

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE ŞARJ İSTASYONLARININ
DAĞITIM ŞEBEKELERİNE ETKİLERİ

Umut YILMAZ

Danışman: Prof. Dr. Naim Süleyman TİNÇ

TEZ JÜRİ ÜYELERİ

Prof. Dr. Naim Süleyman TİNÇ

Doç. Dr. Yakup ŞAHİN

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı ALTINTAŞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZİNCAN, 2024

© 2024 [Umut YILMAZ]. Tüm hakları saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. Naim Süleyman TİNĖ danışmanlığında, Umut YILMAZ tarafından hazırlanan bu çalışma 27/09/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Yakup ŞAHİN İmza:

Üye : Prof. Dr. Naim Süleyman TİNĖ İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Çağrı ALTINTAŞI İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun / / 20.... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR
Enstitü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekelerine Etkileri” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 27/09/2024

(İmza)

Umut YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	4
3. KURAMSAL TEMELLER.....	15
3.1. Elektrikli Araçlar ve Yaygınlaşma Süreçleri.....	15
3.1.1. Bataryalı elektrikli araçlar	16
3.1.2. Plug-in hibrit elektrikli araçlar	16
3.1.3. Hibrit elektrikli araçlar	17
3.1.4. Yakıt hücreli elektrikli araçlar	18
3.2. Elektrikli Araç Batarya Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyonları	20
3.2.1. Batarya değiştirme yöntemi.....	20
3.2.2. Kablosuz şarj yöntemi	21
3.2.3. Kablolu şarj yöntemi	21
3.2.4. Batarya şarj ve soket tipleri	23
3.2.5. Elektrikli araç şarj istasyonu alt yapısı	27
3.2.6. Mevzuat ve standartlarda elektrikli araç şarj istasyonları	31
4. YÖNTEM.....	32
4.1. Kentsel Bölgede EAŞİ'lerin Dağıtım Şebekesine Etkisi.....	34
4.1.1. 22 kW EAŞİ'lerin etkisi	37
4.1.2. 120 kW EAŞİ'lerin etkisi	42
4.2. Kırsal Bölgede EAŞİ'lerin Dağıtım Şebekesine Etkisi	44
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	48
KAYNAKÇA	51
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKELERİNE ETKİLERİ

Umut YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Naim Süleyman TİNÇ

2024, 56 Sayfa

Elektrikli araçlar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma, karbon emisyonlarını düşürme ve çevresel sürdürülebilirliği artırma açısından büyük potansiyele sahip olsalar da, şarj istasyonlarının yoğun kullanımı enerji dağıtım şebekelerinde yeni sorunlar ortaya çıkarabilir. Özellikle büyük şehirlerdeki kentsel bölgelerde, şarj talebinin artması şebeke kapasitesi üzerinde baskı yaratmakta ve bu baskı, kırsal bölgelerden farklı dinamikler göstermektedir. Bu bağlamda, Ankara'nın kentsel bölgesi olan Çankaya ve kırsal bölgesi olan Nallıhan'da gerçekleştirilen farklı senaryolardaki analizlerle, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekeleri üzerindeki etkileri bölgesel bazda değerlendirilmiştir.

Çalışmada, PSS/E programı kullanılarak yapılan simülasyonlar aracılığıyla kentsel ve kırsal bölgelerdeki şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki yüklenme, gerilim düşüşü, hat yüklenmeleri ve transformatörlerin kapasite yetersizliği gibi etkileri değerlendirilmiştir. Farklı şarj senaryoları kapsamında, yavaş ve hızlı şarj istasyonlarının şebekeye olan etkileri karşılaştırılmış ve hızlı şarj istasyonlarının özellikle gerilim dengesizliği ve şebekeye aşırı yüklenme gibi sorunlara yol açtığı tespit edilmiştir. Özellikle hızlı şarj istasyonlarının yoğun kullanıldığı senaryolarda, şebeke üzerindeki ani yüklenmeler ve gerilim dengesizliklerinin ortaya çıkabileceği gösterilmiştir. Şarj istasyonlarının yerleşimi, kapasite planlaması ve şebeke üzerindeki etkileri optimize edilmezse, dağıtım şebekelerinde ciddi sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin, şarj altyapısına entegrasyonunun önemi de vurgulanmıştır. Bu entegrasyonun, enerji verimliliğini artırarak çevresel sürdürülebilirliğe büyük katkı sağlayacağı belirtilmiştir. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu, şebeke üzerindeki yükün dengelenmesi ve yenilenebilir

enerji kaynaklarının entegrasyonu açısından büyük bir fırsat olarak sunulmaktadır. Yapay zekâ teknolojilerinin, şarj altyapısının gerçek zamanlı izlenmesi ve yönetiminde sağlayacağı katkılar da bu tezde vurgulanmıştır. Yapay zekâ, enerji talebi ve arzı yöneterek şebeke kararlılığını sağlamada önemli bir rol oynayabilir. Sonuç olarak, elektrikli araçların dağıtım şebekelerine entegrasyonu dikkatli bir planlama ve yönetim gerektiren karmaşık bir süreçtir ve bu çalışmanın bulguları gelecekteki dağıtım şebekelerinin sürdürülebilirliği açısından kritik çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, şarj yöntemleri, şarj istasyonu, dağıtım şebekesi, dağıtım transformatörü.

ABSTRACT

CHARGING METHODS OF ELECTRIC VEHICLES AND THE EFFECTS OF CHARGING STATIONS ON DISTRIBUTION NETWORKS

Umut YILMAZ

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology, Department of Electrical Electronics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Naim Süleyman TING

2024, 56 Pages

Although electric vehicles have great potential to reduce dependency on fossil fuels, reduce carbon emissions and increase environmental sustainability, the intensive use of charging stations may create new problems in energy distribution networks. Especially in urban areas in big cities, increasing charging demand creates pressure on grid capacity and this pressure shows different dynamics than in rural areas. In this context, the effects of electric vehicle charging stations on distribution networks were evaluated regionally with different scenario analyses conducted in Çankaya, an urban area of Ankara, and Nallıhan, a rural area. In the study, the effects of charging stations in urban and rural areas such as grid loading, voltage drop, line loading and transformer capacity insufficiency were evaluated through simulations using the PSS/E program. The effects of slow and fast charging stations on the grid were compared within the scope of different charging scenarios and it was determined that fast charging stations caused problems such as voltage imbalance and overloading the grid. It was shown that sudden loads and voltage imbalances on the grid could occur especially in scenarios where fast charging stations are used intensively. If the location of charging stations, capacity planning and their impact on the grid are not optimized, serious problems may arise in distribution networks. The study also emphasizes the importance of integrating renewable energy sources, especially solar and wind energy, into the charging infrastructure. It is stated that this integration will greatly contribute to environmental sustainability by increasing energy efficiency. In addition, the integration of energy storage systems is presented as a great opportunity in terms of balancing the load on the grid and integrating renewable energy sources. The contributions of artificial intelligence technologies to real-time monitoring and management of the charging

infrastructure are also emphasized in this thesis. Artificial intelligence can play an important role in ensuring grid stability by managing energy demand and supply. As a result, the integration of electric vehicles into distribution networks is a complex process that requires careful planning and management, and the findings of this study offer critical implications for the sustainability of future distribution networks.

Keywords: Electric vehicle, charging methods, charging station, distribution network, distribution transformer.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın tamamlanma surecinde, değerli bilgi ve deneyimlerini paylaőarak bana daima destek olan tez danıőmanım ve kıymetli hocam Sn. Prof. Dr. Naim Suleyman TING'a en içten teőekkürlerimi sunarım. Rehberliği ve sunduğu yol gostericilik için kendisine derin bir minnet duymaktayım.

Bu tezdaki analizlerimde bana yardımcı olan Sayın Abdulsamet HALICI ve Soykan NOHUT'a ve sektördeki deneyimi ve bilgi birikimi ile hep yolumu aydınlatan Sayın Onur ALTUNBARAN ve Orhan BAYHAN'a teőekkürü borç bilirim.

En büyük teőekkürü; hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan, her zaman desteklerini hissettiğim, benim mutluluğumla mutlu olan ve onların mutluluğuyla da benim mutlu olduğum canım aileme; eőim Bilgecan YILMAZ'a, kardeőlerim Ufuk YILMAZ ve Alican YILMAZ'a, annem Meryem YILMAZ'a ve babam Ali YILMAZ'a ederim.

Umut YILMAZ

Eylül, 2024

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Elektrikli araç iç dizaynı	15
Şekil 3.2. 2024E: 2024 yılı ilk çeyreğine kadar dünya genelindeki EA sayıları.....	19
Şekil 3.3. Türkiye genelindeki toplam elektrikli araç sayıları.....	19
Şekil 3.4. Elektrikli araç ekosistemi	22
Şekil 3.5. Elektrikli araç şarj süreçleri için IEC standartları	24
Şekil 3.6. SAE J1772 ile uyumlu CCS1 şarj soketi.....	25
Şekil 3.7. CCS Combo 2 şarj soketi	25
Şekil 3.8. CHAdeMO, GB/T ve ChaoJi şarj soketleri.....	26
Şekil 3.9. Elektrikli araç iç tasarımı	27
Şekil 3.10. EA şarj alt yapısının şematik diyagramı	28
Şekil 3.11. Dünyadaki EAŞİ sayısı	29
Şekil 3.12. Türkiye haritası üzerinde soket sayıları.....	29
Şekil 3.13. Şarj soketlerinin illere göre dağılım grafiği ve en yüksek soket sayısına sahip ilçerin grafiği	30
Şekil 3.14. Şarj soketlerinin çıkış güç değerleri ve oranlarının grafikleri.....	30
Şekil 4.1. Çankaya ilçesindeki (kentsel bölge) transformatör yükleri.....	32
Şekil 4.2. Nallıhan ilçesindeki (kırsal bölge) transformatör yükleri	33
Şekil 4.3. Kentsel bölgedeki transformatörlerin bağlantı modellemesi.....	34
Şekil 4.4. Kentsel bölgenin CBS görüntüsü	35
Şekil 4.5. PSS/E programı dağıtım hattı tanımlama sayfası.....	36
Şekil 4.6. PSS/E programı transformatör tanımlama sayfası	36
Şekil 4.7. PSS/E programı bara tanımlama sayfası	36
Şekil 4.8. PSS/E programı yük tanımlama sayfası	37
Şekil 4.9. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde EAŞİ yüksüz model.....	38
Şekil 4.10. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde 3 adet 22 kW EAŞİ yüklü model.....	38
Şekil 4.11. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde 5 adet 22 kW EAŞİ yüklü model	39
Şekil 4.12. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde 20 adet 22 kW EAŞİ yüklü model	39

Şekil 4.13. Kentsel bölgede 22 kW EAŞİ'nin bağlandığı TAB854 kodlu transformatör	40
Şekil 4.14. Kentsel bölgede 22 kW EAŞİ'nin bağlandığı TAB842 kodlu transformatör	41
Şekil 4.15. Kentsel bölgedeki dağıtım tranformatörlerinin EAŞİ bağlantısız ve üç farklı senaryoda 22 kW EAŞİ bağlantılı güç grafikleri.....	42
Şekil 4.16. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde 3 adet 120 kW EAŞİ yüklü model	43
Şekil 4.17. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde 5 adet 22 kW EAŞİ yüklü model	43
Şekil 4.18. Kentsel bölgedeki dağıtım tranformatörlerinin EAŞİ bağlantısız ve iki farklı senaryoda 120 kW EAŞİ bağlantılı güç grafikleri.....	44
Şekil 4.19. Kırsal bölgenin transformatörlerin bağlantı modellenmesi.....	45
Şekil 4.20. Kırsal bölgenin CBS görüntüsü.....	45
Şekil 4.21. Kırsal bölge Sinekçek DM çıkışı transformatörlerde 1 adet 22 kW EAŞİ yüklü model	46
Şekil 4.22. Kırsal bölge Sinekçek DM çıkışı transformatörlerde 3 adet 22 kW EAŞİ yüklü model	47
Şekil 4.23. Kırsal bölgede 22 kW EAŞİ bağlantılarından önce ve sonraki değeri.....	47

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Elektrikli araç temel birleşenleri	18
Tablo 3.2. Elektrikli araç projeksiyonu	20
Tablo 3.3. Şarj istasyonlarının tipleri ve standartları.....	23
Tablo 3.4. Tiplerine göre şarj istasyonlarının kuruldukları yerler.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternating current (Alternatif akım)
AG	Alçak gerilim
BEV	Battery electric vehicle (Bataryalı elektrikli araç)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CHAdEMO	CHArge de Move
DC	Direct current (Doğru akım)
DM	Dağıtım merkezi
EA	Elektrikli araç
EAŞİ	Elektrikli araç şarj istasyonu
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
FCEV	Fuel cell electric vehicles (Yakıt hücreli elektrikli araçlar)
HEV	Hybrid electric vehicles (Hibrit elektrikli araçlar)
IEC	International Electrotechnic Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
kV	Kilovolt
kVA	Kilovolt Amper
kW	Kilowatt
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicles (Plug-in hibrit elektrikli araç)
SAE	Society of Automotive Engineering (Otomotiv Mühendisleri Derneği)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
V2G	Vehicle to grid (Araçtan şebeye)

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrikli araç (EA), sürdürülebilir ulaşım çözümleri ve enerji verimliliği konularında küresel bir öncelik haline gelmiştir. Karbon gazı emisyonlarını azaltma ve fosil yakıtlara bağımlılığı en aza indirme hedefleri doğrultusunda, birçok ülke EA teknolojilerine önemli yatırımlar yapmaktadır. EA'ların sıfır emisyonlu ulaşım aracı olmaları, hem çevresel hem de ekonomik açıdan pek çok avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, EA'ların yaygınlaşması ile birlikte enerji talebi ve şebeke yönetimi konularında da yeni zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu zorlukların başında, EA'ların şarj edilmesi sırasında ortaya çıkan enerji yükünün dağıtım şebekesi üzerinde yarattığı baskı gelmektedir. EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonu dikkatli bir planlama ve yönetim gerektiren karmaşık bir süreçtir.

EA'ların yaygınlaşmasının dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerini anlamak, gelecekteki enerji politikalarının ve şehir planlamasının doğru bir şekilde yapılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Şarj altyapısının uygun bir şekilde kurulması, şebekenin bu yeni talebi karşılayabilecek kapasitede olması ve yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonun sağlanması, bu sürecin en önemli adımları arasında yer alır. EA'ların şarj edilmesi sırasında ortaya çıkan yük, dağıtım şebekesinde ani gerilim düşüşlerine, hatlarda aşırı yüklenmelere ve hatta sistem dengesizliklerine neden olabilir. Özellikle kentsel bölgelerde şarj talebinin yoğun olduğu dönemlerde bu etkiler daha belirgin hale gelmektedir.

EA'ların enerji talebindeki etkilerini en iyi şekilde anlamak için, farklı senaryolar altında şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Şarj istasyonlarının yerleşimi, şarj gücü ve süreleri gibi faktörler, enerji dağıtım şebekeleri üzerinde önemli etkiler yaratır. Özellikle hızlı şarj istasyonlarının kullanımı, dağıtım şebekesi üzerinde ani yüklenmelere neden olabilir ve bu da enerji arz-talep dengesini bozabilir. Diğer yandan, yavaş şarj istasyonları dağıtım şebekeleri üzerindeki yükü daha dengeli bir şekilde yayabilir. Bu bağlamda, EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonunun optimize edilmesi, şarj altyapısının uygun bir şekilde planlanması ile doğrudan ilişkilidir.

Bu tez çalışmanın amacı, EA şarj yöntemlerini ve şarj istasyonlarının enerji dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerini analiz etmektir. Bu bağlamda, Ankara'nın Çankaya ve Nallıhan ilçelerinde bulunan transformatörler örnek olarak ele alınmış ve farklı senaryolar altında şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki yüklenme, gerilim düşümü ve enerji talebi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle kentsel ve kırsal bölgelerdeki farklı şarj taleplerinin şebeke üzerindeki

etkilerini anlamak, dağıtım şebekelerinin gelecekteki planlamasında büyük önem taşımaktadır. Kentsel bölgelerde şarj talebi daha yoğun olurken kırsal bölgelerde bu talep daha az olabilir. Ancak her iki senaryoda da şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki etkileri dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir.

Tez çalışmasında kullanılan PSS/E programı ile yapılan simülasyon modelleri EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonunun farklı boyutlarını incelemektedir. Bu modelleme çalışmaları şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerindeki yükünü analiz ederek, şebekenin bu taleplere nasıl yanıt verebileceğini ve olası sorunları önlemek için hangi stratejilerin uygulanabileceğini göstermektedir. EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonu sırasında ortaya çıkan şebeke dengesizliklerinin minimize edilmesi ve şarj altyapısının optimize edilmesi, dağıtım şebekelerinin sürdürülebilirliğini artırmak için kritik bir adımdır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonun sağlanması EA'ların çevresel etkilerini en aza indirerek daha temiz bir enerji geleceği inşa edilmesine katkı sağlayacaktır.

EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonu sadece şarj altyapısının kurulması ile sınırlı değildir. Bu süreçte, şarj işlemlerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenmesi ve talep yanıtı gibi stratejilerin uygulanması da büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, EA'ların şarj edilmesi sırasında ortaya çıkan enerji talebini karşılamada önemli bir çözüm sunar. Özellikle güneş ve rüzgâr gibi kaynaklarının bir elektrikli araç şarj istasyonuna (EAŞİ) entegrasyonu, dağıtım şebekelerinin daha esnek ve sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlar. Bu bağlamda, EA'ların şarj işlemlerinin talep yanıtı stratejileri ile optimize edilmesi, dağıtım şebekeleri üzerindeki yükü dengeleyebilir ve sistem kararlılığını artırabilir.

Tez çalışması, altı bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm Giriş bölümü olup ardından gelen 2. Bölüm olan Kaynak Özetleri bölümünde, literatürde yer alan ve EA'ların şarj yönetimleri ve şarj istasyonlarının dağıtım şebekelerine etkilerini araştıran çalışmalar ele alınmıştır. 3. Bölüm olan Kuramsal Temeller bölümünde; EA'lar ve çeşitleri, EA'ların dünyada ve Türkiye'de durumları, şarj yöntemleri, şarj tipleri ve soketleri ile bu soketlerin tipleri ve standartları, şarj istasyonların dünyada ve Türkiye'de durumları ve EA şarj istasyonlarının mevzuat ve standartları detaylıca ele alınmıştır. 4. Bölüm olan Materyal ve Yöntem bölümünde, Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.'den alınan veriler ışığında, Ankara ili Çankaya ve Nallıhan ilçelerinde bulunan transformatörlere PSS/E programı kullanarak mevcut puant yüklerine ek olarak farklı

senaryolar altında şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki yüklenme, gerilim düşümü ve enerji talebi üzerindeki etkileri incelenmiştir. 5. Bölüm olan Sonuçlar ve Tartışma bölümünde, çalışmanın kısaca özeti yapılmış ve uygulama sonuçları yorumlanmıştır. İleride yapılacak çalışmalar için tavsiye ve önerilerde bulunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Dünyada EA sayısındaki artış ve EA'ların çevre üzerindeki olumlu etkileri ile birlikte araç bataryalarının şarjı konusu üzerinde son yıllarda akademik ve endüstriyel olarak yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Özellikle EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekeleri üzerinde oluşturduğu etkiler önem arz eden bir konu olup konu ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmaktadır.

Clement-Nyns vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada; EA'ların yerleşim alanlarındaki dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve EA'ların yaygınlaşmasının mevcut şebeke altyapısına nasıl yük getireceği ve bu yükün nasıl yönetilebileceği değerlendirilmiştir. EA şarj işlemleri, kontrol edilmediğinde yerleşim şebekelerinde ciddi tepe yüklerine ve voltaj dengesizliklerine yol açabilir. Şarj zamanlaması ve şebeke yönetimi, EA penetrasyonunun artmasıyla daha kritik hale gelmektedir. Zaman kontrollü ve akıllı şarj stratejileri, şebeke üzerindeki olumsuz etkileri hafifletmek için önemli bir çözüm sunmaktadır. EA'ların yaygınlaşmasının şebeke altyapısına etkilerini analiz eden bu çalışmada özellikle akıllı şarj yönetimi stratejilerinin gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Benzer bir çalışma da ise Fernandez vd. (2011), EA'ların dağıtım şebekelerine olan potansiyel etkilerini değerlendirelerdir. EA'ların yaygınlaşmasının elektrik şebekesi altyapısına getirdiği yük ve bu yükün nasıl yönetilebileceği analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda EA'ların düzensiz şarj edilmesinin dağıtım şebekesinde ciddi yük artışlarına yol açabileceği belirtilmiştir. Bu çerçevede düşünüldüğünde kontrollü şarj stratejilerinin, talep yönetimi ile birlikte kullanıldığında şebekenin performansını artırabileceği ve aşırı yüklenmeleri önleyebileceği vurgulanmıştır. Aynı zamanda şarj zamanlamasının optimize edilmesinin, enerji tüketimini daha dengeli hale getirerek şebeke üzerindeki baskıyı azaltabileceği ve EA kullanımının artması, mevcut şebeke altyapısının güçlendirilmesini gerektirebileceği ifade edilmiştir. EA'ların şebekeye olan etkilerini analiz eden bu çalışma, kontrollü şarj stratejilerinin benimsenmesinin, şebeke kararlılığını sağlamak ve altyapı üzerindeki baskıyı azaltmak için kritik olduğunu göstermektedir.

