KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJININ ŞEBEKE ETKİSİNİ İYİLEŞTİRMEK İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE DESTEKLENEN ARAÇTAN ŞEBEKEYE (V2G) ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

SAİD YAYLA

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJININ ŞEBEKE ETKİSİNİ İYİLEŞTİRMEK İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE DESTEKLENEN ARAÇTAN ŞEBEKEYE (V2G) ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

SAİD YAYLA

Prof.Dr. Engin Özdemir		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. Ercüment Karakaş		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. Murat Kale		
Jüri Üyesi,	**Düzce Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Murat Ayaz		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Murat Mustafa Savrun		
Jüri Üyesi,	**ATÜ**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede
- başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı, beyan ederim.

■ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler.....tarafından .....kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Said YAYLA

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim. Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

■ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Said YAYLA

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünya, elektriğin fosil yakıtlardan üretilmesi yerine yenilenebilir enerji kaynaklardan üretilmesinin önemini hava kirliliğinin geldiği son durumdan anlamış bulunmaktadır. Dünya'nın artık konvansiyonel motor teknolojisinden elektrikli motor teknolojisine geçmeye karar verdiği bir dönemi yaşamaktayız. Günümüzde elektrikli araçlar, üzerinde elektrik motoru bulunan akıllı cihazlar olarak nitelendirilebilmektedir. Teknolojinin çok hızlı geliştiği ve insanların teknolojiye çok alıştığı bu dönemde insanlar da aracını artık akıllı bir cihaz olarak kullanmayı daha çok istemektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda geçiş süreci hızlanmaktadır. Elektrikli araçların sayısının artması ile birlikte araç bataryalarının şarj ihtiyacı artacak ve şebekeden enerji aktarımı talebi ciddi seviyelere çıkacaktır. Mevcut şebeke yüklerine çok sayıda elektrikli araç şarj yükünün gelmesi ile şebekede problemler oluşacaktır. Şebekenin problemlerinin zamanında incelenmesi ve önleyecek çalışmalarda da teknolojinin kullanılması önem arz etmektedir.

Dünyada hızla gelişmekte olan elektrikli araç teknolojisinin ve elektrikli araçların şebekeye enerji aktarımı konusu üzerinde çalışmak için bana fırsat veren ve tez çalışması sürecinde desteklerini esirgemeyen danışmanım değerli hocam Prof.Dr. Engin Özdemir'e minnettarlığımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Murat Ayaz ve Prof. Dr. Murat Kale hocalarıma ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmayı, maddi ve manevi olarak bana hep destek olan sevgili eşime, birlikte geçireceğimiz zamanların önemli bir kısmını bu süreçte feda eden canım oğluma ve ailemize yeni katılan minik kızıma atfediyorum.

Mayıs 2024 Said YAYLA

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET x
ABSTRACT xi
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Amacı 2
1.2. Literatür Özeti 2
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR 14
2.1. Elektrikli Araç Çeşitleri 14
2.2. Elektrikli Araç Şarj Çeşitleri 19
2.3. Elektrikli Araçların Şebekeye Bağlanması ve TR'de Şarj Altyapısı 22
2.4. Türkiye'de ve Avrupa'da Elektrikli Araç Beklentileri 24
2.5. Yerli araç TOGG ve TR'de Yaygın Satılan Araçlar 26
2.6. Elektrikli Araçlar ile Enerji İhtiyacının Değişimi 29
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR ŞEBEKE ENTEGRASYONU 32
3.1. V2G 32
3.2. V2H 33
3.3. V2B 34
3.4. V2L 35
3.5. V2V 36
3.6. V2X Haberleşme Konsepti 37
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞEBEKE ETKİSİNİN İNCELENMESİ 40
4.1. Trafo Merkezi Bölgesi ve Özellikleri 40
4.2. Trafo Merkezinde 2025 ve 2030 Yıllarında EA Projeksiyonu 44
4.3. Elektrikli Araçların Şarj Periyotları ve Saatleri 45
4.4. Elektrik Kullanıcılarının ve EA Sahiplerinin Numaralandırılması 47
5. ÖNERİLEN ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ 49
5.1. Kontrollü Şarj 53
5.2. PV Desteği 55
5.3. Araçtan Şebekeye Enerji Aktarımı (V2G) 56
5.4. Durum İzleme Arayüzü 57
5.5. Elektrikli Araç Şarjı ile Bina Güç Değişimi 61
5.6. Kış ve İlkbahar Ayları İçin Sonuçlar 62
5.7. Yaz ve Sonbahar Ayları İçin Sonuçlar 67
5.8. PV Değişimi İçin Yapılan Projeksiyon Çalışması ve Sonuçları 70
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 74
KAYNAKLAR 79
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 86
ÖZGEÇMİŞ 87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Toplayıcı özelliği olan ve enerji yönetim sistemli bir ev (BEYS) 2
Şekil 1.2. EA hafta içi ve hafta sonu tahmini şarj profilleri 7
Şekil 1.3. Orta senaryo için kontrolsüz şarj tahmini 2017-2030 8
Şekil 1.4. Orta senaryo için 2030 Enerji kapasite dağılımı 10
Şekil 1.5. Kaliforniya'da yıllara göre değişen ördek eğrisi 10
Şekil 1.6. Farklı projeksiyonlara göre durumların kıyaslanması 12
Şekil 1.7. 2030 da bir Nisan günü ördek eğrisi 12
Şekil 1.8. Avrupa ülkeleri arasında elektrik üretiminde güneşin payı, 2023 13
Şekil 2.1. Hibrit elektrikli araç yapısı 15
Şekil 2.2. Dışarıdan şarj edilebilen elektrikli araç yapısı 16
Şekil 2.3. Bataryalı elektrikli araç yapısı 17
Şekil 2.4. Yakıt pilli hibrit elektrikli araç yapısı 18
Şekil 2.5. IEC-61851 standardına göre 4 farklı şarj modu 20
Şekil 2.6. Şebeke akımına göre şarj isimlendirilmeleri 21
Şekil 2.7. 2017-2021 yılları arası Avrupa'da yakıt tipine göre satış rakamları 24
Şekil 2.8. 2019, 2020 ve 2021 farklı yakıt tipindeki araçların satış oranları 25
Şekil 2.9. Türkiye'deki son üç yılın EA satış rakamları 25
Şekil 2.10. Türkiye'de 2023 yılı markalara göre EA satış rakamları 26
Şekil 2.11. Türkiye'nin ilk yerli otomobili marka ve modeli TOGG 10X 27
Şekil 2.12. Türkiye için yıllara göre değişen ördek eğrisi 30
Şekil 2.13. V2G ile yük dengeleme ve pik tıraşlamayı gösteren örnek grafik 31
Şekil 3.1. V2I konsepti 32
Şekil 3.2. V2G Sistem mimarisi ve bulut tabanlı bir enerji yönetimi örneği 33
Şekil 3.3. V2H sistem 34
Şekil 3.4. V2B sistem 35
Şekil 3.5. V2L sistem 36
Şekil 3.6. Acil durumlarda V2L sistem uygulamaları 36
Şekil 3.7. V2V sistemi 37
Şekil 3.8. V2X haberleşme konsepti 37
Şekil 3.9. V2V örneği 38
Şekil 3.10. Acil durum aracı ile bir otobüsün V2V haberleşmesi 39
Şekil 4.1. Trafo merkezinin abonelerinin bulunduğu bölge 43
Şekil 4.2. 10 Mart 2020 trafodan çekilen toplam güç değişimi 43
Şekil 4.3. 10 Mart 2020 bir aboneye düşen ortalama güç değişimi 44
Şekil 4.4. Trafo bölgesi ada, bina ve kullanıcı numaralandırılmaları 48
Şekil 5.1. Detaylandırılmış metodolojik şema 50
Şekil 5.2. Durum-0 blok şeması 51
Şekil 5.3. Durum-1 blok şeması 52
Şekil 5.4. Durum-2 blok şeması 52
Şekil 5.5. Durum-3 blok şeması 53
Şekil 5.6. Durum-4 blok şeması 53
Şekil 5.7. Kontrollü şarj algoritması akış diyagramı 54
Şekil 5.8. Ocak ayı için bir günlük ışınım verisinin saatlik değişim grafiği 55
Şekil 5.9. Temmuz ayı için günlük ışınım verisinin saatlik değişimi 56
Şekil 5.10. V2G Enerji yönetimi algoritması 57
Şekil 5.11. Trafo izleme arayüz sayfası 58

Şekil 5.12. Trafo bölgesi 2020 yılı bina ve ada numaraları 58
Şekil 5.13. Trafo bölgesi 2025 yılında tahmini EA ve PV olan binalar 59
Şekil 5.14. Trafo bölgesi 2030 yılında tahmini EA ve PV olan binalar 60
Şekil 5.15. Bina bazlı detay sayfası 60
Şekil 5.16. Dört dairelik bina yükü ve gündüz şarjı 61
Şekil 5.17. Beş dairelik bir bina yükü ve akşam şarjı 61
Şekil 5.18. 24 saatlik 30 Ocak 2025 tarihi güç eğrisi tahmini 62
Şekil 5.19. 24 saatlik 31 Ocak 2025 tarihi Durum-(1,2) güç eğrisi tahmini 64
Şekil 5.20. 24 saatlik 31 Ocak 2025 tarihi Durum-(3,4) güç eğrisi tahmini 64
Şekil 5.21. 24 saatlik 30 Ocak 2030 tarihi güç eğrisi tahmini 65
Şekil 5.22. 24 saatlik 31 Ocak 2030 tarihi Durum-(3,4) güç eğrisi tahmini 66
Şekil 5.23. 30 Mart 2025 güç eğrisi tahmini 67
Şekil 5.24. 30 Mart 2030 güç eğrisi tahmini 67
Şekil 5.25. 28 Haziran 2025 güç eğrisi tahmini 68
Şekil 5.26. 28 Haziran 2030 güç eğrisi tahmini 68
Şekil 5.27. 25 Kasım 2025 güç eğrisi tahmini 69
Şekil 5.28. 25 Kasım 2030 güç eğrisi tahmini 69
Şekil 5.29. 30 Ocak 2025 tarihi için a) Pr-1 b) Pr-2 c) Pr-3 71
Şekil 5.30. 28 Haziran 2030 tarihi için a) Pr-1 b) Pr-2 c) Pr-3 72

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. 2030 Kaliforniya için EA varsayımları 7
Tablo 1.2. EA yıllık şarj Talebi (V2G-SIM Analizi, 2030) 8
Tablo 1.3 Yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üretim kapasitesi..... 9
Tablo 2.1. Elektrikli araç tipleri arasındaki avantaj ve dezavantajlar 19
Tablo 2.2. Konnektör tipleri marka uygunluğu ve açıklamaları..... 23
Tablo 2.3. Türkiye'de şarj noktası sayısı projeksiyonu..... 24
Tablo 2.4. Türkiye'de EA projeksiyonu..... 26
Tablo 2.5. Marka model teknik özellik tablosu..... 28
Tablo 4.1. 10 Mart 2020 gününe ait ilk 24 verisi (6 saatlik)..... 41
Tablo 4.2. 10 Mart 2020 hesaplanan ve abone başına ortalama görünür güç 42
Tablo 4.3. 2025 ve 2030 yılı için trafo merkezindeki araç sayısı projeksiyonu..... 45
Tablo 4.4. Ocak ayında şarjın yapıldığı gün ve saatleri 46
Tablo 4.5. Yıl içerisinde şarj çakışmalarının olduğu günler..... 47
Tablo 5.1. Fotovoltaik analiz için oluşturulan PV projeksiyonları..... 70
Tablo 6.1. 30 Ocak günü durum tahminleri ve iyileştirme oranları 74
Tablo 6.2. 28 Haziran günü durum tahminleri ve iyileştirme oranları..... 75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Akım
CO_2 : Karbondioksit
E : Enerji, (J, kWs)
f : Frekans, (Hz)
GW : Gigawatt
H : Işınım
H_2 : Hidrojen
HP : Horse Power
km : Kilometre
kW : Kilowatt
kWh : Kilowattsaat
Li : Lityum
Li-ion : Lityum İyon
MW : Megawatt
Nm : Newton Metre
P : Aktif Güç
Q : Reaktif Güç
s : Saniye
S : Görünür Güç
TW : Terawatt
TWh : Terawattsaat
V : Gerilim

Kısaltmalar

AB : Avrupa Birliği
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AC : Alternative Current (Alternatif Akım)
BEYS : Bina Enerji Yönetim Sistemi
BEMS : Building Energy Management System
BEV : Battery Electric Vehicle
BEA : Bataryalı Elektrikli Araç
CEC : California Energy Commission (Kaliforniya Enerji Komisyonu)
CCS : Combine Charge System (Kombine Şarj Sistemi)
CHAdeMO : Charge de Move (taşıma şarjı)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DR : Demand respose (Talep Yanıtı)
EA : Elektrikli Araç
EV : Electric Vehicle
FCEV : Fuel Cell Electric Vehicle (Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar)
GES : Güneş Enerji Santralleri
G2V : Grid to Vehicle (Araçtan Şebekeye)
HEV : Hybrid Electric Vehicle
HEA : Hibrit Elektrikli Araç
IEA : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IEC : International Electrotechnical Com. (Uluslararası Elektroteknik Kurulu)

LBNL : Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı
PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PEV : Plug-in Electric Vehicle
PV : Photovoltaic (Foto voltaik)
PVGIS : Photovoltaic Geographical Information System (PV Bilgi Sistemi)
RPS : Renewable Portfolio Standard (Yenilenebilir Portföy Standardı)
ŞEA : Şarj Edilebilir Elektrikli Araç
SoC : State of Charge (Şarj Durumu)
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurum
TTY : Talep Tarafı Yönetimi
TEHAD : Türkiye Elektrikli Hibrit Araçlar Derneği
TOGG : Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
V2G : Vehicle to Grid (Araçtan Şebekeye)
V2H : Vehicle to Home (Araçtan Eve)
V2X : Vehicle to Anything (Araçtan Her Şeye)
V2B : Vehicle to Building (Araçtan Binaya)
V1G : EA Tek Yönlü Şarj
VGI : Vehicle Grid Integration (Araç Şebeke Entegrasyonu)
V2I : Vehicle to Infrastructure (Araçtan Altyapıya)
V2L : Vehicle-to-Load (Araçtan Yüke)
V2N : Vehicle to Network (Araçtan Ağa)
V2P : Vehicle to Pedestrian (Araçtan Yaya)
V2V : Vehicle-to-Vehicle (Araçtan Araca)
WLTP : Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure
YHEA : Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJININ ŞEBEKE ETKİSİNİ İYİLEŞTİRMEK İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE DESTEKLENEN ARAÇTAN ŞEBEKEYE (V2G) ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

ÖZET

Hızla gelişen teknoloji ile beraber fosil yakıtlı araçların yerini elektrikli araçlar (EA) almaktadır. Elektrikli araçların şarj edilmesi ile şebeke üzerinde oluşturacağı yüklerin artması ve buna bağlı olarak şebeke, trafo ve altyapı problemlerinin ortaya çıkması beklenmektedir. Ortaya çıkan problemlerin çözümleri literatürdeki yönetilen şarj, yenilenebilir enerji ve V2G örnekleri ile anlatılmaktadır. Çalışmalardan belirlenen yöntemler ile şebeke iyileştirmesini sağlayacak durumlar oluşturulmuştur. Bu çalışma, enerji akışını etkili bir şekilde yönetmek için elektrikli araçların (EA'lar) ve fotovoltaik (PV) enerji kaynaklarının akıllı şarj algoritmalarının birlikte entegrasyonu ile şebeke iyileştirmelerini göstermektedir. EA'ların V2G kapasitesinden yararlanarak, bunların şebeke ve PV kaynakları ile etkileşimini optimize ederek enerji maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen algoritma, trafo yük oranları, güneş enerjisi üretimi ve araç akülerinin şarj durumu gibi çeşitli parametreleri dikkate almaktadır. Algoritmalar, elektrik dağıtım şirketinden mahalledeki önceden belirlenmiş bir trafoya ait bir yıllık gerçek zamanlı verilerin alınmasıyla uygulanmaktadır. EA sayısı 2025 ve 2030 yılları için tahmin edilmektedir. EA'yı kontrollü şarj algoritmasıyla şarj eden enerji yönetim sistemlerine (BEMS) sahip binalar, PV ile yenilenebilir enerji desteği sağlamakta ve V2G algoritması ile yoğun saatlerde trafo yükünü azaltmaktadır. Simülasyon sonuçları, elektrikli araç sayısı arttıkça yenilenebilir enerji kaynağı desteğinin ve kontrollü şarj algoritmasının tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Ancak kontrollü şarj algoritması ve PV'ye ek olarak V2G algoritması kullanılarak enerji maliyetlerinin ve şebeke yüklerinin başarıyla en aza indirildiği gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bina Enerji Yönetim Sistemi, EA Şarj Yönetimi, Elektrikli Araç, V2G, Yenilenebilir Enerji.

VEHICLE-TO-GRID (V2G) ENERGY MANAGEMENT SYSTEM SUPPORTED BY RENEWABLE ENERGY SOURCES TO IMPROVE THE GRID EFFECT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING

ABSTRACT

Electric vehicles (EVs) started to replace the fossil fuel vehicles with the rapidly developing technology as well as economic and environmental concerns. It is expected that the loads on the electricity grid will increase and accordingly grid, transformer, and infrastructure problems will arise with the spread of EVs. Solutions to the emerging problems are explained with managed charging, renewable energy and V2G examples in the literature. This study demonstrates grid improvements with results considering the integration of smart charging algorithms of EVs and PV energy sources to effectively manage energy flow. It aims to minimize energy costs by leveraging V2G capability of EVs and optimizing their interaction with the grid and PV sources. The proposed algorithm takes into account various parameters such as transformer load ratios, solar power generation, and SoC. The algorithms are implemented by acquiring one year's real-time data of a predetermined transformer in a neighborhood from the electricity distribution company. The number of EV is estimated for the years 2025 and 2030. Buildings with BEMS, which charge EV with a controlled charging algorithm, provide renewable energy support with PV and reduce the transformer load during peak hours with the V2G algorithm. Simulation results demonstrate that as the number of EVs increases, renewable energy source support and controlled charging algorithm alone are not sufficient. However, it demonstrate that energy costs and grid stress are successfully minimized by using the V2G algorithm in addition to controlled charging algorithm and PV.

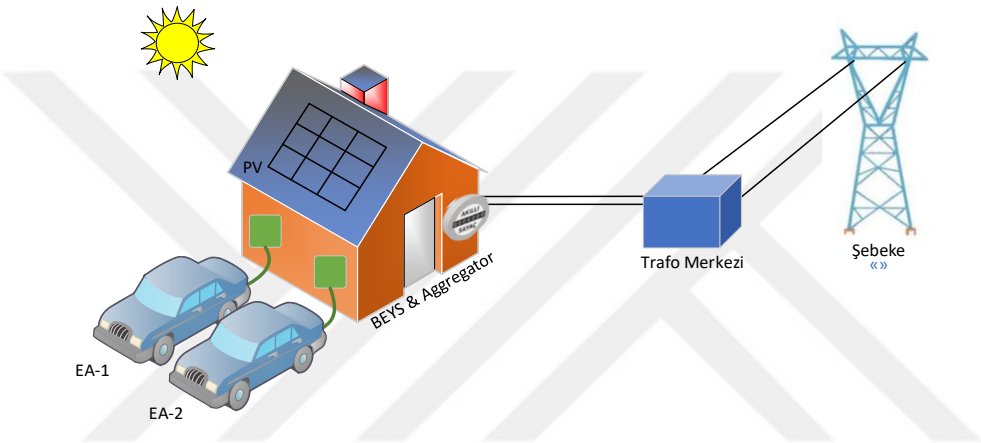
Keywords: BEMS, Electrical Vehicle, EV charge management, V2G, Renewable Energy.

1. GİRİŞ

Elektrikli araçların satış sayısı her yılın satış rakamlarına bakıldığında hızlı bir şekilde artmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla her araç için belirli periyotla şarj işlemi artacaktır. Bu da şebeke gücünün daha fazla tüketilmesine sebep olacaktır. Kontrolsüz EA şarjı, dağıtım sisteminin güç kalitesini bozacak ve enerji verimliliğini de düşürecektir (Martirano ve diğ., 2019). EA yükleri, dağıtım sisteminin önemli noktası olan dağıtım trafolarında aşırı yükler oluşturacaktır (Pouladi ve diğ., 2017). Bu aşırı yüklerden dolayı şebekeye bağlı bazı dağıtım trafolarının kapasitesi yetersiz kalacaktır. Dağıtım trafolarının kapasite sınırlarında ve üzerinde uzun süreli kullanılması trafo iç sıcaklığını artıracaktır. Bu da yalıtımların bozulmasına ve insan hayatını tehlikeye atan ölümcül durumlara yol açacaktır (Zheng ve diğ., 2019). Kapasite artırımı için trafo değişiklikleri, altyapı yatırımları gibi maliyetler gerekecektir. Bunların yapılabilmesi için de belirli bir zaman gerekecektir. Elektrikli araçların yaygınlaşması hızlı bir şekilde olursa enerji talebi de hızlı bir şekilde artacaktır. Şebekenin buna uygun olması gerekmektedir. Şebeke üzerinde oluşacak güç talebinin dengelenebilmesi ve şebeke tarafında aşırı yüklenmelerin önüne geçilebilmesi adına talep dengelemesi gibi ilave çözüm ve yöntemler gerekecektir (2019-2023 Stratejik Plan, 2020). Elektrik ihtiyacının giderilmesindeki ilk çözüm yollarından biri yenilenebilir enerji kaynağı ile elektrik üretimi olmaktadır. EA kullanıcılarının yenilenebilir enerji uygulaması konut düzeyinde daha çok fotovoltaik (PV) ile mümkün olmaktadır. Bina çatı uygulamalarında rüzgârdan çok PV görülmektedir. PV ile elektrik enerjisi desteği gün ışığı saatlerinde olmakta ve bu da akşamda oluşacak yükleri indirgemede bir çözüm sunmayacaktır. Elektrikli araçların şarjlarının kullanıcı özelinde akşam saatlerinde yapılma durumu da göz önüne alınması gerekmektedir. Elektrikli araçların şebekeden şarj edilmesi şebekeden araca (G2V) olarak tanımlanmaktadır (İnci ve diğ., 2022). Bununla birlikte, sisteme enerji aktarımı için izin verilen EA'lar, tek yönlü ve/veya çift yönlü dönüştürücü arayüzleri aracılığıyla şebekeye elektrik enerjisi sağlayabilmektedir. Elektrikli araçların doldurulan bataryalarından şebekeye elektrik gücü sağlamasına araçtan şebekeye (V2G) adı verilmektedir (İnci ve diğ., 2022). Güneş enerjisi ve V2G kabiliyetini içeren bina enerji yönetim sisteminin (BEYS) olduğu evler enerjinin yönetimi için uygun yöntemleri sunmaktadır (Sangswang ve Konghirum, 2020).

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, çatısında PV paneli olan, BEYS ile enerji yönetimi yapabilen, talep toplayıcı özelliği olan Şekil 1.1'deki gibi binaların sisteme sağlayacağı enerji katkısı incelenmektedir. Bu binaların bu teknoloji olmaksızın mevcut durumda oluşturduğu yükler, bu teknolojilerin eklenmesi ile BEYS özellikli binalarda oluşacak olan tahmini yükler ile karşılaştırılacaktır. Trafo bölgesinde oluşan yüklerin, yenilenebilir enerji, yazılım ve teknolojiyi içeren akıllı enerji yönetimi ile olumlu yönde değiştiği gözlemlenecektir.



Şekil 1.1. Toplayıcı özelliği olan ve enerji yönetim sistemli bir ev (BEYS)

1.2. Literatür Özeti

Elektrikli araç kullanıcılarının araç bataryalarını şehirler arası yolculuklar haricinde evde şarj edilmesi beklenmektedir. Evde şarjın bir elektrik abonesi üzerinden sağlanması gerekmektedir. Elektrik abonelerinin mevcut durumda kullandığı enerji gün içerisindeki saatlerde farklılık göstermektedir. Özellikle akşam saatlerinden güç tüketimi en yüksek seviyelere çıkmaktadır (Sachan, 2022). Buna bir de şarj işlemlerinden gelecek yükler eklenecek ve enerji talebi artacaktır. Sınırlı sayıda halka açık şarj ve yavaş ta olsa evde şarj edebilme imkânı sebebiyle çoğu EA kullanıcısı araçlarını evde şarj etmek isteyecektir (Akil ve diğ., 2022). Ortalama tüketime sahip bir evde EA şarj esnasında enerji tüketiminin iki katına çıkması beklenmektedir (Das ve diğ., 2022). Artan enerji talebini öncelikle kontrollü şarj ile elektrik tüketim/üretim oranın az olduğu saatlere kaydırılması gerekmektedir (Selvam ve Subramani, 2023). Yük kaydırması dağıtım trafolarındaki problemleri biraz azaltacaktır ve kullanım

ömrünü uzatacaktır (Calearo de diğ., 2019). Dağıtım trafolarındaki aşırı yüklenmeyi azaltmak için ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik (PV) çatı uygulamaları ile enerji üretiminin artırılması gerekmektedir. PV teknolojisi, halihazırda mevcut geleneksel güç üretim sistemlerine yardımcı olması itibari ile şebeke için önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Liu ve diğ., 2019; Prasad ve diğ., 2002). EA'ların yaygınlaşması ile şebekede yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı da artacaktır (Lopes ve diğ., 2019). Ancak yenilenebilir enerji ile desteklenen dağıtım şebekelerinde arz belirsizliği ve talep uyumsuzluğu gibi problemler de ortaya çıkmaktadır (Sangswang ve Konghirun, 2020; Kaveh ve diğ., 2014). Bu durum şebeke yükünün yalnızca yenilenebilir enerji ile düzenlenemeyeceğini göstermekte ve elektrikli araçlar için araçtan şebekeye (V2G) enerji aktarımı uygulamaları ile şebekenin desteklenebileceği çözümüne götürmektedir.

Tüm ulaşım araçlarının çoğu, günün çoğu saatinde park halinde kalmakta, burada kullanılmayan bir enerji olduğunu ortaya çıkarmaktadır (Shakeel ve Malik, 2019). V2G ile EA'ların güç sistemine entegrasyonu büyük ölçüde mümkündür (Deb ve diğ., 2023; Patel ve diğ., 2019). V2G, akıllı şarj sisteminin önemli bir parçası olup şarj ve deşarj sürecini takip edip yöneten bir merkez konumundadır (Kocer ve diğ., 2021). EA'lar, fazla enerjiyi (G2V) depolayarak ve gerektiğinde şebekeye elektriği geri göndererek (V2G) mikro şebeke enerji yönetimine yardımcı olabilir (Deb ve diğ., 2023; Tan ve diğ., 2019). Böylece EA bataryaları günün bazı saatlerinde evlerin enerji taleplerini karşılayabilecek bazı saatlerinde ise şebekeye satabilecektir (Hemmati ve diğ., 2019). Yakın gelecekte EA'ların şebekeye elektrik satışıyla frekans düzenleme hizmeti sağlaması beklenmektedir. Bu da bu hizmeti sağlayan EA sahiplerine ek gelir kaynağı olacak ve avantajlar sunacaktır (Sortomme ve El-Sharkawi, 2011). Elektrikli araçların güç tedarikçileri ile iki yönlü enerji ve elektrik alışverişinde bulunması şebekeyi daha verimli hale getirecek ve kararsızlıkları azaltacaktır (Xu ve diğ., 2021).

V2G teknolojisinin geliştirilmesi, çift yönlü şarj ve deşarjın kontrolü dahil olmak üzere şebeke ile daha iyi enerji yönetimini mümkün kılmıştır (Gunes ve Zehir 2022). Bunların verimli ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için yenilenebilir enerji üretimi ve akıllı enerji yönetimi ile ilgili çeşitli çalışmaların yapılması gerekmektedir. Güneş enerjisi ve V2G kabiliyetini içeren bina enerji yönetim sisteminin (BEYS) olduğu evler enerjinin

yönetimi için uygun yöntemleri sunmaktadır (Sangswang ve Konghirun, 2020). BEYS olan bir evde akıllı cihazlar ile sürekli haberleşme halinde olup, gelen verilere göre uzaktan otomatik yazılımlar ile kontrol mümkün olmaktadır (Duman ve diğ., 2021). Talep yanıtı (DR) ve öz tüketim yoluyla elektrik faturalarında önemli seviyelerde tasarruf yapılıp enerji arbitrajı sağlayabilirler (Duman ve diğ., 2021). BEYS sistemlerinde genellikle araçtan eve teknolojisi (V2H) görülmektedir. V2H teknolojisi ve PV birleşik sisteminde akıllı cihazlar optimum bir şekilde programlanarak elektrik taleplerini bina enerji yönetim sistemi ile kontrol edilmektedir (Slama, 2021).

Çok sayıda EA bir araya gelmesinden sonra bunların şarj ve deşarj saatlerinin düzenlemesi gerekmektedir (Erdinc ve diğ., 2022). Yük merkezinden gücün ne zaman alınacağı konusunda komut alan ve buna göre EA'ların şarjı için zaman planı yapan sistemlere talep toplayıcı denir (Patel ve diğ., 2019; Sengor ve diğ., 2020). EA talep toplayıcıları genellikle çok sayıda EA'nın bulunduğu park alanlarında frekans düzenleme hizmetine katılmaktadır (Guzel ve Gol, 2022; Han ve Sezaki, 2010). Daire sayısı fazla olan binalarda, ileride EA sayısı arttıkça her bina için talep toplayıcı özelliği olan bir frekans düzenleyici gerekecektir.

BEYS sisteminin bir şebeke sisteminde uygulanabilmesi için temelde sistemin akıllı şebeke olması gerekmektedir. Akıllı şebekeler, çift yönlü enerji akışına, veri işleme ve veri iletme teknolojisine sahip elektrik şebekesi modelidir (Meral, 2023). Akıllı şebekeler bu özellikleri ile elektriği üretim noktalarından tüketiciye kontrollü bir şekilde iletebilmektedir (Meral, 2023). Akıllı şebekelerde enerjinin üretim ve dağıtım süreçlerini optimize etmek için arz ve talep tarafı kavramları oluşmaktadır (Mir ve diğ., 2021). Akıllı şebekelerde üretilen gücün yönetilmesi, günün kritik saatlerinde aşırı yüklenme ile oluşan problemlerin azalmasına ve çözülmesine sebep olacaktır. Akıllı şebekelerde talep tarafı yönetimi (TTY) çalışmaları, EA'lar ile enerji ihtiyacının arttığı bu dönemde ayrıca önem kazanmaktadır. TTY yöntemi ile akıllı şebekede, puant yüklerin oluşması engellenebilmekte ve tepe ortalama oranı önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Meral, 2023). EA kullanıcılarının V2G (Araçtan şebekeye), V2X (Araçtan her şeye), V2B (Araçtan binaya) gibi teknoloji tabanlarını kullanarak TTY ile iletişim halinde akıllı şebekeye desteği de bu iyileştirmelere destek imkanını doğuracaktır.

Kaliforniya elektrik şebekesinin modellenmesi ve elektrikli araçlarla yenilenebilir enerji entegrasyonu için yapılan California Case çalışması incelendiğinde bizim yapacağımız çalışmaya temel oluşturacağı görülmektedir. Bu çalışma, 2030 yılında Kaliforniya'daki yenilenebilir kaynakları şebekeye entegre etmek için, kontrolsüz, tek yönlü (V1G) ve çift yönlü (V2G) şarj yöntemleri ile şarj edilen EA'ların etkilerinin ve potansiyel değerinin belirlenmesine odaklanmaktadır (Triel ve Lipman, 2020). Bu araştırma ve modellemede EA kullanımı yaygınlaşmasıyla yenilenebilir enerji üretimi ve tüketici şarj davranışlarındaki değişimleri öngörülmektedir. Yapılan bu çalışma üç alt konuya ayrılırsa:

1. 2030 Kaliforniya elektrik şebekesinin yenilenebilir enerji hedeflerine (RPS) uygun olarak elektriğin %60'ını yenilenebilir enerjiden karşılayacağının tahmin edilmesi.
2. Kaliforniya sakinlerinin gün içi araç ile hareketliliği, mevcut özel ve kamusal şarj altyapısında ve mevcut güç çıkışlarında artışa dayalı olarak 2030'daki EA'ların elektrik talebinin simüle edilmesi.
3. Şebeke güçlerinin yıllık bazda analiz edilmesi. EA şarjına V2G etkisi ve yenilenebilir enerji elektriği entegre edilmesi ile şebekenin elektrik tüketimin optimize edilmesi (Triel ve Lipman, 2020).

