

T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ELEKTRİKLİ ARAÇ PAZARI: ALYAPI, EKONOMİK VE
ÇEVRESEL ETKİLERİ

Şahabettin Burak ATILGAN

İşletme Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Burcu ORALHAN

AĞUSTOS 2025
KAYSERİ

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Burcu ORALHAN danışmanlığında Şahabettin Burak ATILGAN tarafından hazırlanan “Elektrikli Araç Pazarı: Alyapı, Ekonomik Ve Çevresel Etkileri” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İşletme Ana Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

..... / / 20...

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Burcu ORALHAN
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Sevgi SÜMERLİ SARIGÜL
Kayseri Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Üyesi Ceren AYDEMİR
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi

ONAY

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.... / / 20....

Doç. Dr. Burcu ORALHAN
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYAN

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Nuh Naci Yazgan Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Kütüphanesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

oEnstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. (1)

oEnstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir. (2)

oTezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. (3)

..... /...../.....

(İmza)

Ş.Burak ATILGAN

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

(1)Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

(2)Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

(3)Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, *Doç. Dr. Burcu ORALHAN* danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre yazıldığını beyan ederim.

(İmza)

şahabettin Burak ATILGAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince yalnızca akademik bilgisiyle değil, aynı zamanda samimiyeti, anlayışı ve yol gösterici yaklaşımıyla bana hem bir danışman hem de bir aile sıcaklığı sunan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Burcu ORALHAN'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Bilimsel rehberliğinin yanı sıra bana kattığı ilham ve motivasyon, bu süreci benim için hem verimli hem de anlamlı kılmıştır. Aynı şekilde, bu yolculukta her zaman yanımda olan, destekleriyle moralimi yüksek tutan, bitmek bilmeyen enerjisi ve içtenliğiyle beni yalnız hissettirmeyen sevgili eşim Gözde ATILGAN'a gönülden sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Atılğan ŞB., Elektrikli Araç Pazarı: Alyapı, Ekonomik Ve Çevresel Etkileri, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2025. Lityum-iyon batarya teknolojisi, enerji depolama ve elektrikli araç sektörlerinde yaşanan dönüşümün merkezinde yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek yaygınlaşması ve enerji depolama çözümlerine olan talebin artması, bu teknolojiyi küresel enerji dönüşümünün en stratejik bileşenlerinden biri haline getirmiştir. 2024 yılı itibarıyla batarya pazarının yıllık büyüme hızının yaklaşık %20 düzeyinde gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu büyümenin en temel belirleyicilerinden biri ise elektrikli araç pazarında gözlemlenen hızlı artıştır. Bu çalışmada yapılan regresyon analizleri, elektrikli araç satış oranlarının (EV sales share percent) çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kullanılan bağımsız değişkenler arasında elektrikli araç şarj altyapısının yoğunluğu (EV charging points), elektrikli araç stok oranı (EV stock share percent), nüfus büyüklüğü (Population), kişi başına düşen gelir (GDP per capita), enerji yoğunluğu (TES/GDP) ve enerji üretiminin karbon yoğunluğu (CO₂/TES) yer almaktadır. Bulgular, bu değişkenlerin elektrikli araç satış oranlarındaki değişimleri yüksek oranda açıkladığını göstermektedir. Özellikle şarj altyapısının genişlemesi, elektrikli araçların satış ve kullanım oranlarını artıran en kritik faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, enerji yoğunluğunun azalması ve enerji üretimindeki karbon yoğunluğunun düşmesi, çevresel sürdürülebilirlik politikalarının EV pazar payı üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir. Ayrıca nüfus büyüklüğü ve kişi başına düşen gelir gibi makroekonomik göstergeler de pazarın büyüme kapasitesini belirleyen önemli unsurlardır. Sonuç olarak, elde edilen bulgular, lityum-iyon batarya teknolojisinin yalnızca teknolojik ilerlemelerle değil; aynı zamanda altyapısal, çevresel ve ekonomik faktörlerle de şekillendiğini ortaya koymaktadır. Şarj altyapısının güçlendirilmesi, karbon yoğunluğunu azaltmaya yönelik politikaların sürdürülmesi ve kişi başına gelirin artışı, hem elektrikli araç satışlarını hem de batarya teknolojisine olan talebi hızlandırmaktadır. Bu açıdan, çalışmanın sonuçları, politika yapıcılar, yatırımcılar ve sektör aktörleri için yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Lityum-iyon Pil Pazarı, Şarj Altyapısı, Karbon Yoğunluğu, Sürdürülebilir Hareketlilik

ABSTRACT

Atılgan, ŞB., 2025 " Electric Vehicle Market: Infrastructure, Economic, and Environmental Impacts, Nuh Naci Yazgan University, Institute of Graduate Studies, Department of Business Administration, Master's Thesis, Kayseri, 2025. Lithium-ion battery technology lies at the center of the ongoing transformation in the fields of energy storage and electric vehicles. With the increasing adoption of renewable energy sources and the growing demand for energy storage solutions, this technology has become one of the most strategic components of the global energy transition. As of 2024, the annual growth rate of the battery market is expected to reach approximately 20%. One of the key drivers of this growth is the rapid expansion of the electric vehicle market. In this study, the regression analyses revealed that the share of electric vehicle sales exhibits a multidimensional structure. The independent variables included in the models consist of the density of electric vehicle charging infrastructure (EV charging points), the stock share of electric vehicles (EV stock share percent), population size (Population), per capita income (GDP per capita), energy intensity (TES/GDP), and the carbon intensity of energy production (CO₂/TES). The findings indicate that these variables significantly explain the variations in electric vehicle sales shares. In particular, the expansion of charging infrastructure stands out as one of the most critical factors that increase both the sales and adoption of electric vehicles. Moreover, the reduction in energy intensity and the decline in the carbon intensity of energy production highlight the positive effects of environmental sustainability policies on EV market shares. Macroeconomic indicators such as population size and per capita income also emerge as important determinants shaping the market's growth potential. In conclusion, the results demonstrate that lithium-ion battery technology is influenced not only by technological advancements but also by infrastructural, environmental, and economic factors. Strengthening charging infrastructure, pursuing policies aimed at reducing carbon intensity, and increasing per capita income will collectively accelerate both electric vehicle adoption and the demand for battery technologies. From this perspective, the findings of this study provide valuable insights for policymakers, investors, and industry stakeholders.

Keywords: Electric Vehicles, Lithium-ion Battery Market, Charging Infrastructure, Carbon Intensity, Sustainable Mobility

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYAN.....	iv
ETİK BEYAN.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTYUM-İYON BATARYA	6
2.1. Lityum-İyon Batarya Teknolojisi	6
2.2.Lityum-İyon Batarya Teknolojisinin Temel Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri	10
2.2.1. Batarya Yapısı ve Tasarımı Özellikleri	11
2.2.2. Performans Özelliklerinin İncelenmesi	11
2.2.3. Batarya Yönetim Sistemleri (BMS).....	13
2.2.4. Geri Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik	15
2.2.5. Avantajlar ve Dezavantajlar.....	17
2.2.6. Lityum-İyon Batarya Pazarındaki Zorluklar ve Engeller	20
2.3. Lityum-İyon Bataryalarının Uygulama Alanlarının İncelenmesi	21
2.3.1. Elektrikli Araçlar (EV'ler)	23
2.4.Lityum-İyon Batarya Pazarının Küresel Analizi	25
2.4.1. EV Pazar Büyüklüğü ve Büyüme Oranı	27
2.4.2. Anahtar Pazar Oyuncuları.....	28
2.4.4. Bölgesel Dağılım ve Fırsatlar	29

2.7.1. Elektrikli Araçlar Pazar Analizi Literatür Araştırması	31
3. UYGULAMA	36
3.1 Araştırmanın Amacı.....	36
3.2. Araştırmanın Sorun / Problemin Belirlenmesi.....	36
3.4. Araştırmanın Yönetimi	37
3.5. Araştırmanın Veri Analizi	37
3.SONUÇ	45
KAYNAKÇA.....	49



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
2.1 Çeşitli bataryaların özellikleri.....	8
2.2 İdeal kübik perovskit yapısı, ABO_3	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



1. GİRİŞ

Lityum-iyon bataryalar, günümüz teknolojinin önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Elektrikli araçlardan (Electric Vehicle-EV) taşınabilir elektronik cihazlara kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılan bu bataryalar, enerji depolama teknolojilerinin en önemli unsurlarından biri olmuştur. Yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömrü ve çevre dostu özellikleri sayesinde, lityum-iyon bataryaları, dünya genelinde hızla yayılan ve büyüyen bir pazara sahiptir. Ancak, batarya teknolojinin geleceği, sadece mevcut pazar dinamiklerine değil, aynı zamanda gelişen inovasyonlar, çevresel faktörler, hammaddenin temini ve global talep artışına bağlı olarak şekillenecektir (Zarei vd., 2019).

Lityum-iyon bataryalarının pazarı, son yıllarda büyük bir büyüme göstermiştir. 2020'li yılların başından itibaren, elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemlerine olan talep artışı, batarya pazarını büyük ölçüde etkilemiştir. Elektrikli araçların küresel satışlarının artması, bataryalara olan talebi artırmış ve bu da batarya üreticilerini daha büyük üretim kapasitesine yatırım yapmaya zorlamıştır. Ayrıca, taşınabilir elektronik cihazlar (cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, tabletler vb.) ve enerji depolama sistemleri gibi diğer uygulamalar da lityum-iyon bataryalarına olan talebi beslemiştir. Lityum-iyon bataryalarının üretimi ve tedarik zinciri, büyük ölçüde Çin, Güney Kore, Japonya ve Avrupa'daki bazı ülkelerde yoğunlaşmış durumdadır. Çin, lityum-iyon batarya üretiminin en büyük küresel merkezi olup, dünyanın en büyük elektrikli araç pazarına da ev sahipliği yapmaktadır. Bu durum, Çin'in batarya üreticilerinin yanı sıra, enerji depolama çözümleri ve elektrikli araç üreticilerinin küresel tedarik zincirinde önemli bir rol oynamasına neden olmuştur (Sun vd., 2019).

Lityum-iyon bataryaları, teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte önemli bir pazar payına sahip olmaya devam etmektedir. Elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri ve taşınabilir cihazlar gibi sektörlerdeki büyüme, bu bataryaların talebini artırmaktadır. Gelecekte, batarya teknolojisindeki yenilikler, pazarın daha sürdürülebilir ve verimli hale gelmesini sağlayacaktır. Ancak, bu büyümenin sürdürülebilir olması için çevresel etkilerin azaltılması, hammadde temininin güvence altına alınması ve geri dönüşüm çözümlerinin geliştirilmesi kritik olacaktır (Kong vd., 2018).

Lityum-iyon bataryalar, elektrikli araç endüstrisinin temel yapı taşlarından biri olarak, hem teknolojik ilerlemelerin hem de ekonomik büyümenin merkezinde yer almaktadır. Bu bataryaların stok seviyeleri, enerji yoğunluğu, maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirliği, elektrikli araçların yaygınlaşmasında belirleyici faktörler arasında kabul edilmektedir (Nykvist & Nilsson, 2015). Özellikle batarya maliyetlerinin 2010'lerden bu yana yaklaşık %90 oranında düşmesi, elektrikli araçların toplam sahip olma maliyetini önemli ölçüde azaltmış ve tüketici tercihlerini olumlu yönde etkilemiştir (BloombergNEF, 2022). Ancak, batarya üretiminin küresel ölçekte artması, aynı zamanda kritik hammaddelerin (lityum, kobalt, nikel) arz güvenliği ve geri dönüşüm süreçlerine ilişkin yeni zorlukları da gündeme getirmektedir (Gaines, 2018; Harper et al., 2019). Bu teknolojik gelişmeler, elektrikli araçların pazar payının hızla artmasına olanak sağlarken, sürdürülebilir enerji sistemlerinin ve uygun altyapı yatırımlarının da önemi giderek artmaktadır (Hall & Lutsey, 2017). Enerji üretiminde kullanılan kaynakların karbon yoğunluğu, elektrikli araçların çevresel avantajını doğrudan etkileyerek, tüketicilerin tercihlerini şekillendirmektedir (Hawkins et al., 2013). Dolayısıyla, elektrikli araçların yaygınlaşması sadece batarya teknolojisiyle değil, aynı zamanda enerji politikaları ve altyapı düzenlemeleriyle desteklenmelidir (IEA, 2023). Özellikle gelişmekte olan pazarlarda, enerji üretiminin karbon ayak izinin azaltılması ve şarj altyapısının tüketici ihtiyaçlarına göre optimize edilmesi, pazarın sürdürülebilir büyümesi için kritik öneme sahiptir (Ziegler & Mackenzie, 2021). Öte yandan, ekonomik büyüme ve demografik faktörlerin elektrikli araçların benimsenmesinde doğrudan etkisinin sınırlı kaldığı gözlemlenmektedir (Jiao & Evans, 2016). Bu durum, pazarın daha çok teknolojik yenilikler, çevresel kaygılar ve enerji sistemlerinin yapısal dönüşümleri ile şekillendiğini göstermektedir (Lutsey & Nicholas, 2019). Sonuç olarak, lityum-iyon batarya teknolojilerindeki ilerlemelerle paralel olarak, elektrikli araçların pazar payını artırmak için entegre politika yaklaşımları geliştirilmesi ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, hem çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesine hem de elektrikli araçların toplumda daha hızlı benimsenmesine zemin hazırlayacaktır.

Son yıllarda, küresel ölçekte sürdürülebilirlik hedeflerinin yükselmesi ve çevresel kaygıların artmasıyla birlikte elektrikli araçların (EV) benimsenme oranları hızla artmaktadır. Elektrikli araç teknolojilerinin yaygınlaşması, yalnızca otomotiv sektöründe değil, enerji sistemleri ve çevre politikalarında da köklü değişikliklere yol açmaktadır. Bu dönüşümün merkezinde ise, elektrikli araçların performansını ve kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen lityum-iyon batarya teknolojileri yer almaktadır. Literatürde, lityum-iyon bataryaların enerji yoğunluğu, şarj süresi, maliyet ve çevresel etkiler açısından sunduğu avantajların, elektrikli araç pazarının büyümesinde kritik rol oynadığı vurgulanmaktadır (Nykvist & Nilsson, 2015; Dunn, Kamath & Tarascon, 2011). Ancak teknolojik gelişmelerin yanı sıra, altyapı kapasitesi, enerji üretim kaynaklarının karbon yoğunluğu ve makroekonomik dinamikler gibi faktörlerin de elektrikli araç satış oranlarını ve pazar payını önemli ölçüde şekillendirdiği gözlenmektedir (Sierzchula et al., 2014; Breetz, Salon & Sperling, 2018).

Günümüzde elektrikli araçların (EV) otomotiv sektöründeki yükselişi, sadece teknolojik bir dönüşüm olmanın ötesinde, ekonomik, çevresel ve sosyal dinamiklerle iç içe geçmiş karmaşık bir süreci temsil etmektedir. Bu sürecin kapsamlı şekilde incelenmesi, elektrikli araçların yaygınlaşma hızını etkileyen faktörlerin sistematik olarak anlaşılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla, ekonomik büyüme göstergeleri, altyapı gelişimi, enerji üretimindeki karbon yoğunluğu gibi çok sayıda değişkenin bir arada değerlendirilmesi, pazar dinamiklerinin gerçekçi bir resmini ortaya koyabilmek adına elzemdir. Bu tez kapsamında, farklı parametrelerin elektrikli araçların pazar payı üzerindeki etkileri geniş bir veri tabanı üzerinden analiz edilerek, teknolojik yeniliklerin, çevresel politika uygulamalarının ve altyapı yatırımlarının sektörel büyümeye katkıları irdelenmiştir. Bu yaklaşımla, mevcut literatürde yer alan bulgularla karşılaştırmalar yapılarak, küresel ve bölgesel trendler ışığında elektrikli araçların gelecekteki potansiyel gelişim alanları tartışılmıştır. Ayrıca, enerji sektörünün karbon yoğunluğunun otomotiv sektöründe sürdürülebilirliğe etkisi gibi kritik çevresel unsurların sektördeki dönüşüm üzerindeki rolü detaylı biçimde ele alınmıştır. Sonuçların uluslararası enerji ajansları ve akademik kaynaklarla mukayese edilmesi, elde edilen verilerin güvenilirliği ve geçerliliği açısından önemli bir temel oluştururken, bu kapsamda politika yapıcılar, yatırımcılar ve araştırmacılar için değerli çıkarımlar sunmayı hedeflemektedir. Böylece, elektrikli araç ekosistemindeki teknolojik, ekonomik ve çevresel unsurlar arasındaki karmaşık ilişkilerin

daha net bir şekilde kavranması ve sektörün sürdürülebilir gelişimine dair stratejik önerilerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Lityum-iyon bataryalar, günümüz teknolojisinin en kritik enerji depolama çözümlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli araçlardan (EV) taşınabilir elektronik cihazlara kadar geniş bir uygulama alanına sahip bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür ve çevre dostu yapısıyla dikkat çekmektedir. Özellikle 2010'lu yıllardan itibaren batarya maliyetlerinde yaşanan dramatik düşüş, elektrikli araçların toplam sahip olma maliyetini azaltmış ve küresel ölçekte benimsenme hızını artırmıştır (Nykqvist & Nilsson, 2015; BloombergNEF, 2022). Bununla birlikte, batarya üretiminde kullanılan lityum, kobalt ve nikel gibi kritik hammaddelerin arz güvenliği ve geri dönüşüm süreçleri, sürdürülebilirlik açısından yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır (Gaines, 2018; Harper et al., 2019). Bu nedenle, batarya teknolojilerindeki ilerlemeler yalnızca teknik performans değil, aynı zamanda enerji sistemleri ve çevresel politikalar bağlamında da stratejik bir öneme sahiptir.

Literatürde, ekonomik büyüme göstergeleri, enerji üretim süreçlerinin karbon yoğunluğu, altyapı kapasitesi ve çevresel düzenlemelerin EV satış oranlarını etkileyen başlıca faktörler arasında yer aldığı vurgulanmaktadır (Sierzechula et al., 2014; Breetz, Salon & Sperling, 2018). Bu doğrultuda, elektrikli araçların yaygınlaşması çok boyutlu bir süreci temsil etmekte ve yalnızca batarya teknolojisine değil, aynı zamanda makroekonomik dinamiklere, enerji dönüşümüne ve altyapı yatırımlarına bağlı olarak şekillenmektedir. Dolayısıyla, EV pazarındaki büyümenin gerçekçi biçimde anlaşılabilmesi için, teknolojik parametrelerin yanı sıra ekonomik ve çevresel göstergelerin de birlikte analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, elektrikli araçların pazar payındaki değişkenliği etkileyen faktörler ampirik olarak incelenmiştir. Özellikle ekonomik büyüme oranı, enerji sektöründeki karbon yoğunluğu ve şarj altyapısı yatırımları gibi değişkenlerin pazar payı üzerindeki etkileri regresyon analizleri aracılığıyla test edilmiştir. Modellerin güvenilirliği, otokorelasyon ve değişen varyans sorunlarını gidermek amacıyla Newey–West (HAC) tahmincileri ile güçlendirilmiş ve böylece bulguların istatistiksel sağlamlığı artırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki tartışmaları destekleyerek, elektrikli araç

penetrasyonunun yalnızca teknolojik inovasyonlarla değil, aynı zamanda çevresel politika uygulamaları ve altyapı yatırımlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmada lityum iyon bataryaların özellikleri, çalışma prensipleri ve kullanım alanları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Bununla beraber bu bataryaların özellikle pazardaki avantajları eski tip akülere göre performans anlamındaki olumlu özellikleri ile birlikte pazardaki kısıtlarından bahsedilmiştir. Bununla birlikte özellikle Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların özellikleri, avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Yapılan analizde iste elektrikli araçların pazardaki satış yüzdesini belirleyen faktörler incelenmiş olup elektrikli araç şarj altyapısının yoğunluğu, elektrikli araç stok oranı nüfus büyüklüğü, enerji yoğunluğu ve enerji üretiminde karbon yoğunluğu gibi faktörlerin etkileri incelenmiş olup sonuçları tartışılmıştır.