Hu vd. (2013) yaptıkları çalışmada; EA şarj süreçlerini koordine ederek dağıtım şebekesindeki tıkanıklıkların önlenmesine yönelik bir yöntem önermektedir. Çalışma, EA'ların artan penetrasyonu ile şebeke üzerindeki yükü optimize etmeyi amaçlayan stratejilere odaklanmaktadır. Bu çalışma, EA şarjlarının koordinasyonunun dağıtım şebekesindeki tıkanıklıkları önlemenin anahtar yollarından biri olduğunu göstermekte ve akıllı şarj yönetimi

stratejilerinin önemini vurgulamaktadır. Koordine şarj stratejileri, dağıtım şebekesinin kapasitesini verimli kullanarak hem altyapı maliyetlerini düşürebilmekte hem de şebeke kararlılığını artırabilmektedir.

Acha vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; EA'ların şarj stratejilerinin Birleşik Krallık elektrik piyasasındaki optimal kullanımı incelenmiştir. Çalışma, akıllı şebekelerle entegre edilmiş şarj yönetimi sistemlerinin enerji arz-talep dengesi üzerindeki etkisini ve şarjın optimize edilmesi yoluyla şebekenin performansının nasıl artırılabilirliğini analiz etmektedir. Çalışmada, EA'ların akıllı şebeke ve dinamik fiyatlandırma sistemleriyle entegre edilerek, Birleşik Krallık elektrik piyasasında nasıl optimize edilebileceği gösterilmektedir.

Lopes vd. (2011) yaptıkları çalışmada, EA'ların elektrik güç sistemine entegrasyonunu kapsamlı bir şekilde ele almışlardır. Çalışma, EA'ların yaygınlaşmasının enerji sistemleri üzerindeki potansiyel etkilerini, şebekenin bu taleplere nasıl yanıt verebileceğini ve EA'ların enerji sistemine nasıl entegre edilebileceğini analiz etmektedir. Çalışmada EA'ların enerji arz-talep dengesinde ve şebeke esnekliğinde nasıl kilit bir rol oynayabileceği aktarılmaktadır. Özellikle araçtan şebeğe (vehicle to grid - V2G) teknolojisi ve yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonun, gelecekteki enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği için önemli çözümler sunduğu vurgulanmaktadır. Richardson vd. (2013) ise, EA'ların elektrik şebekesi üzerindeki etkilerini, modelleme yaklaşımlarını ve yenilenebilir enerji entegrasyonunu inceleyen kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışma, EA'ların şebeğe entegrasyonunu analiz eden farklı modelleme tekniklerini ele alarak, bu teknolojinin enerji sistemleri üzerindeki uzun vadeli etkilerini değerlendirmektedir. EA'ların çevresel etkileri, yenilenebilir enerji entegrasyonu ile desteklendiğinde, karbon gazı emisyonlarını azaltmak için güçlü bir çözüm sunulduğu belirtilmiştir. Çalışma, EA'ların elektrik şebekesi üzerindeki etkilerini anlamak için kullanılan modelleme yöntemlerini ve bu etkilerin yenilenebilir enerji entegrasyonu ile nasıl optimize edilebileceğini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. EA'ların sürdürülebilir enerji sistemlerine geçişte önemli bir rol oynadığı ve yenilenebilir enerji ile entegrasyonunun bu geçişi hızlandırabileceği vurgulanmaktadır.

Wang vd. (2011), EA'ların enerji sistemleri üzerindeki etkilerini, talep yanıtı ve rüzgâr enerjisinin entegrasyonu bağlamında incelemiştir. Çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve EA'ların enerji şebekesi üzerindeki etkilerini değerlendirirken, talep yanıtı stratejilerinin şebeke dengesini sağlama potansiyelini analiz etmektedir. EA'ların sürdürülebilir

enerji sistemlerinde daha büyük bir rol oynayabilmesi için talep yanıtı stratejileri ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun önemi vurgulanmaktadır. Benzer şekilde Mwasilu vd. (2014), EA'ların akıllı şebeke ile etkileşimini, V2G teknolojisini ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada; EA'ların enerji sistemlerine entegrasyonu, şebeke kararlılığını artırma ve yenilenebilir enerji kullanımını destekleme potansiyeli değerlendirilmektedir. EA'ların ve V2G teknolojisinin enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırma potansiyeli geniş bir şekilde ele alınmıştır.

Yukarıda enerji sistemlerinin entegrasyonu konusunda yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde EA'ların enerji sistemlerine entegrasyonu, günümüzde enerji altyapıları üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Araştırmalar, özellikle EA'ların hızlı şarj işlemlerinin şehir şebekeleri üzerindeki yükü artırarak güç kalitesi sorunlarına yol açabileceğini göstermektedir. Bu sorunları hafifletmek için akıllı şarj sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve şebeke altyapısının güçlendirilmesi gibi çözümler önerilmektedir. Ayrıca, talep yönetimi stratejileri, enerji tüketiminin daha dengeli hale getirilmesine yardımcı olarak şebekenin verimli çalışmasına katkı sağlayabilir. EA'ların enerji sistemlerine entegrasyonu, yalnızca hızlı şarj ile ilgili değil, aynı zamanda enerji arz-talep dengesi ve şebeke esnekliği açısından da ele alınmaktadır. EA'lar, enerji talebini artırırken, şebeke kararlılığı ve sürdürülebilirlik için çeşitli stratejilerin uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda, V2G teknolojisi ve yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyon, gelecekteki enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini destekleyici çözümler olarak öne çıkmaktadır. EA'ların enerji sistemleri üzerindeki uzun vadeli etkileri de dikkate alınmıştır. Çeşitli modelleme teknikleri, EA'ların şebeke üzerindeki etkilerini tahmin etmek ve şarj stratejileri geliştirmek için kullanılmıştır. Bu analizler, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonun karbon emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olduğunu ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Talep yanıtı stratejileri, EA'ların enerji sistemlerine entegrasyonunda önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu stratejiler, şebeke dengesini sağlamak ve EA'ların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla şarj işlemlerini optimize etmek için kritik bir rol oynar. Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi, EA'ların enerji sistemlerine entegrasyonunu daha sürdürülebilir hale getirebilir. Akıllı şebekeler ve V2G teknolojisi, EA'ların enerji sistemleriyle etkileşimini daha verimli hale getirerek şebeke kararlılığını artırabilir. Akıllı şarj sistemleri, özellikle enerji talebinin düşük olduğu saatlerde EA'ların şarj edilmesini sağlayarak şebekenin aşırı yüklenmesini önler. Bu stratejiler, enerji

fiyatlarına ve talebe dayalı optimize edilmiş şarj zamanlaması ile şebekenin dengeli çalışmasına katkıda bulunur. Özetle, EA'ların enerji sistemlerine entegrasyonu, şebeke kararlılığı, sürdürülebilirlik ve talep yönetimi gibi unsurlarla desteklenmesi gereken çok yönlü bir süreçtir. Bu entegrasyonun başarılı olabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve akıllı şarj stratejilerinin benimsenmesi gerekmektedir.

He vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada, EA'ların şarj ve deşarj işlemleri için optimal zamanlama stratejilerini incelemişlerdir. Çalışmada, EA'ların şarj işlemlerinin akıllı şebeke sistemleriyle entegrasyonu optimize edilerek, şebeke üzerindeki etkilerin nasıl azaltılabileceği ve enerji yönetiminin nasıl daha verimli hale getirilebileceği araştırılmıştır. EA'ların enerji piyasaları ile uyumlu şekilde yönetilmesi, şebekenin enerji talebini daha dengeli hale getirmek ve şebeke performansını artırmak için kilit bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, He vd. (2020) tarafından yapılan bir diğer çalışmada; toplu taşımada kullanılan elektrikli otobüslerin şarj sürelerinin fazla olmasından dolayı yüksek güçte hızlı şarj istasyonlarının kullanılacağı belirtilmiştir. Benzer bir çalışmada, Leou ve Hung (2017), elektrikli otobüslerin daha fazla elektrik tüketeceğini ve bu nedenle elektrik şebekesinden çekecekleri gücün artacağını belirtmişlerdir. Bu durumun, şarj istasyonlarının kapasitesi ve şarj süreleriyle ilgili yeni senaryoların oluşturulmasını gerektirdiği vurgulanmıştır.

Sarker vd. (2015) yaptıkları çalışmada, EA'lar için batarya değiştirme istasyonlarının optimal operasyonunu ve hizmet planlamasını incelemişlerdir. Bu istasyonların enerji taleplerinin ve hizmet süreçlerinin en verimli şekilde nasıl yönetebileceğine dair matematiksel bir model sunulmuştur. Batarya değiştirme süreçlerinin ve enerji talebinin doğru şekilde yönetilmesi, şebeke üzerindeki olumsuz etkileri azaltabilir ve bu hizmetin ekonomik olarak sürdürülebilir olmasını sağlayabilir.

Masoum vd. (2010) yaptıkları çalışmada, EA'ların batarya şarj hızlarının akıllı şebeke dağıtım sistemleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada farklı şarj hızlarının akıllı şebekelerin performansı, enerji kalitesi ve sistem kararlılığı üzerindeki olası sonuçları ele alınmıştır. Farklı şarj hızlarının şebeke performansı üzerindeki etkileri analiz edilerek, şebekenin daha dengeli ve verimli çalışmasını sağlamak için talep yönetimi ve optimizasyon stratejilerinin önemi vurgulanmıştır.

Wang vd. (2012) yaptıkları çalışmada, EA şarj istasyonlarının planlanmasını ve bu istasyonların dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerindeki potansiyel yük etkileri değerlendirilirken, optimal şarj istasyonu yerleşimi ve şebekenin kapasitesini yönetme stratejileri analiz edilmiştir. Çalışma, şebeke kararlılığını korumak ve EA'ların entegrasyonunu optimize etmek için şarj istasyonlarının yerleşim stratejilerine ve şebeke güçlendirme önlemlerine dikkat çekmektedir.

Tang ve Zhang (2017) yaptıkları çalışmada, EA'ların şarj süreçlerini yönetmek için düşük karmaşıklıkta bir model öngörü kontrolü (MPC) yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışma, şarj zamanlamasını optimize ederken, sistemin ölçeklenebilirliğini ve kontrolün optimal olmasını sağlamaya odaklanmaktadır. Şebekenin performansını artırırken enerji tüketimini dengeleyen bu yöntem, EA'ların geniş çapta entegrasyonunu desteklemek için önemli bir çözüm sunmaktadır.

Sortomme ve El-Sharkawi (2012) yaptıkları çalışmada, tek yönlü V2G enerji akışı sağlayan sistemlerde EA'ların optimal şarj stratejilerini incelemiştir. Çalışma, EA'ların şarj işlemlerinin şebeke üzerindeki etkilerini optimize eden stratejiler geliştirmekte ve bu stratejilerin şebeke kararlılığına katkılarını ele almaktadır. Şebeke kararlılığını destekleyen bu stratejiler, EA kullanıcıları için ekonomik avantajlar sağlarken enerji sistemlerinin daha verimli çalışmasını teşvik eder. Benzer bir çalışmayı Schuller vd. (2014) yapmış olup, EA'lar için şarj stratejilerini incelemişler ve bu stratejilerin ekonomik potansiyelini ve V2G enerji geri besleme yeteneklerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışma, EA'ların ekonomik şarj stratejileri ve V2G potansiyeli üzerine kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Çalışmada; EA sahiplerinin maliyetlerini azaltmak ve şebeke kararlılığına katkıda bulunmak için uygulanabilecek stratejiler ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Gan vd. (2013) yaptıkları çalışmada, EA'ların şarj işlemleri için optimal merkeziyetsiz (decentralized) bir protokol geliştirmiştir. Çalışma, EA'ların toplu şarj talebini yönetmek için merkezi bir kontrol sistemi olmadan, şarj işlemlerinin nasıl optimize edilebileceğini incelemekte ve bu tür bir sistemin performansını değerlendirmektedir. Merkeziyetsiz şarj yönetimi ve EA'ların enerji tüketimini optimize eden dağıtık kontrol stratejileri kapsamlı bir şekilde ele alınmış ve böylece merkeziyetsiz protokollerin EA'ların toplu şarj talebini yönetmede etkin bir çözüm sunduğu, şebeke kararlılığını desteklediği ve enerji tüketimini daha verimli hale getirdiği vurgulanmıştır.

Frade vd. (2011) yaptıkları çalışmada, EA'lar için şarj istasyonlarının en uygun konumlandırılması üzerine odaklanmışlardır. Çalışmada; Lizbon'daki bir mahallede EA şarj istasyonlarının en uygun yerlerini belirlemek için bir model geliştirilmiş ve bu yerleşimin araç kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılamadaki etkinliği incelenmiştir. Bu uygulamada, şarj istasyonlarının kullanıcı taleplerine en uygun şekilde yerleştirilmesi, enerji verimliliği ve kullanıcı memnuniyeti göz önünde bulundurulmuştur. Simülasyon sonuçları, şarj istasyonlarının uygun bir şekilde yerleştirilmesinin hem enerji altyapısını optimize edebileceğini hem de kullanıcı deneyimini iyileştirebileceğini göstermektedir. Bu çalışma, EA'ların şarj altyapısının etkin yerleştirilmesi üzerine önemli bir analiz sunmaktadır. Şarj istasyonlarının doğru konumlandırılması, hem kullanıcı memnuniyetini artırmak hem de enerji sisteminin verimliliğini sağlamak için kritik bir rol oynar. Benzer bir çalışmayı, Baouche vd. (2014) yapmış olup, yoğun kentsel ağlarda EA şarj istasyonlarının etkin yerleştirilmesi için bir optimizasyon modeli geliştirmektedir. Çalışma, şehir içi ulaşım ağlarında şarj istasyonlarının en uygun şekilde yerleştirilmesi ve bu yerleşimin şehir trafiği, enerji talepleri ve kullanıcı erişimini nasıl etkilediğini incelemektedir. EA şarj istasyonlarının yoğun kentsel ağlarda stratejik olarak yerleştirilmesi, enerji verimliliğini artırabilir ve kullanıcı erişimini kolaylaştırabilir. Optimizasyon modeli, hem şehirdeki trafik akışını düzenlerken hem de enerji verimliliğini artıran etkin bir çözüm sunmaktadır.

Grahn vd. (2013) yaptıkları çalışmada, EA'ların evde şarj edilmesine yönelik bir model sunmaktadır. Bu model, evdeki bireylerin günlük yaşam aktivitelerini dikkate alarak EA şarj işlemlerini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, EA'ların şarj işlemlerinin enerji talebi üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve bu süreçleri evdeki enerji kullanımına uygun hale getirmek için yeni yaklaşımlar sunar. Çalışma, EA'ların evde şarj edilmesi sürecinde, bireylerin günlük aktivitelerini ve enerji kullanım davranışlarını incelemektedir. Evde geçirilen zaman, işten eve dönüş saatleri ve uyku saatleri gibi aktiviteler, EA'ların ne zaman şarj edileceği konusunda önemli bir etkiye sahiptir. Bu model, kullanıcının alışkanlıklarını dikkate alarak şarj zamanlamasını optimize eder. Çalışmada geliştirilen model, farklı kullanıcı gruplarına ve enerji tüketim senaryolarına göre test edilmiştir. Simülasyonlar, EA şarj işlemlerinin zamanlamasını evdeki enerji kullanım alışkanlıklarına uygun şekilde optimize etmenin enerji tüketimi üzerindeki olumlu etkilerini göstermiştir. Sonuçlar, bu modelin evdeki enerji verimliliğini artırmada etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, EA'ların evde şarj edilmesine yönelik kullanıcı davranışlarını dikkate alan bir model sunarak, enerji sistemlerinin verimliliğini artırmaya ve şebeke üzerindeki yükü dengelemeye yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

Evdeki enerji talebinin kullanıcı alışkanlıklarına uygun hale getirilmesi, EA şarj işlemlerini optimize etmede kritik bir rol oynamaktadır.

Babu vd. (2024) yaptıkları çalışmada, EA'ların ve dağıtık enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine entegrasyonunu teknik ve ekonomik açıdan değerlendirmişlerdir. EA'lar; binek araçlar, kamyonlar ve otobüsler olarak batarya kapasitelerine göre kategorilere ayrılmış ve şarj/deşarj işlemleri gerçek zamanlı fiyatlandırmaya dayalı bir mekanizma ile yönetilmiştir. Ayrıca, şebeke üzerindeki voltaj kararlılığına göre şarj istasyonlarının optimal yerleştirilmesi ele alınmıştır. Sonuç olarak, şarj istasyonlarının doğru yerleştirilmesinin şebeke üzerindeki yükü nasıl azaltabileceği ve enerji kayıplarını en aza indirebileceği ortaya konulmuştur.

Ahn vd. (2011) yaptıkları çalışmada, EA'ların akıllı şebekeye bağlı olarak merkeziyetsiz bir şekilde şarj edilmesi için bir algoritma sunmaktadır. Çalışma, farklı fiyatlandırma düzenlemeleri altında EA'ların şarj işlemlerini optimize etmeyi ve merkezi kontrol gerektirmeden şebeke üzerindeki etkileri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, merkezi bir kontrol sistemine ihtiyaç duymadan EA'ların şarj işlemlerini optimize eden merkeziyetsiz bir algoritma geliştirmektedir. Bu algoritma, her EA'nın kendi şarj işlemlerini, yerel bilgiye ve enerji fiyatlarına dayanarak bağımsız bir şekilde yönetmesine olanak tanır. Şarj işlemleri, enerji talebi ve fiyat düzenlemelerine göre dinamik olarak ayarlanabilir. Şebeke üzerindeki yükü dengelemek ve şarj işlemlerini optimize etmek için merkeziyetsiz yaklaşımlar, enerji sistemlerine esneklik kazandırmakta ve maliyetleri düşürmektedir.

Li vd. (2012) yaptıkları çalışmada, EA'ların şebekeye etkisini yük profili, güç kaybı ve gerilim değişimleri açısından incelemişlerdir. EA'ların yaygınlaşmasının teknik kayıplar açısından da olumsuz etkilerine vurgu yapılmış ve yüksek oranlardaki yaygınlaşma seviyelerinde fiderde aşırı yüklenme, gerilim düşümü ve teknik kayıpların aşırı yükselmesi gibi problemlerin ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Farkas vd. (2013) yaptıkları çalışmada, EA'ları 15 dakikadan daha az sürede şarj edebilen hızlı şarj istasyonlarının, orta gerilim şebekesine etkilerini incelemişlerdir. Orta gerilim şebekesine bağlanan hızlı şarj istasyonlarının Digsilent PowerFactory yazılımı ile modellenmesi yapılmış ve gerçek senaryolarla yapılan simülasyonlar sonucunda hızlı şarj istasyonlarının elektrik şebekesine ve güç transformatörüne çok fazla etkiye sebep olmadığı sonucuna varılmıştır. Traini vd. (2020) ise yaptıkları çalışmada, EA'ların kullanımının artmasından dolayı elektrik

kullanımının artacağını ve şebeke üzerinde oluşacak olumsuz etkinin azaltılması için batarya değişim istasyonlarının sayısının artmasını çözüm olarak önermişlerdir.

Rautiainen vd. (2013) yaptıkları çalışmada, Finlandiya’da gerçek dağıtım şebekesini modelleyerek EA’ların şebekeye etkisinin şebeke yüklenmesi ve gerilim değişimi açısından önemli seviyede olmadığını belirtmişlerdir. EA’ların yüksek miktarda yaygınlaşmasında bile probleme yol açmayacağı ve bunun önemli etkisinin ise Finlandiya şebekesinin elektrikli ısıtıcı ve sobalardan dolayı yüksek güç ve enerji talebine göre tasarlandığı belirtilmiştir. Benzer bir çalışmada Santos vd. (2021), EA şarj istasyonlarının şebekeye olumsuz etkileri hususunda şimdilik bir problem olmadığını ancak EA’lara yatırımların artmasından dolayı durumun değişeceğini belirtmişlerdir. Akhavan vd. (2012) ise Kanada’da, EA’ların dağıtım şebekesine etkilerini incelemişlerdir. EA’ların dağıtım şebekesine yüklenmesi, gerilim durumu ve kayıplar gözlemlemiştir. EA batarya şarjlarının Seviye-1 şarj durumunda dağıtım şebekesine herhangi bir etkisinin olmayacağı ama Seviye-2 durumunda dağıtım şebekesine ek yatırımlar olması gerekeceği ifade edilmiştir.