Kaliforniya 2030 senaryosundan önce yapılan Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı (LNBL) tarafından yapılan 2025 senaryosu analiz edilmiştir. 2018'de LBNL, yenilenebilir enerji katkısı ile V1G hem de V2G'nin Kaliforniya şebekesi üzerindeki etkisini analiz etmek için V2G-Sim şebeke modelini kullanılmıştır (Coignard, 2018). Raporlarındaki 2025 senaryosu, eyalette 500.000 BEV ve 1 milyon PHEV olacağını öngörmektedir. Rapor ile şebekedeki tepe yüklenmelerini kaydırma, gün ortasındaki net yük boşluklarını doldurma ve şebeke rampası hızlarının dikliğini hafifletme çalışmaları analiz edilmiştir. Kaliforniya enerji hedeflerine, V2G özellikli araçlarla tepe yüklenmesinde kesme, vadi doldurma ve rampalama azaltma için 4-5 kat daha fazla kapasite ile akıllı şarj ile ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır (Triel ve Lipman, 2020). Benzer şekilde (Szinai ve diğ., 2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Kaliforniya'da 2025 için burada sunulan çalışmaya benzer, ancak daha kısa bir zaman dilimiyle bir analiz yapılmıştır. Çalışma, PLEXOS tabanlı modelleme yaparak, Kaliforniya'da 2025 yılına kadar 950.000 ile 2.500.000 PEV arasında değişen

senaryolarla PEV şarj yükü kaydırmasını analiz etmiştir. Çalışma, Kaliforniya şebeke işletme maliyetlerinde yıllık olarak 120 milyon ABD Doları (950.000 PEV için) ila 690 milyon ABD Doları (5 milyon PEV için) arasında tahmini potansiyel tasarruf sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır (Triel ve Lipman, 2020).

Bu çalışmalar, Kaliforniya'da elektrik üretiminin %60'ı yenilenebilir enerji ile olacağı durumuna V1G / V2G ilave edilerek yeni bir çalışma ile 2030 California şebeke durumunu ortaya çıkarmaktadır. V1G / V2G'nin tüm yılın şebeke dağıtım davranışı üzerindeki etkilerini saatlik bir çözünürlükle daha ayrıntılı analiz edilmekte ve bu özelliklerin iyileştirilmesiyle sabit depolamanın önlenen maliyetleri hesaplanmaktadır (Triel ve Lipman, 2020).

EA şarjının şebeke üzerindeki etkilerini modellemeye yönelik genel yaklaşım şöyle aşamalandırılmıştır:

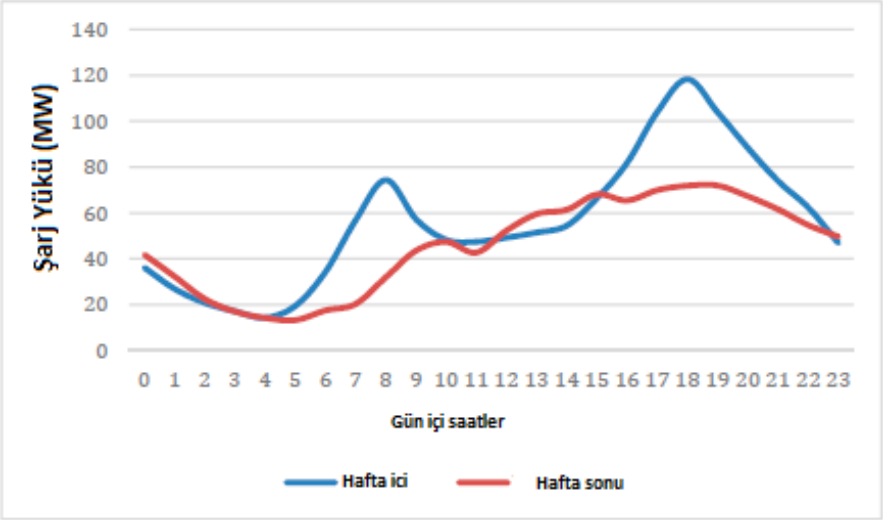
- PEV şarj taleplerinden yıllık elektrik talep profillerinin geliştirilmesi,
- Mevcut yükleri 2030 talep tahminlerine göre ölçeklendirilmesi,
- 2030 PEV şarj talebinin simüle edilmesi,
- 2030 şebeke yatırımları için optimizasyon yazılımını çalıştırılması,
- 2030 şebekesi için yönetilen şarj profillerinin optimize edilmesi,

Şarj taleplerini simüle etmek için aşağıdaki giriş verilerine ihtiyaç duyulmuştur:

- 2017'de Kaliforniya'da resmi EA kayıt numaraları,
- Pil kapasitesi, güç tüketimi ve maksimum şarj gücüyle ilgili EA verileri,
- Mobilite davranışı verileri.

Mevcut durumda Kaliforniya trafiğinde olan 342,000 aracın şarj talebi ile şebeke elektrik tüketiminin V2G-SIM ile simülasyonun kantitatif sonuçları çıkarılmıştır. Gigawatt seviyesindeki EA şarj talebinin, Terawatt seviyesinde olan toplam enerji tüketimine oranı %0.16 seviyesine ulaşmaktadır. 2017 yılında EA'ların düşük düzeyde benimsenmesi nedeniyle bu durum ortaya çıkmaktadır (Triel ve Lipman, 2020). 2017'de Kaliforniya'daki şarj edilebilir elektrikli araçların (ŞEA-PEV) saatlik şarj talebi Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Hafta içi boyunca, şarj ihtiyacının geceleri nispeten düşük olması beklenirken, araçların çoğunlukla bu noktada şarj edildiği tespit edilmektedir.

Sürücüler sabah 08:00 civarında işe başladıktan sonra, ilk şarj talebi zirve yaptığı görülmektedir. Gün boyunca biraz azaldıktan sonra daha yüksek bir zirveye ulaştığı görülmektedir. Bu da evde şarjın, iş dönüşü akşam 18:00 civarında hemen yapıldığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şarj seansları kontrol edilmediğinden, araçlar prize takılır takılmaz şarj olmaya başlamaktadır. Mesai günlerinden dolayı hafta sonlarının toplam şarj talebi, hafta içi günlere göre daha düşük ve dağınık olduğu görülmektedir.



Şekil 1.2. EA hafta içi ve hafta sonu tahmini şarj profilleri

Kaliforniya çalışması, farklı ŞEA benimseme senaryolarını araştırmak için Taşımacılık Talep Tahminindeki (CEC) varsayımları kullanmaktadır (California Energy Commission, 2017, 2018). Bu varsayımlara göre, bataryalı elektrikli araç (BEA-BEV) satış rakamları şarj edilebilir hibrit elektrikli araç (ŞEA-PHEV) satış rakamlarından daha hızlı artmaktadır. Bu da BEA'ların payının 2030'da bugün olduğundan daha büyük olacağı varsayımlarına yol açmaktadır. Tablo 1.1, tahminlerdeki farklı ŞEA benimseme sayılarını ve BEA'ların ve ŞEA'ların varsayılan paylarını özetlemektedir. Şebekeye entegre olmayan hidrojen yakıt hücreli araçlar gibi alternatif teknolojiler bu analize dahil edilmemiştir.

Tablo 1.1. 2030 Kaliforniya için EA varsayımları

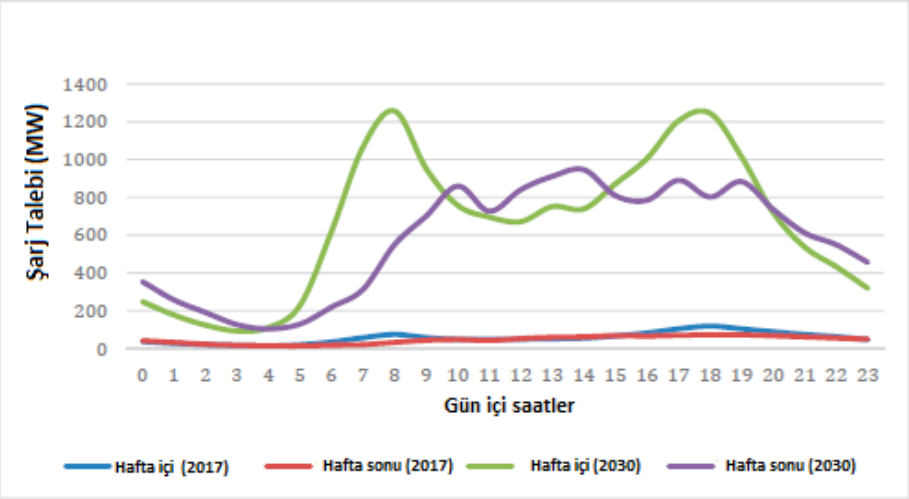
Kategori	Varsayım
BEA/ŞEA oranı	%60 / %40
Düşük EA Senaryosu	2.6 Milyon Araç
Orta EA Senaryosu	3.3 Milyon Araç
Yüksek EA Senaryosu	3.9 Milyon Araç

2030 yılında tahmini 3 farklı sıfır emisyon araçlar (ZEV) (BEA+ŞEA+YHEA) kullanım sayısına göre yönetilemeyen şarj talebi değerleri V2G-SIM sonuçları ile Tablo 1.2'deki gibi gösterilmektedir.

Tablo 1.2. EA yıllık şarj Talebi (V2G-SIM Analizi, 2030)

Senaryo	Toplam EA	Varsayım
Düşük EA Senaryosu	2,6 Milyon	4,38 TWh
Orta EA Senaryosu	3,3 Milyon	5,56 TWh
Yüksek EA Senaryosu	3,9 Milyon	6,57 TWh

Simülasyon sonuçlarına "Orta talep senaryosu" için daha yakından bakıldığı zaman, EA'ların şarj talebinin toplam enerji tüketimine oranı 2017'de %0,16 iken 2030'da %1,64 seviyesine çıkıp çok daha yüksek bir etkiye sahip olacağı görülmektedir (Triel ve Lipman, 2020). Kontrolsüz şarjın zamansal dağılımı, farklı şarj altyapısı varsayımlarıyla da değişmektedir. Orta senaryo için kontrolsüz şarj tahmini Şekil 1.3'te görülmektedir. Halka açık ve işyeri şarj istasyonlarındaki artış, gün içerisindeki şarj talebinin ilk zirvesini sabah 07:00 civarında oluşturmaktadır.



Şekil 1.3. Orta senaryo için kontrolsüz şarj tahmini 2017-2030

Şebekenin analiz için aşağıdaki maddeler önem arz etmektedir:

- Elektrik yükü girdileri (araç yükleri dahil talep senaryoları)
- Mevcut jeneratörler ve tesisler
- Potansiyel yeni yenilenebilir jeneratörler
- Yenilenebilir paylaşım hedefleri

- Üretim teknolojilerinin planlanan kullanımdan kaldırılması
- Tesis maliyetleri, yakıt maliyetleri, mali ayrıntılar
- Aralıklı yenilenebilir jeneratörlerin değişken kapasite faktörleri
- Çalıştırılması gereken hidroelektrik üretim profilleri
- İletim kapasiteleri
- Mevcut sabit depolama
- Yeni sabit depolama yatırımları

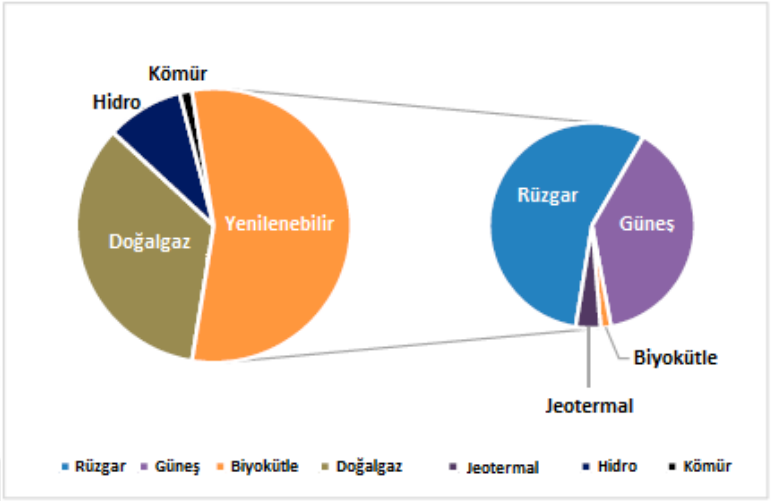
Kaliforniya eyaletinde 2030'a kadar kullanıcılar için üretilen elektriğin %60'ını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmekte, 2045'e kadar ise %100 karbonsuz elektrik üretimi arzu edilmektedir. Yapılan çalışmalarda, eyaletteki yenilenebilir kapasitenin genişletilmesi de temel alınmaktadır. Elektrik enerjisinin depolama sorunu ile yenilenebilir enerjinin sürekli olmayan üretimi sabit depolamanın gerekliliği bu bölge içinde ortaya çıkmaktadır. Bu konu için Kaliforniya kamu hizmet komisyonu, meclis yasa tasarıları olan 2514 ile uyumlu olarak, Kaliforniya kamu hizmetleri için hedefler belirlemiştir. Bu hedeflerde iletim bağlantılı, dağıtıma bağlı ve müşteri tarafı enerji depolaması için 2020 yılına kadar 1300 MW'dan fazla enerji depolaması sağlamaları zorunlu kılınmaktadır (California Energy Commission, 2016, 2017). Sabit pil depolamasının 2030 yılına kadar 2500 MW güç kapasitesine çıkması öngörülmektedir. Bu varsayım, 2030'da %60 RPS'ye uygun elektrik hedefini karşılayabilen ve farklı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre optimize edilen üretim kapasitesi Tablo 1.3'te özetlemektedir.

Tablo 1.3 Yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üretim kapasitesi

Yıl	Rüzgâr (GW)	Güneş (GW)	Doğalgaz (GW)	Biyokütle (GW)	Jeo. (GW)	Hidro. (GW)	Kömür (GW)	Nükleer (GW)	Toplam (GW)
2017	6090	12478	44258	1168	2730	11693	1898	2393	82708
2030	39572	27473	44258	1168	2730	11693	1898	0	128792

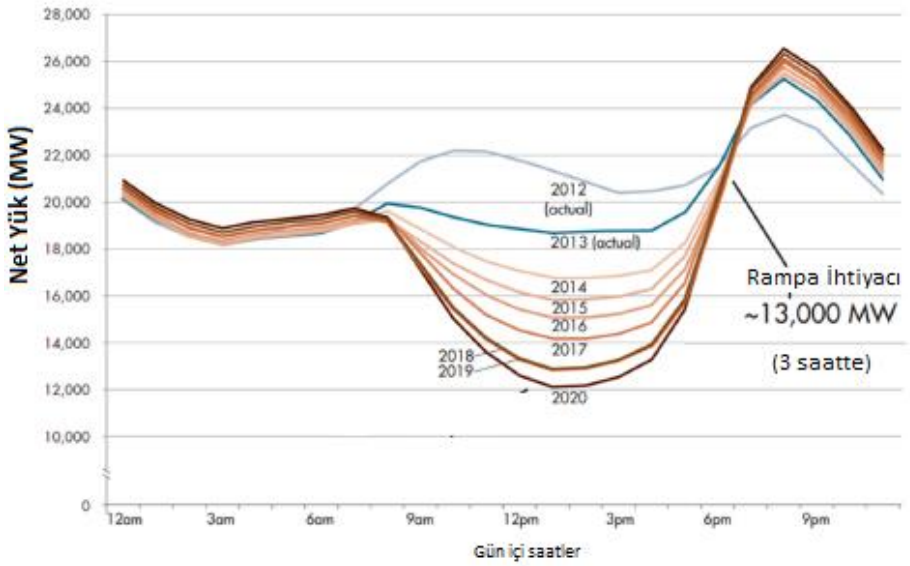
Bu sonuçlar, modelin gelecekteki yenilenebilir hedefleri karşılayabilmek için rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerine büyük yatırım yaptığını açıkça göstermektedir. Modele göre eyaletteki toplam kurulu kapasite, 2017'den 2030'a yaklaşık %55 (46 GW) artmaktadır. Orta talep senaryosu için 2030'da Kaliforniya'nın üretim güç kapasitesinin enerji sistemleri arasındaki dağılımı Şekil 1.4'te görülmektedir. 2045 yılı karbonsuz elektrik

hedefini karşılamak için, devletin kömür ve doğal gaz santrallerini aşamalı olarak sonlandırmaya yönelik başka planları araştırması gerektiği ise raporda vurgulanmaktadır.



Şekil 1.4. Orta senaryo için 2030 Enerji kapasite dağılımı

Şekil 1.5'te gösterilen "ördek eğrisi" probleminin çözümü için iki farklı optimizasyon hedefi ele alınmaktadır. İlk optimizasyon hedefi, "ördek göbeğini" düzleştirerek aşırı üretim riskini azaltmayı amaçlamaktadır. İkinci optimizasyon hedefi, net yük eğrisinin rampa ihtiyaçlarını en aza indirmektir. Optimizasyon fonksiyonları, Coignard ve diğerlerinin metodolojisi ile uyumlu olmaktadır (Coignard, 2018).



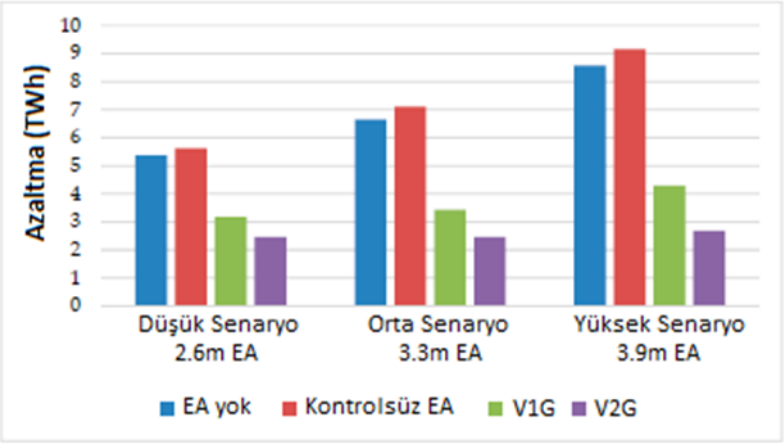
Şekil 1.5. Kaliforniya'da yıllara göre değişen ördek eğrisi

Kaliforniya Eyaleti, 2025 yılına kadar kamusal şarj altyapısını 200.000 AC şarj cihazı ve 10.000 DC hızlı şarj cihazı ile artırmayı zorunlu kılmaktadır (California Energy Commission, 2017). Şarj altyapısının genişletilmesi hedefi, gelecekte elektrikli araçları teknik açıdan başarılı bir şekilde yönetme şansını sağlaması beklenmektedir. Araçların şarj istasyonuna takıldıklarında, farklı bir zamanda şarj etmeleri için şarj programlarının ayarlanabileceğini göstermektedir. Elektrikli araçların şebekeye etkisini saatlik belirleyebilmek için, her talep senaryosu için oluşturulan dört farklı yük profili oluşturulmaktadır:

- Durum 1- EA yok
- Durum 2- EA var, Yönetilmeyen Şarj
- Durum 3- EA var, Yönetilen Şarj, V1G
- Durum 4- EA var, Yönetilen Şarj, V2G

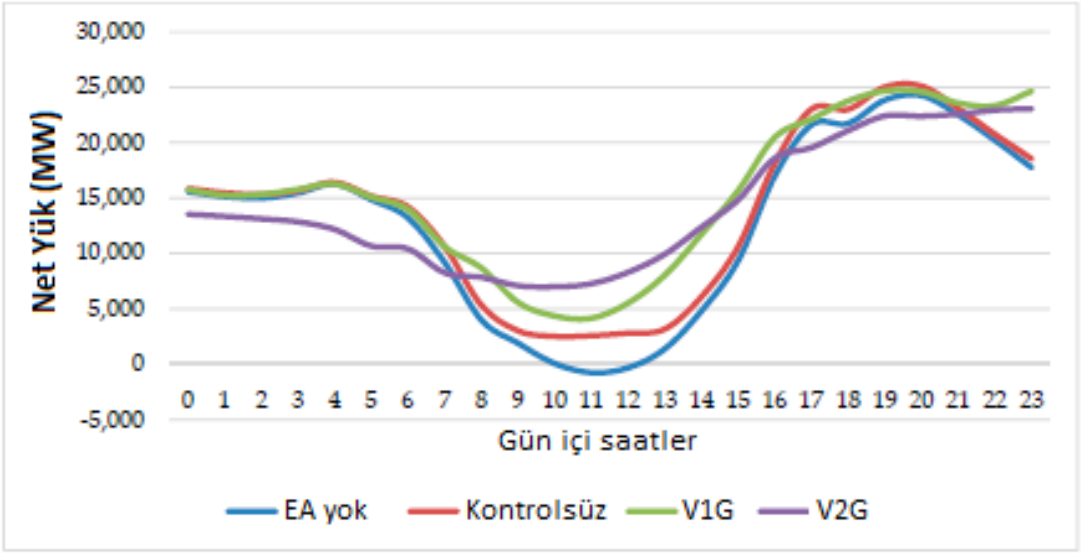
Kontrollü şarjda tepe vadi optimizasyonu ve rampa hızı optimizasyonu yapılması, kontrolsüz şarja göre ördek eğrisini önemli ölçüde düzleştirmektedir. V1G ve V2G Yönetilmeyen şarj ile karşılaştırıldığında, tepe optimizasyonu, V1G ile yaklaşık 0,77 TWh ve V2G uygulamasıyla 1,29 TWh azaltılabilmektedir. Rampa oranı optimizasyonu ile 2030 tahmini azaltması yapılmıştır. V1G ile yaklaşık 1,07 TWh ve V2G ile 1,33 TWh'lik düşüş sağlanmaktadır. 2030 orta senaryosunda, kontrolsüz araç şarj talebinin şarj edilebilir elektrikli araç (ŞEA-PEV) olmayan şebeke tüketim profiline eklenmesiyle 0,45 TWh artırdığı Şekil 1.6'da görülmektedir. Yönetilmeyen şarj ile V1G özellikli şarj karşılaştırıldığında, yıllık 3,66 TWh azalım olduğu görülmektedir. Yönetilmeyen şarjla ile V2G özellikli şarj karşılaştırıldığında, yıllık 4,64 TWh azalım olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ile bir bölgede uygulanan yönetimli şarjın, enerji tüketimini azaltmada ne kadar olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

EA sayısı artması ile artacak olan şebeke yükünün azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekesine entegre edilmesinin gerekliliği açıkça görülmektedir. Şekil 1.7'de nisan ayı içerisinden bir günde 24 saatlik elektrik şebeke yüklenmesi görülmektedir. Kontrollü şarj, EA şarjlarının şebekeye yüklenmesi ve bunun kontrol edilmediği net yükü temsil eden temel durumdur.



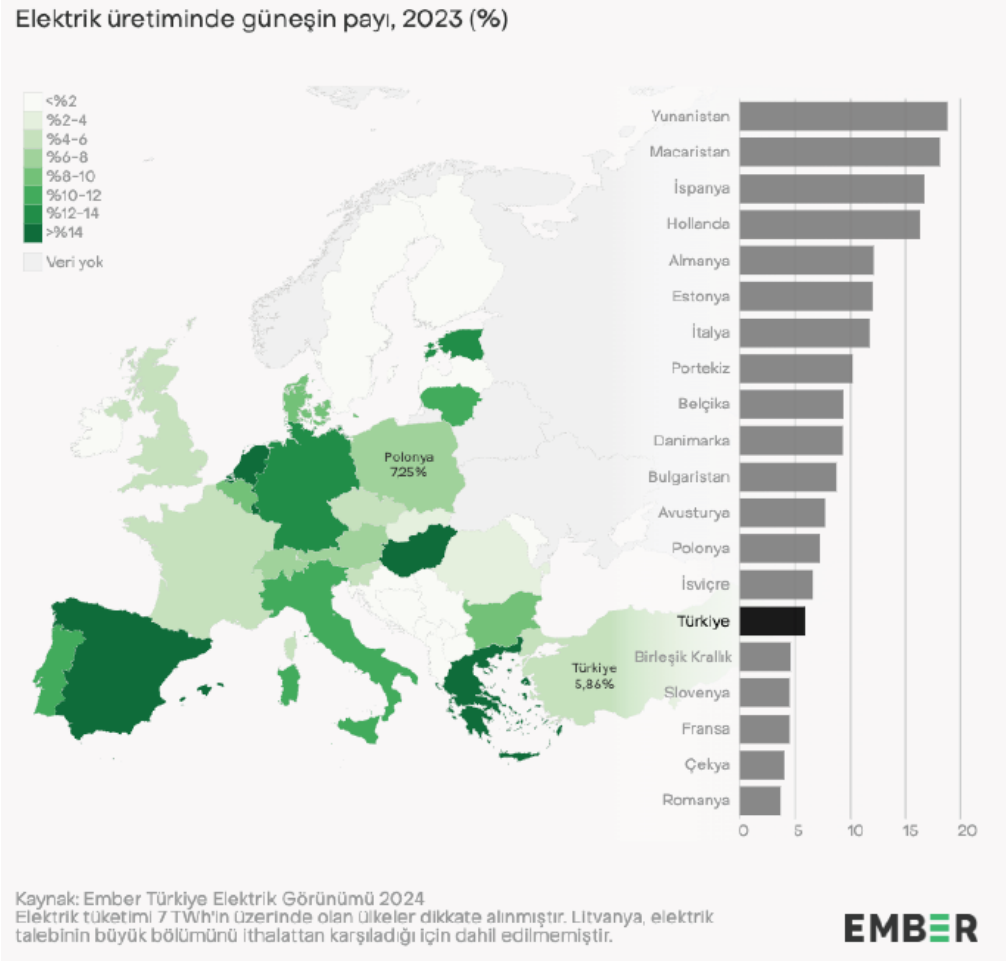
Şekil 1.6. Farklı projeksiyonlara göre durumların kıyaslanması

Yönetilen şarj ile rampaların eğimleri azaltılarak derin vadi düzleştirilmektedir. Maksimum yukarı rampa, 3 saatte 17 MW ile 14:00 ve 17:00 arasında yönetilmeyen şarjda görülebilir. Şebeke tarafından rampa seviyesinin artması istenmeyen bir durumdur. Yapılacak olan aşımlarda, gelecekte şebeke işletim sorunlarını oluşturma ihtimali olmaktadır. Genel elektrik talebi yüksek olduğu durumda, V2G şarjının, sistem elektrik talebini şekillendirmeye yardımcı olmak için önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Tek yönlü V1G şarjı, maksimum yukarı rampa ihtiyaçlarını 3 saatte 17 MW'dan 12 MW'a kadar azalttığı görülmektedir. Çift yönlü V2G şarjı ise 8,7 MW kadar indirebilmektedir. Giderek artan ihtiyaçlar göz önüne alındığında kontrollü şarjın şebeke üzerine çok olumlu etkileri olduğu görülmektedir.



Şekil 1.7. 2030 da bir Nisan günü ördek eğrisi

V2G ve yenilenebilir enerjinin şebeke iyileştirmesi bu sonuçlar ile Kaliforniya özelinde görülmektedir. Türkiye'de EA yaygınlaşması ile ve EA teknolojisinin gelişmesi ile V2G de görülmeye başlayacaktır. Yenilenebilir enerji, bu çalışmada bina çatıları üzerine güneş panelleri konumlandırılarak hesaplamalara katılacaktır. Bunun için güneş enerjisi verileri önem arz etmektedir. Türkiye'de 2023 yılımda güneş enerjisinin elektrik üretimi içerisindeki payı %5,7 oldu. 2 GW'lık yeni güneş enerjisi santrali (GES) devreye alınırken toplam güneş kurulu gücü 11,7 GW seviyesine ulaştı (Gümüş, 2024). Avrupa ülkelerinde toplam elektrik üretimlerine karşılık GES oranları da hızla değişmektedir. Şekil 1.8'de gösterilen grafikte Türkiye %5.7 ile 15. Sırada bulunmaktadır. Türkiye ile aynı enleme sahip Akdeniz ülkelerinde bu oran %10 ile %20 arasında değişmektedir. Komşu ülke Yunanistan ise %19 seviyeleri ile lider konumdadır. Hollanda kişi başına düşen kurulu güçteki lider durumdadır. Bunu sağlayan en önemli neden yeni binalardaki çatı kurulum oranı %41'e ulaşmaktadır (Gümüş, 2024).



Şekil 1.8. Avrupa ülkeleri arasında elektrik üretiminde güneşin payı, 2023

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Tarihte bilinen ilk elektrikli araçlar, elektrik motorun temel prensiplerinin uygulandığı ilk motorun üretiminden kısa bir süre sonra ABD, İngiltere ve Hollanda'da deneysel üretim ile 1830'larda başlamıştır (Høyer, 2008). Binek EA'ların Avrupa'dan çok daha başarılı olduğu ABD'de EA'lar, 1880-1920 yılları arasında altın çağına ulaştı (Santini, 2011). EA'lar 1900 yıllarda ABD'de en çok satan karayolu taşıtları haline geldi ve pazarın %28'ini ele geçirdi (Global EV Outlook, 2013). O zamanlar üç tür araba mevcuttu: buharla çalışan araçlar, benzinli içten yanmalı motorlu araçlar ve elektrikli araçlar. Buharla çalışan araçlar daha hızlı ve daha ucuz olmasına rağmen ateşlenmeleri uzun zaman almakta ve su için sık sık durmaları gerekmekteydi. İçten yanmalı motorlar daha kirli ve orta derecede daha pahalı olmasına rağmen makul bir hızda durmadan daha uzun mesafeler kat edilebilmekteydi. Elektrikli araçlar sessiz çalışmakta olup fosil yakıt olmadığı için temizdi. Ancak hız bakımında daha yavaş ve maliyet olarak pahalıydı. 1920'lerden sonra şehirlerarası yolların giderek artması ile uzun menzilli araçlara ihtiyaç daha önem arz etmekteydi. Benzinli araçların maliyetinin düşüklüğü, benzin maliyetleri ve uzun menzille ile içten yanmalı motorlu araçlar uzun yıllar tek tercih sebebi oldu. 1920'li yılların sonuna doğru EA'lar tamamen piyasadan kayboldu. 1980'lerde fosil yakıt tedariği ve ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliğine ilişkin endişeler nedeniyle BEA'lar bir rönesans yaşadı (Ajanovic, 2015). Yine menzil problemleri ile istenilen satış rakamlarına ulaşamadı. 1990'lı yıllarda hibrit araçlar ile tekrar başlayan süreç gelişen batarya teknolojisi ile 2020'li yıllarda yeni bir boyut kazanmıştır. Günümüzde artık uzun menzil problemleri, hızlı şarj sistemleri ile her markanın yeni hedeflerini sadece EA'lar üzerine kurması ile artık dönüşü olmayan yeni bir başlangıç noktasında bulunmaktayız. Modern yaşamı tanımlayan en önemli işaretlerden ikisi ulaşım ve elektriğe kolay erişimdir. Tarihsel olarak ulaşım ve elektrik birbirinden bağımsız sektörler olsa da batarya şarj ve menzil problemleri çözülmüş elektrikli araçlar ile bu bağ artık kuvvetlenerek artacaktır.