Bu bağlamda, çalışmanın bulguları hem akademik hem de pratik açıdan önemli çıkarımlar sunmaktadır. Akademik literatüre katkı, EV pazar payını etkileyen faktörlerin bütüncül biçimde analiz edilmesiyle sağlanırken; politika yapıcılar ve yatırımcılar için ise sürdürülebilir büyüme stratejilerinin hangi alanlarda önceliklendirilmesi gerektiğine dair somut ipuçları verilmiştir. Böylelikle, elektrikli araç ekosisteminin sürdürülebilir gelişimi için gerekli olan çok boyutlu dinamikler açıklığa kavuşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları, elektrikli araç penetrasyonundaki artışın sadece teknolojik gelişmelerle değil, aynı zamanda şarj altyapısı yatırımları, enerji sistemlerinin karbon yoğunluğunun azaltılması ve ekonomik büyüme gibi faktörlerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, sürdürülebilir bir elektrikli araç ekosistemi oluşturulmasında, batarya teknolojilerindeki ilerlemelerin yanı sıra, enerji üretim süreçlerinin yeşillenmesi ve altyapı kapasitesinin artırılması gibi çok yönlü stratejilerin benimsenmesi gerekmektedir. Literatür ve sektör raporları ışığında geliştirilen bu bütüncül yaklaşım, elektrikli araç pazarının mevcut durumunu anlamak ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunmak için sağlam bir temel sunacaktır. Böylelikle hem akademik hem de uygulamalı bağlamda, elektrikli araçların ve lityum-iyon batarya pazarının dinamiklerini ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma, alanın gelişimine katkı sağlayacak stratejik öneriler geliştirmek için önemli bir referans noktası oluşturacaktır.

2. LİTYUM-İYON BATARYA

21. yüzyılın hızla gelişen teknoloji dünyasında enerjiye olan ihtiyaç her zamankinden daha fazladır. Akıllı telefonlar, dizüstü bilgisayarlar, elektrikli araçlar ve hatta yenilenebilir enerji sistemleri gibi modern yaşamın vazgeçilmez unsurları, güvenilir, taşınabilir enerji depolama çözümlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaca cevap verecek en önemli teknolojilerden biri de lityum-iyon batarya teknolojisidir. Bu bataryalar, yüksek kapasiteleri ve verimli enerji depolama kapasiteleri sayesinde çağımızın enerji çözümlerinde devrim yaratmıştır. Lityum-iyon bataryalar ilk olarak 1991 yılında Sony tarafından ticari olarak piyasaya sürülmüş olsa da bu teknolojinin bilimsel temeli 1970'lere dayanmaktadır. Zamanla, araştırmalar ve teknolojik gelişmeler sayesinde bugün daha hafif, daha güçlü ve daha dayanıklı lityum-iyon bataryalar üretilmektedir. Bu gelişmelerin sadece tüketici elektroniği sektöründe değil, aynı zamanda otomotiv, savunma, havacılık ve yenilenebilir enerji sektörlerinde de büyük etkisi olmuştur (Chen, 2001).

2.1. Lityum-İyon Batarya Teknolojisi

Lityum iyon bataryalar, özellikle taşınabilir cihazlarda küçük boyutlarına rağmen büyük miktarda enerji depolayabilmelerinden dolayı her geçen gün önem kazanmıştır. Aynı zamanda bu bataryalar şarj edilebilir özellikte olup uzun ömürlüdür. Doğru kullanıldığında tekrar şarj edilip yüzlerce hatta binlerce kez kullanılabilirler. Bu da onları ekonomik açıdan uygulanabilir ve çevre dostu bir seçenek haline getirmektedir (Teranishi ve diğerleri, 2013).

Lityum-iyon bataryaların bir diğer önemli avantajı da kullanılmadığında bile enerjisinin büyük kısmını koruyabilmesidir. Bu sayede cihazlar uzun süre kullanılsa bile performans kaybı minimum düzeyde kalabilmektedir. Ayrıca bu aküler kurşun asit gibi geleneksel akü teknolojilerine göre daha çevre dostudur. Bu bataryaların zararlı madde oranı düşüktür ve geri dönüştürülebilir. Ancak her teknoloji gibi lityum iyon bataryaların da bazı dezavantajları bulunmaktadır. Üretim maliyeti diğer batarya türlerine göre daha yüksektir. Ayrıca üretim ve kullanım sırasında dikkatli olunmaması durumunda aşırı ısınma, yangın, patlama gibi güvenlik riskleri ortaya çıkabilmektedir. Bu riskleri azaltmak için modern akü sistemleri sıklıkla özel koruma devreleriyle donatılmaktadır.

Ayrıca batarya kapasitesi zamanla azalmaktadır. Bu durum şarj süresini kısaltır ve performansı düşürmektedir.

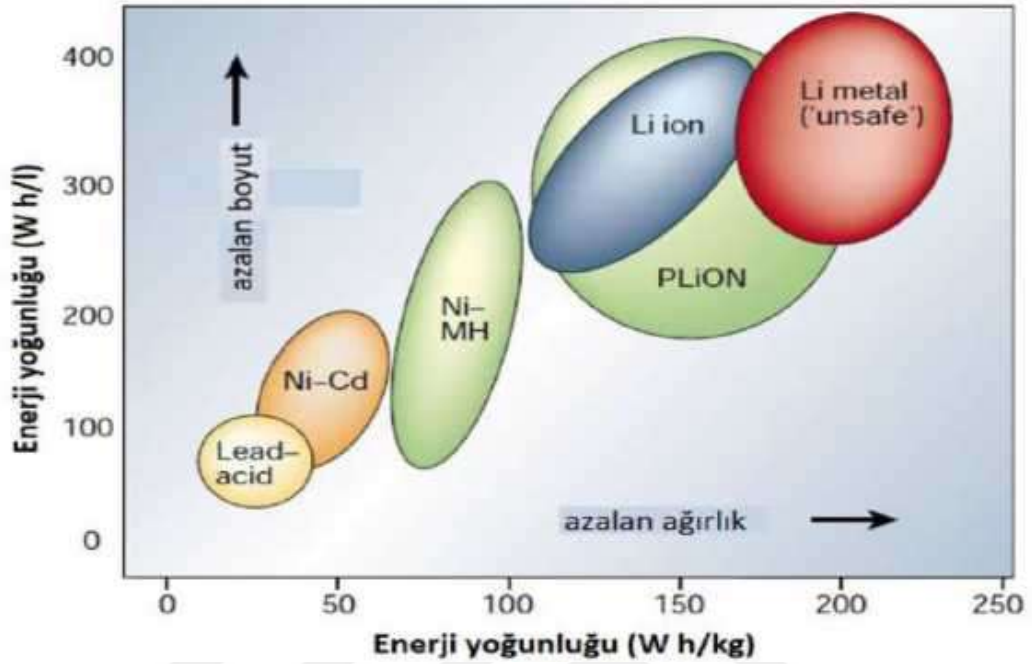
Günümüzde lityum-iyon batarya teknolojisi artık sadece kişisel cihazlarımızı değil, küresel enerji politikasını da belirleyen bir unsur haline gelmiştir. Özellikle elektrikli araç (EV) sektöründe bu bataryalar içten yanmalı motorların yerini alabilecek kadar güçlü ve verimli hale gelmiştir. Tesla, Nissan ve BMW gibi pek çok otomobil üreticisi, lityum iyon bataryaları tercih ederek sürdürülebilir ulaşım katkıda bulunmaktadır. Ayrıca bu aküler, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında enerjinin depolanmasını ve ihtiyaç halinde kullanılmasını sağlamaktadır. Araştırmacılar ve mühendisler lityum iyon batarya teknolojisini daha da geliştirmek için yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. Amaç; uzun ömürlü, güvenli, hızlı şarj edilebilen ve çevre dostu bataryalar üretmesidir. Sıvı elektrolit yerine katı elektrolit kullanılması enerji yoğunluğunu artıracak ve yangın riskini azaltabilecektir. Sonuç olarak lityum-iyon batarya teknolojisi, modern yaşam ve geleceğin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için en önemli çözümlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır (Teranishi vd., 2013).

Bu bataryaların teknolojik gelişmelerle daha da iyileştirilmesi enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve çevre koruma açısından önemlidir. Hem tüketiciler hem de sektör açısından vazgeçilmez hale gelen bu teknoloji, enerji depolamanın geleceğini tanımlamaya devam edecektir. Lityum-İyon Bataryalar (LIB'ler) diğer ikincil bataryalara göre birçok avantajı nedeniyle tercih edilmektedir (Yan vd., 2021).

- Yüksek Enerji Yoğunluğu: 100-265 Wh/kg veya 250-670 Wh/L gibi yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (Yan vd., 2021).
- Yüksek Güç Sağlama Kapasitesi: Ni-Cd veya Ni-MH gibi teknolojilere kıyasla 3 kat daha yüksek güç sağlar, hatta 3,6 Volt'a kadar (Yan vd., 2021).
- Düşük Kendi Kendine Deşarj Oranı: Diğer ikincil bataryalara göre daha düşük bir kendi kendine deşarj oranına sahiptir, yılda %20'nin altında Küçük ve Hafif Yapı: Daha küçük boyutlu ve hafif olmalarıyla da avantaj sağlarlar, taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı açısından önemli bir özelliktir (Yan vd., 2021).

Şekil 1.2'de görüldüğü üzere, LIB'lar Pb-asit, Ni-Cd ve Ni-MH bataryalarına kıyasla daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. LIB'lar, üst düzey uygulamalar için

daha küçük, daha hafif ve daha ekonomik batarya depolama alanı oluşturma konusunda umut verici avantajlar sunmaktadır (Mekonnen vd., 2016).



Şekil 2.1:Çeşitli bataryaların özellikleri

Kaynak: (Tarascon ve Armand, 2001).

Lityum, elektropozitivitesi en yüksek ve en hafif metal olması nedeniyle yüksek yoğunluklu enerji depolama sistemlerinin tasarımı için benzersiz bir elementtir. Belirtilen avantajlarından dolayı LİB'lar elektronik cihazlarda, elektrikli arabalarda ve şebeke boyutunda depolamada sıklıkla tercih edilen batarya türüdür (Killer vd., 2020). LİB'lar, tipik olarak katot, anot ve elektroliti içeren bir yapıya sahiptir.

Günümüzde, lityum iyon bataryalarının anotlarında genellikle grafitten yapılandırılmış (işlenmiş) karbon kullanılmaktadır. Karbon, lityum iyonlarını içerisine hapsederek depolayabilir ve serbest bırakabilir. Katotlar ise genellikle lityum bazlı metal oksitlerden oluşur; örneğin, lityum kobaltat veya lityum demir fosfat gibi. Katot, lityum iyonlarını içine alarak ve salarak, elektrik akımının akışını oluşturmaktadır. Bu bataryaların çalışma prensibi, lityum iyonlarının anottan katotta ve tekrar geri dönmesiyle, elektrik akımının üretilmesidir (Ghiji vd., 2020).

Elektrolitler şarj ve deşarj sırasında Li^+ iyonlarının anottan katoda ve katottan anoda taşınmasını sağlarlar. LİB'da kullanılan elektrolitler organik (sıvı elektrolitler) ve

inorganik (katı elektrolitler) olarak sınıflandırılmaktadır (Armand vd., 2020). Normal çalışma koşulları altında LİB’da kullanılan sıvı elektrolitler organik çözücülerden etil karbonat (EC), dietil karbonat (DEC), dimetil karbonat (DMC) vb. ve lityum tuzlarından (LiPF₆, LiBOB vb.) oluşmaktadır. Sıvı elektrolit kullanılan lityum iyon bataryalar, bir dizi avantajları olmasına rağmen bazı önemli dezavantajlarla da karşı karşıyadır. Bunların başında, sıvı elektrolit kullanılan LİB’in yüksek sıcaklıklarda (65 °C) ve 2 V' un altında deşarj edildiğinde potansiyel bozulma risklerinin oluşmasıdır. Bu durum, bataryaların güvenlik risklerini artırabilir ve özellikle yüksek sıcaklıklarda veya hasar durumlarında tehlikeli olabilmektedir. Ayrıca, sıvı elektrolit kullanılan bataryaların içerdikleri sıvı elektrolitin buharlaşması ve sızıntı gibi problemler yaşanabilir, bu da bataryaların performansını ve ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bunların yanında sıvı elektrolit kullanılmasından kaynaklı olarak, katı batarya teknolojilerine kıyasla büyük boyutlu olmaktadırlar. Tüm bu dezavantajlar, sıvı elektrolit kullanılan LİB’in güvenlik, dayanıklılık ve kullanım açısından bazı kısıtlamalara sahip olduğunu göstermektedir. Sıvı elektrolit kullanılan bataryaların belirtilen dezavantajlarının karşısında katı elektrolit kullanılan bataryalara olan ilgi giderek artmıştır (Shi vd., 2017).

Katı elektrolitler, inorganik katı elektrolitler (İKE) ve katı polimer elektrolitler (KPE) olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. LİB’da kullanılan organik sıvı elektrolitlerden farklı olarak, katı elektrolitler geniş çalışma sıcaklığına (-15 ile 60°C çalışma sıcaklığı olan sıvı elektrolitlere kıyasla, katı elektrolit olan bataryalarda -40 ile 150 °C çalışma sıcaklığı) sahiptir. Yüksek iyonik iletkenlik (en az 10⁻⁴ S/cm) ve mekanik dayanıklılık (30 MPa) katı elektrolit kullanılan bataryalar için en temel gereksinimlerdir (Yue vd., 2016). Bu katı elektrolitler arasında oksit bazlı perovskit tipi inorganik katı elektrolitler, diğer katı elektrolitlere göre yüksek iyonik iletkenlikleri ile (10⁻³ S/cm) dikkat çekmektedir. Termal kararlılığının ve iyonik iletkenliğinin diğer katı elektrolitlere göre yüksek olması ile elektronik iletkenliğinin düşük olması (10⁻⁹ S/cm), indirgenme kararlılığı, oksidasyon kararlılığı ve kolay üretimi perovskit-oksit tipi katı elektrolitleri diğer katı elektrolitlerden seçen önemli özelliklerdir (Manthiram vd., 2017).

2.2.Lityum-İyon Batarya Teknolojisinin Temel Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri

Günümüzün enerji depolama ihtiyaçlarına yönelik en etkili çözümlerden biri olan lityum-iyon bataryalar, taşınabilir elektronikten elektrikli araçlara, yenilenebilir enerji sistemlerinden tıbbi teknolojiye kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Hafif olmaları, yüksek enerji yoğunlukları ve uzun deşarj ömürleri sayesinde bu bataryalar modern teknolojinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Lityum-iyon batarya teknolojisini anlamak için öncelikle bu sistemlerin temel bileşenlerini ve nasıl çalıştıklarını anlamak gerekmektedir (Fortalnova vd., 2006). Lityum-iyon bataryalar temel olarak dört ana bileşenden oluşur: anot, katot, elektrolit ve ayırıcı (separator). Bu bileşenler, bataryanın enerji depolama ve iletim süreçlerini belirlemektedir.

- **Anot (Negatif Elektrot):** Genellikle karbon bazlı bir malzeme olan grafit kullanılmaktadır. Şarj işlemi sırasında lityum iyonları, katottan ayrılıp elektrolit aracılığıyla anoda gömülür. Deşarj sırasında ise bu iyonlar tekrar katoda döner ve bu süreç elektrik enerjisi üretimini sağlamaktadır.
- **Katot (Pozitif Elektrot):** Genellikle lityum metal oksitleri (örneğin lityum kobalt oksit, lityum demir fosfat) kullanılmaktadır. Katot, şarj sırasında lityum iyonlarını serbest bırakır ve bu iyonlar anoda doğru hareket etmektedir.
- **Elektrolit:** Lityum tuzları içeren sıvı veya jel formda iletken bir çözücüdür. Anot ve katot arasındaki iyon hareketini sağlar, fakat elektronların geçişini engelleyerek doğrudan kısa devre oluşmasını önlemektedir. Günümüzde sıvı elektrolitlerin yerini alabilecek katı elektrolitlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da sürmektedir.
- **Ayırıcı (Separator):** Anot ve katodu fiziksel olarak birbirinden ayıran, ancak iyonların geçişine izin veren ince, gözenekli bir malzemedir. Bu bileşen, bataryanın güvenliğini sağlayarak kısa devre riskini azaltmaktadır.

Lityum-iyon bataryalar bu dört bileşenle birlikte çalışarak elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürür, depolar ve ihtiyaç duyulduğunda tekrar elektrik enerjisine dönüştürür. Bir batarya şarj edildiğinde, lityum iyonları harici bir enerji kaynağından katottan anoda doğru akar. Yüklendiğinde bu iyonlar zıt yönlerde hareket ederek elektrik

akımı oluşturlar. Bu işlem sırasında elektronlar harici devrelerden geçer ve cihazlara güç sağlar (Kong ve diğerleri, 2018).

Lityum-iyon bataryaların çalışma prensibi enerji yoğunluğu ve verimlilik açısından oldukça etkilidir. Ancak sistemin düzgün çalışabilmesi için her bir bileşenin özelliklerinin dikkatlice seçilmesi ve uyum içinde çalışması gerekmektedir. Özellikle elektrolitin saflığı, anot-katot malzemelerinin yapısı ve izolasyonun kalitesi, akünün performansını ve güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Lityum-iyon batarya teknolojisinin temel bileşenleri ve çalışma prensipleri, bu sistemlerin yüksek performans, güvenilirlik ve uzun ömürlü olmasını sağlayan en önemli faktörlerdir. Teknoloji ilerledikçe bu bileşenleri daha dayanıklı, çevre dostu ve verimli hale getirmek için araştırmalar devam ediyor. Bu gelişmeler, gelecekte lityum iyon bataryaların enerji depolama çözümü olarak rolünü daha da güçlendirecektir (Kong vd., 2018).

2.2.1. Batarya Yapısı ve Tasarımı Özellikleri

Enerji depolama teknolojisinin temelini oluşturan bataryalar, günümüzde taşınabilir cihazlardan elektrikli araçlara, yenilenebilir enerji sistemlerinden endüstriyel uygulamalara kadar pek çok sektörde kullanılmaktadır. Bu geniş uygulama yelpazesi, batarya tasarımlarının işlevsel ve güvenli olmasını gerektirir. Bir akünün kapasitesini, performansını, güvenliğini ve kullanım ömrünü belirleyen en önemli faktörlerden biri de akü yapısı ve tasarımıdır.

Bataryaların yapısı ve tasarımı, bir enerji depolama sisteminin verimliliği, güvenliği ve hizmet ömrü üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Malzeme seçimi, hücre yapısı, paketleme yöntemi ve yönetim sistemi tüm batarya sisteminin başarısını etkileyen önemli faktörlerdir. Günümüzde lityum-iyon batarya teknolojisinin hızla gelişmesi, daha kompakt, güvenli ve yüksek performanslı modellerin yaratılmasına olanak sağlamaktadır. Gelecekte bu sektördeki yenilikler ulaşımdan enerjiye kadar pek çok sektörü dönüştürecek (Kong vd., 2018).

2.2.2. Performans Özelliklerinin İncelenmesi

Batarya performansı, yalnızca enerji yoğunluğu ve kapasite gibi temel özelliklerle sınırlı olmayıp, aynı zamanda şarj ve deşarj hızları, ömür, güvenlik, verimlilik ve çevre

koşullarına dayanıklılık gibi birçok faktöre bağlıdır. Batarya performansını etkileyen bu özellikler hem bataryaların kullanım ömrünü hem de cihazların verimli çalışmasını belirlemektedir.

