Logistic modelleri, EV'ların zaman içindeki yayılımını modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Al-Alawi ve Bradley, 2013). Lamberson (2008), HEV'lerin benimsenme oranını Bass ve Gompertz modelleri kullanarak analiz etmiş ve hükümet teşviklerinin EV yayılımında önemli bir etkisi olduğunu bulmuştur. Benzer şekilde, Becker, Sidhu, Tenderich (2009), araç satın alma fiyatı ve işletme maliyetlerini dikkate alarak farklı benzin fiyatı senaryoları altında EV'ların benimsenme oranlarını tahmin etmişlerdir.

Kumar, Guha, Chakraborty (2022), ise 20 büyük ülkenin EV satışlarını tahmin etmek amacıyla farklı yayılım modelleri kullanarak, her ülke için en uygun modelleri belirlemişlerdir. Bu çalışmalarda, dışsal değişkenlerin yayılım modellerine entegrasyonu, EV'ların benimsenmesini etkileyen çeşitli senaryoların ve politika önlemlerinin değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Yayılım ve zaman serisi modelleri, EV'ların benimsenme sürecinde hükümet teşvikleri, benzin fiyatları, şarj altyapısı gibi faktörlerin etkisini anlamamız için önemli bir araçtır.

Jeon (2010), Bass difüzyon modeline dayalı olarak hibrit elektrikli araçların, plug-in hibrit elektrikli araçların ve elektrikli araçların 2030 yılına kadar olan penetrasyon oranlarını incelemiş ve "birbirini izleyen nesiller" kavramını kullanarak her nesil için piyasa potansiyelini hesaplamıştır. Model, 2030 yılı itibarıyla ABD'de yıllık 5 milyon HEV, 1 milyon PHEV ve 2,1 milyon EV satışına ulaşılacağını öngörmektedir.

Literatürde elektrikli araçların benimsenmesini modellemek amacıyla kullanılan farklı modelleme yaklaşımları, EV'ların yayılımını etkileyen dinamikleri anlamamıza yardımcı olmaktadır. Genel olarak temsil tabanlı modeller, bireysel tüketicilerin ve paydaşların etkileşimlerini detaylı bir şekilde modelleyerek piyasa

dinamiklerini anlamamıza olanak tanırken, temsilci tabanlı modeller tüketici tercihlerinin ve politikaların EV benimsenmesine olan etkisini vurgulamaktadır. Yayılım ve zaman serisi modelleri ise EV'ların yayılım sürecini ve bu süreci etkileyen faktörleri analiz etmek için güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.



3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇEVRE KİRLİLİĞİ

3.1. Otomotiv Endüstrisi

Otomotiv endüstrisi, motorlu taşıtların tasarımı, geliştirilmesi, imalatı, pazarlanması ve satışı ile ilgili çok çeşitli şirket ve kuruluşlardan oluşmaktadır. Gelir açısından dünyanın en büyük endüstrilerinden biridir ve aynı zamanda araştırma ve geliştirmeye en fazla harcama yapan endüstridir (Grassano ve diğ., 2021: 4-10).

Otomotiv endüstrisi, elektronik, giyim ve tüketim malları gibi diğer küresel endüstrilerle ortak noktaları paylaşıırken, aynı zamanda onu farklı kılan bazı özelliklere de sahiptir. Tüm bu endüstrilerde, 1980'lerin sonlarından itibaren Doğrudan Yabancı Yatırım (DYY), küresel üretim ve sınır ötesi ticaretin hızla artmasıyla dikkat çekmektedir. Brezilya, Çin ve Hindistan gibi ülkelerdeki reel ve potansiyel piyasa büyümesi, düşük maliyetli ancak vasıflı iş gücü arzı ile birleşerek bu ülkeleri doğrudan yabancı yatırım için cazip hale getirmiştir. Bu ülkelerde yapılan büyük ölçekli yatırımlar, yalnızca yerel piyasalara tedarik sağlamayı değil, aynı zamanda gelişmiş ülkelere geri ihracat yapmayı da hedeflemektedir. Küresel üretim ve kaynak sağlama kalıplarının gelişimi, ticaretin serbestleştirilmesi ve yatırım teşvikleri açısından Dünya Ticaret Örgütü (WTO) anlaşmalarıyla hız kazanmıştır. Bu serbestleşme, özellikle otomotiv endüstrisinin küresel ölçekte daha fazla entegrasyon sağlamasına olanak tanımıştır. Otomotiv endüstrisi, son derece yoğun firma yapısı nedeniyle farklıdır. Az sayıda dev şirket, daha küçük şirketler üzerinde olağanüstü miktarda güç uygulamaktadır. Ana piyasalarda üretime üç ülkeden, Japonya, Almanya ve ABD'den on bir lider firma hakimdir. Hem lider firmaların hem de en büyük tedarikçilerin küresel kapsamı, 1990'lardaki bir birleşme ve satın alma dalgası ve öz sermayeye dayalı ittifaklar tarafından genişletilmiştir. Lider firma konsantrasyonu, ticari uçak gibi bazı endüstrilerdeki kadar aşırı olmasa da daha az yoğun endüstrilerde geçerli olan endüstri düzeyinde teknik ve iş süreci standartlarını oluşturma çabalarını köreltmıştır. Otomotiv endüstrisine özgü ikinci bir ayırt edici özellik, nihai araç montajının ve buna bağlı olarak parça üretiminin siyasi hassasiyetler nedeniyle büyük ölçüde nihai piyasalara yakın tutulmasıdır. Piyasanın doygunluğu, yüksek düzeyde motorizasyon ve otomobil üreticilerinin "sattıkları yerde inşa etme" eğilimi, şu anda 30 yıl öncesine göre çok daha fazla ülkede gerçekleşen nihai montajın dağılmasını da teşvik etmiştir. Üçüncü bir ayırt edici özelliği ise güçlü bölgesel yapısıdır. Otomotiv endüstrisi, 1980'lerin ortalarından

itibaren küresel olarak daha fazla entegre olmuş olsa da aynı zamanda güçlü bölgesel ölçekte entegrasyon kalıpları da geliştirmiştir. Buna karşılık, giyim ve elektronik gibi diğer önemli yüksek hacimli, tüketici odaklı imalat endüstrileri, küresel ölçekte entegrasyon modelleri geliştirmiştir. Otomotiv endüstrisinin dördüncü bir ayırt edici özelliği, kapsamlı özelleştirme olmaksızın çok çeşitli son ürünlerde kullanılabilecek tamamen genel birkaç parça veya alt sistemin olmasıdır. Parçalar ve alt sistemler, elektronik endüstrisindeki bellek yongaları ve mikroişlemcilerin ve giyim endüstrisindeki kumaş ve ipliğin aksine belirli araç modellerine özgü olma eğilimindedir (Sturgeon ve diğ., 2009: 9).

Küresel otomotiv endüstrisi, doğrudan ya da dolaylı olarak milyarlarca insanı etkilemekte ve toplumsal dönüşümde önemli bir rol oynamaktadır. Bu endüstrinin ürettiği otomobil gibi ürünler, hareketliliği çeşitli düzeylerde kolaylaştırarak bireylerin yaşam ve çalışma biçimlerinde köklü değişiklikler meydana getirmektedir. Gelişmiş dünyanın büyük bir kısmı ve giderek gelişmekte olan dünya için, temel bir endüstri olarak ekonomik ilerlemenin bayrağını oluşturmaktadır. Otomotiv endüstrisi olmadan, ekonomik ilerlemenin diğer merkezi temeli olan verimli bir çelik endüstrisi, plastik endüstrisi veya cam sektörü geliştirmek imkansızdır. Otomotiv endüstrisi, yirminci yüzyıla egemen olan benzersiz bir ekonomik fenomen olan çekirdek bir endüstri olmuştur. Motor endüstrisi, dünyanın en büyük tek üretim faaliyetidir. 2002 yılında, sektörün en son zirvesi olan dünya çapında yaklaşık 58 milyon araç üretmiştir. Her biri, dünya genelinde son derece uzmanlaşmış fabrikalarda üretilen ve farklı malzemelerden oluşan yaklaşık 8.000 ayrı parçayı içermektedir. Her yıl, sadece yeni araçlar üretmek için yaklaşık 460 milyar parçaya ihtiyaç duyulmaktadır. (Maxton ve Wormald, 2004: 1-3). Orijinal olarak takılan parçalar aşındığında veya hasar gördüğünde yedek parçaların üretimine de büyük kapasite ayrılmıştır. Araç dağıtımına, satışına, servis ve onarım satış sonrası piyasasına odaklanan çeşitli işletmelerin yanı sıra yakıt, finansman ve sigorta tedarikinde yer alan devasa bir endüstri ağı vardır. Otomotiv endüstrisi, büyük bir enerji ve hammadde tüketicisi ve aynı zamanda büyük bir istihdam kaynağıdır (Maxton ve Wormald, 2004: 1-3).

Otomotiv endüstrisi, hem üretim yöntemleri hem de coğrafi dağılım açısından yeniden yapılandırma sürecinden geçmekte olup, bu durum istihdam üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Bu dönüşüm, çalışanların iş rollerinde değişikliklere uyum

sağlamasını ve yeni teknolojiler ile üretim süreçlerine entegre olmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, küresel tedarik zincirinde yaşanan değişimler ve artan uluslararası rekabet, iş gücünün yer değiştirmesine neden olmuş, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika gibi geleneksel otomotiv bölgelerinde istihdam sorunlarına yol açmıştır. (Bloomfield, 2017: 42).

Otomotiv endüstrisinin tüm ekonomi üzerindeki önemine gelince, otomotiv endüstrisinin dünyanın çeşitli ülkelerinin istihdamında önemli bir rol oynadığını söylemek mümkündür, örneğin: ABD motorlu taşıt imalat sanayiinde, büyük motorlu taşıt parçaları imalat sektöründe çalışanlar ve motorlu taşıtların montajını yapanlar da dahil olmak üzere 880.000 işçi veya ABD imalat çalışanlarının yaklaşık %6,6'sı istihdam edilmektedir (Platzer ve Harrison, 2009: 2). Otomotiv endüstrisi, Avrupa'nın en büyük endüstrilerinden biridir. Avrupa'daki toplam imalat istihdamına yaklaşık %6 ve toplam imalat çıktısına %7 katkıda bulunur ve bu da onu Avrupa ekonomisinin önemli bir itici gücü haline getirmektedir. AB motorlu taşıt endüstrisinde istihdam 1,9 milyon çalışan ve üretilen yıllık katma değer yaklaşık 114 milyar Euro'dur (Heneric ve diğ., 2005: 5-7). Otomotiv endüstrisi, kendi büyüklüğüne ek olarak, çeşitli geri (tedarikçi endüstrilere) ve ileriye (müşterilere) bağlantılar yoluyla daha fazla ekonomik aktivite üretmektedir. AB otomotiv endüstrisinin, üretilen toplam katma değer yaklaşık yarısına yakınına oluşturan tek başına Almanya ile yüksek oranda yoğunlaşması dikkat çekicidir. Otomotiv endüstrisi tam anlamıyla bir yüksek teknoloji endüstrisi olmasa da yeni teknolojilerin ve yeniliklerin ekonominin tamamına yayılmasının önemli bir itici gücüdür. İmalattaki tüm Ar-Ge'nin yaklaşık %20'si otomobil üreticileri tarafından üstlenilmektedir (Heneric ve diğ., 2005: 5-7). Diğer birçok imalat sektörüyle (kimyasallar, plastikler, elektrikli ve elektronik parçalar vb.) yakın bağlantıları, yeni teknolojilerin hızla yayılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca motorlu taşıtlar, toplam hane halkı harcamaları açısından en önemli tüketim mallarından biridir. Motorlu taşıtlar, giderler açısından (konutun yanında) en büyük dayanıklı tüketim malları olduğundan, motorlu taşıtlara olan talep, genel büyüme ve iş çevrimi hareketleriyle yüksek oranda ilişkilidir ve buna katkıda bulunmaktadır (Heneric ve diğ., 2005: 5-7).

Küreselleşen dünyada hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler uluslararası düzeyde rekabet etmektedir. Genel olarak politika yapıcılar için en

önemli konulardan biri, ekonomilerini rekabetçi hale getirmek ve rasyonel politikalarla küresel risklerle başa çıkmaktır. Otomotiv endüstrisi, özellikle sanayileşmiş ülkeler için ulusal ekonomiye önemli bir katkı sağlamaktadır. Ana müşteri olarak otomotiv endüstrisi, demir-çelik, petrokimya ve lastik endüstrilerinde teknik gelişmeyi motive etmektedir. Otomotiv sektörü turizm, altyapı bakımı, ulaşım ve tarım için ihtiyaç duyulan her türlü motorlu taşıtı üretmektedir. Bu nedenle otomotiv sektöründeki herhangi bir değişiklik tüm ekonomiyi derinden etkilemektedir. Küresel otomotiv endüstrisi, her yıl yaklaşık 70 milyon adet araç üreterek dünya ekonomisinde hayati bir rol oynamakta ve toplumların refahına önemli katkılarda bulunmaktadır. Otomotiv endüstrisinin rekabet gücünün artırılması, hem gelişmiş hem de yükselen ekonomiler için hayati önem taşımaktadır (Ulengin ve diğ., 2014: 2).

Otomotiv sektörünün geçmişine bakacak olursak, Alman mucit Carl Benz'in Benz Patent Motorwagen'in patentini aldığı 1886 yılı, otomobilin doğum yılı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, günümüz motor endüstrisinin kökleri, bileşenlerin birbiriyle değiştirilebilirliğine ve hareketli montaj hattının kullanımına dayalı olarak, günümüzün seri üretim tekniklerinin temellerini atan Henry Ford'a kadar uzanabilir. (Holweg, 2008: 14).

Zamanla otomotiv sektörü, dünya genelinde en büyük endüstrilerden biri haline gelmiştir. Bir sektörün büyüklüğünü anlamak için üretim kapasitesine bakmak önemlidir. Bu bağlamda, aşağıdaki tablo, dünyanın çeşitli ülkelerinde gerçekleştirilen otomobil üretimini göstermektedir.

Tablo 3.1. G20 Ülkelerindeki Motorlu Taşıt Üretimi (Milyon)

Ülkeler	Yıl				
	2019	2020	2021	2022	2023
ABD	10.89	8.82	9.16	10.05	10.61
Almanya (Hafif Ticari Araçlar)	4.66	3.52	3.10	3.48	4.11
Arjantin (Hafif Ticari Araçlar)	0.31	0.26	0.43	0.54	0.61
Avustralya	0.006	0.005	0.005	0.006	0.007
Birleşik Krallık	1.38	0.99	0.93	0.88	1.03
Brezilya	2.94	2.01	2.25	2.37	2.32
Çin	25.75	25.23	26.12	27.02	30.16
Endonezya	1.29	0.69	1.12	1.47	1.40
Fransa (Hafif Ticari Araçlar)	2.17	1.32	1.35	1.38	1.51

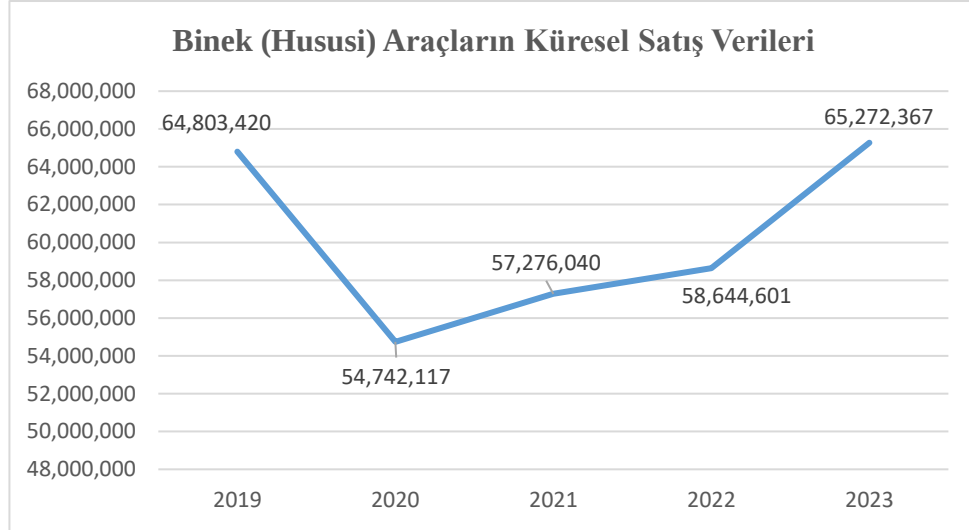
Tablo 3.1. (Devam)

Güney Afrika	0.63	0.45	0.50	0.56	0.63
Güney Kore	3.95	3.51	3.46	3.76	4.24
Hindistan	4.52	3.38	4.40	5.46	5.85
İtalya	0.92	0.78	0.80	0.80	0.88
Japonya	9.68	8.07	7.84	7.84	9.00
Kanada	1.92	1.38	1.12	1.23	1.55
Meksika	4.01	3.18	3.19	3.51	4.00
Rusya	1.72	1.44	1.57	0.61	0.73
Türkiye	1.46	1.30	1.28	1.35	1.47

Kaynak: (OICA, 2024b)

Bu Tablo, 2019-2023 yılları arasında G20 ülkelerindeki motorlu taşıt üretim miktarlarını milyon bazında göstermektedir. Genel olarak, birçok ülkede üretim dalgalanmalar göstermiştir. Çin, her yıl açık ara en yüksek üretim rakamına sahip ülke olarak öne çıkmakta, 2023 yılında 30,16 milyon araç üretimiyle diğer ülkeleri geride bırakmaktadır. ABD ise 2020'de üretimde düşüş yaşasa da 2023'te 10,61 milyon araçla tekrar artış göstermiştir. Hindistan, 2023'te 5,85 milyon araca ulaşarak önemli bir artış göstermiştir. Almanya ve Güney Kore gibi otomotiv sektöründe büyük ülkeler, 2020'de üretimde bir düşüş yaşamış ancak 2023'te toparlanmışlardır. Birleşik Krallık, Fransa ve İtalya gibi Avrupa ülkeleri ise daha mütevazı üretim rakamlarına sahip olmakla birlikte, üretim miktarları 2023'te genellikle artış göstermiştir. Rusya ise 2022'de büyük bir düşüş yaşamış ve 2023'te de düşük seviyelerde kalmıştır. Türkiye, her yıl istikrarlı bir üretim seyri izleyerek 2023'te 1,47 milyon araca ulaşmıştır.

Satışlar, bir sektörün büyüklüğünü ve hacmini değerlendirmek için önemli bir göstergedir. Bu bağlamda, aşağıdaki tabloda dünya genelindeki binek (hususî) otomobil satışları yer almaktadır.



Şekil 3.1. Binek (Hususi) Araçların Küresel Satış Verileri (OICA, 2024a)

Bu grafik, "Binek (Hususi) Araçların Küresel Satışları" başlığı altında, 2019'dan 2023'e kadar olan binek (hususî) araç satış trendini göstermektedir. 2019, küresel satış rakamı 64.803.420 adet ile oldukça yüksek bir seviyede idi. 2020, satışlar 54.742.117 adede düşerek, otomotiv sektörünü ve genel ekonomik faaliyetleri aksatan COVID-19 pandemisinin etkilerini yansıttı. 2021, satışlar 57.276.040 adede ulaşarak toparlanmaya başladı, ancak hala pandemi öncesi seviyelerin altındaydı. 2022, toparlanma eğilimi devam etti ve satışlar 58.644.601 adede yükseldi. 2023, satışlar 65.272.367 adede ulaştı ve 2019 seviyelerini aşarak tam bir toparlanma ve pandemi öncesi performansın üzerine çıkmayı gösterdi. Genel olarak, grafik V şeklinde bir toparlanma sergilemektedir. 2020'de keskin bir düşüş yaşandı, bu büyük ölçüde pandemi kaynaklı dış şokların bir sonucuydu. 2021 ve 2022'de kademeli bir toparlanma oldu. 2023'te satışlar toparlanmakla kalmadı, 2019 seviyelerini aşarak küresel binek (hususî) araç pazarının güçlü bir şekilde geri döndüğünü gösterdi.

Bu eğilim, küresel otomotiv sektörünün dayanıklılığını yansıtmakta olup, üretimdeki iyileşmeler, tüketici talebindeki artış ve muhtemelen araç elektrifikasyonu veya yeni piyasa yönelimleri gibi faktörlerin bu toparlanmayı desteklediğini göstermektedir.

3.2. Otomotiv Sektörünün Çevre Kirliliğine Etkileri

Çevre yönetim sistemleri (EMS) için ISO 14000 serisinin piyasaya sürülmesinden yaklaşık 12 yıl sonra, birçok şirket hala katı sürdürülebilirlik talepleriyle karşı karşıyadır. Bilgi ve uygulama açısından çok şey gelişmiştir; ancak yine de çevresel liderliği sürdürmek göz korkutucu ve karmaşık bir görev olmaya

devam etmektedir. Çoğu çevresel girişim belirsizdir ve ayrıca yatırım veya maliyet fizibilitesi, müşteri memnuniyeti ve kalite gereksinimleri gibi ele alınması gereken birçok çevresel olmayan faktör sorunu vardır. Kaydedilen ilerleme, çevre yönetiminin tarihsel yolu ile görülebilmektedir. Çalışmalar, çevre yönetiminin 1970'lerde kirlilik kontrolü ve risk yönetiminden 1980'lerde kirliliğin önlenmesine, ardından sistematik ürün ve süreç yönetiminin uygulanmasına, ISO 14000 serisi lansmanına ve yaşam döngüsü ve endüstriyel ekoloji yaklaşımlarının ortaya çıkışına nasıl evrildiğini göstermektedir. Çevre yönetiminin daha fazla evrimi, modern küresel ekonomide rekabetçi olmak isteyen şirketler için kilit bir alan olarak tanınmasına yol açmıştır (Nunes ve Bennett, 2010: 396-398).

Staniszewska, Klimecka-Tatar, Obrecht (2020) 'a göre, 2016 yılında araç nüfusu binek (hususî) otomobiller, kamyonlar ve otobüsler dahil olmak üzere 1,32 milyar olarak gerçekleşmiştir. Bu sayı, araba nüfusunun 670 milyon olduğu 1996 yılından bu yana çarpıcı bir şekilde artmıştır. Araç sayısındaki en hızlı artış Asya-Pasifik bölgesinde kaydedilmiştir ve araçlara yönelik talep artışının, üretim şirketleri tarafından karşılanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sadece yenilenemeyen kaynakların kullanımı değil, aynı zamanda kirlilik ve atık da artmıştır. Araştırmacılar, en büyük çevresel tehlikenin araçlar kullanımdan kaynaklandığını, öte yandan nakliye en aza indirmenin, seçilen mal grupları için tatmin edici olmayan talebe yol açabileceğine dikkat çekmektedir. Her yıl araçlar tarafından devasa miktarlarda fosil yakıt tüketilmektedir ve kirlilik, insanları ve doğayı etkilediği için büyük bir endişe kaynağıdır. Hava kirliliği kalp-damar sorunlarına, alerjilere ve astım krizlerine, konjonktivitlere, bronş hastalıklarına ve hatta akciğer veya cilt kanserlerine neden olabilmektedir. Çevre üzerindeki sonuçları, asit yağmurları ve küresel ısınma kadar büyüktür.

Otomotiv sektörünün çevresel etkileri oldukça kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Ancak üç ana başlık altında incelenebilmektedir:

1. Üretim aşamasındaki çevresel etkiler; atmosferik emisyonlar, atık sular, katı ve tehlikeli atıklar.
2. Motorlu araçların kullanımı sırasında oluşturdukları çevresel etkiler; atmosferik emisyonlar, katı ve sıvı atıklar.

3. Ömrünü tamamlamış araçların etkileri; hurdaya ayrılan araçlar ile bunların katı ve sıvı atıkları (Katip, Karaerk ve Özengin, 2014: 53).

Küresel ısınmanın arkasındaki nedenlerden biri çeşitli insan faaliyetleri nedeniyle sera gazlarının (GHG) sürekli artmasıdır. Ancak odak noktası, otomotiv endüstrisinde karayolu yük taşımacılığından kaynaklanan GHG emisyonlarıdır. Taşımacılık sektörü, dünya çapında CO₂ emisyonu üretimine katkıda bulunan en önemli sektörlerden biridir. Avrupa Çevre Ajansı üyesi ülkelerdeki toplam enerji tüketiminin %30'dan fazlasından sorumludur. Chocholac ve diğ. (2021) 'a göre, küresel ulaşım emisyonları, verimlilik iyileştirmeleri, elektrifikasyon ve daha fazla biyoyakıt kullanımı nedeniyle 2019'da %0,5'ten daha az arttı (2000'den beri yıllık %1,9'a kıyasla). Bununla birlikte, yakıtın yanmasından kaynaklanan doğrudan CO₂ emisyonlarının %24'ünden ulaşım hala sorumludur. Karayolu taşımacılığı, küresel taşımacılık emisyonlarının yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır. Havacılık ve denizcilikten kaynaklanan emisyonlar ise artmaya devam etmektedir. Ancak, uluslararası politikalar giderek bu emisyonların azaltılmasının zor olduğu alt sektörlerle daha fazla odaklanmaktadır.

Düşük karbon ekonomisini geliştirmek dünya çapında bir trend haline gelmiştir, birçok ülke ekonomik büyüme sağlamanın yanı sıra çevre dostu toplum inşa etmenin düşük karbonlu yolunu aramaktadır. Araştırmalara göre %63.09'dan %72.96'ya kadar karbon emisyonunun büyük kısmı elektrik santrali, sanayi ve trafik/ulaşımdan kaynaklanmaktadır. Günümüzde trafik ve ulaşımın ait olan otomotiv imalat sanayi, büyük bir yakıt tüketicisi ve önemli bir hava kirliliği kaynağı haline gelmiştir. Bu nedenle karbon emisyonunun doğru ve etkin bir şekilde nasıl hesaplanacağı bir araştırma odağı haline gelmiştir (Tan ve diğ., 2010: 168). Hava kirlleticilerinin emisyonu, motor trafiği, sanayi, enerji santralleri, ticaret ve evsel yakıt kaynak gruplarına ayrılabilen farklı antropojenik süreçlerden kaynaklanmaktadır. Tüm bunlar arasında motorlu taşıt trafiği, özellikle şehirlerde hava kirliliğinin en önemli kaynak grubu olarak görünmektedir. Araştırmalar, motor trafiğinin mega şehirlerde önemli bir hava kirliliği kaynağı olduğunu göstermektedir. 1950'den bu yana, küresel araç filosu on kat büyümüştür ve önümüzdeki 20 ila 30 yıl içinde tekrar ikiye katlanacağı tahmin edilmektedir (Mayer, 1999: 4030). Araç sayılarında beklenen büyümenin büyük bir kısmının gelişmekte olan ülkelerde ve Doğu Avrupa'da gerçekleşmesi muhtemeldir.

Hava kirliliğinin kaynakları çeşitli olup, doğal ve antropojenik olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Doğal kaynaklar arasında volkanik patlamalar, polenler, orman yangınları ve rüzgârla savrulan tozlar yer almaktadır; bu kaynaklar kükürt dioksit (SO_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve karbon monoksit (CO) gibi zehirli gazlar yaymaktadır. Antropojenik kaynaklar ise otomobil egzozları, endüstri faaliyetleri ve biyokütle yakma gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle otomobiller, hava kirliliğine en büyük katkıyı sağlayan araçlardır. Otomobiller, uçaklar ve lokomotifler gibi taşıma araçları, karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve nitrojen oksitler gibi başlıca kirleticilerin ana kaynaklarıdır. Fosil yakıtların ve odun gibi biyokütlelerin yanması, atmosfere karbondioksit, karbon ve kükürt dioksit salarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Sanayileşme ve kentleşme ise çevresel bozulmanın başlıca nedenleri olarak görülmektedir. Hava kirliliği, özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Literatürde, hava kirliliğine maruz kalmanın sağlık üzerindeki olumsuz etkileri yıllar boyunca araştırılmıştır ve bu etkiler solunum yolu hastalıkları (astım ve akciğer fonksiyonlarında bozulma), kardiyovasküler hastalıklar, gebelik sonuçları ve ölümler gibi sağlık sorunlarını içermektedir. Hava kirliliği ayrıca, görünürlüğün azalması, ötrofikasyon, asit yağmurları, ozon tabakasının incilmesi ve küresel iklim değişikliği gibi çevresel etkilere de yol açmaktadır (Sonwani ve Maurya, 2018: 114-115).

Hava kirliliği, birçok gelişmekte olan ülkenin kentlerinde ciddi bir sorun teşkil etmektedir. En zararlı hava kirleticilerden biri olan ince partikül madde (PM), bu şehirlerde genellikle sanayileşmiş ülkelere kıyasla birkaç kat daha yüksek oranda bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde hava kirliliğinin en büyük insani ve ekonomik sonuçları, hastalık insidansındaki artış ve erken ölümlerdir. Bu ülkelerde, hava kirliliğinin ciddiyetinin birincil göstergesi olarak insan sağlığı üzerindeki etkiler öne çıkmakta olup, kontrol altına alınması gereken başlıca kentsel kirleticiler arasında kurşun, ince partikül madde ve ozon yer almaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde hava kirliliğinin olumsuz etkileri, genellikle orantısız bir şekilde yoksul kesimlere daha fazla zarar vermekte ve temiz suya erişim ve sanitasyon eksikliği gibi diğer çevresel sorunlarla birleşmektedir. Kentsel hava kirliliğinin etkileri hem sanayileşmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde belgelenmiş olsa da, politika geliştirme sürecinde mobil kaynakların (arabalar, kamyonlar, otobüsler, motosikletler), sabit kaynakların (enerji santralleri, sanayi tesisleri, evler)

ve diğer kaynakların (inşaat, yol tozları, biyokütle yanması, toz fırtınaları) göreceli katkılarının anlaşılması önemlidir.