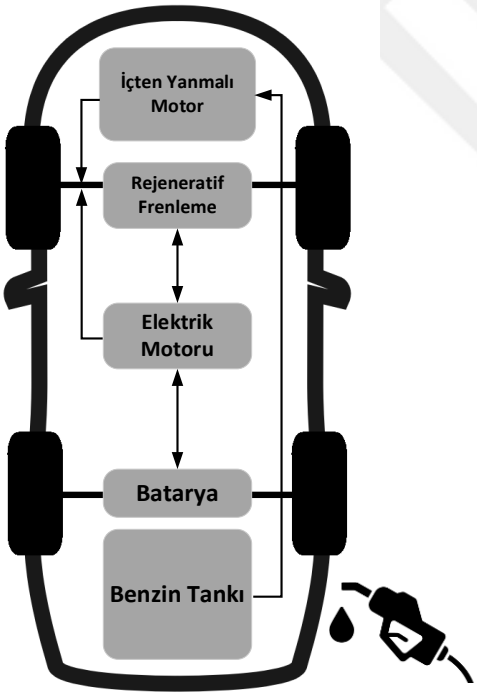
2.1. Elektrikli Araç Çeşitleri

Motor sisteminde elektrik motoru bulunan tüm araçlar elektrikli araçlar olarak tanımlanmaktadır. Elektrikli araçlar dışarıdan şarj edilmesi ve motor yapılarındaki

farklılıklara göre çeşitlik göstermektedir. Bu araçlar genel olarak 4 kategoride incelenebilir:

- Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA), (Hybrid Electric Vehicles – HEV)
- Dışarıdan Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araçlar (ŞEA), (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV)
- Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEA), (Battery Electric Vehicles - BEV)
- Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar (YHEA), (Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV)

Hibrit elektrikli araçlar (HEA): İçten yanmalı motor ve elektrik motoruna aynı anda sahip olan araçlardır. HEA motor ve enerji kaynağı yapısı Şekil 2.1'de görülmektedir. Aynı anda iki farklı teknolojik motorun bir araçta bulunması, konvansiyonel motora sahip araçlar ya da tam elektrikli araçlara göre daha komplike bir yapıya sahip olmasına sebep olmaktadır (İpek, 2022).

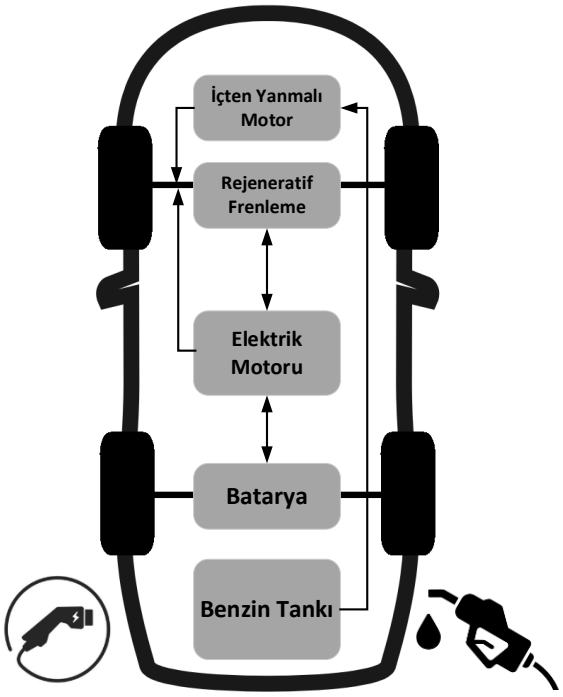


Şekil 2.1. Hibrit elektrikli araç yapısı

Bu araçlar enerji kaynağı olarak hem fosil yakıt hem de batarya kullanmaktadır. Araçta bulunan bataryalar, sürüş esnasında şarj edilerek gerektiğinde elektrik motorunun devreye alınması esasına göre çalışmaktadır (Özbay ve diğ., 2020). HEA bataryaları

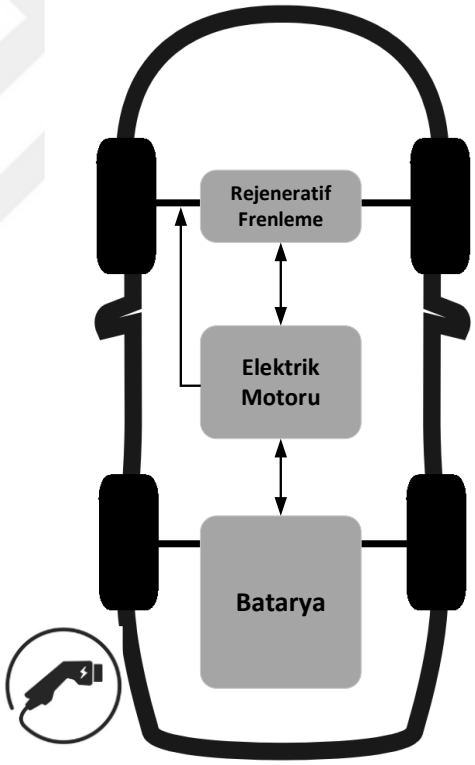
dışarıdan harici bir kaynak yoluyla şarj edilmezler. HEA'lar içten yanmalı motorlu araçlara ile kıyaslandığında emisyon değeri bakımından daha düşük ve ekonomiktirler (Çelenk, 2023). Hibrit araçlarda elektrik motoru bulunmakla beraber dışarıdan şarj edilmediği için tam elektrikli araçlara geçişte ilk adım olarak öne çıkmaktadırlar (İpek, 2022).

Dışarıdan şarj edilebilen hibrit araçlar (ŞEA): Hibrit araçlar da olduğu gibi hem içten yanmalı konvansiyonel motor hem de elektrik motoru bulunmaktadır. Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araçların motor yapısı Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Hibrit araçlardan farkı enerji kaynağı olarak hem fosil yakıt hem de dışarıdan şarj edilebilir şekilde elektrik kullanılmasıdır. Elektrik motoru, içten yanmalı motor ile hareket eden ŞEA'ya ikinci bir motor olarak destek sağlamaktadır (Özbay ve diğ., 2020). Hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru bulundurması ve enerji kaynağı olarak dışarıdan hem fosil yakıt hem dışarıdan elektrik ile şarj edilmesi sebebi ile diğerlerine göre en karmaşık iç yapıya sahip araçlar olmaktadır (İpek, 2022). Bataryaları tam hibrit araçların bataryalarına göre daha büyük boyutlarda olmakta ve bu ŞEA için daha uzun menzil imkânı sağlamaktadır (Sarıdağ, 2022).



Şekil 2.2. Dışarıdan şarj edilebilen elektrikli araç yapısı

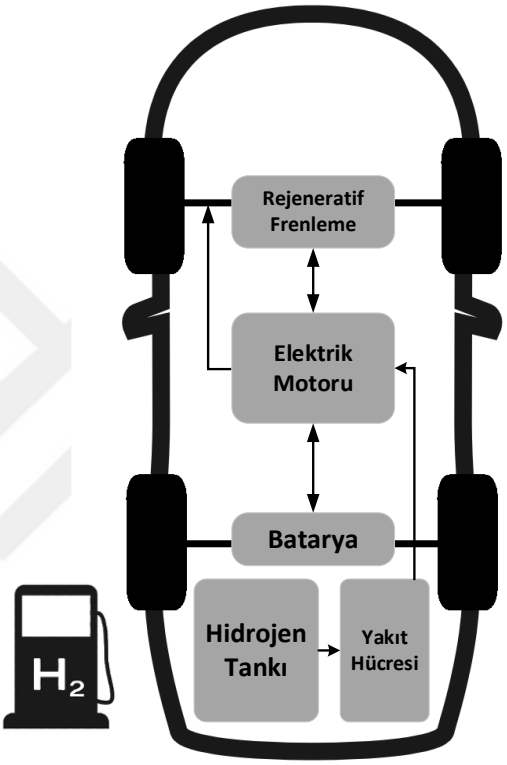
Bataryalı elektrikli araçlar (BEA): BEA'lar sadece elektrik motoruna sahiptirler. Elektrik motorları gerekli tüm enerjiyi araçta bulunan bataryalar üzerinden alır. Bataryalı elektrikli araçların motor yapısı Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu araçlar dışarıdan ilave yakıt almadan sadece elektrik ile şarj edildiğinden tam elektrikli araçlar ismini almaktadırlar. Menzilleri, araç bataryalarının kapasitesiyle orantılı olmaktadır (Özbay ve diğ., 2020). Batarya seviyeleri azaldığında dışarıdan bir şarj istasyonundan ya da ev tipi şarj cihazından soket yardımı ile şarj edilmeleri gerekmektedir. Tam elektrikli araçların motorlarının sağladığı yüksek tork, hızlanma süreleri ve emisyon değerleri önemli avantajları olarak sayılabilir. İçten yanmalı motorlara göre batarya enerjisinin tam elektrikli araçlarda daha düşük olması daha kısa menzil sunmaktadır (Şahin, 2023). Menzil ve şarj süreleri dezavantaj olarak görülebilmektedir ama şarj teknolojisi çok hızlı bir şekilde gelişmektedir.



Şekil 2.3. Bataryalı elektrikli araç yapısı

Yakıt pilli araçlar (YHEA): Elektrik motoruna sahip olan bu araçlar motor tahriki için gerekli gücü yakıt hücrelerinden almaktadır. Bu yakıt hücreleri (fuel-cell), yüksek enerji kapasitesine sahip H_2 (hidrojen) ile doldurulmaktadır. Yakıt pilli araçların motor yapısı

Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Bu araçlarda hidrojen tankları boşaldığında, bu tanklar değiştirilmekte veya tekrar hidrojen ile doldurulmaktadır (Özbay ve diğ., 2020). YHEA araçlarda yüksek enerji yoğunluğuna sahip yakıt kullanıldığı için konvansiyonel motora sahip araçlarda olduğu gibi hızlı yakıt ikmali ve uzun menzil avantajı bulunmaktadır (Çelenk, 2023). Ama bu katkıyı temiz enerji dönüşümü ile sağlamaktadır (Çelenk, 2023).



Şekil 2.4. Yakıt pilli hibrit elektrikli araç yapısı

Dışarıdan şarj edilebilen hibrit araçlar (ŞEA), enerji ihtiyacının belirli bir kısmını karşılayan bataryalarının dolumu için elektrik şebekesine ihtiyaç duymaktadır. Tamamen elektrikle çalışan bataryalı elektrikli araçlar (BEA), tüm enerji ihtiyacını şebeke elektriğinden sağlamak zorundadır. Li-ion (Lityum iyon) batarya teknolojisine sahip BEA'lar geleneksel araçlara göre daha düşük menzile sahip olup menzil değerleri batarya kapasitelerine göre değişiklik göstermektedir. Menzil değerinin artmasında motor sürücü devrelerinin verimliliği ve şarj kontrolü önemli olmaktadır (Satılmış ve Meşe, 2011). Elektrikli araç tipleri arasındaki avantaj ve dezavantajlar Tablo 2.1'de gösterilmektedir (Özbay ve diğ., 2020).

Tablo 2.1. Elektrikli araç tipleri arasındaki avantaj ve dezavantajlar

Araç	Avantajlar	Dezavantajlar
BEA	Sıfır egzoz emisyonu Sessiz çalışma Hızlı batarya şarjı Rejeneratif frenleme Düşük yakıt Düşük bakım masrafı	Kısıtlı menzil Batarya teknolojisinin gelişim ihtiyacı Şarj istasyon alt yapısı
HEA	Düşük yakıt masrafı Düşük egzoz emisyonu Rejeneratif frenleme	Yüksek üretim maliyetleri İki farklı motorun güç aktarımı karmaşıklığı
ŞEA	Şebekeden şarj imkânı Sıfıra yakın emisyon (CO2) Optimum yakıt tüketimi Rejeneratif frenleme	Daha yüksek üretim maliyeti İki farklı motorun güç aktarımı karmaşıklığı Batarya maliyeti ve değişimi
YHEA	Petrole ihtiyaç kalmaması Sıfır egzoz emisyonu Rejeneratif frenleme Yüksek verimlilik	Çok yüksek üretim maliyeti Hidrojen üretim ve depolama zorlukları Hidrojen kullanımdaki yakıt ikmali ve yüksek basınç gibi zorluklar

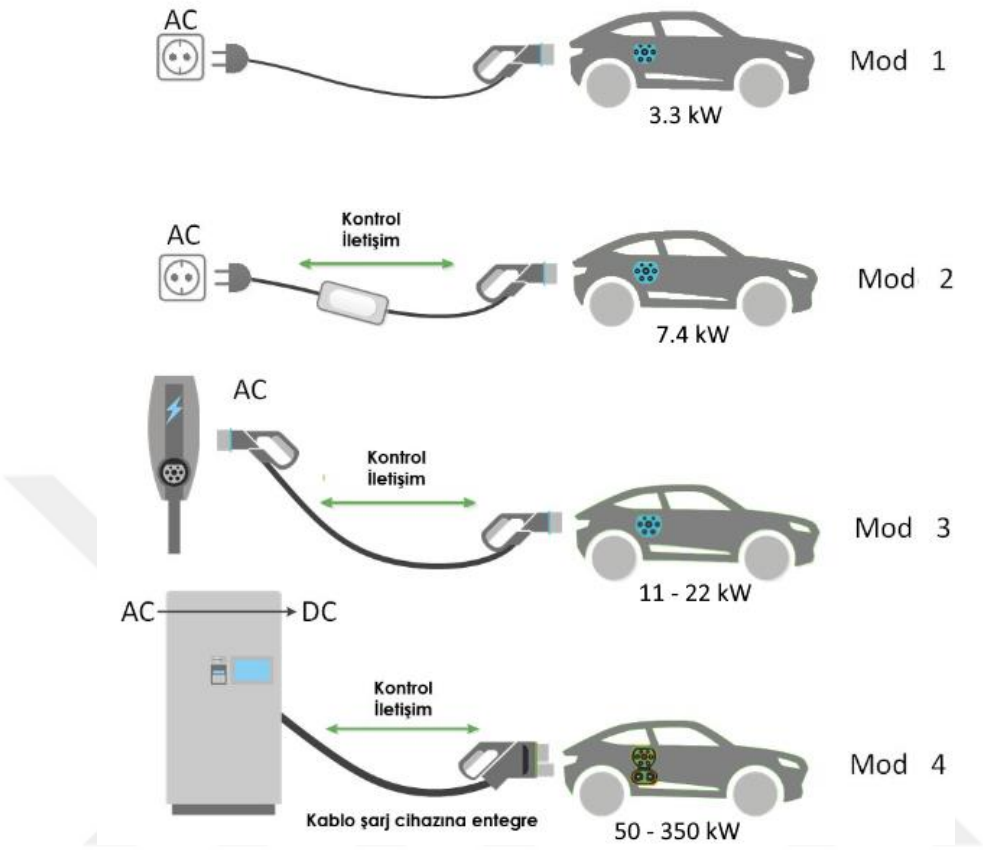
2.2. Elektrikli Araç Şarj Çeşitleri

Şarj Tipleri IEC-61851 standardına göre Şekil 2.5'te gösterildiği gibi 4 mod altında incelenir.

Mod-1: 3.3kW enerji seviyesinde olup düşük bataryalar için aktif kullanılabilecek yavaş bir seviyedir. Doğrudan şebeke prizine bağlanıp her yerden şarj edebilme durumu vardır.

Mod-2: 7.4kW enerji seviyelerinde olup yavaş-orta sayılabilecek bir hızdadır. Doğrudan şebeke prizine bağlanıp her yerden şarj edebilme durumu vardır.

Mod-3: 11-22kW enerji seviyelerinde olup hızlı sayılabilecek bir seviyededir. Ev tipi bir dönüştürücü ile AC şarj edebilme durumu vardır.

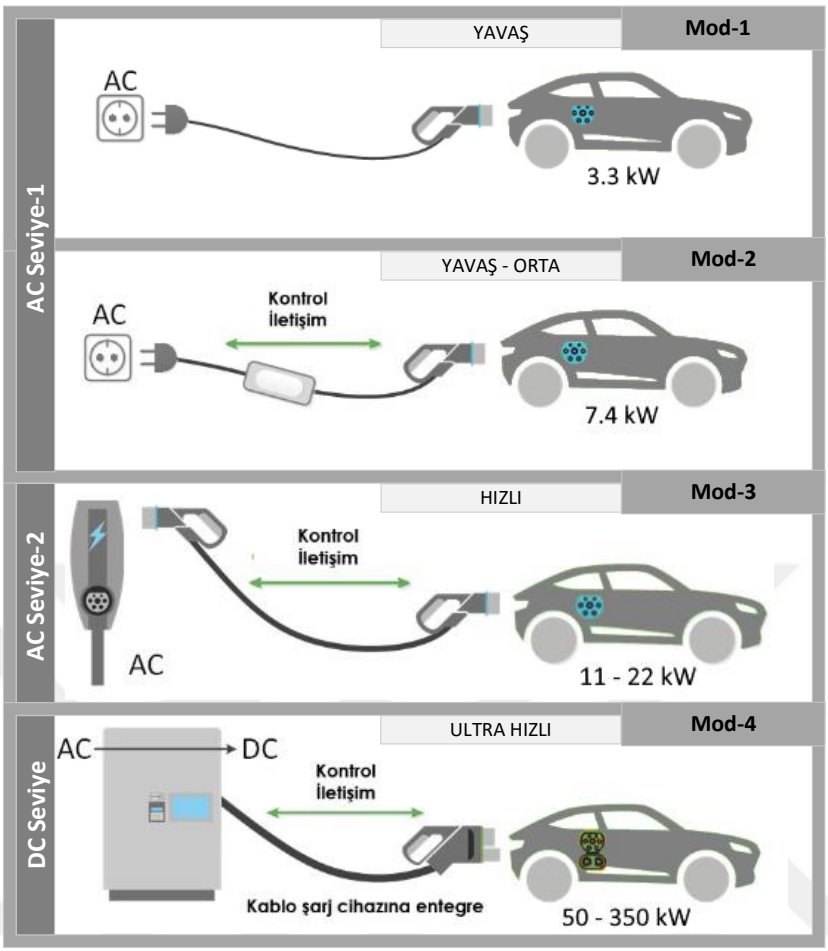


Şekil 2.5. IEC-61851 standardına göre 4 farklı şarj modu

Mod-4: 50-350kW enerji seviyelerinde olup çok hızlı seviyede bir şarj tipidir. Şebeke gerilimi bir istasyon aracılığı ile DC ye çevrilmektedir ve araç DC şarj edilebilmektedir.

Şebekeden gelecek akım yöntemine göre AC ve DC seviye isimlendirilmeleri de yapılmaktadır. Bunlar IEC-61851 standardındaki modlara göre Şekil 2.6'daki gibi düzenlenecek olursa, Mod-1 ve Mod-2 AC seviye-1'e karşılık gelmekte ve yavaş şarj olmaktadır. AC seviye-2, Mod-3'e karşılık gelmektedir ve hızlı şarj olmaktadır. DC seviye de IEC-61851 standardındaki Mod-4'e karşılık gelmekte ve ultra hızlı şarj olmaktadır (Szinai, 2020).

AC-Seviye1 : Herhangi bir priz ile herhangi bir yerde şarj edilebilmektedir. Güç değerlerine göre saatte 10-15 km menzil kazandırmaktadır. Bir şarj istasyonu yatırımı gerektirmemektedir. Ancak altyapısı uygun olmayan yerlerde şebeke bağlantısı açısından tehlike oluşturabilmektedir.



Şekil 2.6. Şebeke akımına göre şarj isimlendirilmeleri

AC Seviye-2: Cihaz ve araç tipine bağlı olarak 3,7-43 kW arası güç elde edilebilmektedir. Saatte 40-150 km arası menzil kazandırabilmektedir. Fiş yapısı tüm tam elektrikli ve fişli hibrit araçlara uygun olmaktadır. Yatırım seviyesi düşük olmaktadır. Evlere kurulabileceği gibi özellikle otopark ve alışveriş merkezlerinde de kurulmaya elverişli olmaktadır. Buralarda geçirilen 2-3 saatte bataryanın önemli bir kısmının doldurulabilme imkânı olacaktır. Türkiye'de genellikle bu seviyede şarj istasyonları kurulmaktadır .

DC-Seviye: Yüksek hızlı şarj olarak isimlendirilen bu seviyede cihaz ve araç tipine bağlı olarak 50-350 kW arası güç elde edilir. Bu da saatte 150-500 km menzil kazandırabilmektedir. Bu şarj istasyonun olduğu yerde altyapının güçlü olması gerekmektedir. Bu şarj tipi özellikle uzun yol ve şehirlerarası mesafelerde kullanılmaya uygundur. Kısa süreli molalarda 30-60 dakikada bataryayı doldurma imkânı

sağlayacaktır. DC seviyede CCS, Chademo ve Supercharger gibi yüksek akıma dayanıklı ve güvenlikli özel konnektör tipleri desteklenir. Bu konuda AB, ABD ve Çin tarafından farklı konnektör çalışmaları da devam etmektedir. Bu konuda farklı tipte konnektörler olup tek bir tip kullanımı yakın zamanda görülmemektedir (George ve diğ., 2018). Kullanıcılar günlük şarj ihtiyaçlarının yaklaşık %80'lik kısmını, araç sahiplerinin evlerinde veya işyerlerinde bulunan AC şarj ile karşılayacaktır. Uzun seyahatler ve kısa molalar başta olmak üzere şarj işlemlerinin %20'si genellikle otoyollarda ve dinlenme tesislerinde bulunan DC şarj ile gerçekleşecektir. Türkiye'de genellikle Mode-3 (AC seviye-2) şarj istasyonları kurulmaktadır. Bu şarj istasyonlar AC 7-22 kW güç değerleri arasında araçları şarj etmektedir. Şarj süresi bataryaya bağlı olarak 1-6 saat arasında değişebilmektedir.

2.3. Elektrikli Araçların Şebekeye Bağlanması ve TR'de Şarj Altyapısı

Bir önceki bölümde şarj anlatılan farklı şarj modları ve elektrik seviyelerinin uygulanması için farklı özellikteki şarj konnektörleri geliştirilmiştir. AC ve DC' deki akım seviyesi arttıkça risklere karşı güvenlik tedbirlerinin de artırılması gerekmektedir. Tablo 2.2'de konnektör tipleri markalara uygunluğu ve açıklamaları ile birlikte verilmektedir (Çobanoğlu, 2020).

Türkiye'de EA sayısındaki artış hızlanmaktadır. Fakat şarj noktası sayısı daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Kamusal alanda şarj soketi sayısı, 1 Nisan 2024 tarihi itibariyle 11.412 adet AC (Yavaş) ve 5.821 adet DC (Hızlı) olmak üzere toplam 17.233'e ulaşmıştır (Enerji Piyasa Denetleme Kurumu, 2024). Elektrikli araç sayımız hızla artarken aynı süratle şarj noktalarımızın da artması e-mobilite ekosisteminin gelişimi açısından olumlu bir gelişmedir.

Ülkemizde soket başına düşen elektrikli araç sayısı 5,4'dür (EPDK, 2024). Bu oran Avrupa ülkelerinde ortalama 13,75 olmaktadır. Ülkemiz soket başına düşen elektrikli araç sayısı bakımından oldukça iyi durumda bulunmaktadır. Türkiye'de şarj soketi sayısı tahmini için yapılan projeksiyon çalışması Tablo 2.3'te görülmektedir (EPDK, 2024) .

Tablo 2.2. Konnektör tipleri marka uygunluğu ve açıklamaları

Konnektör Tipi	Konnektör Açıklaması	Konnektör Görseli
Tip-1  (SAE J1772) (IEC 62196-1)	Japon standardı olan EA şarj konnektörü, Kuzey Amerika ve AB ülkeleri tarafından EA şarjı için kabul edilmektedir. Sadece AC şarj olmaktadır. Kullanan bazı modeller; Renault Kangoo ZE, Nissan Leaf, Mitsubishi Outlander, Toyota Prius, KIA SOUL, Ford Focus/Electric gibi EA modellerini şarj etmek için kullanılmaktadır.	
Tip-2  (IEC 62196-2)	AB komisyonu 22kW'den büyük şarj için Tip-2 konnektör tipini standart olarak belirlemektedir. VW Golf fişli hibrit, BMW i3 ve i8, Renault Zoe, Audi A3 E-tron gibi EA modellerini şarj etmek için kullanılmaktadır.	
 CCS Combo-2	Tip-2 konnektörüne ilave olarak hızlı şarjı sağlayan ve yüksek akıma karşı korumalı DC pinleri olan konnektör tipidir. Hem AC hem de DC şarj yapılabilmektedir. Audi, BMW, Porsche ve Volkswagen gibi üreticiler bu tip konnektörlere sahiptir. Yerli aracımız TOGG da bu konnektör tipini kullanmaktadır.	
Tip-4  CHAdeMO	CHAdeMO sadece DC ile kullanılmaktadır. Bu konnektör tipi ile olabildiğince hızlı şarj yapılmaktadır. Nissan Leaf, Nissan E-NV200, Mitsubishi Outlander, Mitsubishi iMiev, Peugeot iON, Citröen C-Zero gibi EA modellerini şarj etmek için kullanılabilmektedir.	
Tesla  Supercharger	Tesla'nın kendine özel tasarımı olan konnektör tipidir. Tip-2 konnektörünün biraz modifiye edilmiş halidir. Bununla birlikte, Tesla Model 3 Avrupa satışları için bir CCS girişi ile donatılarak Avrupa'da da şarj edilebilir hale gelmiştir.	

Tablo 2.3. Türkiye’de şarj noktası sayısı projeksiyonu

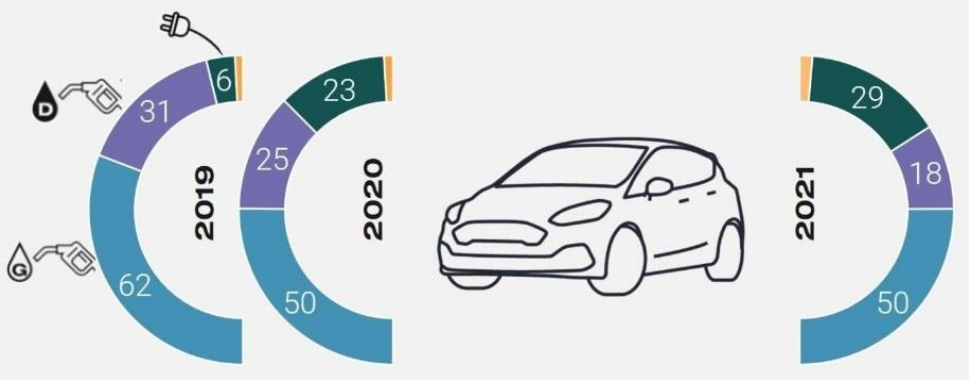
Yıl	Şarj Noktası Sayısı (AC)			Şarj Noktası Sayısı (DC)			Şarj Noktası Sayısı (Toplam)		
	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
2025	24.983	33.476	44.988	9.295	12.594	16.909	34.278	46.070	61.897
2030	58.717	100.187	127.224	24.826	42.637	54.050	83.543	142.824	181.274
2035	100.150	186.152	237.181	46.766	86.924	110.753	146.916	273.076	347.934

2.4. Türkiye’de ve Avrupa’da Elektrikli Araç Beklentileri

EA satışları, son yıllardaki farklı tipte EA ve şarj altyapısını destekleyen politikalar sayesinde küresel seviyede hızla artmaktadır. Dünya çapındaki toplam EA sayısının 2030 yılı itibariyle düşük orta ve yüksek seviye senaryolara göre 120 ila 250 milyon arasında bir seviyeye yükselebileceğini öngörülmektedir (Saygın ve diğ., 2019). 2020 yılı başlarındaki rakamlara göre dünya genelinde trafikte olan EA araç sayısı 8 milyon adeti bulmaktadır. Avrupa’daki son 4 yıl araç satışlarının farklı yakıt tiplerine göre sayıları Şekil 2.7’de gösterilmektedir (URL-1). Ayrıca son iki yıldaki detaylı satış oranları da Şekil 2.8’de görülmektedir (URL-2). Türkiye’de, araç sahiplik oranının artışı ve nüfusun büyümesiyle, elektrikli araç kullanımının artması yönünde önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Türkiye'nin yakın tarihte yerli elektrikli araç üretimine başlamış ve üretimini hızla artırmaktadır.

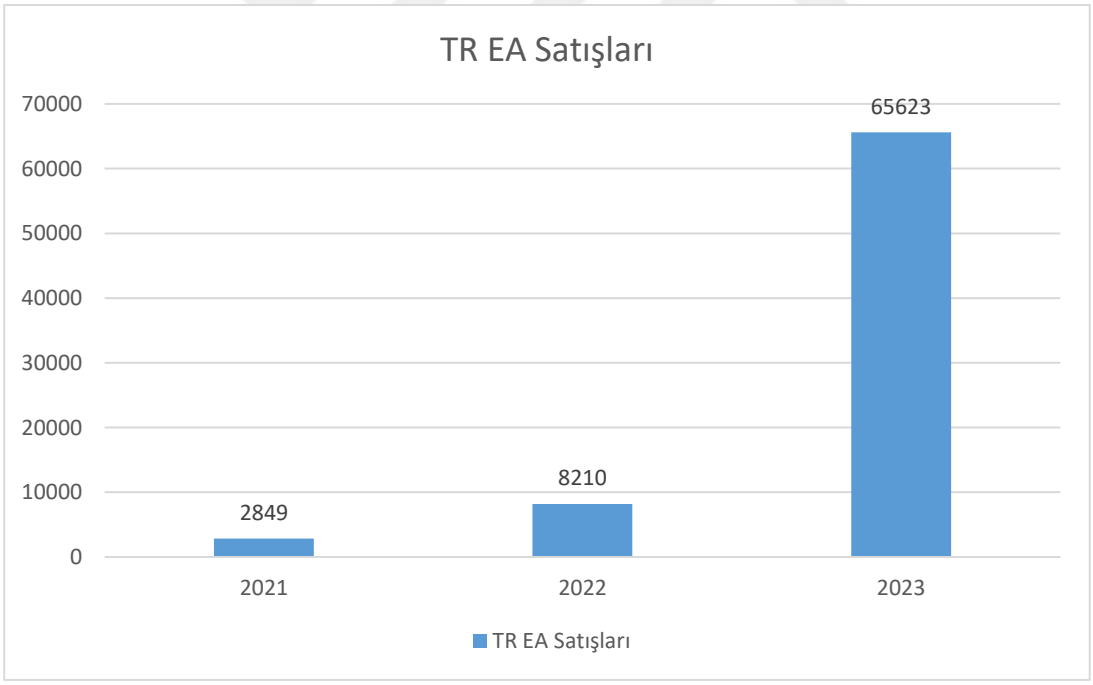


Şekil 2.7. 2017-2021 yılları arası Avrupa’da yakıt tipine göre satış rakamları



Şekil 2.8. 2019, 2020 ve 2021 farklı yakıt tipindeki araçların satış oranları

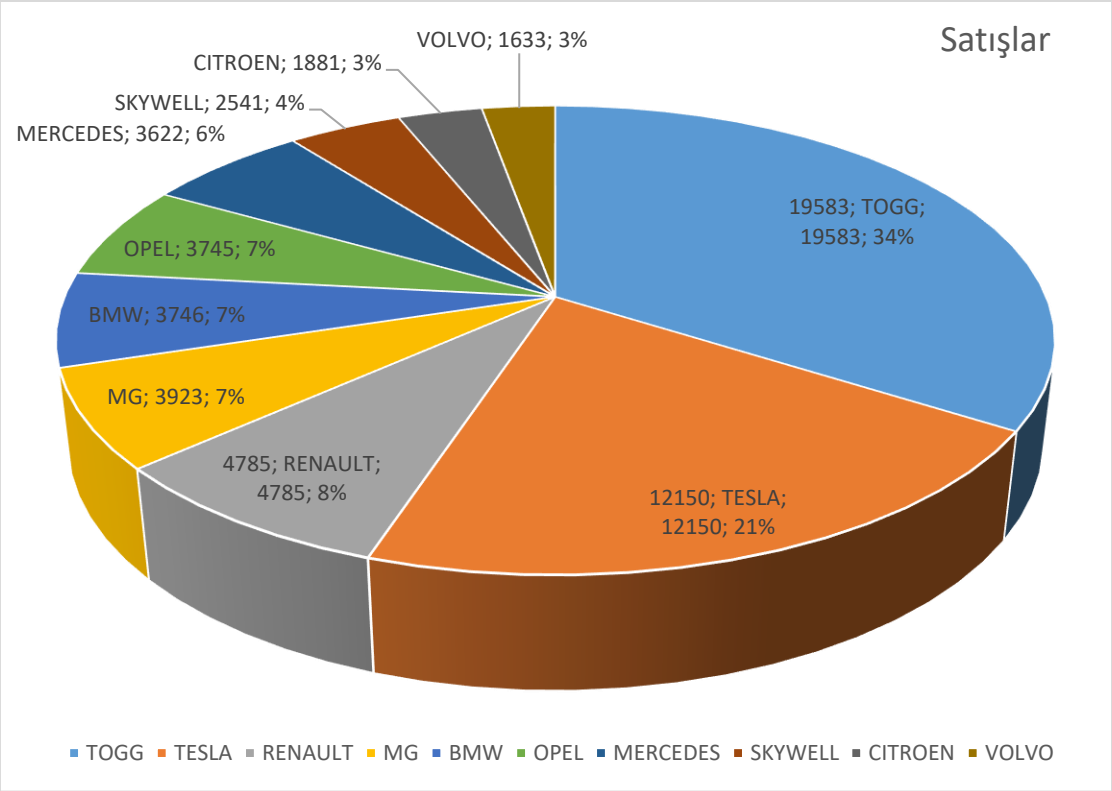
Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu (TEHAD) verilerine göre, 2020 yılında gerçekleşen 18.521 adetlik elektrikli otomobil satışının 16.941 adeti hibrit motorlu araçlar, 1.580 adeti (ŞEA dahil) bataryalı elektrikli araçlar olmuştur (URL-3). 2020 yılında ŞEA ve BEA birlikte 1.580 adet iken 2021 yılında sadece BEA 2.849 adet olmuştur. Türkiye'deki son üç yılın BEA satış rakamları Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Türkiye'deki son üç yılın EA satış rakamları

2022 yılında bir önceki yıla göre yaklaşık 3 katına çıkarken, 2023 yılında yaklaşık 8 katına çıkmıştır. 2023 rakamlarındaki bu hızlı artışın sebebi EA yaygınlaşmasından daha çok yerli elektrikli araç markamız olan TOGG etkisi olmuştur. Şekil 2.10'da 2023 yılı markalara göre BEA satış rakamları görülmektedir.