Enerji yoğunluğu, bir bataryanın birim hacim veya ağırlık başına depolayabileceği enerji miktarını ifade etmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu, bataryanın daha küçük hacimde daha fazla enerji depolamasına olanak tanımaktadır. Bu özellik, taşınabilir cihazlar ve elektrikli araçlar gibi enerji depolamanın sınırlı alanda kritik öneme sahip olduğu uygulamalar için özellikle önemlidir. Kapasite, bir bataryanın depolayabileceği toplam enerji miktarıdır ve genellikle mAh (miliamper-saat) veya Ah (amper-saat) birimleriyle ifade edilir. Daha yüksek kapasite, bataryanın daha uzun süre dayanmasını sağlar, ancak buna karşılık batarya daha büyük ve daha ağır olacaktır. Batarya tasarımında enerji yoğunluğu ile kapasite arasında bir denge sağlanması gerekmektedir (Navas vd., 2021). Şarj hızı, bir bataryanın ne kadar hızlı şarj edilebileceğini belirlerken,deşarj hızı, bir bataryanın ne kadar hızlı enerji üretebileceğini göstermektedir. Şarj hızı, bataryanın bir cihazı ne kadar hızlı şarj edebildiğini ifade etmektedir. Örneğin elektrikli otomobiller için hızlı şarj, kullanıcıların otomobillerini kısa sürede şarj edebilmelerine olanak sağlamaktadır. Ancak hızlı şarj, bataryanın daha fazla ısınmasına neden olabilir, bu da güvenlik risklerini artırır ve batarya ömrünü kısaltabilmektedir. Şarj hızı, akünün yük altında güç sağlama yeteneğini belirlemektedir. Cihazın yüksek güç ihtiyacını karşılamak için yüksek şarj seviyesi önemlidir ancak çok hızlı boşaltmak bataryanın aşırı ısınmasına ve performans kaybına neden olabilir.

Batarya ömrü, bir bataryanın tam şarj vedeşarj döngüsüne ne kadar süre dayanabileceğini ifade etmektedir. Yani, belirli bir kapasite kaybı meydana gelmeden önce bataryanın geçirebileceği şarj vedeşarj döngüsü sayısını göstermektedir. Lityum-iyon bataryanın tipik çevrim ömrü yaklaşık 300 ila 500 tam çevrim arasında değişmektedir. Bataryalar her boşaldığında bir miktar kapasite kaybederler, ancak doğru kullanıldığında uzun süre verimli bir şekilde çalışabilirler. Aşırı kullanım, örneğin derindeşarj gibi durumlarda batarya ömrü daha hızlı azalabilmektedir. Ayrıca bataryaların sıcaklık ve nem gibi çevre koşullarına karşı dayanıklılığı da kullanım ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biridir (Navas vd., 2021).

Bir akünün güvenliği performansını doğrudan etkiler. Lityum-iyon bataryalar özellikle aşırı şarj, aşırı deşarj ve yüksek sıcaklık gibi koşullar altında patlama ve yangın riski altındadır. Bu nedenle akü termal yönetimi oldukça önemlidir. BMS (Batary Management System-Akü Yönetim Sistemi) gibi sistemler akü sıcaklığını izler, şarj ve deşarj oranlarını kontrol eder ve akülerin aşırı ısınmasını önlemektedir. Ayrıca aküye koruma devresi takılması, kısa devrelere ve diğer elektriksel anormalliklere karşı koruma sağlamaktadır. Bataryaların verimliliği, depoladıkları enerjinin ne kadarının kullanılabilir enerjiye dönüştürülebileceğini belirlemektedir. Bu verim, akünün şarj ve deşarjı sırasında oluşan kayıplardan kaynaklanmaktadır. İdeal batarya, enerjinin son derece verimli bir şekilde depolanmasını ve yeniden kullanılmasını sağlamaktadır. Verimlilik, bataryanın iç direnci, elektrot malzemesi ve elektrolit bileşimi gibi faktörlere bağlıdır. Yüksek verimli aküler, daha uzun batarya ömrü ve daha az enerji kaybı anlamına gelmektedir.

Enerji yoğunluğu, şarj hızı, ömür, güvenlik ve verimlilik gibi faktörler, bataryaların kullanım alanlarını ve etkili işlevlerini doğrudan etkiler. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, batarya tasarımlarında bu performans özellikleri sürekli olarak iyileştirilmektedir. Özellikle elektrikli araçlar ve taşınabilir cihazlar gibi enerji verimliliği ve uzun ömür beklenen uygulamalarda, batarya performansı ön planda tutulmaktadır. Gelecekte, bu teknolojilerin daha da gelişmesiyle, bataryalar daha verimli, güvenli ve çevre dostu hale getirmektedir (Dominguez-Crespo vd., 2023).

2.2.3. Batarya Yönetim Sistemleri (BMS)

Lityum-iyon bataryaları, son yıllarda taşınabilir cihazlardan elektrikli araçlara (EV'ler) kadar geniş bir uygulama yelpazesinde tercih edilen enerji depolama çözümleri olmuştur. Bu bataryaların popüleritesinin artmasının ardında, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür, düşük ağırlık ve çevre dostu özellikler bulunmaktadır. Ancak, bu bataryaların güvenli ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için Batarya Yönetim Sistemleri (BMS) büyük bir öneme sahiptir. Batarya Yönetim Sistemleri, lityum-iyon bataryalarının performansını izlemek, güvenliğini sağlamak ve kullanım ömrünü uzatmak için tasarlanmış karmaşık elektronik sistemlerdir. BMS, bataryaların doğru şekilde şarj edilmesi, deşarj edilmesi ve izlenmesi için kritik bir rol oynamaktadır (Takada, 2013).

Batarya Yönetim Sistemi, lityum-iyon bataryalarının sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için gerekli olan bir dizi kontrol, izleme ve koruma işlevini yerine getiren

elektronik bir sistemdir. BMS, bataryanın voltajını, akımını, sıcaklık seviyelerini ve şarj durumunu sürekli olarak izler. Ayrıca, bataryaların aşırı şarj, aşırı deşarj, aşırı ısınma gibi tehlikelerden korunmasını sağlar ve bataryaların ömrünü uzatır. Batarya yönetim sistemi, bataryaların her bir hücresinin düzgün bir şekilde çalıştığından emin olarak hücreler arasındaki dengeyi korumaktadır (Takada, 2013).

Batarya Yönetim Sistemleri, bataryaların güvenliğini sağlamak, verimliliğini artırmak ve uzun ömürlü olmalarını temin etmek için birçok önemli fonksiyona sahiptir. Bu fonksiyonlar şunlardır:

- **Voltaj ve Akım İzleme:** Lityum-iyon bataryalarının her bir hücresinin voltajı düzenli olarak izlenir. Hücreler arasındaki voltaj farklarının belirli bir sınırın dışına çıkması, bataryanın ömrünü kısaltabilir veya güvenlik riskleri oluşturabilir. BMS, bu tür durumları engelleyerek bataryaların stabil bir şekilde çalışmasını sağlar.
- **Sıcaklık Yönetimi:** Bataryaların aşırı ısınması, bataryaların verimliliğini ve güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilir. BMS, bataryanın sıcaklık seviyelerini izler ve aşırı ısınma durumunda şarj veya deşarj işlemlerini sınırlayarak bataryanın hasar görmesini önler.
- **Şarj ve Deşarj Dengelemesi:** Bataryaların hücreleri arasındaki dengeyi sağlamak için BMS, hücrelerin şarj seviyelerini izler ve gerekirse hücreler arasındaki şarj seviyelerini eşitler. Bu dengeleme işlemi, bataryaların kapasitesinin maksimum seviyede tutulmasına yardımcı olur.
- **Koruma ve Alarm Sistemleri:** BMS, bataryaların aşırı şarj edilmesini, aşırı deşarj edilmesini ve aşırı sıcaklık durumlarını engelleyen güvenlik önlemleri sunar. Ayrıca, bataryada herhangi bir anormallik tespit edildiğinde kullanıcıyı uyarır.
- **Veri İzleme ve Raporlama:** BMS, bataryanın sağlığı ve performansını izleyen veriler toplar. Bu veriler, batarya yönetimi ve bakım için kullanılabilir. Bataryanın yaşam döngüsünü analiz etmek, bataryaların değiştirilmesi gereken zamanları belirlemek açısından önemlidir.

Lityum-iyon bataryaları, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun ömrü ile bilinse de, doğru yönetilmezlerse güvenlik riskleri yaratabilirler. Özellikle bataryaların şarj ve deşarj seviyelerinin düzgün bir şekilde izlenmemesi, hücrelerin hasar görmesine, kapasite kaybına ve potansiyel olarak bataryaların yanmasına veya patlamasına neden olabilir. İşte

burada BMS devreye girer ve bataryaların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Lityum-iyon bataryaların her bir hücresini izleyerek, hücreler arasındaki dengeyi korur ve bataryaların optimum performansla çalışmasını sağlamaktadır (Goodenough vd., 1976).

BMS, bataryaların aşırı yüklenmesini, aşırı sıcaklık oluşumunu ve diğer tehlikeleri engelleyerek, bataryaların daha uzun süre verimli bir şekilde çalışmasına yardımcı olur. Bu, elektrikli araçlar, taşınabilir cihazlar ve enerji depolama sistemleri gibi batarya kullanan her alanda önemli bir avantaj sunar. Özellikle elektrikli araçlar gibi yüksek kapasiteli bataryaların kullanıldığı uygulamalarda, BMS'nin doğru çalışması, güvenlik ve performans açısından kritik bir öneme sahiptir. BMS teknolojisi, hızla gelişen batarya teknolojileriyle paralel olarak evrim geçirmektedir. Yeni nesil batarya yönetim sistemleri, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojileri entegre ederek daha hassas izleme ve tahmin yapabilme yeteneğine sahip olacak. Bu tür gelişmeler, batarya performansını daha da optimize ederken, bataryaların uzun ömürlü ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır (Gellert vd., 2015).

Lityum-iyon bataryalarının verimli, güvenli ve uzun ömürlü olabilmesi için Batarya Yönetim Sistemleri (BMS) kritik bir rol oynamaktadır. BMS, bataryaların voltaj, akım, sıcaklık gibi parametrelerini izleyerek bataryaların optimum performansta çalışmasını sağlar ve potansiyel güvenlik risklerini en aza indirir. Bu teknolojinin gelişimi, batarya kullanımını daha güvenli ve verimli hale getirirken, bataryaların geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilirliğini artırmaktadır (Gellert vd., 2015).

2.2.4. Geri Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik

Son yıllarda, çevre dostu teknolojilerin ve yenilenebilir enerji sistemlerinin önemi artarken, lityum-iyon bataryaları, enerji depolama alanındaki en önemli teknolojilerden biri haline gelmiştir. Elektrikli araçlar (EV'ler), taşınabilir elektronik cihazlar, güneş enerjisi depolama sistemleri ve daha birçok uygulama, lityum-iyon bataryaların gücünden faydalanmaktadır. Ancak, lityum-iyon bataryaların kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu bataryaların son ömürleri ve çevresel etkileri de büyük bir endişe kaynağı olmuştur. Bu noktada geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik konuları ön plana çıkmaktadır. Batarya geri dönüşümü hem çevresel etkileri azaltmak hem de batarya üretiminde kullanılan nadir elementlerin yeniden kullanılabilirliğini sağlamak açısından büyük bir öneme sahiptir (Yue vd., 2016).

Lityum-iyon bataryaların çevreye olan etkisi, üretim, kullanım ve sonrasında yabataryaan atık yönetimi süreçlerinde kendini gösterir. Bu bataryaların üretimi için lityum, kobalt, nikel gibi nadir bulunan metallerin çıkarılması gerekmektedir. Bu metallerin çıkarılması, doğada derin etkiler bırakabilir, çünkü maden çıkarma işlemleri genellikle çevresel tahribata yol açar ve su kaynaklarını kirletebilir. Ayrıca, bataryaların atılması veya yanlış şekilde işlenmesi, bu zararlı maddelerin doğaya karışmasına yol açarak ciddi çevresel sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, bataryaların geri dönüştürülmesi, çevresel etkilerin azaltılması ve daha sürdürülebilir bir üretim süreci sağlanması adına kritik bir öneme sahiptir. Lityum-iyon bataryaların geri dönüşümü, bataryaların son ömürlerinin tamamlanmasının ardından başlar. Geri dönüşüm süreci, bataryaların içindeki değerli metallerin ve materyallerin yeniden kullanılabilmesi amacıyla çeşitli adımlardan geçer. Genel olarak batarya geri dönüşüm süreci şu aşamalardan oluşur:

- Toplama ve Sınıflandırma: Kullanım süresi tamamlanmış bataryalar, geri dönüşüm tesislerine toplanır ve türlerine göre sınıflandırılır. Bu, doğru geri dönüşüm işlemi için önemlidir.
- Yıkama ve Parçalama: Bataryalar, güvenlik önlemleri alındıktan sonra yıkama ve parçalama işlemine tabi tutulur. Bu işlem, bataryaların daha kolay işlenmesini sağlar.
- Kimyasal İşlem ve Metal Ayrımı: Parçalanmış bataryalar, kimyasal işlemlerle içerdikleri metal ve bileşenlerden ayrılır. Lityum, kobalt, nikel ve diğer değerli metaller, bu işlemle geri kazanılır.
- Yeniden Kullanım: Elde edilen metaller, yeni bataryaların üretiminde veya diğer elektronik ürünlerde kullanılmak üzere yeniden işlenir. Böylece, kaynakların verimli kullanımı sağlanmış olur (Yue vd., 2016).

Batarya geri dönüşümü, üretim sürecinde kullanılan nadir ve değerli metallerin tekrar kullanılmasıyla ekonomik açıdan da avantaj sağlar. Ayrıca, çevresel etkileri en aza indirmek için enerji tüketimi ve kimyasal atık yönetimi açısından sürdürülebilir bir çözüm sunar. Sürdürülebilirlik, lityum-iyon bataryalarının üretimi ve kullanımı sürecinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Batarya üreticileri, enerji verimliliği ve çevre dostu malzeme kullanımı gibi faktörleri göz önünde bulundurarak üretim süreçlerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmaktadır. Örneğin, batarya üreticileri, bataryaların ömrünü uzatmaya yönelik teknolojilere odaklanarak, bataryaların daha az sıklıkla

değiştirilmesini ve dolayısıyla daha az atık oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca, batarya üretimi sırasında kullanılan malzemelerin geri dönüştürülebilir olması, sürdürülebilirlik adına önemli bir adımdır (Yao vd., 2019).

Lityum-iyon bataryalarının sürdürülebilirliğini artırmak için, batarya tasarımı ve üretimi aşamalarında çevre dostu malzemelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Katı hal bataryaları gibi yeni nesil bataryalar, sıvı elektrolitler yerine katı elektrolitler kullanarak daha güvenli ve çevre dostu çözümler sunmayı vaat etmektedir. Ayrıca, bataryaların geri dönüşüm verimliliğini artırmak için yeni teknolojiler geliştirilmekte ve geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan enerji miktarı da minimize edilmeye çalışılmaktadır. Lityum-iyon bataryalarının geri dönüşümü ve sürdürülebilirliği konusunda ilerlemeler kaydedilmiş olsa da, hâlâ çözülmesi gereken birçok zorluk bulunmaktadır. Özellikle, bataryaların geri dönüşüm oranları düşük kalmakta ve bu bataryaların çevreye zararlı atık haline gelmeden önce daha verimli bir şekilde işlenmesi gerektiği açıktır. Ayrıca, batarya geri dönüşümü için özel tesislerin kurulum maliyetleri yüksek olup, bu tesislere ulaşım ve işlem kapasitesi de sınırlıdır (Chawla vd., 2019). Bununla birlikte, sürdürülebilir batarya teknolojileri konusunda bilim insanları ve mühendisler, yenilikçi çözümler üzerinde çalışmaktadır. Sıfır atık hedefleri doğrultusunda, batarya üretim süreçlerinde daha az zararlı bileşen kullanılarak çevresel etkiler azaltılabilir. Ayrıca, geri dönüşüm süreçlerinin daha verimli hale gelmesi ve daha fazla batarya materyali geri kazanılabilir olması, gelecekteki büyük hedefler arasında yer almaktadır. Lityum-iyon bataryaları, günümüzde enerji depolama ve taşınabilir enerji kaynakları için kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu bataryaların çevresel etkilerinin yönetilmesi ve geri dönüşüm süreçlerinin etkinleştirilmesi, sürdürülebilir bir gelecek için hayati önem taşımaktadır. Geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik konusunda yapılan çalışmalar, batarya üretiminin ve kullanımının çevre dostu hale gelmesini sağlayacak ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Gelecekte, daha verimli geri dönüşüm teknolojileri ve çevre dostu batarya üretim süreçlerinin geliştirilmesi, lityum-iyon bataryalarının sürdürülebilirliğini artıracaktır (Chawla vd., 2019).

2.2.5. Avantajlar ve Dezavantajlar

Herhangi bir teknoloji, sistem ya da uygulama değerlendirilirken, onun sağladığı avantajlar ve taşıdığı dezavantajlar dikkate alınarak karar verilmektedir. Bu

değerlendirme, kullanılan ürünün verimliliğini, güvenliğini ve uzun vadeli faydalarını belirlemek için önemlidir. Özellikle teknoloji dünyasında, bir yeniliğin yaygınlaşmadan önce dikkatle incelenmesi gereken birçok yönü bulunmaktadır.

Avantajlar;

Bir teknolojinin avantajları, kullanıcılar veya işletmeler için sağladığı faydaları ifade eder. Bu faydalar genellikle verimlilik, maliyet tasarrufu, kullanım kolaylığı, hız ve erişilebilirlik gibi faktörlere dayanır (Dominguez-Crespo vd., 2023).

- **Verimlilik:** Modern teknolojiler, iş süreçlerini hızlandırarak verimliliği artırmaktadır. Özellikle otomasyon ve dijitalleşme, insanların daha az zaman harcayarak daha fazla iş yapmalarına olanak sunmaktadır. Bu, hem bireysel hem de kurumsal düzeyde büyük kazançlar sağlamaktadır.
- **Maliyet Tasarrufu:** Teknolojik yenilikler, iş gücü maliyetlerini azaltarak ve operasyonel süreçleri optimize ederek tasarruf sağlamaktadır. Bu, işletmelerin kârlılığını artırmalarına ve daha rekabetçi olmalarına yardımcı olmaktadır. Örneğin, bulut teknolojileri işletmelere fiziksel sunucu maliyetlerinden tasarruf etmelerini sağlamaktadır.
- **Erişilebilirlik ve Kolay Kullanım:** Yeni teknolojiler, kullanıcılara daha kolay erişim imkânı tanımaktadır. Örneğin, akıllı telefonlar ve internet tabanlı hizmetler, kullanıcılara her yerden bilgiye ulaşma ve etkileşimde bulunma imkânı vermektedir. Bu, günlük hayatı kolaylaştıran ve işleri daha erişilebilir kılan önemli bir avantajdır.
- **Yenilikçilik ve Gelişim:** Teknolojiler, insanların hayatlarını iyileştirmek, sorunları çözmek ve daha iyi bir gelecek inşa etmek adına sürekli olarak gelişmektedir. Yenilikçi çözümler, daha önce imkansız görünen şeyleri mümkün hale getirebilir.
- **Çevresel Faydalar:** Birçok teknoloji, çevreye olan etkilerini azaltmaya yönelik çözümler sunmaktadır. Örneğin, elektrikli araçlar karbon salınımını azaltırken, yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara bağımlılığı azaltır (Dominguez-Crespo vd., 2023).