Adak vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, EA’lar ve şarj istasyonlarının mikro şebeke güç kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları ve EA’ların mikro şebekeye entegrasyonu modellenmiş ve analiz edilmiştir. EA’ların yapısındaki doğrusal olmayan devre elemanları nedeniyle mikro şebekede harmonik akımların kaynağı oldukları, bu durumun güç kalitesini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Çalışma, EA şarj istasyonlarının konumlandırılması ve güç kalitesini koruyacak stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca V2G teknolojisinin kullanımının, şebeke kararlılığına olumlu katkılar sağlamakta olduğu belirtilmiştir.

EA batarya şarjlarının elektrik dağıtım şebekesine etkisi konusunda ülkemizde de bir takım akademik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri olan ve Tan (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Trabzon iline ait şebeke modellemesi yapılarak, ihtiyaç duyulacak bölgelere şarj istasyonu konumlandırılmış ve elektrik dağıtım şebekesi üzerine etkileri incelenmiştir. Digsilent Power Factory ile oluşturulan modellemelerde, 2025 yılında dağıtım şebekesini etkileyecek bir olumsuzluk görülmemiş ancak 2030 yılında dağıtım şebekesinin olumsuz etkileneceği vurgulanmıştır.

Temiz (2015) tarafından yapılan çalışmada, pivot olarak seçilen alçak gerilim (AG) şebekesinde Monte Carlo simülasyonları sonucunda oluşturulan EA yüklerini Digsilent PowerFactory yazılımına aktarmış ve yük akış analizleri sonucunda; dağıtım transformatörü üzerinde hat yüklenmesi, gerilim düşümü ve şebeke kayıpları olduğunu gözlemlemiştir. Bu sebepten dolayı, çalışma sonucunda EA'ların şebekeyi etkilediği ve AG şebekeye yatırım yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Şen (2019) tarafından yapılan çalışmada, pilot bir bölge seçilmiş ve bu bölgedeki insanların günlük ulaşım davranışları analiz edilerek farklı kullanıcı profilleri oluşturulmuştur. Ardından, Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. altyapısı kullanılarak bölgede yer alan bir dağıtım fideri seçilmiş ve bu fidere ait harita ve güç verileri gibi gerçek zamanlı teknik veriler elde edilmiştir. Bu veriler, EAŞİ'lerin dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerini analiz etmek için bir programa tanımlanmış ve şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki etkileri gerçek zamanlı simülasyonlarla incelenmiştir.

Kaya (2024) tarafından yapılan çalışmada, hızlı şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkileri incelenmiş ve şarj istasyonlarının şebekeye bağlanma yöntemleri, tipleri ve kurulum parametreleri değerlendirilerek bir pilot bölgede şarj ihtiyaçlarına göre şebeke planlaması yapılmıştır. Simülasyonlarla EA hızlı şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki etkileri analiz edilerek, sonuçlar doğrultusunda öneriler sunulmuştur.

Ünsal (2018) tarafından yapılan çalışmada, EA şarj istasyonlarının elektrik şebekesine entegrasyonu ve güç akış analizleri ele alınmıştır. Güç akış analizleri, güç sistem analiz programı kullanılarak yapılmış ve farklı tipteki şarj istasyonlarının bir transformatöre bağlı şebekeye eklenmesi durumunda şebeke ve transformatör üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, aynı şebeke yapısının transformatörden bağımsız, sadece güneş panelleri ile beslenerek ada modu şeklinde çalışması da değerlendirilmiştir.

Polat (2015) tarafından yapılan çalışmada, yük akışı analizi ve Monte Carlo simülasyonu kullanarak EA'ların şebekeye etkileri incelenmiştir. Bir konut sitesi pilot bölge olarak seçilmiş ve EA'ların şebeke üzerindeki etkileri, transformatör yüklenmeleri, gerilim profili, gerilim dengesizliği ve hat kayıpları analiz edilmiştir.

Tekin (2024) tarafından yapılan çalışmada, EA'ların şebekeye entegrasyonu sırasında ortaya çıkan kapasite ve güç kalitesi problemleri tespit edilmiş ve bu problemlere yönelik çözüm stratejileri önerilmiştir. E-mobilitenin başarılı entegrasyonunun, elektrik şebekesi yönetimi açısından kritik bir faktör olduğu vurgulanan çalışmanın sonuçlarının, sürdürülebilir ve etkin enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunacağı düşünülmektedir.

Nurmuhammed (2024) tarafından yapılan çalışmada, EA şarj istasyonlarının elektrik şebekesi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu istasyonların yerleşimlerinin optimizasyonu üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, şarj istasyonlarının elektrik yükü ve şebeke performansı üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla çeşitli modelleme ve simülasyonlar kullanılmıştır. Aynı zamanda, istasyonların en uygun yerlere yerleştirilmesi ile hem şebeke üzerindeki yükün azaltılması hem de kullanıcıların şarj ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenmiştir. Bu analizler sonucunda, şebeke yönetimi ve enerji verimliliği açısından öneriler sunulmuştur.

Kaya (2023) tarafından yapılan çalışmada, EA hızlı şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, pilot bir bölgedeki şarj ihtiyaçları analiz edilerek, şarj istasyonlarının hem otoparklarda hem de şebeke üzerinde optimal konumlandırılması sağlanmıştır. Bu planlama doğrultusunda, dağıtım şirketi altyapısı kullanılarak bölgede bulunan dağıtım fiderleri seçilmiş ve bu fiderlerin konum, güç ve diğer teknik verileri kullanılarak MATLAB/Simulink programında şebeke modellemesi yapılmıştır. Modelleme sonuçları, hızlı şarj istasyonlarının şebeke üzerinde oluşturacağı elektriksel etkilerin simülasyonlarını içermektedir. Bu etkiler arasında şebekedeki yük dağılımı, güç kalitesi ve şebeke stabilitesi üzerindeki olumsuz etkiler ele alınmış ve bu sorunlara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Şarj istasyonlarının optimal entegrasyonu için stratejiler geliştirilmiş, özellikle hızlı şarj istasyonlarının kapasite yetersizliği, aşırı yüklenme ve gerilim düşümü gibi sorunlar üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak, şarj istasyonlarının şebeke kararlılığına olan etkileri analiz edilmiş ve şebekenin verimli çalışmasını sağlamak için öneriler sunulmuştur.

Şahin (2024) yaptığı çalışmada, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Avrupa alçak gerilim test fideri modelini ve PSS@SINCAL v19.5 güç sistemi analiz yazılımını kullanarak, EA şarj istasyonlarının alçak gerilim dağıtım şebekesine etkilerini analiz etmiştir. Hatlar ve transformatörlerdeki kapasite yetersizliği, aşırı yüklenme ve gerilim düşümü ihlalleri üzerinde durularak, EA şarj istasyonlarının uygunluk değerlendirmesi için bir metodoloji

oluşturulmuştur. Bu metodolojiye uygun olarak farklı senaryolar belirlenmiş ve uygun kapasiteler hesaplanmıştır. EA şarj istasyonlarının teknik etkileri; yük profili değişimi, puant yük artışı, gerilim profili değişimi, mevcut şebeke varlıklarının kapasite yetersizliği ve gerilim düşümü problemleri gibi unsurlar üzerinden ele alınmıştır. Özellikle mevcut dağıtım şebekelerinin bu ek yükler dikkate alınmadan boyutlandırılmasının, bu varlıkların yetersiz kalmasına yol açacağı belirtilmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Elektrikli Araçlar ve Yaygınlaşma Süreçleri

Hızla yaygınlaşan EA'ların tarihi aslında fosil yakıt kullanan araçlardan daha eskiye dayanmaktadır. 1890'lı yıllarda Amerika ve Avrupa'da EA'lar hem üretilip hem de satılmaktaydı. Profesör Straitingh, Hollanda'da 1935 yılında ilk EA modeli tasarladı (Şenlik, 2015). Hatta 1990'ların başlarında Amerika'da EA sayısı fosil yakıtlı araçların sayısını geçmekteydi ve en önemli sorun menzil artırma durumuydu. Bu sebepten dolayı, elektrik ve benzin motorunun birleştirilmesi fikriyle hibrit yapı tasarlandı. Ancak 1920 ile 1960 yılları arasında benzin fiyatlarının düşmesi, Charles Kettering ve Henry Ford'dun içten yanmalı motorlu araç çalışmaları geliştirmesiyle, araç maliyetlerinin düşmesi ve uzun menzil ihtiyacının artmasıyla içten yanmalı motorlara tüm dünyada yoğun ilgi artmıştır (Kerem, 2014). Seri üretimin hızla artmasından dolayı 1930'lu yıllarda EA'lara talep olmadı. 1960 yılından sonra fosil yakıt kullanan araçların sebep olduğu hava kirliliğinden dolayı EA'lara ilgi tekrardan başladı. Özellikle Amerika ve Avrupa ülkelerinde yaşanan petrol kriziyle EA'lara olan ilgi hızla arttı. Devletler 1980 yılından itibaren ekolojik çevreye zararının az olmasından dolayı EA'lara ekonomik teşvikler vermeye başladılar. Teşviklerin artmasıyla, EA'ların elektrik ihtiyacını karşılamak için tasarlanan şarj istasyonlarının da gelişimi için teşvikler artmaya başlamış oldu.



Şekil 3.1. Elektrikli araç iç dizaynı

EA'lar, modern ulaşımın çevresel ve ekonomik gereksinimlerine yanıt veren yenilikçi çözümlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlardan farklı olarak, Şekil 3.1'de görüleceği üzere EA'lar bataryalar ile beslenmekte ve elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Böylece fosil yakıt kullanımı ve emisyonları önemli ölçüde azaltılmaktadır.

EA'lar, teknolojik altyapılarına ve enerji kullanım şekillerine göre farklı türlere ayrılırlar. Bu türler aşağıda alt başlıklar olarak ele alınmıştır.

3.1.1. Bataryalı elektrikli araçlar

Bataryalı elektrikli araçlar (BEV), yalnızca elektrik enerjisi ile çalışan ve şarj edilebilir bataryalar kullanan araçlardır. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlardan farklı olarak BEV'ler, fosil yakıt kullanmaz ve egzoz emisyonu üretmezler. Bu araçların temel enerji kaynağı lityum-iyon bataryalardır. Son yıllarda bu bataryaların enerji yoğunluğu ve kapasitesi artırılmış, maliyetleri ise düşürülmüştür. Avantajları, BEV'ler sıfır emisyonlu araçlar olarak çevreye duyarlı bir seçenek sunar. Karbon salınımlarını azaltmada önemli bir rol oynarlar. Ayrıca, elektrikli şarj maliyeti, fosil yakıt maliyetine göre daha düşüktür ve içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha az hareketli parça içerdiklerinden dolayı BEV'lerin bakım maliyetleri daha azdır. Dezavantajları ise, şarj altyapısı hala gelişim aşamasındadır. Uzun yolculuklarda şarj istasyonlarının eksikliği, sürücüler için önemli bir sorun olabilmektedir. Şarj süreleri, geleneksel araçların yakıt dolum sürelerine göre çok daha uzun olabilmektedir. Hızlı şarj istasyonlarının artması, bu dezavantajı bir nebze azaltmaktadır. BEV'lerin temel bileşenleri ve işlevleri kısaca aşağıdaki gibidir:

- *Batarya:* Elektrikli motorunu çalıştırmak için gerekli enerjiyi depolar. Genellikle lityum-iyon bataryalar kullanılır.
- *Elektrik Motoru:* Bataryadan aldığı elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek tekerleklerin dönmesini sağlar.
- *Şarj Portu:* Aracın bataryasını şarj etmek için kullanılan giriş noktasıdır.
- *Güç Elektroniği Denetleyicisi:* Motorun hızını ve bataryanın elektrik akışını kontrol eder.

3.1.2. Plug-in hibrit elektrikli araçlar

Plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV), hem elektrikli motor hem de içten yanmalı motoru bir arada barındıran araçlardır. Bu araçlarda bataryalar tamamen boşalmadan önce elektrikle çalışabilir ve sonrasında içten yanmalı motor devreye girer. Bu özellikleri sayesinde kısa mesafelerde tamamen elektrikle, uzun yolculuklarda ise fosil yakıt kullanımı ile çalışabilirler. Bu özellik sayesinde şehir içi kısa mesafelerde sadece elektrik kullanarak sürüş yapılabilir. Bu

durum fosil yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını büyük ölçüde azaltır. Batarya kapasitesi tükendiğinde, içten yanmalı motor devreye girdiği için sürüş menzili konusunda endişe yaşanmaz. Dezavantajları ise, BEV'e göre daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle bakım ve onarım maliyetleri daha yüksek olabilir. Ayrıca, içten yanmalı motorlar da kullanıldığı için tamamen emisyonsuz bir sürüş deneyimi sunmazlar. Bu da, uzun mesafelerde çevresel faydaları azaltabilmektedir. PHEV'lerin temel bileşenleri ve işlevleri kısaca aşağıdaki gibidir:

- *Batarya:* Hem elektrikli sürüş hem de hibrit modda elektriksiz enerji desteği sağlar.
- *Elektrik Motoru:* Bataryadan aldığı elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek tekerleklerin dönmesini ve böylece kısa mesafede sürüş imkanı sağlar.
- *İçten Yanmalı Motor:* Bataryanın boşaldığı durumlarda devreye girer ve aracı çalıştırır.
- *Şarj Portu:* Elektrik modunda bataryayı şarj etmek için kullanılır.
- *Yakıt Deposu:* İçten yanmalı motorun yakıtını depolar.

3.1.3. Hibrit elektrikli araçlar

Hibrit elektrikli araçlar (HEV)'da elektrik motoru ve içten yanmalı motoru birlikte kullanılır ancak dışarıdan elektriksiz olarak şarj edilemezler. Bataryalar, araç fren yaparken ya da motor çalışırken kendi kendine şarj olur. Avantajları, hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor sayesinde yüksek yakıt verimliliği sağlar. Bu durum, fosil yakıt kullanımını azaltır ve yakıt tasarrufu sunar. Elektrik motoru, şehir içi düşük hızlarda devreye girer ve böylece daha az yakıt tüketilir. Dezavantajları ise, hibrit araçlar tam anlamıyla elektrikli olmadıkları için karbon emisyonlarını tamamen ortadan kaldıramazlar. Tamamen elektrikli modda uzun mesafeler gidemezler; bu, BEV'lere kıyasla daha düşük çevresel fayda sağlar. HEV'lerin temel bileşenleri ve işlevleri kısaca aşağıdaki gibidir:

- *Batarya:* Elektrik motoruna destek sağlamak için enerji depolar.
- *Elektrik Motoru:* Düşük hızlarda veya frenleme sırasında aracın elektrikle çalışmasını sağlar.
- *İçten Yanmalı Motor:* Ana sürüş gücü sağlar ve elektrik motoru ile birlikte çalışır.
- *Yakıt Deposu:* İçten yanmalı motor için yakıt depolar.
- *Güç Elektroniği Denetleyicisi:* Enerji akışını yönetir.

3.1.4. Yakıt hücreli elektrikli araçlar

Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV), hidrojen yakıt hücrelerinden elektrik üretir. Hidrojenin oksijen ile birleşerek elektrik üretmesiyle, bu enerji elektrik motorunu çalıştırır ve hareket sağlar. Bu süreçte tek yan ürün olarak su açığa çıkar. Avantajları, FCEV'ler yalnızca su buharı saldıkları için sıfır emisyonlu araçlardır. Bu durum, çevre üzerindeki olumsuz etkileri minimuma indirir. Hidrojen dolumu, EA'ların şarj edilmesine kıyasla çok daha hızlı gerçekleşir. Bu da uzun yolculuklar için büyük avantaj sağlar. Dezavantajları ise, hidrojen üretimi ve dağıtımının oldukça yoğun bir süreç olmasıdır. Ayrıca, hidrojen dolum istasyonlarının sayısı oldukça sınırlıdır. Hidrojen üretiminde kullanılan fosil yakıtlar, süreç boyunca dolaylı olarak emisyonlara neden olabilmektedir. FCEV'lerin temel bileşenleri ve işlevleri kısaca aşağıdaki gibidir:

- *Yakıt Hücresi:* Hidrojen ile oksijenin kimyasal reaksiyona girmesi sonucu elektrik üretir.
- *Hidrojen Deposu:* Aracın çalışması için gerekli hidrojen yakıtını depolar.
- *Elektrik Motoru:* Yakıt hücresinden gelen elektrik enerjisi ile aracı hareket ettirir.
- *Batarya:* Fazla enerjiyi depolayarak elektrik motoruna destek sağlar.
- *Güç Elektroniği Denetleyicisi:* Yakıt hücresinden gelen enerjiyi yönetir.

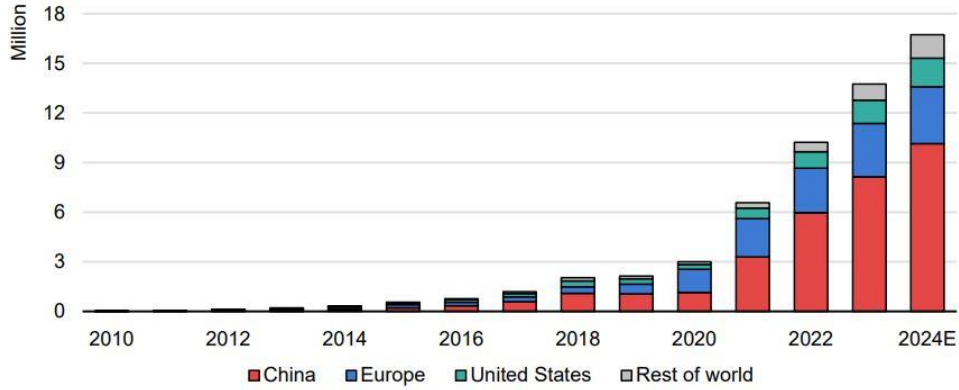
EA'ların temel bileşenleri her bir EA türünün çalışma prensibini belirler ve aracın verimliliğini etkiler. Herbir EA çeşiti için temel bileşen içeriği Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Elektrikli araç temel birleşenleri

Araç Türü	Batarya	Elektrik Motoru	İçten Yanmalı Motor	Yakıt Hücresi	Hidrojen Deposu	Şarj Portu	Yakıt Deposu
BEV	Var	Var	Yok	Yok	Yok	Var	Yok
PHEV	Var	Var	Var	Yok	Yok	Var	Var
HEV	Var	Var	Var	Yok	Yok	Yok	Var
FCEV	Var	Var	Yok	Var	Var	Yok	Yok

EA'ların çeşitleri, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve çevresel hedeflere göre farklı avantajlar sunar. BEV'ler tamamen sıfır emisyon hedefleyen çevreci bir çözüm sunarken, HEV ve PHEV'ler fosil yakıtlara dayalı seçenekler sunar. FCEV'ler ise gelecekte hidrojen ekonomisinin

yaygınlaşmasıyla sıfır emisyonlu bir gelecek için alternatif bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. EA'ların, otomotiv endüstrisinin geleceğinde önemli bir yer tutacağı düşünülmektedir. Özellikle BEV'lerin yaygınlaşması ve şarj altyapılarının gelişmesiyle, bu araçların içten yanmalı motorlu araçların yerini alması beklenmektedir. Ayrıca batarya teknolojilerinde yapılan yenilikler ile enerji depolama kapasiteleri artırılarak menzil sorununun çözülmesi beklenmektedir.



Şekil 3.2. 2024E: 2024 yılı ilk çeyreğine kadar dünya genelindeki EA sayıları

Şekil 3.2'de EA'lara olan talebin yıllar içerisinde hızlı bir artış gösterdiği gözükmektedir (IEA, 2024). Dünya genelindeki EA sayısı 2024 yılının ilk çeyreğinde 15 milyon adet üzerine çıkmıştır. Bu artış doğrultusunda dünya genelindeki EA sayısının 2030 yılı itibariyle minimum 120 milyon maksimum 250 milyon adete ulaşabileceği öngörülmektedir (Shura, 2024).



Şekil 3.3. Türkiye genelindeki toplam elektrikli araç sayıları

Şekil 3.3'te verilen grafikte de görüldüğü gibi Türkiye'de de dünya pazarıyla paralel bir artış gözükmemektedir (EPDK, 2024). 2019 yılı başında 1.193 olan EA sayısı 2022 yılında 14.896, 2023 yılında ise 80.826 adet olmuş ve hızlı bir artış göstermiştir. Tablo 3.2'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından yapılan bir çalışmada gelecek yıllar için öngörülen elektrikli sayısı verilmiştir (EPDK, 2024). Türkiye genelindeki toplam EA sayısının 2030 yılı itibariyle minimum 776.362 ve maksimum 1.679.600 adete ulaşabileceği öngörülmektedir. Artan bu EA sayısı dikkate alındığında, şarj istasyonlarının ve dağıtım şebekesinin de bu doğrultuda gelişmesi ve çoğalması gerekecektir.