Ulaşım ve ulaşım yakıt tedarik sektörlerinde, mobil kaynaklı emisyonların azaltılmasına yönelik etkili stratejiler oluşturulmalı ve birçok aktör bu sürece dahil edilmelidir. Bu stratejilerin uzun vadede etkili ve sürdürülebilir olması için, düzenleyici ve politika araçları bireyleri ve firmaları mevcut araçlardan kaynaklanan kirliliği azaltmaya ve yeni, daha temiz teknolojiler ile yakıtların benimsenmesindeki gecikmeleri önlemeye teşvik etmelidir. Kamu ve özel sektör kuruluşları, ulaşım emisyonlarını kontrol etmeye yönelik önlemleri desteklemek ve bu önlemlerin etkinliğini değerlendirmek için gerekli kaynaklar ve becerilerle donatılmalıdır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, müdahaleler diğer acil ihtiyaçlar göz önüne alındığında maliyet etkin ve karşılanabilir olmalıdır.

Kentsel hava kirliliğinin kontrol altına alınmasına yönelik çeşitli politikalar ve stratejiler şunlardır; tüketilen birim yakıt başına emisyonların azaltılması (daha temiz yakıtlar, yakıt standartlarının korunması, alternatif yakıtlar, araç teknolojisi, araç değiştirme stratejileri), hareket birimi başına yakıt tüketiminin azaltılması (yakıt verimliliğini artıran araç teknolojileri, motorsuz taşımacılığın teşvik edilmesi, toplu taşımacılığın rolünün artırılması), destekleyici mali çerçevelerin tasarlanması (emisyon, yakıt ve taşıt vergilendirmesi, kamu harcama politikaları) ve destekleyici kurumsal çerçevelerin oluşturulması (Gwilliam, Kojima ve Johnson, 2004: 23-70).

Batı Avrupa ve Kuzey Amerika şehirlerinde kömür yanmasından kaynaklanan isli duman sorunları büyük ölçüde çözüldükten sonra ulaşım ilk olarak önemli bir hava kirliliği kaynağı haline gelmiştir. O zamandan beri, karayolu, hava, demiryolu ve su taşımacılığından kaynaklanan emisyonlar, asit birikiminden, stratosferik ozon tabakasının incelmelerinden ve iklim değişikliğinden kısmen sorumlu olmuştur. Son zamanlarda, karayolu trafiği egzoz emisyonları, kentsel hava kalitesinin insan sağlığı ve troposferik ozon üretimi üzerindeki etkileri hakkında çok fazla endişe kaynağı olmuştur (Colville ve diğ., 2001: 1-3). Amerika Birleşik Devletleri'nde sera gazı emisyonlarının yaklaşık %28'i ulaşım sektöründen kaynaklanmakta olup, ve bu emisyonların %62'si hafif ticari araçlardan kaynaklanmaktadır (Jenn, Azevedo ve Michalek, 2016).

2013 yılında, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirlenen standartlara göre, dünya genelinde 3,5 milyardan fazla insan, sağlıklı hava kalitesine sahip

lkelerde yaşamaktaydı. Kötü hava kalitesinin, küresel ölümlerin yaklaşık %10'una tekabül eden 5,52 milyon ölümün başlıca nedeni olduğu tahmin edilmektedir (Ma, Graham ve Stettler, 2021: 1-2). Hava kirletici emisyonlarının önde gelen kaynaklarından biri olan ulaşım sektörü, daha katı araç emisyon standartları gibi hava kirliliğini azaltmaya yönelik çeşitli önlemler uygulamaya başlamıştır. Ayrıca, toplu taşıma sistemlerinin, özel araç taşımacılığına kıyasla daha sürdürülebilir olduğu ve hava kalitesinin iyileştirilmesi de dahil olmak üzere önemli çevresel ve toplumsal faydalar sağladığı düşünülmektedir. (Ma ve diğ., 2021: 1-2).

Ulaştırma sektörünün hava kirliliği üzerindeki etkileri bağlamında ele alınması gereken bir diğer önemli husus, yakıt tüketimindeki artış eğilimidir. Dünya nüfusunun artması ve ekonomik büyümenin sürmesiyle birlikte, enerji talebi de sürekli olarak artmaktadır. Özellikle kişi başına düşen gelirin hızla yükselmesi ve buna bağlı olarak yaşam standartlarının iyileşmesi, ulaşım sektöründen gelen enerji talebinin artışında önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum, sektördeki enerji tüketiminin hava kirliliği üzerindeki olumsuz etkilerini daha da artırmaktadır (Eren ve Doğan, 2017: 346).

Petrol ve ham petrol gibi fosil yakıtlar, günümüzde dünya genelinde en yaygın kullanılan enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, Doğan ve Erol (2019) 'a göre, mevcut petrol rezervlerinin yaklaşık 50 yıl içinde tükenmesi öngörülmektedir. Paris Anlaşması, hava kirliliğini azaltmak amacıyla 2030 yılına kadar fosil yakıt ve petrol kullanımını önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir. Petrol, küresel ekonomiler üzerinde doğrudan etkiye sahip bir enerji kaynağıdır. Ancak önümüzdeki yıllarda, ekonomik büyüme, politik kararlar ve teknolojik gelişmelerin, alternatif yakıtların kullanımını artırarak enerji sektörünü yeniden şekillendirmesi beklenmektedir. Petrol kullanımının neden olduğu çevresel sorunlar çeşitli aşamalarda ortaya çıkmaktadır; çıkarma ve rafinasyon süreçlerinde atmosfere salınan kirleticiler, petrol taşıma kazalarının neden olduğu kirlilik ve nihai kullanıcıların yarattığı emisyonlar başlıca sorunlar arasında yer almaktadır. Ulaştırma sektörü, petrolün en büyük tüketici sektörlerinden biridir. Petrol ve türevleri, kara, deniz ve hava taşımacılığında yakıt olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, ulaştırma sektöründeki fosil yakıt kullanımını azaltmaya yönelik politikalar, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır (Sohail ve diğ., 2021).

Son yıllarda, otomobil endüstrisi, toplumun karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonları azaltmaya yönelik artan talepleri nedeniyle bir türbülans ve değişim dönemi yaşamaktadır (Köhler ve diğ., 2013: 177). Son yirmi yılda, iklim değişikliği ve atmosferdeki sera gazı emisyonlarının azaltılması, küresel düzeyde büyük bir öncelik haline gelmiştir. Karbondioksit emisyonlarının önemli bir kısmı, fosil yakıtların kullanıldığı karayolu taşımacılığı faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Ala ve diğ., 2020: 1-3). Bu alandaki karbondioksit emisyonları, 1990 yılına kıyasla 2013 yılında %50 oranında artış göstermiştir. Veriler, 1970'lerden bu yana emisyonların iki katından fazla arttığını ve 2000'den itibaren yaklaşık %40'lık bir artış yaşandığını ortaya koymaktadır. Bu artışların büyük ölçüde ekonomik üretimdeki büyümeden kaynaklandığı söylenebilir. 2013 ile 2016 yılları arasında CO₂ emisyonlarında nispeten bir durağanlık gözlemlense de, 2017 yılında emisyonlar yeniden artışa geçerek %1,5 oranında yükselmiştir. 2018 yılında ise toplam enerji tüketimi, 2010 yılına göre neredeyse iki katına çıkmış ve CO₂ emisyonları bir yıl içinde %1,7 oranında artarak yeni bir olumsuz rekora ulaşmıştır. Tüm yakıt türlerine olan talep artmıştır; özellikle doğalgaz, enerji piyasasında "birinci tercih" yakıt olarak kabul edilmekte olup, talebi %45 oranında artış göstermiştir (Ala ve diğ., 2020: 1-3). Bu veriler, daha yüksek enerji tüketiminin endişe verici sonuçlar doğurduğunu göstermektedir. Özellikle kömürle çalışan elektrik santralleri, enerjiyle ilgili tüm CO₂ emisyonlarının %30'unu oluşturarak bozulmanın ana nedenlerinden biri olmaya devam etmektedir. Asya'da Çin ve Hindistan, CO₂ emisyonlarının ana üreticileri olarak öne çıkmakta ve ABD ile birlikte küresel emisyon artışının %85'ini oluşturmaktadır (Ala ve diğ., 2020: 1-3). Buna karşılık, Almanya, Japonya, Meksika, Fransa ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde ise kirlilik seviyelerinde azalma gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, küresel enerji ve çevre sorunlarının çözümü için acil bir değişim gereklidir. Ancak, çeşitli sosyo-politik faktörler, sürdürülebilir enerji kaynaklarının ve çevre dostu ulaşım araçlarının yaygınlaşmasını engellemektedir. Bu sorunların üstesinden gelmenin potansiyel bir yolu, elektrikli araçların kullanımının teşvik edilmesi olabilir. Elektrikli araçlar, fosil yakıtlara dayalı ulaşım sistemlerine sürdürülebilir bir alternatif sunarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayabilir (Ala ve diğ., 2020: 1-3).

Diğerlerinin yanı sıra ince partikül madde, en zararlı hava kirleticilerinden biri olarak kabul edilmektedir. PM, "partikül madde" anlamına gelir ve havada asılı

duran küçük katı veya sıvı parçacıkları ifade eder. Hava kirliliği ve insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olan PM, farklı boyutlarına göre sınıflandırılır, çünkü farklı boyutlardaki partiküller solunum sistemine farklı derinliklerde nüfuz edebilir. PM'nin iki ana türü vardır:

PM10: Çapı 10 mikrometre veya daha küçük olan partiküller. Bu daha büyük partiküller solunabilir, ancak çoğunlukla burun ve boğazda tutulur.

PM2.5: Çapı 2.5 mikrometre veya daha küçük olan ince partiküller. Bu partiküller akciğerlere kadar ulaşabilir ve hatta kan dolaşımına girebilir, bu da onları daha zararlı hale getirir. PM2.5, kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunları ile ilişkilendirilir.

Partikül madde, araç emisyonları, endüstriyel süreçler, yakıtların yanması gibi insan kaynaklı faaliyetlerden ve doğal kaynaklardan (toz ve orman yangınları gibi) kaynaklanabilir (Paisi ve diğ., 2024).

Bu bağlamda, aşağıdaki tablo Türkiye dahil bazı ülkelerdeki PM seviyeleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Tablo 3.2. Avrupa'da PM2.5 ve Karbon Aerosollerinin Yıllık Ortalama Konsantrasyonları

Ülke	Nüfus Ağırlıklı Ortalama PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nüfus Ağırlıklı Ortalama Antropojenik Katkı PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Almanya	13.9	2.1
Arnavutluk	14.5	1.9
Avusturya	14.2	2.3
Belarus	10.1	1.5
Belçika	15.6	2.6
Birleşik Krallık	10.6	1.6
Bosna-Hersek	18.4	3.5
Bulgaristan	13.6	2.1
Danimarka	10.8	1.5
Estonya	9.6	1.5
Finlandiya	8.2	1.3
Fransa	12.1	2.0
Hollanda	13.0	1.8
Hırvatistan	17.9	3.6
Karadağ	13.4	1.7
Kuzey Makedonya	14.9	2.2
Kıbrıs	13.8	1.3
Letonya	11.1	1.9
Lihtenştayn	18.0	3.8
Litvanya	11.9	2.1
Lüksemburg	15.8	2.6

Tablo 3.2. (Devam)

Macaristan	17.1	3.7
Malta	12.5	1.3
Moldova	11.0	2.0
Norveç	6.2	0.6
Polonya	17.5	3.9
Portekiz	9.5	1.3
Romanya	14.6	2.8
Slovakya	15.5	2.5
Slovenya	17.4	3.1
Sırbistan	20.8	3.8
Türkiye	18.6	3.3
Ukrayna	10.4	1.6
Yunanistan	14.1	1.8
Çek Cumhuriyeti	19.3	4.2
İrlanda	7.1	0.8
İspanya	9.3	1.4
İsveç	8.0	1.0
İsviçre	14.1	2.2
İtalya	16.5	2.9
İzlanda	3.2	0.1

Kaynak: (Paisi ve diğ., 2024)

Bu Tablo, 2021 yılı itibarıyla Avrupa ülkelerindeki PM2.5 (partikül madde) ve antropojenik katkı (insan kaynaklı kirleticiler) konsantrasyonlarının nüfus ağırlıklı ortalamalarını sunmaktadır. PM2.5, hava kirliliği ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileriyle bilinir ve bu tablodaki değerler, her ülkede yaşayan nüfusun maruz kaldığı ortalama PM2.5 konsantrasyonunu yansıtmaktadır.

Tabloya göre, Sırbistan ($20.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Çek Cumhuriyeti ($19.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Bosna-Hersek ($18.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gibi ülkeler, nüfus ağırlıklı ortalama PM2.5 değerlerinde en yüksek seviyelere sahiptir. Bu ülkelerde hava kirliliği ciddi bir sorun olarak öne çıkmaktadır ve halk sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabilecektir. Öte yandan, İzlanda ($3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Norveç ($6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve İrlanda ($7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gibi ülkeler en düşük PM2.5 konsantrasyonlarına sahip olup, bu da daha temiz hava koşullarını göstermektedir.

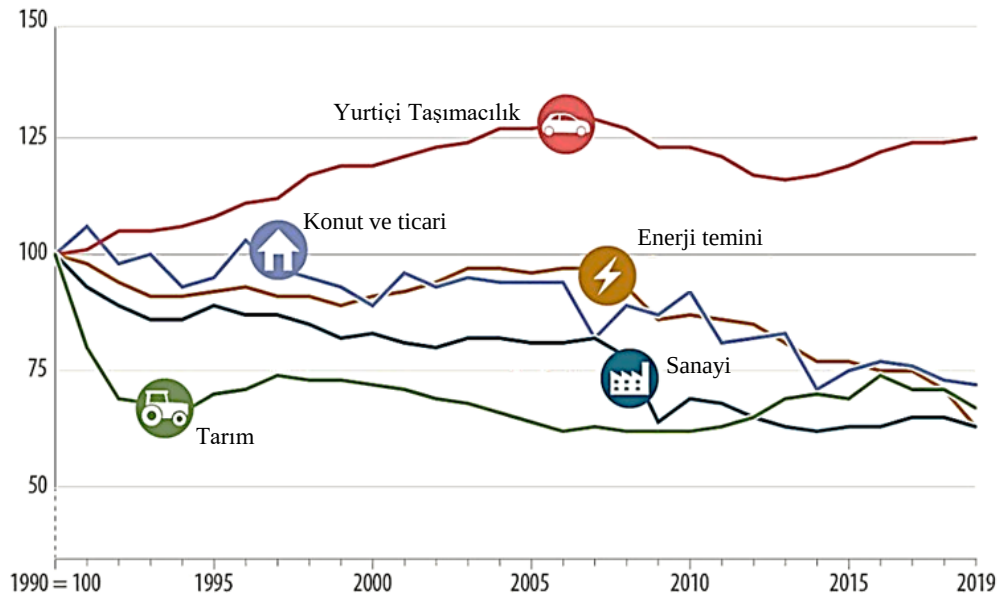
Antropojenik katkı, insan faaliyetlerinden kaynaklanan PM2.5 seviyelerini ifade eder. Polonya ($3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Çek Cumhuriyeti ($4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Lihtenştayn ($3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gibi ülkelerde, insan kaynaklı kirleticilerin katkısı oldukça yüksektir. Bu ülkelerde sanayi, ulaşım ve diğer insan faaliyetleri önemli bir hava kirliliği kaynağıdır. Buna karşılık, İzlanda ($0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Norveç ($0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gibi ülkelerde

bu katkı çok daha düşüktür, bu da insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirliliğin nispeten az olduğunu göstermektedir.

Türkiye, nüfus ağırlıklı ortalama PM2.5 değerinde 18.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile üst sıralarda yer almakta ve antropojenik katkı 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile oldukça yüksektir. Bu da Türkiye'de hava kirliliğinin önemli bir sorun olduğunu ve insan faaliyetlerinin bu kirliliğe ciddi katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum, hava kalitesini iyileştirmek için daha fazla önlem alınması gerektiğine işaret eder.

Nüfus ağırlıklı ortalama PM2.5, havadaki PM2.5'in (2.5 mikrometre veya daha küçük çapta partikül madde) ortalama konsantrasyonunu ifade eder ve farklı bölgelerde yaşayan nüfusun maruziyetine dayanarak hesaplanır. Bu hesaplama, daha kalabalık nüfuslu bölgelere daha fazla ağırlık vererek, insanların deneyimlediği gerçek hava kalitesini yansıtır; basit bir coğrafi ortalamadan daha gerçekçidir. Nüfus ağırlıklı ortalama PM2.5 genellikle sayısal olarak ifade edilir. Bu, PM2.5'in konsantrasyonunu mikrogram/metreküp ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) cinsinden gösterir.

Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonları daha iyi analiz edebilmek ve diğer sektörlerle karşılaştırabilmek için aşağıdaki görselin incelenmesi faydalı olacaktır.



Şekil 3.2. Sektörlere Göre AB Emisyon Düzeylerindeki Değişim (CO2 Eşdeğeri) (Europarl, 2023)

Bu resim, 1990'dan 2019'a kadar Avrupa Birliği'nde (Birleşik Krallık hariç) sektörel bazda CO2 eşdeğeri emisyon değişimlerini göstermektedir. Veriler, özellikle

yurtiçi ulaşımda, emisyonların 2005'e kadar artış gösterdiğini ve sonrasında yüksek seviyelerde kaldığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, enerji arzı ve sanayi emisyonlarında belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Tarım sektörü ise en küçük değişimi göstermektedir. Genel olarak ulaştırma, 2019 yılında AB'nin toplam emisyonlarının yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır ve sera gazı emisyonları açısından en çok artış gösteren sektör olarak öne çıkmaktadır.

3.3. Türkiye'de Hava Kirliliği ve Halk Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Türkiye'de hava kirliliği, özellikle ince partikül (PM_{2.5}) kirliliği, halk sağlığı açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. 2019 verilerine göre, her kişinin yıllık ortalama PM_{2.5} maruziyeti 21.6 µg/m³ olarak kaydedilmiştir ve bu, Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği kılavuz değerin 4.3 katı üzerinde bir seviyeye işaret etmektedir. Bu durum, Türkiye'de her 100.000 kişide 68 ölüme neden olmuş ve ülkede toplamda 57.000 ölüm ince partikül kirliliği ile ilişkilendirilmiştir (UNEP, 2024).

PM_{2.5} kirliliği, tip 2 diyabet, trakea, bronş ve akciğer kanseri, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), felç, iskemik kalp hastalığı, alt solunum yolu enfeksiyonları ve yenidoğan hastalıkları gibi pek çok ciddi sağlık sorununun temel nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (UNEP, 2024).

Türkiye, hava kirliliği ile mücadele konusunda önemli adımlar atmış ve belirlenen dokuz hedeften sekizini başarıyla yerine getirmiştir. Bu hedefler arasında temiz üretim teşvikleri, araç emisyon standartları (Euro 4 veya daha üstü), dizeldeki kükürt seviyesinin azaltılması, konutlarda temiz pişirme ve ısınma teşvikleri, sürdürülebilir tarım uygulamaları, hava kalitesi yönetim stratejileri, hava kalitesi izleme ve hava kalitesi standartları yer almaktadır (UNEP, 2024).

3.4. Paris Anlaşması ve Türkiye'nin İklim Değişikliği ile Mücadeledeki Rolü

Paris Anlaşması, 2015 yılında kabul edilen ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir dönüm noktası olan uluslararası bir antlaşmadır. Anlaşmanın temel amacı, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin altında tutmak, ayrıca sıcaklık artışını 1.5°C ile sınırlamak için çaba göstermektir. Anlaşma, küresel sera gazı emisyonlarının azaltılmasını teşvik etmek, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak

ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak amacıyla 196 taraf ülke tarafından imzalanmıştır (UNFCCC, 2024).

Paris Anlaşması kapsamında, ülkeler ulusal olarak belirlenmiş katkılar (NDC) sunarak emisyon azaltım hedeflerini belirlemekte ve bu hedefler her beş yılda bir gözden geçirilerek artan bir hedef iddiasıyla güncellenmektedir. Anlaşma, gelişmekte olan ülkelere finansman ve teknoloji transferi desteği sağlanmasını özellikle vurgulayarak bu ülkelerin iklim hedeflerine ulaşmalarına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Anlaşmanın esnekliği, ülkelerin kendi ulusal koşullarına göre hedeflerini belirlemelerine imkan tanımakta ve "ortak ancak farklılaştırılmış sorumluluklar" ilkesine dayanmaktadır. Ayrıca, Geliştirilmiş şeffaflık erevesi (ETF) ile ülkelerin ilerlemelerini izleme ve hesap verebilirliği sağlama amacı taşınmaktadır. Bu çerçevede raporlama yükümlülükleri 2024 yılından itibaren başlamaktadır (UNFCCC, 2024).

Türkiye, 2021 yılında Paris Anlaşması'nı resmen onayladı ve iklim değişikliği ile mücadelede daha somut adımlar atma kararı aldı. Anlaşmanın onaylanmasının ardından Türkiye, 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşma taahhüdünde bulundu. Bu taahhüt, özellikle enerji, ulaşım ve sanayi sektörlerinde yeşil dönüşümü hızlandıracak politikalar geliştirmeyi ve uygulamayı gerektirmektedir. Paris Anlaşması'nın onaylanması, Türkiye'nin uluslararası iklim değişikliği politikalarına daha aktif katılım sağlayarak küresel çabalara uyumlu bir şekilde hareket etmesine olanak tanıyacaktır. Türkiye'nin Paris Anlaşması kapsamındaki ulusal katkı beyanı (NDC), emisyonların azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması gibi hedefleri içermektedir. Türkiye'nin bu hedeflere ulaşabilmesi için önümüzdeki yıllarda daha kapsamlı bir iklim politikası geliştirmesi ve yeşil finansman kaynaklarını artırması gerektiği belirtilmektedir (UNFCCC, 2024).

3.5. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve İklım Eylemi

Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA'lar), yoksulluk, eşitsizlik, iklim değişikliği, çevresel bozulma, barış ve adalet gibi küresel zorlukları

2030 yılına kadar ele almayı amaçlamaktadır. 17 SKA, çeşitli sektörlerdeki hedefleri kapsayarak, sürdürülebilir kalkınmaya bütüncül bir yaklaşım sağlamaktadır. Temel hedefler arasında yoksulluğun sona erdirilmesi, kaliteli eğitime erişimin sağlanması, toplumsal cinsiyet eşitliğinin sağlanması, temiz enerjiye erişimin teşvik edilmesi ve iklim değişikliğiyle mücadele için acil eylem çağrısında bulunulması yer almaktadır. Bu hedefler, kapsayıcı ve sürdürülebilir küresel kalkınmanın sağlanması için uluslararası iş birliği ve ortaklıkların önemini vurgulamaktadır (UNDP, 2024).

Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, çevrenin korunması ile ekonomik ve sosyal kalkınmanın dengelenmesi gerektiğine işaret eden entegre yaklaşımların gerekliliğini vurgular. SKA 13 (İklim Eylemi), doğrudan Paris Anlaşması'nın hedefleriyle bağlantılı olup, SKA 3 (Sağlıklı Bireyler) ise hava kirliliğinden kaynaklanan hastalıkların azaltılması gerekliliğine dikkat çekmektedir. Benzer şekilde, SKA 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji) ve SKA 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar), temiz enerjiyi ve sürdürülebilir kentsel gelişmeyi teşvik eder ve her ikisi de Paris Anlaşması ile uyumlu olup hem hava kirliliğinin hem de sera gazı emisyonlarının azaltılması için kritik öneme sahiptir. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik ve sosyal ilerlemenin sağlanması için geniş bir çerçeve sunmaktadır (UNDP, 2024).

3.6. Ulaşımda Geçici Değişiklikler

Artan kentleşme ve nüfusun şehirlere yönelmesi, sürdürülebilir ulaşımı en önemli gereksinimlerden biri haline getirmektedir. Sürdürülebilir ulaşım, insanların ve malların en verimli, güvenli, kesintisiz ve ekolojik bir şekilde taşınmasını amaçlamaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik, çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirirken mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçları arasında denge kurmayı ifade eder. Ancak sürdürülebilir ulaşım sadece elektrikli araçlarla sınırlı değildir; makineden makineye (M2M) uygulamalar, konum farkındalığına sahip araçlar ve cihazlar, paylaşım imkânları sunan sistemler de bu kapsama dahildir. Buna ek olarak, otobüsler, trenler, uzaktan çalışma ve çeşitli yerel işlemler de sürdürülebilir ulaşımın unsurları arasında yer almaktadır (Todorovic ve Simic, 2018: 538).

Sürdürülebilir ulaşım, otomotiv sistemlerinin bilgi teknolojileri, altyapı, hizmetler, finans ve kesintisiz iletişim ağlarıyla entegre olduğu ve bu entegrasyonun yeni iş modellerine dönüştüğü bir mobilite anlayışını ifade eder. Bu entegrasyon, daha esnek ve maliyet açısından verimli ulaşım seçenekleri sunmayı mümkün

kılmaktadır. Bu esneklik, bazı durumlarda içten yanmalı motorların kullanımını gerektirebilse de, ideal olarak bu kullanım minimum seviyede tutulmalı ve çevre dostu elektrik kaynakları büyük ölçüde teşvik edilmelidir.

Sürdürülebilir ulaşımın hayata geçirilmesi, sadece teknolojik yeniliklerle sınırlı olmayıp, düşünce tarzı ve bakış açısında köklü değişiklikler gerektirir. Bu değişimler tüm sektörleri kapsar ve toplumsal yaşamın her alanına nüfuz eder. Elektrikli araçların maliyetlerinin düşmesiyle birlikte bu araçların benimsenme oranı artacak, dolayısıyla daha geniş kitleler tarafından erişilebilir hale gelecektir. Aynı zamanda, araç paylaşımının yaygınlaşması, toplam araç sayısının azalmasına katkıda bulunacaktır. Yakın gelecekte, hem yolcu hem de ticari amaçla kullanılan otonom araçlar, yollarımızda daha düşük işletme maliyetleri, azalan trafik sıkışıklığı ve kaza oranları ile yer alacaktır.

Ulaşımda yaşanan bu dönüşümlere paralel olarak, enerji sektöründe de önemli değişiklikler yaşanmaktadır. Geçmişte çevre kirliliğine neden olan büyük merkezi elektrik santralleri giderek terk edilmekte ve enerji üretimi, depolama ve dağıtım süreçleri son kullanıcılara daha yakın ve merkeziyetsiz bir yapıya bürünmektedir. Kömür gibi kirletici kaynaklar yerine daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak temiz enerji üretilmeye başlanmıştır. Enerji süreçlerinin otomatikleştirilmesi ve hem operatörler hem de tüketiciler tarafından kontrol edilebilir hale gelmesi, yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır.

Farklı enerji formlarının yavaş yavaş elektriğe dönüştürülmesi, elektrikli araçların yükselişiyle mobilite paradigmasında köklü bir değişimi beraberinde getirmektedir. Bir alandaki değişim, diğer alanlarda da dönüşüm yaratarak sürekli yeni inovasyonların önünü açmaktadır. Bu değişimler, zamanında uygulanan politikalar ve ilerici düşünce yapıları ile desteklendiğinde, akıllı şehirlerin inşasına katkı sağlayarak bu şehirlerde sürdürülebilir bir yaşamı mümkün kılmaktadır.

Elektrikli araçlar, iklim ve çevre hedeflerine ulaşılmasına önemli katkılarda bulunacaktır, ancak bu araçların akıllı şehirlerin altyapısına tam anlamıyla entegre edilmesi gerekmektedir. Elektrikli araçların bataryaları, yalnızca araçları çalıştırmak için değil, aynı zamanda yeni hizmetler yaratmak amacıyla da kullanılabilir. Şarj istasyonlarının dijital olarak kontrol edilmesi, akıllı binalarla entegre edilmesi ve paylaşımlı sürüş ile otonom araçların yaygınlaşmasına göre konumlandırılması büyük önem taşımaktadır.

Elektrikli mobiliteye geçiş, yerel altyapı, enerji üretimi ve dağıtımı ile yeni hareketlilik biçimlerinin nasıl uygulanacağı konusunda birçok paydaşın iş birliğini gerektirmektedir. Farklı yönetim seviyelerinde geliştirilecek politikalar, bu geçiş sürecini desteklemeli ve elektrikli taksiler ile toplu taşıma araçlarında elektrikli araç kullanımını teşvik etmelidir. Elektrikli araçların yoğun kullanımı, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir fırsat sunmaktadır. (Todorovic ve Simic, 2018: 538).

3.7. Yeşil Ulaşıma Doğru

Sera gazı emisyonlarını ve kirliliği azaltmaya yönelik iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Her iki yöntem de benzinsiz sürüş esasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar, günümüzde yoğun araştırma ve geliştirme sürecinde olan iki temel teknolojiye dayanmaktadır; yakıt hücreleri ve lityum-iyon pilli elektrikli araçlar. Aşağıda bu teknolojiler ayrıntılı olarak ele alınmaktadır (Todorovic ve Simic, 2018: 538-540).

3.7.1. Yakıt Hücresi Teknolojisi

Yakıt hücreleri, kimyasal reaksiyonlar yoluyla elektrik üreten bir teknolojidir. Bu hücreler, elektrolit tarafından taşınan ve katalizörler tarafından hızlandırılan elektriksel parçacıklar sayesinde anot ve katot olmak üzere iki elektrot arasında elektrik üretir. Yakıt hücreleri, temel yakıt olarak hidrojene ve oksijene ihtiyaç duyar ve bu hücrelerin istiflenmesi ile doğru akım elde edilir. Yakıt hücrelerinin alkali (AFC), erimiş karbonat (MCFC), fosforik asit (PAFC), proton değişim membranı (PEM) ve katı oksit (SOFC) olmak üzere farklı türleri bulunmaktadır (Todorovic ve Simic, 2018: 538-540).