Diğer bir yandan araç markaları tamamen elektrikli araç üretimi için takvim hedefleri koymaktadır. Jaguar 2025 yılında, Ford 2030 yılında, Volkswagen 2030 yılında, AUDI ise 2033 yılında tamamen elektrikli araç üretiminin olacağını duyurmuştur (URL-4). Türkiye'de EA sayısı tahmini için yapılan projeksiyon çalışması Tablo 2.4'de görülmektedir (EPDK, 2024).



Şekil 2.10. Türkiye'de 2023 yılı markalara göre EA satış rakamları

Tablo 2.4. Türkiye'de EA projeksiyonu

Yıl	Elektrikli Araç Sayısı		
	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
2025	202.030	269.154	361.893
2030	776.362	1.321.932	1.679.600
2035	1.779.488	3.307.577	4.214.273

2.5. Yerli araç TOGG ve TR'de Yaygın Satılan Araçlar

Elektrikli araçlara olan ilgi sebebiyle dünyada elektrikli araç çeşitleri ve üreticileri de her geçen gün artmaktadır. Türkiye, içten yanmalı motorlu araçlar için yerli araç

çalışmasını kaçırsa da artan ve gelişen elektrikli araç teknolojisine zamanında katılarak yerli elektrikli araç çalışmasını başlatmıştır. Haziran 2018'de Türkiye'de yerli otomobil üretmek için birlikte çalışma kararı alan altı şirket Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret AŞ'yi kurmuştur. 2019 yılında Gebze Bilişim Vadisi'nde gerçekleştirilen toplantıda 2022 yılında üretimine başlanacak beş farklı elektrikli araç modeli tanıtılmıştır (Yılmaz, 2020). Üretilen ilk TOGG modeli Şekil 2.11'de görülen T10X C sınıfı SUV olmuştur (URL-5).



Şekil 2.11. Türkiye'nin ilk yerli otomobili marka ve modeli TOGG 10X

TOGG yollara çıkmadan önce, elektrikli araçların batarya ve araç güvenlik testleri, elektromanyetik uyumluluk testleri, araç menzil, fren, önden ve yandan çarpma, yaya koruma ve manevra gibi 41 teknik test ve kontrolden başarıyla geçmiştir (URL-6). Avrupa Birliği otomotiv mevzuatı kapsamındaki bütün testleri tamamlayan TOGG, elektrikli araçların en önemli testlerinden olan "elektrikli araç güvenlik testinden" de geçerek araç tipi onay belgelendirme süreci tamamlanmış ve 2023 yılı nisan aynı itibariyle teslimatlara başlamıştır. Tam dolu batarya ile 314 km ve 523 km menzile sahip iki farklı güç değerinde batarya değerleri ile standart ve uzun menzil seçenekleri sunulmuştur. Motor gücü 160 kW, beygir gücü 218 HP, torku 350 Nm, 0-100km hızlanma 7,8 saniye özelliklerini sabit mıknatıslı senkron motor (Permanent Magnet Synchronous Motor - PMSM) ile sağlamaktadır (URL-7). TOGG AC şarj özelliğini 22

kW olarak belirlemiştir. Bu özelliği ile standart menzil bataryasını 2.5 - 3 saat gibi bir sürede, uzun menzil bataryasını 3.5 – 4 saat gibi bir sürede doldurabilmektedir. TOGG bataryaları hızlı şarj sistemlerini desteklemektedir. Hızlı şarj sayesinde bataryanın %80'lik kısmını 30 dakikada gibi kısa bir sürede doldurmaktadır. Yakıt tüketimi standart menzil 314 km için 16,7 kWh/100 km WLTP olup 524 km uzun menzil için 16,9 kWh/100 km olmaktadır. Tablo 2.5'te bazı marka ve modellerin batarya kapasitesi, AC ve DC şarj güçleri görülmektedir (URL-8).

Tablo 2.5. Marka model teknik özellik tablosu

MARKA	**MODEL**	**BATARYA KAPASİTESİ (kWh)**	**AC ŞARJ GÜCÜ (kW)**	**DC ŞARJ GÜCÜ (kW)**
Audi	e-Tron Q4 40	95	11	150
BMW	ix1 Xdrive30	64	11	130
BMW	İX3	80	11	150
Citroen	e-C4	50	11	100
DS	DS 3 Crossback E-Tense	50	11	100
Fiat	500e	42	11	85
Hyundai	IONIQ 5	77	11	233
Hyundai	Kona EV	67	7,2	77
Jaguar	I-Pace EV400	90	11	104
Kia	Ev6	77	11	50
Kia	Niro EV	64	11	100
Kia	Soul EV	30	7	80
Mercedes	EQE 300	89	11	170
Mercedes	EQS SUV 450	107	22	200
Mg	ZS EV Long Range	72	7	76
Mini	Cooper SE	28	11	50
Nissan	Leaf	40	3,6	46
Opel	Corsa EV	46	11	100
Opel	Mokka-e	50	7,4	101
Peugeot	e-2008 SUV	46	11	100
Peugeot	e-208 EV	48	7,4	100
Renault	Zoe 40	44	22	40
SkyWell	ET 5	85	11	150
Tesla	Model X	72	16,5	150
Tesla	Model Y	60	11	170
TOGG	C-SUV	52	22	180
TOGG	C-SUV	88	22	180
VW	e-Golf	35	7,2	44

2.6. Elektrikli Araçlar ile Enerji İhtiyacının Değişimi

Elektrikli araç satışlarının hızlı ilerleyişi ile 2025 ve 2030 senaryoları düşünüldüğünde elektrikli araç şarjlarının şebekeye ilavesi enerji ihtiyacının önemli ölçüde artıracaktır. Şekil 1.3'teki gibi bir grafiği incelediğimizde kontrollü ve kontrolsüz şarjın saatleri anlaşılmaktadır. Bu saatler mevcut zamanda bile enerji ihtiyacının yüksek olduğu saatler olduğu için kontrolsüz şarjın yerine kontrollü bir şarjın önemi ortaya çıkmaktadır. Şarj modelleri kullanarak genel elektrik talepleri Denklem (2.1) ile hesaplanabilir (California Energy Commission, 2017). Kaliforniya çalışmasının ilk durumunda az sayıda olan EA'nın şarj yüklerinin çıkartılarak şebekenin EA şarjsız yük durum hesabı Denklem (2.1) ile yapılmıştır.

$$\sum_{t=0}^{T} P_{(L-V)_{2017}}(t) = \sum_{t=0}^{T} \left(P_{(L)_{2017}}(t) - \sum_{t=0}^{V} P_{(L-V)_{2017}}(t) \right) \tag{2.1}$$

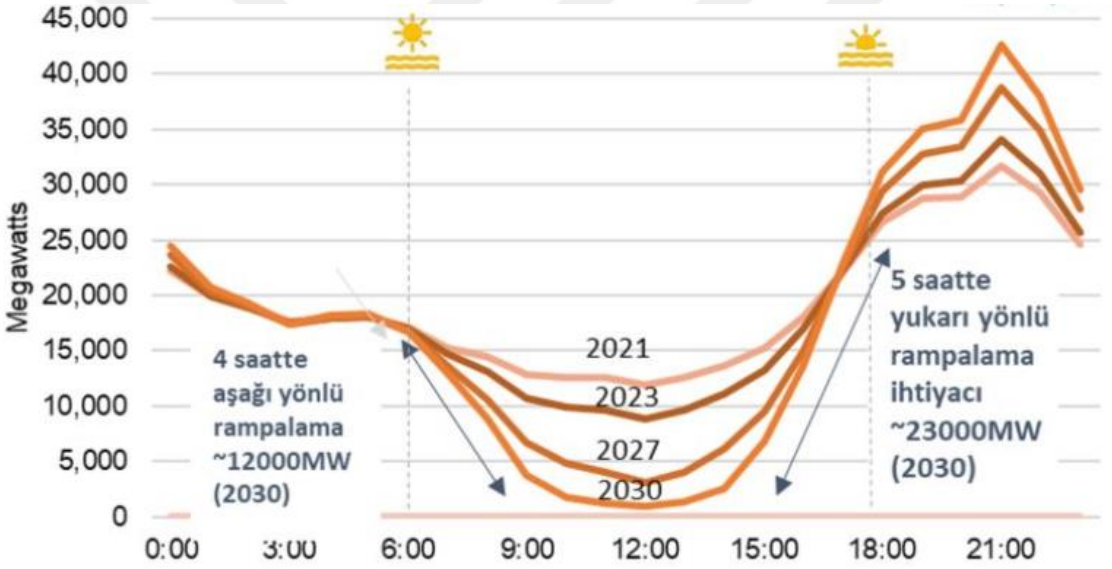
İleriki projeksiyon yılları için şarj talepleri, yönetilmeyen şarjların etkisini araştırmak için Denklem (2.2)'deki gibi her bir talep senaryosu yük profiline ayrı ayrı eklenmektedir (California Energy Commission, 2017).

$$\sum_{t=0}^{T} P_{L_{2030}}(t) = \sum_{t=0}^{T} \left(P_{(L-V)_{2030}}(t) + \sum_{i=0}^{V} P_{i_{2030}}(t) \right) \tag{2.2}$$

Kontrollü şarj senaryosunda, bazı EA şarj istasyonları, şarjı farklı zaman dilimlerine kaydırma kapasitesine sahip olmaktadır. Optimize edilmiş elektrik talep profilleri oluşturmak için yönetilen araç yükleri eklenmektedir. Denklem (2.3)'te tanımlandığı gibi, EA içermeyen net yük P (NL-V) 2030 (t) optimizasyon hedefi olmaktadır. Kontrollü şarj senaryosu için net yük, kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş ve rüzgar), toplam elektrik üretimin sistem elektrik talebinden çıkarılmasıyla belirlenebilir (California Energy Commission, 2018).

$$\sum_{t=0}^{T} P_{(NL-V)_{2030}}(t) = \sum_{t=0}^{T} \left(P_{(L-V)_{2030}}(t) - P_{S_{2030}}(t) - P_{W_{2030}}(t) \right) \tag{2.3}$$

Şebeke yüklenmesinde akşam saatlerinde oluşan enerji ihtiyacı fazlalığı bir tepe oluşturmaktadır (California Energy Commission, 2018). Gündüz saatlerinde ise talebin düşmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin off-grid uygulamaları ile şebeke ihtiyacı oldukça azalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olmayan üretimi, özellikle akşam saatlerindeki yüksek enerji ihtiyacı için üretimde zorlu "yükselme" sorunları oluşturmaktadır (California Energy Commission, 2017). Değişen enerji arzını tüketici talebine uyacak şekilde uyarlamak önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji ihtiyacımız arttıkça bu yükselme sorunları da artacak ve ileriki yılların projeksiyonu ile birlikte baktığımızda literatüre ördek eğrisi olarak geçen eğriyi gösterecektir. Şekil 2.12'de Türkiye için 2021-2030 yılları için yapılan bir projeksiyonda ortaya çıkan ördek eğrisi görülmektedir (Kocer ve diğ., 2020).



Şekil 2.12. Türkiye için yıllara göre değişen ördek eğrisi

Bu eğride göbeğin aşağı inmesi ve başın daha yükselmesi ile akşama doğru kısa zamanda gitgide artan rampa şeklinde bir enerji ihtiyacı oluşmaktadır. Yenilenebilir enerjiden özellikle solar enerji ile buradaki göbek iyice derinleşmektedir. Bu göbek ve hızlı rampalanma şebeke yönetimini zorlaştırmaktadır. (Coignard ve diğ., 2018) çalışmasında optimizasyon fonksiyonları ile bu göbek düzleştirilmek istenmektedir. Burada net yük eğrisinin tepe ve inişlerini en aza indirilmesi EA sürücülerinin şarj seanslarını değiştirerek kontrollü şarj ile yapılabilmektedir. Aracın şarj cihazına bağlanma süresi, aracın fiilen şarj süresinden fazla olabileceği durumlarda, sürücünün

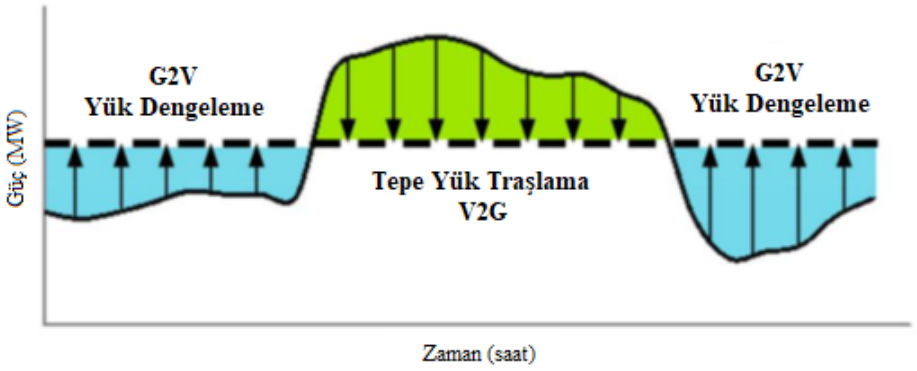
şarj süresini optimize etme potansiyeli olmaktadır. Ördek eğrisindeki tepenin tıraşlanması ve çukurun doldurulması optimizasyonu Denklem (2.4)'te verilmektedir (CEC, 2017) .

$$\sum_{t=0}^{T} P_{NL_{2030}}(t) = min. \sum_{t=0}^{T} \left(P_{(NL-V)_{2030}}(t) + \sum_{i=0}^{V} P_{i_{2030}}(t) \right)^2 \quad (2.4)$$

İkinci optimizasyon güneş enerjisi üretimi gündüz saatlerinde olması ve akşamları elektrik talebinde zirve yapmanın neden olduğu dik artışı aşamalarını hedeflemektedir. Kapasite artışını şebeke operatörü açısından ele almak zor olmaktadır. EA'ların Denklem (2.5)'teki optimizasyon yaklaşımını kullanarak kontrollü şarj yoluyla kapasite artışını yavaşlatması istenmektedir (CEC, 2017).

$$\sum_{t=0}^{T} P_{NL_{2030}}(t) = min. \sum_{t=0}^{T} \left(\Delta P_{(NL-V)_{2030}}(t) + \sum_{i=0}^{V} \Delta P_{i_{2030}}(t) \right)^2 \quad (2.5)$$

Yenilenebilir enerjiden güneş enerjisi üretimi ile 1.Optimizasyon, kontrollü şarj ile 2. Optimizasyon yapılsa dahi mevcut yük seviyelerinde akşam yükü istenilen seviyelere inmemekte ve bunun için de V2G teknolojisi Şekil 2.13'teki gibi bir çözüm sunmaktadır (Miao ve diğ., 2017).

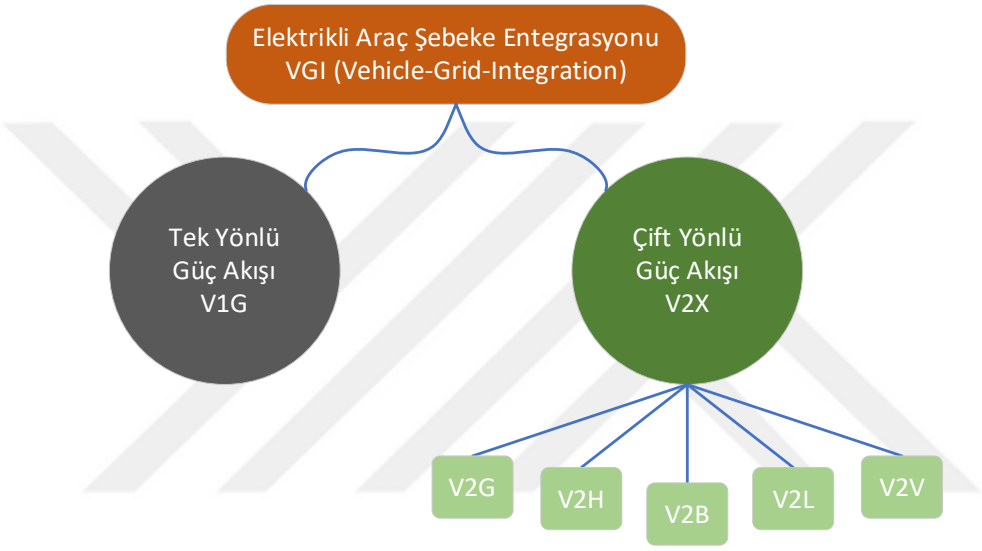


Şekil 2.13. V2G ile yük dengeleme ve pik tıraşlamayı gösteren örnek grafik

EA şarjlar gün içerisinde yükün düşük olduğu saatlerde G2V ile yapılıp, gün içerisinde yükün yüksek olduğu yerlerde şebekeye satılması ile V2G uygulanmaktadır. Bu çözümlerin her birisi denenerek gerçek zamanlı veriler üzerinden uygulanması ve her bir durumun kıyaslanması hedeflenmektedir.

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞEBEKE ENTEGRASYONU

Elektrikli araç şebeke entegrasyonu (Vehicle Grid Integration - VGI) hizmetleri, özünde, elektrik şebekesi üzerindeki etkiyi azaltacak şekilde EA şarjının yönetilmesiyle ilgili olmaktadır (Rather ve diğ., 2023). Şekil 3.1'de görüldüğü gibi tek yönlü ve çift yönlü enerji akışı olmak üzere ikiye ayrılır. Tek yönlü güç akışı kontrollü ve kontrolsüz şarjı oluşturmaktadır. Burada şebekeye geri destek sağlayan bir güç akışı yoktur. Çift yönlü şarj için V2X ifadesi kullanılmaktadır (Ribberink, 2019).



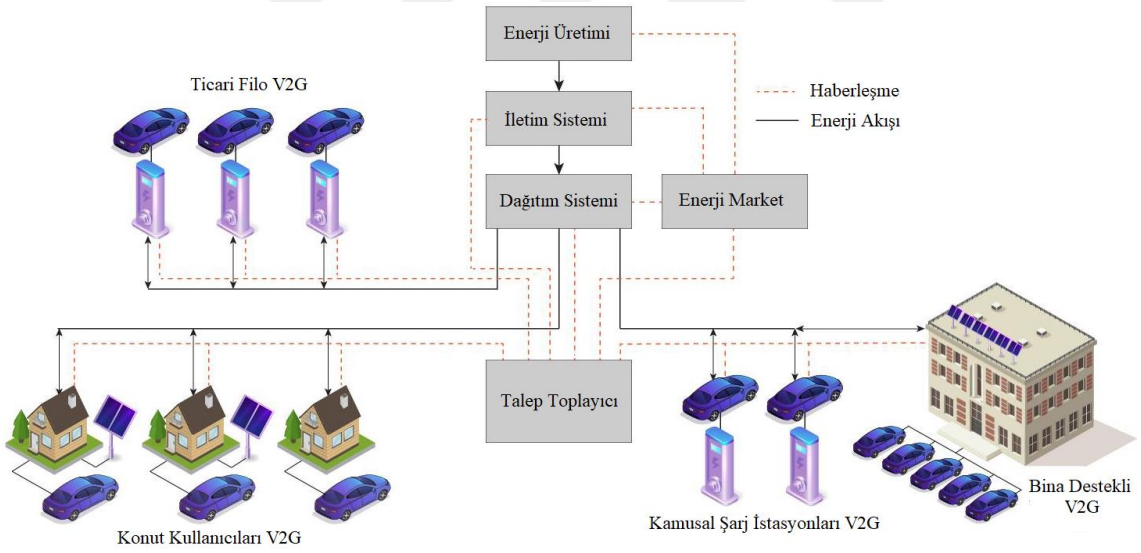
Şekil 3.1. V2I konsepti

V2X, kelime anlamı itibariyle "araçtan her şeye" anlamına gelmekte ve "X" harfi ile "her şey" ifade edilmektedir. V2X konsepti ilk olarak aracın güç aktarımına göre oluşmuştur. Güç aktarımının yapılacağı yer elektrik şebekesi, bir ev, bir bina, bağımsız yükler ve hatta diğer elektrikli araçlar olabilmesi durumuna göre farklı teknolojiler ortaya çıkmıştır. V2X'in güç teknolojileri V2G, V2H, V2B, V2L, V2V alt başlıkları ile açıklandıktan sonra V2X'in haberleşme teknolojisi ve çeşitleri son başlıkta bir bütün olarak verilecektir.

3.1. V2G

V2G, EA bataryasının şarj edilmesiyle birlikte, bataryadaki enerji ihtiyaç duyulduğunda şebekeye geri sağlanabilmektedir. Bu işlemin yapıldığı durum araçtan şebekeye güç aktarımı sağlamakta ve buna V2G (vehicle-to-grid) denilmektedir. Burada, şebekenin

ihtiyacına bağlı olarak EA, şebeke operatörünün şebekeyi en iyi şekilde yönetmesine yardımcı olurken aynı zamanda kamu hizmeti sağlayıcısı ile müşteri arasındaki hizmet sözleşmesine dayalı olarak satılan elektrik için kWh cinsinden gelir elde edebilecektir. V2G'yi kolaylaştırmak için mevcut olması gereken yapıya ilave olarak V2G özellikli donanım (EA ve EA şarj cihazı), güçlü bir iletişim altyapısı, yeterli düzenlemeler, doğru ölçüm gerekmektedir. Donanıma ek olarak, farklı kuruluşların ve paydaşların yakın iş birliğine ihtiyacı vardır. Bulut tabanlı teknolojilerin gelişmesi ile artık her alanda verilerin yoğun olarak toplandığı ve sistemleri daha akıllı ve kullanışlı yapılması için işlendiği sistemlerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu alanda enerjinin daha yönetimi ve maliyetlerin düşürülmesi için akıllı şebekelerin bulut tabanlı enerji yönetimi ile kontrol edilmesi çok büyük önem kazanmaktadır. Şekil 3.2'de örnek bir bulut tabanlı enerji yönetimi yapılan bir akıllı şebeke görülmektedir. Güç akışı, paydaş ve haberleşme akışını gösteren V2G'nin sistem mimarisi Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Rather ve diğ., 2023).



Şekil 3.2. V2G Sistem mimarisi ve bulut tabanlı bir enerji yönetimi örneği

3.2. V2H

Araçtan eve anlamındaki V2H (Vehicle-to-home), EA kullanıcısının EA bataryasında depolanan enerjiyi ev için bir güç kaynağı olarak kullanmasına olanak tanımaktadır. Eğer evde yenilenebilir enerji üretimi varsa, V2H sistemi kapsamında enerji araçlarının aküsünde depolayabilmektedir. Ya da bu depolama işlemi enerji fiyatları ucuz

olduğunda şebeke gücünden de sağlanabilmektedir. Böylece tüketiciler perakende tarifeleri yüksek olduğunda sistemden enerji çekebilmektedir. Kullanıcılar bunu enerji faturalarını azaltmak, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek ve şebeke talebini dengelemek için kullanabilmektedir. Şekil 3.3'te V2H sistemi mevcut olan bir ev görülmektedir (Bryce, 2019).



Şekil 3.3. V2H sistem

3.3. V2B

Araçtan binaya anlamındaki V2B (Vehicle-to-building), birden fazla EA'nın ofis, alışveriş merkezleri vb. gibi daha büyük bir binayı beslediği durumdur. V2H (Vehicle-to-home) ve V2B'nin (Vehicle-to-building) yaygın kullanımı, pik yükü azaltarak, dağıtılmış üretime izin vererek ve binanın öz tüketimini mümkün kılarak şebekenin stabilitesini ve güvenilirliğini artırmaktır (Rather ve diğ., 2023).

V2B kapasitesinden tam anlamıyla yararlanmak ve bina güç hizmeti verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için bina enerji yönetim sisteminin (BEYS) olduğunu da göz önüne almak gerekmektedir. Şekil 3.4'te V2B sistemi mevcut olan bir bina otoparkı görülmektedir (Bryce, 2021).



Şekil 3.4. V2B sistem

3.4. V2L

Araçtan yüke anlamındaki V2L (Vehicle-to-load), EA bataryasının genel bağımsız yüklere güç sağlamak için kullanıldığı V2X'in daha basit uygulamalarından biridir. EA kullanıcısının 220 V AC 50 Hz. şebeke elektriğini kullanan cihazlara veya 12 V DC kullanan cihazlara doğrudan EA'dan güç vermesini sağlamaktadır. Şekil 3.5'te yük olarak aydınlatma sistemine EA'dan verilen bir güç örneği görülmektedir. Bunun için bazı EA'ların gövdesinde zaten mevcut olan üç pimli fiş bulunurken, diğerlerinde EA'nın şarj portuna bağlanıp güç çekmek için bir adaptöre ihtiyaç duyulur. EA'nın içindeki invertörün, sağlanan çıkışlara güç sağlamak için kullanılması nedeniyle nispeten basittir.

V2L sistemi uygulama yönünden daha basit olması ve özellikle acil durumlarda pratik güç sağlayıcı olarak görülmesi sebebiyle uygulanması diğerlerinden biraz daha önce başlamıştır. Şekil 3.6'da uzak doğuda gerçekleşen doğal afetlerde kullanılan V2L sistem örnekleri görülmektedir. Böylece EA'lar gerektiğinde taşınabilir güç kaynağı olarak kullanılabilmektedir.



Şekil 3.5. V2L sistem



Şekil 3.6. Acil durumlarda V2L sistem uygulamaları

Elektrikli araçlardan şu an V2L ile uyumlu olanlar; BMW iX, Ford F-150 Lightning, Hyundai Ioniq 5, Kia EV6, Mercedes-Benz EQB, Porsche Taycan, Tesla Model Y araçlarıdır (URL-9). Araçtaki V2L uyumu konnektör yapısı ve çift yönlü şarj altyapısı ile V2L, V2H, V2B ve V2G'nin hepsi benzer şekilde sağlanmaktadır. V2L TOGG 10X modelinde bulunmamaktadır. Ama TOGG'un ileride çıkacak olan 10F yeni modelinde V2L uyumu olacağı açıklanmıştır (URL-10).

3.5. V2V

Araçtan araca anlamındaki V2V (Vehicle-to-vehicle) örneği Şekil 3.7'de görülmektedir (Sibi, 2018). V2V ile çift yönlü şarj özelliğine sahip bir EA, başka bir elektrikli aracı şarj etmek için kullanılmaktadır. Bunlar aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir:

• Yolda kalmış ya da güç ihtiyacı olan bir EA'nın bataryasının başka bir EA tarafından acil durum desteği olarak doldurulmasıdır.

• Şarj istasyonlarında EA'ların 'yük paylaşımı' yapması. Burada amaç, elektrikli araçların şarj istasyonunun toplam güç kapasitesini aşmayacak şekilde şarj edilmesidir.



Şekil 3.7. V2V sistemi

3.6. V2X Haberleşme Konsepti

Araçların birbirleriyle ve çevreleriyle bilgi alışverişinde bulunmasını sağlayan iletişim teknolojisini ifade etmektedir. Şekil 3.8'de V2X haberleşme konseptinin çeşitleri görülmektedir (URL-11).



Şekil 3.8. V2X haberleşme konsepti

• Diğer araçlar (V2V): Konum, hız ve yöne ilişkin gerçek zamanlı verilerin paylaşılması, çarpışmaların önlenmesine olanak sağlamak ve trafik akışını iyileştirmesini amaçlamaktadır.

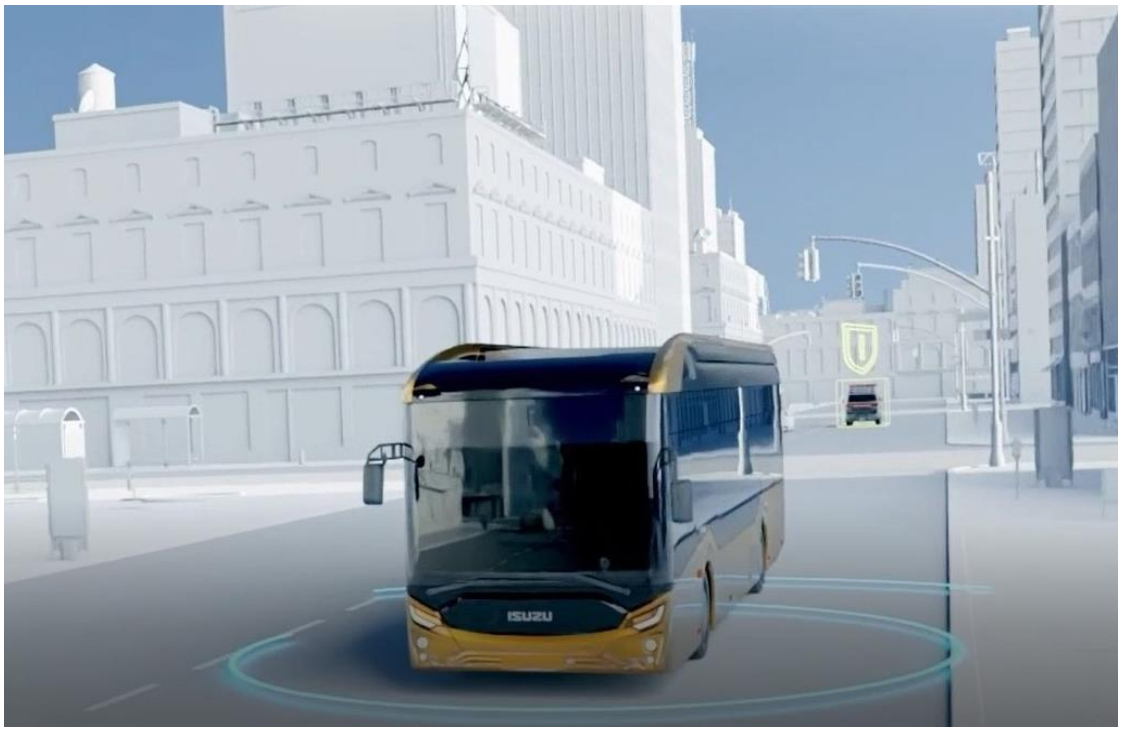
• Yol kenarı altyapısı (V2I): Kazalar, kapanan yollar ve en uygun rotalar hakkında güncellemeler almak için trafik ışıkları, işaretler ve diğer altyapılarla iletişim kurarak sürücüye veri sağlamaktadır.
• Yaya ve diğer korunmasız yol kullanıcıları (V2P): Uyumlu cihazlarla donatılmış yayalar ve bisikletlilerle bilgi alışverişinde bulunarak görüş mesafesinin sınırlı olduğu alanlarda güvenliği artırmayı amaçlamaktadır.
• Ağ (V2N): Ağlar ve internet üzerinden her türlü bilginin alışverişini sağlamayı amaçlamaktadır.