Dezavantajlar;

Her teknoloji ve yenilik, beraberinde bazı dezavantajlar da getirebilir. Bu dezavantajlar, genellikle kullanıcılar için olumsuz sonuçlar doğurur ve çoğu zaman,

teknolojiye uyum sağlamak veya bu dezavantajları minimize etmek için ekstra çaba gerektirir (Zarei vd., 2019)..

- Yüksek Başlangıç Maliyetleri: Yeni teknolojilere geçiş genellikle yüksek başlangıç maliyetlerini gerektirir. Örneğin, elektrikli araçlar ilk başta daha pahalı olabilir, ancak zamanla düşük yakıt tüketimi ve bakım maliyetleriyle geri kazanılabilir. Yine de bu yüksek maliyet, bazı kullanıcılar için engelleyici olabilir.
- Bağımlılık ve Teknoloji Tüketimi: Teknolojik cihazlar, insanların yaşamlarını kolaylaştırdığı gibi, aşırı teknoloji kullanımı bağımlılığa yol açabilir. Özellikle dijitalleşmenin arttığı günümüzde, teknolojiye fazla bağımlı olmak, kişisel etkileşimlerin azalmasına ve ruhsal sağlık sorunlarına yol açabilir.
- Gizlilik ve Güvenlik Sorunları: Teknolojik gelişmeler, kişisel verilerin korunması ve güvenliği konusunda ciddi tehditler oluşturabilir. Özellikle internet üzerinden yabattaryaan işlemler, verilerin kötü niyetli kişiler tarafından çalınması gibi güvenlik açıkları yaratabilir.
- İşsizlik Riski: Otomasyon ve yapay zeka teknolojilerinin artan kullanımı, bazı iş alanlarını ortadan kaldırabilir ve işsizlik oranlarını artırabilir. Özellikle düşük vasıflı iş gücü, makineler ve yazılımlar tarafından yerinden edilebilir.
- Çevresel Etkiler: Teknoloji üretimi, atık yönetimi ve kaynak tüketimi gibi çevresel etkileri de beraberinde getirebilir. Örneğin, eskiyen cihazların geri dönüşümü, çevre kirliliği sorunlarını artırabilir ve sürdürülebilirlik hedeflerine zarar verebilir (Zarei vd., 2019).

Her teknolojinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Teknolojinin kullanımı bu avantaj ve dezavantajların dengesine bağlıdır. Doğru kararı verebilmek için bu faktörlerin her birini dikkatlice değerlendirmek gerekir. Gelecekte teknolojinin avantajlarını artırmak, dezavantajlarını azaltmak için sürekli geliştirilmesi gerekmektedir. Teknolojik yenilikler hayatımızı kolaylaştıracak pek çok fırsat sunuyor ancak bunların sorumlu ve dengeli bir şekilde kullanılması gerektiğini unutmaması gerekmektedir (Zarei vd., 2019).

2.2.6. Lityum-İyon Batarya Pazarındaki Zorluklar ve Engeller

Lityum-iyon bataryalarının üretimi için kullanılan başlıca ham maddeler lityum, kobalt, nikel ve grafitir. Bu malzemelerin temini, günümüzde büyük ölçüde sınırlıdır ve çoğunlukla birkaç ülkeden (özellikle Güney Amerika, Afrika ve Asya) temin edilmektedir. Bu durum, tedarik zinciri üzerinde büyük bir baskı oluşturmakta ve batarya üreticilerinin bu kaynaklara erişimini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, lityum ve kobalt gibi malzemelerin çıkarılması çevresel tahribata yol açabiliyor ve yerel halklar üzerinde sosyal etkiler yaratabiliyor. Bu nedenle, bu bataryaların üretimi, yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda etik ve çevresel açılardan da zorluklar içermektedir. Lityum-iyon bataryalarının üretim maliyetleri, özellikle kullanılan nadir ve değerli malzemelerin fiyatlarına bağlı olarak yüksektir. Üretim maliyetlerinin düşürülmesi, batarya teknolojisinin geniş çapta benimsenebilmesi ve yaygınlaştırılması için kritik bir faktördür. Ancak, şu anda, batarya üretimi hala pahalıdır ve bu da tüketicilerin elektrikli araçlar gibi batarya tabanlı ürünlere olan talebini sınırlayabilmektedir. Ayrıca, bataryaların üretimindeki karmaşık ve yüksek teknoloji gerektiren süreçler, maliyetleri artıran diğer önemli etmenlerdir (Manthiram vd., 2017).

Lityum-iyon bataryalarının geri dönüşümü, çevre dostu batarya yönetimi açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Ancak, bataryaların geri dönüşüm oranı hala oldukça düşüktür. Bataryaların ömrü sona erdiğinde, çevreye zararlı olabilecek kimyasal maddeler içerebilirler. Bu durum, bataryaların uygun şekilde işlenmesi ve geri dönüştürülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Geri dönüşüm teknolojilerinin verimli olmaması, kaynakların yeniden kullanılabilirliğini engelleyerek doğal kaynakların tükenmesine yol açabilir. Ayrıca, batarya geri dönüşüm süreci pahalı ve teknik olarak zorlu olabilmektedir. Lityum-iyon bataryalarının güvenliği, özellikle aşırı ısınma, şarj/deşarj dengesizliği ve yangın riski gibi konularda sürekli bir endişe kaynağı olmuştur. Bataryaların aşırı şarj edilmesi veya sıcaklık kontrolü sağlanmadığında, yangınlar ve patlamalar gibi güvenlik riskleri ortaya çıkabilir. Bu sorunların önüne geçebilmek için batarya yönetim sistemleri (BMS) gibi teknolojiler geliştirilmiş olsa da, güvenlik kaygıları hala batarya pazarının büyümesini engelleyen faktörlerden biridir. Ayrıca, bataryaların performansı zamanla azaldıkça, tüketiciler daha sık batarya değiştirme

ihtiyacı ile karşılaşabilirler, bu da ürünlerin kullanım ömrünü ve maliyetini etkilemektedir (Manthiram vd., 2017).

Lityum-iyon bataryalarının gelecekteki gelişimi, yeni teknolojilerin entegrasyonuna dayanacaktır. Ancak, bu yeniliklerin ticari ürünlere entegrasyonu bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Örneğin, yeni malzemelerin (grafen gibi) batarya üretiminde kullanılması, test süreçlerinin uzunluğu, maliyetlerin yüksekliği ve endüstrinin adaptasyon hızını etkileyebilir. Yeni nesil bataryaların güvenilirliğinin ve verimliliğinin sağlanması için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılması gerekmektedir. Ayrıca, mevcut üretim süreçlerine bu yeniliklerin entegrasyonu, zaman alıcı ve pahalı olabilir. Lityum-iyon bataryalarının pazarındaki zorluklar, sadece teknolojik yeniliklerle değil, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerle de ilişkilidir. Ham madde tedariki, üretim maliyetleri, çevresel etkiler ve güvenlik gibi engeller, bu teknolojilerin daha geniş bir ölçekte benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Ancak, bu zorlukların aşılması, yeni malzemeler, geliştirilmiş geri dönüşüm yöntemleri ve güvenlik teknolojileri ile mümkün olabilir. Lityum-iyon bataryalarının sürdürülebilir bir şekilde gelişmesi için bu engellerin aşılması büyük önem taşımaktadır. Gelecekte, daha verimli ve çevre dostu batarya çözümleri, bu pazarın büyümesini ve yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

2.3. Lityum-İyon Bataryalarının Uygulama Alanlarının İncelenmesi

Lityum-iyon bataryalar, en yaygın kullanılan ve en hızlı büyüyen enerji depolama teknolojilerinden biri haline gelmiştir. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömürlü performansı ve hızlı şarj özellikleri nedeniyle çeşitli endüstrilerde vazgeçilmez bir güç kaynağı olmuştur. Elektrikli araçlardan mobil cihazlara, yenilenebilir enerji sistemlerinden taşınabilir cihazlara kadar pek çok uygulama alanında lityum-iyon bataryalar tercih edilmektedir.

Lityum-iyon bataryaların önemli bir uygulama alanı taşınabilir elektronik cihazlardır. Akıllı telefonlardan dizüstü bilgisayarlara, tabletlerden giyilebilir teknoloji ürünlerine kadar pek çok cihaz lityum iyon bataryalarla çalışmaktadır. Bu bataryalar kullanıcılara cihazlarını uzun süre kullanma imkanı tanırken, aynı zamanda hızlı şarj özelliğiyle de büyük bir avantaj sağlamaktadır. Taşınabilir cihazlarda bataryaların küçük, hafif ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması gerekmektedir. Lityum iyon bataryalar

bu gereksinimleri mükemmel şekilde karşılamakta ve cihazın boyutunu küçültmeden uzun süreli kullanım imkânı sağlamaktadır. Ayrıca batarya ömrü oldukça uzun olduğundan kullanıcıların sık sık şarj etmesine gerek kalmamaktadır (Kong vd., 2018).

Lityum-iyon bataryalar yenilenebilir enerji sistemi sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Değişken enerji kaynaklarının, özellikle güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımının artmasıyla birlikte enerji depolama sistemlerinin önemi de artmaktadır. Lityum-iyon bataryalar, bu tür sistemlerde üretilen fazla enerjinin depolanmasını sağlayarak, ihtiyaç duyulduğunda enerjinin kullanılmasını sağlamaktadır. Güneş panelleri veya rüzgâr türbinlerinin ürettiği enerji günün belirli saatlerinde yüksek seviyede olabilir, ancak kullanım her zaman eşit veya dengeli değildir. Lityum-iyon bataryalar bu enerjinin depolanmasını ve gece veya bulutlu günlerde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu da enerji üreticileri için daha verimli ve sürdürülebilir enerji kullanımına katkı sağlamaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji depolama çözümleri sayesinde bataryalar fosil yakıtların daha az kullanılmasını sağlamakta, bu da çevreye olumlu etki etmektedir.

Lityum-iyon bataryalar, sağlık sektöründe de önemli bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle medikal cihazlarda, taşınabilir özellikler ve uzun süreli batarya ömrü gereksinimi nedeniyle lityum-iyon bataryalar tercih edilmektedir. İmmüno terabataryaer, kardiyak cihazlar, insülin pompaları gibi medikal cihazlar, lityum-iyon bataryalar sayesinde daha verimli çalışabilir. Bu bataryalar, küçük boyutları ve uzun ömürlü olmaları sayesinde, medikal cihazların taşınabilirliğini ve kullanım süresini artırmaktadır. Ayrıca, giyilebilir sağlık izleme cihazları gibi gelişen teknolojilerde de bu bataryalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Lityum-iyon bataryalar, cihazların daha uzun süre çalışabilmesini sağlayarak kullanıcıların sağlık durumlarını sürekli olarak izlemelerine yardımcı olmaktadır (J. Lu ve Li, 2018).

Lityum-iyon bataryalar, askeri uygulamalardan uzay araştırmalarına kadar birçok farklı alanda da kullanılmaktadır. Askeri araçlarda, uzay araçlarında ve denizaltılarda, dayanıklılıkları ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilirler. Ayrıca, robotik sistemler, dronelar ve taşınabilir enerji depolama sistemleri gibi yeni nesil teknolojilerde de lityum-iyon bataryalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Lityum-iyon bataryalar, sağladıkları yüksek verimlilik, enerji yoğunluğu ve uzun ömür gibi avantajlarla birçok farklı sektörde

önemli uygulama alanlarına sahiptir. Elektrikli araçlar, taşınabilir cihazlar, yenilenebilir enerji sistemleri ve medikal cihazlar gibi farklı alanlarda, bu bataryaların kullanımı giderek artmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, lityum-iyon bataryaların daha verimli, güvenli ve çevre dostu hale gelmesi beklenmektedir. Bu bataryaların potansiyeli, daha geniş uygulama alanları ve sürdürülebilir enerji çözümleri sunma açısından büyük bir önem taşımaktadır (Thangadurai ve Weppner, 2000).

Lityum-iyon bataryaların en popüler uygulamalarından biri elektrikli araçlardır. Elektrikli otomobiller, fosil yakıt bazlı motorlardan elektrikli motorlara geçiş yapan araçlardır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların, aracın güç ihtiyacını karşılayabilmesi için yüksek kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğuyla uzun ömürlü ve hızlı şarj imkânı sunmasıyla elektrikli araçların pazardaki rekabet gücünü artırmaktadır. Lityum-iyon bataryalar daha hafif ve daha kompakt olduğundan, geleneksel bataryalara kıyasla elektrikli araçların verimliliği artırıyor. Elektrikli araç sektörü, lityum iyon bataryaların evriminde önemli bir dönüm noktası oluşturarak teknolojinin daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasına yardımcı olmuştur. Batarya teknolojisindeki gelişmeler sayesinde batarya kapasitesi artmış ve şarj süreleri kısalmıştır. Ayrıca bu bataryalar çevre dostu araçlar yaratarak karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Kong vd., 2018).

2.3.1. Elektrikli Araçlar (EV'ler)

Elektrikli araçlar (EV'ler), enerji kaynağı olarak içten yanmalı motorlar yerine elektrik motorlarını kullanan ulaşım araçlarıdır. Son yıllarda çevre dostu ulaşım çözümleri ve sürdürülebilirlik hedeflerinin artmasıyla, elektrikli araçlar hızla popülerleşmiştir. Bu araçlar, özellikle lityum-iyon bataryalar gibi yüksek verimli batarya teknolojileri sayesinde daha verimli, ekonomik ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Elektrikli araçlar, çevre kirliliğini azaltmaları, enerji verimlilikleri ve düşük işletme maliyetleri gibi birçok avantajlarıyla dikkat çekmektedir. Elektrikli araçlar, genellikle dört ana bileşenden oluşur: elektrik motoru, batarya, güç elektroniği ve şarj sistemi. Elektrik motoru, bataryadan aldığı enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek aracın hareket etmesini sağlar. Batarya, aracın enerjisini depolayan ana bileşendir ve genellikle lityum-iyon bataryalar kullanılır. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun ömürleri ile tercih edilmektedir. Güç elektroniği, bataryadan gelen elektrik akımını doğru şekilde

yönlendirerek motoru çalıştıran bir sistemdir. Son olarak, şarj sistemi, araçların bataryalarını dışarıdan elektrikle şarj etmeyi mümkün kılmaktadır (Thangadurai ve Weppner, 2000). Elektrikli araçların avantajları ve dezavantajları aşağıda sunulmuştur (D. Lu vd., 2019; Teranishi vd., 2014).

Elektrikli Araçların Avantajları

- Çevre Dostu: Elektrikli araçların en büyük avantajlarından biri, sıfır emisyon salınımıdır. Geleneksel içten yanmalı motorlar, atmosferi kirleten karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) gibi zararlı gazları salarken, elektrikli araçlar yalnızca elektrik kullanarak çalıştıkları için bu tür gazların salınımını yapmazlar. Bu, hava kalitesini artırır ve iklim değişikliğiyle mücadeleye önemli bir katkı sağlamaktadır.
- Düşük İşletme Maliyeti: Elektrikli araçların işletme maliyetleri, içten yanmalı motorlara sahip araçlara göre genellikle daha düşüktür. Elektrik, fosil yakıtlara göre daha ucuzdur ve şarj edilme maliyetleri de benzine veya motora göre önemli ölçüde daha düşüktür. Ayrıca, elektrikli araçlar daha az hareketli parça içerdiği için bakım gereksinimleri de daha azdır. Bu da uzun vadede kullanıcılara tasarruf sağlamaktadır.
- Yüksek Verimlilik: Elektrikli motorlar, içten yanmalı motorlara kıyasla daha verimli çalışır. Elektrik motorları, bataryadan aldıkları enerjiyi çok daha verimli bir şekilde dönüştürürler, bu da aracın daha uzun menzil kat etmesini sağlamaktadır. Lityum-iyon bataryalar, enerjiyi verimli bir şekilde depolayarak elektrikli araçların menzilini artırmaktadır.
- Yenilikçi Teknolojiler ve Gelişmeler: Elektrikli araçlar, sürekli olarak gelişen teknolojilerle daha verimli hale gelmektedir. Batarya teknolojileri hızla ilerlemekte, araçların şarj süreleri kısalmaktadır. Hızlı şarj altyapısı ve daha geniş şarj ağı sayesinde, elektrikli araçların kullanım alanları da artmaktadır (D. Lu vd., 2019; Teranishi vd., 2014).

Elektrikli Araçların Dezavantajları

- Sınırlı Menzil: Elektrikli araçların en büyük dezavantajlarından biri, sınırlı menzilleridir. Birçok elektrikli araç, şarj başına yaklaşık 150-500 km arasında bir mesafe kat edebilmektedir. Bu, uzun yolculuklar veya özellikle kırsal alanlarda daha az şarj istasyonu bulunan bölgelerde bir zorluk oluşturabilir.

- **Şarj Altyapısının Yetersizliği:** Elektrikli araçların yaygınlaşması için geniş bir şarj altyapısının kurulması gerekmektedir. Özellikle bazı bölgelerde, ev tipi şarj ünitelerinin veya hızlı şarj istasyonlarının eksikliği, elektrikli araç kullanıcıları için sorun olabilir.
- **Yüksek Başlangıç Maliyeti:** Elektrikli araçlar, genellikle geleneksel araçlara kıyasla daha yüksek bir başlangıç maliyetine sahiptir. Ancak, bu fark zaman içinde düşük işletme maliyetleri ve verimlilik sayesinde telafi edilebilir. Elektrikli araçların fiyatlarının zamanla düşmesi beklenmektedir, ancak şu anda bu, bazı kullanıcılar için bir engel olabilir (D. Lu vd., 2019; Teranishi vd., 2014).

Elektrikli araçlar, gelecekte daha yaygın hale gelmesi beklenen bir ulaşım seçeneğidir. Birçok ülke, fosil yakıtlara dayalı araçların kullanımını sınırlamayı ve elektrikli araçları teşvik etmeyi hedefleyen düzenlemeler getirmektedir. Bu hedeflerin bir parçası olarak, batarya teknolojilerinin geliştirilmesi ve şarj altyapısının güçlendirilmesi önem taşımaktadır. Aynı zamanda, elektrikli araç üreticileri de araçlarının menzilini artırmaya ve daha hızlı şarj imkânları sunmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır (D. Lu vd., 2019; Teranishi vd., 2014).

Elektrikli araçlar çevreye duyarlı, ekonomik ve verimli ulaşım çözümleri sunan araçlar olarak önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Teknolojik ilerlemeler ve altyapı iyileştirmeleri ile elektrikli araçların daha geniş kitlelere ulaşması, gelecekte ulaşımın daha sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlayacaktır.

2.4.Lityum-İyon Batarya Pazarının Küresel Analizi

Son yıllarda, dünya çapında enerji depolama teknolojilerine olan talep büyük bir hızla artmaktadır. Bu talebin en önemli itici güçlerinden biri, lityum-iyon batarya teknolojisinin sunduğu verimlilik ve enerji yoğunluğudur. Lityum-iyon bataryalar hem taşınabilir elektronik cihazlar hem de elektrikli araçlar (EV'ler) gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta ve küresel pazarda büyük bir büyüme göstermektedir. Lityum-iyon bataryaların popülaritesinin artmasında, çevre dostu enerji çözümleri ve yenilenebilir enerji sistemlerinin desteklenmesi gibi faktörlerin etkisi büyüktür (Sun vd., 2019).