3.7.2. Ekonomik zm Olarak Bataryalı Elektrikli Araçlar

Bataryalı elektrikli araçların başlıca avantajlarından biri, iki nokta arasındaki seyahat için gereken enerji açısından daha yüksek enerji verimliliği sunmalarıdır. Bu avantaj, bataryalar ile yakıt hücreleri arasındaki elektrokimyasal reaksiyon farklılıklarına dayanmaktadır. BEV teknolojisinin yakıt hücreli araçlara kıyasla daha basit bir yapıya sahip olması, üretim maliyetlerinin önemli ölçüde daha düşük olmasını sağlamaktadır. Özellikle şehir içi ulaşımda kullanılan ve gece boyunca şarj edilebilen BEV'ler, ekonomik açıdan en uygun çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçlar ve farklı türleri, bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır (Todorovic ve Simic, 2018: 538-540).

Her iki teknolojinin de avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Yakıt hücreleri, dış reaktanlar kullanarak çalışır ve bu reaktanların ikmali, bataryalı elektrikli araçlara kıyasla çok daha hızlı gerçekleşir. Benzinle karşılaştırıldığında yakıt hücreleri daha az verimlidir, ancak lityum pillerle karşılaştırıldığında çok daha yüksek enerji yoğunluğuna ve özgül enerjiye sahiptir. Bataryalı elektrikli araçların en büyük dezavantajlarından biri, enerji kapasitelerinin ve menzillerinin geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla çok daha düşük olmasıdır. Bu bağlamda, yakıt hücreli araçlar içten yanmalı motorlu araçlara göre biraz daha düşük bir menzile sahip olsa da daha fazla enerji taşıyabilme kapasitesine sahiptir.

Bataryalı elektrikli araçların bir diğer önemli dezavantajı ise şarj sürelerinin uzunluğudur. Örneğin, en büyük pil paketine ve 120kW süper şarj cihazına sahip Tesla Model S'nin tam şarj olması için 40 dakikadan fazla süreye ihtiyaç vardır. Genellikle, şarj süresi bataryanın %80'ine kadar olan kısmını kapsar, çünkü son %20'lik kısmın şarj edilmesi çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu durum, yakıt hücreli araçlara önemli bir avantaj sağlar, çünkü bu araçların yakıt ikmali sadece birkaç dakika sürmektedir (Todorovic ve Simic, 2018: 538-540).

Yakıt hücreli araçların diğer avantajları arasında, standartlaştırılmış yakıt ikmali (SAE J2601 standardı), düşük sıcaklıklarda yüksek güvenilirlik, çok düşük gürültü seviyesi ve çevresel etkilerin az olması yer almaktadır (Todorovic ve Simic, 2018: 538-540). Bataryalı elektrikli araçlar ise ABD'de alternatif akım (AC) ve iki farklı doğru akım (DC) şarj sistemi ile Tesla'ya özel bir şarj altyapısına sahiptir. Avrupa ve Çin'de ise farklı pil şarj standartları uygulanmaktadır. Her ne kadar Kaliforniya ve diğer bazı bölgelerde daha fazla şarj istasyonu inşa edilmesi planlansa da, hidrojen şarj altyapısının gelişimi hâlâ gecikmektedir. Bu altyapının gelişmemiş olması ve pahalı katalizörlerin kullanımı, yakıt hücreli araçların başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, yakıt hücreli araçlar, hızlı yakıt ikmali, yüksek enerji yoğunluğu ve çevresel sürdürülebilirlik gibi avantajlar sunarken, altyapı eksiklikleri ve yüksek üretim maliyetleri gibi önemli zorluklarla karşı karşıyadır.

4. ELEKTRİKLİ ARAÇ VE ÇEŞİTLERİ

4.1. Elektrikli Araçların Tanıtımı

Elektrikli araç, aracın gittiği millerin en azından bir kısmında elektrikle çalışabilen bir araçtır. Bu araçlar hem plug-in hibritleri hem de tamamen elektrikli araçları içermektedir (Xing, Leard ve Li, 2021: 1). Elektrikli araç elektrikle çalışmaktadır. Bir pilde depolanan enerjiyi kullanan elektrikli tahrik motorları tarafından desteklenmektedir. İçten yanmalı motor, yakıt deposu, yakıt pompası veya yakıt hattı yoktur. Pili şarj etmek için, şarj cihazına takılması gerekmektedir. Tamamen elektrikle çalıştığı için egzoz emisyonu yaymaz (Muzir ve diğ., 2022: 6). Elektrikli araçlar genel olarak iki gruba ayrılmaktadır: Bataryalı elektrikli araçlar ve hibrit elektrikli araçlar (Negarestani, Ghahnavieh ve Mobarakeh, 2012: 1).

Son yıllarda, elektrikli araçların tahrik cihazlarından en az birinin elektrik motoru olduğu araçlara atıfta bulunduğu konusunda bir fikir birliği oluşmaktadır. Böylece, enerji kaynağı sadece piller ve tahrik cihazı sadece bir elektrik motoru olduğunda, pilli veya bataryalı elektrikli araçlar olarak adlandırılmaktadır. Enerji kaynağı, piller ile birlikte yakıt hücrelerini içerdiğinde ve tahrik cihazı sadece bir elektrik motoru olduğunda, bunlar yakıt hücresi elektrikli araç veya basitçe yakıt hücresel araç olarak adlandırılmaktadır. Hem piller hem de akaryakıt enerji kaynakları ve hem motor hem de elektrik motoru tahrik cihazları iken, hibrit elektrikli araç veya kısaca hibrit araç olarak adlandırılmaktadır (Chau ve Li, 2014: 2).

Thomas (2009), makalesinde, ulaşım sektörünün neden olduğu iklim değişikliği, kentsel hava kirliliği ve petrol bağımlılığı tehditlerini hafifletmek için önerilen çoklu alternatif araç ve yakıt seçeneklerini karşılaştırmaktadır. Hibrit elektrikli araçlar, benzin, dizel yakıt, doğal gaz ve etanol ile çalışan plug-in hibritlerin yanı sıra tüm elektrikli araçlar dahil olmak üzere çeşitli alternatif ulaşım seçeneklerinin uygulanmasının toplumsal faydalarını simüle etmek için son on yılda geliştirilen kapsamlı bir bilgisayar modeli kullanılmaktadır. Bu simülasyonlar, benzinli araçlara kıyasla yerel hava kirliliği, sera gazı kirliliği ve petrol tüketiminde azalma açısından her aracın veya yakıt kombinasyonunun 100 yıllık bir zaman diliminde toplumsal faydalarını karşılaştırmaktadır. Model, hibrit ve plug-in hibrit gibi kısmen elektrikli araçların, özellikle selülozik etanol gibi biyoyakıtlar büyük miktarda benzinin yerini alabiliyorsa, sera gazı kirliliğini ve petrol tüketimini önemli

ölçüde azaltacağını göstermektedir. Ancak sera gazlarında 1990 seviyelerinin altında %80'lik bir azalma elde edeceksek, çoğu petrol ithalatını ve çoğu kentsel hava kirliliğini ortadan kaldıracaksak, o zaman toplumun bir tür yakıt hücresi ve pil kombinasyonu ile çalışan tamamen elektrikli araçlara geçmesi gerekmektedir (Thomas, 2009).

Gelecekte elektrikli araçların tahrik sistemlerinin geliştirilmesi, özellikle beş ana alana odaklanacaktır: araç menzili, araç maliyeti, pil değişim maliyeti, pil ömrü ve hızlı ve kolay şarj imkanı. Bu alanların büyük bir kısmı, akü sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalara odaklanmayı gerektirmektedir. Ayrıca, motor ve invertör geliştiricilerinin, geliştirme süreçlerinde araç menzilini artırmak için verimlilik iyileştirmelerine ve araç maliyetlerini düşürmek amacıyla maliyet azaltma çalışmalarına öncelik vermesi gerekmektedir. Elektrikli araç teknolojisinin gelecekteki başarısı, maliyetlerin düşürülmesi, enerji depolama kapasitesinin artırılması ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun sağlanması gibi alanlarda atılacak adımlara bağlıdır (Rajashekara, 1994: 903). Son dönemde otomotiv endüstrisinde gelişen elektrifikasyon trendi, sektörde büyük bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Elektrikli araç teknolojisinin doğru politikalar ve hükümet destekleri ile geliştirilmesi, bu teknolojinin geleceğini parlak hale getirecek ve elektrikli araçların gelecekteki gelişiminin odak noktası olmasını sağlayacaktır (Situ, 2009: 1).

4.2. Elektrikli Araçlar ve Fosil Yakıt Rezervlerinin Azalması

Son yıllarda fosil yakıt rezervlerinin miktarıyla ilgili farklı tahminler yayınlanmış ve bu kaynakların tükenmesi ya da azalması konusunda çeşitli iddialar öne sürülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik artan çabalara rağmen, fosil yakıtlar – ham petrol, kömür ve doğal gaz – hâlâ dünya enerji arzının temelini oluşturmaktadır. Todorovic ve Simic (2018)'in Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) dayandırdığı çalışmalarında, petrol üretiminin 2006 yılında günde 70 milyon varil ile zirveye ulaştığı ve önümüzdeki 25 yıl boyunca bu seviyenin 69 milyon varilin üzerine çıkmayacağı öngörülmektedir. 2035 yılına gelindiğinde ise, petrol üretiminin günlük 20 milyon varile kadar düşmesi beklenmektedir. Benzer bir projeksiyon, dünya kömür üretimi için yapılmış olup, üretimin 2011'de zirveye ulaşp kalıcı bir düşüşe geçeceği tahmin edilmektedir. Yüksek kaliteli kömür rezervlerinin tükendiği ve geriye sadece kazılması zor ve düşük kaliteli kömürlerin kaldığı ifade edilmiştir. 2050 yılına gelindiğinde, kömürden elde edilen enerji miktarının 2010

yılındakinin ancak yarısı kadar olacağı öngörülmektedir (Todorovic ve Simic, 2018: 535).

2017 yılı tahminlerine göre, dünya genelinde 1,7 trilyon varil petrol rezervi, 6.600 trilyon fit küp doğal gaz rezervi ve 861 trilyon ton kömür rezervi kalmıştır (Todorovic ve Simic, 2018: 535). Bu veriler, dünya genelindeki mevcut fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olduğuna işaret etmekte ve hükümetlerin, fosil yakıt tasarruflarını artıracak ve bu kaynakları yenilenebilir enerji ile ikame edecek politikaları hızla devreye sokmalarının zorunlu olduğunu göstermektedir.

Son birkaç on yılda elektrikli araçlara yönelik birçok tercih anketi gerçekleştirilmiştir. Elektrikli araç teknolojisi büyük ölçüde gelişmiş olmasına rağmen, yapılan anketlerin çoğu, menzil, fiyat, hızlanma, şarj altyapısının mevcudiyeti ve şarj süresi gibi özelliklere odaklanmakta ve katılımcılar bu özellikleri genellikle en önemli faktörler olarak değerlendirmektedir. Elektrikli araçların avantajlarına ek olarak, benzinli araçlardan elektrikli araçlara geçişi zorunlu kılan bir diğer önemli faktör, petrol kaynaklarının sınırlı olması ve hatta tükenme riskiyle karşı karşıya bulunmasıdır.(Noel ve diğ., 2019: 2).

4.3. Elektrikli Araçların Geçmişi

Tarihsel perspektifte, tekerleğin icadı insanlık tarihinde bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. İlk buharla çalışan taşıtın icadı, 17. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. 1672 yılı civarında, Çin'deki bir Cizvit misyonunun üyesi olan Ferdinand Verbiest, Çin İmparatoru için ilk buharla çalışan oyuncak aracı yapmıştır. Ancak, mal ve insan taşımaya yönelik buharla çalışan araçların geliştirilmesi, 18. yüzyılın sonlarında Nicolas-Joseph Cugnot tarafından gerçekleştirilmiştir. 1789'da, Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk otomobil patenti Oliver Evans'a verilmiştir. 1801'de ise, İngiliz mühendis Richard Trevithick, İngiltere'nin Camborne kentinde yollarda tam boyutlu bir buharlı araç kullanmıştır (Parag Jose ve Meikandasivam, 2017: 211-213).

19. yüzyıl, otomotiv endüstrisinde önemli bir gelişme dönemine sahne olmuştur. 1807'de François Isaac de Rivaz, hidrojenle çalışan ilk içten yanmalı motorlu aracı tasarlamıştır. Bu dönemde araç teknolojisine el frenleri, çok vitesli şanzıman, kornalar, daha gelişmiş direksiyon sistemleri ve dört tekerlekten çekiş gibi yenilikler eklenmiştir. 1886'da, Karl Benz tarafından geliştirilen ilk benzinle çalışan

otomobil (Benz Patent-Motorwagen) üretilmiş ve bu, otomotiv sektöründe ilk seri üretim aracın doğuşunu simgelemiştir. Ucuz araçların yaygınlaşmasıyla otomotiv sektörü hızla büyümüş, ancak bu büyümenin en büyük olumsuz etkisi çevreye olmuştur (Parag Jose ve Meikandasivam, 2017: 211-213).

Elektrikli araçların tarihi, 19. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır, ancak başlangıçta geniş kitleler arasında popüler olmamıştır. 1828'de Macar mühendis Ányos Jedlik, elektrik motoru ile çalışan bir model araba geliştirmiştir. 1834'te Thomas Davenport, kısa bir mesafede elektrikle çalışan bir araç üretmiştir. 1835 yılında Hollandalı Profesör Sibrandus Stratingh ve asistanı Christopher Becker, şarj edilemeyen pillerle çalışan küçük ölçekli bir elektrikli araç yapmıştır. Bilinen ilk elektrikli otomobil ise 1837'de İskoç kimyager Robert Davidson tarafından üretilmiştir. Elektrikli araçlar başlangıçta büyük ilgi görmüş olsa da, pillerin sık sık değiştirilmesi gerekliliği ve kısa ömürleri, bu araçlara yönelik olumsuz bir algı yaratmıştır. Bu durum, elektrikli araç sahipleri için ekonomik bir yük haline gelmiş ve elektrikli araçların gelişimi durma noktasına gelmiştir (Parag Jose ve Meikandasivam, 2017: 211-213).

Ancak 1859 yılında Fransız fizikçi Gaston Planté, şarj edilebilir kurşun-asit piller geliştirmiştir. 1881 yılında bir diğer Fransız bilim insanı Camille Alphonse Faure, bu pillerin kapasitesini önemli ölçüde artırarak endüstriyel ölçekte üretimlerini mümkün kılmıştır. Bu gelişmelerle birlikte elektrikli araçlara olan ilgi yeniden canlanmıştır. Günümüzde ise, elektrikli araçların dünya genelinde hızla gelişmekte olduğunu görmekteyiz (Parag Jose ve Meikandasivam, 2017: 211-213).

Elektrikli araçların modern tarihi, 1970'li yıllarda başlamıştır. O dönemde petrol fiyatlarının yükselmesi, fosil yakıt tüketimini azaltma çabalarını teşvik etmiş ve çevrecilerin elektrikli araç lehine savundukları argümanlar daha fazla ilgi görmüştür. Elektrikli araçların yeniden piyasaya sunulması, 1990'ların ortalarında Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleşmiştir. General Motors (GM), 1996 yılında piyasaya sürdüğü EV1 modeli ile ilk seri üretim elektrikli aracı tanıtmıştır. GM'in bu girişimini Ford (Think ve Range modelleri), Honda (EV Plus), Toyota (RAV4 EV) ve Nissan (Altra EV) gibi büyük otomobil üreticileri takip etmiştir. Bu bağlamda, elektrikli araç teknolojisi tarihsel olarak birçok evreden geçmiştir ve günümüzde sürdürülebilir ulaşımın önemli bir unsuru haline gelmiştir (Yu ve diğ., 2011: 2).

4.4. Başlıca Elektrikli Araç Türleri

Tartışılan EV'lerin büyük bir avantajı, çok daha iyi enerji performanslarıdır. Enerji tedarik zincirinde elektrikli araçlar, geleneksel araçlara göre çok daha az enerji kullanmalıdır. Uygulamada bu, esas olarak elektrikli araçların türüne ve ayrıca elektrik veya hidrojen üretiminde kullanılan birincil enerji türüne bağlıdır. Aşağıda bu farklı türler daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

4.4.1. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hibrit elektrikli araçlar, içten yanmalı bir motor ve bir elektrik motorunun bir kombinasyonunu kullanılmaktadır. Hibrit elektrik aktarma organlarında, araca kısa mesafeler için güç sağlamak veya ana motoru desteklemek için kullanılan bir elektrik motorunun bulunduğu tipik birincil sistem içten yanmalı motordur. Bir içten yanmalı motor için dış enerji girdisi fosil enerjidir. Frenleme işleminin enerji geri kazanımı yalnızca aküyü şarj etmek için kullanılmaktadır. HEV'lerin elektrik şebekesine bağlanamaması nedeniyle bu tür araçlar fosil enerji kaynaklarının ikamesine katkı sağlayamamaktadır. Bu şarj edilemeyen hibrit teknolojisi, bir yakıt verimliliği önlemi olarak kabul edilmektedir. HEV'ler genellikle güç aktarma organlarının tipine göre seri, paralel ve kombine olarak sınıflandırılır. Seri konfigürasyonda, içten yanmalı motor, gücü tekerleklerle ileten bir aküyü şarj eder ve bu nedenle ICE, şanzıman yoluyla doğrudan tekerleklerle güç sağlamak için değil, yalnızca elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Paralel bir aktarma organında hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor tekerleklerle güç sağlayabilmektedir. HEV'lerin bazı örnekleri Toyota Prius, Ford Escape Hybrid ve Ford Fusion Hybrid'dir (Ajanovic, 2015: 525-527).

4.4.2. Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar

PHEV'ler, HEV'lerle neredeyse aynı güç aktarma organına, bir içten yanmalı motora ve bir elektrik motoruna sahiptir, ancak temel fark, aküsünü harici bir elektrik kaynağı yoluyla şarj edebilme yeteneğidir. Ayrıca elektrik motorunun bir jeneratör görevi görmesi sayesinde rejeneratif frenleme yoluyla da şarj edilebilmektedir. Üretilen enerji pili şarj edilebilmektedir. PHEV'ler HEV'lerden daha büyük bir bataryaya sahiptir ve bu da yalnızca elektrik kullanarak sürüş menzilini genişletmeyi mümkün kılmaktadır. Büyük akü kapasitesi, aracın akü gücüyle menzilini artırmaktadır ve daha fazla hareket gücü sağlamaktadır. Elektrik menzili genellikle 30 ila 60 km arasındadır. PHEV'lerin bazı örnekleri Toyota Prius Plug-In, Ford CMAX Energy, Ford Escape EV ve Volvo V70 EV'dir (Ajanovic, 2015: 525-527).

4.4.3. Menzil Artırıcı Elektrikli Araçlar

REX'ler esas olarak elektrikli tahrikle çalıştırılan ancak aküyü sürdürmek ve menzili genişletmek için içten yanmalı motor kullanan araçlardır. Menzil genişletici, çalışma menzili saf elektrik modunda elde edilenin ötesine genişletmek için saf elektrikli tahrikli araçlara eklenen otonom bir yardımcı güç ünitesidir. ICE yalnızca aküyü şarj etmeye yaramaktadır. Şu anda piyasada yalnızca birkaç REX modeli (örneğin Chevrolet Volt ve Opel Ampera) bulunmaktadır (Ajanovic, 2015: 525-527).

4.4.4. Akülü Elektrikli Araçlar

BEV'ler, içten yanmalı motor olmadan tamamen akülerle çalışan araçlardır. Yerleşik elektrik üretimi olanağı olmayan tek bir depolama sistemine (batarya) sahiptirler. Harici enerji beslemesi, bir pilin doğrudan elektrik şebekesine takılmasıyla oluşan şarj işlemiyle gerçekleştirilir. Nissan Leaf, Mitsubishi iMiev, Renault Twizy, Citroen C Zero ve Tesla gibi BEV'lerin farklı modelleri şu anda mevcuttur (Ajanovic, 2015: 525-527).

4.4.5. Yakıt Hücreli Araçlar

FCV'ler, BEV'ler gibi, yalnızca elektrikle tahrik edilen araçlardır, ancak FCV'ler, elektriğini hidrojenle çalışan bir yakıt hücresi kullanarak üretir. FCV'lerde kullanılan hidrojen, farklı birincil enerji kaynaklarından üretilebilir ancak çevresel açıdan en iyisi, elektroliz yoluyla hidrojen üretmek için yenilenebilir elektriğin kullanılmasıdır. Üretimden sonra hidrojenin sıkıştırılıp araca yüklenmesi gerektirmektedir. Yerleşik hidrojen, bir yakıt hücresi kullanılarak yeniden elektrikleştirmektedir. Bugün FCV'lerin çoğu yalnızca tanıtım modelleridir ancak Honda FCX Clarity, Hyundai ix35 FCEV ve Hyundai Santa Fe FCEV gibi bazıları halihazırda piyasada bulunmaktadır (Ajanovic, 2015: 525-527).

4.5. Elektrikli Araçların Avantajları

Elektrikli araçlar, geleneksel araçlara göre aşağıdaki avantajları sunmaktadır:

Sıfır emisyon: Bu tip araçlar ne karbon dioksit (CO₂) ne de nitrojenioksit (NO₂) salmaz. Ayrıca, pil üretimi karbon ayak izini olumsuz etkilemesine rağmen, üretim süreçleri çevre ile daha dost olma eğilimindedir.

Bassitlik: Elektrikli araç motor elemanlarının sayısı daha azdır, bu da çok daha ucuz bir bakımı mümkün kılmaktadır. Motorlar daha Bassit ve daha kompakttır,

bir soğutma devresine ihtiyaç duymazlar ve vites değiştirme, debriyaj veya motor gürültüsünü azaltan elemanlar da gerekli değildir.

Güvenilirlik: Daha az karmaşık bileşenlere sahip olmak, bu tür araçların arıza riskini azaltmaktadır. Ayrıca elektrikli araçlar, motor patlamaları, titreşimler veya yakıt korozyonu tarafından üretilen doğal aşınma ve yıpranmadan etkilenmezler.

Maliyet: Aracın bakım maliyeti ve gereken elektrik maliyeti, geleneksel içten yanmalı araçların bakım ve yakıt maliyetlerine kıyasla çok daha düşüktür. Elektrikli araçlarda kilometre başına enerji maliyeti, geleneksel araçlara göre önemli ölçüde daha düşüktür,

Konfor: Elektronik araçlarda seyahat, titreşim veya motor gürültüsü olmaması nedeniyle daha konforludur.

Verimlilik: Elektrikli araçlar geleneksel araçlardan daha verimlidir. Bununla birlikte, genel kuyudan tekerleğe (WTW) verimliliği aynı zamanda enerji santrali verimliliğine de bağlı olacaktır. Örneğin, benzinli araçların toplam WTW verimliliği %11 ile %27 arasında, dizel araçların ise %25 ile %37 arasında değişmektedir (Sanguesa ve diğ., 2021: 372 and 373). Buna karşılık, bir doğal gaz santrali tarafından beslenen elektronik araçlar, %13 ila %31 arasında değişen bir WTW verimliliği gösterirken, yenilenebilir enerji ile beslenen elektronik araçlar, %70'e varan bir genel verimlilik göstermektedir.

Erişilebilirlik: Bu araç türü, diğer yanmalı araçlara izin verilmeyen kentsel alanlara erişime izin vermektedir (örneğin, düşük emisyon bölgeleri). Elektrikli araçlar, büyük şehirlerde, özellikle kirlilik seviyesinin yüksek olduğu yerlerde aynı trafik kısıtlamalarından etkilenmezler. İlginç bir şekilde, en azından Partikül Madde (PM) emisyonları açısından EV'lerin ne yazık ki hava kalitesi durumunu iyileştirmeyeceğini öne süren yakın tarihli bir OECD çalışması vardır (Sanguesa ve diğ., 2021: 372 and 373).

4.6. Elektrikli Araçların Zorlukları

Elektrikli araç satışları, fiyatların düşmesi, iklim değişikliği ve çevre bilincinin artması gibi çeşitli faktörlerin etkisiyle hızla artış göstermektedir. Öte yandan, elektrikli araçlar, pille ilgili olarak aşağıdaki zorluklarla önemli ölçüde karşı karşıyadır:

Sürüş Menzili: Bu sorun sürekli olarak iyileştirilse de, menzil tam şarjla tipik olarak 200 ila 350 km ile sınırlıdır. Örneğin, Nissan Leaf maksimum 364 km sürüş

menziline sahiptir ve Tesla Model S 500 km'den fazla mesafeye ulaşabilir. Son yıllarda, elektrikli araçların menzil kapasitesinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Örneğin, Tesla Model S Plaid, 620 km'nin üzerinde bir menzil sunarken, Lucid Air Dream Edition, tam şarjla 830 km'ye kadar yol alabilmektedir (Sanguesa ve diğ., 2021: 373 - 374).

Şarj Süresi: Pil takımının tam olarak şarj edilmesi 4 ila 8 saat sürebilir. %80 kapasiteye "hızlı şarj" bile 30 dakika sürebilmektedir. Örneğin Tesla süper şarj cihazları, Model S'yi yalnızca 20 dakikada %50'ye kadar veya yarım saatte %80'e kadar şarj edebilmektedir (Sanguesa ve diğ., 2021: 373 - 374).

Pil Maliyeti: Elektrikli araçların pil maliyeti, araçların toplam maliyetinde önemli bir paya sahiptir ve bu maliyet, elektrikli araçların yaygınlaşmasında belirleyici bir faktördür. Son yıllarda pil teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle birlikte, pil maliyetleri düşüş eğilimi göstermiş olsa da, halen içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet edebilir düzeye tam olarak ulaşmamıştır.

Hacim ve Ağırlık: Akü paketleri ağırdır ve araçta önemli ölçüde yer kaplamaktadır. Bu tip araçların akülerinin, akü kapasitesine bağlı olarak değişebilen yaklaşık 200 kg ağırlığa sahip olduğu varsayılmaktadır. EV'lerin ana dezavantajı özerk olmalarıdır. Ancak araştırmacılar, sürüş menzilini artırmak ve şarj süresini, ağırlığı ve maliyeti azaltmak için geliştirilmiş pil teknolojileri üzerinde çalışmaktadır. Bu faktörler nihayetinde EV'lerin geleceğini belirleyecektir (Sanguesa ve diğ., 2021: 373 - 374).

Elektrikli araçların diğer bazı zorlukları ise şöyle sıralanmaktadır:

Mevcut Piyasa Fiyatı: Elektrikli araçların şu anki fiyatı benzinli araca göre pahalıdır. Yaygın elektrikli araçların yüksek fiyatı, elektrikli araç kültürünün geniş kabulünü gölgelemede önemli bir rol oynamaktadır.

Şarj Altyapısı: Şarj altyapısının yetersizliği, elektrikli araç kullanıcıları için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Çoğu ülkede, şarj istasyonları belirli bölgelerde yoğunlaşmakta olup, bu durum uzun mesafeli yolculuklar sırasında kullanıcıların ne zaman ve nerede şarj hizmetine erişebilecekleri konusunda belirsizlik yaratmaktadır. Bu eksiklik, elektrikli araçların daha geniş bir coğrafi alanda benimsenmesini sınırlayan faktörlerden biri olarak öne çıkmakta ve şarj altyapısının daha yaygın hale getirilmesinin önemini vurgulamaktadır (Muzir ve diğ., 2022: 9 -14).

4.7. Elektrikli Araçlarda Son Piyasa Gelişmeleri

Elektrikli araç piyasaları, 2022 yılında satışların 10 milyonu aşmasıyla birlikte üstel bir büyüme göstermektedir. 2022 yılında satılan tüm yeni araçların %14'ü elektrikli olup, bu oran 2021'de yaklaşık %9 ve 2020'de %5'in altındaydı. Küresel satışlarda üç piyasa öne çıkmaktadır: Çin, bir kez daha öncü konumda olup, küresel elektrikli araç satışlarının yaklaşık %60'ını gerçekleştirmiştir ve ülke, yeni enerji araç satışları için 2025 hedefini şimdiden aşmıştır. İkinci en büyük piyasa olan Avrupa'da, elektrikli araç satışları 2022'de %15'in üzerinde artmış ve satılan her beş araçtan biri elektrikli olmuştur. Üçüncü en büyük piyasa olan Amerika Birleşik Devletleri'nde ise elektrikli araç satışları 2022'de %55 artarak %8'lik bir satış payına ulaşmıştır (IEA, 2023b).

Gelişmekte olan elektrikli araç piyasaları için de umut verici işaretler bulunmaktadır, ancak bu büyüme küçük bir temelden başlamaktadır. Büyük piyasalar dışında elektrikli araç satışları genellikle düşük olmasına rağmen, Hindistan, Tayland ve Endonezya'da 2022 yılı bir büyüme yılı olmuştur. Bu ülkelerde elektrikli araç satışları, 2021'e kıyasla üç kattan fazla artarak 80.000'e ulaşmıştır. Tayland'da elektrikli araçların toplam satışlar içindeki payı 2022'de %3'ün biraz üzerinde iken, Hindistan ve Endonezya'da 2021'de ortalama %1.5 olarak gerçekleşmiştir. Hindistan'da, hükümetin 3,2 milyar dolarlık teşvik programı ile desteklenen EV ve bileşen üretimini artmakta olup, bu program 8,3 milyar dolarlık yatırım çekmiştir. Tayland ve Endonezya da politika destek programlarını güçlendirmekte olup, bu ülkeler gelişmekte olan piyasa ekonomileri için elektrikli araç benimsemesini teşvik etme konusunda değerli deneyimler sağlayabilir (IEA, 2023b).