Tablo 3.2. Elektrikli araç projeksiyonu

Yıl	Elektrikli Araç Sayıları		
	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
2025	202.030	269.154	361.893
2030	776.362	1.312.932	1.679.600
2035	1.779.488	3.307.577	4.214.272

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye nüfusunun, 2030 yılında 88.188.221 kişiye ulaşması tahmin ediliyor (TÜİK, 2023a). EPDK ve TÜİK tahminleri doğrultusunda, 2030 yılında, Türkiye nüfusun ortalama %0,88 - 1,90'ı arasında elektrikli araca sahip olunacağı öngörülmektedir. TÜİK'in 2021, 2022 ve 2023 yıllarındaki hane halkı büyüklüğü verilerine dayanarak 2030 yılında Türkiye'deki ortalama hane halkı büyüklüğünün yaklaşık 2,82 kişi olacağı düşünülmektedir (TÜİK, 2023b). Bu doğrultuda ise, 2030 yılında Türkiye hane halkının ortalama %2,48 - 5,37 arasında elektrikli araca sahip olacağı yönünde bir tahminde bulunulabilir.

3.2. Elektrikli Araç Batarya Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyonları

Günümüzde EA'lar üç farklı yöntemle şarj edilebilmektedir. En yaygın olarak kablolu şarj yöntemi tercih edilmekle birlikte; batarya değiştirme ve kablosuz şarj yöntemi de kullanılmaktadır. Bu yöntemlere ilişkin detaylı açıklamalar alt başlıklarda sunulmuştur.

3.2.1. Batarya değiştirme yöntemi

Batarya değiştirme yöntemi, özellikle şarj süresinden tasarruf etmek isteyen kullanıcılar için geliştirilmiş alternatif bir çözümdür. Bu yöntemde, araç sürücüsü bataryanın tamamen şarj olmasını beklemek yerine, şarj istasyonunda boş bataryayı dolu bir bataryayla değiştirir. Bu

işlem sadece birkaç dakika sürer ve uzun yolculuklarda büyük bir avantaj sağlar. Bu yöntemde batarya değişimi, tam otomatik veya yarı otomatik sistemler tarafından yapılır. Araç bir platform üzerine yerleştirilir ve bir mekanizma ile aracın altındaki boş batarya çıkarılıp, yerine tam şarjlı batarya takılır. Ancak batarya değiştirme yöntemi, batarya teknolojisinin standartlaşmasını gerektirdiğinden, şu anda yaygın olarak kullanılmamaktadır. Araç üreticilerinin farklı batarya tasarımları, bu yöntemin yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, özellikle ticari filolarda, örneğin; taksilerde ve kargo araçlarında, zaman tasarrufu açısından büyük potansiyele sahiptir.

3.2.2. Kablosuz şarj yöntemi

Kablosuz şarj; EA'ların, kablo bağlantısı olmadan elektromanyetik alanlar aracılığıyla şarj edilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu yöntemde, araç bir şarj platformuna park edildiğinde batarya, indüktif bir alan üzerinden şarj olur. Kablosuz şarj, elektrikli aracın altına yerleştirilen bir bobin ile şarj istasyonuna gömülü bir bobin arasında manyetik alan üzerinden enerji transferi yapılması prensibine dayanır. Bu yöntemde elektrik akımı, elektromanyetik dalgalar yoluyla aracın bataryasına iletilir. Günümüzde bu yöntemin şarj verimliliği kablolu şarja göre daha düşük olduğundan ve altyapı yatırımları yüksek olduğundan dolayı bu yöntem ticari olarak çok yaygın değildir. Kablosuz şarj teknolojisi hala geliştirme aşamasında olup, özellikle araçların hareket halindeyken şarj olmasını sağlayacak dinamik şarj çözümleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu sayede yolların altına yerleştirilecek şarj bobinleriyle, araçların sürekli hareket halinde bile şarj edilmesi mümkün olacaktır (Yazıcı ve Özdemir, 2013). Uzun vadede, şehir içi ve şehirlerarası yolların bu sistemlerle donatılması, EA'ların menzil kaygısını tamamen ortadan kaldırabilir.

3.2.3. Kablolu şarj yöntemi

EA'lar için en yaygın kullanılan şarj yöntemi kablolu şarjdır. Bu yöntem, şarj cihazlarının EA'larla fiziksel bir bağlantı kurmasını sağlar. Kablolu şarj yöntemi iki ana kategoriye ayrılır:

- **AC (Alternatif akım) şarj:** Genellikle evlerde ve iş yerlerinde kullanılan şarj istasyonlarında bu yöntem tercih edilmektedir. AC şarj, şarj hızının nispeten düşük olduğu bir yöntemdir ve araçlar genellikle birkaç saat içinde şarj olur. Ev kullanımı için uygun olan bu yöntem, günlük sürüş için yeterli enerji sağlar. AC şarj gücü seviyeleri, şarj cihazının kapasitesine ve aracın kabul edebileceği maksimum güce göre değişiklik

gösterir. Düşük güçlü AC şarj (Seviye 1) genellikle 1,4 kW ile 3,7 kW arasında değişir ve evde standart prizlerle araç şarj etmek için kullanılır. Bu yöntemde şarj süresi uzundur ve genellikle araç bir gecede tamamen şarj olmaktadır. Orta güçlü AC şarj (Seviye 2), 7,4 kW ile 22 kW arasında şarj gücü sağlar ve evlerde duvara monteli ünitelerde veya halka açık şarj istasyonlarında kullanılır. Bu seviyede araçlar genellikle 4-8 saat içinde tam şarj olabilmektedir. Üç fazlı yüksek güçlü AC şarj (Seviye 3) ise 11 kW ile 22 kW arasında değişir ve özellikle ticari alanlarda veya halka açık şarj istasyonlarında tercih edilir. Bu yöntem, daha büyük bataryalı araçların hızlı şarj ihtiyacını karşılamak için uygundur. AC şarj, genel olarak maliyet etkin ve altyapısı yaygın olan bir seçenek sunar, ancak daha hızlı şarj gerektiğinde DC hızlı şarj istasyonları devreye girer.

- **DC (Doğru akım) hızlı şarj:** Daha hızlı şarj olanağı sunan bu yöntem, genellikle halka açık şarj istasyonlarında kullanılır. DC şarj, bataryaya doğrudan yüksek güçlü akım vererek şarj süresini önemli ölçüde azaltır. 50 kW, 150 kW veya daha yüksek kapasitelerde çalışabilir ve bu sayede bir elektrikli aracın bataryasını 20 - 30 dakika gibi kısa bir sürede %80'e kadar doldurabilir. Hızlı şarj, uzun yolculuklarda tercih edilen bir yöntemdir, ancak sık kullanımı batarya ömrünü etkileyebilir.

Kablolu şarj yöntemi güvenilir, teknolojik olarak olgun ve geniş bir altyapı ağına sahip olması nedeniyle en yaygın tercih edilen yöntemdir. Kullanıcılar evde, iş yerinde ya da halka açık istasyonlarda bu yöntemi kullanarak kolaylıkla araçlarını şarj edebilirler. Ayrıca, bu yöntem EA sahiplerinin batarya şarj süreçlerini öngörülebilir ve yönetilebilir hale getirir.



Şekil 3.4. Elektrikli araç ekosistemi

3.2.4. Batarya şarj ve soket tipleri

Günümüzde EA batarya şarj tipleri üç gruba ayrılmaktadır. Bu şarj tipleri Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 olarak isimlendirilmiş olup yatırımlar bu şarj tipleri üzerinde yapılmaktadır. Tablo 3.3'te şarj tiplerinin temel olarak bir karşılaştırılması yapılmıştır (Liu vd., 2011; Kılıç, 2022).

Tablo 3.3. Şarj istasyonlarının tipleri ve standartları

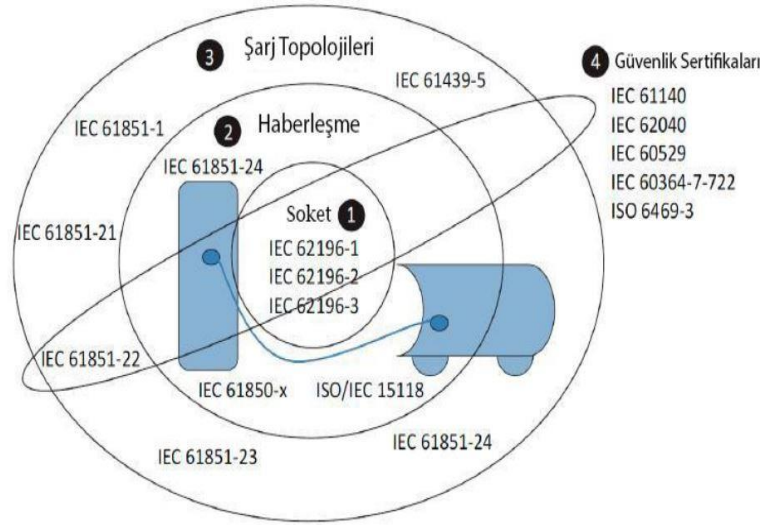
	ABD	JAPONYA	AVRUPA BİRLİĞİ		ÇİN
Tek Faz / 3-Faz AC Şarj	SAE J1772 Seviye 1, 2 Tek Faz	SAE J1772 Seviye 1, 2 Tek Faz	IEC 62196 Seviye 1 Tek Faz	IEC 62196-2 Seviye 2, 3 Tek / 3 Faz	IEC 62196 Seviye 1, 2 Tek / 3 Faz
DC Hızlı Şarj / AC-DC Kombo	SAE J1772 Combo Seviye 1,2	CHAdEMO Hızlı Şarj	IEC62196-3 Hibrit Kombo		GB/T 20234.3 Hızlı Şarj

Seviye 1 şarj tipi, tek fazlı sistemlerde kullanılmakta olup yavaş şarj olarak tanımlanmaktadır. Şarj elemanları, bu tip şarj tiplerinde elektrikli araca monte edilmiştir ve herhangi bir güç dönüştürücüsü bulunmamaktadır. Sadece, araç ile şebeke arasında haberleşme görevi görmektedir. Seviye 2 şarj tipi ise Seviye 1 ile genel olarak aynı özelliklere sahip olup tek farkı, orta hızlı şarj etme kabiliyetinin olmasıdır. Bu tip, tek faz sistemlerde kullanılmakta olup araca monte halde bulunmaktadır. Seviye 1 ve Seviye 2 tipi sistemlerde, araç üstü şarj cihazı kullanılmaktadır. Küçük ve hafif olmasından dolayı elektrikli aracın üzerine sabitlenmektedir. Araç üstü şarj cihazları, 220 V veya 230 V AC sokete bağlanarak bataryayı şarj etmek üzere AC-DC dönüşüm sağlamaktadır. Avantajı, yavaş şarj olduğundan cihaz ömrünün uzun olması ve her daim mevcut AC şebeke ile şarj imkânı sağlamasıdır. Dezavantajı ise, yavaş şarj olduğundan dolayı şarj süresinin uzun olmasıdır (Boulanger vd., 2011; Haghbin vd., 2010).

Seviye 3 şarj tipi ise hızlı şarj olarak da tanımlanmaktadır. Tablo 3'te de gösterildiği gibi AC ve DC olarak iki tipi mevcuttur. Bu şarj tipinin AC olanında üç fazlı sistemler besleme için kullanılırken, DC olanında ise AC şebekeden doğrultularak elde edilen bir DC kaynak besleme için kullanılmaktadır. Şarj elemanları, AC tip de araca monte edilmişken, DC tip de araca monte edilmemiştir. Bundan dolayı bu tip şarj istasyonlarında, AC veya DC tipli yapıya bağlı olarak

şarj işlemi için gereken elemanlar istasyon içerisinde ya da araç üzerine tasarlanmaktadır (Boulangier vd., 2011; Haghbin vd, 2010).

EA şarj istasyonlarında bir diğer unsur da fiş soketleridir. Bu istasyonlarda kullanılan soketler farklı tiplerde ve standartlarda üretilmekte ve kullanılmaktadır. Farklı şarj ucu tiplerinin belirli standartları bulunmaktadır. Bu standartlar bölgesel geliştirmelere göre düzenlenmiştir. Bu şarj uçlarının ve standartların birbirine uyumluluğu kullanıcılar açısından önem arz etmektedir. Şekil 3.5'te EA şarj süreçleri için bu standartların dağılımı verilmiştir (Habib vd., 2020).

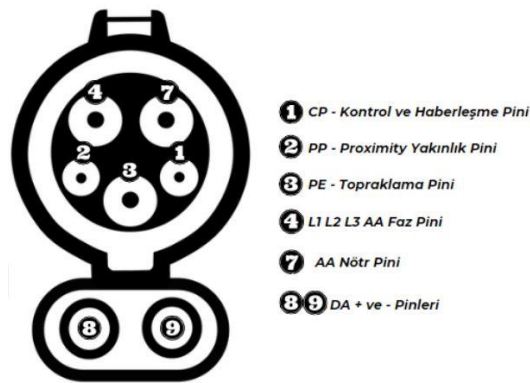


Şekil 3.5. Elektrikli araç şarj süreçleri için IEC standartları

IEC 62196 standardı, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından geliştirilmiş olup Avrupa ve birçok diğer kıtalarda kullanılan Tip 2 ve CCS2 şarj uçlarını kapsamaktadır. IEC 62196, yüksek güçlü şarjı ve güvenli bağlantılarını garanti altına alır. SAE J1772 standardı, Otomobil Mühendisleri Topluluğu (SAE) tarafından geliştirilmiş olup Amerika kıtasında Tip 1 ve CCS1 şarj uçlarını tanımlar. Bu standart, hem güvenli şarj işlemi hem de uyumluluk açısından önemli kriterler belirler. CHAdeMO standardı, Japonya Elektrikli Araç Birliği tarafından geliştirilmiş olup Asya kıtası ve özellikle Japonya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. DC hızlı şarj için optimize edilmiş olan bu standart, güvenli ve etkili hızlı şarjı garanti ederken aynı zamanda çift yönlü şarj desteği de sunar. Buna ilaveten daha hızlı şarj imkânı sağlayan ChaoJi standardı da geliştirilmiştir. GB/T 20234 standardı, Çin'de kullanılmakta olup hem AC hem de DC şarjı kapsamaktadır. Bu standart, Çin'deki EA şarj altyapısının temelini oluşturur ve yerel ihtiyaçlara göre optimize edilmiştir.

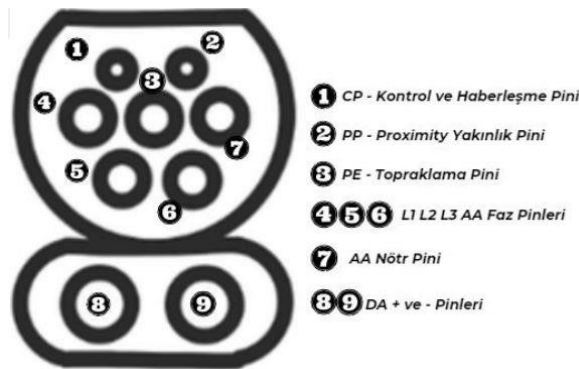
EA batarya şarj istasyonlarında farklı fiş soket tipleri kullanılmaktadır. Bu soketler belli standartlara göre seçilmektedir. Araç üstü şarj cihazlarında, Avrupa için IEC 62196-2 standardı, ABD için ise SAE J1772 standardı kullanılmaktadır. Araç dışı şarj cihazlarında ise, Avrupa için IEC 62196-2 Combo; Uzakdoğu ve Japonya için ise CHAdeMO standardı kullanılmaktadır.

Şekil 3.6'da görüleceği üzere, SAE J1772 standardında ki Tip 1 yapıda; şarj ucu 5 pinli bir bağlantı yapısına sahiptir ve genellikle Kuzey Amerika ve Japonya'da kullanılan bir tiptir. Bu tip, genellikle AC şarj için kullanılır ve tek fazlıdır. Maksimum 7,4 kW güç kapasitesine sahiptir (Tan, 2023).



Şekil 3.6. SAE J1772 ile uyumlu CCS1 şarj soketi

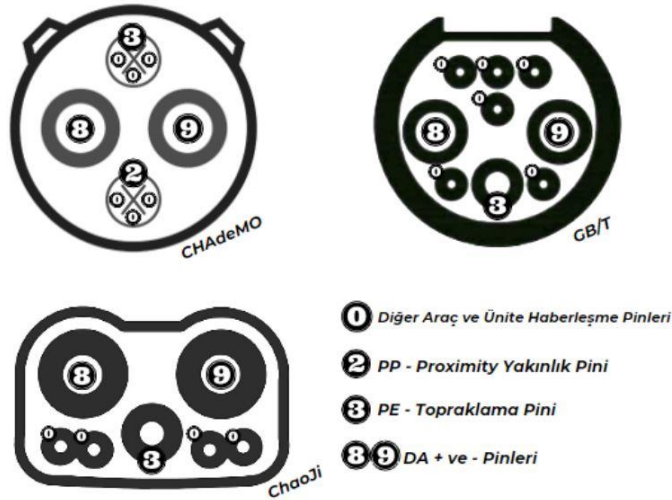
Tip 2 (Menekes) şarj ucu, Avrupa'da yaygın olarak kullanılan bir standarttır. IEC 62196-2 standardına uygun olan bu şarj ucu, 7 pinli bir bağlantı yapısına sahiptir ve hem AC hem de DC şarj için kullanılabilir. Tip 2, üç fazlı şarj desteği ile 43 kW'a kadar güç sağlayabilir.



Şekil 3.7. CCS Combo 2 şarj soketi

Combo 1 veya CCS1 (Combined Charging System) olarak bilinen şarj ucu, Tip 1 tabanlı bir sistemdir. Bu şarj ucu hem AC hem de DC hızlı şarjı destekler. CCS1, SAE J1772 şarj ucunun alt kısmına iki ek DC pin eklenmesiyle oluşturulmuştur ve 350 kW'a kadar hızlı şarj imkânı sunmaktadır. Şekil 3.7'de belirtilen Combo 2 veya CCS2, Avrupa'da yaygın olan Tip 2 tabanlı bir sistemdir (Tan, 2023). Tip 2 şarj ucunun alt kısmına iki ek DC pin eklenmesiyle oluşturulmuştur. CCS2, 350 kW'a kadar hızlı şarj imkânı sağlar ve hem AC hem de DC şarjı destekler.

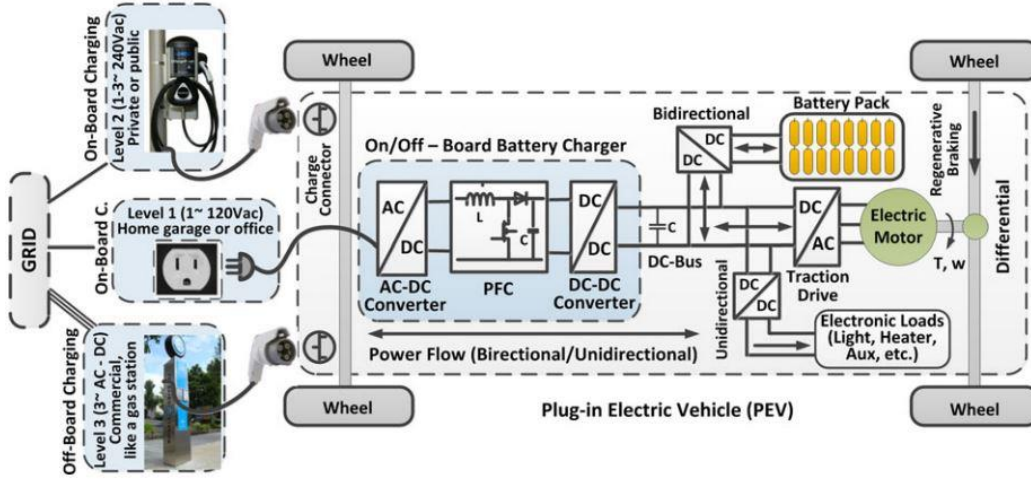
Şekil 3.8'de görüleceği üzere, CHAdeMO, Japonya'da geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir DC hızlı şarj standartıdır (Tan, 2023). CHAdeMO şarj ucu, 62,5 kW'a kadar güç sağlayabilir ve çift yönlü şarj desteği sunar. Bu özellik, EA'ların enerji depolama birimi olarak kullanılmasına olanak tanır. GB/T ise, Çin'de geliştirilmiş olup hem AC hem de DC şarjı desteklemektedir. Ayrıca Tesla Supercharger, kendi araçları için özel bir şarj ucu geliştirmiştir. Tesla Supercharger sistemi, 250 kW'a kadar DC hızlı şarj imkânı sağlar. Tesla araçları, adaptörler sayesinde diğer şarj standartlarıyla da uyumlu hale getirilebilir.