Lityum-iyon bataryaların pazarındaki büyüme, özellikle elektrikli araçlar (EV) ve yenilenebilir enerji sistemlerinin gelişmesiyle hızlanmıştır. Elektrikli araçlar, fosil yakıtlardan bağımsız olarak çevre dostu alternatiflere olan ilgiyi artırırken, bu araçların güç kaynakları olarak lityum-iyon bataryalar öne çıkmaktadır. Küresel otomobil üreticileri, çevre dostu enerji çözümlerine geçiş yapmak için EV üretimlerine odaklanırken, bu araçların verimli bataryalarla desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu durum, batarya üreticilerine olan talebi artırmakta ve pazarın hızla büyümesine yol açmaktadır. Lityum-iyon bataryaların enerji depolama kapasitesi ve uzun ömürleri, onları sadece EV'lerde değil, aynı zamanda güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını depolamak için de ideal bir seçenek haline getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi açısından çevre dostu olmasına rağmen, genellikle kesintili ve değişken özellikler gösterdiğinden, bu enerjilerin depolanması için güvenilir bir batarya teknolojisi gerekmektedir. Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı şarj özellikleri ile bu ihtiyaca mükemmel bir çözüm sunmaktadır.

Lityum-iyon batarya pazarının büyümesine katkı sağlayan başlıca faktörlerden biri, devlet teşvikleri ve çevresel düzenlemelerdir. Birçok ülke, fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimini azaltmayı hedeflerken, yenilenebilir enerji çözümlerini ve elektrikli araçları teşvik etmektedir. Bu teşvikler, batarya üreticilerini ve otomobil üreticilerini daha fazla yatırım yapmaya yönlendirmektedir. Özellikle Avrupa, Çin ve Kuzey Amerika gibi büyük pazarlar, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemlerine yönelik önemli destekler sunmakta ve bu da batarya pazarını doğrudan etkilemektedir. Bir diğer önemli faktör, lityum ve diğer kritik minerallerin arzına olan bağımlılıktır. Lityum-iyon bataryaların üretimi, lityum, kobalt ve nikel gibi nadir metallerin teminine bağlıdır. Bu nedenle, bu minerallerin madenciliği ve tedarik zinciri de pazarın gelişimini etkileyen kritik bir unsurdur. Lityum madenlerinin yoğun olduğu ülkelerdeki üretim kapasitesinin artması, pazarın daha geniş bir alana yayılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu minerallerin tedarikindeki olası aksaklıklar veya fiyat dalgalanmaları, batarya üreticilerinin maliyetlerini etkileyebilir.

Lityum-iyon batarya pazarının küresel büyümesi, elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri ve enerji depolama çözümleri gibi sektörlerdeki büyümeye paralel olarak hızlanmaktadır. Bu pazarın büyümesini etkileyen faktörler arasında devlet teşvikleri, çevresel düzenlemeler, hammadde temini ve yeni teknolojilerin gelişimi yer almaktadır.

Lityum-iyon bataryaların geleceği, inovasyonlar ve sürdürülebilirlik odaklı çözümlerle şekillenecek ve bu teknoloji, dünya çapında enerji dönüşümünde kilit bir rol oynamaya devam edecektir.

2.4.1. EV Pazar Büyüklüğü ve Büyüme Oranı

Lityum-iyon batarya pazarının büyüklüğü, özellikle son on yılda önemli ölçüde artmıştır. 2020 yılında küresel lityum-iyon batarya pazarının değeri yaklaşık 40 milyar Amerikan doları olarak hesaplanmışken, bu pazarın 2030 yılına kadar 100 milyar dolara ulaşması bekleniyor (Market Research Future, 2020). Bu büyüme, yalnızca artan tüketici talebinin değil, aynı zamanda teknoloji ve inovasyonların da etkisiyle gerçekleşmektedir. Özellikle elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemleri, lityum-iyon batarya pazarının en büyük iki talep kaynağıdır. Elektrikli araçların artan popülaritesi, lityum-iyon bataryaların pazar büyüklüğünü doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Birçok ülkede hükümetlerin elektrikli araçlar için teşvikler ve vergi indirimleri sunması, bu alandaki büyümeyi hızlandırmıştır. Elektrikli araçların batarya gereksinimleri, dünya çapında lityum-iyon batarya üreticilerine olan talebi artırmış ve bu pazarın hızlı bir şekilde büyümesine yol açmıştır. Ayrıca, batarya teknolojilerindeki yenilikler, bataryaların daha verimli, daha uzun ömürlü ve daha düşük maliyetli hale gelmesini sağlayarak, piyasadaki talebi daha da artırmaktadır (Khaleghi ve diğ, 2020).

Elektrikli araçların küresel pazardaki hızlı yükselişi, lityum-iyon batarya talebinin artmasında en belirleyici unsur olarak öne çıkmaktadır. 2020 yılında dünya genelinde yaklaşık 3 milyon adet elektrikli araç satışı gerçekleştirilmiş olup, bu sayının 2030 yılına kadar yıllık 30 milyonun üzerine çıkması beklenmektedir (International Energy Agency [IEA], 2021). Aynı dönemde elektrikli araçların toplam araç satışları içindeki payı %4 seviyelerindeyken, 2030 yılında %30 ve daha üzerinde bir paya ulaşacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2021; BloombergNEF, 2021). Bu gelişmeler, batarya kapasitesi talebinde önemli bir artışa işaret etmekte ve lityum-iyon batarya üretim kapasitesinin genişletilmesini zorunlu kılmaktadır. Elektrikli araçların artan benimsenmesi, sürdürülebilir ulaşım politikalarının yanı sıra teknolojik gelişmelerle de desteklenmektedir. Örneğin, batarya enerji yoğunluğundaki ilerlemeler, araçların menzil kaygılarını azaltmakta ve tüketici kabulünü artırmaktadır (Nykqvist & Nilsson, 2015).

Bunun yanı sıra, batarya maliyetlerindeki düşüş, elektrikli araçların toplam sahip olma maliyetini azaltmakta ve piyasa büyümesini hızlandırmaktadır (Dunne et al., 2018). Lityum-iyon bataryaların enerji depolama kapasitesinin artması, daha uzun ömürlü ve güvenli bataryaların geliştirilmesi ise sektörde rekabeti artırmakta ve inovasyonu tetiklemektedir (Peters et al., 2017). Özellikle Çin, Avrupa ve ABD gibi büyük pazarlar, teşvik politikaları ve altyapı yatırımları ile elektrikli araç satışlarını desteklemekte, böylece lityum-iyon batarya talebinde küresel bir artışa zemin hazırlamaktadır (IEA, 2022; McKinsey & Company, 2020). Sonuç olarak, elektrikli araç pazarındaki bu hızlı büyüme trendi, lityum-iyon batarya sektörünün hem kapasite hem de teknoloji açısından dönüşümünü zorunlu kılmaktadır. Bu dönüşüm, batarya üreticilerinin sürdürülebilirlik, maliyet optimizasyonu ve performans iyileştirmelerine odaklanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, elektrikli araçlar ile lityum-iyon batarya pazarları arasındaki karşılıklı etkileşim, enerji dönüşümünde kritik bir rol oynamaktadır ve gelecekte de bu etkileşimin artarak devam edeceği beklenmektedir.

2.4.2. Anahtar Pazar Oyuncuları

Elektrikli araçlar (EV) pazarı, son yıllarda hızlı bir büyüme trendi göstermekte olup, bu büyüme büyük ölçüde başta Tesla, Nissan, BMW, Volkswagen ve Hyundai gibi küresel otomobil üreticilerinin pazar performanslarına bağlıdır. Tesla, 2023 yılında dünya genelinde yaklaşık 1,3 milyon elektrikli araç satışı gerçekleştirerek pazar payının %15'ine ulaşmıştır (International Energy Agency, 2023). Nissan Leaf ve BMW i Serisi gibi modellerle öne çıkan diğer üreticiler ise özellikle Avrupa ve Asya pazarlarında güçlü satış rakamlarına sahiptir (BloombergNEF, 2023). Ayrıca, hükümetlerin karbon emisyon hedefleri doğrultusunda sunduğu teşvikler ve artan çevre bilinci, elektrikli araç talebini ve dolayısıyla lityum-iyon batarya tüketimini artırmaktadır. McKinsey & Company (2022) tarafından yapılan analizler, elektrikli araç pazarının önümüzdeki on yıl içinde yıllık ortalama %20'nin üzerinde büyüme göstereceğini ve bu büyümenin doğrudan batarya teknolojilerindeki yeniliklerle paralel ilerleyeceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, lityum-iyon batarya pazarındaki gelişmelerin takibi, elektrikli araç üreticilerinin satış stratejileri ve pazar dinamikleri açısından kritik öneme sahiptir.

Elektrikli araçlar, lityum-iyon bataryaların en büyük tüketici segmentidir. Elektrikli araçlar için bataryalar, araçların güç kaynağı olarak kullanıldığından, bu

alandaki talep lityum-iyon batarya üreticileri için büyük bir fırsat yaratmaktadır. Örneğin, Tesla, Nissan, ve BMW gibi büyük otomobil üreticileri, elektrikli araçlar için lityum-iyon batarya tedarikçilerine büyük taleplerde bulunmaktadır (International Energy Agency [IEA], 2022). Buna ek olarak, devlet teşvikleri ve çevre dostu araçlara olan talep de bu büyümeyi desteklemektedir.

Tesla, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemlerinde devrim yaratmış bir şirkettir. Tesla'nın Gigafactory fabrikalarında üretilen lityum-iyon bataryalar, elektrikli araçları için temel enerji kaynağını oluşturmaktadır. Tesla, batarya üretimi konusunda kendi teknolojisini geliştirerek sektördeki en büyük oyunculardan biri haline gelmiştir. 2023 yılı itibarıyla Tesla, küresel elektrikli araç pazarında %15'in üzerinde pazar payı ile lider konumdadır ve batarya teknolojilerinde yaptığı yatırımlarla maliyetleri düşürüp performansı artırmayı hedeflemektedir (IEA, 2023; BloombergNEF, 2023). Aynı zamanda enerji depolama çözümleri konusunda da önemli yatırımlar yaparak, sürdürülebilir enerji ekosisteminin gelişimine katkı sağlamaktadır (IEA, 2023).

Çin merkezli BYD, elektrikli araç üretiminde dünyanın önde gelen markalarından biridir ve lityum-iyon batarya üretiminde güçlü bir pozisyona sahiptir. BYD, hem kendi elektrikli araçları için bataryalarını üretmekte hem de diğer otomotiv üreticilerine batarya tedarik etmektedir. 2022 yılında BYD, dünya elektrikli araç pazarında %12 civarında bir pazar payına ulaşarak önemli bir oyuncu haline gelmiştir (Statista, 2023). Ayrıca, BYD'nin enerji depolama çözümleri alanındaki faaliyetleri, şirketin elektrikli araç ekosistemi içindeki stratejik konumunu güçlendirmektedir (IEA, 2023).

2.4.4. Bölgesel Dağılım ve Fırsatlar

Elektrikli araçlar (EV'ler), yenilenebilir enerji sistemleri ve endüstriyel uygulamalar gibi alanlarda bu bataryaların artan talebi, dünya çapında pazarın büyümesini hızlandırmıştır. Ancak lityum-iyon batarya teknolojisinin küresel dağılımı, farklı coğrafi bölgelerdeki ekonomik, endüstriyel ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu durum, her bölgenin farklı fırsatlar sunduğu anlamına gelmektedir. Lityum-iyon teknolojisinin bölgesel dağılımı, üretim kapasitesinden tüketime kadar çeşitli fırsatlar yaratmaktadır.

Kuzey Amerika, özellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD), lityum-iyon batarya pazarında önemli bir oyuncudur. ABD, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemlerine yönelik artan taleple bu alanda büyük bir büyüme potansiyeline sahiptir. Elektrikli araçlar için devlet teşvikleri ve çevre dostu ulaşım çözümleri politikaları, batarya teknolojilerine olan talebi artırmaktadır. Tesla gibi büyük elektrikli araç üreticileri ve batarya tedarikçileri, ABD'deki pazarın büyümesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Ayrıca, batarya üretim tesislerinin kurulması ve şarj altyapılarının genişletilmesi gibi projeler, Kuzey Amerika'daki lityum-iyon batarya pazarına büyük fırsatlar sunmaktadır. Kuzey Amerika'daki bir diğer önemli fırsat ise, yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgilidir. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi değişken enerji kaynaklarının depolanmasında lityum-iyon bataryalar kullanılır. Yenilenebilir enerji projelerinin yaygınlaşması ve enerji depolama sistemlerine olan ihtiyacın artması, Kuzey Amerika'da lityum-iyon batarya pazarının büyümesini desteklemektedir (Stroe ve diğ, 2018; Schaltz ve diğ, 2018).

Avrupa, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji çözümlerine verdiği önemle lityum-iyon batarya pazarında önemli bir yere sahiptir. Avrupa Birliği'nin karbon salınımını azaltma ve elektrikli araçlara geçişi teşvik etme hedefleri, bölgedeki lityum-iyon batarya pazarının büyümesini hızlandırmaktadır. Almanya, Fransa, Hollanda gibi ülkeler, elektrikli araç üretimi ve batarya teknolojileri konusunda öncü konumda olup, batarya üretim kapasitesini artırmak için büyük yatırımlar yapmaktadır. Avrupa'daki büyük pazar fırsatları, elektrikli araçlar ve enerji depolama çözümleri ile ilgilidir. Ayrıca, Avrupa'nın batarya geri dönüşüm alanındaki faaliyetleri, sürdürülebilirlik açısından önemli fırsatlar yaratmaktadır. Avrupa'da batarya geri dönüşüm endüstrisinin güçlenmesi, yeni iş olanakları ve teknoloji geliştirme fırsatları sunmaktadır (Lu ve Li, 2021).

Asya-Pasifik bölgesi, lityum-iyon batarya teknolojisinin üretim merkezi olarak küresel pazarda dominant bir rol oynamaktadır. Çin, Japonya ve Güney Kore, bu alandaki en büyük batarya üreticileri ve tüketicileridir. Çin, özellikle elektrikli araçlar için batarya üretiminde dünya lideridir. Çin hükümetinin elektrikli araçları teşvik etmesi ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmaya yönelik politikalar geliştirmesi, lityum-iyon bataryaların talebini artırmaktadır. Asya-Pasifik bölgesindeki fırsatlar, elektrikli araç üretimi ve enerji depolama sistemleri için batarya tedarikinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bu bölgedeki batarya üreticileri, batarya verimliliğini artıran yeni nesil teknolojiler geliştirmek için

sürekli Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır. Asya'daki büyük pazar oyuncularını, lityum-iyon bataryaların daha verimli ve daha düşük maliyetli hale gelmesini sağlayacak önemli yeniliklere imza atmaktadır (Lu ve Li, 2021).

Gelişmekte olan pazarlarda, lityum-iyon batarya teknolojisi giderek daha fazla talep görmektedir. Güneydoğu Asya, Orta Doğu, Afrika ve Latin Amerika, elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemlerine olan ilginin arttığı bölgelerdir. Bu bölgelerdeki fırsatlar, büyük şehirlerde elektrikli ulaşım çözümleri ve enerji depolama sistemlerinin yaygınlaşması ile ortaya çıkmaktadır. Özellikle Hindistan, Brezilya ve Güney Afrika gibi ülkeler, enerji depolama ve elektrikli araçlar için batarya talebinin artacağı potansiyel pazarlardır. Lityum-iyon batarya teknolojisinin küresel dağılımı, farklı bölgelerdeki ekonomik, çevresel ve endüstriyel faktörlerle şekillenmektedir. Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya-Pasifik gibi büyük pazarlar, batarya üretimi ve tüketimi açısından önemli fırsatlar sunarken, gelişmekte olan pazarlar da hızla büyüyen yeni fırsatlar yaratmaktadır. Elektrikli araçlar, enerji depolama sistemleri ve yenilenebilir enerji projeleri, lityum-iyon bataryaların talebini artırmaya devam edecektir. Ayrıca, batarya geri dönüşüm ve yeni nesil batarya teknolojileri gibi alanlarda yabataryaan yenilikler, bu pazarın gelecekteki büyüme potansiyelini daha da artırmaktadır (Stroe ve diğ, 2018; Schaltz ve diğ, 2018).

2.7.1. Elektrikli Araçlar Pazar Analizi Literatür Araştırması

Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan çevresel sorunlar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma çabaları ve sürdürülebilir ulaşım arayışları, elektrikli araçlara (EV – Electric Vehicles) olan ilgiyi hızla artırmıştır. Bu dönüşümün temelinde ise, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür ve verimlilik sunan lityum-iyon batarya teknolojisi yer almaktadır (Guo vd., 2017). Elektrikli araçların performans, menzil ve güvenlik kriterlerini karşılamasında en kritik rolü oynayan bu bataryalar, aynı zamanda otomotiv sektörünün yeni rekabet alanını da tanımlamaktadır. Günümüzde elektrikli araçların pazar payı, özellikle Avrupa, Çin ve Kuzey Amerika gibi bölgelerde önemli ölçüde artış göstermektedir. Hükümet teşvikleri, karbon salınımı düzenlemeleri ve artan çevre bilinci, bu artışı destekleyen başlıca faktörlerdir. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara alternatif olarak geliştirilen EV'ler, kullanıcılarına hem çevreci hem de uzun vadede ekonomik çözümler sunmaktadır. Bu durum, üretici firmaların da AR-GE yatırımlarını lityum-iyon batarya sistemleri üzerine yoğunlaştırmasına yol açmıştır. Önümüzdeki

yıllarda, batarya teknolojisinde yaşanacak yenilikler sayesinde elektrikli araçların daha uzun menzile sahip, daha hızlı şarj olan ve daha erişilebilir fiyatlarla sunulan modeller haline gelmesi beklenmektedir. Bu da, lityum-iyon batarya teknolojisinin gelecekte ulaşım sektöründe merkezi bir konumda olacağını açıkça göstermektedir (Guo vd., 2017).

Elektrikli araçların (EV) tüketici düzeyinde benimsenmesini etkileyen faktörler, son yıllarda artan çevresel kaygılar, sürdürülebilirlik hedefleri ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda kapsamlı biçimde araştırılmaktadır. Bu bağlamda Bryła, Chatterjee ve Ciabiada Bryła'nın (2022) gerçekleştirdiği sistematik derleme çalışması, EV benimsenmesine ilişkin çok uluslu 57 çalışmayı inceleyerek temel belirleyici unsurları ortaya koymuştur. İncelenen araştırmalar, çoğunlukla EV sahibi olmayan 18 yaş üzeri bireyleri hedefleyen anket temelli çalışmalardan oluşmaktadır. Derleme sürecinde PRISMA metodolojisi esas alınmış, çalışmalar bibliyometrik analiz ve tematik içerik analizi ile değerlendirilmiştir. Bulgular, EV benimsenmesini etkileyen başlıca değişkenlerin satın alma niyeti, kullanım niyeti, menzil kaygısı, performans algısı, algılanan risk ve güven, toplam sahip olma maliyeti (TCO), teşvik mekanizmaları ve demografik özellikler olduğunu göstermektedir. Özellikle menzil kaygısı ve şarj altyapısına erişim eksikliği, tüketiciler açısından temel engeller olarak öne çıkmaktadır (Bryła, Chatterjee & Ciabiada Bryła, 2022).

Modelleme temelli yaklaşımların değerlendirildiği bir diğer kapsamlı çalışma, Maybury, Corcoran ve Cipcigan (2022) tarafından gerçekleştirilmiş ve 53 ampirik ve teorik yayını içeren sistematik bir literatür taraması sunulmuştur. Bu çalışma, EV benimsenmesini pazar payı, kullanıcı davranışı ve benimseme oranı bağlamında ele almakta; batarya menzili, şarj altyapısı, fiyat ve teşvikler gibi pratik değişkenlerin yanı sıra teknoloji algısı, sosyal etki ve demografik değişkenlerin etkilerini de kapsamaktadır. Çalışmada tanımlayıcı analiz, içerik analizi ve tematik sentez yöntemleri kullanılmış; elde edilen bulgular altyapı eksikliği, fiyat-teşvik dengesizliği ve zayıf teknoloji algısının EV benimsenmesini sınırlayan başlıca yapısal sorunlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, model doğrulamasından çok öneri sunmaya odaklanan çalışmaların fazlalığı, gerçek veri ile desteklenen analizlerin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır (Maybury, Corcoran & Cipcigan, 2022).