Bir diğer önemli konu ise elektrikli araç tedarik zincirleri ve artan pil talebidir. Elektrikli araçlara olan talepteki artış, piller ve bunlarla ilgili kritik minerallere olan talebi de artırmaktadır. Otomotiv lityum-iyon (Li-ion) pil talebi, 2021'deki yaklaşık 330 GWh seviyesinden 2022'de %65 oranında artarak 550 GWh'ye ulaşmıştır ve bu artışın başlıca nedeni elektrikli binek (hususî) araç satışlarındaki büyümedir. 2022 yılında lityum talebinin yaklaşık %60'ı, kobalt talebinin %30'u ve nikel talebinin %10'u elektrikli araç pilleri içindi. Beş yıl önce bu oranlar sırasıyla %15, %10 ve %2 civarındaydı. Kritik malzemelere olan ihtiyacın azaltılması, özellikle son dönemdeki pil malzemesi fiyat gelişmeleri göz önüne alındığında, tedarik zincirinin sürdürülebilirliği, dayanıklılığı ve güvenliği açısından önemli olacaktır. Elektrikli

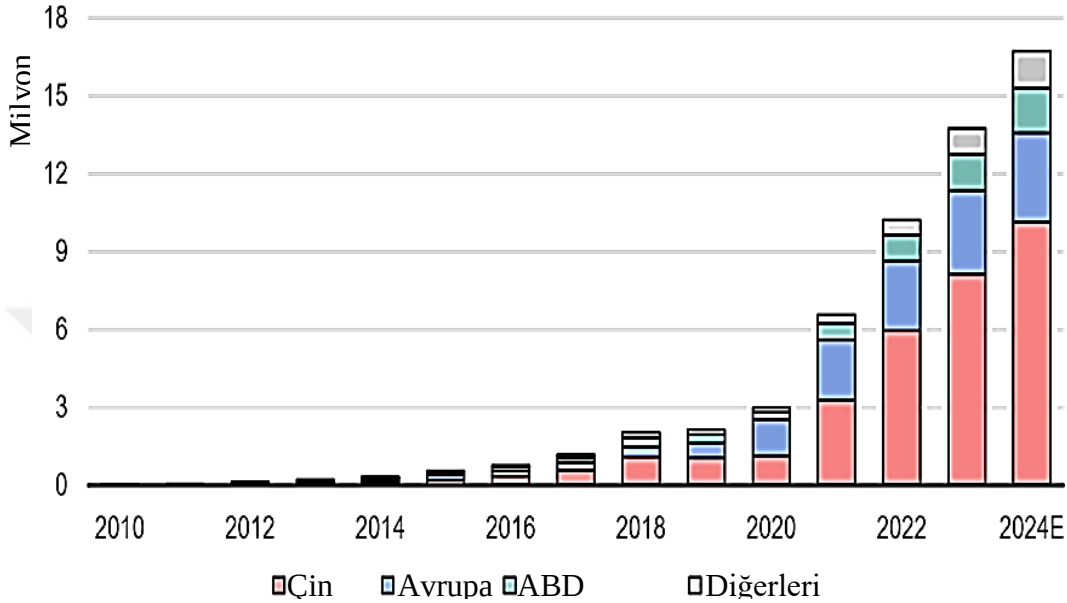
araç tedarik zinciri genişlemekte, ancak üretim belirli bölgelerde yoğunlaşmaya devam etmektedir. Çin, pil ve elektrikli araç bileşenleri ticaretinde başlıca oyuncu konumundadır. 2022 yılında ihraç edilen elektrikli araçların %35'i Çin'den gelirken, bu oran 2021'de %25 idi. Avrupa, hem elektrikli araçlar hem de pilleri için Çin'in en büyük ticaret ortağıdır. 2022 yılında Çin'de üretilen ve Avrupa piyasasına satılan elektrikli araçların payı, 2021'deki %11'den %16'ya yükselmiştir (IEA, 2023b).

2012 yılı sonunda, şarj edilebilir elektrikli otomobillerin (BEV, REX ve PHEV) toplam küresel stoku 180.000'in üzerindeydi ve bu, toplam binek (hususî) otomobil stoğunun %0,02'sini temsil ediyordu. Şarj edilebilir EV'ler toplam EV stoğunun yalnızca %5'ini oluştururken %95'i şarj edilemeyen HEV'lerden oluşmaktaydı. 2012 yılında HEV'lerin küresel satışları yaklaşık 1,2 milyondur ve bu da 6 milyondan fazla HEV'lik toplam stoka yol açıyordu; bu da geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara çok benzemektedir. FCV'ler henüz tanıtım aşamasında olduğundan ve şu anda çok sınırlı olan tamamen yeni bir altyapıya ihtiyaç duyduklarından en düşük piyasa payına sahiptirler. Şu anda dünya çapında yalnızca 450 yolcu FCV'si yollarda (Ajanovic, 2015: 523-525).

Japonya ve ABD, elektrikli araçlar için önemli piyasalar arasında yer almaktadır. Japonya, hibrit elektrikli araçların binek (hususî) otomobil piyasasına ilk kez tanıtıldığı ülkedir. ABD'de ise bu araçların satışları, son 10 yılı aşkın bir süredir toplam hafif ticari araç satışlarının neredeyse %3'üne ulaşmış durumdadır. 2005'ten 2010'a kadar burada 1,6 milyondan fazla HEV satıldı. Farklı bölgelerin elektrikli araçlarla ilgili farklı tercihleri vardır. 2012 yılında en fazla HEV satışı yaklaşık 740.000 araçla (%62) Japonya'da gerçekleşti ve onu yaklaşık 360.000 araçla (%30) ABD izledi. AB'de yalnızca yaklaşık 20.000 HEV satılmıştır. 2012 yılında en yüksek BEV satışları Asya piyasasında, özellikle Japonya ve Çin'de gerçekleşti. ABD ise yaklaşık 15.000 BEV satışıyla ikinci sırada yer almıştır. Avrupa'da BEV'ler Fransa (6000 araç) ve Norveç'te (3900 araç) en popüler olanlardı. PHEV'ler için en büyük piyasa, 2012'de satılan 38.000 araçla (dünya çapındaki satışların %70'i) ABD'dir. İkinci sırada 6500 araçla (%12) Japonya yer aldı. AB'de PHEV'ler için en güçlü piyasa, 2012'de satılan 4.300 araç (%8) ile Hollanda idi. Şarj edilebilir EV'lerin çok sınırlı sürüş menzili nedeniyle, uygun türde ve yoğunlukta bir şarj altyapısı gereklidir. Bu temel olarak iki bölüme ayrılabilir: evde özel şarj ve halka açık şarj.

Birincisi kırsal alanlar için daha uygun bir seçenek iken kentsel alanlarda en cazip şarj seçeneği işyerinde şarj etmektir (Ajanovic, 2015: 523-525).

Elektrikli araçların son piyasa gelişimi bağlamında, son yıllarda gerçekleşen elektrikli araç satış hacimlerinin incelenmesi yararlı olacaktır.



Şekil 4.1. Elektrikli Araç Satışları, 2010-2024 (IEA, 2024)

Grafik, 2010-2024 yılları arasında küresel elektrikli otomobil satışlarını ve bölgesel dağılımlarını göstermektedir: Çin, Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve dünyanın geri kalanı. 2023'e kadar olan veriler gerçek satış rakamlarını içerirken, 2024 yılı tahminleri ise yılın ilk çeyreğindeki piyasa eğilimlerine dayanmaktadır.

Öne çıkan bulgular:

Satış Artışı: Özellikle 2020'den sonra elektrikli otomobil satışlarında belirgin bir artış gözlenmektedir. 2010-2018 yılları arasında düşük olan satışlar, bu tarihten sonra hızla yükselmiştir.

Çin'in Liderliği (Kırmızı): 2020 itibarıyla Çin, elektrikli otomobil satışlarında küresel lider konumundadır ve bu liderliğin 2024'te daha da güçlenmesi beklenmektedir.

Avrupa (Mavi): Avrupa da dikkate değer bir büyüme kaydetmiştir. Çin'den daha küçük bir pazar olmasına rağmen istikrarlı bir artış göstermektedir.

Amerika Birleşik Devletleri (Yeşil): ABD pazarı daha yavaş bir büyüme eğiliminde olsa da satışlarda önemli bir artış sergilemektedir.

Dünyanın Geri Kalanı (Gri): Diğer bölgeler, en küçük paya sahip olmasına rağmen büyüme eğilimindedir.

Toplam Satışlar: 2024 yılına kadar küresel elektrikli otomobil satışlarının 17 milyon üzerine çıkması ve bu satışların büyük kısmının Çin tarafından domine edilmesi beklenmektedir.

Genel olarak, grafik, küresel elektrikli araç kullanımının hızla arttığını, Çin'in liderliği elinde tuttuğunu ve Avrupa ile ABD'nin de piyasada güçlü oyuncular olduğunu göstermektedir.

4.8. Elektrikli Araç Şarj Altyapısında Küresel Gelişmeler

Ajanovic (2015), makalesinde elektrikli araçlar için üç temel şarj hızı seviyesinden bahsetmiştir:

1. Yavaş şarj, genellikle konutlarda, ticari binalarda ve konutların bulunduğu caddelerde tercih edilen bir şarj yöntemi olup, pilin tamamen şarj edilmesi 7-12 saat arasında sürmektedir. Bu yöntem, evde şarj noktalarının düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır; kurulum maliyetleri 200 ila 800 Euro arasında değişmektedir. Yavaş şarj, genellikle gece boyunca yapılan şarj işlemleri için uygundur ve elektrikli araç sahiplerinin günlük sürüş ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli şarj süresi sunmaktadır. Yavaş şarj cihazları dünya genelinde en yaygın kullanılan şarj türüdür ve %61 ile en yaygın şarj altyapısını oluşturmaktadır.

2. Hızlı şarj, özel ve kamu tesislerinde sıkça kullanılan bir şarj yöntemidir. Özellikle ticari komplekslerde, ofis otoparklarında ve kamuya açık park alanlarında tercih edilen bu yöntem, bataryanın tam olarak şarj edilmesini 3-4 saat içerisinde gerçekleştirmektedir. Hızlı şarj istasyonlarının maliyeti, yavaş şarj istasyonlarına göre daha yüksek olup, kurulum maliyeti 7.000 Euro'ya kadar çıkabilmektedir. Hızlı şarj, daha kısa sürede şarj imkanı sağladığı için kullanıcılar arasında popüler bir tercihtir, ancak yüksek maliyetli altyapı gereksinimleri nedeniyle daha az yaygın olarak bulunmaktadır.

3. Ultra hızlı şarj, en hızlı şarj seçeneği olup, genellikle süpermarket garajlarında, otoyol üzerindeki dinlenme alanlarında ve şehir içi sokaklarda kullanılmaktadır. Bu seviyede şarj işlemi birkaç dakika içinde tamamlanabilir, ancak

bu hızda şarj sağlamak için gerekli olan altyapının maliyeti oldukça yüksektir. Ultra hızlı şarj istasyonlarının kurulum maliyeti 55.000 Euro'ya kadar çıkabilmektedir. Bu yüksek maliyet nedeniyle, dünya genelinde ultra hızlı şarj istasyonlarının sayısı oldukça sınırlıdır ve toplam şarj altyapısının yalnızca %2'sini oluşturmaktadır. Ultra hızlı şarj istasyonları, elektrikli araçların hızlı bir şekilde şarj edilmesine imkan tanısa da, kurulum ve işletim maliyetleri nedeniyle yaygınlaşmaları daha yavaş ilerlemektedir.

2022 yılında dünya genelinde 600.000'den fazla kamuya açık yavaş şarj noktası kurulmuş olup, bunların 360.000'i Çin'de gerçekleştirilmiş ve böylece ülkedeki yavaş şarj cihazı stoğu 1 milyonu aşmıştır. 2022 sonunda, Çin küresel yavaş şarj cihazı stoğunun yarısından fazlasına ev sahipliği yapmaktaydı. Avrupa ise ikinci sırada yer almış ve 2022'de toplam 460.000 yavaş şarj cihazına ulaşarak, bir önceki yıla göre %50'lik bir artış kaydetmiştir. Avrupa'da Hollanda, 117.000 yavaş şarj cihazı ile başı çekerken, Fransa'da 74.000 ve Almanya'da 64.000 şarj cihazı bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yavaş şarj cihazı stoğu 2022'de %9 oranında artış göstermiş ve büyük piyasalar arasında en düşük büyüme oranına sahip olmuştur. Güney Kore'de ise yavaş şarj cihazı stoğu her yıl iki katına çıkarak 184.000 şarj noktasına ulaşmıştır (IEA, 2023b).

2022 yılında hızlı şarj cihazlarının sayısı dünya genelinde 330.000 artmış, ancak bu büyümenin neredeyse %90'ı yine Çin'den gelmiştir. Hızlı şarj altyapısının yaygınlaşması, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu şehirlerde evde şarj imkânının sınırlı olmasını telafi etmekte ve Çin'in elektrikli araçların hızlı dağıtımına yönelik hedeflerini desteklemektedir. Çin, toplamda 760.000 hızlı şarj cihazına sahip olmakla birlikte, kamuya açık hızlı şarj cihazı stoğunun %70'inden fazlası sadece on eyalette toplanmıştır (IEA, 2023b).

Ajanovic (2015), makalesinde ACEA'ya göre Avrupa Birliği genelinde ve muhtemelen küresel çapta elektrikli araçlarla ilgili teknik sorunların şunları içerdiğini belirtmektedir; bunların çoğu şarj altyapısıyla bağlantılıdır.

- Standardizasyon (fiş, fazlar, veri protokolü)
- Ülkeler arası uyumluluk
- Veri koruma (kişisel, ticari)
- Şarj/deşarj yerleri için güvenlik gereklilikleri
- Pili şarj ederken/deşarj ederken güvenlik gereklilikleri, örneğin kısa devreler

- Araçta veya şarj istasyonunda şarj kablosu
- Şarj yerleri için teknik onay kuruluşu
- Şarj yerlerinin periyodik muayeneleri ve bakımı
- Sorumluluk açıklaması
- Kullanışlı faturalandırma sistemleri

Bu konular şu anda dünya çapında tartışılmaktadır. Teknik standartların uyumlaştırılması, ölçek ekonomileri yoluyla maliyetlerin azaltılmasına ve elektrikli araçların yaygınlaştırılmasının hızlandırılmasına yol açmaktadır. AB düzeyinde, birkaç başarısız denemeden sonra elektrikli araçlardaki fişler nihayet uyumlu hale getirilmiştir. Nisan 2014'te Avrupa Parlamentosu, Konsey ile mutabakata varılan 'Alternatif Yakıt Altyapısının Kullanılmasına İlişkin Direktif' konulu bir uzlaşma metnini kabul etmiştir. Bu, tüketicilerin arabalarını yurt dışında şarj edemeyecekleri korkusunu ortadan kaldıracaktır (Ajanovic, 2015: 523-525).

5. TÜRKİYE OTOMOTİV SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ

5.1. Türkiye Otomotiv Sektörünün Geçmişi

Türkiye otomotiv sektörü, 1960'lı yıllarda yerli üretim teşvikleri ve sanayileşme politikalarıyla birlikte gelişmeye başlamıştır. İlk yerli otomobil olan "Devrim," 1961 yılında üretilmiş olsa da seri üretime geçmemiştir. Ancak, bu dönemde otomotiv sektöründe önemli yatırımlar yapılmış ve Türkiye, 1970'lerde montaj sanayi olarak faaliyet gösteren bir ülke konumuna gelmiştir. 1980'li yıllardan itibaren, yerli ve yabancı ortaklıklarla üretim kapasitesi artmış ve Türkiye, hem iç piyasada hem de ihracatta önemli bir otomotiv üreticisi haline gelmiştir. Günümüzde Türkiye, küresel otomotiv piyasalarında rekabetçi bir konumda olup, özellikle ticari araçlar ve binek (hususî) otomobiller üretiminde Avrupa ve Orta Doğu piyasalarına önemli ihracatlar gerçekleştirmektedir. Bu bölümde, Türk otomotiv sektörü, farklı dönemlere göre detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

5.1.1. 1923-1960 Döneminde Türk Otomotiv Sanayisinin Gelişimi

Kurtuluş savaşının ardından 1923 yılında toplanan İzmir İktisat Kongresi'nde özel sektör tarafından hızlı sanayileşmenin sağlanması ve özel sektör sermayesinin yeterli olmadığı durumlarda devletin faaliyete geçirilmesi kararlaştırılmıştır. Bu kapsamda 1929 yılında Ford Motor Company tarafından İstanbul Tophane'de kamyon ve otomobil üretimi için bir montaj fabrikası kurulmuştur. Ancak dünya ekonomik krizi nedeniyle 1950'li yıllarda bu tesis kısa sürede kapatılmıştır. Otomotiv endüstrisinin yeniden lisanslı askeri cip montaj tesisi ile üretime başladığını söyleyebiliriz. 1923'ten sonra milli sanayinin kuruluş sürecinin önem kazanmasıyla birlikte yabancı ortaklı şirketlerin sayısı hızla artmıştır ve 1913 tarihli sanayi teşvik yasaının yabancı ortaklı şirketler için de işe yaradığını söyleyebiliriz (S. Dolanay ve Oğuztürk, 2018: 503 - 504).

5.1.2. 1960-1980 Döneminde Türk Otomotiv Sanayisinin Gelişimi

1960'lı yıllara gelindiğinde ise otomotiv endüstrisinde farklı motorlu taşıtların montaj yoluyla üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Ancak 1961 yılında Türkiye'de ilk kez yerli otomobil prototipi olan devrim otomobili Eskişehir'deki devlete ait lokomotif fabrikasında dört ay gibi kısa bir sürede üretilmiştir. Ancak bu kısa vadeli yerli başarı, seri üretime geçilemeyince sona erdi.

1967 yılında Bernar Nahum yönetiminde Otomotiv Grubu tarafından çoklu lisanslama yöntemiyle Anadol otomobillerinin üretimine başlanmıştır. Koç Topluluğu'nun bu girişimi kalıcı bir başarı hikayesine dönüşmedi. 1971 yılında İtalyan Fiat lisanslı Tofaş ve Fransız Renault lisanslı Oyak-Renault kuruldu 1963 yılında yayınlanan montaj sanayi talimatı ile bir anlamda ithal ikameci sanayileşme stratejisi ve kalkınma modelinin sanayiye teşvik edici politikaları oluşturulmuştur. Bu düzenleme ile ithal otomotiv ürünlerinin benzer parçalarının yerel koşullarda üretilmesi hedeflenmiştir. Ancak, Devlet Planlama Teşkilatı 1961 yılı tecrübelerini dikkate alarak “Türkiye için otomobil üretimi lükstür, kamyon üretimine ağırlık verilmeli” sonucunu içeren bir rapor da otomobil üretimi alanındaki gelişmeyi sınırlamıştır. Ayrıca Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), otomotiv sanayinin tüm sanayinin itici gücü olarak sadece kamyon üretimini kullanacağını öngörerek 1963-1967 dönemini kapsayan ilk beş yıllık Kalkınma Planını hazırlamıştır. 1970'lerin ikinci yarısından itibaren otomotiv sanayi üretimi düşmeye başladığından, ithal ikameci sanayileşme stratejisinin 1970'lerin sonunda döviz darboğazı nedeniyle büyük bir ekonomik krizin oluşumunu hazırladığını söyleyebiliriz (S. Dolanay ve Oğuztürk, 2018: 503 - 504).

5.1.3. 1980-2000 Döneminde Türk Otomotiv Sanayisinin Gelişimi

1980-2000 Yılları Arasında Türk Otomotiv Sektörünün Gelişimi 1980'li yıllarda tüm otomobil üreticileri ürün çeşitlendirmeye gitmiştir ve 1980 yılında yaşanan ekonomik krizden etkilenmemeye çalışmışlardır. Bir sanayi politikası tercihi olarak 1983 yılından sonra ihracata dayalı büyüme modeli uygulanmaya devam etmiştir, bu doğrultuda, teşvik sisteminde değişiklik yapılmış ve ihracat teşvikleri artırılmıştır. 1984 yılında kabul edilen İmalat Sanayi Yönetmeliği, montaj sanayi yönetmeliğinden farklı olarak kalite geliştirmeyi ön plana çıkarmıştır. Bir anlamda o ana kadar yurt dışından ithal edilen teknolojilerle gelişen otomotiv sanayinin teknolojik gelişmeyi sağlaması gerektiği belirlenmiş ayrıca ilk kez bilim ve teknoloji ile ulusal düzeyde teknolojik gelişme ihtiyacı vurgulanmıştır.

1980'ler ve özellikle 1990'lar, bilim ve teknoloji ile ilgili raporların ve kitapların çoğaldığı ve teknoloji geliştirme kurumlarının oluşturulduğu yıllar olmuştur. 1993 yılında ikinci bilim ve teknoloji raporu yayınlanmış ve 1963 yılında Tübitak'ın (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) kurulmasından sonra Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) ve Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı

(TTGV) gibi kurumlar 1990'larda kuruldu. Ancak, ulusal bir inovasyon sistemi oluşturma çabalarına rağmen, yurt dışından teknoloji satın alarak otomotiv sektöründe gelişmeyi sağlamaya yönelik yaklaşım devam etti. 1980'lerde ve özellikle 1990'larda bilim ve teknolojide ortaya konan belgelerde belirtilen hedeflere genellikle ulaşılamamıştır. Türkiye 1994 yılında Dünya Ticaret Örgütü'ne (DTÖ) üye olmuş ve 1996 yılında Avrupa Birliği (AB) ile Türkiye arasında Gümrük Birliği Anlaşması imzalanmıştır. 1990'lı yıllarda Honda, Toyota ve Hyundai firmaları tarafından Türkiye'de üretim tesisleri kurularak, Türkiye, 1994 yılında AB ülkeleri ile gümrük birliğine girmesiyle birlikte AB ülkelerine yönelmiştir (S. Dolanay ve Oğuztürk, 2018: 503 - 504).

5.1.4. 2000 Sonrası Döneminde Türk Otomotiv Sanayisinin Gelişimi

1990'lı yıllarda başlayan trend devam etmiş, Ulusal İnovasyon Sistemi daha da gelişmiş bir kurumsal yapıya kavuşmuş ve bu sistemin yasal çerçevesini oluşturan kanunlar yürürlüğe girmiştir. 2001 yılında yaşanan ekonomik kriz sonrasında, Türkiye 2002 ile 2008 yılları arasında önemli bir ekonomik büyüme sürecine girmiştir. Bu dönemde, gümrük birliği anlaşması ve yabancı firmaların Orijinal Ekipman Üreticisi (OEM) yatırımlarının sonuçları alınmaya başlanmıştır. Örneğin, Tata Motors 2009 yılında Türkiye'ye yatırım yapmayı planlamış, ancak bu yatırım gerçekleşmemiştir.

2010'lu yıllarda, Türkiye'nin yerli otomobil üretimine yönelik çalışmalara hız verilmiş ve 2015 yılı itibarıyla yerli otomobil prototipinin geliştirilmesi yönündeki çabalar artmıştır. Bu süreçte Türk otomotiv sektöründe bir politika değişikliği yaşanmış ve Türkiye, kendi yerli otomobilini üretme kararı almıştır. Bu politika değişikliğinin bir sonucu olarak, 2020 yılında Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) tarafından yerli otomobil prototipi üretilmiştir. Bu gelişme, Türkiye'nin otomotiv sanayisinde inovasyon ve yerli üretim hedeflerine yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (S. S. Dolanay, 2021: 57 - 60), (Azcanlı, 1995).

Türkiye'de otomotiv sektörü 1960'lı yıllardan itibaren önemli gelişmeler kaydetmiştir. Sektör, 1990'lı yıllarda ihracata yönelik rekabetçi bir nitelik kazanmış ve 1990'lı yılların sonlarına doğru Türkiye'de dünyanın önde gelen otomotiv firmalarının Türk ortaklarla kurdukları tesislerle birlikte önemli bir konum elde ederek bunlardan bazıları ortak oldukları yabancı otomotiv firmalarının ihracat üssü haline gelmiştir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).

5.2. Türk Otomotiv Sanayisinin Ekonomiye Etkileri

Gelişmiş ülkelerin refah artışlarına büyük katkıları olan otomotiv sanayii, gelişmekte olan ülkeler için de sanayileşme ve kalkınmanın faktörlerinden biri olarak rol oynamaktadır. Otomotiv sanayii gelişmiş ekonomilerde, teknolojik birikimin ve tamamlanmış alt yapının olanaklarıyla bireylerin değişik tercihlerini karşılamakta ve ihracat potansiyelini artırmaktadır. Buna karşılık teknolojik yetersizlik ve altyapı eksikliklerinin bulunduğu azgelişmiş ve gelişmekte olan ülke ekonomilerinde dışa bağımlılığı azaltma, istihdam yaratma ve bireylerin artan refah özlemlerini karşılama gibi sorumluluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Otomotiv sanayii diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de sanayileşmeye ve kalkınmaya pek çok fonksiyonu ile katkıda bulunmaktadır. Bunları şu şekilde belirtebiliriz:

- İstihdama Etkisi
- Teknoloji Düzeyine Etkisi
- Üretime Olan Etkisi
- Milli Gelire Etkisi
- Devlet Gelirlerine Etkisi
- Ulaşım Sistemine Etkisi
- Dış Ticarete Etkisi

(Türe, 2013: 87 - 92).

Türkiye ekonomisindeki otomotiv sektörünün rolünü daha iyi kavrayabilmek adına, aşağıdaki tablolara başvurmak faydalı olacaktır.

2018 yılı için Türkiye’de motorlu kara taşıtları imalatı istihdamı 187.643 kişi olmuştur. İmalat sanayi toplam istihdamı içinde motorlu kara taşıtları istihdamı yüzde 5,08 pay almıştır.

Tablo 5.1. 2015-2018 Motorlu Kara Taşıtı İmalatı İstihdamı ve Payı

	2015	2016	2017	2018	2018/2017 Değişim (%)
Motorlu Kara Taşıtı İmalatı	207.500	217.219	191.080	187.643	-1,8
Toplam İmalat Sanayi	3.649.952	3.569.158	3.804.912	3.693.320	-2,9
Pay (%)	5,68	6,08	5,02	5,08	-

Kaynak: (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020)

Tablo 5.1’e göre, 2015-2018 yılları arasında motorlu kara taşıtı imalatındaki pay azalması, Türkiye'nin otomotiv sektöründeki dinamikleri ve küresel pazar

koşullarını yansıtan önemli bir trendi göstermektedir. 2015 yılında 207.500 adet olan motorlu kara taşıtı üretimi, 2016'da 217.219 adede yükselmiş, ancak 2017'de belirgin bir düşüşle 191.080 adede gerilemiştir. 2018 yılında ise bu rakam 187.643 adede inmiştir. Bu dönemde toplam imalat sanayi verileri de incelendiğinde, 2018 yılı itibarıyla toplam üretimde %2,9'luk bir azalma gözlemlenmiştir. Motorlu kara taşıtı imalatının toplam imalat sanayi içindeki payı ise 2015 yılında %5,68 iken, 2017'de %5,02'ye düşmüş ve 2018'de %5,08 seviyesine çıkmıştır. Bu pay azalmasının ardında yatan başlıca etkenler arasında artan küresel rekabet, iç talepteki düşüş ve sektördeki firmaların Ar-Ge yatırımlarına yönelmesi yer almaktadır. Özellikle Asya-Okyanusya bölgesindeki üretim artışı, Türk otomotiv sektörünün rekabet gücünü olumsuz etkilemiş; ekonomik dalgalanmalar ise iç talepteki azalmaya neden olmuştur. Bu bağlamda, motorlu kara taşıtı imalatındaki payın düşmesi, sektördeki firmaların yeniden yapılanma ve stratejik yatırımlar yapma ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Türkiye otomotiv sektörünün mevcut durumunu daha iyi değerlendirmek amacıyla, aşağıdaki tabloya başvurulabilir. Bu tablo, sektörün güncel üretim, satış ve ihracat rakamlarını göstererek, sektörün ekonomik katkılarını ve dinamiklerini daha iyi anlamamıza olanak tanımaktadır.

Tablo 5.2. Türkiye Otomotiv Sektörünün Değerlendirmesi (ODMP, 2024)

DÖNEM	Pazar* (adet)	Üretim (adet)	İthalat* (adet)	İhracat (Adet)	İhracat** (\$)
Ağustos	2023	93.409	73.021	69.526	69.947
	2024	93.792	53.502	68.548	57.856
	(%)	0,4	-26,7	-1,4	-17,3
Ocak- Ağustos	2023	793.728	943.621	503.062	656.746
	2024	792.256	877.152	548.260	639.721
	(%)	-0,2	-7,0	9,0	-2,6
Son 12 Ay	2023	1.137.565	1.463.111	689.271	1.035.716
	2024	1.282.574	1.401.924	861.024	1.001.222
	(%)	12,7	-4,2	24,9	-3,3

Bu Tablo 5.2, Türkiye otomotiv pazarının 2023 ve 2024 yılları arasında ağustos ayı ve Ocak-Ağustos dönemi için üretim, ihracat ve ithalat performansını kıyaslamaktadır.

Türkiye otomotiv sektörü toplam pazarı, 2024 yılının Ağustos ayında, bir önceki yılın aynı ayına göre %0,4 artarak 93.792 adet, üretim %26,7 azalarak 53.502

adet ve ihracat %17,3 azalarak 57.856 adet oldu. İhracat değeri ise %5,1 oranında azalarak 2 milyar 651 milyon dolar seviyesine ulaşmıştır.