V2X, taşımacılığın geleceği için önemli bir teknoloji olarak öngörülmektedir. Sürücülere çevrelerine ilişkin daha geniş bir farkındalık sağlayarak yol güvenliğini önemli ölçüde artırması beklenmektedir. Şekil 3.9'da acil durum ile durmuş bir araçtan gelen veri ile arkadaki aracın viraja girmeden haberdar olması sağlanmaktadır (Rather, 2023).



Şekil 3.9. V2V örneği

Araçların hızlarını ve rotalarını gerçek zamanlı koşullara göre ayarlamasını sağlayarak trafik akışını optimize edilmesi de teknolojik olarak mümkün olabilecektir. Bu teknolojiler ile daha düzgün bir trafik akışını teşvik ederek araç sıkışıklığı ve emisyonların azaltılması hedeflenmektedir. Çevreyle ilgili sürekli bir veri akışı sağlayarak tam otonom araçlara zemin hazırlanmaktadır. Şekil 3.10'da görülen öndeki araç arkadan gelen acil durum aracının sinyalini alarak gerekli şerit değişikliğini ya da durmasını otonom olarak yapabileceği görülmektedir (Rather, 2023).



Şekil 3.10. Acil durum aracı ile bir otobüsün V2V haberleşmesi

V2X'in yaygın olarak benimsenmesi standardizasyon, güvenlik ve altyapı yatırımı gibi bazı zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Tüm araçların ve altyapının uyumlu iletişim protokollerini kullanmasının sağlanması gerekmektedir.

V2X sistemlerini siber tehditlerden korunması gerekmektedir. Bu zorluklara rağmen V2X, ulaşımda devrim yaratma potansiyeline sahip, hızla gelişen bir teknolojidir. Araştırma ve geliştirme devam ettikçe V2X'in daha güvenli, daha verimli ve daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturmada giderek daha önemli bir rol oynayacağı beklenmektedir.

4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEBEKE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Örnek alınan mahalledeki trafo merkezi verileri bölgedeki elektrik dağıtım firmasından izin ile alınmıştır. Trafo merkezinde bulunan cihazlar ile trafodan çekilen güç her 15 dakikada kayıt altına alınmaktadır. Bu veriler bize bir yıllık olarak excel tablosu halinde verilmiştir. Bu veriler mevcut durumu oluşturacağı için beş ve on yıl sonrası mahallede bulunacak olan EA sayıları hakkında bir yaklaşım yapmak gerekmektedir. EA şarj olurken şebekeden ne kadar güç çekeceği ve şarj yük seviyesinin ne kadar olması gerekeceği konusunda da yine bir varsayım yapmak gerekmektedir. Şarj Tipleri IEC-61851 standardına göre 4 mod altında incelenmektedir (Durmuş ve diğ., 2020). Buna göre mod-1 3,3kW yavaş AC şarj, mod-2 7.4kW seviyelerinde olup yavaş-orta AC şarj, mod-3 22kW seviyelerine kadar çıkan hızlı sayılabilecek AC şarj modlarıdır (Durmuş ve diğ., 2020). mod-4 ise 50-350kW seviyelerinde olan hızlı DC şarj modudur. mod-3 ve mod-4 de evin altyapısına uygun bir bağlantı istasyonunun kurulması gerekeceği için biz çalışmamızda mod-2 şarj tipini örnek alarak hesaplamalar yapılmaktadır. Avrupa'da elektrikli araçlarının mobilitesi hakkında yapılan çalışmada araçların %75'inin günlük 47 km'den az mesafe katettiği sonucuna varılmıştır (Corchero, 2014). Buradan yola çıkarak araçların 5-6 günde bir tam şarj gerekeceği kabul edilmiştir. Bu şarjların da her binada geçerli olmak üzere mod-2 AC şarj tipi ve 7 kW şarj seviyesi ile yapılacağı varsayımında bulunulmuştur. EA batarya kapasitelerinin ortalama 70 kWh olduğu kabul edilmiştir.

4.1. Trafo Merkezi Bölgesi ve Özellikleri

Bölge elektrik dağıtım şirketi ile iletişime geçilerek şirketin izni ile trafo kullanım kapasitesi yüksek olan 3 farklı trafo merkezi verilerine erişilmiştir. Bunların arasından şehir merkezine yakın, elektrik kullanımının yüksek olduğu ve örnekleme açısından uygun görülen bir trafo merkezi analiz açısından uygun görülmüştür. Trafonun abone sayısı 651, trafo kapasitesi 350 kVA'dır. Tezimizde kullanacağımız verilerin alındığı trafo noktası ve trafonun beslendiği abonelerin alanı Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Abonelerin mahalledeki konumları dağıtım şirketi tarafından verilmeyip bölgede yerinde çalışma yapılıp her binanın daire sayıları çıkarılmıştır. Buradan yola çıkıp abone sayısına tekabül edecek yaklaşık bir alan belirlenip trafonun beslediği alan yaklaşık tahmini olarak çizilmiştir. Tablo 4.1'de trafo merkezinden alınan verilerden 10 Mart

2020 gününün ilk çeyreğindeki (saat 06:00'a kadar olan) verileri örnek olarak verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere cihaz her 15 dakikada bir veri kaydı yapmıştır. Bu da bir günde 96 veriye tekabül etmektedir.

Tablo 4.1. 10 Mart 2020 gününe ait ilk 24 verisi (6 saatlik)

Tarih	Saat	Ptoplam (Watt)	Qtoplam (VAR)
10.03.2020	00:00	173.933	28.774
10.03.2020	00:15	172.342	28.077
10.03.2020	00:30	166.573	31.285
10.03.2020	00:45	151.814	24.864
10.03.2020	01:00	148.957	29.403
10.03.2020	01:15	141.694	29.438
10.03.2020	01:30	136.415	28.300
10.03.2020	01:45	138.209	27.598
10.03.2020	02:00	131.400	25.740
10.03.2020	02:15	135.244	25.798
10.03.2020	02:30	128.629	27.475
10.03.2020	02:45	124.648	26.286
10.03.2020	03:00	123.925	27.410
10.03.2020	03:15	122.798	27.924
10.03.2020	03:30	124.210	26.513
10.03.2020	03:45	123.443	24.467
10.03.2020	04:00	140.152	24.997
10.03.2020	04:15	142.504	25.335
10.03.2020	04:30	140.251	24.910
10.03.2020	04:45	138.169	24.483
10.03.2020	05:00	137.216	26.953
10.03.2020	05:15	129.298	29.000
10.03.2020	05:30	121.360	25.958
10.03.2020	05:45	132.453	28.473

Kayıt altına alınan veriler de bulunmayan görünür gücü hesaplayarak bulmamız gerekmektedir. Trafo merkezinde bulunan 651 abonenin toplam tüketimi görülmektedir.

Bu veri 651'e bölünerek abone başına düşen ortalama tüketimi bulunmaktadır. Bu iki veriyi de hesaplayarak tabloya eklediğimizde Tablo 4.2, aşağıdaki gibi olmaktadır.

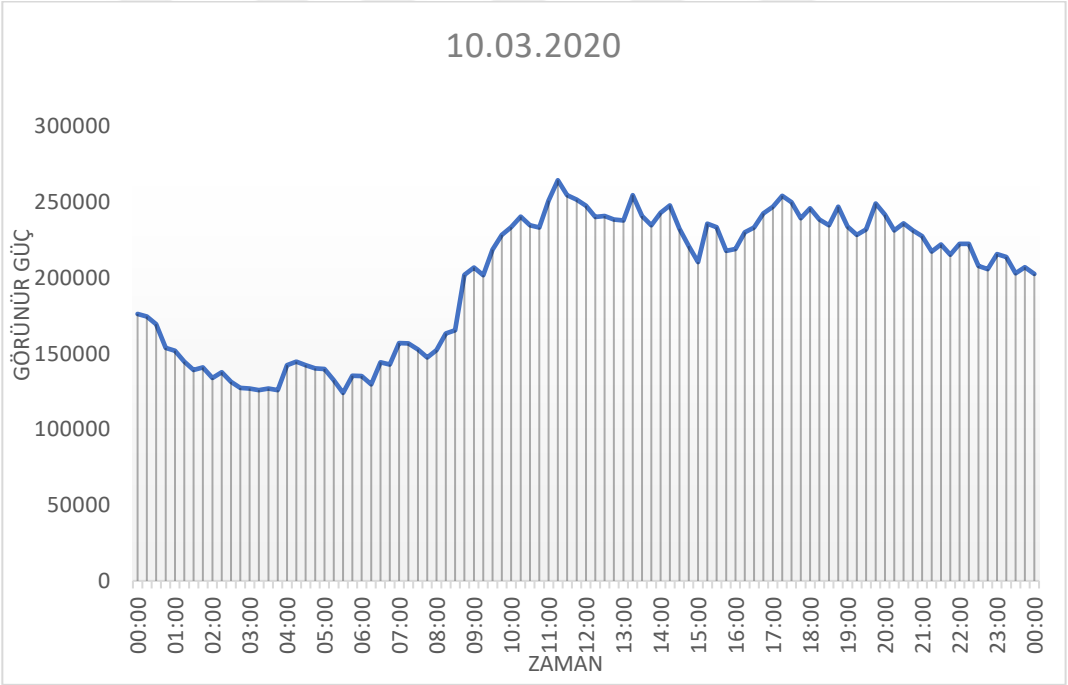
Tablo 4.2. 10 Mart 2020 hesaplanan ve abone başına ortalama görünür güç

Tarih	Saat	Ptoplam (Watt)	Qtoplam (VAR)	Hesaplanan S (VA)	Ort. Abone S (VA)
10.03.2020	00:00	173933	28774,5	176297,1	270,8
10.03.2020	00:15	172342	28077,3	174614,4	268,2
10.03.2020	00:30	166573	31285,1	169484,9	260,3
10.03.2020	00:45	151814	24864,8	153836,9	236,3
10.03.2020	01:00	148957	29403,2	151831,5	233,2
10.03.2020	01:15	141694	29438,4	144719,4	222,3
10.03.2020	01:30	136415	28300,3	139319,3	214,0
10.03.2020	01:45	138209	27598,5	140937,8	216,4
10.03.2020	02:00	131400	25740,4	133897,8	205,6
10.03.2020	02:15	135244	25798,2	137682,5	211,4
10.03.2020	02:30	128629	27475,9	131530,4	202,0
10.03.2020	02:45	124648	26286,6	127389,8	195,6
10.03.2020	03:00	123925	27410,3	126919,8	194,9
10.03.2020	03:15	122798	27924,7	125933,5	193,4
10.03.2020	03:30	124210	26513,2	127008,3	195,0
10.03.2020	03:45	123443	24467,2	125844,0	193,3
10.03.2020	04:00	140152	24997,9	142363,7	218,6
10.03.2020	04:15	142504	25335,9	144738,6	222,3
10.03.2020	04:30	140251	24910,6	142445,9	218,8
10.03.2020	04:45	138169	24483,8	140321,9	215,5
10.03.2020	05:00	137216	26953,3	139838,3	214,8
10.03.2020	05:15	129298	29000,6	132510,3	203,5
10.03.2020	05:30	121360	25958,8	124104,7	190,6
10.03.2020	05:45	132453	28473	135478,6	208,1

10 Mart gününde her 15 dakikada alınan 96 adet veri ile çizdirilen grafik Şekil 4.2'de görülmektedir. Bu veri bize belirtilen tarih ve saatte trafodan çekilen güç verilerini göstermektedir.

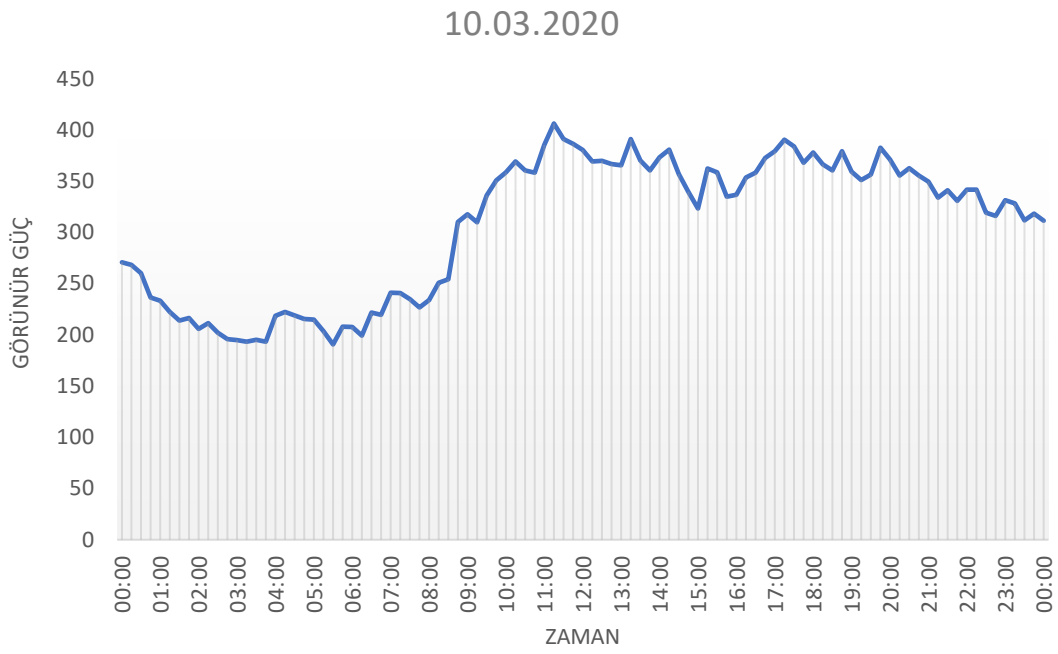


Şekil 4.1. Trafo merkezinin abonelerinin bulunduğu bölge



Şekil 4.2. 10 Mart 2020 trafodan çekilen toplam güç değişimi

Trafo merkezinde 651 abone olduğu için biz trafo verilerini 651'e bölerek aynı günler için bir aboneye düşen ortalama tüketime de ulaşmış olmaktayız. Bu şekilde bir hesaplama ile yine 10 Mart günü için bir aboneye düşen tüketim grafiği Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. 10 Mart 2020 bir aboneye düşen ortalama güç değişimi

4.2. Trafo Merkezinde 2025 ve 2030 Yıllarında EA Projeksiyonu

Global EV Outlook raporunda, IEA (International Energy Agency) aracılığıyla e-mobilitenin 2030'a bakışı için mevcut hükümet politikalarını içeren "Belirtilmiş Politikalar Senaryosu" ve Paris Anlaşması'nın iklim hedefleriyle tamamen uyumlu olan "Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu" iki adet senaryo bulunmaktadır (IEA, 2020). Sürdürülebilir kalkınma senaryosunda, 2025 ve 2030 yıllarında küresel elektrikli araç stoğu sırasıyla 80 milyon ve 245 milyon araca ulaşmaktadır. Bu da 2025 yılındaki elektrikli araç sayısının toplam araç sayısına oranının %4 olduğunu, 2030 yılında ise bu oranın %12,25 olduğunu göstermektedir (iki / üç tekerlekli araçlar hariç) (IEA, 2020). Elektrikli araçların gelişim ve yaygınlaşma hızı göz önüne alındığında 2025 ve 2030 projeksiyonlarını incelemek uygun görülmüştür. Örnek olarak inceleyeceğimiz trafonun bulunduğu şehirdeki nüfus, araç sayıları; TÜİK ve IEA oranları ile hesaplanarak bir ölçeklendirme yapılmıştır. Bu ölçeklendirme ile bu trafo merkezinde 2025 ve 2030 yıllarında olabilecek EA sayısı ortaya çıkarılmış ve bu çıkarımın aşamaları Tablo 4.3'te sunulmuştur.

Tablo 4.3. 2025 ve 2030 yılı için trafo merkezindeki araç sayısı projeksiyonu

Yıl	Açıklama	Değer	Kaynak
2020	Kocaeli Nüfusu	1.997.258	TÜİK
2020	Kocaeli motorlu araç sayısı	414.302	TÜİK
2020	Kocaeli binek araç sayısı	246.184	TÜİK
2020	Kocaeli' de kişi başına düşen binek araç sayısı	0,12	Hesap
2020	Trafo merkezi abone sayısı	651	Hesap
2020	Trafo Merkezi oturan kişi sayısı	2604	Hesap
2020	Trafo merkezindeki araç sayısı	320,97	Hesap
2025	IEA 2025 Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu EA oranı	%4	IEA
2030	IEA 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu EA oranı	%12,25	IEA
2025	Trafo merkezindeki EA sayısı	12,84	IEA ve formül
2030	Trafo merkezindeki EA sayısı	39,32	IEA ve formül

İstatiksel yaklaşım sonucunda trafo merkezi için 2025 yılı projeksiyonunda 12 adet elektrikli aracın olacağı kabul edilmiştir. 2030 yılı projeksiyonunda ise 40 adet elektrikli aracın olacağı kabul edilmiştir.

4.3. Elektrikli Araçların Şarj Periyotları ve Saatleri

Araçların gün içerisindeki şarjları için senaryolar oluşturuldu. Tablo 4.4'te iki farklı şarj modeli görülmektedir. Yeşil ile boyanmış olan saatler, ticaret ile uğraşan ya da işe arabayla giden birisinin iş saatlerinde yaptığı şarjı temsil etmektedir. Mavi ile boyanmış olan saatler ise işten gelen kişinin şebeke yüküne dikkat etmeden akşam saatlerinde kontrolsüz şarj yapmaktadır. Ticari firmaların iş saatlerinde kendilerine ait şarj istasyonlarında yaptıkları şarjı varsayarak toplam EA sayısının yarısının şarjını 09:00 ile 16:00 arasında yaptığı varsayılmıştır. İş için kullanımdan sonra akşam evlerindeki şarj istasyonlarında yaptıkları şarjı varsayarak toplam EA sayısının diğer yarısının 17:00 ile 24:00 arasında yaptığı varsayılmıştır. Bu durumda 2025 için 6 şar araç gündüz ve akşam şarjları yaparak şarj yükleri oluşturuluştur. 2030 için 20 şer araç gündüz ve akşam şarjları yaparak şarj yükleri oluşturuluştur. Araçların yarısı 5 günde bir, diğer yarısı da 6 günde bir şarj yapmaktadır. Böylece 30 günde bir tüm şarjların çakışma durumu oluşturulmuştur.

Tablo 4.4. Ocak ayında şarjın yapıldığı gün ve saatleri

Saatler / Günler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Ocak																								
2 Ocak																								
3 Ocak																								
4 Ocak																								
5 Ocak																								
6 Ocak																								
7 Ocak																								
8 Ocak																								
9 Ocak																								
10 Ocak																								
11 Ocak																								
12 Ocak																								
13 Ocak																								
14 Ocak																								
15 Ocak																								
16 Ocak																								
17 Ocak																								
18 Ocak																								
19 Ocak																								
20 Ocak																								
21 Ocak																								
22 Ocak																								
23 Ocak																								
24 Ocak																								
25 Ocak																								
26 Ocak																								
27 Ocak																								
28 Ocak																								
29 Ocak																								
30 Ocak																								
31 Ocak																								

Tablo 4.5'te yıl içerisindeki şarj çakışmalarının olduğu günler görülmektedir. Tabloya bakılarak yıl içerisinde 12 çakışma (en kötü durum senaryoları) olduğu görülmektedir. Böylece yıl içerisindeki 12 ay içindeki her ay için bir gün çakışma gerçekleşmektedir. Her ay için farklı ışınım verileri olduğundan dolayı PV sonuçları açısından 12 farklı ay için de sonuç sunmaktadır.

Tablo 4.5. Yıl içerisinde şarj çakışmalarının olduğu günler

Saatler / Günler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
30 Ocak																								
29 Şubat																								
30 Mart																								
29 Nisan																								
29 Mayıs																								
28 Haziran																								
28 Temmuz																								
27 Ağustos																								
26 Eylül																								
26 Ekim																								
25 Kasım																								
25 Aralık																								

Tabloya bakıldığında yeşile boyalı saatler gündüz saatlerinde 6 günde bir şarj yapan EA kullanıcılarını temsil etmektedir. Maviye boyalı saatler akşam saatlerinde 5 günde bir şarj yapan EA kullanıcılarını temsil etmektedir. Kırmızı renk tarihler hafta sonlarını temsil etmektedir. Kırmızıya boyanan tarihler ise şarjın çakıştığı (en kötü durum senaryosu) tarih ve günleri temsil etmektedir.

4.4. Elektrik Kullanıcılarının ve EA Sahiplerinin Numaralandırılması

Trafo merkezinin beslediği alan belirlenmiştir. Numaralandırma kolay olması için öncelikle Şekil 4.4. Trafo bölgesi ada, bina ve kullanıcı numaralandırılmaları şematik olarak oluşturulmuştur. Her bir ada numaralandırılarak binalar oluşmakta, her bir bina numaralandırılarak elektrik kullanıcıları oluşmaktadır. Sistemde bulunan 15 ada, 179 bina, 651 kullanıcı böylece numaralandırılmıştır. Ayrıca EA kullanıcıları bazı kullanıcılara atanmış ve Şekil 4.4'de yeşil renkle gösterilmektedir. Bina çatı alanları şehir rehberi programından ölçülerek şemaya aktarılmış ve PV kullanıcıları mavi renkle gösterilmiştir. Mahalle verileri şema olarak çıkarıldıktan sonra yazılım programı veri tabanına aktarılmıştır.

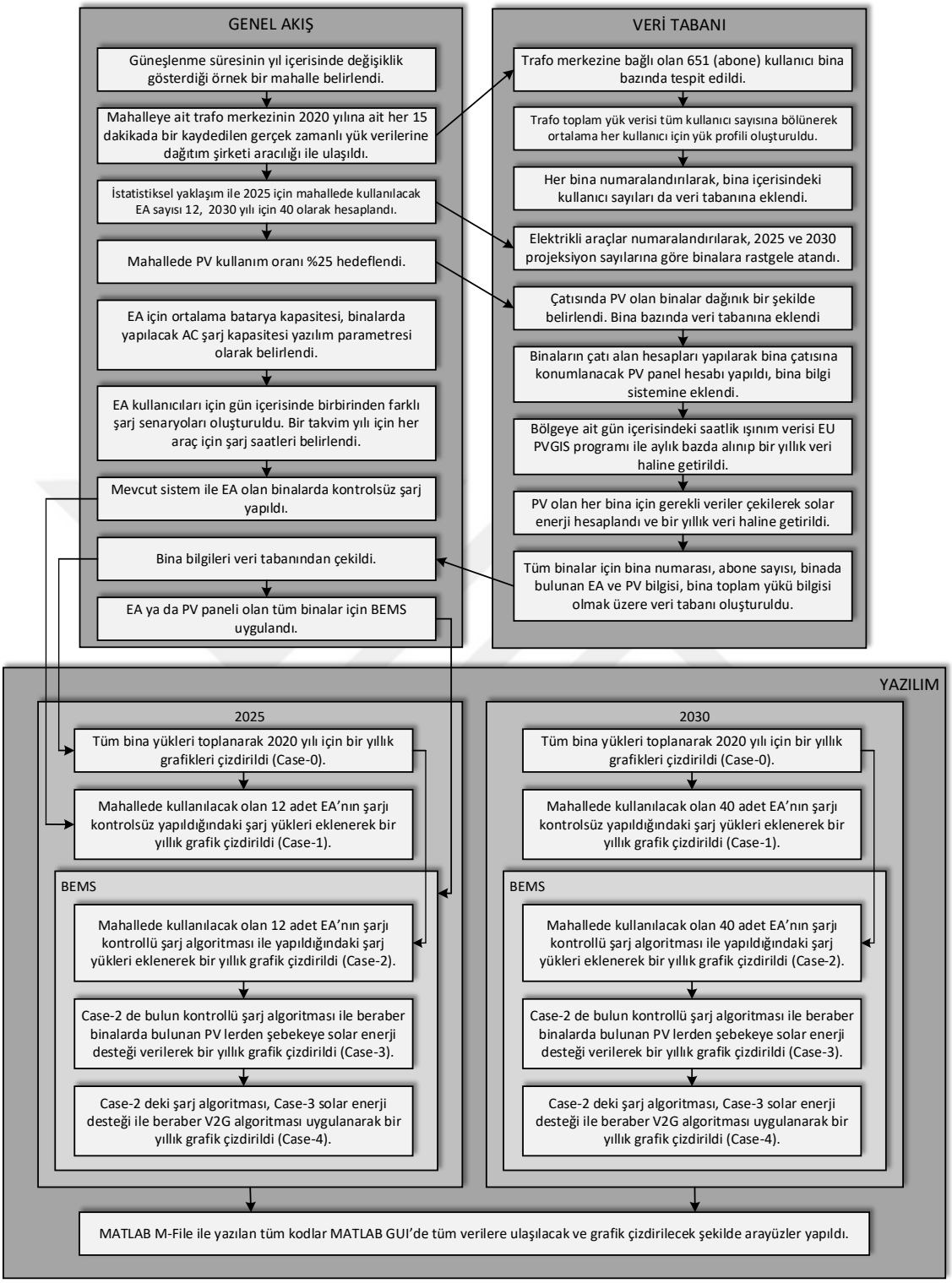


Şekil 4.4. Trafo bölgesi ada, bina ve kullanıcı numaralandırılmaları

5. ÖNERİLEN ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

Elektrikli araç şarj istasyonları için yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenen araçtan şebekeye enerji yönetim algoritmasının test edilmesi için elektrik dağıtım şirketinden 2020 yılına ait bir trafo merkezinin 15'er dakikalık güç değişim verileri elde edilmiştir. Güç değişim verilerin izlenmesi için; şehir merkezine yakın, elektrik kullanımının yüksek olduğu ve örnekleme açısından uygun görülen bir trafo merkezi analiz açısından uygun görülmüştür. Elektrik dağıtım firmasının izniyle 651 abonenin bulunduğu 350kVA'lık bir trafo merkezinin 2020 yılı boyunca kayda alınan güç değişim verileri kullanılmıştır. Trafodan çekilen güç her 15 dakikada bir kayda alınmakta ve saat tarih ile birlikte tutulmaktadır. Her 15 dakikada alınan bu veriler, günlük 96 satırlık bir veriyi, yıllık 35136 satırlık bir diziyi oluşturmaktadır. Bu veriler doğrultusunda çalışmaya başlanmış ve trafodan alınan bu veriler mevcut durumu yani durum-0'ı oluşturmuştur. Oluşturulan veri tabanı ve yazılım aşamalarının gösterildiği detaylandırılmış metodolojik şema Şekil 5.1'de görülmektedir.

Tablolar halinde bina numara, kullanıcı sayıları, PV ve EA kullanıcı bilgileri hazırlanmıştır. Her bina için çatı alanı hesaplanarak bina bilgi tablosuna eklenmiştir. PV için enerji hesaplamasında gerekli olan ışınım verileri de AB PVGIS aracı üzerinden alınmıştır. Güneş ışığının değiştiği her ay için ayrı ayrı hesaplamış gerçek veri ortalamaları gün içerisinde saatlik değişim olarak alınarak matris halinde veri tabanına eklenmiştir. Çatısında PV panel var ise çatı alanı ve ışınım verilerini kullanarak anlık güneş enerjisinde üretilecek elektriği hesaplayacak M-File MATLAB programı ile yazılmıştır. EA kullanıcıları için oluşturulan şarj yükleri gerekli gün ve saatler için matris halinde oluşturulmuştur. Kontrollü şarj ve V2G algoritmaları için m-File dosyaları oluşturulmuştur. Durum-0, Durum-1 ile bina enerji yönetim sistemini (BEMS) içeren Durum-2, Durum-3 ve Durum-4 için algoritmaları çağırarak hesaplamaları yapan M-File dosyaları oluşturulmuştur. Bu durum tahminlerini algoritmalar ile belirli tarihte çizdirebilmek için tarih seçimini giriş olarak alabilen, 2025-2030 yıl projeksiyonlarındaki varsayımları gösteren, bina bilgilerini gösteren, trafo merkezi bilgilerini gösteren, çizdirilecek durumun seçilebildiği ve tahmin edilen grafiğin çizdirildiği bir arayüz MATLAB GUI ile yapılmıştır.

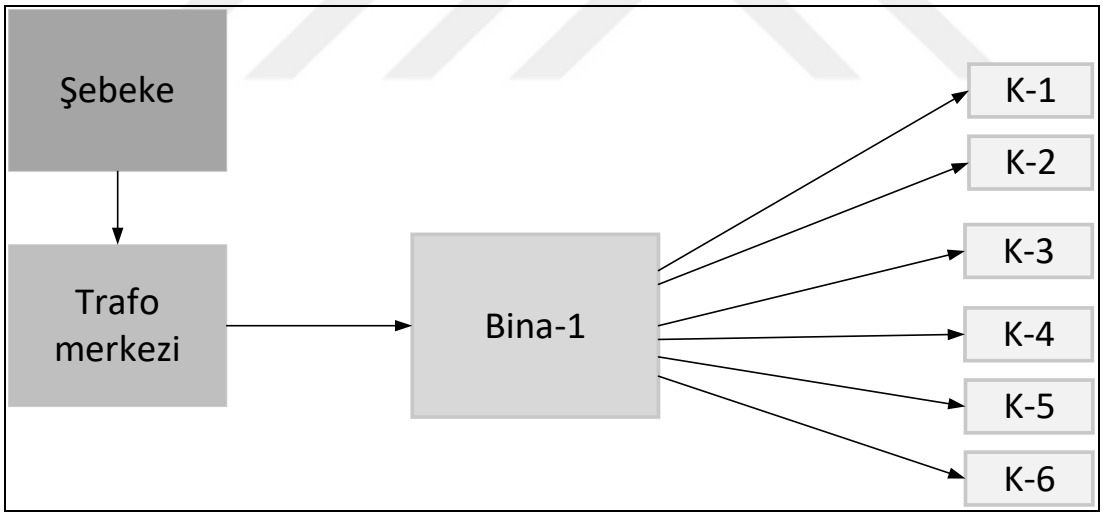


Şekil 5.1. Detaylandırılmış metodolojik şema

Elektrikli araçların şebekeye etkisini belirleyebilmek için, her çözüm senaryosu için beş farklı durum aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır:

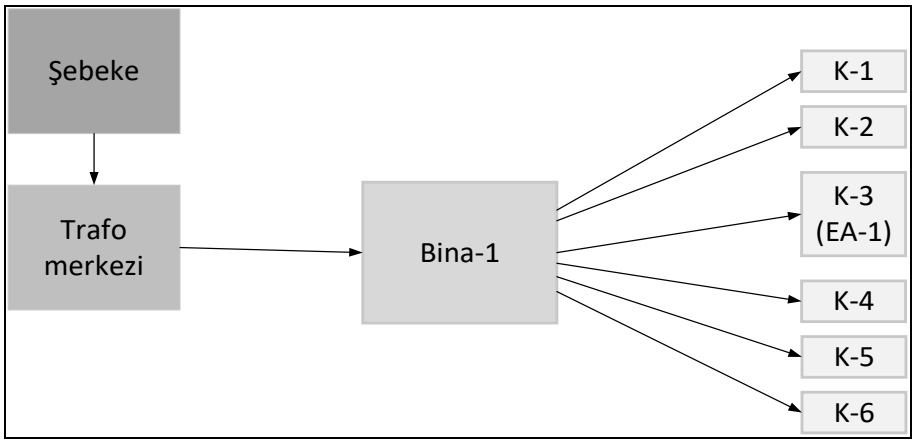
1. Durum-0 EA'nın olmayıp mevcut trafo yükünün olduğu durum
2. Durum-1 EA olduğu ama kontrolsüz şarj edildiği durum
3. Durum-2 EA şarjının akıllı yönetim sistemi ile kontrollü bir şekilde yapıldığı durum
4. Durum-3 EA şarjının kontrollü şarj edilmesiyle birlikte bina çatılarında PV panel ile yenilenebilir enerji üretiminin olduğu durum (Yönetilen şarj + Solar Enerji)
5. Durum-4 Yönetilen Şarj ve araçtan şebekeye elektrik aktarıldığı durum (V2G + Yönetilen şarj + Solar Enerji)

Durum-1 ortalama araç batarya kapasitesinin günlük ortalama kullanıcı seyahat sürelerine bağlı olarak batarya boşaldığında tekrar şarj edildiği durumdur. Bu durum kullanıcının şebeke yüklerine bakmadan tüketimin yoğun olduğu saatlerde de şarjın kontrolsüz olarak yapıldığı durumdur. Durum-0 blok şeması Şekil 5.2'de görülmektedir.