Bireysel düzeyde psikolojik ve algısal faktörlerin rolü ise Dash'in (2021) Hindistan'ın Delhi bölgesinde yürüttüğü çalışmada derinlemesine incelenmiştir. 355 araç sahibinden elde edilen veriler, Keşfedici ve Doğrulamalı Faktör Analizi ile analiz edilmiş, ardından Yapısal Eşitlik Modellemesi (SEM) kullanılarak değişkenler arası ilişkiler modellenmiştir. Bulgulara göre, çevresel kaygı, EV bilgisi ve öznel normlar, bireylerin EV'ye yönelik tutumlarını anlamlı biçimde etkilemektedir. En dikkat çekici sonuçlardan biri ise tutumun, EV benimseme kararındaki varyasyonun büyük bir kısmını açıklaması ve dolayısıyla bu faktörün güçlü belirleyici etkisine işaret etmesidir (Dash, 2021).

Benzer şekilde Buhmann, Rialp-Criado ve Rialp-Criado'nun (2024) İspanya örneğinde gerçekleştirdiği çalışmada, 1.816 katılımcıdan elde edilen anket verileri üzerinden PLS-SEM yöntemi ile EV benimseme niyeti analiz edilmiştir. Bu çalışmada tutum, algılanan davranışsal kontrol, öznel ve ahlaki normlar ile çevresel kaygı gibi psikolojik değişkenler değerlendirilmiştir. Bulgular, bu faktörlerin EV benimseme niyetine olan pozitif etkisini ortaya koyarken, çevresel kaygının yalnızca doğrudan değil, tutum aracılığıyla dolaylı yoldan da etkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, fiyat duyarlılığı gibi bireysel farklar, bu ilişkiler üzerinde moderatör etki yaratarak tüketici farklılıklarının önemini vurgulamaktadır (Buhmann, Rialp-Criado & Rialp-Criado, 2024).

Makro düzeyde bir yaklaşım sunan Christidis ve Focas (2019), Avrupa Birliği ülkelerinde toplam 53.000 kişiden elde edilen veri ile EV ve hibrit araçlara yönelik satın alma niyetini analiz etmişlerdir. Makine öğrenimi sınıflandırma modelleri kullanılarak yapılan bu analizde, gelir düzeyi, eğitim seviyesi, kentselleşme oranı ve davranışsal faktörlerin etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, yüksek gelir ve yüksek eğitim düzeyine sahip bireylerin EV ve hibrit araçlara daha yatkın olduklarını; kentsel bölgelerde yaşayan bireylerin ise altyapı ve şarj imkanları nedeniyle bu araçlara yöneliminin daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Satın alma niyetinde zaman içinde artış gözlemlenmiş (2014'te %32'den 2018'de %37,4'e yükselmiştir) ve bu durum artan kamuoyu farkındalığına bağlanmıştır. Ayrıca, çalışmada bölgesel farklılıkların altı çizilmiş ve EV politikalarının yerel koşullara göre özelleştirilmesi gerektiği önerilmiştir (Christidis & Focas, 2019).

Sonuç olarak, literatürde hem bireysel psikolojik faktörlerin hem de makro düzeyde sosyo-demografik ve yapısal değişkenlerin elektrikli araçların benimsenmesinde etkili olduğu görülmektedir. Menzil kaygısı, şarj altyapısının yeterliliği, teşvik mekanizmaları ve bireysel tutum gibi unsurlar bu çok katmanlı sürecin merkezinde yer almaktadır. Bu bağlamda, çok boyutlu analizlerin ve modellemelerin artırılması, hem teorik hem de uygulamalı düzeyde politika üretimine katkı sağlayacak önemli bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

No	Yazar Adı ve Yılı	Örneklem Yeri	Örneklem Yapısı ve Metodu	İncelenen Değişkenler	Analiz Yöntemi	Sonuçlar ve Bulgular
1	Paweł Bryła, Shuvam Chatterjee, Beata Ciabiada Bryła (2022)	Çok uluslu (ABD, Çin, Almanya, Hindistan, Norveç vb.)	57 çalışmadan derlenen veriler; birey/hane bazlı anketler; genelde EV sahibi olmayan bireyler; PRISMA yöntemiyle derleme	Satın alma niyeti, kullanım niyeti, menzil kaygısı, performans algısı, algılanan risk, toplam sahip olma maliyeti, teşvikler, demografik faktörler	PRISMA, bibliyometrik analiz, tematik içerik analizi	Menzil kaygısı ve şarj altyapısı eksikliği en önemli engeller; finansal teşvikler ve algılanan fayda teknoloji kabulünü etkiliyor
2	Lucy Maybury, Padraig Corcoran, Liana Cipcigan (2022)	Dünya genelinden 53 makale	Sistemik literatür taraması; PRISMA yöntemiyle Scopus, WoS, ScienceDirect'den seçilen makaleler	EV benimsenme oranı, pazar payı, kullanıcı davranışı, menzil, altyapı, fiyat, teşvikler, sosyal etki, teknoloji kabulü, sosyo-demografik faktörler	Tanımlayıcı analiz, içerik analizi, tematik sentez	Altyapı, fiyat-teşvik dengesi ve teknoloji algısı EV benimsenmesinde belirleyici; gerçek veri eksikliği ve iş modeli sorunları
3	Ajitabh Dash (2021)	Hindistan, Delhi bölgesi	355 araç sahibi; basit rastgele örnekleme ile anket	Çevresel kaygı, EV bilgisi, öznel normlar, tutum, benimseme niyeti	EFA, CFA, SEM (AMOS), SPSS	Çevresel kaygı, bilgi ve öznel normlar EV tutumunu ve benimseme niyetini anlamlı etkiliyor

4	Buhmann, Rialp-Criado & Rialp-Criado (2024)	İspanya, 1816 kişi	Temsili çevrimiçi anket, demografik profil dahil	Tutum, algılanan davranış kontrolü, öznel norm, ahlaki norm, çevresel kaygı, fiyat duyarlılığı	PLS-SEM (SmartPLS 4)	Tutum, davranış kontrolü ve normlar EV niyetini artırıyor; çevresel kaygı doğrudan ve dolaylı olumlu etkide; fiyat duyarlılığı moderatör
5	Panayotis Christidis & Caralampo Focas (2019)	Avrupa Birliği	2 anket; toplam 53,000+ yanıt; çevrimiçi anket	Satın alma niyeti; gelir, eğitim, kentselleşme, sosyo-ekonomik ve davranışsal faktörler	Makine öğrenimi sınıflandırma modeli	EV ve hibrit satın alma niyeti %32'den %37,4'e yükseldi; gelir, eğitim, kentselleşme tercihleri etkiliyor; bölgesel farklılıklar vurgulanmış

3. UYGULAMA

Bu araştırma, elektrikli araçlar (EV) pazar payını etkileyen ekonomik, çevresel ve altyapısal faktörlerin analizi üzerine odaklanmaktadır. Elektrikli araçların küresel otomotiv sektöründeki hızlı yükselişi, sürdürülebilir ulaşım ve çevresel hedefler doğrultusunda önem kazanmıştır. Bu bağlamda, çalışmada EV satış oranlarının belirleyicileri incelenmekte, özellikle satış hacmi, şarj altyapısı, pazar doygunluğu ve enerji kaynaklarının karbon yoğunluğunun etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma, farklı ülkelerden elde edilen veri setleriyle bu faktörlerin elektrikli araçların benimsenme oranları üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3.1 Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, elektrikli araçların toplam araç satışları içindeki pazar payının ekonomik, çevresel ve altyapısal faktörler ışığında incelenmesi ve bu faktörlerin etkilerinin nicel olarak ortaya konmasıdır. Literatürde, EV benimsenmesini etkileyen değişkenlerin çeşitliliği vurgulanmakla birlikte (Bryła et al., 2022; Maybury et al., 2022), bu çalışmada özellikle stok oranı ve karbon yoğunluğu gibi henüz detaylı incelenmemiş parametrelerin rolü üzerine odaklanılmıştır. Ayrıca, pazar payı dinamiklerinin zamansal değişimi ve altyapı yatırımlarının etkisi analiz edilerek, EV pazarının büyüme potansiyeli ve engelleri belirlenmiştir. Bu çalışma, EV pazar payının daha doğru tahmin edilmesi ve gelecekteki stratejik kararların şekillendirilmesine rehberlik etmesi açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

3.2. Araştırmanın Sorun / Problemin Belirlenmesi

Bu yüksek lisans tezi, elektrikli araçların pazar payını belirleyen temel faktörlerin analizi ve bu faktörlerin satış oranları üzerindeki etkilerini açıklama problemini ele almaktadır. Özellikle, EV satışlarının arttırılması için hangi ekonomik ve çevresel göstergelerin öncelikli olduğu ve altyapı yatırımlarının pazar üzerindeki beklenmeyen etkileri araştırılmıştır. Tez, elektrikli araçların gelecekteki satış eğilimlerini öngörmeye ve stratejik planlama süreçlerini iyileştirmeye yönelik bilgi üretmeyi hedeflemektedir.

3.4. Araştırmanın Yönetimi

Araştırmada, elektrikli araç teknolojisi ve pazar dinamikleri üzerine yayınlanmış akademik makaleler, endüstri raporları ve uluslararası pazar analizleri kapsamlı bir şekilde taranmıştır. Kullanılan veri setleri, 2010-2023 yılları arasında 50 farklı ülkeden (ABD, Çin, Almanya, Norveç vb.) toplanan yıllık EV satışları, şarj altyapısı ve çevresel göstergeleri içermektedir. Analizde kullanılan veri seti Tablo.1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Veri seti

Veri Seti	Kaynaklar	Yıllar	Ülkeler	Değişkenler
EV Satış Verileri	Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) raporları	2010-2023	ABD, Çin, Almanya, Norveç	EVsales, EVsales share percent
Şarj Altyapısı Verileri	BloombergNEF, EV Volumes	2010-2023	Aynı ülkeler	EVchargingpoints
Çevresel Veriler	Dünya Bankası, OECD	2010-2023	Aynı ülkeler	CO ₂ emissions, CarbonintensityESCIICO ₂ TES
Ekonomik Veriler	IMF, Dünya Bankası	2010-2023	Aynı ülkeler	GDP per capita, Population

3.5. Araştırmanın Veri Analizi

Elektrikli araç talep tahminlemesi literatüründe farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bryła ve arkadaşları (2022) sistematik literatür incelemesinde, satın alma niyeti ve kullanım eğilimlerini analiz etmek için PRISMA yöntemi ve tematik içerik analizini kullanmıştır. Maybury et al. (2022) ise sistematik taramalarda modelleme tekniklerine odaklanarak tanımlayıcı analizler ve sayısal modeller uygulamıştır. Buhmann ve ark. (2024) ise yapısal eşitlik modellemesi (PLS-SEM) kullanarak çevresel ve davranışsal faktörlerin EV benimsenmesine etkisini analiz etmiştir.

Bu çalışmada ise elektrikli araç pazar payını etkileyen çoklu değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Bu yöntem, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini nicel olarak ortaya koymaya olanak sağlamaktadır. Regresyon analizi, veri setimizin büyüklüğü ve değişkenlerin doğası göz önüne alındığında uygun ve etkili bir analiz yöntemi olarak tercih edilmiştir. Elde edilen bulgular, EV satışları, stok oranı ve karbon yoğunluğu gibi önemli faktörlerin pazar payı üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak desteklemektedir.

3.6. Analiz

Modelde yer alan değişkenler arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, elektrikli araçlara ilişkin göstergeler arasında anlamlı ve yüksek düzeyde korelasyonlar gözlemlenmektedir. Örneğin, EV satış payı ile EV şarj istasyonlarının sayısı ($r = 0.7527$) ve EV stoklarıyla ($r = 0.7422$) pozitif ve güçlü ilişkiler göstermektedir. Aynı şekilde, EV stok payı ile EV satış payı arasındaki korelasyon ($r = 0.9531$) oldukça yüksek olup, bu iki değişkenin büyük ölçüde birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Bu durum, model kurulurken çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) olasılığına dikkat edilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Diğer yandan, CO₂ emisyonları ile kişi başına düşen GSYİH ($r = 0.6308$) ve karbon yoğunluğu ($r = 0.5631$) arasında orta düzeyde pozitif ilişkiler bulunmuştur. Enerji yoğunluğu ile kişi başına düşen GSYİH ($r = -0.4683$) arasında negatif yönlü ilişki, ekonomik büyümenin enerji verimliliğiyle paralel ilerleyebileceğine işaret etmektedir. Genel olarak, bu korelasyon bulguları değişkenler arası ilişki yönü hakkında bilgi sağlamakta ve model kurulum sürecinde dikkat edilmesi gereken çoklu bağlantı ihtimaline yönelik önemli ipuçları sunmaktadır.

Tablo 2. Korelasyon Analizi

	EV chargin g points	EV sales	EV sales share	EV stock	EV stock share	CO2 emiss.	Populati on	GDP	Energy intensity	Carbon intensit y
EV chargin g	1,0000	0,9730	0,7520	0,9860	0,8620	0,3580	0,0000	0,4880	-0,1000	0,0700
EV sales	0,9730	1,0000	0,7210	0,9890	0,8140	0,3230	0,0000	0,4480	-0,1000	0,0590
EV sales share	0,7520	0,7210	1,0000	0,7420	0,9530	0,2380	0,0300	0,3900	-0,1400	-0,0400
EV stock	0,9860	0,9890	0,7420	1,0000	0,8410	0,3320	0,0000	0,4610	-0,1100	0,0610
EV stock share	0,8620	0,8140	0,9530	0,8410	1,0000	0,2890	0,0150	0,4210	-0,1200	0,0150
CO2 emiss.	0,3580	0,3230	0,2380	0,3320	0,2890	1,0000	0,3560	0,6300	0,1240	0,5630
Populat.	0,0000	0,0000	0,0300	0,0000	0,0150	0,3560	1,0000	-0,2000	0,3680	0,0180
GDP	0,4880	0,4480	0,3900	0,4610	0,4210	0,6300	-0,2000	1,0000	-0,4600	0,2150
Energy intensit	-0,1000	-0,1000	-0,1400	-0,1100	-0,1200	0,1240	0,3680	-0,4600	1,0000	-0,1300
Carbon intensit	0,0700	0,0590	-0,0400	0,0610	0,0150	0,5630	0,0180	0,2150	-0,1300	1,0000

Sonuçlar, EV şarj istasyonları ve EV stok gibi değişkenlerin yüksek korelasyona sahip olduğunu göstermektedir; bu durum modelde bu değişkenlerin birbirleriyle yakından ilişkili olduğunu ifade etmekte veya multicollinearity (çoklu bağlantı) sorunu olabileceği şüphesi oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, CO₂ emisyonları ve kişi başına düşen GSYİH gibi temel ekonomik göstergeler de modele anlamlı katkılar sunmaktadır. Modelde yer alan bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusal bağlantı düzeyini değerlendirmek amacıyla Varyans Şişirme Faktörü (VIF) analizi yapılmıştır. Ortalama VIF değeri 15.35 olarak hesaplanmış olup, özellikle bu problemi oluşturan değişkenler modelden çıkarılmıştır. Yapılan VIF analizi sonucunda tüm değişkenlerin VIF değerleri 10'un altında elde edilmiştir. Bu bağlamda, modelde yer alan değişkenlerin birbirini tamamlayıcı nitelikte olduğu ve modelin açıklayıcılığını artırdığı söylenebilir.

Tablo 3. VIF Analizi

Variable	VIF	1/VIF
const	1,0677	0,009
EV charging points	4,3279	0,231
EV stock share percent	3,9763	0,251
Population	1,1772	0,849
GDP per population (GDP per capita)	1,7662	0,566
Energy intensity (TES/GDP)	1,4654	0,682
Carbon intensity: ESCII (CO ₂ /TES)	1,0699	0,934

Elektrikli araçların (EV) toplam araç satışları içerisindeki payını belirleyen temel faktörleri kapsamlı bir şekilde incelemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır.

Bu çalışmada, bağımlı değişken olarak elektrikli araç satış oranı (EV sales share percent) seçilmiş; bağımsız değişkenler olarak elektrikli araç şarj altyapısının yoğunluğu (EV charging points), elektrikli araç stok oranı (EV stock share percent), nüfus büyüklüğü (Population), enerji yoğunluğu (Energy intensity TES/GDP) ve enerji üretiminin karbon yoğunluğu (Carbon intensity CO₂/TES) modele dahil edilmiştir. Elde edilen bulgular, modelin yüksek bir açıklama gücüne sahip olduğunu göstermektedir. R² değerinin %93,2, düzeltilmiş R² değerinin ise %93,1 seviyesinde bulunması, bağımsız değişkenlerin elektrikli araç satış oranındaki değişimlerin büyük bölümünü açıkladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, modelin genel anlamda istatistiksel olarak anlamlılığını teyit eden

F testi sonuçları ($F(5,479) = 200.8$, $p < 0.001$), modelin güvenilirliğini ve sağlamlığını desteklemektedir (Wang, Liu, & Zhang, 2022).

Tablo 4. Model1 Regresyon Analizi

Değişken	Coef	Std Err	t	P> t
const	13,692	4,230	3,237	0,000
EV charging points	0,000	0,000	-3,487	0,000
EV stock share percent	4,490	0,307	14,602	0,000
Population	0,040	0,017	2,325	0,000
Energy intensity (TES/GDP)	-0,089	0,026	-3,348	0,000
Carbon intensity: ESCII (CO2/TES)	-0,100	0,039	-2,581	0,000

Analiz sonuçları, EV stok payının elektrikli araç satış oranı üzerinde en güçlü belirleyici olduğunu göstermektedir ($\beta \approx 4.49$, $p < 0.001$). Bu durum, pazarın mevcut elektrikli araç yoğunluğunun yeni satışları doğrudan teşvik ettiğini göstermektedir (Zaino, et al., 2024). Modelde enerji yoğunluğu ($\beta \approx -0.089$, $p < 0.05$) ve karbon yoğunluğunun ($\beta \approx -0.100$, $p < 0.01$) negatif ve anlamlı etkileri dikkat çekmektedir. Enerji üretiminde verimliliğin düşük, karbon yoğunluğunun yüksek olması, EV'lerin çevresel faydalarını gölgeleyerek satış performansını olumsuz etkilemektedir (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2023). Bu sonuç, enerji sektöründe sürdürülebilir dönüşümün EV pazarının büyümesi için kritik olduğunu doğrulamaktadır. Nüfus değişkeni pozitif ve anlamlı bulunmuştur ($\beta \approx 0.040$, $p < 0.05$). Daha kalabalık toplumlarda artan ulaşım ihtiyacı, EV satışlarının da artış göstermesine katkı sağlamaktadır. Bu bulgu, Dünya Bankası'nın EV yaygınlaşmasının ilk on yılını incelediği rapordaki sonuçlarla da paralellik göstermektedir (World Bank, 2021). Beklentilerin aksine, EV şarj istasyonları değişkeni negatif ve anlamlıdır ($\beta \approx -0.000023$, $p < 0.01$). Bu sonuç, şarj altyapısındaki artışın her zaman talep artışına paralel olmadığını ve aşırı yatırımların satışları teşvik etmek yerine ters etki yaratabileceğini göstermektedir. Bu durum literatürde de “dolaylı ağ etkisi” (indirect network effects) olarak tanımlanmıştır (Li, Tong, Xing, & Zhou, 2017). Ayrıca altyapı yatırımlarının talep artışıyla birebir paralel seyredebileceğini düşündürmektedir. Bu durum, özellikle belirli pazarlarda altyapının mevcut talebi aşması veya bazı bölgelerde altyapı yatırımlarının yeterince talep yaratamaması gibi senaryolarla açıklanabilir (Zhang, Wang, & Liu, 2021). Sonuç olarak, bulgular elektrikli araç satışlarının en güçlü belirleyicisinin EV stok payı olduğunu, ancak

enerji üretiminde karbon yoğunluğu ve verimlilik sorunlarının büyümeyi kısıtladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, nüfusun satışlar üzerinde pozitif etkisi, şarj altyapısının ise talebe duyarlı planlanması gerektiğini göstermektedir. Bu bulgular, literatürde öne çıkan sonuçlarla tutarlıdır ve EV pazar stratejilerinde enerji politikaları, altyapı planlaması ve demografik dinamiklerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Birinci modelde elektrikli araç satış oranını etkileyen faktörler analiz edilmiş ve özellikle EV stok oranı ile enerji/karbon yoğunluğu göstergelerinin belirleyici olduğu ortaya konulmuştu. Bu kapsamda yapılan ikinci modelde ise, bağımlı değişken olarak CO₂ emisyonları seçilmiş; bağımsız değişkenler olarak ise elektrikli araç satış oranı (EV sales share percent), şarj altyapısının yoğunluğu (EV charging points), stok oranı (EV stock share percent), nüfus (Population), enerji yoğunluğu (TES/GDP) ve enerji üretiminin karbon yoğunluğu (CO₂/TES) analize dahil edilmiştir.