Şekil 3.8. CHAdeMO, GB/T ve ChaoJi şarj soketleri

Şekil 3.9'da bir elektrikli aracın iç tasarımında yer alan temel bileşenler verilmiştir (Yılmaz ve Krein, 2013). Şekilde görüldüğü gibi şebekeden alınan enerji kullanıma göre on-board veya off-board şarj istasyonları üzerinden araca aktarılmaktadır. On/off board sistem, konumlarına göre isimlendirilen, kısaca yavaş ve hızlı şarj olarak adlandırılan şarj cihazlarıdır. Araç üstü ve araç dışı şarj cihazı olarak iki çeşittir. Araç içerisinde yer alan güç dönüştürücüleri ile AC-DC dönüşüm yapılmakta bu dönüşüm güç faktörü düzeltmeli (PFC) bir dönüştürücü üzerinden

geçirilerek güç katsayısı düzeltilmekte ve DC-DC bir dönüştürücü aracılığıyla da işlenen enerji DC bara'ya aktarılmaktadır. DC bara gerilimi sabit tutularak iki yönlü ve tek yönlü dönüştürücü bağlantıları ile DC yükler (batarya, klima, lambalar, elektronik yükler vb. gibi) ve inverter aracılığıyla AC yük (Motor) beslenmektedir.

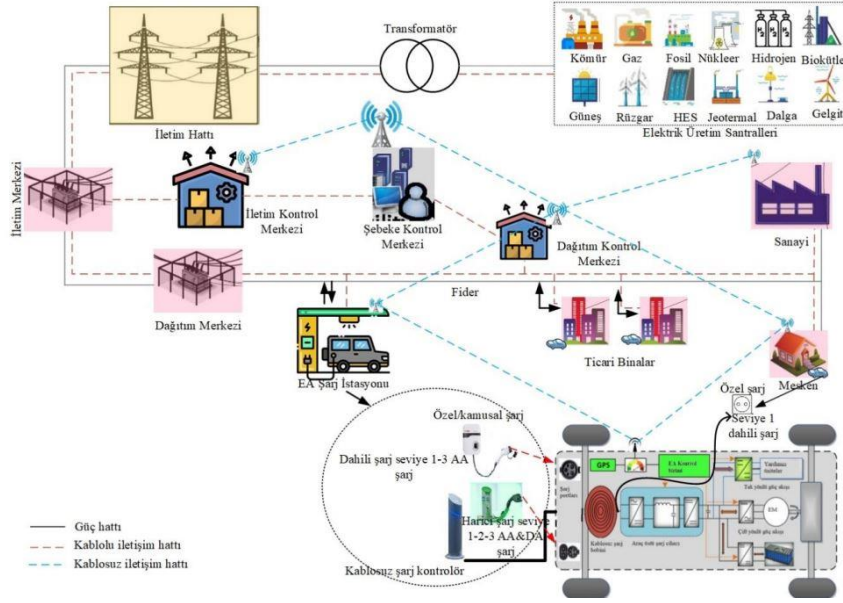


Şekil 3.9. Elektrikli araç iç tasarımı

Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 şarj istasyonlarının AC tiplerinde araç üstü şarj cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz küçük ve hafif olmasından dolayı elektrikli aracın üzerine sabitlenmektedir. Araç üstü şarj cihazları, 220 V veya 230 V AC sokete bağlanarak bataryayı şarj etmek üzere DC'ye dönüştürmektedir. Seviye 3'ün DC tip sistemlerinde ise araç dışı şarj cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz, elektriğin doğrudan bataryaya aktarıldığı sistemdir. Şarj istasyonu üzerinde AC akım DC'ye çevrildikten sonra doğrudan araç bataryasına aktarılmakta ve hızlı şarj sağlamaktadır.

3.2.5. Elektrikli araç şarj istasyonu alt yapısı

EA şarj istasyonu alt yapısı güç ve kontrol-iletişim altyapılarından oluşmaktadır. Bu alt yapılar Şekil 3.10'da detaylı olarak gösterilmiş olup, merkezler arası iletişim ve kontrol sağlandığı şekilden gözükmemektedir (Das, S. H. vd., 2020; Ensar, 2022). EA'ların şarj sistemlerinin elektrik iletim ve dağıtım şebekeleriyle nasıl bir entegrasyon içinde olduğunu, farklı enerji kaynaklarından sağlanan elektrikle şarj istasyonlarının nasıl beslendiğini ve şebeke ile şarj istasyonları arasındaki iletişim yapısı şekilde gösterilmiştir.



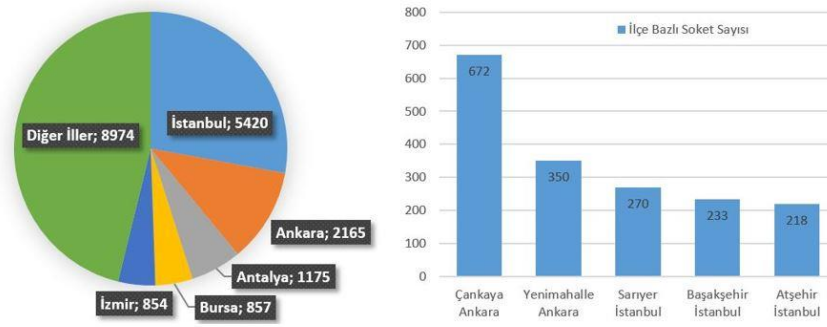
Şekil 3.10. EA şarj alt yapısının şematik diyagramı

EA şarj istasyonları sistem gereksinimlerini karşılamak amacıyla her yerleşim birimine kurulmamaktadır. Tablo 3.4'te hangi seviyedeki şarj istasyonunun hangi yerleşim birimlerine kurulabileceği gösterilmiştir (Liu vd. 2011). Buradan görüldüğü gibi konutlarda genellikle Seviye 1 ve Seviye 2 şarj istasyonları yeterli iken ticari iş merkezlerinde hızlı şarj imkânı sağlayan Seviye 3 şarj istasyonları kurulmaktadır. Topluma açık olan ve hareketliliğin çok olduğu yerlerde hızlı şarj istasyonlarının kurulumu ile bekleme sürelerinin azaltılması sağlanmaktadır. Özellikle şehirler arası otopan ve yollarda Seviye 3 tipte hızlı şarj istasyonlarının kurulumu tercih edilmektedir.

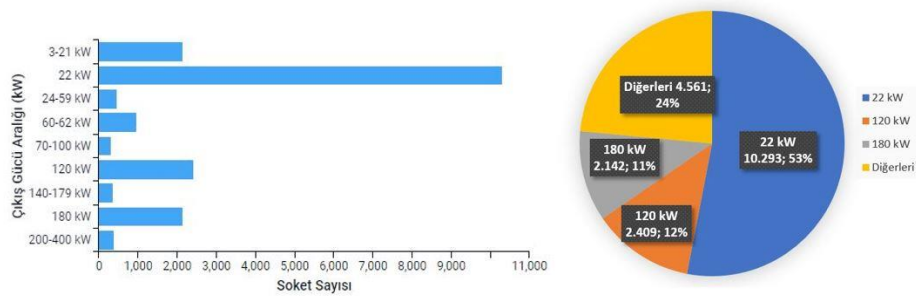
Tablo 3.4. Tiplerine göre şarj istasyonlarının kuruldukları yerler

Yerleşim Birimleri		Şarj İstasyonu Tipi		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Konutlar	Müstakil Evler	✓	✓	-
	Apartmanlar	✓	✓	-
	Özel Mülkler (Ofisler, iş yerleri)	✓	✓	-
	Perakende / Ticari (filo ve dağıtım hizmetleri)	✓	✓	-
Ticari / İş Merkezleri	Kamu Alanları (Havaalanları, Oteller, Marketler, Hastaneler, Alışveriş Merkezleri, vb.)	✓	✓	✓
	Hükümet, Üniversiteler ve Belediye Tesisleri	✓	✓	-
	Bağlantı Geçiş Noktaları	-	✓	✓
	Benzin İstasyonları	-	✓	✓
Topluma Açık Alanlar	Park Alanları	✓	✓	✓
	Cadde	-	✓	✓
	Şehirler Arası Yollar ve Otopanlar	-	-	✓

Şekil 3.12’de ülkemizde yer alan soket sayılarının illere göre dağılım haritası verilmiştir (Evcify, 2024). Ülkemizde toplam 8.229 adet EAŞİ bulunmaktadır. Bu şarj istasyonlarında 12.488 adet AC ve 6.957 adet DC olmak üzere toplam 19.405 adet soket bağlantısı bulunmaktadır. Bu soketlerin toplam çıkış gücü 1.189,6 MW’tır. İstanbul ili 5420 adet soket ile toplam soket adeti içerisinde %27,93 oranla ilk sıradır. Ankara ili ise 2.165 adet soket ile toplam soket adeti içerisinde %11,15 ile ikinci sıradadır. Şekil 3.13’te ise ülkemizde yer alan soket sayılarının illere göre dağılımının pasta grafiği ve en fazla soket sayısına sahip ilçelerin sütun grafiği verilmiştir (Evcify, 2024). Şekilden de görüldüğü gibi Ankara’daki soket sayısının 672 adeti Çankaya ilçesinde bulunmakta olup Çankaya, Türkiye’deki en çok soket sayısına sahip olan ilçe konumundadır.



Şekil 3.13. Şarj soketlerinin illere göre dağılım grafiği ve en yüksek soket sayısına sahip ilçelerin grafiği



Şekil 3.14. Şarj soketlerinin çıkış güç değerleri ve oranlarının grafikleri

Şekil 3.14’te ülkemizdeki soketlerin sahip olduğu çıkış gücüne göre dağılım grafiği ve bu güçlerin pasta grafiği verilmiştir (Evcify, 2024). Şekilden görüleceği üzere, Türkiye’de bulunan 19.405 adet soketin %53’lük kısmını 22 kW çıkış gücündeki soketler oluşturmaktadır.

Bunu %12 oranla 120 kW çıkış gücüne sahip soketler takip etmektedir. Ayrıca, AC soket başına düşen EA sayısı 8, DC soket başına düşen EA sayısı ise 14,4'tür.

3.2.6. Mevzuat ve standartlarda elektrikli araç şarj istasyonları

Türkiye'de EA şarj istasyonları ile ilgili mevzuatlar; şarj altyapısının güvenli, verimli ve yaygın bir şekilde kullanılabilir olmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Bu mevzuatlar, şarj istasyonlarının kurulumu, işletilmesi, lisanslanması ve güvenliği gibi uyulması gereken teknik ve idari gereksinimleri kapsamaktadır. Bu çalışmalarını genellikle EPDK, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) yapmaktadır.

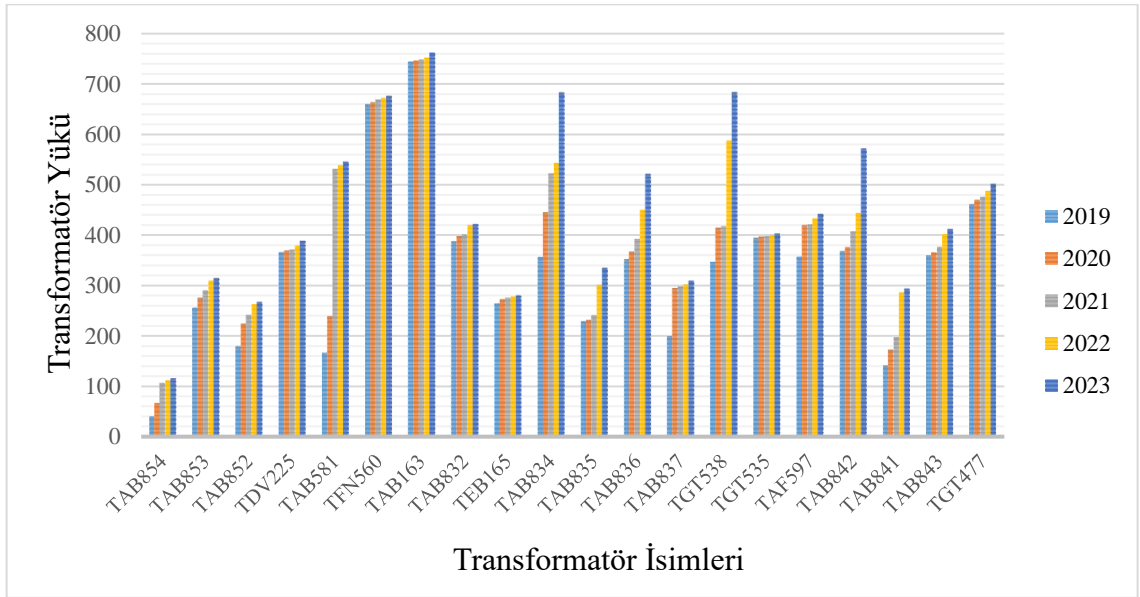
EA şarj istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi, temel olarak 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile düzenlenmektedir. Bu kanun, elektrik enerjisi piyasasının düzenlenmesi ve denetlenmesi ile ilgili hükümleri içermektedir. EPDK, EA şarj istasyonlarının lisanslanması ve işletilmesiyle ilgili detaylı düzenlemeler yapmaktadır. Bu düzenlemeler, şarj hizmeti sağlayıcılarının uyması gereken kuralları belirler. EPDK'nın çıkardığı yönetmelik ve tebliğler, şarj istasyonlarının teknik ve idari gereksinimlerini kapsamaktadır. Elektrikli Araç Şarj Hizmeti Yönetmeliği ve Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği EPDK tarafından yapılmaktadır. Elektrikli Araç Şarj Hizmeti Yönetmeliği, şarj hizmeti sunan işletmelerin lisanslama süreçlerini, teknik gereksinimlerini ve işletme kurallarını detaylandırır. Şarj istasyonlarının güvenliği, bağlantı türleri, yazılım ve haberleşme protokolleri gibi konular da bu yönetmelikte ele alınmaktadır. EAŞİ'ler, elektrik piyasasında faaliyet gösterebilmek için gerekli lisanslara sahip olmalıdır. Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, bu lisanslama sürecini ve lisans sahiplerinin yükümlülüklerini belirler.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, çevresel etkileri göz önünde bulundurarak EAŞİ'lerin kurulumu ve işletilmesine ilişkin düzenlemeler yapabilir. Bu düzenlemeler, çevre koruma ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamayı amaçlar. TSE, EAŞİ'ler için teknik ve güvenlik standartlarını belirler. Bu standartlar, cihazların güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için oluşturulmuştur. Bu standartlardan başlıcaları aşağıdaki gibidir:

- TSE K 139: EAŞİ'lerin genel teknik özellikleri ve güvenlik standartları.
- TSE 13531: Elektrikli araç şarj altyapısının kurulum ve işletme esasları.
- TS EN 61851-1: Elektrikli araçlar için konnektörler ve prizler dahil olmak üzere şarj ekipmanlarının gereksinimleri.

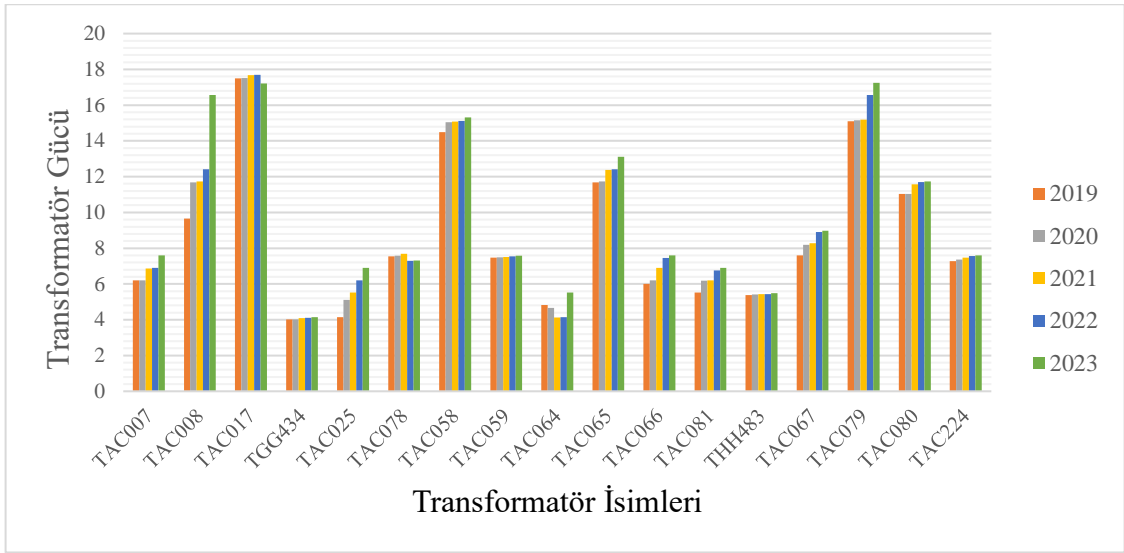
4. YÖNTEM

Bu tez çalışmasında EAŞİ'lerin dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerini incelemek için Türkiye'nin başkenti olan Ankara ili örnek uygulama olarak ele alınmış ve bu kapsamda Ankara ilinde nüfusun yoğun olduğu kentsel bölge tabiriyle Çankaya ilçesi ve nüfusun daha az olduğu kırsal bölge tabiriyle de Nallıhan ilçesi için incelemeler yapılmıştır. EAŞİ'lerin dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerini daha iyi analiz edebilmek için Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.'den Ankara iline ait transformatör yükleri, tek hatları ve abone sayıları verileri talep edilerek seçilen iki adet farklı fider üzerindeki transformatör durumlarına göre bu veriler üzerinden inceleme ve yorumlar yapılmıştır. Bu iki fideri seçilirken, özellikle biri kentsel biri de kırsal bölge olarak seçilmiştir. Kentsel bölge, yoğun nüfusun yaşadığı ve günlük elektrik talebinin fazla olduğu bir alan olarak seçilmiş olup kırsal bölge ise, nüfusun daha az ve günlük elektrik talebinin düşük olduğu bir bölge olarak tercih edilmiştir.



Şekil 4.1. Çankaya ilçesindeki (kentsel bölge) transformatör yükleri

Şekil 4.1'de Çankaya ilçesinde bulunan BAA289 kodlu dağıtım merkezinden çıkan bir fider üzerindeki 20 adet transformatörün yük ve abone sayılarının 5 yıllık periyot boyunca değişim grafiği verilmiştir. Bu dağıtım şebekesi üzerinde bulunan transformatörlerin güçleri yoğun nüfus ve elektrik talebinden dolayı yüksek seviyelerdedir. 5 yıllık periyot incelemesinde bu transformatörler üzerindeki ortalama yük artışının %10,67 olduğu gözlemlenmiştir. Bu artışı etkileyen faktörler her yıl değişiklik göstereceği için belirtilen yılların ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.2. Nallıhan ilçesindeki (kırsal bölge) transformatör yükleri

Şekil 4.2’de ise Nallıhan ilçesinde bulunan BAA295 kodlu dağıtım merkezinden çıkan bir fider üzerindeki 17 adet transformatörün yük ve abone sayılarının 5 yıllık periyot boyunca değişim grafiği verilmiştir. Bu dağıtım şebekesi üzerinde bulunan transformatörlerin güçleri az nüfus ve az elektrik talebinden dolayı düşük seviyelerdedir. 5 yıllık periyot incelemesinde bu transformatörler üzerindeki ortalama yük artışının %3,88 olduğu gözlemlenmiştir. Bu artışı etkileyen faktörler her yıl değişiklik göstereceği için belirtilen yılların ortalaması alınmıştır.

Kentsel bölgedeki dağıtım fideri üzerindeki 20 adet transformatörün ortalama doluluk oranının %42,38 olduğu görülmüştür. Fider üzerinde çoğunlukla 1000 kVA ve 1600 kVA gücünde transformatörler vardır. EAŞİ’lerde genellikle AC olanlar için 22 kW, DC olanlar için ise 120 kW tercih edildiği için bu iki güce sahip şarj istasyonları ile örneklem yapılmıştır. 1000 kVA transformatörde, ortalama 576,2 kVA gücünde boşluk olduğu ve bu güç ile 22 kW’lık EAŞİ’lerde aynı anda maksimum 25 adet EA şarj olabileceği; 120 kW’lık olanlarda ise maksimum 4 adet EA şarj olabileceği hesaplanmıştır. 1600 kVA transformatörde ise ortalama 921,92 kVA gücünde boşluk olduğu ve bu güç ile 22 kW’lık EAŞİ’lerde aynı anda maksimum 41 adet EA şarj olabileceği; 120 kW’lık olanlarda ise maksimum 7 adet EA şarj olabileceği hesaplanmıştır.