Genel olarak, üretim ve ihracat adetlerinde düşüş gözlemlenirken, pazar büyümesi ve ithalat oranlarında artışlar görülmektedir. İhracat değerinin hafif bir artış göstermesi, adet bazındaki düşüşe rağmen değer bazında daha dayanıklı bir yapının olduğunu işaret etmektedir.

Tablodaki üretim, ithalat ve ihracat rakamlarının doğrudan birbirine denk gelmemesi, çeşitli faktörlere dayanmaktadır. Bu farklılıklar, stok değişikliklerinden, yerel pazarda gerçekleşen satışlardan veya dönemsel zamanlama farklarından kaynaklanabilir. Ayrıca, ithalat ve ihracat rakamları tamamlanmış araçları ifade ederken, üretim verileri bu tanımlamadan farklı bir kapsamda değerlendirilebilir. Veri tutarsızlıkları ise istatistiksel yuvarlama veya sınıflandırma farklılıklarından kaynaklanabilir.

5.3. Türkiye'de Elektrikli Araçlar

Ekonomik rekabet gücü ve çevre sorunları, küresel piyasalarda giderek daha önemli ve öncelikli hale gelmektedir. Bu iki kavramın küresel piyasalar için kritik bir öneme sahip olmasının temel sebebi, yeni bir ekonomik yaklaşım ve anlayışın ortaya çıkmasıdır. "Yeni ekonomi" olarak adlandırılan bu kavram, ekonomik kaynakların, bilginin ve teknolojinin en verimli şekilde kullanılmasını teşvik etmektedir. Elektrikli araçların küresel piyasalarda popüler hale gelmesinin başlıca nedeni de bu yeni ekonomi anlayışının yaygınlaşmasıdır. Elektrikli otomobiller, çevresel etkilerinin azaltılması ve düşük maliyet avantajları nedeniyle piyasalar açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Sürecin ilerlemesiyle birlikte, elektrikli araçlar sürdürülebilir ve rekabetçi bir yaklaşımın önemli bir parçası olarak değerlendirilecek ve gelişmekte olan ekonomiler için büyük bir fırsat olarak görülecektir.

Türkiye'de elektrikli araçların üretimi ve kullanımına ilişkin en kritik sorun, yasal altyapının eksikliğidir. Bir diğer önemli sorun ise mevcut mevzuat kapsamında elektrikli araçlara uygulanan yüksek vergi oranları ve motorlu taşıtlara yönelik farklı türde vergilerdir. Üçüncü önemli sorun, elektrikli araçların yeniden şarj edilmesine yönelik teknolojik altyapının yetersizliğidir. Bu faktörler, Türkiye'deki potansiyel talebi ve tüketicilerin elektrikli araçlar konusundaki algı ve kararlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla, bu sorunlar, Türkiye'de ve küresel ölçekte

elektrikli araçlara yönelik talebin büyümesinin önündeki en büyük engelleri temsil etmektedir.

Bu zorluklara yanıt olarak, üreticiler Türkiye piyasasına yönelik yeni pazarlama ve satış stratejileri geliştirmiştir. Üreticiler, söz konusu sorunlar çözüme kavuşana kadar ticari araç sahiplerini ve kamuya ait araç filolarını hedeflemektedir. Aynı zamanda, yurtdışındaki piyasa paylarını da genişletmeye çalışmaktadırlar. Bu faaliyetler kapsamında, üreticiler reklam ve pazarlama kampanyalarında çevre dostu araçları teşvik eden bir söylemden yararlanmakta ve maliyetleri düşürmek için yeni politikalar oluşturmaktadır. Ancak, Türkiye'de elektrikli araçların tercih edilme nedeni genellikle ekonomik etkenler ve kullanım ömrüne bağlı düşük maliyetlerdir; tüketicilerin ekolojik konulara olan farkındalıkları ise sınırlıdır. Bu nedenle, çevre bilincini artırmak için daha fazla çalışma ve girişim yapılması gerekmektedir. Bu tür çalışmalar, üniversiteler, sanayi ve kamu sektörü işbirliği ile gerçekleştirilebilir.

Türk otomotiv sanayisinin, elektrikli araçların üretim merkezi haline gelebilmesi ve küresel piyasalarda önemli bir aktör olarak yer alabilmesi için son derece rekabetçi olması gerekmektedir. Gelişmekte olan piyasalara ihracat yapmalı ve rekabet avantajı sağlamalıdır. Aynı zamanda, Türk otomotiv sektörü daha fazla istihdam yaratmak ve Ar-Ge çalışmalarını güçlendirmek için yeterli kaynaklara sahip olmalıdır. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda, Türk otomotiv endüstrisinin, yakın gelecekte elektrikli araçların üretim ve tüketiminde büyük ilerleme kaydetme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Yılmaz ve Ustaoglu, 2013: 15).

Türkiye'nin otomotiv sanayisinde, özellikle de elektrikli araçların geliştirilmesinde önemli dönüm noktalarından biri, Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) adlı şirketin kurulmasıdır. 2018 yılında bir ortak girişim olarak kurulan TOGG, Türkiye'nin yerli otomotiv girişimi olarak elektrikli araçların üretimi ve dağıtımını hedeflemektedir. Günümüzde elektrikli araçların önemi giderek artmakta ve bu araçlar, gelecekte otomotiv sektörünün vazgeçilmez bir unsuru haline gelmektedir. Dünyada yeni teknolojilerin benimsenmesiyle birlikte, içten yanmalı motorlu araçlar yerini yavaş yavaş elektrikli araçlara bırakmaktadır. Türkiye de bu teknolojik dönüşümün bir parçası olmak amacıyla önemli adımlar atmış ve TOGG bünyesinde yeni bir yolculuğa başlamıştır.

Otomotiv sektörü, geniş bir çalışma ve teknik uzmanlık alanını kapsamaktadır. Bir aracın iç tasarımı ergonomi bilimine dayanmakta, mühendislik disiplinleri aracılığıyla matematiksel ve fiziksel hesaplamalar yapılmakta ve batarya sistemleri ile elektrik gibi farklı teknolojik alanlar bu sürece dahil edilmektedir. Bu süreç, sürekli olarak iyileştirme ve takip gerektiren uzun bir geliştirme aşaması içermektedir. Araçların seri üretime geçmeden önce sürüş testleri, çarpışma testleri gibi bir dizi güvenlik ve performans testi başarıyla tamamlanmalıdır. TOGG, bu testleri başarıyla geçmiş olup, halihazırda seri üretim aşamasına ulaşmıştır. TOGG'un elektrikli araç üretimindeki bu ilerlemesi, Türkiye'nin elektrikli araç piyasasında rekabetçi bir aktör olma yolunda önemli bir adımı temsil etmektedir (Özçelik ve diğ.: 38 - 40).



6. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BENİMSENMESİNİN DİNAMİK MODELLENMESİNE DAYALI METODOLOJİLER

6.1. Tahmin Modelleri

Elektrikli araçların hızla yaygınlaşmasıyla birlikte birçok araştırmacı, şu anda mevcut olan hibrit elektrikli araç teknolojilerinin ve yeni plug-in hibrit elektrikli araçların ve elektrikli araç teknolojilerinin dünya piyasalarındaki penetrasyon oranını tahmin etmek için modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, piyasadaki etkileşimleri temsil etmek için kullandıkları modelleme tekniği ile karakterize edilebilmektedir.

Literatürde, elektrikli araç piyasasına yönelik tahminlerde kullanılan başlıca üç modelleme tekniği literatür başlığı altında ifade edilmiştir. Bunlar; Temsil Tabanlı Modeller (Agent-Based Models), Temsilci Tabanlı Modeller (Consumer Choice Models) ve Yayılım ve Zaman Serisi Modelleri (Diffusion and Time Series Models). Yayılım, yeni bir buluşun veya ürünün piyasa tarafından kabul edilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Yeni bir ürünün piyasada yayılma hızına yayılım hızı denir ve bu süreç, otomotiv piyasalarında yenilik yayılımını modellemek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Temel yayılım modelleri ise aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

6.1.1. Bass Modeli

Yeni ürünleri tahmin etmek için en yaygın olarak kullanılan difüzyon modeli, Bass difüzyon modelidir. Bass modeli, ürün satışlarını tahmin etmek için Frank Bass tarafından ortaya atılmıştır (Kumar ve diğ., 2022). Bass modeli, herhangi bir zamanda satın alma olasılığının önceki alıcıların sayısı ile doğrusal olarak ilişkili olduğu varsayımına dayanmaktadır. Otomotiv bağlamında farklı ülkelerde doğal gaz araçlarının yayılmasını araştırmak için Bass modeli uygulanmıştır. Modelin denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{dF(t)}{dt} = [p + qF(t)][1 - F(t)] \quad (6.1)$$

Burada, $F(t)$, t anında yeniliği benimseyen toplam müşteri tabanının oranını temsil eden kümülatif dağılım fonksiyonudur. Ayrıca p , kendiliğinden benimseme oranıdır ve q , benimsemeyi taklit etme oranıdır (Kumar ve diğ., 2022: 4).

m'nın piyasa potansiyeli olduğunu varsayalım; bu yüzden yukarıdaki denklem aşağıda gösterildiği gibi ifade edilebilmektedir:

$$F(t) = m \left(\frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \left(\frac{q}{p}\right)e^{-(p+q)t}} \right) \quad (6.2)$$

6.1.2. Lojistik Modeli

Pierre Francois Verhulst ilk olarak 1838'de demografik çalışmalar için Lojistik büyüme modelini geliştirmiştir (Kumar ve diğ., 2022: 5). Böyle bir modelin altında yatan ilke, nüfusun maksimum değerine ulaşmasıyla birlikte büyümenin azaltılmasıdır. Birçok çalışma, inovasyonun zaman içinde benimsenmesini tasvir etmek için Lojistik veya S-biçimli işlevleri kullanmıştır. Teknoloji yayılımı, yavaş başlangıç ve yavaş bitiş büyüme hızı açısından biyolojik büyümeye benzer olduğundan, Lojistik dağıtım, teknolojinin penetrasyonunu tahmin etmek için de kullanılmaktadır. Ayrıca, bireylerin yeni bir ürünü benimsemek için farklı ve normal dağılımlı eşikleri vardır ve bu nedenle bu tür bir eğri, zaman içinde uzun vadeli elektronik araçların benimsenmesini açıklamak için uygun olacaktır. Lojistik model, teknoloji benimseme literatürünün farklı akışlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumar ve diğ., 2022: 5).

Lojistik eğrisi bu nedenle şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{dF(t)}{dt} = b1 \left[1 - \left(\frac{F}{K}\right) \right] \quad (6.3)$$

Burada b1, difüzyon hızını temsil eder; b1>0. F (t), F ve K gibi diğer parametreler, Bass modelinde olduğu gibi benzer şekilde tanımlanmaktadır. Lojistik denklem eğrisinin son denklemi:

$$F(t) = \frac{K}{1 + e^{-b1(t-b2)}} \quad (6.4)$$

Burada e, doğal logaritma tabanıdır ve b2, zaman ölçeğindeki sapmadır.

6.1.3. Gompertz Modeli

Gompertz modeli, başlangıçta tümörlerin büyümesini tahmin etmek üzere geliştirilmiş olup, tıp alanında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Gompertz modelinin

bir avantajı, regresyon parametrelerini bağımsız olarak değiştirerek zaman serisi verilerini uydurmadaki esnekliğidir. Bu model, benimseme döneminin başında ve sonunda büyümenin daha yavaş olduğu teknoloji inovasyonu da dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda başarıyla benimsenmiştir. Başlangıçta yavaş bir benimseme hızıyla benzer bir eğilim izleyen elektronik araçlar, diğer difüzyon modelleriyle karşılaştırmalı olarak Gompertz model performansı ile de test edilebilir (Kumar ve diğ., 2022: 5). Gompertz modelinin matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\frac{dF(t)}{dt} = b1 \left[\ln\left(\frac{F}{K}\right) \right] \quad (6.5)$$

Bu notasyonlar yukarıda tanımlandığı gibidir. Gompertz'in eğrisinin iki ana özelliği vardır: Birincisi, büyüme oranı her zaman negatif değildir, ikincisi ise doyma noktasından önce bir bükülme noktasının varlığını içerir. Gompertz eğrisi aşağıdaki gibi temsil edilmektedir:

$$F(t) = K \left[e^{-e^{-b1(t-b2)}} \right] \quad (6.6)$$

6.1.4. Genelleştirilmiş Bass Modeli

Bass yayılım modelinin sınırlamaları, teknolojinin yayılması üzerindeki belirli faktörlerin etkilerini değerlendirmek amacıyla Genelleştirilmiş Bass Modeli tarafından ele alınmıştır. Örneğin, Genelleştirilmiş Bass Modeli, önceki Bass modeline "mevcut pazarlama çağı" adlı yeni bir faktör eklemektedir. Bu modelin bu benzersiz özelliği, onu çeşitli alanlarda etkili bir şekilde tahmin yapabilme kapasitesine sahip kılmaktadır (Kumar ve diğ., 2022: 5).

Yapısal kırılmalı Bass modeli (GBM, Generalized Bass Model) de Bass modelinin genel bir formudur ve aşağıdaki diferansiyel denklemi içerir:

$$\frac{dN(t)}{dt} = p \cdot [m - N(t)] + q \cdot \frac{N(t)}{m} \cdot [m - N(t)] + S(t) \quad (6.7)$$

$\frac{dN(t)}{dt}$: t anındaki yenilik/difüzyon oranı (instantaneous adoption rate)

p : Yenilik katsayısı (innovation coefficient)

q : Taklit katsayısı (imitation coefficient)

m : Potansiyel pazar büyüklüğü (market potential)

$N(t)$: t zamanına kadar biriken kullanıcı sayısı (cumulative adopters)

$S(t)$: Şok fonksiyonu (örneğin, exponential, rectangular veya mixed türlerinde olabilir)

Şok Parametreleri

Üstel (Exponential) Şok:

$$S(t) = c \cdot e^{b \cdot (t - a)} \quad S(t) = c \cdot e^{\{b \cdot (t - a)\}} \quad (b \text{ genellikle negatif bir değerdir})$$

a : Şokun başlangıç zamanı

b : Şokun etkisinin azalma oranı

c : Şokun yoğunluğu (intensity)

Karesel (Rectangular) Şok:

$$S(t) = c \quad S(t) = c \quad (eğer \ a \leq t \leq b \ a \leq t \leq b, aksi takdirde 0)$$

a : Şokun başlangıç zamanı

b : Şokun bitiş zamanı

c : Şokun yoğunluğu

Karma (Mixed) Şok:

Hem üstel (exponential) hem karesel (rectangular) şoklar bir arada modellenir.

Bu model, özellikle pazar dinamikleri üzerinde ani etkiler yaratabilecek dışsal olayları hesaba katar ve yenilik yayılmasını daha hassas bir şekilde modelleme imkânı sunar.

6.1.5. Genelleştirilmiş Bass Difüzyon Modeli (GBDM) ile Pili Elektrikli Araç (BEV) ve Şarj Altyapısının Eşanlı Tahmini

Elektrikli araç satışlarının ve şarj altyapısının (hem hızlı hem de yavaş şarj noktaları) etkilerini modellemek amacıyla kullanılan Bass Modeli, benimseme oranının yenilikçiler (içsel ilgiye göre benimseyenler) ve taklitçiler (başkalarıyla etkileşime girerek benimseyenler) tarafından etkilendiğini varsayar. Araştıma kapsamında bu model, elektrikli araç şarj noktaları gibi ek değişkenleri de benimseme oranlarını etkileyecek şekilde dahil ederek Genelleştirilmiş Bass modeline dönüştürülmüştür. Ardından şarj altyapısının yaygınlaşması, tüketici benimsemesini artırırken, artan tüketici benimsemesi de altyapı yatırımlarını teşvik eden bir geri bildirim döngüsü yaratacağı düşüncesiyle bu karşılıklı etkileşimler,

çalışmanın eşanlı modelleme yapısı ile ele alınarak literatürdeki diğer çalışmalardan farklı bir tasarım ortaya konulmuştur. Parametreler, gözlemlenen verilere uyacak şekilde optimizasyon teknikleri ile tahmin edilmiştir.

Geliştirilen model, BEV satışlarını ve şarj noktalarının eşanlı artışını öngörmeyi hedeflemektedir. Bu model, yenilik ve taklit etkilerini dikkate alarak şarj altyapısının BEV benimsenmesine olan etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

6.1.6. Sürekli (Continuous) Bass Modeli Diferansiyel Denklemleri

Bu model, diferansiyel denklemlerle tanımlanır ve zaman içindeki değişimi sürekli bir şekilde modellemek için kullanılır. Sürekli modelin matematiksel denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= \left((p_0 + p_1x_1 + p_2x_2) + (q_0 + q_1x_1 + q_2x_2) \left(\frac{N}{M} \right) \right) (M - N) \\ \frac{dx_1}{dt} &= \alpha_1 \left(\frac{N}{M} \right) \\ \frac{dx_2}{dt} &= \alpha_2 \left(\frac{N}{M} \right)\end{aligned}\tag{6.8}$$

Bu denklemlerde:

- $N(t)$: t zamannındaki pilli elektrikli araçların satışları.
- $x_1(t)$: t zamannındaki hızlı şarj noktalarının sayısı.
- $x_2(t)$: t zamannındaki yavaş şarj noktalarının sayısı.
- p_0, p_1, p_2 : Yenilik katsayıları.
- q_0, q_1, q_2 : Taklit katsayıları.
- α_1, α_2 : Şarj noktalarının artış hızları.
- M : Piyasadaki toplam potansiyel kullanıcı sayısı (maksimum BEV satışları).

6.1.7. Kesikli (Discrete) Bass Modeli Fark Denklemleri

Eğer zaman dilimi $\Delta t = 1$ alınırsa, Bass modelinin fark denklemleri belirli bir zamanda yeni kullanıcıların sayısını (yani yeni BEV satışlarını) ve şarj noktalarının artışını hesaplar. Sürekli modelin kesikli versiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
N_{t+1} &= N_t + \Delta t \left((p_0 + p_1 x_{1t} + p_2 x_{2t}) + (q_0 + q_1 x_{1t} + q_2 x_{2t}) \left(\frac{N_t}{M} \right) \right) (M - N_t) \\
x_{1t+1} &= x_{1t} + \Delta t \left(\alpha_1 \frac{N_t}{M} \right) \\
x_{2t+1} &= x_{2t} + \Delta t \left(\alpha_2 \frac{N_t}{M} \right)
\end{aligned} \tag{6.9}$$

6.1.8. Model Parametrelerinin Optimizasyonu

Modelde kullanılan başlangıç parametre değerleri ve optimizasyon süreci aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir:

Başlangıç Parametrelerinin Belirlenmesi: $p_0, p_1, p_2, q_0, q_1, q_2, \alpha_1, \alpha_2, M$ başlangıç değerleri belirlenmiştir.

Optimizasyon Süreci: Belirlenen başlangıç parametreleri, modelin gözlemlenen BEV satışları ve şarj noktalarının artışı ile uyumlu hale gelene kadar optimize edilmiştir. Bu süreçte optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır.

Yukarıdaki metodoloji, BEV satışlarını ve şarj noktalarının gelişimini tahmin etmede kullanılabilecek esnek ve güçlü bir araç sunmaktadır. Bu model, özellikle şarj altyapısının BEV benimsenmesini nasıl etkilediğini incelemek için kullanılmıştır. Modelin parametreleri doğru bir şekilde optimize edilerek, gelecekteki BEV satışları ve şarj altyapısının gelişimi hakkında güvenilir tahminler elde edilmiştir.

7. TÜRKİYE'NİN ELEKTRİKLİ ARAÇ BENİMSEMESİ BAĞLAMINDA YAYILIM MODELLERİNİN UYGULANMASI

7.1. Standart Bass Modelinin Uygulanması

Bu bölümün ilk senaryosu olarak, difüzyon modellerinden standart Bass modeli uygulanmıştır. Analizlerde, Uluslararası Enerji Ajansı'ndan elde edilen ikincil verileri kullanılmıştır (IEA, 2023a). Bu veri seti, Türkiye'deki farklı türdeki elektrikli araçların satışları, piyasa payı yüzdeleri, stok seviyeleri ve şarj istasyonu sayıları gibi çeşitli ölçümleri içermektedir. Elektrikli araçların nispeten yeni bir gelişme olması nedeniyle veri kapsamımız 2012-2022 yıllarıyla sınırlıdır. Araştırmada, verileri etkin bir şekilde yorumlamak için R istatistik programındaki DIMORA paketinden yararlanılmıştır.

7.2. Pili Elektrikli Araçlar (Battery Electric Vehicles-BEVs) Üzerinde Standart Bass Modelinin Uygulanması

Bu kısımda, özellikle pili elektrikli araçlara odaklanarak standart Bass modelinin uygulamasını ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Model, kümülatif dağılım fonksiyonu olan $F(t)$ fonksiyonunu kullanmaktadır. Bu fonksiyon, t zamanına kadar yeniliği benimsemiş olan toplam potansiyel müşteri tabanının oranını temsil etmektedir. Bu bağlamda " p ", kendiliğinden benimseme oranı olarak da bilinen ve önceki benimseyenlerin sayısından bağımsız olarak benimsenme olasılığını yansıtan yenilik katsayısını ifade etmektedir. Öte yandan " q " taklit katsayısını veya taklidin benimsenme oranını temsil etmektedir ve mevcut benimseyenlerin potansiyel yeni benimseyenler üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu uygulama, müşteri tabanında bu oranlar arasındaki etkileşimi analiz ederek BEV'lerin zaman içindeki benimsenme modelini anlamayı ve tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

Tablo 7.1. Pili Elektrikli Araçta Standart Bass Modelinin Tahmini

Parametre	Tahmin	Standart hata	Alt sınır	Üst Sınır	P-değeri
m	72.725	6.790,414	13.236,240	13.381,690	0.992
p	0.000431	0.041115	-0.080154	0.081015	0.992
q	0.246	0.229	-0.204	0.695	0.332

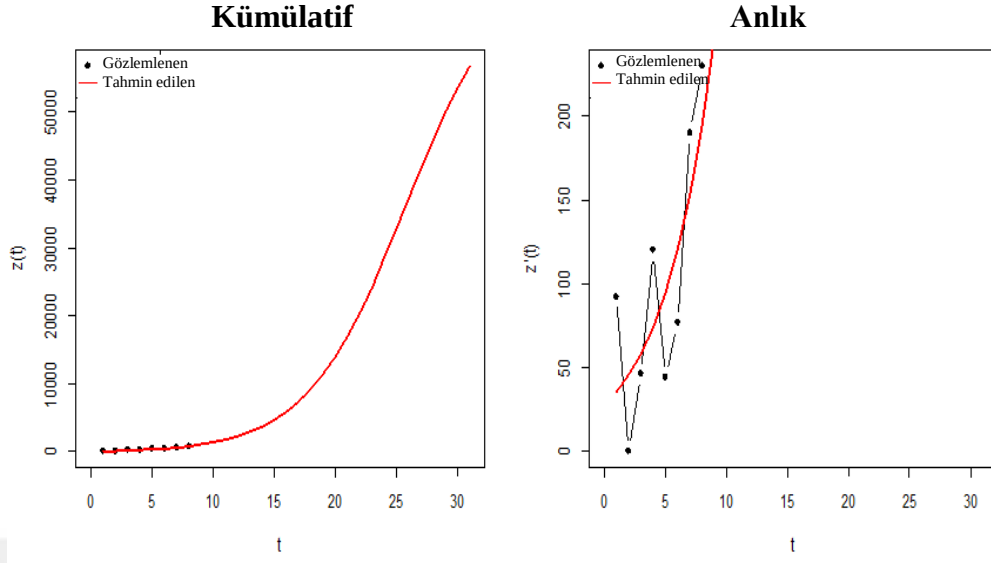
R^2 : 0.990

Tablo 7.1., pilli elektrikli araçlara ilişkin Standart Bass Modelinin tahminini sunmakta ve her parametre için parametre tahminlerini, standart hataları, sınırları ve p değerlerini özetlemektedir. Tabloda 72.725'lik bir piyasa potansiyeli (m) tahmini gösterilmektedir; bu oldukça büyük ancak çok yüksek bir standart hataya sahip olup, bu tahminde yüksek düzeyde belirsizlik olduğunu göstermektedir. Bu, tahminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını gösteren çok geniş güven aralığı ve 1'e yakın bir p değeri ile de desteklenmektedir.

Sırasıyla yenilik ve taklit katsayılarını temsil eden p ve q katsayılarına ilişkin tahminler, p 0,000431 ve q 0,246 olmak üzere çok küçük değerler göstermektedir. Ancak m'ye benzer şekilde standart hatalar, tahminlerin kendisiyle karşılaştırıldığında nispeten büyüktür ve güven aralıkları geniştir. p için p değeri de 1'e çok yakındır ve bu da tahminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. q için p-değeri 0,332'dir, bu da bir miktar anlamlılık düzeyine işaret eder ancak çok güçlü değildir.

0,9902'lik R^2 değeri, modelin verilere iyi uyum sağladığını göstermektedir ve bağımlı değişkendeki varyansın büyük bir kısmını açıklamaktadır. Ancak yukarıda belirtilen parametre tahminleriyle ilgili sorunlar göz önüne alındığında, bunun dikkatle yorumlanması gerekmektedir.

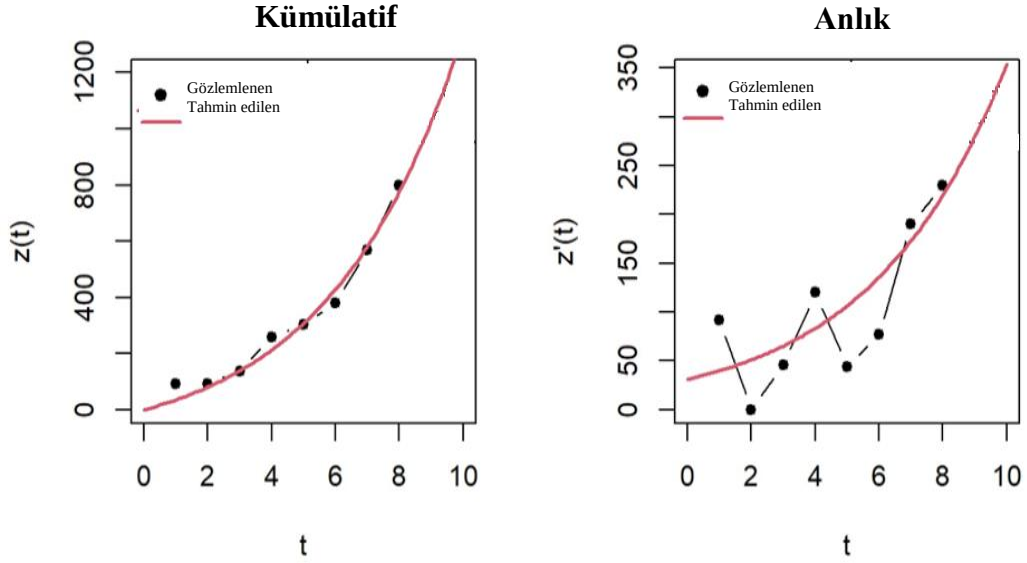
Genel olarak tablo, model verilere iyi uyum sağlarken, parametre tahminlerinin oldukça belirsiz olduğunu ve hepsinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Bunun nedeni verilerin doğası, modelin varsayımlarının tam olarak karşılanmaması veya bu model tarafından yakalanmayan BEV'lerin yayılmasını etkileyen diğer faktörler olabilmektedir. Sonuçlar, BEV'nin benimsenmesine neden olan faktörleri daha iyi anlamak için daha fazla veriye veya farklı bir modelleme yaklaşımına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Ancak asıl sorun, yeni bir teknoloji olan elektrikli araçlara ilişkin yeterli verilerin olmayışıdır.



Şekil 7.1. BM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu

Şekil 7.1., BEV elektrikli araç satışlarına odaklanarak bir ürünün veya teknolojinin zaman içindeki yayılımını gösteren yan yana iki grafik sunulmaktadır. "Kümülatif" etiketli soldaki grafik, zaman içindeki toplam benimsemeyi sigmoidal bir eğri ile göstermektedir; burada kırmızı çizgi, tahmin edilen kümülatif benimsemeleri göstermekte ve siyah noktalar, gözlemlenen verileri temsil etmektedir. Bu eğri tipik bir difüzyon modelini göstermektedir ve bu, başlangıçtaki yavaş alımın, hızlı artışın ve nihai doygunluğun açık bir göstergesi olduğu anlamına gelmektedir.

"Anlık" etiketli sağdaki grafik, gözlemlenen veri noktaları (siyah noktalar) ve tahmin edilen değerler (kırmızı çizgi) ile belirli zamanlarda benimsenme oranını göstermektedir. Bu grafik, benimsemenin dinamik doğasını ortaya koymaktadır; oranlar düşükten başlayıp, zirveye çıkıp ve ardından düşmektedir; bu da anlık satışların zirvesinin 2030'dan önce gerçekleştiğini göstermektedir. Verilerdeki dalgalanmalar benimseme oranları üzerindeki dış etkileri yansıtabilir ve grafik kesikli dikey çizgiler içerebilir. Her iki plan da kolektif olarak benimseme sürecinin kapsamlı bir görünümünü sunmaktadır; "kümülatif" plan uzun vadeli bir perspektif sağlarken "Anlık" plan daha hızlı, dinamik bir görünüm sunmaktadır. Özellikle "Anlık" grafikte, tahmin edilen ve gerçek veriler arasında gözlemlenen tutarsızlıklar, tahmine dayalı modelin iyileştirilmesi veya dış etkilerin daha iyi anlaşılması için potansiyel alanlara işaret etmektedir.