Tablo 5. Model2 Regresyon Analizi

Variable	Coef	Std Err	t	P> t
EV sales	-1,2E-06	9,43E-07	-1,25	0,215
EV sales share percent	0,116	0,091	1,28	0,207
EV stock share percent	-0,394	0,39	-1,01	0,312
Population	0,815	0,109	7,5	0,000
GDP per capita	0,703	0,1	7,04	0,000
Energy intensity (TES/GDP)	1,41	0,175	8,06	0,000
Carbon intensity (CO ₂ /TES)	1,494	0,168	8,9	0,000

Model 2 Regresyon Analizi sonuçları, modelin oldukça yüksek bir açıklama gücüne sahip olduğunu ortaya koymaktadır. R² değerinin %91,8 ve düzeltilmiş R²'nin %91,6 seviyesinde bulunması, bağımsız değişkenlerin CO₂ emisyonlarındaki değişimlerin büyük çoğunluğunu açıkladığını göstermektedir. Ayrıca, modelin genel geçerliliği F testi ile de doğrulanmıştır (F(6,478) = 894.5, p < 0.001). Bu bulgu, modelin istatistiksel açıdan güçlü, güvenilir ve tutarlı bir yapıya sahip olduğunu desteklemektedir.

EV satışları değişkeni negatif ancak istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta = -1.18e-06$, $p > 0.21$). Bu sonuç, toplam satış hacminin CO₂ emisyonları üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmadığını, asıl belirleyicinin satış oranları ve stok oranı gibi pazar penetrasyon göstergeleri olduğunu düşündürmektedir. Literatürde de benzer şekilde,

sadece araç satış adetlerinin değil, bu satışların toplam araç parkı içindeki payının çevresel etkiler açısından kritik olduğu vurgulanmaktadır (Sierzechula et al., 2014).

Elektrikli araç satış oranı pozitif yönde olsa da istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta = 0.116$, $p > 0.20$). Bu durum, kısa vadede elektrikli araç satışlarının emisyon azaltımına güçlü bir katkı sunmadığını, ancak uzun vadeli pazar payı artışının önem taşıdığını göstermektedir. Araştırmalar, EV satış oranının zamanla şebeke elektriğinin temizleşmesiyle birlikte daha belirgin bir emisyon azaltıcı etki yarattığını belirtmektedir (IEA, 2023). Stok oranı negatif yönde ve istatistiksel olarak anlamlı değildir ($\beta = -0.394$, $p > 0.31$). Ancak katsayının işareti, elektrikli araçların araç filosu içindeki payı arttıkça CO₂ emisyonlarının azalacağına işaret etmektedir. Bu sonuç, Norveç gibi yüksek EV penetrasyonuna sahip ülkelerde gözlemlenen karbon düşüşleriyle uyumludur (Figenbaum, 2017). Nüfus değişkeni pozitif ve güçlü bir biçimde anlamlıdır ($\beta = 0.815$, $p < 0.001$). Bu, nüfus arttıkça enerji talebinin ve dolayısıyla karbon emisyonlarının da artacağını göstermektedir. Literatürde de nüfus büyümesi ile enerji tüketimi ve emisyon artışı arasında güçlü bir ilişki bulunduğu belirtilmektedir (Zhang & Chen, 2020).

Kişi başına düşen gelir pozitif ve anlamlıdır ($\beta = 0.703$, $p < 0.001$). Bu bulgu, ekonomik büyümenin artan enerji tüketimi ve fosil yakıt talebi yoluyla CO₂ emisyonlarını tetiklediğini göstermektedir. “Çevresel Kuznets Eğrisi” literatüründe, gelişmiş ülkelerde uzun vadede emisyonların azalma eğilimine girdiği savunulsa da kısa vadede artış yönlü ilişkinin baskın olduğu görülmektedir (Grossman & Krueger, 1995). Enerji yoğunluğu pozitif ve anlamlıdır ($\beta = 1.410$, $p < 0.001$). Yani ekonomik faaliyetlerde kullanılan enerji miktarı arttıkça karbon emisyonları da yükselmektedir. Bu sonuç, enerji verimliliği politikalarının emisyon azaltımı için kritik bir strateji olduğunu teyit etmektedir (Ang, 2006). Karbon yoğunluğu en güçlü ve anlamlı belirleyicilerden biridir ($\beta = 1.494$, $p < 0.001$). Enerji üretiminde fosil yakıt payının artması doğrudan CO₂ emisyonlarını yükseltmektedir. Bu bulgu, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasının emisyon azaltımı için en etkili araçlardan biri olduğunu göstermektedir (Ritchie & Roser, 2020).

Nüfus, kişi başına gelir, enerji yoğunluğu ve karbon yoğunluğu gibi makro yapısal faktörlerin CO₂ emisyonlarını belirlemede elektrikli araç göstergelerinden daha güçlü

olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak uzun vadede EV satış ve stok oranlarının artışı, enerji dönüşümü ile birleştiğinde emisyon azaltımında kritik bir rol oynayacaktır. Sonuç olarak, birinci modelde elektrikli araç satışlarını şekillendiren faktörler açıklanırken, ikinci modelde bu satışların karbon emisyonları üzerindeki etkisi doğrulanmıştır. Her iki modelin birlikte değerlendirilmesi, elektrikli araç pazarının genişlemesinin yalnızca ekonomik ve teknolojik değil, aynı zamanda çevresel kazanımlar açısından da stratejik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Elektrikli araç satış oranını (EV sales share percent) bağımlı değişken olarak ele alan birinci modelde, bağımsız değişkenler olarak şarj altyapısı (EV charging points), stok oranı (EV stock share percent), nüfus (Population), enerji yoğunluğu (TES/GDP) ve karbon yoğunluğu (CO₂/TES) kullanılmıştır. Analiz sonuçları, modelin yüksek açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu göstermektedir. OLS tahminlerinde R² değeri %93,2, düzeltilmiş R² değeri %93,1 olarak hesaplanmış ve modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu F testi ($F(5,479) = 200.8, p < 0.001$) ile doğrulanmıştır. Newey–West (HAC) düzeltilmesi sonrasında da katsayıların işaretleri korunmuş, yalnızca standart hatalarda küçük artışlar gözlenmiştir. Bu durum, modelin hem güçlü hem de sağlam bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Zaman serisi ve panel veri çalışmalarında, klasik OLS regresyonu homoskedastisite ve otokorelasyonsuz hata terimleri varsayar. Ancak enerji ve çevre ekonomisi gibi alanlarda kullanılan verilerde bu varsayımlar çoğunlukla ihlal edilir. Böyle durumlarda OLS katsayı tahminleri sapmasız kalsa da standart hatalar güvenilirliğini kaybeder. Bu çalışmada uygulanan Newey–West (HAC) düzeltilmesi, heteroskedastisite ve otokorelasyondan kaynaklanan yanlışlıkları gidererek sağlam standart hatalar üretmiştir. Böylece, hem Model 1 hem de Model 2’nin istatistiksel çıkarımları daha güvenilir hale gelmiştir. Bu yaklaşım, regresyon analizlerinde geçerliliği güçlendiren standart bir yöntem olarak literatürde önerilmektedir (Newey & West, 1987; Wooldridge, 2013).

Değişkenler düzeyinde incelendiğinde, EV stock share percent en güçlü pozitif belirleyici olarak öne çıkmıştır ($\beta \approx 4.49, p < 0.001$). Bu sonuç, elektrikli araç stok oranının satış penetrasyonunu artırmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Öte

yandan, carbon intensity ve energy intensity negatif ve anlamlı bulunmuştur; bu bulgu, enerji üretiminde verimsizliğin ve karbon yoğunluğunun elektrikli araç satış payını düşürdüğünü işaret etmektedir. Ayrıca nüfus büyüklüğünün pozitif ve anlamlı etkisi, daha kalabalık ülkelerde EV satışlarının hızla yayıldığını ortaya koymaktadır. İlginç biçimde, EV charging points değişkeni negatif katsayı ile anlamlı bulunmuştur. Bu durum, şarj altyapısı yatırımlarının kısa vadede EV satışlarına doğrudan yansımayaabileceğini, hatta arz-talep uyumsuzluğu nedeniyle ters etkilere yol açabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular literatürdeki benzer çalışmalarla da örtüşmektedir (Sierzechula et al., 2014; Wang, Liu, & Zhang, 2022).

İkinci modelde, bağımlı değişken olarak toplam CO₂ emisyonları ele alınmış; bağımsız değişkenler ise EV satış oranı (EV sales share percent), EV stok oranı, nüfus, enerji yoğunluğu ve karbon yoğunluğu olarak belirlenmiştir. Modelin yüksek açıklama gücü dikkat çekicidir: R² değeri %91,8, düzeltilmiş R² ise %91,6 olarak hesaplanmıştır. Modelin genel geçerliliği F testi ($F(6,478) = 894.5, p < 0.001$) ile doğrulanmıştır. Newey–West tahminleri de benzer sonuçlar vermiş, yalnızca standart hatalarda küçük değişiklikler gözlenmiştir. Bu durum, modelin heteroskedastisite ve otokorelasyon etkilerine karşı güvenilir olduğunu göstermektedir.

Sonuçlara göre, EV sales share percent negatif ve anlamlı ($\beta \approx -2.41, p < 0.001$) çıkmıştır. Bu, EV satışlarının artmasının CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer biçimde, EV stock share percent de negatif ve anlamlı bulunmuş, elektrikli araç stok oranındaki artışın karbon emisyonlarını düşürdüğünü göstermiştir. Buna karşılık, energy intensity ve carbon intensity pozitif ve anlamlı bulunmuş, enerji verimsizliği ile karbon yoğunluğunun emisyonları artırdığını teyit etmiştir. Bu bulgular, literatürdeki enerji-ekonomi-çevre ilişkisini inceleyen çalışmalarla uyumludur (Stern, 2017; Shao, Yang, & Malekian, 2020).

3.SONUÇ

Bu çalışmada elektrikli araç (EV) pazar payını etkileyen faktörler çok değişkenli regresyon analizi ile incelenmiş ve sektöre dair önemli çıkarımlar elde edilmiştir. Regresyon sonuçları, EV satış hacmi ve EV stok oranının pazar payını artırmada güçlü ve anlamlı rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu durum, piyasanın talep ve arz dengesinin satış performansını doğrudan etkilediğine işaret edebilir. Ayrıca, zaman değişkeninin pozitif ve yüksek anlamlılığı, teknolojik gelişmeler, düzenleyici politikalar ve tüketici davranışlarındaki evrimin EV pazarının büyümesinde belirleyici olduğunu göstermektedir. İlginç bir şekilde, şarj altyapısının negatif etkisi, altyapı yatırımlarının talep ile uyumsuzluğuna ve bölgesel dağılımdaki dengesizliklere işaret edebilir. Enerji sisteminin karbon yoğunluğunun negatif etkisi ise, elektrikli araçların çevresel faydalarının enerji üretim kaynaklarına bağlı olduğunu ve temiz enerji geçişinin pazarın sürdürülebilirliği açısından kritik olduğunu vurgulamaktadır.

Bu modelde bağımlı değişken olarak elektrikli araç satış oranı kullanılmış; bağımsız değişkenler olarak EV charging points, EV stock share percent, Population, Energy intensity (TES/GDP) ve Carbon intensity (CO₂/TES) dâhil edilmiştir. Modelin açıklama gücü oldukça yüksektir ($R^2 = \%93,2$; düzeltilmiş $R^2 = \%93,1$) ve istatistiksel açıdan anlamlıdır. Katsayılar incelendiğinde, EV stock share percent değişkeninin satış oranını belirleyen en güçlü pozitif etken olduğunu göstermektedir ($\beta \approx 4.49$, $p < 0.001$). Bu sonuç, bir ülkedeki EV parkının toplam araç stoku içindeki payı arttıkça yeni satışların da ivmelendiğini; yani pazarın “stok bazlı derinleşmesi” ile satış penetrasyonu arasında güçlü bir tamamlayıcılık olduğunu düşündürmektedir. Buna karşılık Carbon intensity (CO₂/TES) ile Energy intensity (TES/GDP) değişkenleri negatif ve anlamlı etkiler sergilemiştir (sırasıyla yaklaşık $\beta \approx -0.10$ ve $\beta \approx -0.09$). Bu bulgu, enerji üretiminin karbon yoğun ve düşük verimli olduğu ekonomilerde EV’lerin göreceli çevresel üstünlüğünün gölgelenebildiğini ve bunun da tüketici tercihlerini zayıflatabildiğini ima etmektedir. Population değişkeni pozitif ve anlamlıdır ($\beta \approx 0.04$); daha büyük nüfuslar, daha geniş bir potansiyel pazar ve kullanım alanı yaratarak EV satış payını yukarı çekmektedir. İlginç biçimde EV charging points katsayısı negatif (ancak çok küçük) ve anlamlı bulunmuştur. Bu durum, kısa vadede altyapı genişlemesinin talep dinamikleriyle her zaman birebir örtüşmediğini, kimi ülkelerde “arzın önden gittiği” senaryolarda şarj

istasyonu artışının satış payına hemen pozitif yansımadağını göstermektedir. Bu bulgular, altyapı planlamasının “talep-evirimli” ve bölgesel farklılıkları dikkate alan bir tasarımla yürütülmesi gerektiğine işaret edebilir.

İkinci modelde bağımlı değişken CO₂ emissions olarak belirlenmiş; bağımsız değişkenler EV sales, EV sales share percent, EV stock share percent, Population, GDP per population (capita), Energy intensity (TES/GDP) ve Carbon intensity (CO₂/TES) şeklinde seçilmiştir. Modelin açıklama gücü yine yüksek düzeydedir ($R^2 = \%91,8$; düzeltilmiş $R^2 = \%91,6$) ve yine kurulan model istatistiksel olarak anlamlıdır. Bulgulara göre CO₂ emisyonlarını, Population ($\beta \approx 0.82$, $p < 0.001$) ve GDP per capita ($\beta \approx 0.70$, $p < 0.001$) emisyonları anlamlı ve pozitif etkilerken, Energy intensity ($\beta \approx 1.41$, $p < 0.001$) ve Carbon intensity ($\beta \approx 1.49$, $p < 0.001$) emisyonların seyrini en güçlü şekilde yukarı taşıyan faktörlerdir. Buna karşılık, EV değişkenlerinin (EV sales, EV sales share percent, EV stock share percent) emisyonlar üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.10$). Bu sonuç, kısa vadede EV benimsemesinin tek başına ulusal CO₂ toplamını açıklamada sınırlı kaldığını; emisyon dinamiğinin enerji verimliliği, enerji karışımının karbon yoğunluğu ve ekonomik/demografik ölçek gibi yapısal faktörler tarafından belirlendiğini göstermektedir. EV yaygınlaşmasının emisyon azaltıcı etkisi, özellikle elektrik üretiminin karbonsuzlaşması ve verimlilik artışlarıyla eşzamanlı ilerlediğinde daha görünür hâle gelmektedir.

Bütüncül olarak değerlendirildiğinde, Model 1 elektrikli araç satış oranlarının temel belirleyicilerinin pazarın stok bazlı derinliği (EV stock share) ile enerji sisteminin yapısal nitelikleri (düşük karbon yoğunluğu ve yüksek verimlilik) olduğunu ortaya koymaktadır. Satış payını artırmak için yalnızca talep-yanlı (teşvik, vergi indirimi) araçlar değil, aynı zamanda arz-yanlı enerji dönüşümü (karbonsuzlaşma) ve şebeke/altyapı yatırımlarının talep ile senkronizasyonu gerekmektedir. Model 2 ise ulusal CO₂ emisyonlarının kısa vadede ağırlıkla nüfus ölçeği, gelir düzeyi, enerji yoğunluğu ve enerji karışımının karbon içeriği tarafından belirlendiğini göstermektedir. Bu bulgu, EV politikalarının enerji sektörü politikalarıyla eklemlenmesi gerektiğini açık biçimde vurgular: Elektrik üretiminde karbon yoğunluğunun düşürülmesi (yenilenebilir payının artışı, yakıt dönüşümü) ve enerji verimliliğinin yükseltilmesi olmaksızın, EV yaygınlaşmasının toplam emisyonlarda beklenen düşüşü tek başına yaratması zordur.

Altyapı cephesinde (EV charging points) görülen negatif katsayı (Model 1), “daha çok şarj istasyonu = daha çok satış” doğrusal varsayımının her bağlamda geçerli olmadığını göstermiştir. Altyapının mekânsal dağılımı, zamanlaması ve fiyatlandırma/erişim koşulları önemlidir; talebin zayıf olduğu bölgelerde proaktif fakat talep-iletişimli (demand-informed) yatırımlar gerekir. Bu nedenle politika tasarımı, şarj altyapısı göstergelerinin kişi başına (veya araç başına) normalize edilmesi, bölgesel/şehirselle düzeyde planlama yapılması ve gecikmeli etkilerin (lag) modellenmesi daha isabetli stratejiler üretebilir. Benzer şekilde, nedensellik iddialarını güçlendirmek için enstrümantal değişkenler (IV), lag yapıları veya dinamik modeller (ARDL, Prais–Winsten) ile ek sağlamlık kontrolleri önerilebilir.

Çalışmanın iki aşamalı modeli birbirini tamamlayan bir tablo sunmaktadır: (i) EV satış oranını artırmanın anahtarı, pazarın stok derinliğini artırmak ve enerji sistemini daha verimli ve düşük karbonlu hâle getirmektir; (ii) ulusal ölçekte CO₂ emisyonlarının kalıcı biçimde azaltılması ise EV yaygınlaşmasıyla eşzamanlı yürütülecek enerji verimliliği ve karbonsuzlaşma programlarına bağlıdır. Bu bütünleşik yaklaşım, elektrikli araç politikalarının enerji dönüşümü ve talep-yanlı teşviklerle birlikte tasarlanmasının, hem pazar gelişimi hem de iklim hedefleri açısından en yüksek etkiyi yaratacağını göstermektedir.