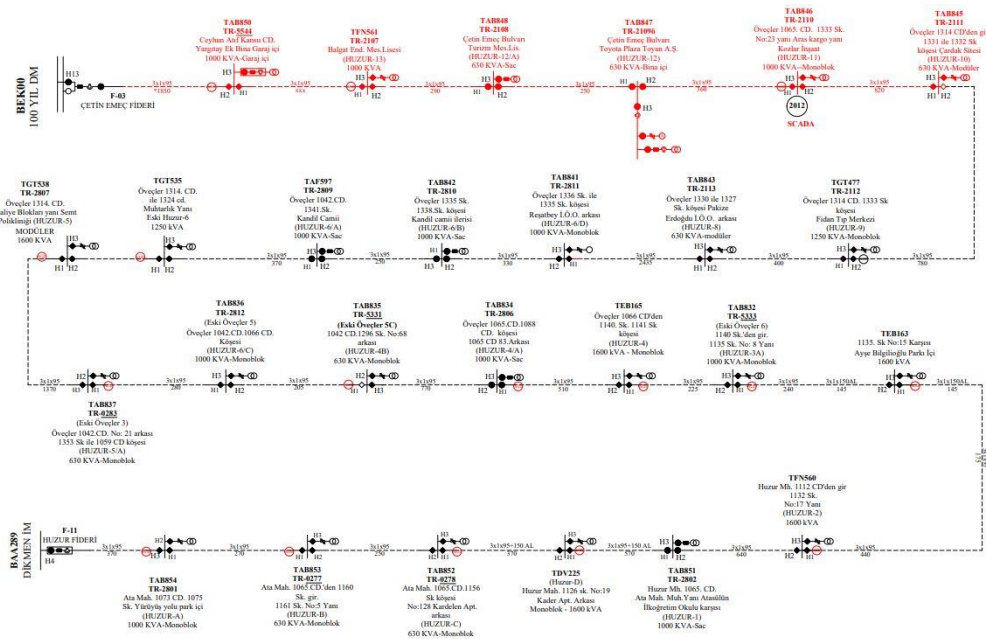
Kırsal bölgedeki dağıtım fideri üzerindeki 17 adet transformatörün ortalama doluluk oranının %18,26 olduğu görülmüştür. Fider üzerinde çoğunlukla 50 kVA ve 100 kVA gücünde transformatörler vardır. Transformatörlerin düşük güçlü olması sebebiyle 120 kW’lık

EAŞİ'lerin kullanılması uygun değildir. Bu yüzden sadece 22 kW'lık EAŞİ üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. 50 kVA transformatörde, ortalama 40,87 kVA gücünde boşluk olduğu ve bu güç ile 22 kW'lık EAŞİ'lerde aynı anda maksimum 1 adet EA şarj olabileceği, 100 kVA transformatörde ise ortalama 81,74 kVA gücünde boşluk olduğu ve bu güç ile 22 kW'lık EAŞİ'lerde aynı anda maksimum 3 adet EA şarj olabileceği hesaplanmıştır.

Tüm bu durumlar göz önünde bulundurularak transformatör özelinde şarj istasyon sayıları PSS/E (Power System Simulator for Engineering) programı ile modellenmiştir. PSS/E, genellikle Elektrik Mühendisliğiyle ilgili bir program olup genellikle birkaç saniyeden birkaç on saniyeye kadar değişen zaman çizelgelerinin yanı sıra kararlı durum koşullarında elektrik güç iletim ağlarını simüle etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, elektriksel güç sistemlerinin model temelli tasarımı, şebeke analizi, güç akışı, gerçek zamanlı işletme ve otomasyonuna yönelik bir programdır. Başkent Elektrik Dağıtım AŞ.'den temin edilen veriler ile kentsel ve kırsal bölgede yer alan transformatörlerin tek hat şemasında modellenmesi PSS/E programı ile yapılmış ve alt başlıklar halinde detaylıca incelenerek elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4.1. Kentsel Bölgede EAŞİ'lerin Dağıtım Şebekesine Etkisi

Kentsel bölgede yer alan transformatörlerin tek hat şema modellemesi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kentsel bölgedeki transformatörlerin bağlantı modellemesi

Şekil 4.3'te belirtilen iletkenlerin gerçek konumlarına göre PSS/E programına iletkene ait Şekil 4.5'te belirtilen tanımlama sayfası açılarak, iletken cinsine göre kesiti, empedansı ve akım taşıma kapasitesi değerleri girilmiştir. İletken değerleri girildikten sonra transformatör değerlerini girmek için Şekil 4.6'da belirtilen tanımlama sayfası açılarak, güç bilgileri girilir.

From Bus	From Bus	To Bus	To Bus	Id	Name	Term Node	Term Node	Term Node	Term Node	Line R	Line X
1	BAA289 DIM 31,500	101	TAB854 H-A 31,500	1						0,071418	0,078380
101	TAB854 H-A 31,500	201	TAB853 H-B 31,500	1						0,052118	0,051380
111	TAB834 H-4A 31,500	211	TAB835 H-4B 31,500	1						0,148618	0,146380
111	TAB834 H-4A 31,500	901	TEB165 H-4 31,500	1						0,098438	0,096880
121	TAB843 H-B 31,500	221	TGT477 H-9 31,500	1						0,077208	0,076880
121	TAB843 H-B 31,500	911	TAB841 H-6D 31,500	1						0,469955	0,462650
201	TAB853 H-B 31,500	301	TAB852 H-C 31,500	1						0,045250	0,047500
211	TAB835 H-4B 31,500	311	TAB836 H-6C 31,500	1						0,039565	0,038950
221	TGT477 H-9 31,500	321	TAB845 H-10 31,500	1						0,150548	0,148280
301	TAB852 H-C 31,500	401	TDV225 H-D 31,500	1						0,071418	0,078380
311	TAB836 H-6C 31,500	411	TAB837 H-5A 31,500	1						0,054048	0,053280

Şekil 4.5. PSS/E programı dağıtım hattı tanımlama sayfası

From Bus	From Bus	To Bus	To Bus	Id	Name	Term Node	Term Node	Term Node	Term Node	In
2	0,4000	101	TAB854 H-A 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
102	0,4000	201	TAB853 H-B 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
111	TAB834 H-4A 31,500	902	0,4000	1						<input checked="" type="checkbox"/>
112	0,4000	211	TAB835 H-4B 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
121	TAB843 H-B 31,500	912	0,4000	1						<input checked="" type="checkbox"/>
122	0,4000	221	TGT477 H-9 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
202	0,4000	301	TAB852 H-C 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
212	0,4000	311	TAB836 H-6C 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
302	0,4000	401	TDV225 H-D 31,500	2						<input checked="" type="checkbox"/>
312	0,4000	411	TAB837 H-5A 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>
402	0,4000	501	TAB851 H-1 31,500	1						<input checked="" type="checkbox"/>

Şekil 4.6. PSS/E programı transformatör tanımlama sayfası

Bus	Section	Substation	Bus	Base kV	Area	Area	Zone	Zone	Owner	Owner	Code	Voltage	Angle	Normal	Normal	Emergency	Emergency
2			BAA289 DIR	31,5	1		1		1		1	31,5000	0,00	34,5100	28,3100	34,5100	28,3100
101			TAB854 H-A	31,5	1		1		1		1	0,3948	-1,41	0,4400	0,3600	0,4400	0,3600
102			TAB853 H-B	31,5	1		1		1		1	31,0000	-1,41	34,5100	28,3100	34,5100	28,3100
111			TAB834 H-4A	31,5	1		1		1		1	0,3014	-2,45	0,4400	0,3600	0,4400	0,3600
112			TAB835 H-4B	31,5	1		1		1		1	27,0582	-15,72	34,5100	28,3100	34,5100	28,3100
121			TAB843 H-B	31,5	1		1		1		1	0,1678	-17,43	0,4400	0,3600	0,4400	0,3600
122			TAB841 H-6D	31,5	1		1		1		1	28,1884	-22,04	34,5100	28,3100	34,5100	28,3100
201			TAB852 H-C	31,5	1		1		1		1	0,3105	-23,00	0,4400	0,3600	0,4400	0,3600
202			TAB851 H-1	31,5	1		1		1		1	30,8197	-2,45	34,5100	28,3100	34,5100	28,3100
301			TAB836 H-6C	31,5	1		1		1		1	0,1884	-18,10	0,4400	0,3600	0,4400	0,3600
302			TAB837 H-5A	31,5	1		1		1		1	28,1810	-17,43	34,5100	28,3100	34,5100	28,3100

Şekil 4.7. PSS/E programı bara tanımlama sayfası

Transformatör kabinlerinin doğru bir şekilde konumlandırılması yapıldıktan sonra iç ekipmanların eklenmesi için Şekil 4.7’de belirtilen bara tanımlanması sayfası açılır. Buraya özellikle primer ve sekonder gerilim değerleri dikkate alınarak veriler girilir. Güç akış analizinin yapılması için yük değerleri çok önem arz etmektedir. Herbir transformatöre Şekil 4.8’de görüleceği üzere yük tanımlama sayfasında iki farklı yük değeri girilmiştir. Bunların ilki, YK olarak belirtilen dağıtım şirketi tarafından alınan puant verileridir. İkincisi ise, EA olarak belirtilen şarj istasyonlarının oluşturacağı yüklerdir.

Bus	Id	Term Node	Code	Area	Zone	Owner	In	Scalable	Interruptible	Pload	Qload	IPload	IQload	Yload	Vload
2	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.4000	YK	1	1	1	1				0.1157	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
102	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
102	0.4000	YK	1	1	1	1				0.2146	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
112	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
112	0.4000	YK	1	1	1	1				0.1346	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
122	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
122	0.4000	YK	1	1	1	1				0.1612	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
202	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
202	0.4000	YK	1	1	1	1				0.1674	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
212	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
212	0.4000	YK	1	1	1	1				0.1220	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
302	0.4000	EA	1	1	1	1				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Şekil 4.8. PSS/E programı yük tanımlama sayfası

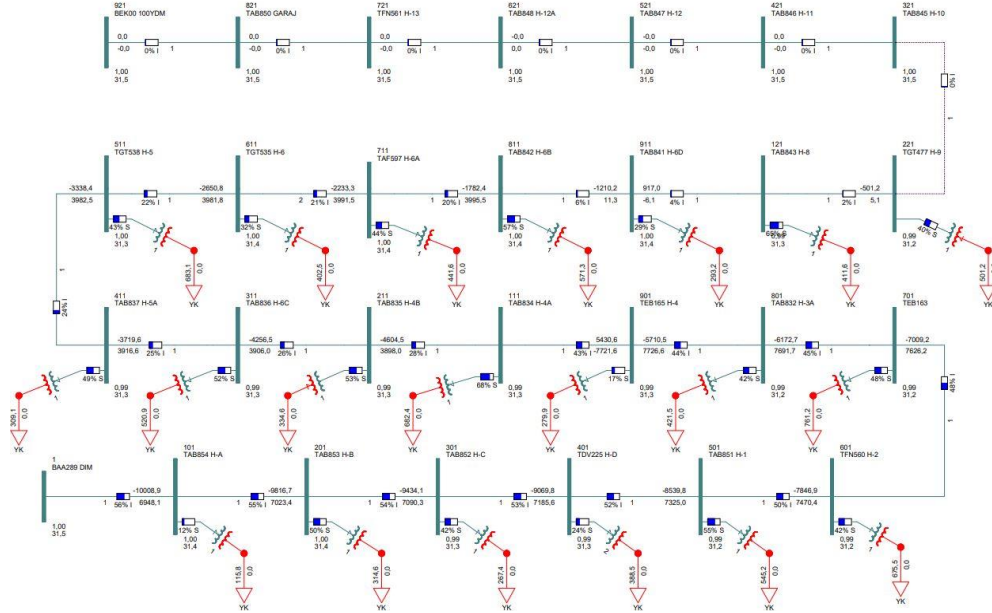
Tasarlanan senaryoların, IEEE Std C57.91 standardına göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu standartlar, transformatörlerin güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için yüklenme seviyeleri hakkında rehberlik sunar. Bu standartlara göre transformatörlerin belirli doluluk oranlarına göre değerlendirilmesi şu şekilde sınıflandırılır:

- **%70 - 80 doluluk oranı:** Optimum yüklenme aralığı olarak kabul edilir. Bu aralıkta transformatör, en verimli şekilde çalışır ve aşırı ısınma ya da ömür kısalması gibi sorunlarla karşılaşma olasılığı düşüktür.
- **%80 - 90 doluluk oranı:** Yüksek doluluk oranı olarak kabul edilir. Bu aralıkta transformatör, hâlâ güvenli sınırlar içinde çalışmaktadır ancak sürekli bu yükte çalışması durumunda verimlilik düşebilir ve ısınma sorunları ortaya çıkabilir.
- **%90 ve üzeri doluluk oranı:** Kritik doluluk seviyesi olarak değerlendirilir. Bu yüklenme seviyesinde transformatörler aşırı yüklenmiş kabul edilir ve sürekli bu yükte çalıştırılmaları, ısınma, yıpranma ve arıza riski gibi ciddi sorunlara yol açabilir.

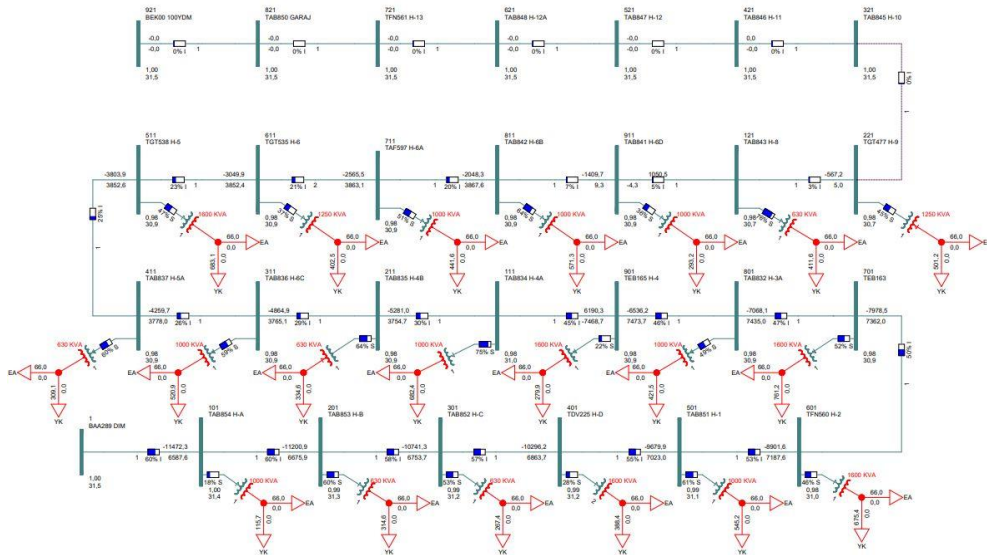
4.1.1. 22 kW EAŞİ'lerin etkisi

Şekil 4.9’da Çankaya ilçesine ait Dikmen dağıtım merkezi (DM) çıkışı dağıtım transformatörlerinin EAŞİ olmadığı durumdaki PSS/E Programında bağlantı modeli

verilmiştir. Şekil 4.10’da ise mevcut yüklerle 3 adet 22 kW EAŞİ eklendiği senaryo modeli sunulmuştur. 20 adet transformatörde ortalama 705 abone bulunmaktadır. Abone sayısının %0,42’sine denk gelen herbir transformatöre 3 adet EAŞİ bağlantısı yapılması senaryosuna göre hesaplama yapıldığında transformatörlerin ortalama %51,56 oranında doluluk gösterdiği görülmüştür.



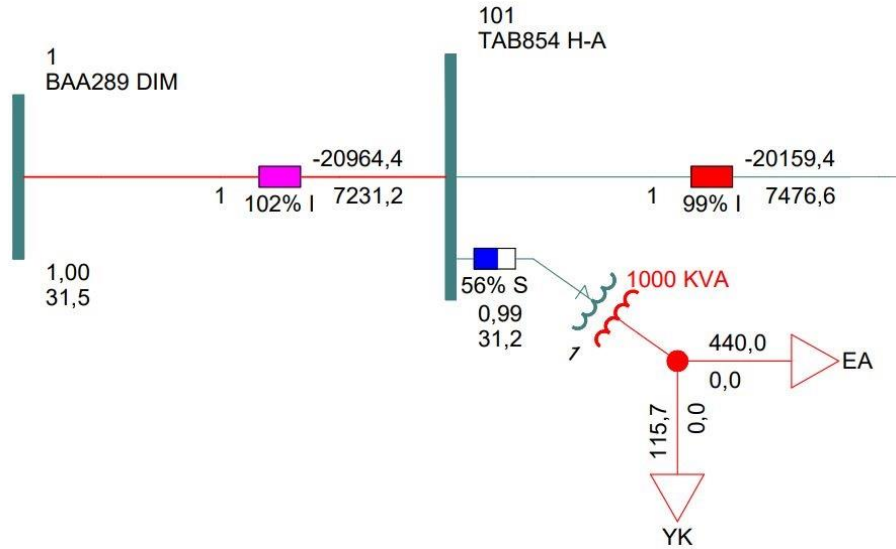
Şekil 4.9. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde EAŞİ yüksüz model



Şekil 4.10. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatörlerde 3 adet 22 kW EAŞİ yüklü model

Mevcut yüklerle, Şekil 4.12’de 20 adet 22 kW EAŞİ eklenmiştir. 20 adet transformatörde ortalama 705 abone bulunmaktadır. Abone sayısının %2,84’üne denk gelen 20 adet EAŞİ’ye göre hesaplama yapıldığında, 4 adet transformatörün optimum doluluk oranına, 2 adet transformatörün yüksek doluluk oranına ve 10 adet transformatörün ise kritik doluluk oranına ulaştığı görülmüştür. Hatta bu kritik doluluk oranına sahip 8 adet transformatörün ise %100’ün üzerinde doluluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak ise transformatörlerin ortalama %91,30 oranında doluluk gösterdiği görülmüştür. Bu değer transformatörlerin kritik doluluk oranında olduğunu göstermektedir. Böyle bir senaryoda transformatörler aşırı yüklenme riski altındadır ve bu durum transformatörün ömrünü kısaltabilir ve/veya arızalara sebep olabilir.

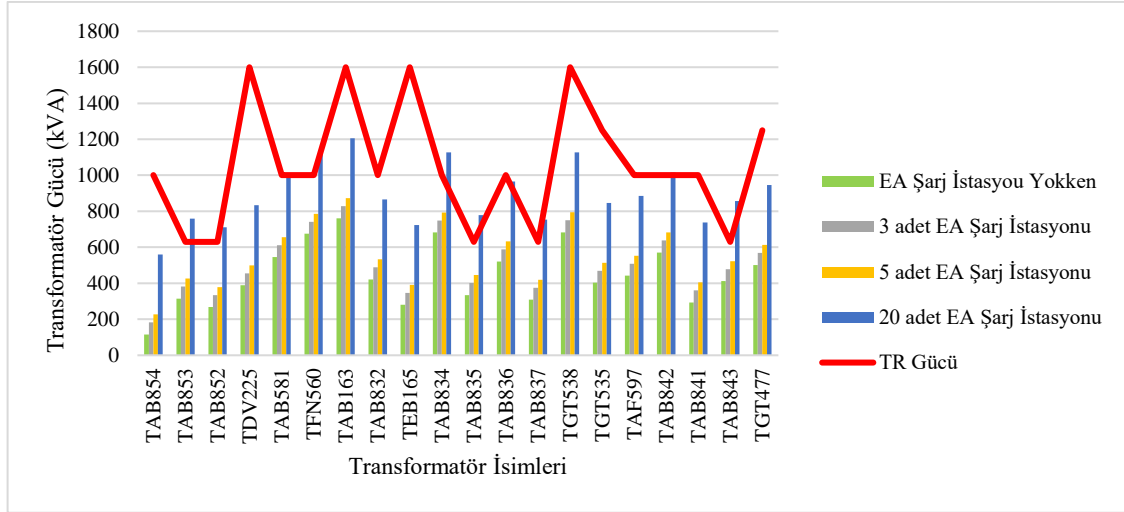
Yukarıdaki şekillerde yer alan transformatörlerden örnek olarak iki tanesi ele alınarak daha yakından görseli Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te sunulmuştur. Şekil 4.13’te PSS/E programdaki modeli gösterilen BAA289 kodlu DM’den çıkan fiderin üzerinde bulunan ilk transformatör olan TAB854 kodlu dağıtım transformatörü 1000 kVA güce sahip olup, 2023 yılındaki puant yükü 115,75 kVA ve abone sayısı 215’tir. Transformatörün 2019 - 2023 yılları arasındaki ortalama yük artış oranı %29,85 olup ortalama abone sayısı artış oranı ise %11,93’tür.