Şekil 7.2. BM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini

Şekil 7.1'in biraz daha yaklaştırarak görünümü verilen Şekil 7.2'deki her iki grafik de Bass modeli kullanılarak pilli elektrikli araçların kümülatif ve anlık değerleri için gözlemlenen ve tahmin edilen verileri karşılaştırmaktadır. Kümülatif grafikte, gözlemlenen değerler tahmin edilen eğriyi yakından takip etmekte ve güçlü bir uyum göstermektedir. Anlık grafikte, veriler tahmin edilen eğriden daha fazla dalgalanma ve sapma göstermektedir, ancak yine de genel eğilimi takip etmektedir.

Tablo 7.2. Pili Elektrikli Araçlar 2012'den 2022'ye kadar Türkiye'de Kümülatif Fiili Satışlar ve Kümülatif Projeksiyonu

Yıl	Kümülatif Fiili Satışlar	Kümülatif Projeksiyon
2012	92	35
2013	92	81
2014	138	139
2015	258	213
2016	302	307
2017	379	428
2018	569	581
2019	799	777
2020	1689	1025
2021	4689	1341
2022	11689	1740

Tablo 7.3. Pili Elektrikli Araçlar için Bass Modeli Projeksiyonu

Yıl	BM Kullanarak EV Projeksiyonu
2012	35
2013	81
2014	139
2015	213
2016	307
2017	428
2018	581
2019	777
2020	1025
2021	1341
2022	1740
2023	2244
2024	2880
2025	3675
2026	4668
2027	5896
2028	7404
2029	9237
2030	11438
2031	14039
2032	17062
2033	20503
2034	24331
2035	28479
2036	32852
2037	37327
2038	41771
2039	46054
2040	50065
2041	53722
2042	56973
2043	59801
2044	62215
2045	64242

Yukarıdaki Tablo, Türkiye'deki pilli elektrikli araçların 2012'den 2045'e kadar olan projeksiyonunu göstermektedir.

Özellikle 2020'den itibaren gerçekleşen satışlar ile tahminler arasındaki önemli fark, BEV'lerin benimsenme oranının hızla arttığını göstermektedir. Tahminler, BEV'lerin benimsenmesinde hızlı bir artış olduğunu ve sayıların her beş yılda bir katlanarak arttığını göstermektedir. Bu, Türkiye'deki BEV'ler için, elektrikli araçlara yönelik küresel eğilimlerle uyumlu, iyimser bir geleceğe işaret etmektedir. Paydaşlar,

büyüyen BEV piyasasını desteklemek için altyapı geliştirme, yatırım kararları ve politika oluşturma için bu eğilimleri dikkate almalıdır.

7.3. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlarda (Plug-in Hybrid Electric Vehicles-PHEV) Standart Bass Modelinin Uygulanması

Bu kısımda standart Bass modelinin fişli hibrit elektrikli araçlara uygulanmasını incelenmiştir. Model, t zamanına kadar yeniliği benimseyen potansiyel müşterilerin oranını göstermek için kümülatif dağıtım fonksiyonu $F(t)$ 'yi kullanmıştır. Burada "p", bireylerin PHEV'leri bağımsız olarak benimseme olasılığını gösteren yenilik katsayısıdır; "q" ise mevcut benimseyenlerin potansiyel yenileri nasıl etkilediğini gösteren taklit katsayısıdır. Bu uygulama, bu oranlar arasındaki dinamikleri inceleyerek PHEV'in benimsenme eğilimlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

Tablo 7.4. Fişli Hibrit Elektrikli Araçta Standart Bass Modelinin Tahmini

Parametre	Tahmin	Standart hata	Alt sınır	Üst Sınır	P-değeri
m	396.805	62.147	274.999	518.610	0.0014
p	0.01244	0.00992	-0.00700	0.03188	0.2650
q	0.80668	0.28147	0.25501	135836	0.0352

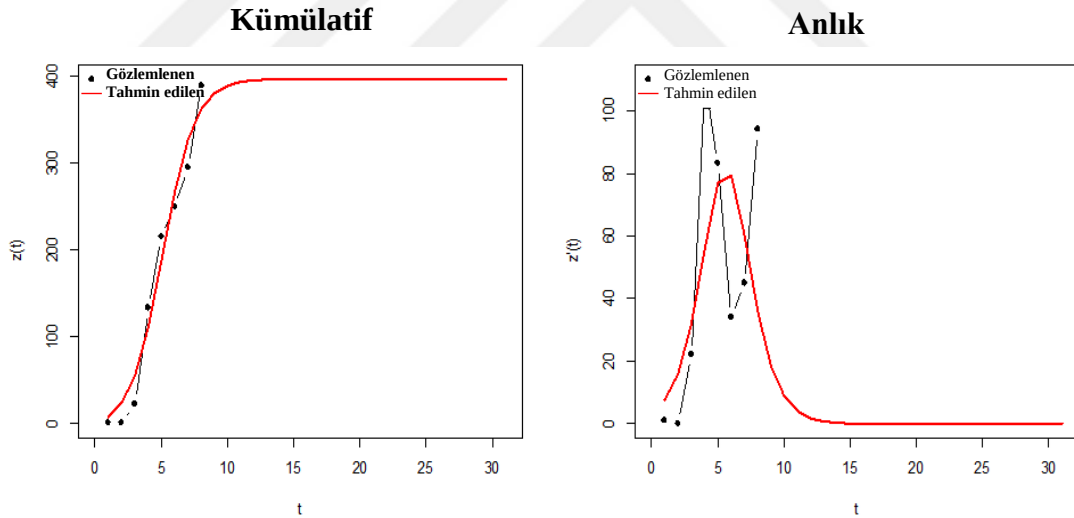
R^2 : 0.98

Tablo 7.4., fişli hibrit elektrikli araçlara uygulanan Standart Bass Modelinin tahmin sonuçlarını göstermektedir. Parametrelerin tahminlerine, bunların standart hatalarına, sınırlarına ve p değerlerine odaklanmaktadır. Piyasa potansiyelinin (m) 396.805 olduğu tahmin edilmektedir; bu, önemli bir boyuta işaret etmektedir ancak buna 62.147'lik önemli bir standart hata da eşlik etmektedir; bu da, bu tahmin etrafında önemli bir belirsizliğe işaret etmektedir. Bu belirsizlik, 274,999 ila 518,610 arasında değişen geniş güven aralığı ve düşük olmasına rağmen hala bir dereceye kadar istatistiksel anlamlılığa işaret eden 0,0014 p değeriyle vurgulanmaktadır.

Yenilik katsayısı (p) 0,01244, taklit katsayısı (q) ise 0,80668 olarak tahmin etmektedir. Her iki katsayı da Bass modeli için temeldir ve sırasıyla yenilik ve taklit nedeniyle benimsenme oranlarını gösterir. p'ye ilişkin standart hata, tahminin kendisine kıyasla nispeten yüksektir; bu, geniş bir güven aralığı ve 0,265'lik bir p

değeriyle yansıtılır; bu, p'ye ilişkin tahminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Tersine, q'nun tahmini, önemli bir standart hataya sahip olmakla birlikte, 0,0352 gibi daha küçük bir p-değeri göstermektedir, bu da p'ye kıyasla istatistiksel olarak daha anlamlı bir tahmine işaret etmektedir.

Parametre tahminlerindeki zorluklara rağmen model, 0,981'lik R^2 değeriyle güçlü bir uyum sergilemektedir; bu da bağımlı değişkendeki varyansın önemli bir bölümünü açıkladığını göstermektedir. Ancak bu yüksek R-kare parametre tahminlerinde gözlemlenen önemli belirsizlikler bağlamında dikkatli yorumlanmalıdır. Özetle, model verilere iyi bir uyum sergilerken, parametre tahminlerinin güvenilirliği, özellikle istatistiksel anlamlılıkları ve yüksek düzeydeki belirsizlikleri nedeniyle sorgulanabilir. Bu, PHEV'lerin yeniliğine ve onlar için mevcut olan sınırlı verilere atfedilebilir; bu da PHEV'nin benimsenme dinamiklerini daha iyi anlamak için daha sağlam veri toplama veya alternatif modelleme yaklaşımlarına yönelik potansiyel bir ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

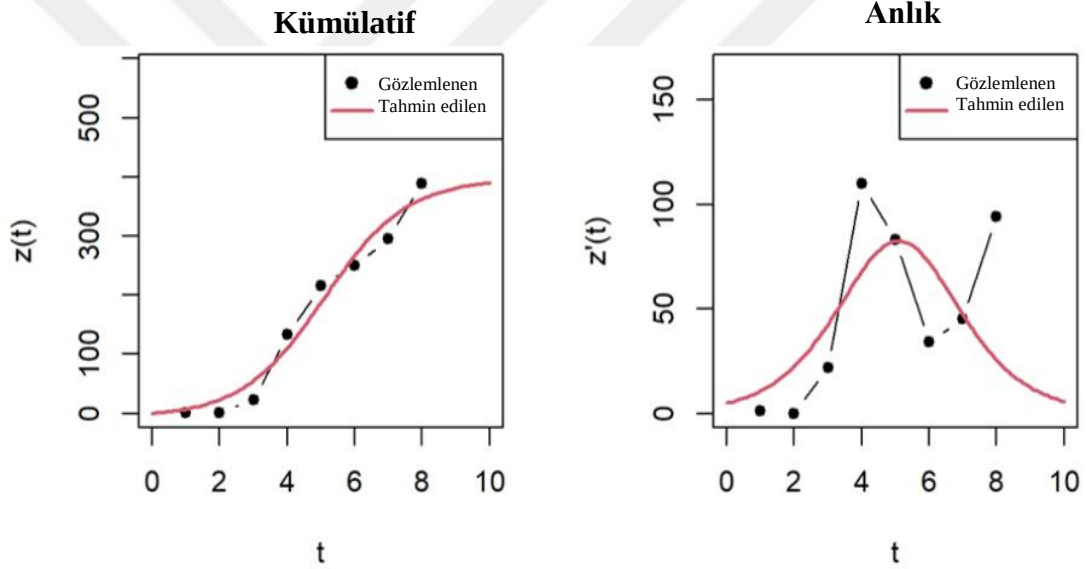


Şekil 7.3. BM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu

Her iki diyagramdaki yatay eksenler yıl (t) cinsinden ölçülen zamanı temsil etmektedir ve dikey eksenler benimseyenlerin sayısını belirtilmektedir. Hem kümülatif hem de anlık diyagramlarda kırmızı çizgi, PHEV satışlarının tahmin edilen değerlerini gösterirken, gözlemlenen değerler, tahmin edilen trend çizgisi boyunca veya çevresinde çeşitli noktalara yerleştirilen siyah noktalarla gösterilmektedir. Soldaki diyagram, tipik bir yayılma modelini gösteren sigmoidal bir eğri ile aynı hızda olan zaman içindeki kümülatif benimsenmeyi göstermektedir: bu, kademeli

bir başlangıç, ardından hızlı bir yükseliş ve sonuçta bir plato anlamına gelmektedir. Bu kümülatif tabloya göre, PHEV satışlarının 2010 yılında zirveye ulaştığı, sonrasında ise sabit bir durum göstererek daha fazla artış göstermediği görülmektedir.

Buna karşılık, sağdaki diyagram anlık benimseme oranının anlık görüntüsünü sağlamaktadır. Bu, PHEV'ler için en yüksek satış oranına 2005 civarında ulaşıldığını göstermektedir. Bu zirvenin ardından grafikte bir düşüş görülmektedir ve bu da yeni benimseyenlerin PHEV satın alma oranında bir düşüş olduğunu göstermektedir. Bu anlık görünüm, piyasa doygunluğu, yeni teknolojilerin tanıtılması veya tüketici tercihlerindeki değişiklikler gibi faktörlerin trendin şekillenmesinde önemli rol oynayabileceği benimsemenin daha dinamik yönlerine bir bakış sunmaktadır.



Şekil 7.4. BM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini

Şekil 7.3'ün biraz daha yaklaştırarak görünümü verilen Şekil 7.4'teki her iki grafik de Bass modeli kullanılarak pilli elektrikli araçların kümülatif ve anlık değerleri için gözlemlenen ve tahmin edilen verileri karşılaştırmaktadır. Kümülatif grafikte, gözlemlenen değerler tahmin edilen eğriyi yakından takip etmekte ve güçlü bir uyum göstermektedir. Anlık grafikte, veriler tahmin edilen eğriden daha fazla dalgalanma ve sapma göstermektedir, ancak yine de genel eğilimi takip etmektedir.

Tablo 7.5. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar 2012'den 2022'ye kadar Türkiye'de Kümülatif Fiili Satışlar ve Kümülatif Projeksiyonu

Yıl	Kümülatif Fiili Satışlar	Kümülatif Projeksiyon
2012	1	8
2013	1	24
2014	23	55
2015	133	111
2016	216	188
2017	250	267
2018	295	327
2019	389	363
2020	789	381
2021	1709	390
2022	2249	394

Tablo7.6. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar için Bass Modeli Projeksiyonu

Yıl	BM Kullanarak PHEV Projeksiyonu
2012	8000
2013	24000
2014	55000
2015	111000
2016	188000
2017	267000
2018	327000
2019	363000
2020	381000
2021	390000
2022	394000
2023	395000
2024	396000
2025	397000
2026	397000
2027	397000
2028	397000
2029	397000
2030	397000
2031	397000
2032	397000
2033	397000
2034	397000
2035	397000
2036	397000
2037	397000
2038	397000
2039	397000

Tablo7.6 (Devam)

2040	397000
2041	397000
2042	397000
2043	397000
2044	397000
2045	397000

2012'den 2045'e kadar Türkiye'de PHEV'in benimsenmesine ilişkin projeksiyon tablosu, özellikle 2020'den sonraki dönem dikkate alındığında belirgin olan ılımlı bir büyüme göstermektedir. Tahmin rakamları, benimseme oranında bir istikrar olduğunu göstermektedir; benimseyenlerin sayısı 2020'de 381.000'e yuvarlanmaktadır ve görünüme göre 2025'ten 2045'e kadar 397.000'de sabitlenmektedir. Daha önce bahsedilen ve daha hızlı bir benimseme yaşanabilecek BEV'lerin aksine PHEV tahminleri belirli bir noktadan sonra çok daha yavaş bir artış hızına işaret etmektedir.

Bu, birkaç anlama gelebilmektedir: PHEV piyasası erken doygunluğa ulaşıyor olabilir, daha fazla benimsenmeyi sınırlayan dış faktörler olabilir veya tüketici tercihinde PHEV'lerin aksine tamamen elektrikli araçlara doğru bir kayma olabileceğine işaret etmektedir. Bu aynı zamanda daha verimli veya uygun fiyatlı BEV modellerinin tanıtımını veya BEV alımları için etkili teşviklerin bir işaretini de yansıtabilmektedir.

Gelecekteki planlama için PHEV'in benimsenmesindeki daha yavaş büyümeyi dikkate almak önemlidir. Şarj istasyonları ve servis merkezleri gibi altyapı geliştirme, teknoloji ve üretim yeteneklerine yönelik yatırım kararları ve tüketici teşviklerine yönelik politika formülasyonu, PHEV'lerin gerçekçi benimsenme oranlarıyla uyumlu hale getirilmelidir. Bu hususların uzun vadeli stratejik planlamaya dahil edilmesini sağlamak, elektrikli araç piyasasının hangi segmentinin (PHEV'ler veya BEV'ler) gerçek tüketici davranışına ve teknolojik gelişmelere dayalı olarak en fazla vaat gösterdiğini desteklemek için çok önemlidir.

7.4. Genelleştirilmiş Bass Modelinin Uygulanması

Bu bölümün ikinci senaryosu olarak, difüzyon modellerinden Genelleştirilmiş Bass modeli uygulanmıştır. Standart Bass Modeli bu bölümün başında tartışılmıştır ve bu her iki modelin sonuçlarının karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Genelleştirilmiş Bass Modeli, Bass Modeli'nin bir uzantısıdır ve bazı sınırlamalarını gidermek için tanıtılmıştır. Bass Modeli, benimseme kalıplarını anlamak için temel bir çerçeve

sağlarken, Genelleştirilmiş Bass Modeli, gerçek dünyadaki benimseme süreçlerinin karmaşıklığını daha iyi yakalamak için ek parametreler ekleyerek daha esnek ve incelikli bir yaklaşım sunmaktadır.

7.5. Pili Elektrikli Araçlar (Battery Electric Vehicles-BEV) Üzerinde Genelleştirilmiş Bass Modelinin Uygulanması

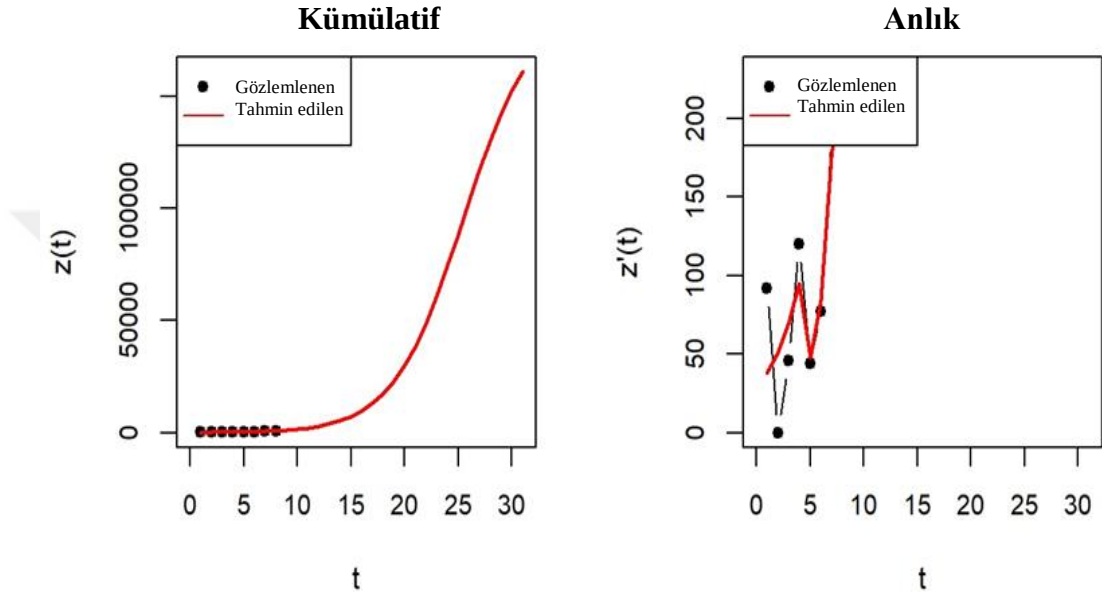
Bu kısımda, Genelleştirilmiş Bass modelinin bataryalı elektrikli araçlarda uygulanması ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu modelde $S(t)$, t zamanındaki benimseyenlerin kümülatif sayısını temsil etmektedir. Burada “ m ”, ürünün mümkün olan maksimum benimsenme düzeyini temsil eden piyasa potansiyelidir. “ p ”, yenilikçilerin benimseme süreci üzerindeki etkisini temsil eden yenilik katsayısıdır. “ q ” taklitçilerin benimseme süreci üzerindeki etkisini temsil eden taklit katsayısıdır. “ t ”, ürünün piyasaya sürülmesinden bu yana geçen süreyi veya gözlem süresinin başlangıcını gösteren zamandır.

Tablo 7.7. Pili Elektrikli Araçta Standart ve Genelleştirilmiş Bass Modelinin Tahmini

Katsayı	Bass Modeli (BM)	Genelleştirilmiş Bass Modeli (GBM)
m	72.722	190.930
p	0.00043	0.00017
q	0.24587	0.30551
$a1$	-	5
$b1$	-	-10.20316
$c1$	-	-9.94765

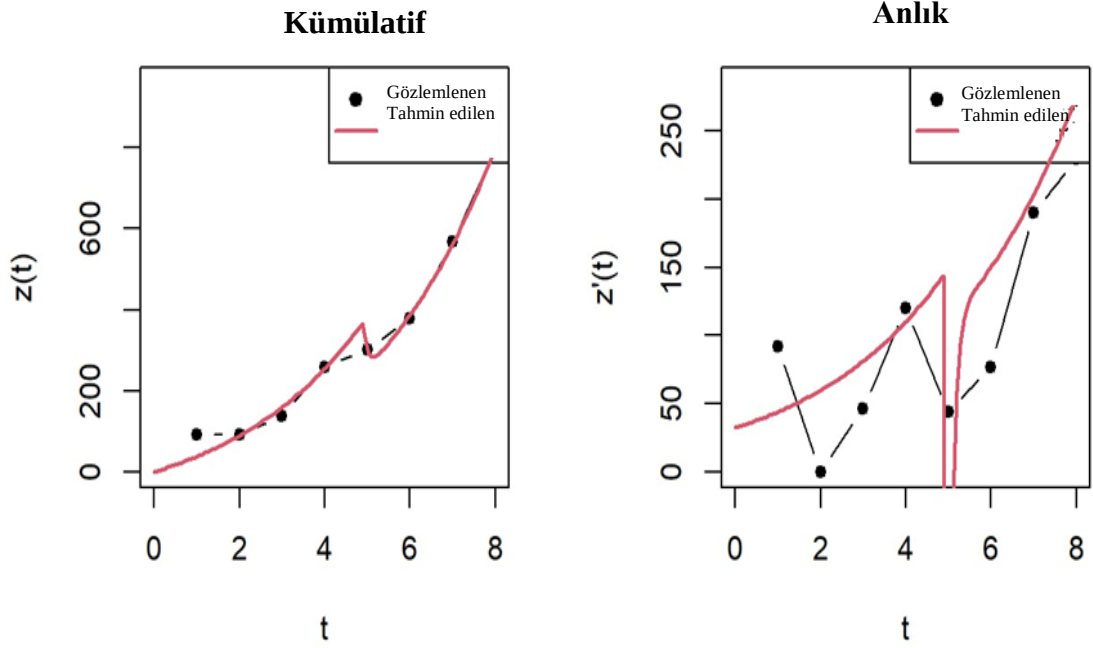
Yukarıdaki Tabloda hem Bass Modeli hem de Genelleştirilmiş Bass Modeli için katsayılar verilmektedir. “ m ”, ürünün mümkün olan maksimum benimsenme düzeyini temsil eden piyasa potansiyelini göstermektedir. Bass Modeli için m değeri 72.722, Genelleştirilmiş Bass Modeli için ise 190.930'dur. Bu, Genelleştirilmiş Bass Modelinin Bass Modeline kıyasla daha yüksek bir piyasa potansiyeli öngördüğü anlamına gelmektedir. p (inovasyon katsayısı), yenilikçilerin benimseme süreci üzerindeki etkisini temsil etmektedir. Bass Modeli için p değeri 0,00043, GBM için ise 0,00017'dir. Bu, GBM'de daha düşük bir p değerinin, Bass Modeline kıyasla yenilikçilerin daha zayıf bir etkisine işaret ettiği anlamına gelmektedir. q (taklit katsayısı), taklitçilerin benimseme sürecine etkisini temsil etmektedir. Bass Modeli için q değeri 0,24587 iken GBM için 0,30551'dir. Bu, Genelleştirilmiş Bass

Modelinde daha yüksek bir q değerinin, Bass Modeline kıyasla taklitçilerin daha güçlü bir etkisine işaret ettiği anlamına gelmektedir. a_1 , b_1 , c_1 (GBM'deki ek parametreler) Genelleştirilmiş Bass Modeline özeldir ve temel Bass Modelinde mevcut değildir. Bu parametreler, gerçek dünyadaki benimseme süreçlerinin karmaşıklığını daha iyi yakalamak için genelleştirilmiş modelde sunulan ek faktörleri veya ayarlamaları (burada şokları) temsil edebilmektedir.



Şekil 7.5. GBM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu

Her iki diyagramdaki yatay eksenler yıl (t) cinsinden ölçülen zamanı temsil etmektedir ve dikey eksenler benimseyenlerin sayısını belirtilmektedir. Hem kümülatif hem de anlık diyagramlarda kırmızı çizgi, BEV satışlarının tahmin edilen değerlerini gösterirken, gözlemlenen değerler, tahmin edilen trend çizgisi boyunca veya çevresinde çeşitli noktalara yerleştirilen siyah noktalarla gösterilmektedir. Başlangıçta kümülatif satışlar oldukça yatay ilerlemekte, yani büyüme yavaş görünmektedir. Ancak, yaklaşık 15-20 yıl satışların hızla artması beklenmektedir. Bu, yeni teknolojilerin benimsenme eğrisine özgü olan hızlı satış büyümesine işaret eder. Bu eğilim, pazar kabulünün ve altyapı gelişiminin artmasıyla BEV satışlarının katlanarak büyüyeceğini göstermektedir. Anlık rafik, gözlemlenen satışlarda dalgalanmalar olduğunu, ancak genel olarak artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. Tahmin edilen çizgi, 5. yıldan sonra anlık satışlarda hızlı bir artış, 10. yıl civarında zirve ve ardından hafif bir azalma ya da dengeye gelme durumunu öngörmektedir.



Şekil 7.6. GBM kullanılarak BEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini

Diyagram, Genelleştirilmiş Bass Modeli kullanılarak eğitim amaçlı olarak dikkate alınan sekiz yıllık BEV tahminini göstermektedir. Diyagram, bataryalı elektrikli araç tahminlerini sekiz yıllık bir dönem boyunca göstermekte olup, dördüncü yılda belirgin bir yapısal kırılma gözlemlenmektedir. Bu yıl, çalışma veri setinde 2016 yılına denk gelmektedir. Bu yapısal kırılmanın ekonomik yorumu, 2016 yılında Türkiye’de yaşanan darbe girişimine denk gelmiştir.

Tablo 7.8. BM ve GBM Modelleri (BEV) için Eğitim ve Test Doğruluğu

Metrik*	BEV için BM'nin Eğitim Doğruluğu	BEV için BM'nin Test Doğruluğu	BEV için GBM'nin Eğitim Doğruluğu	BEV için GBM'nin Test Doğruluğu
ME	8.53	3854.80	4.68	3615.38
RMSE	32.42	5484.57	20.92	5227.27
MAE	25.27	3944.89	12.14	3769.94
MPE	9.57	44.79	5.82	38.07
MAPE	13.89	54.91	10.22	55.44

*(Eğitim için 2012 - 2019 yılları arası, test için 2020 – 2022 yılları alınmıştır)

Yukarıdaki Tablo, özellikle pilli elektrikli araçların benimsenmesi bağlamında iki modelin (BM ve GBM) değerlendirilmesine ilişkin ölçümleri göstermektedir.

Eğitim doğruluğu nedeniyle ME, Bass Modeli için 8.53 ve Genelleştirilmiş Bass Modeli için 4.68'dir. Test doğruluğu nedeniyle ME, Bass Modeli için 3854,80 ve Genelleştirilmiş Bass Modeli için 3615,38'dir. ME, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ortalama farkı temsil eder. Daha düşük bir ME daha iyi doğruluğu göstermektedir. Genelleştirilmiş Bass Modeli genellikle hem eğitimde hem de testte daha düşük ME sergiler; bu da BEV'nin benimsenmesi için Bass Modeline kıyasla daha doğru tahminler sağladığını göstermektedir. Bass Modeli için eğitim doğruluğu nedeniyle RMSE 32,42 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için 20,92'dir. Bass Modeli için test doğruluğu nedeniyle RMSE 5484,57 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için 5227,27'dir. RMSE, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki hataların ortalama büyüklüğünü ölçmektedir. Yine düşük değerler daha iyi doğruluğu göstermektedir. Genelleştirilmiş Bass Modeli hem eğitimde hem de testte daha düşük RMSE sergileyerek Bass Modeline kıyasla daha iyi bir tahmin performansına işaret etmektedir. Bass Modeli için eğitim doğruluğu nedeniyle MAE 25,27 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için 12,14'tür. Bass Modeli için test doğruluğu nedeniyle MAE 3944,89 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için 3769,94'tür. MAE, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ortalama mutlak farkı temsil etmektedir. Daha düşük MAE daha iyi doğruluğu göstermektedir. Genelleştirilmiş Bass Modeli yine daha düşük MAE göstermektedir, bu da BEV'nin benimsenmesi için Bass Modeline kıyasla daha iyi tahmin doğruluğu anlamına gelmektedir. Bass Modeli için eğitim doğruluğu nedeniyle MPE %9,57 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için %5,82'dir. Bass Modeli için test doğruluğu nedeniyle MPE %44,79 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için %38,07'dir. MPE, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ortalama yüzde farkını temsil etmektedir. Daha düşük MPE daha iyi doğruluğu göstermektedir. Genelleştirilmiş Bass Modeli daha düşük MPE göstermektedir, bu da BEV'nin benimsenmesi için Bass Modeline kıyasla daha doğru tahminler sağladığını göstermektedir. Bass Modeli için eğitim doğruluğu nedeniyle MAPE %13,89 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için %10,22'dir. Test doğruluğu nedeniyle MAPE, Bass Modeli için %54,91 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için %55,44'tür. MAPE, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ortalama mutlak yüzde farkını temsil etmektedir. Yine, daha düşük MAPE daha iyi doğruluğu göstermektedir. Bu durumda, Genelleştirilmiş Bass Modeli test doğruluğu için biraz daha düşük MAPE gösterirken, eğitim doğruluğu için Bass Modeli biraz daha düşük MAPE'ye sahiptir. Genel olarak Genelleştirilmiş

Bass Modeli, çeşitli değerlendirme ölçümlerinde Bass Modelinden daha iyi performans göstermektedir ve bu da BEV'nin benimsenmesi için üstün tahmin doğruluğunu gösterebilmektedir.