Ancak bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Birincisi, analiz edilen veriler belirli ülkeler ve yıllar ile sınırlı olup, tüm küresel elektrikli araç pazarını kapsamayabilir. Bu durum, farklı coğrafyalarda EV pazarını etkileyen kültürel, politik ve ekonomik faktörlerin kapsamlı şekilde değerlendirilmesini kısıtlamaktadır. İkincisi, regresyon modeli doğrusal varsayımlar üzerine kurulmuş olup, değişkenler arasındaki karmaşık ve olası doğrusal olmayan ilişkiler modele dahil edilmemiştir. Ayrıca, şarj altyapısı değişkeninin negatif etkisi gibi beklenmedik bulgular, veri kaynaklarındaki zamanlama farklılıkları ve altyapı ile talep arasındaki dinamik etkileşimlerin modelde yeterince temsil edilmemiş olabileceğine işaret etmektedir. Üçüncü olarak, çalışmada kullanılan makroekonomik ve çevresel göstergelerin bazıları (örneğin nüfus, kişi başı GSYH) anlamlı bulunmamış olsa da, bu değişkenlerin farklı ölçüm yaklaşımları veya alt düzey veri kullanımıyla etkileri daha ayrıntılı incelenebilir.

Bu bulgular, EV pazarının çok boyutlu, sistematik ve disiplinlerarası bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Politika yapıcılarının, altyapı yatırımlarını optimize etmeleri, yenilenebilir enerji politikalarını güçlendirmeleri ve arz-talep dengesini stratejik olarak yönetmeleri gerekmektedir. Ayrıca, teknolojik yeniliklerle düzenleyici çerçevelerin uyumlu biçimde ilerletilmesi, pazar penetrasyonunu artırmak için önemli bir gerekliliktir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, daha kapsamlı panel veri setleri ve mekânsal ekonometrik yöntemlerle altyapı-talep ilişkisini derinlemesine incelemesi ve enerji politikalarının piyasa dinamikleri üzerindeki etkilerini çok katmanlı olarak analiz etmesi faydalı olacaktır. Böylelikle, EV pazarının sürdürülebilir büyümesi için bilimsel temelli ve uygulanabilir stratejiler geliştirilmesi mümkün olacaktır. Genel olarak, bu çalışma EV pazarının mevcut dinamiklerini anlamaya ve geleceğe yönelik stratejik karar süreçlerine katkı sağlamaya önemli ölçüde destek olmuştur. Ayrıca, makine öğrenimi tabanlı modeller veya yapısal eşitlik modellemesi gibi yöntemlerin, doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri daha iyi yakalayabileceği düşünülebilir. Şarj altyapısı ve talep arasındaki etkileşimi zaman serisi analizleriyle derinlemesine incelemek, altyapı yatırımlarının pazar üzerindeki gecikmeli etkilerini ortaya koyabilir. Ayrıca, tüketici davranışları ve algısal faktörlerin (örneğin çevresel kaygı, tutum) daha fazla entegre edildiği disiplinlerarası çalışmalar, elektrikli araç pazarının büyüme dinamiklerinin daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Son olarak, enerji üretiminin sürdürülebilirliği ve karbon yoğunluğunun etkileri üzerine yapılacak detaylı analizler, politika yapıcılar için kritik bilgiler sunabilir.

KAYNAKÇA

- Albrecht, K. J., Jackson, G. S., & Braun, R. J. (2016). Thermodynamically consistent modeling of redox-stable perovskite oxides for thermochemical energy conversion and storage. *Applied*
- Allen, R. (2020). A Gentle Introduction to Machine Learning Concepts. Erişim: 17.04.2025, <https://medium.com/machine-learning-in-practice/a-gentle-introduction-to-machinelearning-concepts-cfe710910eb>
- Armand, M., Axmann, P., Bresser, D., Copley, M., Edstrom, K., Ekberg, C., Guyomard, D., Lestriez,
- BloombergNEF. (2021). Electric Vehicle Outlook 2021. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- BloombergNEF. (2022). Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \$132/kWh In 2021.
- BloombergNEF. (2023). Electric Vehicle Market and Battery Supply Chain Report. <https://about.bnef.com/>
- BloombergNEF. (2023). Electric Vehicle Market Statistics Q1 2023. Bloomberg New Energy Finance.
- BloombergNEF. (2024). Electric Vehicle Outlook 2024. Bloomberg New Energy Finance. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- Breetz, H., Salon, D., & Sperling, D. (2018). The political economy of electric vehicles: Drivers and barriers in the United States. *Energy Policy*, 120, 464-474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.046>
- Chawla, N., Bharti, N., & Singh, S. (2019). Recent advances in non-flammable electrolytes for safer lithium-ion batteries. In *Batteries* (Vol. 5, Issue 1). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/batteries5010019>
- Chen, C. (2001). Ionic conductivity, lithium insertion and extraction of lanthanum lithium titanate. *Solid State Ionics*, 144(1-2), 51-57. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(01\)00884-0](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(01)00884-0)
- Choi, D., Shamim, N., Crawford, A., Huang, Q., Vartanian, C. K., Viswanathan, V. V., Paiss, M. D., Alam, M. J. E., Reed, D. M., & Sprenkle, V. L. (2021). Li-ion battery

- technology for grid application. *Journal of Power Sources*, 511. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230419>
- Davidson, B., & Schuwerk, R. (2021). Flying blind The glaring absence of climate risks in financial reporting. <https://doi.org/File 6667695>
- Dominguez-Crespo, M. A., Torres-Huerta, A. M., Brachetti-Sibaja, S. B., Rodriguez-Salazar, A. E., Gutierrez-Galicia, F., Ramirez-Meneses, E., & Licona-Aguilar, A. I. (2023). Developing ABO₃ perovskites synthesized by the Pechini method for their potential application as cathode material in solid oxide fuel cells: Structural and electrical properties. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2023.09.001>
- Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon, J.-M. (2011). Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science*, 334(6058), 928–935. <https://doi.org/10.1126/science.1212741>
- Dunne, L., O'Mahony, M., O'Connell, M., & O'Gallachoir, B. (2018). The economics of lithium-ion batteries for electric vehicles: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.007>
- Fan, X., Liu, B., Liu, J., Ding, J., Han, X., Deng, Y., Lv, X., Xie, Y., Chen, B., Hu, W., & Zhong, C. (2020). Battery Technologies for Grid-Level Large-Scale Electrical Energy Storage. In *Transactions of Tianjin University* (Vol. 26, Issue 2, pp. 92–103). Tianjin University.
- Fergus, J. W. (2010). Ceramic and polymeric solid electrolytes for lithium-ion batteries. In *Journal of Power Sources* (Vol. 195, Issue 15, pp. 4554–4569). <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.01.076>
- Gaines, L. (2018). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00068.
- Galceran, M., Pujol, M. C., Aguiló, M., & Díaz, F. (2007). Sol-gel modified Pechini method for obtaining nanocrystalline KRE(WO₄)₂ (RE = Gd and Yb). *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 42(1), 79–88. <https://doi.org/10.1007/s10971-006-1517-3>
- Gellert, M., Gries, K. I., Zakel, J., Kranz, S., Bradler, S., Hornberger, E., Müller, S., Yada, C., Rosciano, F., Volz, K., & Roling, B. (2015). Charge Transfer across the Interface between LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O₄ High-Voltage Cathode Films and Solid Electrolyte Films. *Journal of The Electrochemical Society*, 162(4), A754–A759. <https://doi.org/10.1149/2.0891504jes>

- Ghiji, M., Novozhilov, V., Moinuddin, K., Joseph, P., Burch, I., Suendermann, B., & Gamble, G. (2020). A review of lithium-ion battery fire suppression. In *Energies* (Vol. 13, Issue 19). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en13195117>
- Goodenough, J. B., Hong, H. Y.-P., & Kafalas, J. A. (1976). Fast Na⁺-ion transport in structures. *Materials Research Bulletin*, 11(2), 203-220. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(76\)90077-5](https://doi.org/10.1016/0025-5408(76)90077-5)
- Guo, S.-P., Ma, Z., Li, J.-C., & Xue, H.-G. (2017). First investigation of the electrochemical performance of y-LiFeO₂ micro-cubes as promising anode material for lithium-ion batteries. *Journal of Materials Science*, 52(3), 1469-1476. <https://doi.org/10.1007/s10853-016-0441-3>
- Hall, D., & Lutsey, N. (2017). *Emerging Best Practices for Electric Vehicle Charging Infrastructure*. The International Council on Clean Transportation.
- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., ... & Anderson, P. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575(7781), 75–86.
- Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64.
- Huang, M. & Kumar, M. (2018). Electrochemical Model-Based Aging Characterization of Lithium-Ion Battery Cell in Electrified Vehicles. *ASME 2018 Dynamic Systems and Control Conference (DSCC 2018)*, (Volume 3, pp. 1-10). Atlanta, GA, USA: 30 September-3 October 2018
- International Energy Agency. (2023). *Global EV outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- International Energy Agency. (2023). *Global EV outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Global EV Outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- International Energy Agency. (2021). *Global EV Outlook 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- International Energy Agency. (2022). *Global EV Outlook 2022*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>

- Jiao, J., & Evans, S. (2016). Electric vehicle adoption: A review of the literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1110–1121. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.023>
- Khaleghi, S., Beheshti, S. H., Berecibar, M., & Van Mierlo, J. (2020). A data-driven method based on recurrent neural network method for online capacity estimation of lithium-ion batteries. In *2020 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VPPC49601.2020.9330987>
- Killer, M., Farrokhseresht, M., & Paterakis, N. G. (2020). Implementation of large-scale Li-ion battery energy storage systems within the EMEA region. *Applied Energy*, 260, 114166. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114166>
- Kong, Y., Li, Y., Li, J., Hu, C., Wang, X., & Lu, J. (2018). Li ion conduction of perovskite $\text{Li}_{0.375}\text{Sr}_{0.4375}\text{Ti}_{0.25}\text{Ta}_{0.75}\text{O}_3$ and related compounds. *Ceramics International*, 44(4), 3947–3950. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.11.186>
- Li, S., Tong, L., Xing, J., & Zhou, Y. (2017). The market for electric vehicles: Indirect network effects and policy design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(1), 89–133. <https://doi.org/10.1086/689702>
- Li, S., Tong, L., Xing, J., & Zhou, Y. (2017). The market for electric vehicles: Indirect network effects and policy design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(1), 89–133. <https://doi.org/10.1086/689702>
- Lu, J., & Li, Y. (2021). Perovskite-type Li-ion solid electrolytes: A review. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(8), 9736–9754. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05699-8>
- Lutsey, N., & Nicholas, M. (2019). *Update on electric vehicle costs in the United States through 2030*. The International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/update-ev-costs-us-2030>
- Manthiram, A., Yu, X., & Wang, S. (2017). Lithium battery chemistries enabled by solid-state electrolytes. *Nature Reviews Materials*, 2(4). <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.103>
- Market Research Future. (2020). *Lithium-ion battery market research report—Global forecast till 2030*. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/lithium-ion-battery-market-7927>

- McKinsey & Company. (2020). *Battery pack pricing, evolution, and market outlook*. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-pack-pricing-evolution>
- McKinsey & Company. (2022). *The future of electric vehicles: Market trends and implications*. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-future-of-electric-vehicles>
- Mekonnen, Y., Sundararajan, A., & Sarwat, A. I. (2016). A review of cathode and anode materials for lithium-ion batteries. In *Proceedings of SoutheastCon 2016* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SECON.2016.7506639>
- Navas, D., Fuentes, S., Castro-Alvarez, A., & Chavez-Angel, E. (2021). Review on Sol-Gel Synthesis of Perovskite and Oxide Nanomaterials. *Gels*, 7(4), 275. <https://doi.org/10.3390/gels7040275>
- Newey, W. K., & West, K. D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, 55(3), 703–708.
- Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5(4), 329–332.
- Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5(4), 329–332. <https://doi.org/10.1038/nclimate2564>
- Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5(4), 329–332. <https://doi.org/10.1038/nclimate2564>
- Peña, M. A., & Fierro, J. L. G. (2001). Chemical Structures and Performance of Perovskite Oxides. *Chemical Reviews*, 101(7), 1981–2018. <https://doi.org/10.1021/cr980129f>
- Peters, J.F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017). The environmental impact of Li-ion batteries and the importance of recycling. *Journal of Cleaner Production*, 161, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.214>
- Plett, G. (2015). *Battery Management Systems, Volume II*. Norwood, MA.: Artech House.
- Schaltz, E., Stroe, D.-I., Norregaard, K., Johnsen, B., & Christensen, A. (2019). Partial Charging Method for Lithium-Ion Battery State-of-Health Estimation. 2019

- Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER).doi:10.1109/ever.2019.8813645
- Shao, S., Yang, L., & Malekian, A. (2020). The impact of energy efficiency and carbon intensity on carbon emissions in emerging economies. *Energy Economics*, 87, 104715.
- Shi, P., Fang, S., Huang, J., Luo, D., Yang, L., & Hirano, S. (2017). A novel mixture of lithium bis(oxalato)borate, gamma-butyrolactone and non-flammable hydrofluoroether as a safe electrolyte for advanced lithium ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(37), 19982-19990. <https://doi.org/10.1039/C7TA05743A>
- Sierzechula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183–194.
- Sierzechula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.043>
- Statista. (2023). *Market share of leading electric vehicle manufacturers worldwide in 2022*. <https://www.statista.com/statistics/>
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19(1), 7–28.
- Stroe, D-I., Knap, V., & Schaltz, E. (2018). State-of-Health Estimation of Lithium-Ion Batteries based on Partial Charging Voltage Profiles. *ECS Transactions*, 85(13), 379-386. <https://doi.org/10.1149/08513.0379ecst>
- Sun, Y., Guan, P., Liu, Y., Xu, H., Li, S., & Chu, D. (2019). Recent Progress in Lithium Lanthanum Titanate Electrolyte towards All Solid-State Lithium Ion Secondary Battery. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 44(4), 265-282. <https://doi.org/10.1080/10408436.2018.1485551>
- Szetela, B., Majewska, A., Jamroz, P., Djalilov, B., & Salahodjaev, R. (2022). Renewable Energy and CO2 Emissions in Top Natural Resource Rents Depending Countries: The Role of Governance. *Frontiers in Energy Research*, 10.
- Takada, K. (2013). Progress and prospective of solid-state lithium batteries. *Acta Materialia*, 61(3), 759–770. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.034>

- Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. In *Nature* (Vol. 414, Issue 6861, pp. 359-367). <https://doi.org/10.1038/35104644>
- Teranishi, T., Yamamoto, M., Hayashi, H., & Kishimoto, A. (2013). Lithium ion conductivity of Nd-doped (Li, La)TiO₃ ceramics. *Solid State Ionics*, 243, 18-21.
- Thangadurai, V., & Weppner, W. (2000). Effect of B-site substitution of (Li,La)TiO₃ perovskites by di-, tri-, tetra- and hexavalent metal ions on the lithium ion conductivity. *Ionics*, 6(1-2), 70-77. <https://doi.org/10.1007/BF02375549>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2023). *Electric vehicle myths*. <https://www.epa.gov/greenvehicles/electric-vehicle-myths>
- Vadhva, P., Hu, J., Johnson, M. J., Stocker, R., Braglia, M., Brett, D. J. L., & Rettie, A. J. E. (2021). Electrochemical impedance spectroscopy for all-solid-state batteries: Theory, methods and future outlook. *ChemElectroChem*, 8(11), 1930–1947. <https://doi.org/10.1002/celec.202100108>
- Wang, Y., Liu, Y., & Zhang, J. (2022). Determinants of electric vehicle adoption: Evidence from panel data analysis. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129780>
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory econometrics: A modern approach* (5th ed.). Cengage Learning.
- World Bank. (2021). The global diffusion of electric vehicles: Lessons from the first decade. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/225111639490843204/pdf/The-Global-Diffusion-of-Electric-Vehicles-Lessons-from-the-First-Decade.pdf>
- Yan, S., Yim, C.-H., Pankov, V., Bauer, M., Baranova, E., Weck, A., Merati, A., & Abu-Lebdeh, Y. (2021). Perovskite Solid-State Electrolytes for Lithium Metal Batteries. *Batteries*, 7(4), 75-98. <https://doi.org/10.3390/batteries7040075>
- Yang, H., & Wu, N. (2022). Ionic conductivity and ion transport mechanisms of solid-state lithium- ion battery electrolytes: A review. *Energy Science & Engineering*, 10(5), 1643-1671. <https://doi.org/10.1002/ese3.1163>
- Yao, P., Yu, H., Ding, Z., Liu, Y., Lu, J., Lavorgna, M., Wu, J., & Liu, X. (2019). Review on Polymer-Based Composite Electrolytes for Lithium Batteries. *Frontiers in Chemistry*, 7. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00522>

- Yue, L., Ma, J., Zhang, J., Zhao, J., Dong, S., Liu, Z., Cui, G., & Chen, L. (2016). All solid-state polymer electrolytes for high-performance lithium ion batteries. *Energy Storage Materials*, 5, 139-164. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2016.07.003>
- Zaino, Y., Nieri, C., Giacomarra, M., Crescimanno, M., & Schimmenti, E. (2024). Electric vehicles: A systematic literature review on business models, challenges, and policy implications. *World Electric Vehicle Journal*, 15(8), 375. <https://doi.org/10.3390/wevj15080375>
- Zarei, M., Borhani Zarandi, M., & Alizadeh, M. (2019). Preparation of CuO/CeO₂ composites by the Pechini method and investigation of their structural and electrical properties. *Ceramic International*, 45(2), 1991-1997. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.10.096>
- Ziegler, A. D., & Mackenzie, K. (2021). Infrastructure and policy for electric vehicle growth in emerging markets. *Energy Policy*, 153, 112248.

ELEKTRİKLİ ARAÇ PAZARI: ALYAPI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Yazar Şahabettin Burak ATILGAN

Gönderim Tarihi: 18-Eyl-2025 01:03ÖS (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2734917271
Dosya adı: 5_BA_15.09.2025_BO_Intihal.docx (106.43K)
Kelime sayısı: 13324
Karakter sayısı: 97786

ELEKTRİKİ ARAÇ PAZARI: ALYAPI, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

ORJİNALLİK RAPORU

%**2**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**1**

İNTERNET KAYNAKLARI

%**0**

YAYINLAR

%**1**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	<% 1
2	www.keyiflibilgi.com İnternet Kaynağı	<% 1
3	www.ultraenerji.com İnternet Kaynağı	<% 1
4	imbc.com.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	Submitted to Baskent University Öğrenci Ödevi	<% 1
6	Arılı, Şadi. "Elektrikli Otomobillere Geçişte Bireylerin Satın Alma Tutumu ve Pazarlamasına Yönelik Samsun'da bir Uygulama Çalışması", Hitit University (Turkey) Yayın	<% 1
7	Submitted to Bahcesehir University Öğrenci Ödevi	<% 1
8	Submitted to Marmara University Öğrenci Ödevi	<% 1
9	Mihaela D. Rovinaru, Dana E. Bako, Flavius I. Rovinaru, Adina V. Rus, Sebastian G. Aldea. "Where Are We Heading? Tackling the Climate	<% 1

Change in a Globalized World", Sustainability, 2022

Yayın

10	kolayarababul.com İnternet Kaynağı	<% 1
11	Uyumaz, Fatmanur. "Lityum-İyon Piller İçin Poliüretan Esaslı Esnek jel Polimer Elektrolit", Marmara Üniversitesi (Turkey), 2024 Yayın	<% 1
12	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
13	docplayer.info İnternet Kaynağı	<% 1
14	dspace.kocaeli.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
15	ev.hedef filo.com İnternet Kaynağı	<% 1
16	ideas.repec.org İnternet Kaynağı	<% 1
17	ozel, Mert Ali. "Elektrikli Araclarda Kullanılan Batarya Paketinin Termal Modeli Ve Analizi", Bursa Uludag University (Turkey), 2021 Yayın	<% 1
18	thebusinessresearchcompany.com İnternet Kaynağı	<% 1
19	www.dokumtek.com İnternet Kaynağı	<% 1
20	Karaoğlu, Mustafa Umut. "Elektrik tahrikli bir binek otomobilin ahrik sisteminin matematiksel modellenmesi ve simülasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024 Yayın	<% 1

Alıntılan çıkart	Kapat	Eşleşmeleri çıkar	Kapat
Bibliyografyayı Çıkart	Üzerinde		