Şekil 4.13. Kentsel bölgede 22 kW EAŞİ'nin bağlandığı TAB854 kodlu transformatör

Modelde YK ile belirtilen sembol 115,75 kVA puant yükünü EA ile belirtilen sembol ise 20 adet 22 kW EAŞİ'nin oluşturacağı 440 kVA EAŞİ yükünü temsil etmektedir. Bu iki yük transformatörde %56 doluluk oranı oluşturmaktadır. TAB854 kodlu transformatör fider üzerindeki ilk transformatör olduğundan dolayı bara geriliminde herhangi bir düşme meydana gelmemektedir. Böyle bir senaryoda BAA289 kodlu dağıtım merkezi ve TAB854 kodlu

yapıldığı senaryoda herhangi bir olumsuz etki oluşmamakta ancak 20 adet EAŞİ bağlantısı yapıldığı senaryoda 8 adet dağıtım transformatörünün gücünün yetersiz kalmaktadır.

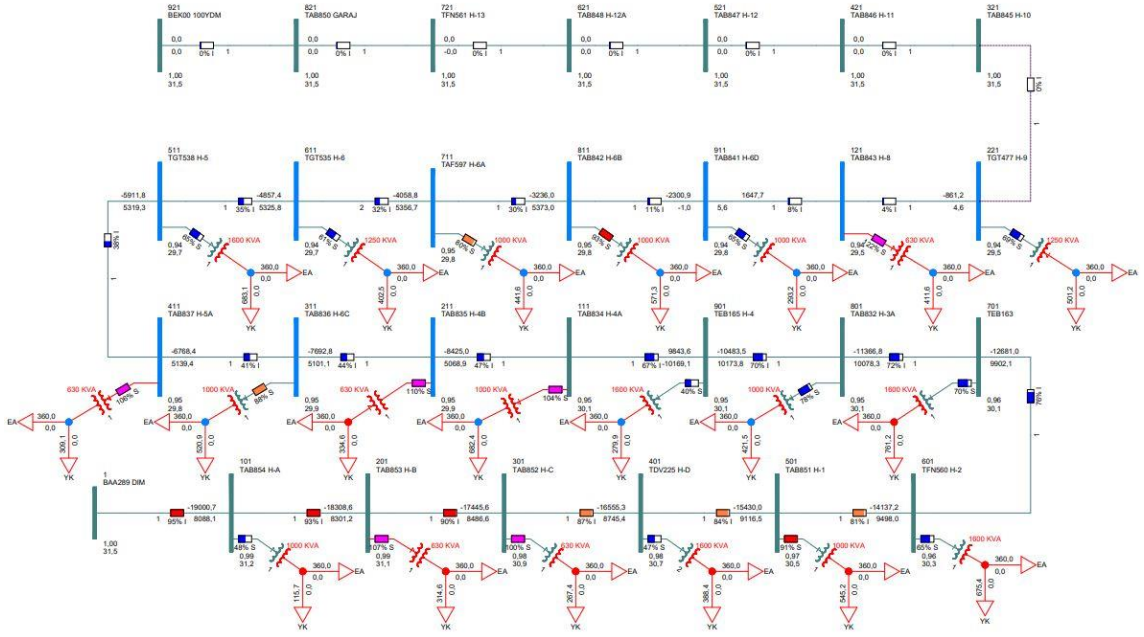


Şekil 4.15. Kentsel bölgedeki dağıtım transformatörlerinin EAŞİ bağlantısız ve üç farklı senaryoda 22 kW EAŞİ bağlantılı güç grafikleri

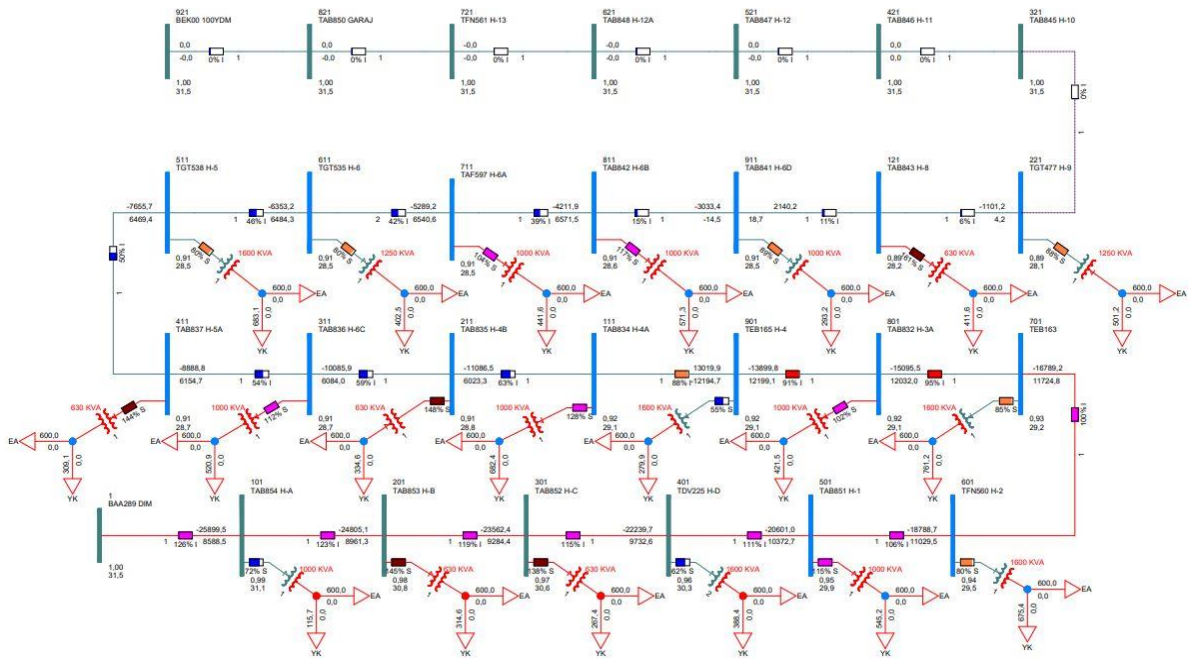
Ayrıca, 2030 yılında hane halkı başına düşen ortalama araç sayısının tahmini olarak %2,48 ile %5,37 arasında olacağı ve her hane halkının en az bir adet elektrik aboneliği olması gerektiği düşünüldüğünde ve 20 adet transformatör de ortalama 705 abone bulunduğunu baz alındığında bu transformatörlerde ortalama 17-37 adet arasında EAŞİ olması gerektiği düşünülebilir. Tablo 2’de belirtilen EPDK araç projeksiyonuna göre, orta ve yüksek senaryoda mevcut elektrik dağıtım şebekesinin bu yükü kaldırmayacağı öngörülmektedir.

4.1.2. 120 kW EAŞİ’lerin etkisi

20 adet transformatörde ortalama 705 abone bulunduğu aynı koşullarda mevcut yüklere 120 kW’lık EAŞİ’lerin eklenmesi durumunda PSS/E programında oluşturulan model Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Abone sayısının %0,42’sine denk gelen her bir transformatöre 3 adet EAŞİ bağlantısı yapılması senaryosuna göre hesaplama yapıldığında 2 adet transformatörün optimum doluluk oranına, 2 adet transformatörün yüksek doluluk oranına ve 8 adet transformatörün ise kritik doluluk oranına ulaştığı görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde ise transformatörlerin ortalama %82,8 gibi yüksek bir oranda doluluğa ulaştığı görülmüştür. Bu oran transformatörlerin tam kapasitesine yaklaştığını gösterir. Bu durumda, aşırı yüklenme riski artar ve transformatör daha sık bakım gerektirir.



Şekil 4.16. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatorlerde 3 adet 120 kW EAŞİ yüklü model

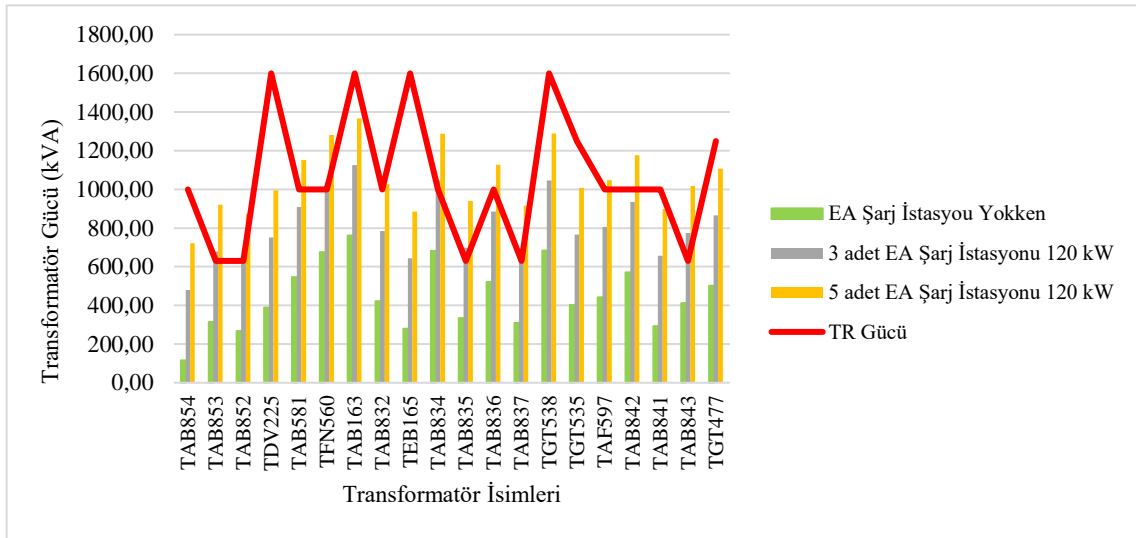


Şekil 4.17. Kentsel bölge Dikmen DM çıkışı transformatorlerde 5 adet 22 kW EAŞİ yüklü model

Şekil 4.17'de mevcut yüklere 5 adet 120 kW EAŞİ'nin eklendiği model gösterilmiştir. 20 adet transformatorde ortalama 705 abone bulunmaktadır. Abone sayısının %0,7'ine denk gelen 5 adet şarj istasyonuna göre hesaplama yapıldığında, 1 adet transformatorün optimum doluluk

oranına, 6 adet transformatörün yüksek doluluk oranına ve 11 adet transformatörün ise kritik doluluk oranına ulaştığı görülmüştür. Kritik doluluk oranına sahip transformatörlerin tamamının %100 üzerinde doluluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise transformatörler ortalama %108 oranında doluluk göstermektedir. Bu oran transformatörlerin aşırı yüklenme riski altında olduğunu göstermekte olup transformatörün ömrünü kısaltabilir ve/veya arızalara sebep olabilir.

Kentsel bölgede (Çankaya ilçesi) yer alan dağıtım transformatörlerinin yük profilleri iki farklı senaryoda (3 ve 5'er adet 120 kW'lık EAŞİ bağlanması durumu) PSS/E programında modellenmiş, incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ile özet olarak Şekil 4.18'deki grafik sunulmuştur. Grafikten de görüleceği üzere 3 adet EAŞİ bağlandığında transformatörlerin 6'sında; 5 adet EAŞİ bağlandığından ise 11'inde transformatörlerinin gücü aşılmaktadır.



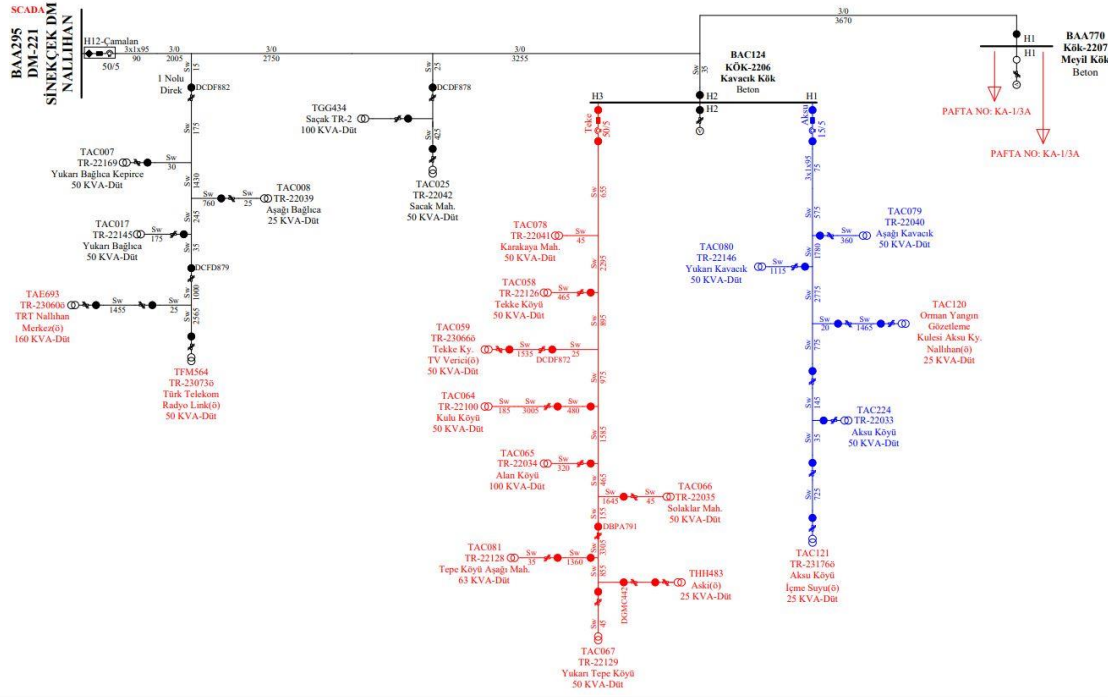
Şekil 4.18. Kentsel bölgedeki dağıtım transformatörlerinin EAŞİ bağlantısız ve iki farklı senaryoda 120 kW EAŞİ bağlantılı güç grafikleri

4.2. Kırsal Bölgede EAŞİ'lerin Dağıtım Şebekesine Etkisi

Kırsal bölgede yer alan transformatörlerin tek hat şema modellenmesi Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Kırsal bölgedeki transformatör güçlerinin kentsel bölgeye göre daha düşük olması sebebiyle 120 kW EAŞİ bağlantısı yapılamamaktadır. Programda 22 kW gücündeki transformatörler modellenmiş ve bu transformatörlere bağlanacak EAŞİ sayıları üzerinden iki farklı senaryo (1 ve 3 adet) yapılmıştır. Bu senaryolar sonucunda, kırsal bölgede bulunan 25 kVA gücündeki transformatörlerde EAŞİ kurulamayacağı görülmüştür. 50 kVA gücündeki

transformatörlerde ise 2 adetten fazla EAŞİ bağlantısı yapılması durumunda transformatörlerin gücünün aşıldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.20’de ise kırsal bölgeye ait CBS görüntüsü verilmiştir. Kırsal bölgede (Nallıhan ilçesi) yer alan dağıtım trafolarının konumları bu şekilde gösterilmektedir.

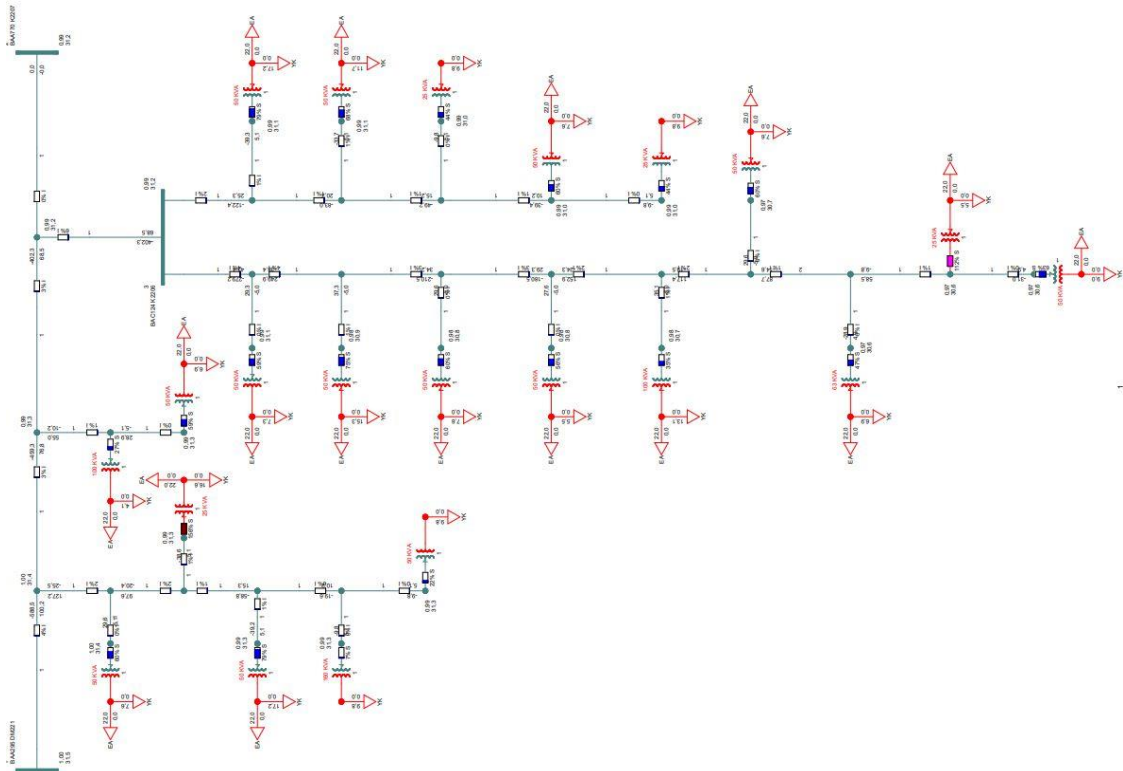


Şekil 4.19. Kırsal bölgenin transformatörlerin bağlantı modellemesi



Şekil 4.20. Kırsal bölgenin CBS görüntüsü

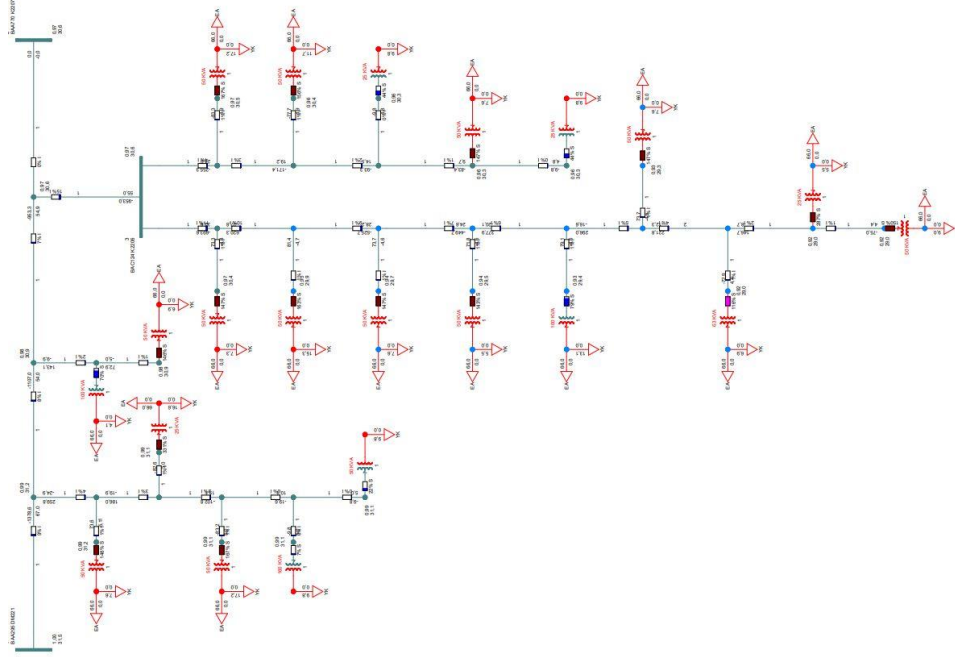
PSS/E Programında mevcut yüklere, Şekil 4.21’de 1 adet 22 kW EAŞİ eklenmiştir. 17 adet transformatörde ortalama 29 abone bulunmaktadır. Abone sayısının %3.45’ine denk gelen 1 adet EAŞİ’ye göre hesaplama yapıldığında, 3 adet transformatörün optimum doluluk oranına ve 2 adet transformatörün ise kritik doluluk oranına ulaştığı görülmüştür. Hatta bu kritik doluluk oranına sahip transformatörlerin tamamının %100 üzerinde doluluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise transformatörlerin ortalama %67.55 oranında doluluğa sahip olacağı görülmüştür.