Tablo 7.9. Pili Elektrikli Araçlar için Genelleştirilmiş Bass Modeli Projeksiyonu

Yıl	GBM Kullanarak BEV Projeksiyonu
2012	38
2013	90
2014	159
2015	254
2016	302
2017	387
2018	562
2019	800
2020	1122
2021	1557
2022	2145
2023	2937
2024	4002
2025	5428
2026	7330
2027	9850
2028	13162
2029	17470
2030	22995
2031	29955
2032	38529
2033	48806
2034	60726
2035	74035
2036	88280
2037	102850
2038	117081
2039	130365
2040	142252
2041	152493

Tablo 7.9. (Devam)

2042	161032
2043	167960
2044	173457
2045	177741

Tablo 7.9’da sunulan projeksiyon, Genelleştirilmiş Bass Modeline göre 2012’den 2045’e kadar her yıl için bataryalı elektrikli araçların tahmini benimsenmesini göstermektedir. Projeksiyon, BEV’lerin zaman içinde benimsenmesinde kademeli bir artışa işaret etmektedir. İlk yıllarda benimsenme oranı nispeten düşük olsa da zaman ilerledikçe teknolojik ilerlemeler, farkındalığın artması, altyapının gelişmesi gibi faktörler nedeniyle benimsenme oranı hızlanmaktadır. Tahmin, 2045 yılına kadar BEV’lerin benimsenmesinde ciddi bir artışa ulaşarak önemli bir sayıya ulaşacağını öngörmektedir. Bu projeksiyon, politika yapıcılarının, sektör paydaşlarının ve araştırmacıların BEV’lerin potansiyel büyüme yörüngesini anlamaları ve bunların benimsenmesini destekleyecek gerekli altyapıyı, politikaları ve piyasa stratejilerini planlamaları açısından değerli olabilmektedir.

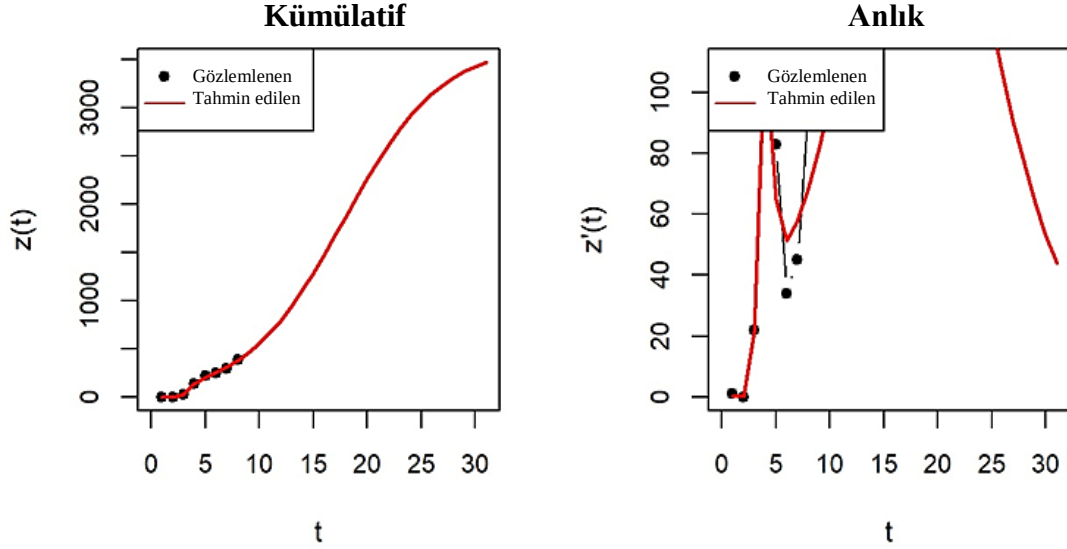
7.6. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar (Plug-in Hybrid Electric Vehicles-PHEV) Üzerinde Genelleştirilmiş Bass Modelinin Uygulanması

Bu kısımda, özellikle Fişli hibrit elektrikli araçlara odaklanarak Genelleştirilmiş Bass modelinin uygulaması ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Bu modelde $S(t)$, t zamanındaki benimseyenlerin kümülatif sayısını temsil etmektedir. M , ürünün mümkün olan maksimum benimsenme düzeyini temsil eden piyasa potansiyelidir. p , yenilikçilerin benimseme süreci üzerindeki etkisini temsil eden yenilik katsayısıdır. q taklitçilerin benimseme süreci üzerindeki etkisini temsil eden taklit katsayısıdır. t , ürünün piyasaya sürülmesinden bu yana geçen süreyi veya gözlem süresinin başlangıcını gösteren zamandır.

Tablo 7.10. Fişli Hibrit Elektrikli Araçta Standart ve Genelleştirilmiş Bass Modelinin Tahmini

Katsayı	Bass Modeli (BM)	Genelleştirilmiş Bass Modeli (GBM)
m	396,81	3.666,98
p	0.01244	0.00004
q	0.806668	0.22012
a1	-	2.56
b1	-	-2.19
c1	-	47.99

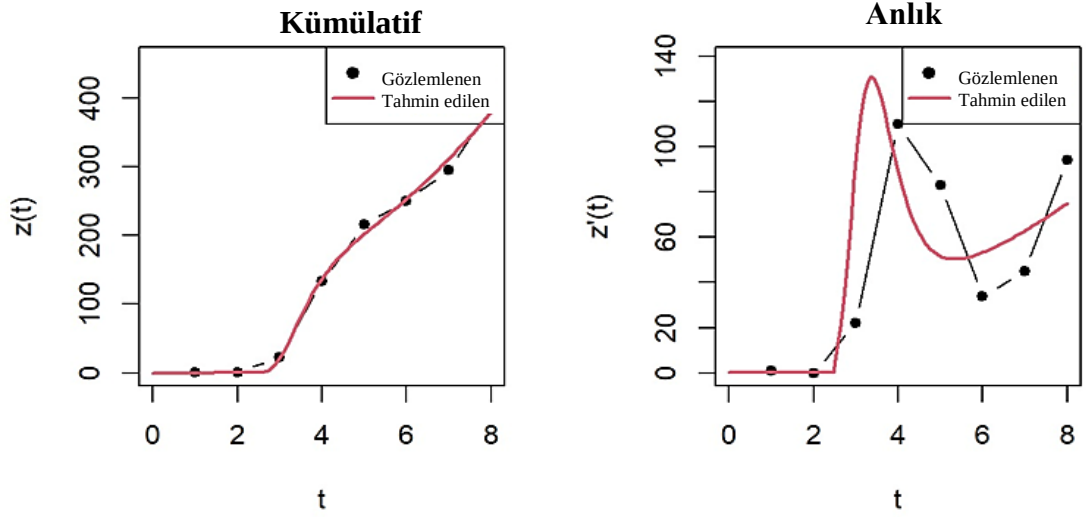
Yukarıdaki Tabloda hem Bass Modeli hem de Genelleştirilmiş Bass Modeli için katsayılar verilmektedir. m (piyasa potansiyeli), maksimum potansiyel piyasa büyüklüğünü veya ötesinde daha fazla benimsenmenin mümkün olmadığı doyma noktasını temsil etmektedir. Bass Modeli için m değeri 396,81, Genelleştirilmiş Bass Modeli için ise 3.666,98'dir. Genelleştirilmiş Bass Modeli, Bass Modeline kıyasla çok daha büyük bir piyasa potansiyeli öngörmektedir ve genelleştirilmiş modele göre ürünün benimsenme potansiyelinin daha yüksek olduğunu öne sürmektedir. p (inovasyon katsayısı), yenilikçilerin benimseme süreci üzerindeki etkisini temsil etmektedir. Bass Modeli için p değeri 0,01244, Genelleştirilmiş Bass Modeli için ise 0,00004'tür. Genelleştirilmiş Bass Modelinde daha düşük bir p değeri, Bass Modeline kıyasla yenilikçilerin etkisinin daha zayıf olduğunu göstermektedir. Bu, genelleştirilmiş modelde, erken benimseyenlerin, temel Bass Modeline kıyasla benimsemeyi artırmada daha az etkiye sahip olduğu anlamına gelmektedir. q (taklit katsayısı), taklitçilerin benimseme sürecine etkisini temsil etmektedir. Bass Modeli için q değeri 0,806668, Genelleştirilmiş Bass Modeli için ise 0,22012'dir. Genelleştirilmiş Bass Modelinde daha düşük bir q değeri, Bass Modeline kıyasla taklitçilerin etkisinin daha zayıf olduğunu göstermektedir. Bu, genelleştirilmiş modelde, geç benimseyenlerin, temel Bass Modeline kıyasla erken benimseyenlerin benimseme davranışlarından daha az etkilendiği anlamına gelmektedir. a1, b1, c1 (Genelleştirilmiş Bass Modelindeki ek parametreler) Genelleştirilmiş Bass Modeline özeldir ve temel Bass Modelinde mevcut değildir. Bu parametreler, gerçek dünyadaki benimseme süreçlerinin karmaşıklığını daha iyi yakalamak için genelleştirilmiş modelde sunulan ek faktörleri veya ayarlamaları (burada şokları) temsil etmektedir.



Şekil 7.7. GBM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Projeksiyonu

Her iki diyagramdaki yatay eksenler yıl (t) cinsinden ölçülen zamanı temsil etmektedir ve dikey eksenler benimseyenlerin sayısını belirtilmektedir. Hem kümülatif hem de anlık diyagramlarda kırmızı çizgi, PHEV satışlarının tahmin edilen değerlerini gösterirken, gözlemlenen değerler, tahmin edilen trend çizgisi boyunca veya çevresinde çeşitli noktalara yerleştirilen siyah noktalarla gösterilmektedir.

Diyagram, PHEV'ler için tipik teknoloji benimseme eğilimlerini yansıtmaktadır. Kümülatif satış verileri, başlangıçta yavaş bir benimseme olduğunu, ardından hızlı bir büyüme ve nihayetinde bir istikrar dönemine ulaşıldığını göstermektedir. Anlık satışlar ise, özellikle erken dönemlerde daha fazla dalgalanma sergilemekte olup, satışların zirveye ulaşması ve piyasa olgunlaştıkça veya doygunluğa ulaştıkça potansiyel bir düşüş yaşanması öngörülmektedir. Bu benimseme modeli, birçok yeni teknolojide görülen klasik bir eğilimdir; başlangıçta yavaş olan büyüme, kabul arttıkça hızlanır ve sonrasında istikrar veya düşüş yaşanır.



Şekil 7.8. GBM kullanılarak PHEV Satışlarının Kümülatif ve Anlık Tahmini

Diyagram, Genelleştirilmiş Bass Modeli kullanılarak eğitim amaçlı olarak dikkate alınan sekiz yıllık PHEV tahminini göstermektedir. Diyagram, fişli elektrikli araç tahminlerini sekiz yıllık bir dönem boyunca göstermekte olup, ikinci yılda belirgin bir yapısal kırılma gözlemlenmektedir. Bu yıl, çalışma veri setinde 2014 yılına denk gelmektedir.

Tablo 7.11. BM ve GBM Modelleri (PHEV) için Eğitim ve Test Doğruluğu

Metrik	PHEV için BM'nin Eğitim Doğruluğu	PHEV için BM'nin Test Doğruluğu	PHEV için GBM'nin Eğitim Doğruluğu	PHEV için GBM'nin Test Doğruluğu
MAPE	386.93	51.35	22.24	45.68

Yukarıdaki Tablo iki modelin değerlendirilmesine ilişkin ölçümleri göstermektedir: Bass Modeli için eğitim doğruluğu nedeniyle MAPE %386.93 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için %22.24'tur. Test doğruluğu nedeniyle MAPE, Bass Modeli için %51.35 iken Genelleştirilmiş Bass Modeli için %45.68'dir. MAPE, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ortalama mutlak yüzde farkını temsil etmektedir. Yine, daha düşük MAPE daha iyi doğruluğu göstermektedir. Bu durumda, Genelleştirilmiş Bass Modeli hem eğitimde hem de testte daha düşük MAPE göstermektedir. Genel olarak Genelleştirilmiş Bass Modeli, çeşitli değerlendirme ölçümlerinde Bass Modelinden daha iyi performans göstermektedir ve bu da PHEV'nin benimsenmesi için üstün tahmin doğruluğunu göstermektedir.

Tablo 7.12. Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar için Genelleştirilmiş Bass Modeli Projeksiyonu

Yıl	GBM Kullanarak PHEV Projeksiyonu
2012	0
2013	0
2014	22
2015	137
2016	202
2017	253
2018	311
2019	380
2020	461
2021	558
2022	670
2023	799
2024	946
2025	1108
2026	1285
2027	1475
2028	1672
2029	1874
2030	2074
2031	2269
2032	2454
2033	2626
2034	2782
2035	2921
2036	3043
2037	3149
2038	3240
2039	3316
2040	3380
2041	3433
2042	3477
2043	3513
2044	3542
2045	3566

Tabloda sunulan projeksiyon, Genelleştirilmiş Bass Modeline göre 2012'den 2045'e kadar her yıl için Fişli Hibrit Elektrikli Araçların tahmini benimsenmesini göstermektedir. Projeksiyon, PHEV'lerin zaman içinde benimsenmesinde kademeli bir artışa işaret etmektedir. İlk yıllarda benimsenme oranı nispeten düşük olsa da zaman ilerledikçe teknolojik ilerlemeler, farkındalığın artması, altyapının gelişmesi gibi faktörler nedeniyle benimsenme oranı hızlanmaktadır. Tahmin, 2045 yılına kadar PHEV'lerin benimsenmesinde ciddi bir artışa ulaşarak önemli bir sayıya ulaşacağını öngörmektedir. Bu projeksiyon, politika yapıcıların, sektör paydaşlarının ve araştırmacıların PHEV'lerin potansiyel büyüme yörüngesini anlamaları ve bunların benimsenmesini destekleyecek gerekli altyapıyı, politikaları ve piyasa stratejilerini planlamaları açısından değerli olabilmektedir.

7.7. Genelleştirilmiş Bass Difüzyon Modeli (GBDM) ile Pillerli Elektrikli Araç (BEV) ve Şarj Altyapısının Eşanlı Tahmini

Bu çalışmada, elektrikli araç satışlarının ve şarj noktalarının (hızlı ve yavaş) etkilerini eşanlı modellemek için genişletilmiş bir Bass Modeli kullanılmıştır. Genelleştirilmiş Bass Modeli, benimseme oranının yenilikçiler (içsel ilgiye göre benimseyenler) ve taklitçiler (başkalarıyla etkileşime girerek benimseyenler) tarafından etkilendiğini varsayar. Bu model, elektrikli araç şarj noktaları gibi ek değişkenleri de benimseme oranlarını etkileyecek şekilde dahil ederek genişletilmiştir. Parametreler, gözlemlenen verilere uyacak şekilde optimizasyon teknikleri ile tahmin edilmiştir.

Geliştirilen model, BEV satışlarını ve şarj noktalarının eşanlı artışını öngörmeyi hedeflemektedir. Bu model, yenilik ve taklit etkilerini dikkate alarak şarj altyapısının BEV benimsenmesine olan etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

Tablo 7.13. Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modelin Tahmini

Yıl	N EV Sayısı	N_pred Tahmin Edilen EV Sayısı	EV'nin Hızlı Şarj Noktaları	X1_pred Tahmin Edilen EV Sayısı	EV'nin Yavaş Şarj Noktaları	X2_pred Tahmin Edilen EV Sayısı
2012	92	92	0	0	0	0
2013	92	127	1	0	0	2
2014	138	178	1	1	0	4
2015	258	257	7	1	0	7
2016	302	377	7	2	11	11
2017	379	561	7	3	69	18
2018	569	850	7	5	69	28
2019	799	1311	30	7	150	43
2020	890	2066	120	11	1200	66
2021	3890	3314	180	17	1800	104
2022	10890	5301	180	27	1800	164

Verilen Tablo Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modelinin uygulanmasının sonuçlarını göstermektedir. Bu model, yeni teknolojilerin, bu durumda elektrikli araçların zaman içinde benimsenmesini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Verilerin ve değişkenlerin yorumlanması şu şekilde özetlenmiştir:

Anahtar Değişkenler:

Yıl: 2012'den 2022'ye kadar olan zaman dilimidir.

N: Belirli bir yıldaki gerçek EV sayısını göstermektedir.

N_pred: Her yıl için tahmin edilen EV sayısıdır.

Hızlı EV şarj noktaları: Tahmin edilen hızlı EV şarj noktalarının sayısıdır.

X1_pred: EV'nin benimsenmesinin tahminiyle ilgili bir değişken (burada, hızlı şarj noktası sayısı).

EV şarj noktaları yavaş: Tahmin edilen yavaş EV şarj noktalarının sayısını göstermektedir.

X2_pred: EV'nin benimsenmesinin tahminiyle ilgili başka bir değişken (burada, yavaş şarj noktası sayısı).

Trendlerin Analizi aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

İlk yıllarda (2012-2015), tahmin edilen EV sayısı (N_pred) gerçek sayıyla (N) yakından eşleşmektedir.

Daha sonraki yıllara (2016-2022) doğru ilerledikçe, tahmin edilen rakamlar gerçek rakamlardan daha da farklılaşmaya başlamaktadır. Örneğin 2022 yılında gerçek elektrikli araç sayısı 10.890 iken öngörülen sayı 5.300,5564'tür.

Hızlı Şarj Noktaları: Bunlar 2013 yılında sadece 1 tane olup ve sürekli artmış ve 2022 yılına kadar 180 hızlı şarj noktasına ulaşmıştır.

Yavaş Şarj Noktaları: Yavaş şarj noktaları 2016'da 11 noktayla ortaya çıkıp ve 2020'de önemli ölçüde artarak 1.200'e ulaşmış ve 2021 ve 2022'de 1.800'de sabitlenmiştir.

Tahminci Değişkenler (X1_pred ve X2_pred): X1_pred: Yıllar içinde kademeli bir artış göstererek, artan piyasa etkisinin veya EV'nin benimsenmesini etkileyen diğer dış faktörlerin göstergesidir. X2_pred: Aynı zamanda istikrarlı bir artış göstermektedir; bu da iç faktörlerin veya piyasadaki yeniliklerin EV sayılarındaki büyümeye olumlu katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Son olarak modelin sonuçları şu şekilde yorumlanabilir:

1. Hızlı Büyüme: Hem gerçek hem de öngörülen EV sayıları, özellikle 2018'den itibaren hızlı bir büyüme göstermektedir. Bu, güçlü bir piyasa benimsemesini ve potansiyel olarak destekleyici politikaları veya bu eğilimi yönlendiren teknolojik ilerlemeleri göstermektedir.

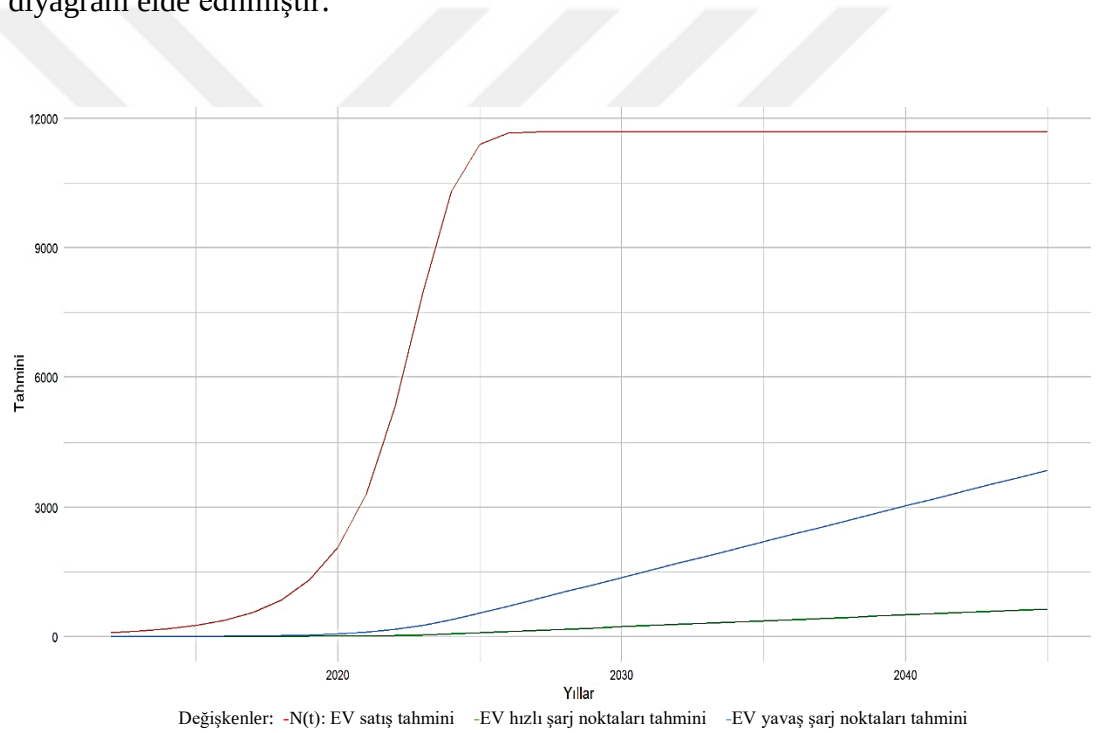
2. Şarj Altyapısı: Hem hızlı hem de yavaş EV şarj noktalarındaki büyüme, artan sayıda EV'yi destekleyecek olgunlaşan bir altyapıya işaret etmektedir. Her iki tür şarj noktasının varlığı, farklı kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli şarj çözümlerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

3. Model Doğruluğu: Başlangıçta, modelin tahminleri gerçek rakamlarla karşılaştırıldığında oldukça doğrudur. Ancak zaman ilerledikçe farklılıklar, doğruluğu korumak için modele ek faktörlerin dahil edilmesi gerekebileceğini göstermektedir. Bu, daha yeni piyasa dinamiklerini, tüketici davranışındaki

değişiklikleri veya daha önce dikkate alınmayan teknolojik gelişmeleri içerebilmektedir.

Sonunda, Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modeli, EV'nin benimsenmesini ve altyapı ihtiyaçlarını tahmin etmek için sağlam bir çerçeve sağlamaktadır. Erken eğilimleri doğru bir şekilde yakalasa da, hızla değişen piyasa koşullarını ve teknolojik gelişmeleri hesaba katmak için sürekli ayarlamalar ve iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Model, ihtiyaca uygun ve doğru kalabilmek için sürekli izleme ve güncellenmenin öneminin altını çizmektedir.

Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Modeli uyguladıktan sonra, elektrikli araçların trendini hem hızlı hem de yavaş şarj noktalarıyla birlikte gösteren aşağıdaki diyagram elde edilmiştir.



Şekil 7.9. Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modeli uygulanarak oluşturulan diyagram

Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modeli uygulanarak oluşturulan diyagram, yıllar içinde elektrikli araçların benimsenmesine ve ilgili değişkenlere ilişkin tahminleri görselleştirmektedir. Grafiğin ayrıntılı bir yorumu aşağıda verilmiştir.

Grafiğin Temel Bileşenleri:

X eksen (Yıllar): 2012'den 2022'ye kadar olan zaman çizelgesini temsil etmektedir.

Y eksenini (Tahmin): Tahmin edilen değerleri temsil etmektedir.

Değişkenler aşağıdaki gibi tanıtlılmaktadır:

N_Pred (Kırmızı izgi): Tahmin edilen EV sayısıdır.

EV Hızlı şarj Noktaları Tahmini (Yeşil izgi): Tahmini hızlı EV şarj noktası sayısını göstermektedir. EV hızlı şarj noktaları tahmini

EV Yavaş şarj Noktaları Tahmini (Mavi izgi): Yavaş EV şarj noktalarının tahmini sayısını göstermektedir.

Grafiğin anlamı şu şekilde yorumlanabilir:

1. Tahmini EV Sayısı (N_Pred): Kırmızı izgi, özellikle 2016'dan 2020'ye kadar tahmin edilen elektrikli araç sayısında keskin bir artış olduğunu göstermektedir. 2020'den sonra büyüme hızının yavaşlaması, doyum noktasına yaklaşıldığını göstermektedir.

2. Hızlı EV şarj Noktaları (EV_Charging_Points_Fast_Predict): Yeşil izgi, hızlı şarj noktalarının sayısında 2016'dan itibaren istikrarlı bir artış olduğunu göstermektedir. Elektrikli araç sayısındaki hızlı artışa kıyasla artış oranı nispeten ılımlıdır.

3. X1 Değişkeni (X1_Pred): Mavi izgi tüm dönem boyunca istikrarlı, doğrusal bir artışı göstermektedir. Bu, elektrikli araçların büyümesini etkileyen tutarlı bir dış piyasa etkisinin veya benimseme faktörünün olduğunu göstermektedir.

4. Yavaş EV şarj Noktaları (EV_Charging_Points_Slow_Predict): Açık mavi çizgi, hızlı şarj noktalarına benzer şekilde 2016 yılı civarından itibaren gözle görülür bir artış göstermektedir. Yavaş şarj çözümlerine yönelik genişleyen altyapının yansınasıyla artış istikrarlı bir şekilde devam etmektedir.

5. X2 Değişkeni (X2_Pred): Koyu yeşil çizgi de istikrarlı bir artış göstermektedir; bu da i faktörlerin veya yeniliklerin sürekli olarak elektrikli araçların benimsenmesine katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Hızlı Elektrikli Araç Benimsemesi: Kırmızı çizgiyle gösterilen (N_Pred) keskin artış, özellikle 2016 ile 2020 yılları arasında gerçekleşen hızlı benimseme dönemini vurgulamaktadır. Bu durum, teknoloji benimseme modellerinde sıkça gözlemlenen bir süreci yansıtmaktadır; başlangıçta yavaş bir büyüme yaşanmakta,

ardından hızlı bir benimseme dönemi gelmekte ve sonrasında, piyasa doyumuna ulaştıkça büyüme hızı azalmaktadır.

Şarj Altyapısının Geliştirilmesi: Hem hızlı hem de yavaş şarj noktaları, artan elektrikli araç sayısını desteklemek için gerekli altyapı büyümesini yansıtan istikrarlı artışlar göstermektedir. EV'nin benimsenmesine kıyasla daha yavaş bir artış oranı, gelecekteki talepleri karşılamak için daha fazla gelişme için potansiyel bir alan olduğunu göstermektedir.

Tutarlı Büyüme Faktörleri: X1_Pred (Hızlı Şarj İstasyonları) ve X2_Pred (Yavaş Şarj İstasyonları)'deki doğrusal eğilimler hem dış piyasa etkilerinin hem de iç yeniliklerin yıllar içinde EV'nin benimsenmesindeki büyümeyi tutarlı bir şekilde desteklediğini göstermektedir.

Sonunda, Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modeli, EV'nin benimsenmesinin hızlı büyüme aşamasını etkili bir şekilde yakalamaktadır ve paralel olarak şarj altyapısının geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır. X1 (hızlı şarj istasyonu sayısı) ve X2 (yavaş şarj istasyonu sayısı) değişkenlerindeki istikrarlı artış, bu büyümeyi yönlendirmede piyasa etkilerinin ve yeniliklerin tutarlı rolünün altını çizmektedir. Gelecekteki çabalar, darboğazları önlemek ve benimsenmeye devam edilmesini desteklemek için altyapının artan elektrikli araç sayısına ayak uydurmasını sağlamaya odaklanması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

8. SONUÇ

Sürdürülebilir ekonomilere geçişte karşılaşılan en büyük zorluklardan biri ulaşım sektörüdür. Bu zorluğun temel nedenleri arasında sera gazı emisyonları ve hava kirliliğine katkısı yer almaktadır. Günümüzde ulaşım sektöründe en yaygın olarak benzinle çalışan araçlar kullanılmaktadır. Bu durum, fosil yakıt tüketimi ve karbon emisyonlarının artışına neden olarak iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan elektrikli araçların geliştirilmesi ise enerji güvenliği, karbon ayak izinin azaltılması ve ulaşım sektöründen kaynaklanan kirlilik gibi küresel sorunlara potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Ancak bu geçişin başarıya ulaşması, yerel altyapıdan enerji üretimi ve dağıtımına, yeni araçların piyasaya sürülmesine kadar çok sayıda paydaşın işbirliğini gerektirmektedir.

Elektrikli araçların benimsenmesi, sadece bireysel tüketici tercihlerini değil aynı zamanda altyapı, enerji politikaları ve endüstriyel gelişmeleri de kapsayan bir dizi karmaşık faktöre bağlıdır. Bu nedenle, elektrikli araçlara geçişi anlamak ve desteklemek için dinamik modeller önemli bir araç sunmaktadır. Dinamik modeller, piyasa davranışlarını ve yeni teknolojilerin benimsenme süreçlerini anlamak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Literatürde, farklı EV pazar tahminlerinde kullanılan üç ana modelleme tekniği bulunmaktadır: Temsil tabanlı modelleri, temsilci tabanlı modelleri ve yayılma ve zaman serisi modelleri. Bu modelleme teknikleri, tüketicilerin tercihlerini ve davranışlarını analiz ederek, bu davranışların zamanla nasıl değiştiğini ve yeni teknolojilerin pazara yayılmasını anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Bu tez, 2012'den 2022'ye kadar olan verileri (satışlar, pazar payları, stok seviyeleri ve şarj altyapısının mevcudiyeti) kullanarak bataryalı elektrikli araçların ve plug-in hibrit elektrikli araçların benimsenme dinamiklerini analiz etmek için Standart Bass Yayılma Modelini kullanmıştır. Bass yayılma modeli, tüketicilerin yeni bir ürünü veya teknolojiyi ne zaman benimsemeye başlayacaklarını ve bu sürecin nasıl gelişip yayılacağını anlamamıza olanak tanır. Bu model, özellikle tüketici davranışını etkileyen yenilik (öncü) ve taklit (çoğunluk) etkilerini incelemekte ve benimsenme eğrisini ortaya koymaktadır.