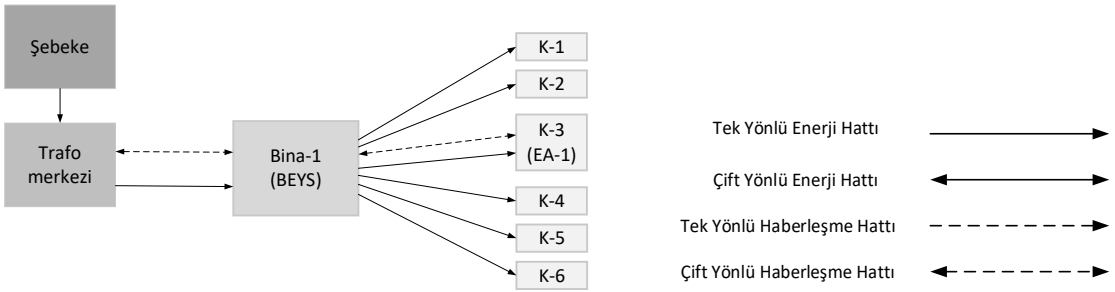
Şekil 5.2. Durum-0 blok şeması

Bir yıllık kullanıcı profilleri EA sayısı kadar M-File ile oluşturulmuştur. Oluşturulan bu profiller yazılım aracılığı ile şarj saatlerinde şarjda kullandığı kadarlık yükü trafodan çekmekte ve Durum-1'i oluşturmaktadır. Durum-1 blok şeması Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3. Durum-1 blok şeması

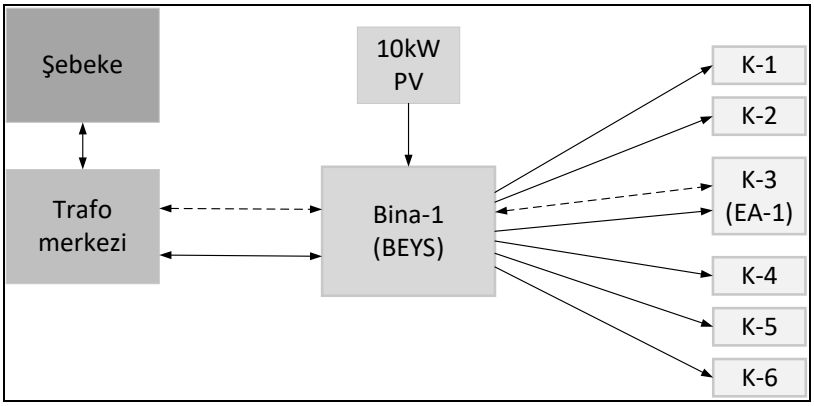
Durum-2, trafo verileri analiz edilerek şebekeden çekilen elektriğin fazla olduğu pik saatlerde elektrikli araç şarjının yapılmayarak enerji tüketiminin az olduğu saatlerde yapıldığı durumdur. Trafo ile veri alışverişi yapabilen akıllı bir sistem trafonun anlık çektiği yükü görüp trafo kapasitesine oranlayarak kapasite kullanım oranını çıkarmaktadır. Prize takılı olup hazırda bekleyen elektrikli araç şarjı, trafo kapasite kullanım oranının düşük olduğu seviyelerde başlayarak araç şarjı yapılmaktadır (Yönetilen şarj ya da yük kaydırma). Durum-2 blok şeması Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4. Durum-2 blok şeması

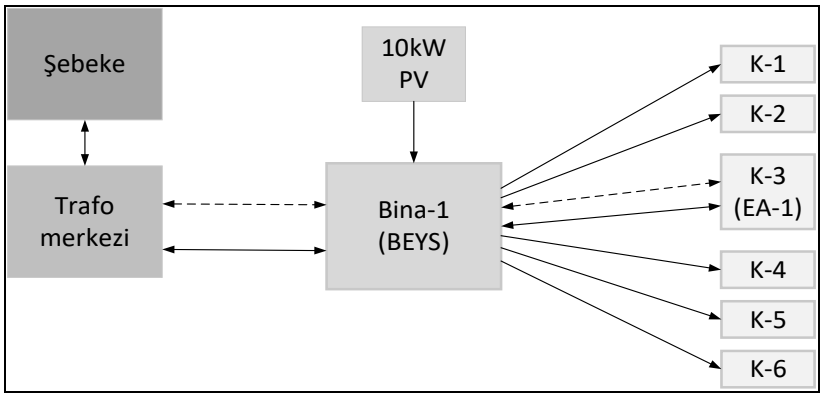
Durum-3, binaların çatılarında bulunan güneş panelleri ile elektrik enerjisinin üretilip şebekeye verilerek trafodan çekilecek toplam yükün azaldığı durumdur. Durum-3 blok şeması Şekil 5.5'te görülmektedir. Trafo bölgesindeki binaların çatı alanları hesaplanmakta ve çatılara kurulabilecek PV kapasitelerine göre yazılıma veri girişi sağlanmaktadır. Trafo bölgesinde bulunan binaların %25'i solar enerjiyi kullandığı varsayılarak yük profilleri oluşturulmaktadır. Buradaki enerji hesabını yapabilmek için güneş ışınım verileri Avrupa Birliğinin bir aracı olan PVGIS üzerinden 2020 yılı

seçilerek alınmaktadır (URL-12). O yıl içerisinde bulunan her ay için ortalama gün içerisindeki saatlik ışınım grafikleri yazılıma çekilerek enerji hesabında kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Durum-3 blok şeması

Durum-4, elektrikli araçların aktif kullanılmadığı durumlarda üzerlerinde bulunan bataryaların trafonun kapasite kullanım oranının düşük olduğu saatlerde doldurulup elektrik ihtiyacının yoğun olduğu saatlerde şebekeye satılması durumudur (V2G). Bu durum, solar enerjinin bulunduğu Durum-3 ve EA'ların bataryadan satış yapmadan kendi tüketimleri için yaptığı şarjı kontrollü yaparak Durum-2'yi de kapsamaktadır. Durum-4 blok şeması Şekil 5.6'da görülmektedir.

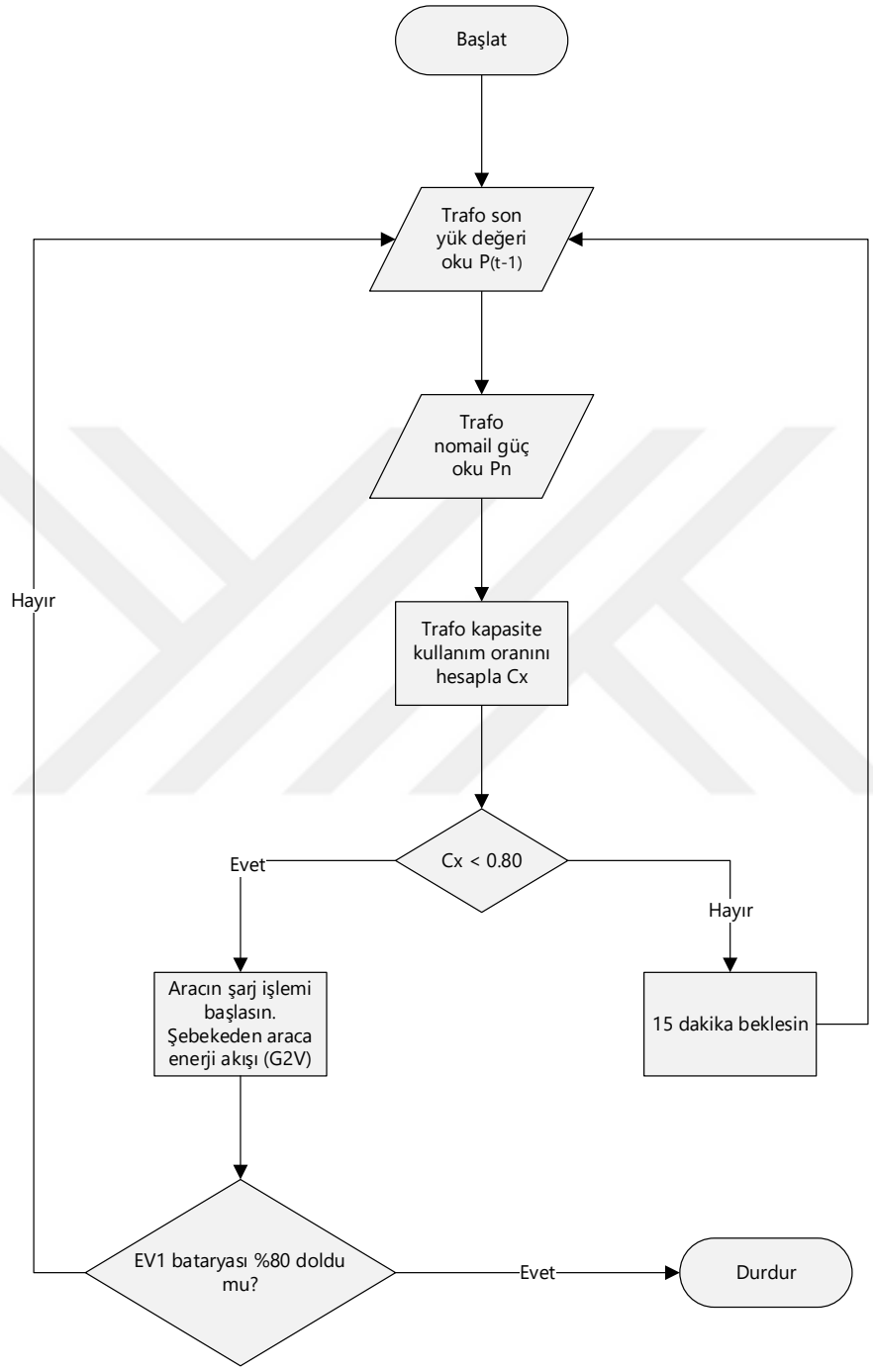


Şekil 5.6. Durum-4 blok şeması

5.1. Kontrollü Şarj

BEYS olan binalarda şarj ünitesi şebeke ile haberleşme halinde olmaktadır. EA şarja takıldığında şebekenin yoğun olmadığı ideal bir zamanda şarjın başlatılması gerekmektedir. Bu çalışmada bunun için eşik değer olarak trafonun kapasite kullanım

oranı belirlenmiştir. Matlab M-File kodu ile yazılan kontrollü şarj algoritması akış diyagramı olarak Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Kontrollü şarj algoritması akış diyagramı

Trafo merkezinden alınan veri trafonun anlık yükü olduğu için yazılımda trafo kapasite kullanım oranı % 80' in altında iken şarjı başlatacak şekilde algoritma oluşturulmuştur.

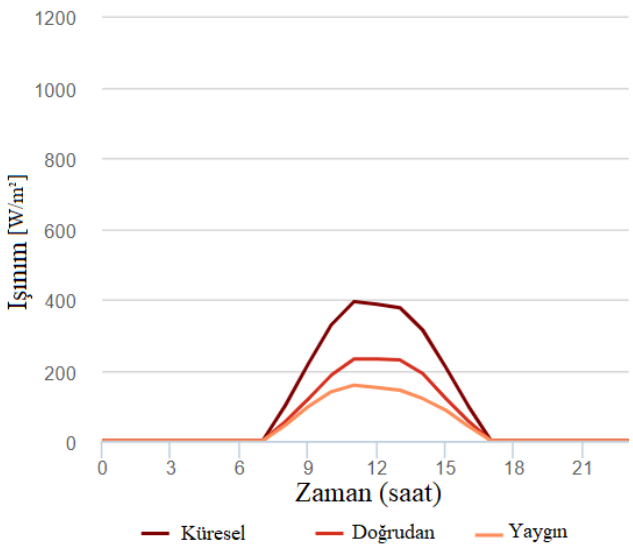
5.2. PV Desteği

Binaların %25'inde güneş enerjisi ile elektrik üretildiği varsayılmıştır. Bu oranın yakalanması için rastgele seçilen 45 binanın üzerinde PV paneli varmış gibi yük hesabı yapılmaktadır. Bunun için bütün binaların çatı alanları çevrimiçi haritalardan ölçüm yapılmış ve excel tablosundan yazılıma girdi olarak verilmiştir. Çatı yapılarının çeşitliliği ve eğimli yapılarının güneşe olan açıları göz önünde bulundurularak, çatı alanlarını kullanabilme oranı %50 varsayılmıştır. Buna göre hesaplanan alan ve diğer parametreler ile tüm binalar için kurulabilecek solar enerji hesabı yapılmıştır. Denklem (5.1) ile bir fotovoltaik sistemde, solar panel alanı ve ışınım verilerini kullanarak üretilen enerjiyi hesaplama formülü (Shukla ve diğ., 2019);

$$E = A \times r \times H \times PR \tag{5.1}$$

(E= Enerji (kWh), A= Toplam PV panel alanı, r= Güneş paneli verimi, H= Panellerdeki yıllık ortalama güneş radyasyonu, PR= Performans oranı)

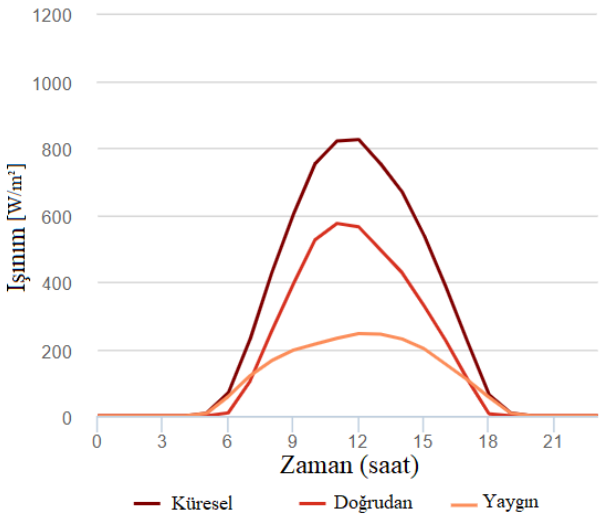
Bu formülde r değeri 0,15 iken PR değeri 0,75 olarak sabit alınmıştır (Shukla ve diğ., 2019). H radyasyon verisi ise gün içerisinde saatlik olarak ve mevsime göre değişiklik gösterdiği için bir yıllık veri olarak hazırlandıktan sonra bu formülde çarpan olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Ocak ayı için bir günlük ışınım verisinin saatlik değişim grafiği

Avrupa Birliği PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) aracında trafo merkezi bölgesinin koordinatlarında 2020 yılının her ayı için saatlik olarak kayıtlı olan ışınım verileri, trafodan alınan 15 dakikalık periyoda uygun şekilde matris haline getirilerek bir yıllık H Işınım profilleri yazılım tarafında oluşturulmuştur.

Şekil 5.8'de PVGIS aracından trafo bölgesi koordinatlarına göre alınan ocak ayı için ortalama bir gündeki ışınım verilerinin saatlik değişim grafikleri görülmektedir (URL-12). Şekil 5.9'da PVGIS aracından trafo bölgesi koordinatlarına göre alınan ocak ayı için ortalama bir gündeki ışınım verilerinin saatlik değişim grafikleri görülmektedir.



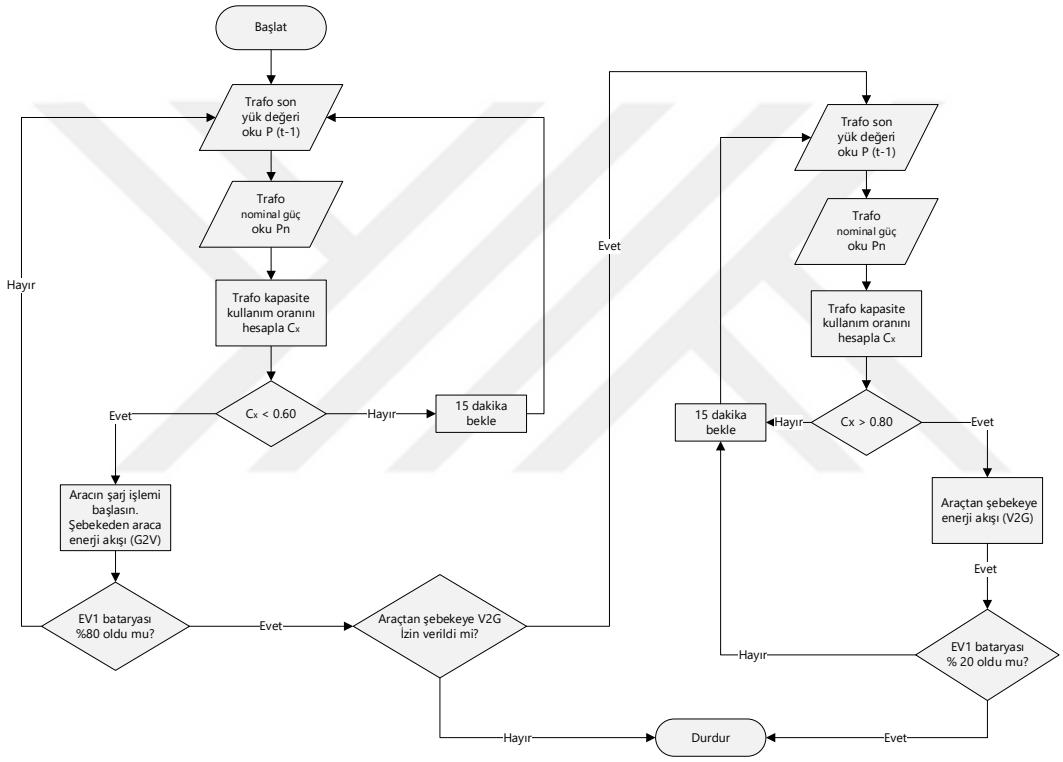
Şekil 5.9. Temmuz ayı için günlük ışınım verisinin saatlik değişimi

Doğrudan ışınım, güneşten doğrudan gelen ışınımdır. Yaygın ışınım, bulutlar ve toz gibi atmosferik bileşenler tarafından saçılan ışınımdır. Yaygın, doğrudan ve doğada yansıyan ışınımların toplamı da küresel ışınımdır. Bu çalışmada doğrudan ışınım verisi kullanılmıştır. Bu grafiklerden alınan veriler, döngüler ile kullanılarak 2020 yılı için 35136 satırlık H ışınım (W/m²) profili oluşturulmuştur. Hangi binada PV var ise o bina için 2020 yılı için güneş enerji üretimi saatlik olarak hesaplanmış ve şebekeye elektrik üretimi sağlayacak şekilde yazılıma eklenmiştir.

5.3. Araçtan Şebekeye Enerji Aktarımı (V2G)

V2G sistemi, elektrikli araç sahiplerini bu şarj/deşarj sistemine katılmaya motive etmek için bir teşvik fiyatlandırma planı sunar (Bibak, 2020). Bu plana göre, talebin yoğun olmadığı zamanlarda, şebekede fazladan ve kullanılmayan güç olduğunda, elektrikli

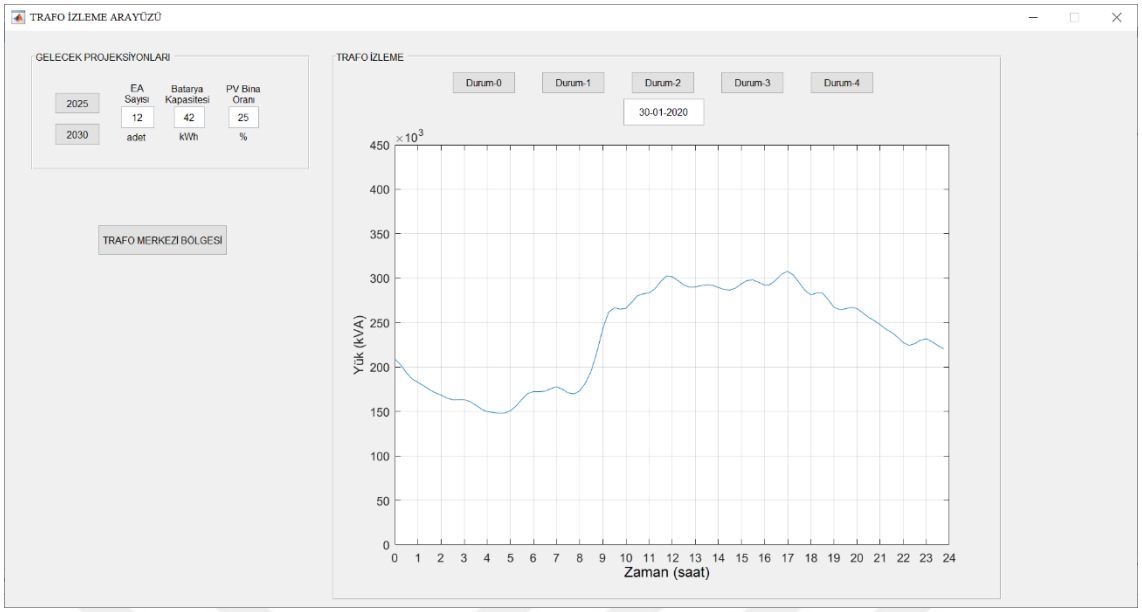
araç sahipleri araçlarını daha ucuz ücretlerle, tam tersine talebin yoğun olduğu zamanlarda, elektrik kesintisi olduğunda ise daha ucuza şarj edebilecekleri sistemdir (Bibak, 2020). Şebeke sisteminde, akülerinde depolanan ekstra gücü daha yüksek ücretlerle şebekeye deşarj edebilirler. Bu nedenle, EA sahipleri ancak bu plana katılarak kar elde edebilirler (Jenkins ve diğ., 2008). V2G yönetilen şarj ile beraber düşünülüp önce şebeke yükünün düşük olduğu zamanda kontrollü şarjın yapıldığı sonrasında V2G izni ile beraber doğru zamanda şebekeye deşarjın yapıldığı V2G Enerji yönetimi algoritması Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. V2G Enerji yönetimi algoritması

5.4. Durum İzleme Arayüzü

Durumlar için yazılan algoritmaların 2025 ve 2030 yılları için değişen araç sayıları ile doğru grafikler vermesi için giriş değerlerinin de görüldüğü MATLAB GUI de Şekil 5.11'deki gibi bir arayüz tasarlanmıştır. "Trafo izleme arayüzü" anasayfasında gelecek projeksiyonları bölümünden 2025 yılı yazan butona basıldığında sırası ile elektrikli araç sayısı 12, batarya kapasitesi 70 kWh, PV bulunan bina oranı % 25 olarak yazılıma atama yapılmaktadır. Algoritmalar bu değerleri kullanarak grafikleri çizdirecektir.



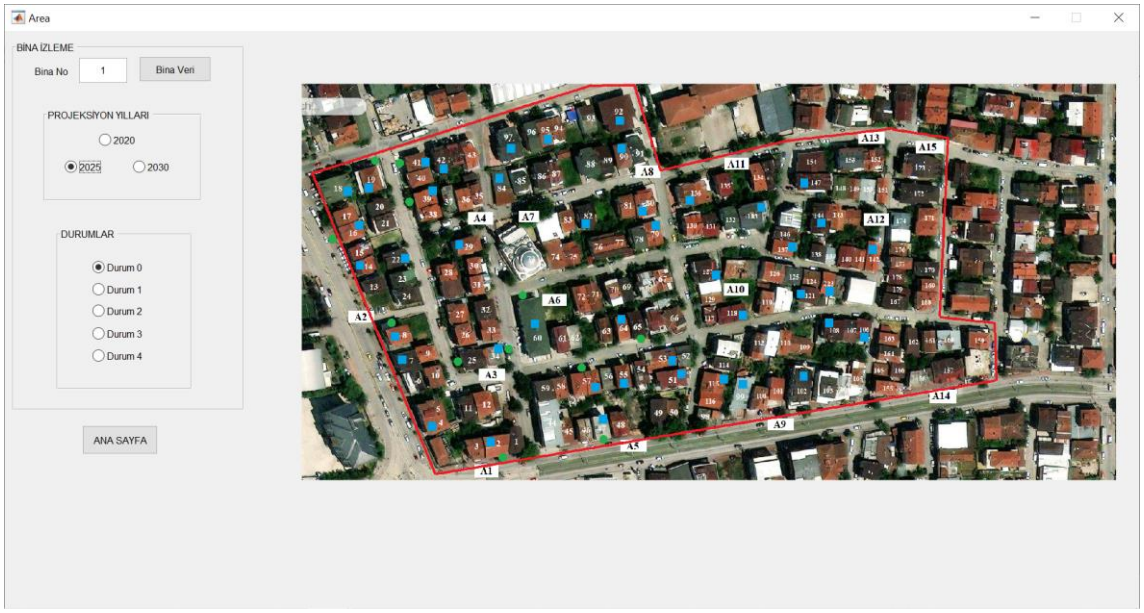
Şekil 5.11. Trafo izleme arayüz sayfası

Arayüzde görülen "Trafo Merkezi Bölgesi" butonuna basıldığında Şekil 5.12'de görülen yeni bir sayfa açılmaktadır. Bu sayfada 2020 yılı varsayılan olarak seçili olmakta ve 2020 sağ tarafta trafo merkezi bölgesi resmi gelmektedir. Kırmızı çizgili alan trafoya bağlı 179 bina, 651 kullanıcının bulunduğu alandır. Mahallede sokak veya caddeler kesişmesi ile binaların bir arada kaldığı kısımlar ada diye nitelendirilip (A1, A2,….,A15) olarak isim ve numaralandırılmıştır.



Şekil 5.12. Trafo bölgesi 2020 yılı bina ve ada numaraları

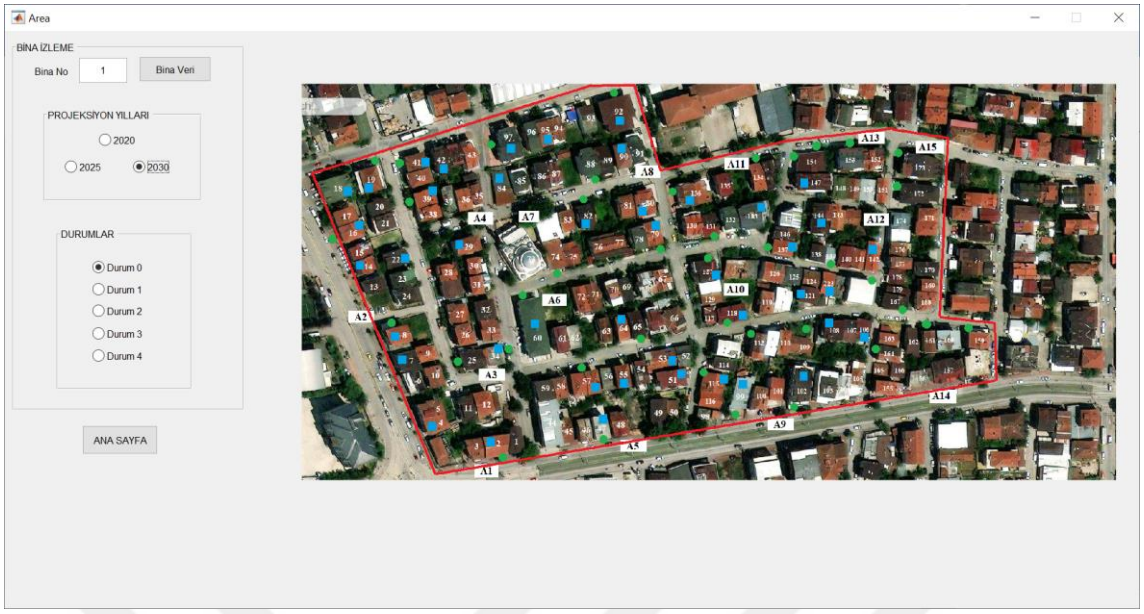
Şekil 5.13’te “Projeksiyon yılları” bölümünden 2025 yılına basıldığında 12 adet elektrikli araç bulunduğu binaların önünde yeşil yuvarlak olarak belirmektedir. Benzer şekilde mavi karelerin olduğu binalarda PV panelin olduğu belirtilmektedir. Böylece 2025 yılı için hangi binalarda EA kullanıcısı olduğu ve hangi binalarda PV çatı sistemi kurulduğu belirmektedir. Bu varsayım ile bu bina ve dairelerin numaralarına göre elektrik yükleri yazılımsal olarak değiştirilmektedir.



Şekil 5.13. Trafo bölgesi 2025 yılında tahmini EA ve PV olan binalar

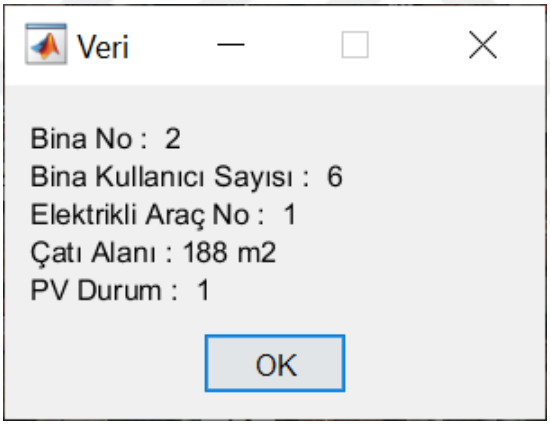
Şekil 5.13’de “Projeksiyon yılları” bölümünden 2030 yılına basıldığında 40 adet elektrikli araç bulunduğu binaların önünde yeşil yuvarlak olarak belirmektedir. Benzer şekilde mavi karelerin olduğu binalarda fotovoltaik panelin olduğu Şekil 5.14’teki gibi belirtilmektedir. Böylece 2030 yılı için hangi binalarda elektrikli araç kullanıcısı olduğu ve hangi binalarda fotovoltaik çatı sistemi kurulduğu belirmektedir. Bazı binalarda sadece elektrikli araç bulunmakta, bazı bina çatılarında ise sadece fotovoltaik panel bulunmaktadır. Hem elektrikli araç hem fotovoltaik panelin bulunduğu binalarda görülmektedir.

Bu varsayımlar ile binaların ve dairelerin numaralarına göre elektrik yükleri yazılımsal olarak değiştirilmektedir. Her bina için ayrı ayrı hesaplamalar yapılıp trafo merkezindeki tüm bina yükleri toplanarak trafo güç değişim tahmin grafikleri çizdirilmektedir.