Şekil 4.21. Kırsal bölge Sinekçek DM çıkışı transformatörlerde 1 adet 22 kW EAŞİ yüklü model

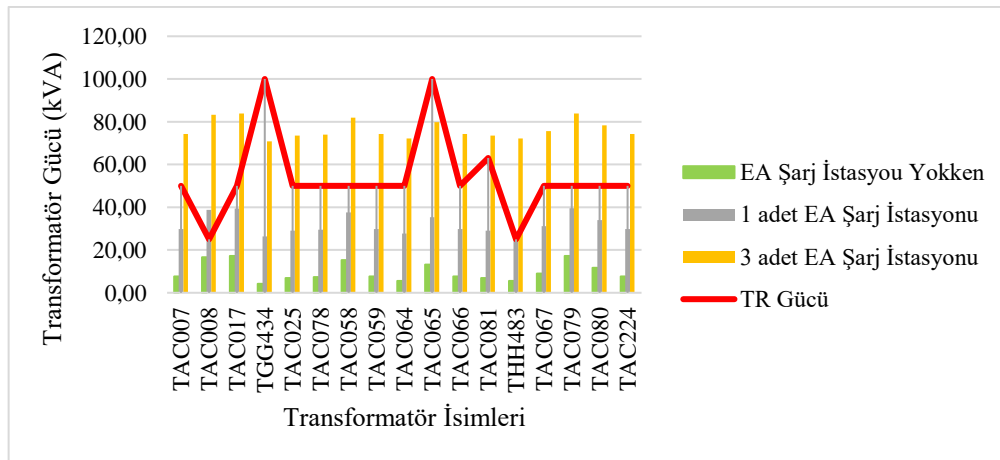
PSS/E Programında mevcut yüklere, Şekil 4.22’de 3 adet 22 kW EAŞİ eklenmiştir. 17 adet transformatörde ortalama 29 abone bulunmaktadır. Abone sayısının %10.34’üne denk gelen 3 adet EAŞİ’ye göre hesaplama yapıldığında, 3 adet transformatörün optimum doluluk oranına ve 17 adet transformatörün ise kritik doluluk oranına ulaştığı görülmüştür. Hatta bu kritik doluluk oranına sahip transformatörlerin tamamının %100 üzerinde doluluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise transformatörlerin ortalama %160.58 oranında doluluğa ulaştığı görülmüştür. Bu kritik doluluk oranında, transformatörler aşırı

yüklenme riski altındadır. Bu durum transformatörün ömrünü kısaltabilir ve/veya arızalara sebep olabilir.



Şekil 4.22. Kırsal bölge Sinekçek DM çıkışı transformatörlerde 3 adet 22 kW EAŞİ yüklü model

Kırsal bölgede (Nallıhan ilçesi) yer alan dağıtım transformatörlerinin yük profilleri iki farklı senaryoda (1 ve 3'er adet 22 kW'lık EAŞİ bağlanması durumu) PSS/E programında modellenmiş, incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ile özet olarak Şekil 4.23'teki grafik sunulmuştur. Grafikten de görüleceği üzere 1 adet EAŞİ bağlandığında transformatörlerin 2'sinde; 3 adet EAŞİ bağlandığından ise 17'sinde transformatörlerin gücü aşılmaktadır.



Şekil 4.23. Kırsal bölgede 22 kW EAŞİ bağlantılarından önce ve sonraki değeri

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması, EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonu sırasında şarj altyapısının dağıtım şebekeleri üzerindeki etkilerini inceleyerek, bu sürecin getirdiği fırsatlar ve zorluklara ışık tutmaktadır. Çalışma kapsamında Ankara'nın kentsel bölgesi olan Çankaya ilçesi ve kırsal bölgesi olan Nallıhan ilçesinde yer alan dağıtım transformatörleri üzerinde analizler yapılmış ve EAŞİ'lerin şebeke üzerindeki etkileri bölgesel bazda değerlendirilmiştir. Farklı senaryolar kullanılarak PSS/E programı ile yapılan modellemeler ile EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte dağıtım şebekelerinde ortaya çıkabilecek transformatör kapasite yetersizliği, gerilim düşüşleri, hat yüklenmeleri ve şebeke kararlılığı sorunları ele alınmıştır. Özellikle hızlı şarj istasyonlarının yoğun kullanıldığı senaryolarda, şebeke üzerinde ani yüklenmeler ve gerilimde dengesizlikler yaşanabileceği vurgulanmıştır.

EAŞİ'lerin enerji taleplerinin şebekeden karşılanacak olması, dağıtım şebekesinde kullanılan tüm elemanların kapasitelerinin zorlanmasına, ömürlerinin azalmasına ve kalitenin düşmesine sebep olabilmektedir. Bu sorunları çözmek için için dağıtım şebekesi ekipmanların kapasitesini artırmak ilk akla gelen yöntem olsa da bu yöntem hem zor hem de maliyetli olmaktadır. Şuan için bu sorunları engellemenin en iyi yolu, dağıtım şebekesini etkili ve verimli kullanmaktır. Özellikle yüksek hızlı şarj istasyonlarının dağıtım şebekesindeki transformatörlere dağılımını dengeli yapmak gerekmektedir. Özellikle gelecek yıllar projeksiyonunda, dağıtım şebekesine yapılacak yatırımların artması olasıdır. Yatırımlar yapılırken tesis edilcek olan transformatör merkezlerinin konumlandırılması ve kapasite planlanması da önem arz etmektedir. Örneğin; yerleşim yerlerinde EAŞİ'ler için otopark alanlarının sayısının artırılması ve bu alanlara ait transformatörlerin tesis edilmesi gerekmektedir. Bu tür yatırımların artmasının en büyük sebepleri de, gelişen teknoloji ve şarj süresini azaltma için EAŞİ'lerin güçlerinin artırılmasıdır.

Bu çalışmanın getirdiği en önemli sonuçlardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarının EAŞİ altyapısına entegrasyonunun sağlanmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş ve rüzgar enerjisinin, EAŞİ'lere entegre edilmesi, hem enerji verimliliğini artırmakta hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır. EA'ların yaygınlaşması çevresel olarak karbon emisyonlarının azaltılması hususunda da önemli bir etkiye sahiptir. EA'ların yenilenebilir enerji ile desteklenmesi, bu araçların çevresel etkilerini en aza indirgeyerek, sürdürülebilir bir ulaşım modeli sunmaktadır.

EAŞİ'lerin dağıtım şebekesi üzerindeki baskılarını hafifletmek ve enerji arz-talep dengesini sağlamak için enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu da büyük bir fırsat sunmaktadır. Özellikle, yüksek hızlı şarj istasyonlarının yoğun kullanıldığı bölgelerde, enerji depolama sistemleri sayesinde şebekenin ani yüklenmelerle karşılaşması önlenir. Şebekenin düşük talep dönemlerinde depolanan enerji, talebin yüksek olduğu zamanlarda kullanılarak şebeke kararlılığı korunabilir. Ayrıca, bu sistemler yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edildiğinde, güneş ve rüzgar enerjisinden elde edilen fazla enerjiyi depolamak ve ihtiyaç duyulduğunda kullanmak mümkün hale gelir. Bu durum, şarj altyapısının hem daha verimli çalışmasını sağlar hem de şebeke üzerindeki enerji yükünü dengeler. Enerji depolama sistemleri, yalnızca şebeke üzerindeki yükü hafifletmekle kalmaz, aynı zamanda elektrik kesintisi durumlarında yedek enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu durum özellikle kritik bölgelerde şarj altyapısının sürekliliğini sağlamak açısından büyük avantaj sağlar. Keza gelecekte de şarj istasyonlarına entegre edilecek enerji depolama sistemleri, EA'ların enerji taleplerine karşı daha esnek ve güvenilir bir altyapı oluşturulmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Günümüzde ve yakın gelecekte EAŞİ'lere yapay zekâ teknolojilerinin entegrasyonu da popüler ve önem arz eden bir konu olup bu entegrasyonun sağlanması EA şarj altyapısının ve dağıtım şebekesinin yönetimi konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Yapay zekâ, EAŞİ'lerdeki enerji talebini gerçek zamanlı analiz ederek, enerji dağıtımını optimize edebilir ve şebekenin daha verimli kullanılmasını sağlayabilir. Örneğin; yapay zekâ algoritmaları, enerji arz-talep verilerini sürekli izleyerek, enerji depolama sistemlerinin ne zaman devreye girmesi gerektiğini belirleyebilir ve şebekedeki dengesizlikleri önleyebilir. Ayrıca, yapay zekâ ile desteklenen talep yanıtı sistemleri, kullanıcıların şarj işlemlerini şebekenin yoğun olmadığı zamanlara yönlendirebilir ve böylece şebeke üzerindeki yük azaltılabilir. Bunun yanı sıra, yapay zekâ ile yönetilen sistemler, şarj istasyonlarının bakım ve performans izleme süreçlerinde kullanılarak arıza risklerini azaltabilir ve verimliliği artırabilir. Yapay zekâ tabanlı çözümler, EA kullanıcılarına da daha kişiselleştirilmiş bir şarj deneyimi sunarak, enerji maliyetlerini düşürmeye ve sürdürülebilirliği artırmaya katkıda bulunur.

Bu tez çalışması, EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonunda şarj altyapısının planlanması ve yönetilmesi konusunda literatüre önemli çıkarımlar sunmaktadır. EAŞİ'lerin yerleşimi ve dağıtım şebekesi üzerindeki yüklerin dengelenmesi, gelecekteki dağıtım şebekelerinin sürdürülebilirliği için kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları ile

entegrasyonun sağlanması, EA'ların çevresel etkilerini azaltarak, daha temiz ve verimli enerji sistemlerinin kurulmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanısıra enerji depolama sistemleri dağıtım şebekesi üzerindeki yükün dengelemesini sağlarken yapay zekâ ile de bütün sistemlerin birbiri ile entegrasyonu sağlamaya olanak sağlayacaktır.

EA'ların yaygınlaşmasının getirdiği enerji talebi ve dağıtım şebekesi üzerindeki baskılar, şarj altyapısının doğru bir şekilde planlanması ve şebekenin bu yeni taleplere uyum sağlayacak şekilde güçlendirilmesiyle aşılabılır. Şarj altyapısının planlanması ve yönetilmesi konusunda yapılan bu analizler, enerji politikalarının ve şehir planlamasının gelecekte nasıl şekillenmesi gerektiği konusunda yol gösterici olacaktır. EA'ların enerji talebindeki etkilerini en iyi şekilde anlamak ve bu talebi karşılayabilecek dağıtım şebekeleri oluşturmak, sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmak için kritik bir adımdır. Gelecekte dağıtım şebekelerinin esnekliği ve kararlılığı açısından EA'ların entegrasyonunun optimize edilmesi, uzun vadeli sürdürülebilirlik hedefleri için büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, EA'ların dağıtım şebekelerine entegrasyonu, dikkatli bir planlama ve yönetim gerektiren karmaşık bir süreçtir. Bu çalışmanın bulguları, EAŞİ'lerin şebeke üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve bu etkilerin nasıl yönetilebileceği konusunda yol gösterici olacaktır. Dağıtım şebekelerinin gelecekteki sürdürülebilirliği için EA'ların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu kritik bir rol oynayacaktır. Özellikler akıllı şebekeler, enerji depolama sistemleri, daha verimli bataryalar ve yapay zekâ gelişimi ile bu entegrasyonun daha yaygın ve verimli hale gelmesi kaçınılmazdır. Ayrıca, politik ve yasal düzenlemeler, ekonomik büyüme ve sosyal değişimler gibi faktörler de EA şarj altyapısının gelecekteki başarısı için önemli rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Acha, S., Green, T. C. & Shah, N. (2011). Optimal Charging Strategies of Electric Vehicles in the UK Power Market. *Innovative Smart Grid Technologies Congress (ISGT)*, Anaheim, CA, USA, pp. 1-8.
- Adak, S., Cangi, H., Kaya R. & Yılmaz, A. S. (2022). Effects of Electric Vehicles and Charging Stations on Microgrid Power Quality. *Gazi University Part A: Engineering and Innovation*, 9(3): 276-286.
- Ahn, C., Li, C. T. & Peng, H. (2011). Optimal Decentralized Charging Control Algorithm for Electrified Vehicles Connected to Smart Grid. *Journal of Power Sources*, 196, 10369-10379.
- Akhavan-Rezai, E., Shaaban, M. F., El-Saadany, E. F. & Zidan, A. (2012). Uncoordinated Charging Impacts of Electrical Vehicles on Electric Distribution Grids: Normal and Fast Charging Comparison. *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, CA, USA, pp. 1-7.
- Babu, R. G. S., Reddy, K. M. V., Shwetha, S., Sivasankari, G. S., Narayanan, K., Sharma, A. & Tellez, A. A. (2024). Techno-Economic Assessment of Distribution System Considering Different Types of Electric Vehicles and Distributed Generators. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 18(9), 1815-1829.
- Baouche, F., Billot, R., Trigui, R. & El Faouzi, N. E. (2014). Efficient Allocation of Electric Vehicles Charging Stations: Optimization Model and Application to a Dense Urban Network. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6(3), 33-43.
- Boulanger, A. G., Chu, A. C., Maxx S. & Waltz D. L. (2011). Vehicle Electrification: Status and Issues. *Proceedings of the IEEE*, 99(6), 1116-1138.
- Clement-Nyns, K., Haesen, E. & Driesen, J. (2010). The Impact of Charging Plug-in Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 371-380.
- Das, S. H., Rahman, M. M., Li, S., & Tan, W. C. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration : A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109618.
- EPDK (2024). *Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-14379/elektrikli-arac-ve-sarj-altyapisi-projeksiyonu- adresinden> 26.09.2024 tarihinde edinilmiştir.
- Evcify (2024). *AC/DC Soket Çıkış Güçlerine Göre Dağılımlar*. <https://evcify.com/veri-platformu>, adresinden 26.09.2024 tarihinde edinilmiştir

- Farkas, C., Szűcs, G. & Prikler, L. (2013) Grid Impacts of Twin EV Fast Charging Stations Placed Alongside a Motorway. *4th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, Siófok, Hungary, 2013, pp. 1-6.
- Fernandez, L. P., Roman, T. G. S., Cossent, R., Domingo, C. M. & Frias, P. (2011). Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(1), 206-213.
- Frade, I., Ribeiro, A., Gonçalves, G. & Antunes, A. P. (2011). Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record*, 2252(1), 91-98.
- Gan, L., Topcu, U. & Low, S. H. (2013). Optimal Decentralized Protocol for Electric Vehicle Charging. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(2), 940-951.
- Grahn, P., Munkhammar, J., Widén, J., Alvehag, K. & Berlin, A. (2013). PHEV Home-Charging Model Based on Residential Activity Patterns. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(3), 2507-2515.
- Habib, S., Khan, M. M., Abbas, F., Sang, L., Shahid, U. M. & Tang, H. (2018). A Comprehensive Study of Implemented International Standards, Technical Challenges, Impacts and Prospects for Electric Vehicles. *IEEE Access*, 6, 13866–13890.
- Haghbin, S., Khan, K., Lundmark, S., Alaküla, Mats., Carlson, O., Leksell, M. & Wallmark, O., (2010). Integrated Chargers for EV's And PHEV's: Examples and New Solutions. *XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Rome, Italy, 2010, pp. 1-6.
- He, Y., Liu, Z. & Song Z. (2020). Optimal Charging Scheduling and Management for a Fast-Charging Battery Electric Bus System. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102056.
- He, Y., Venkatesh, B. & Guan, L. (2012). Optimal Scheduling for Charging and Discharging of Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(3), 1095-1105.
- Hu, J., You, S., Lind, M. & Ostergaard, J. (2013). Coordinated Charging of Electric Vehicles for Congestion Prevention in the Distribution Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 703-711.
- IEA (2024). *Global EV Outlook 2024, Moving Towards Increased Affordability*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> adresinden 26.09.2024 tarihinde edinilmiştir.

- Kaya F. (2023). *Elektrikli Araç Hızlı Şarj İstasyonlarının Şebeke Üzerinde Oluşturduğu Etkilerin Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 835349)
- Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.
- Kılıç, E. (2022). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Enerji Yönetimi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 727849)
- Leou, R. C. & Hung, J. J. (2017). Optimal Charging Schedule Planning and Economic Analysis for Electric Bus Charging Stations. *Energies*, 10(4), 483.
- Li, H., Bai, X. & Tan, W. (2012). Impacts of Plug-in Hybrid Electrical Vehicles Charging on Distribution Grid and Smart Charging. *IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, Auckland, New Zealand, pp. 1-5.
- Liu, R., Dow, L. & Liu, E. (2011). A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities. *Innovative Smart Grid Technologies Congress (ISGT)*, Anaheim, CA, USA, 2011, pp. 1-8.
- Lopes, J. A., Soares, F. J. & Almeida, P. M. (2011). Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 168-183.
- Masoum, A. S., Deilami, S., Moses, P. S. & Siada, A. A. (2010). Impact of Battery Charging Rates of Plug-in Electric Vehicle on Smart Grid Distribution Systems. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, Gothenburg, Sweden, 1-6.
- Mwasilu, F., Justo, J. J., Kim, E. K., Do, T. D. & Jung, J. W. (2014). Electric Vehicles and Smart Grid Interaction: A Review on Vehicle to Grid and Renewable Energy Sources Integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 501-516.
- Nurmuhammed M. (2024). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebekeye Etkisinin Modellenmesi ve Yerleşim Optimizasyonu*. (Doktora Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 858032)
- Polat, Ö. (2015). *Elektrikli Araç Şarj Yüklerinin Raslantısal Benzetimi ve Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 397825)
- Rautiainen, A., Mutanen, A., Repo, S., Järventausta S., Tammi P.A., Ryymin R., Helin J., Unkuri A. & Pekkinen M. (2013). Case Studies on Impacts of Plug-in Vehicle Charging Load on the Planning of Urban Electricity Distribution Grids. *Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, Monte Carlo, Monaco, pp. 1-7.

- Richardson, D. B. (2013). Electric Vehicles and the Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy Integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247-254.
- Santos, P. J., Pires, A. J. & Castro R. (2021). The Impact of Charging Electrical Vehicle in Electrical Public Substations. *IEEE 15th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, Florence, Italy, pp. 14-16.
- Sarker, M. R., Pandzic, H. & Ortega-Vazquez, M. A. (2015). Optimal Operation and Services Scheduling for an Electric Vehicle Battery Swapping Station. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(2), 901-910.
- Schuller, A., Dietz, B., Flath, C. M. & Weinhardt, C. (2014). Charging Strategies for Battery Electric Vehicles: Economic Benchmark and V2G Potential. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(5), 2014-2022.
- Shura (2024). *Ulaştırma Sektörü Dönüşümü: Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekelerine Entegrasyonu*. <https://shura.org.tr/ulastirma-sektoru-donusumu-elektrikli-araclarin-turkiye-dagitim-sebekelerine-entegrasyonu/> adresinden 26.09.2024 tarihinde edinilmiştir.
- Sortomme, E. & El-Sharkawi, M. A. (2012). Optimal Charging Strategies for Unidirectional Vehicle-to-Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(1), 131-138.
- Şahin, E. S. (2024). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesine Bağlantısı ve Etkilerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 863660)
- Şen, Y. R. (2019). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesi Modellemesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 586506)
- Şenlik, İ. (2015). Uyuyan Devrim: Elektrikli Araçlar. *Elektrik Mühendisliği*, 64-67.
- Tan O. (2023). *Araç Şarj İstasyonlarının Trabzon Şebekesine Etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 795401)
- Tang, W. & Zhang, Y. J. (2017). A Model Predictive Control Approach for Low-Complexity Electric Vehicle Charging Scheduling: Optimality and Scalability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32 (2), 1050-1063.
- Tekin, H. İ. (2024). *Elektrikli Araç Şarj Tesislerinin Dağıtım Sisteminin Kapasite Ve Güç Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 880020)

- Temiz, A. (2015). *Elektrikli Araçların Türkiye Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerine Etkilerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 416436)
- Traini, E., Alberto, F., Bruno, G. & Lombardi, F. (2020). Design and Simulation of a Battery Swapping System for Electrical Vehicles. *25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Vienna, Austria, 2020, pp. 837-843.
- TÜİK (2023b) *Nüfus Projeksiyonları*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2023-2100-53699> adresinden 26.09.2024 tarihinde edinilmiştir.
- TÜİK (2023b) *İstatistiklerle Aile 2023*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2023-53784> adresinden 26.09.2024 tarihinde edinilmiştir.
- Ünsal, A. B. (2018). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebekeye Entegrasyonu, Modellemesi ve Güç Akış Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 495279)
- Wang, H., Song, Q., Zhang, L., Wen, F. & Huang, J. (2012). Load Characteristics of Electrical Vehicles in Charging and Discharging States and Impacts on Distribution Systems. *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN)*, Hangzhou, pp. 1-7.
- Wang, J., Liu, C., Ton, D., Zhao, Y., Kim, J. & Vyas, A. (2011). Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power Systems with Demand Response and Wind Power. *Energy Policy*, 39(7), 4016-4021.
- Yazıcı, V. ve Özdemir, E. (2013). Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 23-24 Mayıs, Kocaeli, 288-292.
- Yılmaz, M. & Krein P.T. (2013). Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-in Electric and Hybrid Vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28 (5), 2151-2169.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Umut YILMAZ

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi	İstanbul Üniversitesi	2024
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2023
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Yahya Altınbaş YDA Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017 -	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.	Elektrik - Elektronik Mühendisi
2016 - 2017	Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.	Takım Yöneticisi
2013 - 2016	Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş.	İşletme Mühendisi
2011 - 2013	Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.	Arıza Onarım Bakım Mühendisi
2010 - 2010	Kayseri ve Civarı Elektrik Türk A.Ş.	Stajyer Mühendis