BEV'ler için Standart Bass Modeli, 2012'de 35 adetten 2045'e kadar 64.242 adede çıkması beklenen önemli bir benimsenme artışına dikkat çekmektedir. Bu

büyümenin ardında, elektrikli araçlara yönelik artan ilgi, tüketicilerin bu teknolojiyi benimseme istekliliği ve şarj altyapısının gelişimi gibi faktörler yatmaktadır. Model, BEV benimsenmesinde 2030 civarında zirveye ulaşacağını ve pazarın genişlemesi için güçlü bir potansiyeli ortaya koymaktadır. Gözlemlenen ve tahmin edilen veriler, kademeli bir benimsemenin ardından hızlı bir büyüme ve sonunda istikrara ulaşan bir benimseme eğrisini desteklemektedir. Buna karşılık, PHEV'lerin benimsenmesi farklı bir senaryo sunmakta, 2010'da zirveye ulaşan satışların sonrasında minimal bir büyüme gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tahmin edilen rakamlar, 2025'ten 2045'e kadar yaklaşık 397.000 birimlik bir plato öngörmektedir ki bu durum, tüketici tercihlerinde BEV'lere yönelik potansiyel bir doygunluğa veya kaymaya işaret edebilir.

Bass modelinin sonuçları, elektrikli araçlar için büyük bir pazar potansiyeline işaret etmekte olup, taklit katsayısının (q) her iki araç tipi için de yenilik katsayısından (p) daha büyük olduğunu göstermektedir. Bu durum, elektrikli araç benimsenmesinde sosyal etkilerin ve başkalarının deneyimlerine dayalı öğrenmenin kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Çoğu tüketici yeni teknolojileri erken benimseyenlerden ziyade, başkalarının deneyimlerine ve sosyal kanıtlara dayanarak benimser. Daha fazla insan başkalarının EV'ları benimsediğini, bu araçların performanslarına, güvenilirliklerine ve maliyet tasarruflarına güven duyduğunu gözlemledikçe, bu araçları tercih etme olasılıkları artmaktadır. Birçok durumda, yenilik katsayısı taklit katsayısından daha küçüktür; çünkü geniş çaplı benimseme genellikle sosyal etkiler tarafından yönlendirilir. Ancak belirli ülke koşullarına bağlı olarak yenilik katsayısının daha büyük olduğu istisnalar da vardır. Örneğin, inovasyon ve teknoloji liderliği (ABD, Güney Kore), güçlü hükümet politikaları ve teşvikleri (Norveç, Çin) ya da yüksek çevre bilinci (Hollanda) gibi faktörler, yenilik katsayısının görece daha büyük olabileceği durumlardır.

Standart Bass Modeli'nin ortaya koyduğu BEV ve PHEV'lerin Türkiye'deki benimsenme modelleri, paydaşların altyapı planlamasında, yatırım stratejilerinde ve politika geliştirmede bu öngörülerini dikkate almalarının gerekliliğini vurgulamaktadır. BEV'lerin hızla benimsenmesi, şarj istasyonları gibi altyapıya yönelik gelişmiş desteği ve piyasa büyümesini teşvik edecek teşvikleri gerektirmektedir. Buna karşılık, PHEV'nin benimsenmesindeki durgunluk, ya bu araçlara olan ilgiyi canlandırmak ya da BEV'leri daha iyi teşvik etmeye yönelmek için stratejilerin yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Araştırma ayrıca Genelleştirilmiş Bass Modeli'nin BEV ve PHEV olmak üzere iki senaryoda uygulanmasını incelemektedir. GBM, Standart Bass Modeli'nin sınırlamalarını gidermek üzere ek parametreler getirerek benimsenme modellerini anlamak için daha esnek ve incelikli bir yaklaşım sunar. BEV'ler için, GBM'nin Standart Bass Modeli ile karşılaştırılan sonuçları, daha yüksek pazar potansiyeli ve hem yenilikçilerin hem de taklitçilerin etkisinin daha zayıf olduğunu göstermektedir. Değerlendirme ölçüleri, GBM'nin BEV'nin benimsenmesine yönelik tahmin doğruluğu açısından genel olarak Standart Bass Modelinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, PHEV'ler için GBM'nin uygulanması da Standart Bass Modeline kıyasla üstün tahmin performansını vurgulamakta olup, daha büyük bir pazar potansiyeline ve yenilikçilerin ve taklitçilerin etkisinin daha zayıf olduğuna işaret etmektedir. Her iki durumda da, GBM tahminleri zamanla teknolojik gelişmeler ve artan farkındalık gibi faktörler nedeniyle benimsenmede kademeli bir artış öngörmektedir. Bu durum, EV benimsenmesinin gelecekteki pazar potansiyelini anlamak ve stratejileri buna göre uyarlamak için önemlidir. Genel olarak, Genelleştirilmiş Bass Modeli'nin elektrikli araçların benimsenmesini öngörmedeki etkinliği, politika yapıcılara, endüstri paydaşlarına ve araştırmacılara bu araçların büyüme yörüngesini anlamaları ve desteklemeleri için değerli bilgiler sağlamaktadır.

Analizi daha da geliştirmek için, Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Bass Modeli de uygulanmıştır. Bu model, BEV'lerin hızlı benimsenme aşamasını etkili bir şekilde yakalamakta ve bu büyümeyi desteklemek için sağlam bir şarj altyapısı geliştirmenin önemini vurgulamaktadır. Hızlı ve yavaş şarj noktalarının yanı sıra dış ve iç etkileyici faktörleri birleştiren model, EV benimsenmesi ve ilgili altyapı ihtiyaçlarını tahmin etmek için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Genelleştirilmiş Bass Difüzyon Modeli'nin (GBDM) şarj altyapısının yaygınlaşması ve elektrikli araç benimsenmesi arasındaki geri bildirim döngüsünü ortaya koyma konusundaki gücü, bu çalışmanın önemli bulgularından biridir. Bu geri bildirim etkisi, şarj altyapısındaki iyileştirmelerin, kullanıcıların elektrikli araçlara olan ilgisini artırdığı ve bu artışın, daha fazla altyapı yatırımı için talep yarattığı bir etkileşim döngüsünü kapsamaktadır. Örneğin, şarj istasyonlarının erişilebilirliğindeki artış, tüketicilerin elektrikli araç benimseme eğilimlerini güçlendirmiş, bu da pazar büyüklüğünün daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlamıştır. Bu bulgu, altyapı yatırımlarının sadece doğrudan etkileriyle değil, aynı zamanda bu tür geri bildirim mekanizmalarıyla da

önemli ölçüde etki yarattığını göstermektedir. Bu bağlamda, politika yapıcılar ve sektör paydaşları için bu tür dinamik etkileşimleri dikkate alan uzun vadeli stratejiler geliştirmek, sürdürülebilir ulaşım hedefleri açısından kritik bir öneme sahiptir.

Sürekli Genelleştirilmiş Eşanlı Modelin benimsenmesinde önemli olan bazı hususları şu şekilde özetlemek mümkündür:

1. Elektrikli Araçların Hızla Benimsenmesi: Model, özellikle 2016 ile 2020 yılları arasında hızlı bir EV benimsenme dönemini ve ardından bir doygunluk aşamasını göstermektedir. Bu, tipik teknoloji benimseme kalıplarıyla uyumludur.

2. Altyapı Gelişimi: Elektrikli araçların büyüme ile karşılaştırıldığında ılımlı bir hızda da olsa hem hızlı hem de yavaş şarj noktalarında istikrarlı bir artış görülmektedir. Bu durum, artan talebi karşılamak için şarj altyapısının sürekli geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

3. Tutarlı Büyümeye Katkı Sağlayan Faktörler: Hızlı ve yavaş şarj noktaları sayısını etkileyen faktörlerdeki doğrusal eğilimler hem dış piyasa etkilerinin hem de iç yeniliklerin EV benimsenmesindeki büyümeyi tutarlı bir şekilde desteklediğini göstermektedir.

4. Model Doğruluğu: Modelin tahminleri, başlangıçta gerçek rakamlarla yakından örtüşmektedir. Bununla birlikte, zaman ilerledikçe farklılıklar, doğruluğu korumak için gelişen piyasa dinamiklerini ve teknolojik gelişmeleri yansıtan ek faktörlerin dahil edilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Gelecekteki çabalara yönelik çıkarımlar olarak bu unsurlar önem taşımaktadır:

- Altyapı Yatırımı: Darboğazları önlemek ve elektrikli araçların benimsenmeye devam etmesini desteklemek için şarj altyapısına daha fazla yatırım yapılması hayati önem taşımaktadır.

- Model Ayarlamaları: Yeni piyasa eğilimlerini, tüketici davranışlarını ve teknolojik yenilikleri hesaba katmak için modelde sürekli izleme ve ayarlamalar yapılması gerekmektedir.

- Politika ve Yenilik: Destekleyici politikalar ve devam eden yenilikler, EA'nin benimsenmesi ve altyapı geliştirme ivmesinin sürdürülmesinde hayati önem taşımaktadır.

Genel olarak model, elektrikli araçların benimsenmesinin dinamik doğasını ve altyapı gelişiminin kritik rolünü vurgulamakta, politika yapıcılara, endüstri paydaşlarına ve araştırmacılara planlama ve karar alma süreçlerinde değerli bilgiler sağlamaktadır.

Sonuç olarak, Standart Bass Modeli, BEV'lerin ve PHEV'lerin benimsenme eğilimlerini anlamak ve tahmin etmek için değerli bir çerçeve sunarak, paydaşlara bu geçişi destekleyecek şekilde karar verme konusunda veriye dayalı bir temel sunmaktadır. Özetle, bu tez araştırması metodolojik yaklaşımı sadece ulaştırma ekonomisi alanına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda deneysel ve davranışsal ekonomi için de değerli bir çerçeve sunmaktadır. Tüketici davranışını anlamak ve tahmin etmek için dinamik modeller kullanarak, teorik ekonomik modeller ile ampirik pazar verileri arasındaki boşluğu kapatıp, deneysel ekonomistlerin sürdürülebilir ulaşım ve ötesinde hipotezlerini test etmeleri ve geliştirmeleri için sağlam bir araç sunmaktadır. Bu disiplinler arası uygulama, deneysel ekonominin karmaşık, gerçek dünya sorunlarını ele almadaki önemini altını çizmekte ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı teşvik etmek için yenilikçi ve etkili stratejilerin şekillendirilmesindeki rolünü vurgulamaktadır.

Araştırmanın Sınırlılıkları: Bu çalışma önemli bulgular sunmakla birlikte bazı sınırlılıklar içermektedir. Bunlar başlıklar halinde şöyledir:

Veri Kapsamı: Çalışmada kullanılan veri seti yalnızca 2012-2022 dönemini kapsamakta olup, elektrikli araç piyasasının hızla gelişen doğası nedeniyle özellikle 2022 sonrası ortaya çıkan trendleri ve yenilikleri tam olarak yansıtamamaktadır.

Model Parametreleri: Standart Bass ve Genelleştirilmiş Bass modellerinin parametreleri, mevcut piyasa koşulları üzerinden kalibre edilmiştir. Ancak, uzun vadede ekonomik ve teknolojik değişimlerin bu parametreler üzerindeki etkisi sınırlı bir şekilde öngörülebilmektedir.

Altyapıya Odaklanma: Çalışma, şarj altyapısına odaklanmakla birlikte, yenilenebilir enerji entegrasyonu, batarya geri dönüşümü ve enerji depolama sistemleri gibi diğer önemli faktörleri derinlemesine ele almamıştır.

Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler: Bu çalışma, gelecekte yapılacak araştırmalar için bir dizi öneri sunmaktadır:

Daha Güncel ve Geniş Veri Setleri Kullanımı: 2022 sonrası dönemi kapsayan ve farklı ülkelerdeki elektrikli araç benimsenmesini inceleyen çalışmalara ihtiyaç vardır. Daha geniş veri setleri, uzun vadeli trendlerin ve yerel farkların daha iyi analiz edilmesine olanak tanıyacaktır.

Modelleme Tekniklerinin Geliştirilmesi: Elektrikli araçların benimsenmesini etkileyen faktörlerin daha kapsamlı bir şekilde modellenmesi için yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi ileri modelleme teknikleri kullanılabilir.

Yenilenebilir Enerji ve Şarj Altyapısı İlişkisi: Şarj altyapısının yenilenebilir enerji sistemleriyle entegrasyonu üzerine çalışmalar yapılabilir. Bu, EV'lerin çevresel etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayacaktır.

Kullanıcı Davranışlarının Daha Derinlemesine İncelenmesi: Tüketici tercihleri, sosyal normlar ve ekonomik teşviklerin EV benimsenmesine etkisini inceleyen davranışsal çalışmalar teşvik edilmelidir.

Politika Senaryoları ve Etki Değerlendirmesi: Farklı politika senaryolarının EV benimsenmesine etkisini analiz eden çalışmalar, politika yapıcılar için daha spesifik rehberlik sağlayabilir.

Son olarak çalışmada kullanılan veri seti 2012-2022 dönemini kapsamaktadır. Ancak, 2023 yılına ait yeni veriler ulaştırma ile ilgili devlet raporlarında henüz yeni yayınlanmış ve bu verilere göre elektrikli araç satışlarında dikkate değer bir artış olduğu görülmüştür. Bu artışın nedenleri arasında, piyasaya yeni çıkan yerli elektrikli araçlar ve bu araçlara yönelik sağlanan devlet teşviklerinin önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Devlet politikaları ve teşviklerinin elektrikli araçların benimsenmesi üzerindeki etkisi, özellikle yerli üretimin artırılması ve tüketici talebinin desteklenmesi bağlamında gelecekteki araştırmalar için önemli bir inceleme alanı sunmaktadır. Bu bağlamda, daha güncel veri setleriyle yapılacak çalışmaların, bu tür politikaların uzun vadeli etkilerini değerlendirmede ve piyasa dinamiklerini anlamada kritik rol oynayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu teşviklerin farklı tüketici grupları üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, sektördeki karar alıcılar için faydalı stratejiler geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Ajanovic, A. (2015). "The future of electric vehicles: prospects and impediments". Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 4(6), 521-536.
- Al-Alawi, B M, Bradley, T H. (2013). "Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling studies". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 190-203.
- Ala, G, Di Filippo, G, Viola, F, Giglia, G, Imburgia, A, Romano, P, . . . Miceli, R. (2020). "Different Scenarios of Electric Mobility: Current Situation and Possible Future Developments of Fuel Cell Vehicles in Italy". Sustainability, 12(2), 564.
- Azcanlı, A. (1995). "Historical Development of the Turkish automotive industry". Istanbul: Panel Mat.
- Bass, F M. (1969). "A new product growth for model consumer durables". Management science, 15(5), 215-227.
- Becker, T A, Sidhu, I, Tenderich, B. (2009). "Electric vehicles in the United States: a new model with forecasts to 2030". Center for Entrepreneurship and Technology, University of California, Berkeley, 24.
- Bellocchi, S, Gambini, M, Manno, M, Stilo, T, Vellini, M. (2018). "Positive interactions between electric vehicles and renewable energy sources in CO2-reduced energy scenarios: The Italian case". Energy, 161, 172-182.
- Bloomfield, G T. (2017). The world automotive industry in transition Restructuring the global automobile industry (pp. 19-60): Routledge.
- Chau, K T, Li, W L. (2014). "Overview of electric machines for electric and hybrid vehicles". International Journal of Vehicle Design, 64(1), 46-71. doi: 10.1504/ijvd.2014.057775
- Chocholac, J, Hruska, R, Machalik, S, Sommerauerova, D, Sohajek, P. (2021). "Framework for Greenhouse Gas Emissions Calculations in the Context of Road Freight Transport for the Automotive Industry". Sustainability, 13(7). doi: 10.3390/su13074068
- Colville, R, Hutchinson, E J, Mindell, J, Warren, R. (2001). "The transport sector as a source of air pollution". Atmospheric environment, 35(9), 1537-1565.
- Crabtree, G. (2019). "The coming electric vehicle transformation". Science, 366(6464), 422-424.
- Davis, L W. (2019). "Evidence of a homeowner-renter gap for electric vehicles". Applied Economics Letters, 26(11), 927-932.
- Diamond, D. (2009). "The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: Evidence from US states". Energy policy, 37(3), 972-983.
- Doğan, B, Erol, D. (2019). The future of fossil and alternative fuels used in automotive industry. Paper presented at the 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT).
- Dolanay, S, Oğuztürk, B. (2018). "Otomotiv sanayinde teknolojik gelişme (Güney Kore-Türkiye) teknoloji öncülüğünde ekonomik gelişme ve patika bağıllığı

Güney Kore ve Türkiye otomotiv sektörlerinde tarihsel gelişimi esas alan bir inceleme (Technological development in the automotive industry [South Korea-Turkey] economic development under the leadership of technology and path dependency a review based on historical development in the automotive Sectors of South Korea and Turkey)". Ankara: Alter Publishing Ltd. Co.

- Dolanay, S S. (2021). "Rapid Rise of China Automotive Industry in the 2000s and History of Turkey Automotive Industry". *China-USA Business Review*, 20(1).
- Eppstein, M J, Grover, D K, Marshall, J S, Rizzo, D M. (2011). "An agent-based model to study market penetration of plug-in hybrid electric vehicles". *Energy Policy*, 39(6), 3789-3802.
- Eren, M, Doğan, E M. (2017). "Türkiye'de Ulaştırma Sektörünün Enerji Talebinin Markov Modeline Dayalı Tahmini". *Ataturk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, 31(2).
- Europarl. (2023). CO2 Emissions from Cars: Facts and Figures. Retrieved 15.10.2024, from <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>
- Gnann, T, Plötz, P, Kühn, A, Wietschel, M. (2015). "Modelling market diffusion of electric vehicles with real world driving data–German market and policy options". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 95-112.
- Grassano, N, Hernandez, H, Fako, P, Tuebke, A, Amoroso, S, Georgakaki, A, . . . Compagno, R. (2021). The 2021 EU Industrial R&D Investment Scoreboard (pp. 4 - 10): Joint Research Centre (Seville site).
- Gwilliam, K, Kojima, M, Johnson, T. (2004). *Reducing air pollution from urban transport*: World Bank Washington, DC.
- Heneric, O, Licht, G, Lutz, S, Urban, W. (2005). *The European Automotive Industry in a Global Context Europe's automotive industry on the move* (pp. 5-44): Springer.
- Holland, S P, Mansur, E T, Yates, A J. (2020). *The electric vehicle transition and the economics of banning gasoline vehicles*: National Bureau of Economic Research.
- Holweg, M. (2008). *The evolution of competition in the automotive industry Build to order* (pp. 13-34): Springer.
- Huang, X, Lin, Y, Zhou, F, Lim, M K, Chen, S. (2021). "Agent-based modelling for market acceptance of electric vehicles: evidence from China". *Sustainable Production and Consumption*, 28, 206-217.
- IEA. (2022). *CO2 Emissions in 2022*.
- IEA. (2023a). *EV sales, cars, Türkiye, 2012-2023*. Retrieved 23.06.2023, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>
- IEA. (2023b). *Global EV Outlook 2023 Catching up with climate ambitions*.
- IEA. (2024). *Gobal EV Outlook 2024*.

- Jenn, A, Azevedo, I M, Michalek, J J. (2016). "Alternative fuel vehicle adoption increases fleet gasoline consumption and greenhouse gas emissions under United States corporate average fuel economy policy and greenhouse gas emissions standards". *Environmental science & technology*, 50(5), 2165-2174.
- Jeon, S Y. (2010). Hybrid & electric vehicle technology and its market feasibility. Massachusetts Institute of Technology
- Katip, A, Karaerk, F, Özengin, N. (2014). "Otomotiv Sektörünün Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi". *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 19(2), 51-65.
- Köhler, J, Schade, W, Leduc, G, Wiesenthal, T, Schade, B, Espinoza, L T. (2013). "Leaving fossil fuels behind? An innovation system analysis of low carbon cars". *Journal of Cleaner Production*, 48, 176-186.
- Kumar, R R, Guha, P, Chakraborty, A. (2022). "Comparative assessment and selection of electric vehicle diffusion models: A global outlook". *Energy*, 238, 121932.
- Lamberson, P. (2008). "The diffusion of hybrid electric vehicles". *Future Research Directions in Sustainable Mobility and Accessibility*.
- Langer, A, Lemoine, D. (2018). Designing dynamic subsidies to spur adoption of new technologies: National Bureau of Economic Research.
- Lee, D H, Park, S Y, Kim, J W, Lee, S K. (2013). "Analysis on the feedback effect for the diffusion of innovative technologies focusing on the green car". *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 498-509.
- Li, L, Wang, Z, Chen, L, Wang, Z. (2020). "Consumer preferences for battery electric vehicles: A choice experimental survey in China". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78, 102185.
- Ma, L, Graham, D J, Stettler, M E. (2021). "Air quality impacts of new public transport provision: A causal analysis of the Jubilee Line Extension in London". *Atmospheric Environment*, 245, 118025.
- Mahajan, V, Muller, E, Bass, F M. (1990). "New product diffusion models in marketing: A review and directions for research". *Journal of marketing*, 54(1), 1-26.
- Mandys, F. (2021). "Electric vehicles and consumer choices". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110874.
- Maxton, G P, Wormald, J. (2004). Time for a model change: re-engineering the global automotive industry: Cambridge University Press.
- Mayer, H. (1999). "Air pollution in cities". *Atmospheric environment*, 33(24-25), 4029-4037.
- Muzir, N A Q, Mojumder, M R H, Hasanuzzaman, M, Selvaraj, J. (2022). "Challenges of Electric Vehicles and Their Prospects in Malaysia: A Comprehensive Review". *Sustainability*, 14(14), 8320.
- Negarestani, S, Ghahnavieh, A R, Mobarakeh, A S. (2012). A study of the reliability of various types of the electric vehicles. Paper presented at the 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference.

- Noel, L, Carrone, A P, Jensen, A F, de Rubens, G Z, Kester, J, Sovacool, B K. (2019). "Willingness to pay for electric vehicles and vehicle-to-grid applications: A Nordic choice experiment". *Energy Economics*, 78, 525-534. doi: 10.1016/j.eneco.2018.12.014
- Noori, M, Tatari, O. (2016). "Development of an agent-based model for regional market penetration projections of electric vehicles in the United States". *Energy*, 96, 215-230.
- Nunes, B, Bennett, D. (2010). "Green operations initiatives in the automotive industry: An environmental reports analysis and benchmarking study". *Benchmarking: An International Journal*.
- ODMP. (2024). "2024, Raporlar – Türkiye Otomotiv Pazarı".
- OICA. (2024a). Global Sales Statistics 2019 – 2023 Retrieved 13.10.2024, from <https://www.oica.net/category/sales-statistics/>
- OICA. (2024b). World Motor Vehicle Production by Country/Region and Type Retrieved 8.10.2024, from <https://www.oica.net/wp-content/uploads/By-country-region-2023.pdf>
- Özçelik, A E, Terzioğlu, H, Kök, İ S, Gökdoğan, Ö C, Yavaşoğlu, C, Kurt, M Ö, . . . ÇETİN, S. "Electric vehicle mechanical design, manufacturing and analysis application". *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 11(1), 38-44.
- Paisi, N, Kushta, J, Pozzer, A, Violaris, A, Lelieveld, J. (2024). "Health effects of carbonaceous PM_{2.5} compounds from residential fuel combustion and road transport in Europe". *Scientific Reports*, 14(1), 1530.
- Parag Jose, C, Meikandasivam, S. (2017). "A review on the trends and developments in hybrid electric vehicles". *Innovative Design and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering*, 211-229.
- Platzer, M D, Harrison, G J. (2009). "The US automotive industry: National and state trends in manufacturing employment".
- Rajashekara, K. (1994). "History of electric vehicles in General Motors". *IEEE transactions on industry applications*, 30(4), 897-904.
- Sanguesa, J A, Torres-Sanz, V, Garrido, P, Martinez, F J, Marquez-Barja, J M. (2021). "A review on electric vehicles: Technologies and challenges". *Smart Cities*, 4(1), 372-404.
- Shafiei, E, Thorkelsson, H, Ásgeirsson, E I, Davidsdottir, B, Raberto, M, Stefansson, H. (2012). "An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: A case study from Iceland". *Technological Forecasting and Social Change*, 79(9), 1638-1653.
- Sikes, K, Gross, T, Lin, Z, Sullivan, J, Cleary, T, Ward, J. (2010). Plug-in hybrid electric vehicle market introduction study: Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).
- Situ, L. (2009). Electric vehicle development: the past, present & future. Paper presented at the 2009 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA).

- Sohail, M T, Ullah, S, Majeed, M T, Usman, A. (2021). "Pakistan management of green transportation and environmental pollution: a nonlinear ARDL analysis". *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 29046-29055.
- Sonwani, S, Maurya, V. (2018). "Impact of air pollution on the environment and economy". *Air pollution: Sources, impacts and controls*, 113.
- Staniszewska, E, Klimecka-Tatar, D, Obrecht, M. (2020). "Eco-design processes in the automotive industry". *Production Engineering Archives*, 26.
- Sturgeon, T J, Memedovic, O, Van Biesebroeck, J, Gereffi, G. (2009). "Globalisation of the automotive industry: main features and trends". *International Journal of Technological learning, innovation and development*, 2(1-2), 7-24.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). *Otomotiv Sektörü Raporu 2020*.
- Tan, X C, Mu, Z K, Wang, S, Zhuang, H X, Cheng, L X, Wang, Y Y, Gu, B H. (2010, Jul 05-08). Study on whole-life cycle automotive manufacturing industry CO2 emission accounting method and Application in Chongqing. Paper presented at the 17th Workshop on the Low-Carbon Industry and Multi-scale Input-Output Modeling with the International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs), Ottawa, CANADA.
- Thomas, C E S. (2009). "Transportation options in a carbon-constrained world: Hybrids, plug-in hybrids, biofuels, fuel cell electric vehicles, and battery electric vehicles". *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(23), 9279-9296. doi: 10.1016/j.ijhydene.2009.09.058
- Todorovic, M, Simic, M. (2018, Dec 13-15). Feasibility study on green transportation. Paper presented at the 2nd International Conference on Energy and Power (ICEP), Sydney, AUSTRALIA.
- Türe, C. (2013). *Türk otomotiv sanayi ve piyasa yapısı*. Anadolu University (Turkey)
- Ulengin, F, Onsel, S, Aktas, E, Kabak, O, Ozaydin, O. (2014). "A decision support methodology to enhance the competitiveness of the Turkish automotive industry". *European Journal of Operational Research*, 234(3), 789-801. doi: 10.1016/j.ejor.2013.09.044
- UNDP. (2024). What are the Sustainable Development Goals? Retrieved 14.10.2024, from <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- UNEP. (2024). Pollution Action Note-Data you need to know Retrieved 11.10.2024, from <https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note/>
- UNFCCC. (2024). The Paris Agreement. Retrieved 14.10.2024, from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- Wolf, I, Schroeder, T, Neumann, J, de Haan, G. (2015). "Changing minds about electric cars: An empirically grounded agent-based modeling approach". *Technological forecasting and social change*, 94, 269-285.
- Xing, J, Leard, B, Li, S. (2021). "What does an electric vehicle replace?". *Journal of Environmental Economics and Management*, 107, 102432.

- Yılmaz, S, Ustaoglu, M. (2013). "Electric vehicles production in Turkish automotive industry and sectoral PEST analysis". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 75, 10-17.
- Yu, A S O, Silva, L L C, Chu, C L, Nascimento, P T S, Camargo, A S. (2011). *Electric vehicles: Struggles in creating a market*. Paper presented at the 2011 Proceedings of PICMET'11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET).
- Zhang, R, Yao, E. (2015). "Electric vehicles' energy consumption estimation with real driving condition data". *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 177-187.
- Zhuge, C, Shao, C. (2018). "Agent-based modelling of locating public transport facilities for conventional and electric vehicles". *Networks and Spatial Economics*, 18, 875-908.



9.ÖZ GEÇMİŞ

Mohammad Ehsan SADIQ, Bakhtar Lisesi'ni bitirdikten sonra Balkh Üniversitesi İktisat Fakültesi, Ulusal Ekonomi Bölümünden 2008 yılında Lisans dereceli mezun oldu. 2016 yılında Almanya Ruhr Bochum Üniversitesi'nden Yüksek Lisans derecesi ile mezun oldu. 2019 yılında OMÜ İktisat Ana Bilim Dalı doktora programına başladı ve 2024 yılında bitirdi.

2009 yılından itibaren Juzjan Üniversitesi İktisat Fakültesi'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Mohammad Ehsan SADIQ, iyi derecede Türkçe, İngilizce, Almanca ve Farsça bilmektedir.

Doktora Dönemindeki Yayınlar:

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0001-7787-429X.

Yayınlar:

1. Eren & Sadiq (2024) “Electrifying Türkiye: Dynamic Models of Electrical Vehicle (EV) Adoption”. Cambridge Scholars Publishing.
2. Sadiq, et al. (2022). “Determinants of poverty among urban households in Afghanistan: Case study of Mazar-e-Sharif”. Journal of Economics and Political Economy, www.kspjournals.org.
3. Sadiq, M. E. (2021). “Afganistan Merkez Bankasının Döviz Kuru Politikası”. 7. Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Samsun.
4. Sadiq, M. E. (2020). “Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Üniversite Mezunları Arasında İşsizlik Nedenleri”. 6. Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, Sakarya.
5. Sadiq, M. E. (2019). “Assessing the Demand for Natural Gas in Afghanistan”. Afghan Economic Society, Bochum/Kabul.
6. Sadiq, M. E. (2019). “The Contribution of Carpet Weaving to Household Income and its Productivity”. Afghan Economic Society, Bochum/Kabul.
7. Sadiq, M. E. (2018). “Unemployment among the Educated Youth in Afghanistan”. Afghan Economic Afghan Society, Bochum/Kabul.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar:

1. Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı (YTB) Bursu