Şekil 5.14. Trafo bölgesi 2030 yılında tahmini EA ve PV olan binalar

Trafo merkezi bölgesi sayfasındaki "Bina İzleme" bölümünde bina numarası yazılıp "Bina Veri" butonuna basıldığında Şekil 5.15'teki veri sayfası açılacaktır.

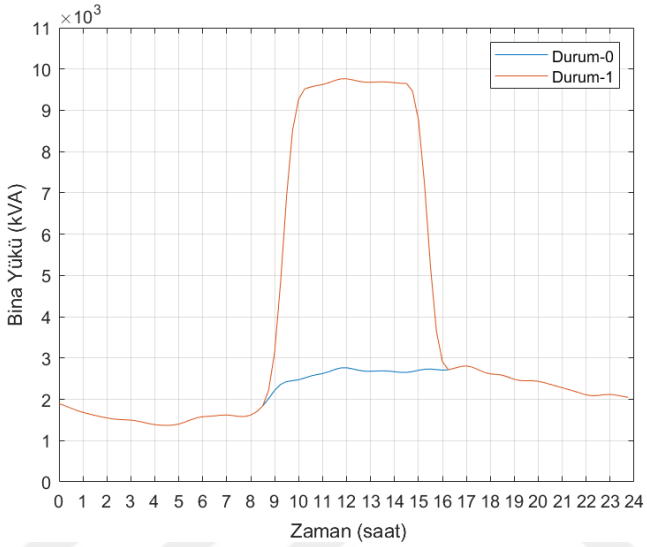


Şekil 5.15. Bina bazlı detay sayfası

Şekil 5.15'te trafo merkezin bölgesindeki 2 numaralı bina verileri görülmektedir. Bu bilgilerden, binada bulunan kullanıcı sayısının 6, sahada bulunan 12 araçtan 1 numaralı aracın burada olduğu görülmektedir. Çatı alanı 188 m2 olup, PV durum 1 bilgisi ile binada PV panel ile solar enerji üretiminin olduğu belirtilmektedir. Tüm binaların bilgisi bu şekilde alınabilmektedir. Bina detay bilgisi alındıktan sonra "Durum" bölümünden herhangi bir durum seçilirse, önceki sayfada seçilen gündeki 24 saatlik elektrik yük değişimi grafiği alınabilmektedir.

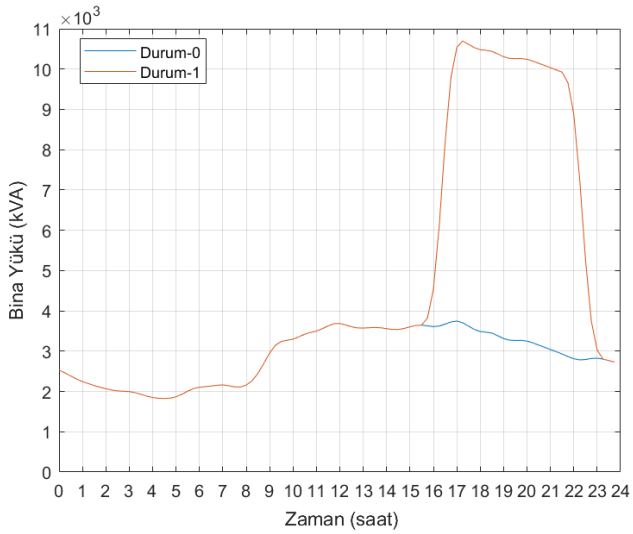
5.5. Elektrikli Araç Şarjı ile Bina Güç Değişimi

Yapılan yazılım ve arayüz ile her binanın kendi yükü istenilen gün için saatlik olarak çizdirilebilmektedir (Durum-0). Binada bulunan EA kullanıcısının şarj etmesi ile Durum-1 ortaya çıkmaktadır. Dört dairelik bir binadaki elektrikli aracın gündüz saatlerinde şarj olması ile trafodan çektiği yükün bina bazında yük değişimi Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16. Dört dairelik bina yükü ve gündüz şarjı

Beş dairelik bir binadaki elektrikli aracın akşam saatlerinde şarj olması ile trafodan çektiği yükün bina bazında yük değişimi Şekil 5.17'de görülmektedir.

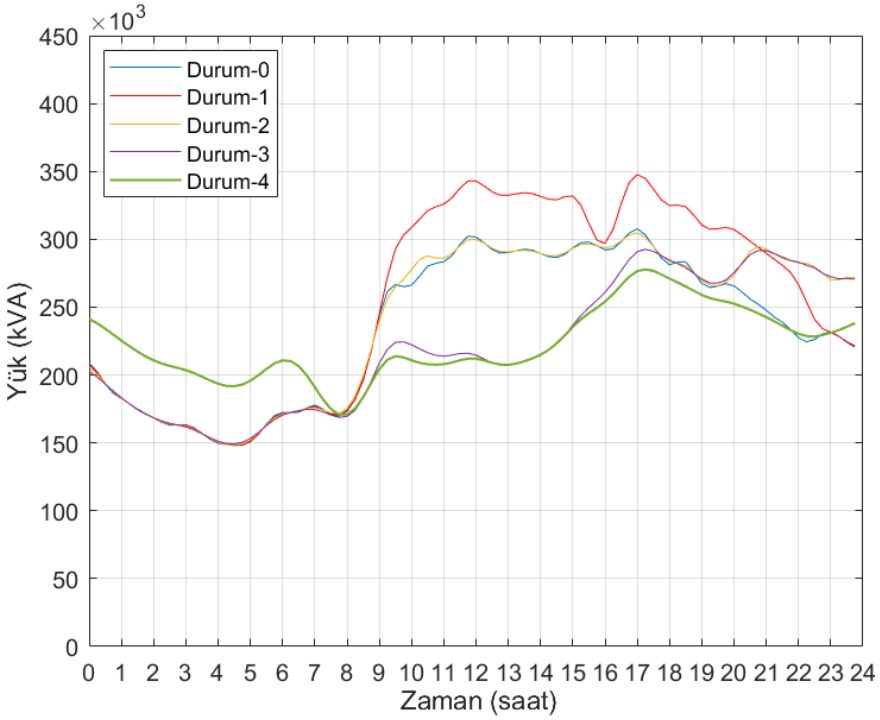


Şekil 5.17. Beş dairelik bir bina yükü ve akşam şarjı

Binalarda bulunan EA'lar, 42 kWh batarya dolumunu 7kW şarj ile 6 saatte tamamlamaktadır. Şekil 5.16 A grafiğinde beş dairelik bir binada gündüz saatlerinde şarjın yapıldığı görülmektedir. Şekil 5.16 B grafiğinde ise altı dairelik bir binada akşam saatlerinde yapılan bir şarj görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere EA şarjı saatlik ortalama AC 7 kWh şarj seviyesi kabulü ile hesaplamaların yapıldığı bu çalışmada bir binanın tepe noktası yük değeri 2-3 kVA seviyelerinden 10-11 kVA seviyelerine kadar çıkmaktadır. EA sayısı ve AC şarj seviyesi arttıkça binaların yükü katlanarak artacağı ortaya çıkmaktadır.

5.6. Kış ve İlkbahar Ayları İçin Sonuçlar

Tablo 4.4'te EA'ların şarjlarının programlandığı tabloya bakıldığı zaman şarjların çakıştığı tarihler (en kötü durum senaryoları) görülmektedir. Grafik çıktıları da bu tarihler kullanılarak incelenmektedir. Şekil 5.18'de, güneş ışınımının az olduğu 30 Ocak günü için 2025 tahmin grafiği görülmektedir. Mavi çizgi Durum-0'ı temsil etmekte olup trafo merkezinden alınan gerçek bir 30 Ocak 2020 verisidir. 2025 yılında mahallede bulunacak olan 12 EA şarj yükleri gelmekte ve Durum (1,2,3,4) eğrileri 30 Ocak 2025 tarihindeki 24 saatlik güç değişim tahminini göstermektedir.



Şekil 5.18. 24 saatlik 30 Ocak 2025 tarihi güç eğrisi tahmini

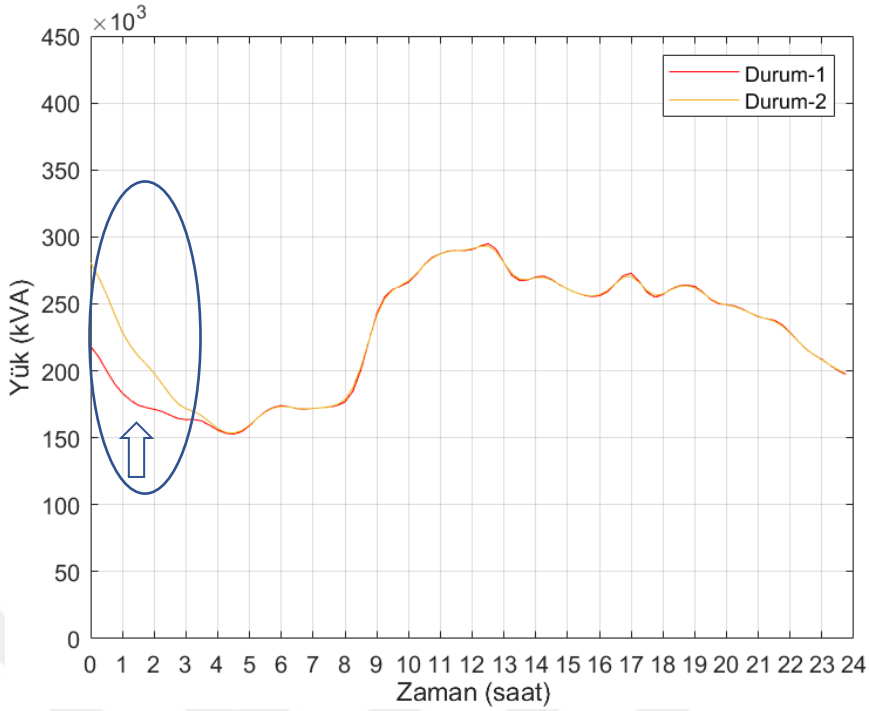
Durum-0'da gün içerisinde %85 civarı trafo yüklenme oranına kadar çıktığı görülmektedir. Araçların kontrolsüz şarj edildiği Durum-1'de gündüz ve akşam saatlerinde EA şarj yükleri eklenmektedir. Saat 12:00 ve 17:00 civarlarında trafo tam kapasite kullanım oranına ulaşmaktadır. EA'ların kontrollü şarj edildiği Durum-2'de, trafonun kapasite kullanım oranını bilen akıllı enerji yönetim sistemi ile EA şarjları trafo yükünün daha az olduğu vakitlere kaymaktadır. Durum-2'de, Durum-1'deki gibi şarj yaptığı saatlerde devreye girmemiştir. Cx<0,8 şartını sağladığı 9:30 ile 11:00 aralığında şarjın bazı araçların şarjı yapılmış kalanı ise 20:00'dan sonrasına bırakılmış ve gece saatlerinde devam etmiştir.

Binaların %25'inde güneş enerjisi ile elektrik üretiminin olduğu Durum-3'te, gündüz saatlerinde şebekeye elektrik üretimi olacaktır. Gündüz şarjı yapılsa bile trafoda istenmeyen aşırı yükü önemli bir seviyede azaltacaktır. Güneşlenmenin az olduğu ocak ayında bile trafo yükünde 80 kVA'yı bulan trafodan çekilen yükte azalma olmuştur. Bu da trafonun kapasite kullanımında %22 azalma demektir. Buna rağmen Durum-3'te akşam yükleri yüksek seviyelerde kalmıştır.

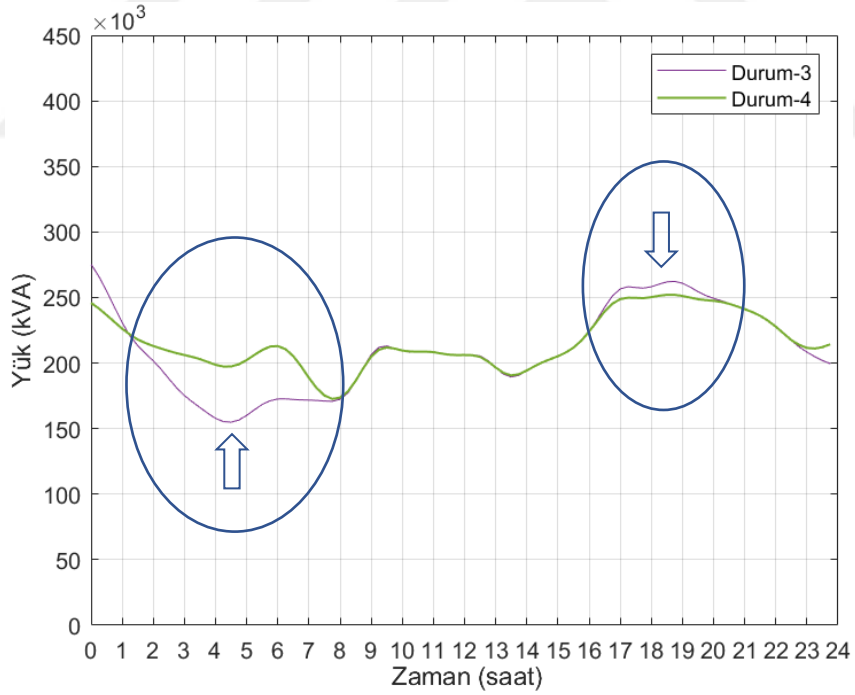
Araçtan şebekeye şarjın olduğu Durum-4'te, 23:00 – 07:00 saat aralığında EA bataryaları şebeke üzerinden dolacaktır. Trafo yüklenmesinin fazla olduğu akşam saatlerinde V2G devreye girip akşam saatlerindeki yüklenmeyi azaltacaktır. Durum-4'te Durum-2 ve Durum-3'e göre saat 21:00 civarında 40 kVA azalmaktadır. Bu da trafonun kapasite kullanımında yaklaşık %11 azalma demektir.

Durum-1 ve Durum-2 için 31 Ocak günü grafiği Şekil 5.19'da görülmektedir. Kontrolsüz ve kontrollü şarjın arasındaki farkı anlamak için bir sonraki güne bakılmakta ve günün ilk saatlerine yoğun bir şarjın kaydığı görülmektedir.

V2G'nin etkisini görmek için Durum-3 ve Durum-4 31 Ocak günü grafiği Şekil 5.20'de görülmektedir. Araçlarını V2G için izin veren araçlar trafo kapasite kullanım oranının düşük olduğu 01:00 – 07:00 saatleri arasında batarya dolumu yapmış bulunmaktadır. Bataryalardaki elektrik akıllı enerji yönetimi ile aynı gün trafo kapasite kullanım oranı yüksek olduğu 16:00 – 22:00 saatleri arasında şebekeye satılmaktadır. Bu da akşam pik saatlerde trafo yüklenmesini yaklaşık 32 kVA düşürmekte ve %9 civarı yüklenmeyi azaltmaktadır.



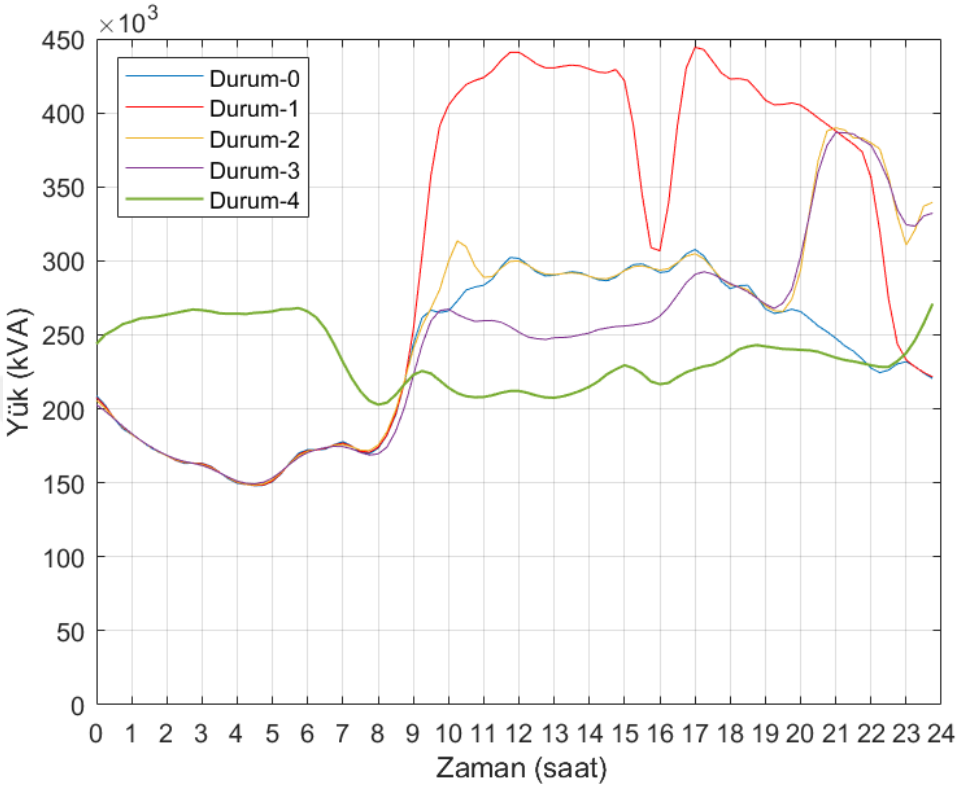
Şekil 5.19. 24 saatlik 31 Ocak 2025 tarihi Durum-(1,2) güç eğrisi tahmini



Şekil 5.20. 24 saatlik 31 Ocak 2025 tarihi Durum-(3,4) güç eğrisi tahmini

Şekil 5.21'de şarjların ya da şarj taleplerinin çakıştığı (en kötü durum senaryosu), güneş ışınımının az olduğu 30 Ocak günü için 2030 güç değişim tahmin grafiği görülmektedir. Mavi çizgi Durum-0'ı temsil etmekte olup trafo merkezinden alınan gerçek bir 30 Ocak

2020 verisidir. 2030 yılında mahallede bulunacak olan 40 EA şarj yükleri gelmekte ve Durum-(1,2,3,4) eğrileri 30 Ocak 2030 tarihindeki 24 saatlik güç değişim tahminini göstermektedir.



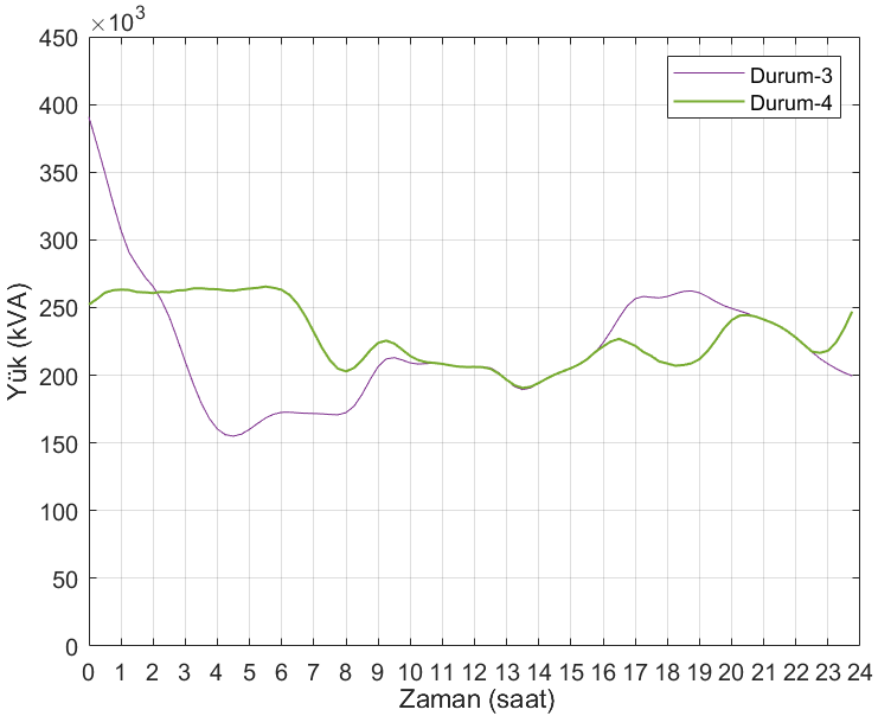
Şekil 5.21. 24 saatlik 30 Ocak 2030 tarihi güç eğrisi tahmini

2030 projeksiyonuna bakıldığında, şarj yüklerinin geldiği Durum-1'de 400 kVA yük seviyeleri ile zaten trafo kapasitesinin %14 üzerine çıkılmaktadır. Akşam yükleri ancak V2G'nin olduğu Durum-4'de düşük seviyelere inmektedir. Sebebi ise V2G izni verilen araçların bataryalarının akıllı enerji yönetimi ile 00:00 saatleri itibarinden şarj edilmesi ve akşam saatlerin şebekeye satılmasıdır. Tüm durumları incelediğimizde; elektrikli araçların yaygınlaşması ve araç şarjlarının kontrolsüz yapılması (Durum-1) ile akşam saatlerinde trafodan çekilen yükün trafo kapasitesinin sınırlarına (350 kVA) ulaştığı görülmektedir.

Şarjın kontrollü yapıldığı Durum-2 de ise şarj saatleri gece saatlerine kaymaktadır. Durum-1'de 22:00 den sonra şebeke yükünde aşağı iniş var iken Durum-2'de 22:00'den sonra tekrar şarj işlemleri başlamakta ve 31 Ocak günü sabah saatlerine kadar kaymaktadır. Araç sayısının arttığı daha ileri projeksiyonlar için şarj yükleri artmakta ve

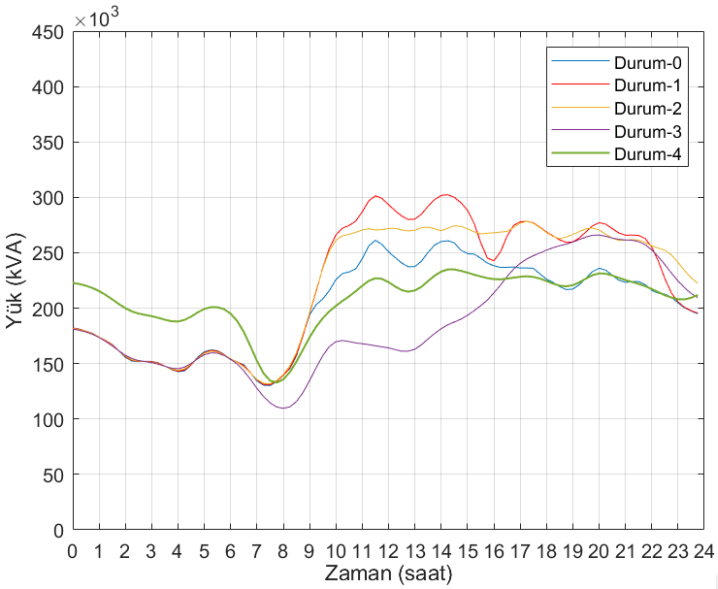
bu da trafo kapasite kullanım oranını daha da artırarak trafo sınır değerlerine çıkarmakta ya da trafoların kapasite artırmalarını gerektirmektedir. Güneş enerjisi ile elektrik üretilerek şebekeye verildiği Durum-3'te akşam 18:00'a kadar şebeke yükünde ciddi bir düşüş (Durum-2'ye göre) olduğu gözlenmektedir. Burada ocak ayından bir gün incelendiğinden dolayı 18:00'a kadar güneş enerjisi ile elektrik üretimi olmaktadır. Bu süre yaz aylarında 20:00'a kadar çıkmaktadır.

Durum-4'te gece saatlerinde şarj edilen araçlar, trafo kapasite kullanım oranının en yüksek olduğu akşam saatlerinde V2G ile şebekeye elektrik verilerek trafo yükünü önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Bir önceki durumda 295 kVA seviyelerine kadar çıkarken Durum-4'te 260 kVA seviyelerine kadar gerilemektedir. Böylece Durum-4 en yoğun saatlerde bile trafo kapasite kullanım oranı 0,75'in de altına inmektedir. Ayrıca gece saatlerinde tekrardan araç bataryaları V2G için dolmakta ve Şekil 5.22'de görüldüğü gibi 31 Ocak sabah saatlerine kadar devam etmektedir.



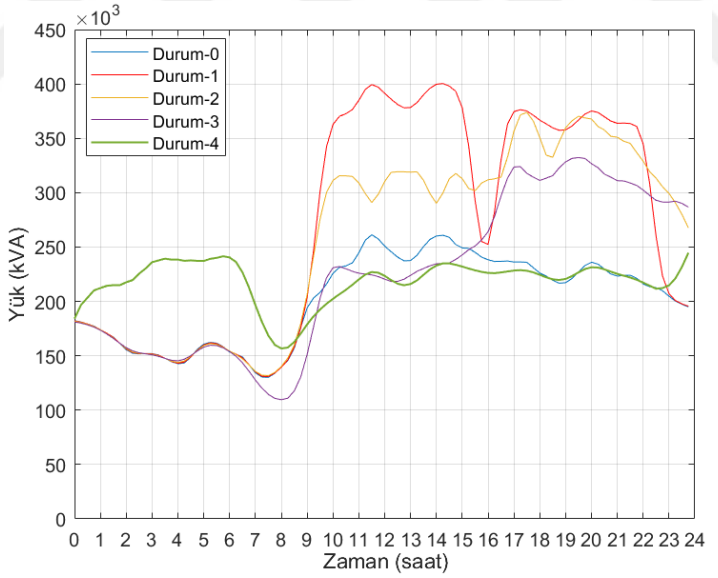
Şekil 5.22. 24 saatlik 31 Ocak 2030 tarihi Durum-(3,4) güç eğrisi tahmini

Yıl içerisindeki başka bir gün örneği olması sebebiyle ilkbahar aylarından 30 Mart günü seçilmiştir. Şekil 5.23'te 30 Mart 2025 tarihi için güç değişim eğrisi tahmini görülmektedir.



Şekil 5.23. 30 Mart 2025 güç eğrisi tahmini

Elektrikli araç sayısının 40 olacağı öngörülen 30 Mart 2030 tarihindeki güç değişim eğrisi tahmini Şekil 5.24'te görülmektedir.

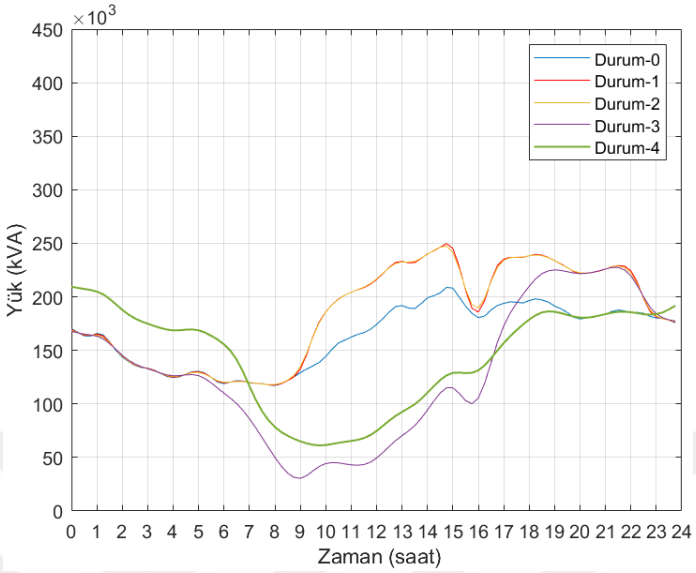


Şekil 5.24. 30 Mart 2030 güç eğrisi tahmini

5.7. Yaz ve Sonbahar Ayları İçin Sonuçlar

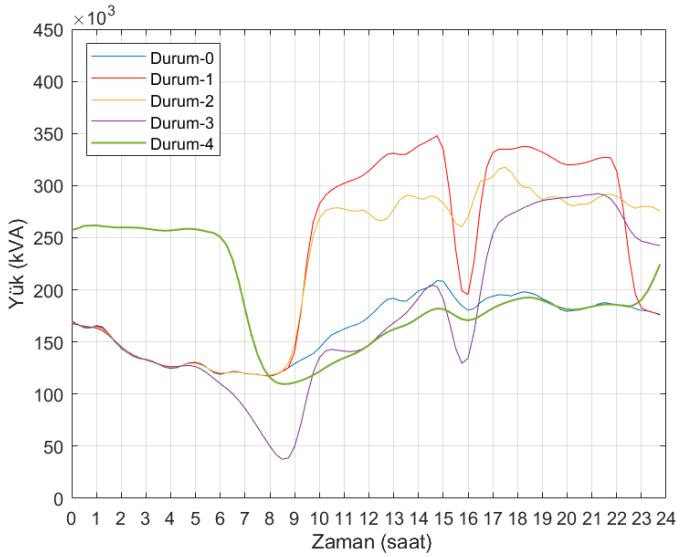
30 Ocak günü yılın ilk çakışması güneş verilerinin en düşük olduğu örnek olarak verilmiştir. Güneş ışınımın yüksek olduğu, elektrikli araç sayısının 12 adet olduğu

öngörülen 28 Haziran 2025 tarihindeki güç değişim eğrisi tahmini Şekil 5.25'te görülmektedir.



Şekil 5.25. 28 Haziran 2025 güç eğrisi tahmini

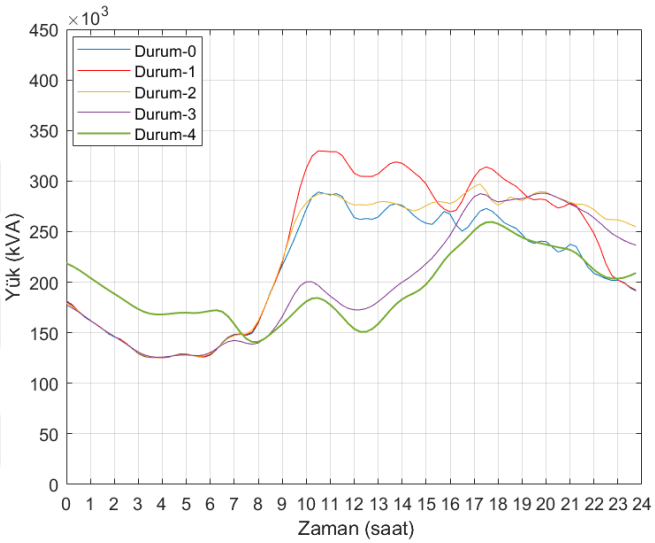
Elektrikli araç sayısının 40 olacağı öngörülen 28 Haziran 2030 tarihindeki güç değişim eğrisi tahmini Şekil 5.26'da görülmektedir.



Şekil 5.26. 28 Haziran 2030 güç eğrisi tahmini

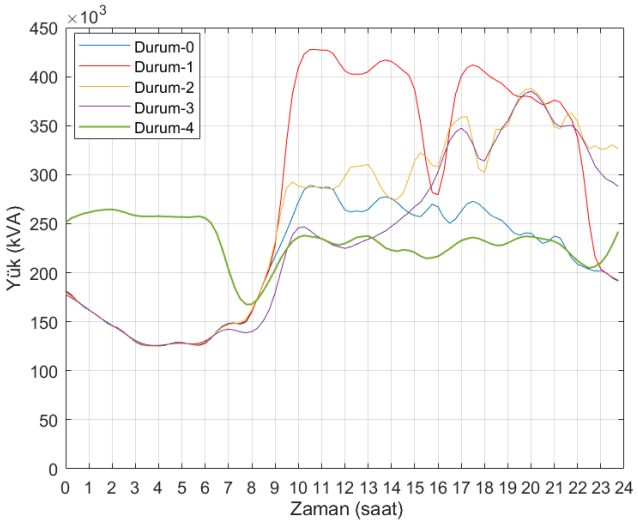
2025 projeksiyonunda güneş enerjisi ile elektrik üretimi yüksek olduğu için trafo yüklenmesi gün ortasında oldukça düşmektedir (Durum-3). Durum-4'te ise araçların V2G için batarya dolumunu yapması sebebi ile gün ortası çukuru biraz daha

azalmaktadır. Akşam ise şebekeye satış yapıldığı için tepe değeri azalmaktadır. 2030 yılında EA sayısı 12'de 40'a çıktığı için artık şarj yükleri de katlanmaktadır. Benzer şekilde EA'ların satmak üzere doldurdukları bataryalar sebebiyle günün başlangıç saatlerinde yapılan şarjlar da katlanmaktadır (Durum-4). Aynı günün akşamındaki tepe değerleri tıraşlayarak 200 kVA seviyelerine kadar düşürmektedir (Durum-4). Yıl içerisindeki başka bir gün örneği olması sebebiyle sonbahar aylarından 25 Kasım günü seçilmiştir. Şekil 5.27'te 25 Kasım 2025 güç değişim eğrisi tahmini görülmektedir.



Şekil 5.27. 25 Kasım 2025 güç eğrisi tahmini

Elektrikli araç sayısının 40 olacağı öngörülen 25 Kasım 2030 tarihindeki güç değişim eğrisi tahmini Şekil 5.28'de görülmektedir.



Şekil 5.28. 25 Kasım 2030 güç eğrisi tahmini

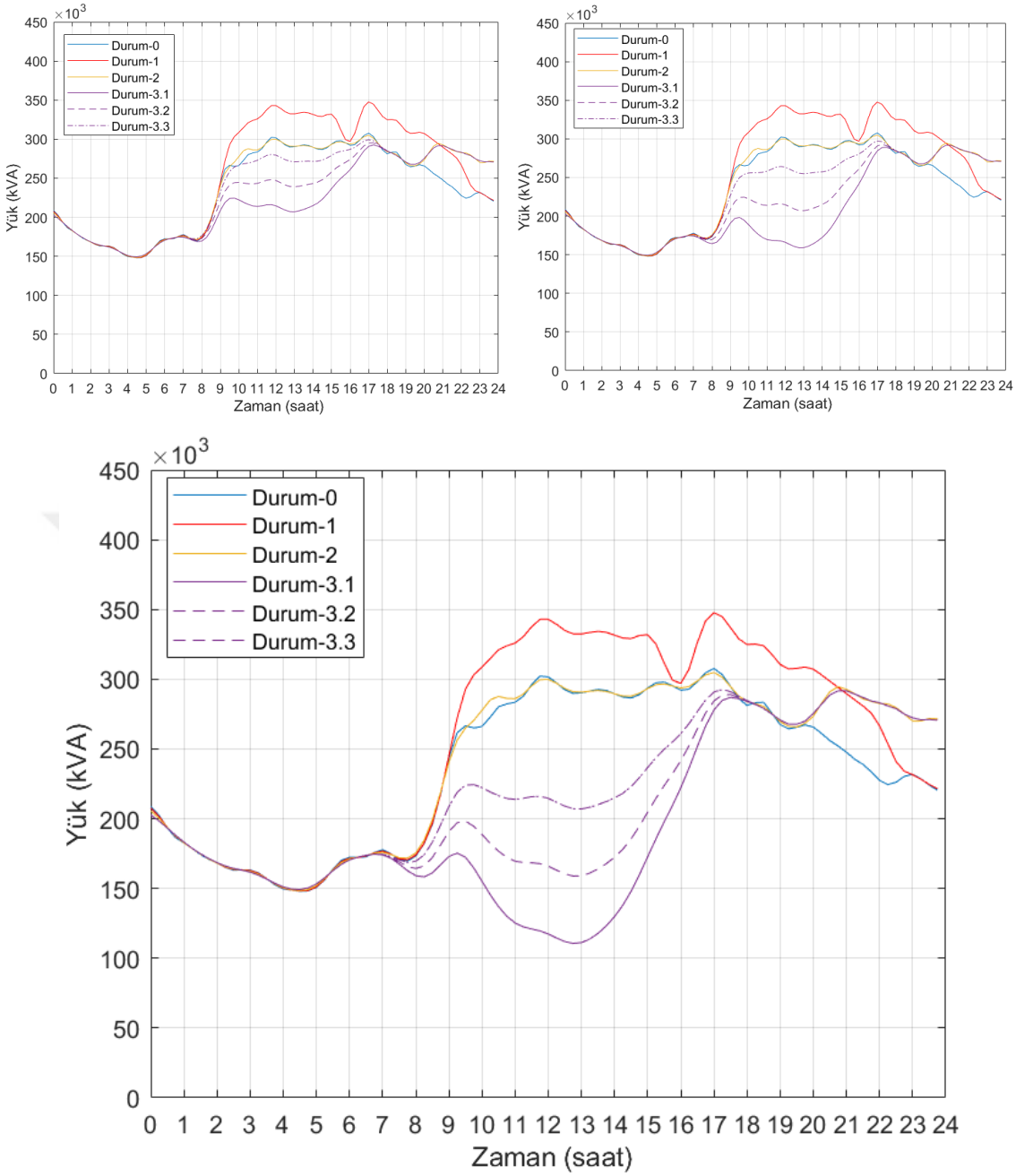
5.8. PV Değişimi İçin Yapılan Projeksiyon Çalışması ve Sonuçları

Yıl içerisindeki farklı güneşlenme zamanlarında alınan grafiklerde güneşin katkısı ortaya çıkmaktadır. Grafiklerdeki Durum-3 binalara kurulması varsayılan PV paneller ile üretilen elektrik enerjisinin değişimini incelemektedir. Binalardaki PV kullanım oranı %25 olarak belirlenmişti ve tüm sonuçlar belirlenen 45 bina çatısı üzerinde güneş enerjisi ile elektrik üretimi hesaplanarak yapılmıştı. Bu bölümde, bizim belirlediğimiz rakam olan %25 değerinin düşük-orta-yüksek senaryoda kalması durumlarına göre Tablo 5.1'de görülen 3 farklı projeksiyon oluşturarak bölgede ayrıca PV analizi yapılacaktır.

Tablo 5.1. Fotovoltaik analiz için oluşturulan PV projeksiyonları

Projeksiyonlar	PV senaryoları	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
Pr-1	Yazılımda kullanılan %25 PV oranının yüksek senaryoda kalması	5% (Durum-3.3)	15% (Durum-3.2)	25% (Durum-3.1)
Pr-2	Yazılımda kullanılan %25 PV oranının orta senaryoda kalması	15% (Durum-3.3)	25% (Durum-3.2)	40% (Durum-3.1)
Pr-3	Yazılımda kullanılan %25 PV oranının düşük senaryoda kalması	25% (Durum-3.3)	40% (Durum-3.2)	55% (Durum-3.1)

Mevcut durumda kullanılan %25 çatı PV kullanım oranı yüksek senaryoda bırakılarak Pr-1 projeksiyonunda PV hedefinin düşükte kaldığı durum olarak incelenecektir. Mevcut durumda kullanılan %25 çatı PV kullanım oranı orta senaryoda bırakılarak Pr-2 projeksiyonunda PV hedefinin ortalama olarak tutturulduğu durum olarak incelenecektir. Mevcut durumda kullanılan %25 çatı PV kullanım oranı düşük senaryoda bırakılarak Pr-3 projeksiyonunda PV hedefinin sağlandığı ve aşıldığı durumlar incelenecektir. Böylece hem farklı oranlardaki PV üretiminin trafoya etkisi incelenmekte hem de çalışmamızda kullandığımız %25 oranı ile her grafikte kıyaslanabilmektedir. Kış günlerinde güneş ışınımın az olduğu tarih olan 30 Ocak günü verilerinin mahallede 12 EA bulunacağı 2025 yılı projeksiyonu için güç eğrisi tahminleri Şekil 5.29'da görülmektedir.

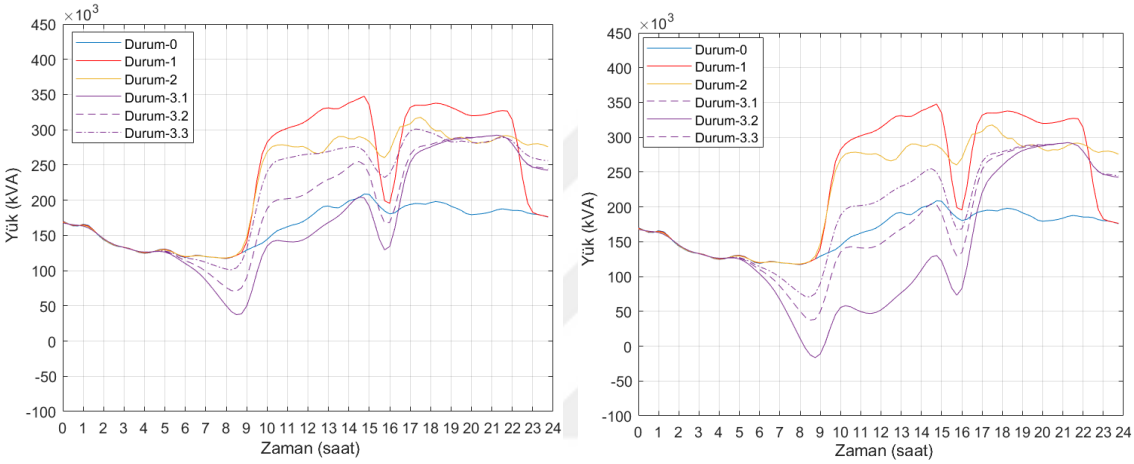


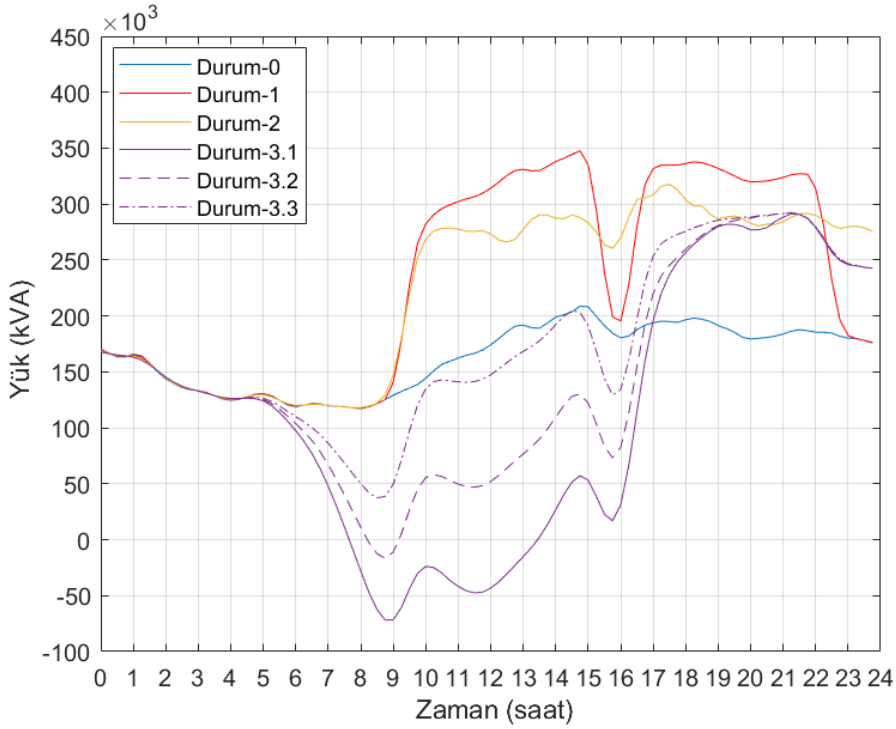
Şekil 5.29. 30 Ocak 2025 tarihi için a) Pr-1 b) Pr-2 c) Pr-3

Şekil 5.29 için Pr-1 grafiğine bakıldığında Durum-3.1, 3.2, 3.3 ile mevcut bölgeye olası PV uygulama yüzdeleri %25, %15, %5 kıyaslamaları detaylı görülmektedir. PV %5 olsaydı trafo gündüz saatlerinde 300 kVA değerlerine yaklaşacağı için yeterli bir iyileştirme olmayacağı görülmektedir. %15 PV değerinde ise gündüz saatlerinde 250 kVA değerlerine kadar düşmektedir. Bu trafo kullanım kapasite oranına göre bu tarih için yeterli olabilecek gibi görülmektedir. %25 PV oranına göre Durum-3

çizdirildiğinde gündüz saatleri 220 kVA değerine kadar düşmektedir. Bu değerde akşam saatleri yaklaşınca hafifçe rampanlama başlamaktadır.

Şekil 5.29 için Pr-2 grafiğine bakıldığında Durum-3.1, 3.2, 3.3 ile mevcut bölgeye olası PV uygulama yüzdeleri %40, %25, %15 kıyaslamaları detaylı görülmektedir. Pr-1 grafiğinden farklı olarak eklenen %40 PV oranına göre Durum-3.1 incelendiğinde günışığı başladıktan sonra şebekeye verilen elektrik enerjisi EA şarjını da yeterince karşılamış ve gün ortasına doğru grafikte çukur oluşmaya başlamaktadır. Günışığının azalması ile rampanlama eğimi ve uzunluğu artmaktadır.





Şekil 5.30. 28 Haziran 2030 tarihi için a) Pr-1 b) Pr-2 c) Pr-3

Yaz günlerinde güneş ışınımın çok olduğu tarih olan 28 Haziran günü verilerinin mahallede 40 EA bulunacağı 2030 yılı projeksiyonu için güç eğrisi tahminleri Şekil 5.30'da görülmektedir.

Şekil 5.30 için Pr-1 grafiğine bakıldığında Durum-3.1, 3.2, 3.3 ile mevcut bölgeye olası PV uygulama yüzdeleri %25, %15, %5 kıyaslamaları detaylı görülmektedir. Bina çatılarının PV kullanım oranı %5 olsaydı trafo gündüz saatlerindeki tepe değeri 290 kVA değerlerine yaklaşmakta ve kontrollü şarj olan Durum-2'den sonra yeterli bir iyileştirme olmayacağı görülmektedir. %15 PV değerinde ise gündüz saatlerinde tepe noktası 250 kVA değerlerine kadar düşmektedir. Şarj talebinin bulunmadığı sabahın erken saatlerinde çukur oluşmaya başlamaktadır. %25 PV oranına göre Durum-3 çizdirildiğinde gündüz saatleri tepe değeri 200 kVA değerine kadar düşmektedir. Bu değerde sabah erken saatlerinde oluşan çukura ilave akşam üzeri şarj talebinin olmadığı 1-2 saat içerisinde hafif bir çukur oluşmaktadır. Akşam yükleri gelince güneş enerjisi desteği kesilmiş ve rampalanma başlamaktadır. Akşam saatlerinde trafo kapasite kullanım oranı 0,8 sevilerine yaklaşmaktadır.

Şekil 5.30 için Pr-2 grafiğine bakıldığında Durum-3.1, 3.2, 3.3 ile mevcut bölgeye olası PV uygulama yüzdeleri %40, %25, %15 kıyaslamaları detaylı görülmektedir. Pr-1 grafiğinden farklı olarak eklenen %40 PV oranına göre Durum-3.1 incelendiğinde günün ilk saatlerinde trafo bölgesindeki tüm ihtiyaç (talep edilen EA şarjlarıyla beraber) karşılanıp şebekeye yaklaşık 15 kVA katkı sağlanmaktadır. Şarj talebinin olmadığı 16:00-17:00 gibi çukur sonrası şarj talebi artmakta, gün ışığı azalmakta ve rampalanma yine artmaktadır.

Şekil 5.30 için Pr-3 grafiğine bakıldığında Durum-3.1, 3.2, 3.3 ile mevcut bölgeye olası PV uygulama yüzdeleri %55, %40, %25 kıyaslamaları detaylı görülmektedir. Pr-2 grafiğinden farklı olarak eklenen %55 PV oranına göre Durum-3.1 incelendiğinde günün ilk saatlerinde trafo bölgesindeki tüm ihtiyaç (talep edilen EA şarjlarıyla beraber) karşılanıp şebekeye yaklaşık 75 kVA'ya kadar katkı sağlanmaktadır. Gün ışığındaki yaklaşık 6 saat boyunca şebekeye destek verebilmektedir. Şarj talebinin olmadığı 17:00 gibi çukur sonrası şarj talebi artmakta, gün ışığı azalmakta ve rampalanma yine artmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2025 ve 2030 yılları için bir dağıtım merkezi alanındaki tahmini EA sayısına dayalı olarak trafo yüklerindeki değişiklikler incelenmektedir. V2G destekli EA ve PV enerji kaynaklarıyla donatılmış BEYS için tasarlanan akıllı bina enerji yönetimi algoritmaları sunulmaktadır. Algoritma, araç aküsü şarj durumu, trafo yük oranı ve güneş enerjisi üretimi gibi faktörleri dikkate alarak trafo yükünü optimize etmek için geliştirilmiştir. Şarj sürecini optimize etmek için çeşitli senaryolar incelenmiş ve MATLAB M-File kullanılarak ilgili algoritmalar yazılmıştır. Algoritmalar, elektrikli araçlar ile şebeke arasında çift yönlü enerji aktarımını mümkün kılarak, EV'lerin talebin en yüksek olduğu dönemlerde şebekeye destek sağlamasına olanak tanımaktadır. Geliştirilen algoritma, trafo gerçek zamanlı verilerini kullanarak 2025 ve 2030 yıllarına yönelik tahminler yapılmaktadır.

30 Ocak tarihinde tepe değerlerden olan iki farklı saatteki değerler durumlara göre incelenerek 2025 ve 2030 yıllarına ait iyileştirme oranları Tablo 6.1'deki gibi çıkarılmıştır. Burada Durum-1 araç şarjlarının eklendiği ve şarjın kontrolsüz yapıldığı durum olduğu için iyileştirme oranında referans değer olarak alınmaktadır.

Tablo 6.1. 30 Ocak günü durum tahminleri ve iyileştirme oranları

Yıllar		**2020**	**2025**				**2030**			
Durumlar		**D-0**	**D-1**	**D-2**	**D-3**	**D-4**	**D-1**	**D-2**	**D-3**	**D-4**
30 Ocak 17:00	Yük (kVA)	305	350	305	290	275	450	305	290	230
	İyileştirme (%)	-	Ref.	12%	17%	20%	Ref.	32%	35%	48%
30 Ocak 20:00	Yük (kVA)	265	305	275	275	253	408	300	300	240
	İyileştirme (%)	-	Ref.	10%	10%	17%	Ref.	26%	26%	41%

30 Ocak 17:00 için 2025 yılında Durum-1'de trafo 350 kVA ile kapasite değerine ulaşmaktadır. Durum-4 ile %20 iyileştirme oranına ulaşılmakta bu da trafo yüklenme oranını 0.8'de tutarak trafoya güvenli çalışma sunmaktadır. 30 Ocak 17:00 için 2030 yılında Durum-1'de trafo 450 kVA ile yük ihtiyacı oluşmaktadır. Trafo değerinde %28 aşmaya tekabül etmektedir. 2030 yılındaki Durum-1 değeri referans olarak alındığında Durum-2 ile %32 iyileşme oranı yakalanmaktadır. Durum-2 ile trafo yüklenme oranını

0.88’e, Durum-3 ile 0.83’e düşürebilmektedir. Durum-4 ile trafo yüklenme oranı 0.65’e kadar düşmektedir. Ayrıca 2030 yılında 2025 yılına göre araç sayısı daha fazla olduğu için V2G ile şebeke desteği artarak 2030 yılındaki Durum-4 için sonuçlar daha başarılı çıkmaktadır.

28 Haziran tarihinde tepe değerlerden olan iki farklı saatteki değerler durumlara göre incelenerek 2025 ve 2030 yıllarına ait iyileştirme oranları Tablo 6.2’deki gibi çıkarılmıştır.

Tablo 6.2. 28 Haziran günü durum tahminleri ve iyileştirme oranları

Yıllar		**2020**	**2025**				**2030**			
Durumlar		**D-0**	**D-1**	**D-2**	**D-3**	**D-4**	**D-1**	**D-2**	**D-3**	**D-4**
28 Haziran 15:00	Yük (kVA)	210	250	250	110	125	350	290	190	180
	İyileştirme (%)	-	Ref.	0%	56%	50%	Ref.	17%	45%	48%
28 Haziran 18:00	Yük (kVA)	198	235	235	215	180	335	305	275	195
	İyileştirme (%)	-	Ref.	0%	8%	23%	Ref.	9%	18%	41%

Tüm sonuçlara bakıldığında, EA şarj yüklerin önemli bir kısmının yoğun olmayan saatlere kaydırılmasıyla kontrollü şarj yoluyla yük yönetimindeki kısmi başarının elde edilebileceğini göstermektedir. Ama trafo yüklenmesinin fazla olduğu bazı günlerde bunun pik saatlerdeki yükü indirgemede yeterli olmadığı görülmektedir. 2025 yılında EA sayısı az olduğu için kısmen başarılı olmaktadır. 2030 yılında şarj talebi, EA sayısındaki beklenen artıştan dolayı mevcut durumda bulunan pik saatlerde devreye giremeyip sonraki günün pik saatlerine kadar şarjı tamamlayamamaktadır. EA kullanıcısının şarj talebini bu kadar geciktiremeyeceği için sonuç başarısız olmaktadır. Eğer pik saatler gündüz saatleri ise bu yenilenebilir enerjinin eklendiği Durum-3 ile çözümlenmektedir. 2025 yılında EA şarj talebi fazla olsa bile güneş enerjisi desteği trafoyu her türlü desteklemekte ve kapasite kullanım oranını gündüz saatlerinde 0,5 seviyelerine getirmektedir. EA şarj talebinin olmadığı zamanlarda ise gündüz saatlerinde çukur oluşmaktadır. 2030 yılında bu çukur derinleşmektedir. 2030 yılında güneş ışınımının yüksek olduğu yaz aylarında ve EA şarjlarının çakıştığı (en kötü durum senaryosu) çukur iyice derinleşmektedir. Fakat PV değişimleri farklı PV kullanım oranlarında ayrıca incelendiğinde, çalışmada seçilen PV kullanım yüzdesinin

%25 varsayımı alınan sonuçlara göre ideal gözükmektedir. Çünkü PV oranı arttıkça rampalanma artmakta ve çukur daha da derinleşmektedir. Akşam saatlerine hiçbir etkisi olmayan PV sisteminin olduğu Durum-3'ün de tam yeterli olmadığı grafiklerde görülmektedir. %25 PV oranı bile V2G olmadan akşam yükünün istenilen seviyelere düşürülemediği görülmektedir. Trafo güç değişimini V2G algoritmasını da içeren Durum-4 ile incelediğimizde hem öğleden sonra hem de akşam saatlerinde pik yüklerin azaldığı görülmektedir. EA kullanıcılarının verdiği izinler ile bataryaların şarjını trafo kapasite oranına göre dolduran sistem pik yükü saatlerinde şebekeye satarak trafo kullanım oranını ciddi seviyelerde düşürmektedir. V2G akşam tepe yüklerini indirmede oldukça başarılı olduğu gerçek veriler üzerinden analiz edilmiştir. Bu sonuç EA sayısının artması ve EA'ların şebekeye satış sayısının arttığı durumlarda sisteme bir engel teşkil etmeyip aksine diğer durumlara göre en başarılı trafo yüklerini en aza indiren sistem olduğu sonuçlar ile ortaya çıkmaktadır.

Özetle 2025 ve 2030 yıllarına ait trafo güç eğrisi tahmin sonuçları, önerilen algoritmanın enerji maliyetlerini ve şebeke stresini başarılı bir şekilde en aza indirirken, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve V2G kullanımını maksimuma çıkardığını göstermektedir. Sonuçlar, ek yüklerin önemli bir kısmının yoğun olmayan saatlere kaydırılmasıyla kontrollü şarj yoluyla yük yönetiminde kısmi başarının elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca öğleden sonra yoğun saatlerde yenilenebilir enerji desteğiyle önemli iyileşmeler sağlanabilmektedir ama akşam saatlerinde hiçbir etkisi olmamaktadır. V2G teknolojisi hem öğleden sonra hem de akşam saatlerinde yoğun yükleri azaltmak için de kullanılabilmekte ve başarılı olmaktadır.

Yenilebilir enerji olarak kullanılan PV desteğine bakıldığında sadece gündüz saatlerinde iyileştirmeler yapmıştır. PV kullanım oranı arttıkça, trafo yükü gündüzün eksi değerlere kadar inmektedir. Bu da mahalli durumdan genel duruma genişletildiğinde elektriğin fazla olması, satılamaması anlamına gelmektedir ve istenmeyen bir durumdur. Ayrıca bu saatlerden sonra akşama geçişte rampalanmayı artırmaktadır.

PV ile şebekenin eksi değerlere düşen gündüz saatlerinde araç şarjları yapılması çukuru bir miktar iyileştirmektedir. Yine bunu sağlayan kontrollü şarj ve özellikle şarj sayılarını ciddi miktarda artıracak olan V2G'dir. V2G akşam saatlerine geçişteki rampalanmayı en çözecek en iyi yöntem olması sonuçlarla birlikte görülmektedir. V2I

altında sunulan V2G, çalışmada kullanılan şebeke tarafına doğrudan çözüm sağlamaktadır. Ev ve binaya enerji aktarımı olan V2B ve V2H bu iyileştirmeleri bina özelinde yapacak tüketimini azalttığı için şebekeye dolaylı olarak yansıyacaktır. V2X başlığı ile verilen V2V, V2L gibi acil durumlarda araç bataryasından diğer araca ya da ihtiyaç duyulan yüke verilen enerji desteği yerel çözüm olarak önemli bir teknolojik çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Önerilen yaklaşım, trafo kapasite kullanım oranını en aza indirmek ve trafo yüklerindeki ani dalgalanmaları düzenlemek için kontrollü şarj, yenilenebilir enerji ve V2G'yi birleştiren akıllı bir enerji yöntemidir. Kontrollü şarj ve V2G algoritmaları gerçek veriler üzerinde uygulanmış ve sonuçlarda bu verilerin işlenmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Elektrikli araç hareketli bir enerji depolama ünitesi gibi görülebilmektedir. İhtiyaç halinde elektrikli araç arazide bir enerji kaynağı olarak kullanabilmektedir. Yolda kalmış bir elektrikli araç ile batarya gücünün bir kısmı paylaşılarak kullanabilir. Elektrikli araç aktif kullanılmadığında bataryada depolanan elektrik satışı ile para kazanmak V2G teknolojisi ile mümkündür. V2G enerji kullanım izni ile araç bataryasındaki enerji üzerinden gelir elde etmek yakın bir gelecekte mümkün olabilecektir. Burada dikkat edilmesi gereken şey araç bataryasının ömrü için bataryanın kapasitesinin %20 altına düşmemesi ve şarj esnasında da %80 üzerine olabildiğince çıkarmamak olacaktır. Batarya teknolojisinin ilerlemesi ve kapasitelerinin artması ile araç tekerleklerinin üzerindeki batarya her an kullanabileceğimiz bir enerji kaynağı olarak görev yapabilecektir.

Literatürde yoğun olarak çalışılmakta ve gelişim süreci devam etmekte olan V2G, bizim çalışmamızda iyi sonuçlar vererek güçlü yönünü göstermektedir. V2G'nin zayıf yönlerine bakıldığında ise uygulama kısmında zorluklar beklenmektedir. Bunların başında şebeke ile entegrasyonu, fiyatlandırma ve araç sahiplerinin V2G izinleri gelmektedir. Şebeke entegrasyonu ile firmalar çalışmalar yapmakta ürünler geliştirmektedir. Fiyatlandırma için talep toplayıcı firmalara izinler verilmekte ve yönetmelikler hazırlanmaktadır. Araç sahiplerinin V2G izinleri konusu ise şu an belirsiz durumdadır. EA sayısı arttıkça ve sürücülerin EA bataryalarına zarar gelmeden bu işten kar etme konusunda emin oldukça bu izinlerin artması beklenmektedir.

Bu çalışma ışığında devam edecek araştırmacılara öneriler;

Bir trafo verisi yerine bir bölge ya da şehirde bulunan tüm trafoların gerçek verileri alınarak sistemin veri giriş kapasitesi genişletilebilir. Verilere, benzer şekilde geliştirilmiş algoritmaların uygulanması ile şebekeye daha yaklaşık bir sonuç çıkarılabilecektir.

Bu çalışmadaki veriler, geçmiş bir zamanda anlık kaydedilmiş gerçek verilerdir. Kayıt yılından sonraki yılda alınan bir yıllık gerçek veri üzerinden algoritmalar çalıştırılmıştır. Verinin online alınarak bir yıl boyunca algoritmaların da gerçek zamanlı uygulanması bu çalışmayı başka boyuta taşıyacaktır. PV için ışınım verilerinin de Google üzerinden online alınarak gerçek zamanlı işlem yapılabilirse gerçeğe daha da yaklaşık sonuçlar çıkabilecektir.

V2G ile alış/satış yapılması durumlarında bir sonraki günü tahmin açısından yapay zeka ile makine öğrenimi yapılabilir. Bir gün önceden yapılan tahmin EA kullanıcısına V2G izni için önemli ipucu oluşturup kaç saat şarj yapacağı ve kaç kWh şarj yapacağı konusunda tahminde bulunup plan yapmasına yardımcı olabilecektir. Teknolojiyi aktif kullanmaya başlayacağımız akıllı cihazlar ile yapay zeka konusunun birleşimi de önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

Ajanovic, A., (2015). The Future of Electric Vehicles: Prospects and Impediments. *Energy and Environment, 4*(6), DOI:10.1002/wene.160.

Akil, M., Dokur, E., Bayindir, R., (2022). Modeling And Evaluation of SOC-Based Coordinated EV Charging for Power Management in A Distribution System. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 30*(1), 678-694.

Bibak, B., (2020). A Comprehensive Analysis of Vehicle to Grid (V2G) Systems and Scholarly Literature on The Application of Such Systems. *Renewable Energy Focus, 36*(1), DOI:10.1016/j.ref.2020.10.001.

Bryce, G., (2019). https://thedriven.io/2019/05/13/were-building-a-new-house-what-do-we-need-for-bidirectional-ev-charging/, (Ziyaret Tarihi: 06.04.2023)

Bryce, G., (2021). https://thedriven.io/2021/11/04/vehicle-to-load-the-electric-cars-that-will-become-a-mobile-power-source/, (Ziyaret Tarihi: 06.04.2023)

Calearo, L., Thingvad, A., Suzuki, K., Marinelli, M., (2019). Grid Loading Due to EV Charging Profiles Based on Pseudo-Real Driving Pattern and User Behavior. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, *5*(3), 683-694.

California Energy Commission, (2018). Electricity Assessments Division, California Energy Demand 2018–2030 Revised, Forecast. *California Energy Commission: Sacramento, CA, USA*, p. 189. CEC-200-2018-002-CMF.

California Energy Commission, (2017). Transportation Energy Demand Forecast, 2018–2030, *California Energy Commission: Sacramento, CA, USA*.

California Energy Commission, (2018). Tracking Progress-Energy Storage. 2018.

California Energy Commission. (2016). Energy Storage Targets-Publicly Owned Utilities, *California Energy Commission: Sacramento, CA, USA*.

Challenges. *Indian Institute of Technology (IIT) Bombay in Cooperation with CEA*, Report-1, 1-117.

Coignard, J., Saxena, S., Greenblatt, J., Wang, D, (2018). Clean Vehicles as an Enabler for a Clean Electricity Grid. *Environmental Research, 13*(5), 054031, DOI 10.1088/1748-9326/aabe97

Corchero, C., González, S., Sanmartí, M. (2014). European Electric Vehicle Fleet: Driving and Charging Data Analysis. *IEEE International Electric Vehicle Conference, Florence, Italy*, 1-6. DOI:10.1109/IEVC.2014.7056144.

Çelenk, İ., (2023). Elektrikli Araçlarda Enerji Depolama ve Araçtan Şebekeye Enerji Aktarım Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 205171011.

Ribberink, H., (2019). Review of Research on V2X Technologies, Strategies, and Operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 105*(1), 61-70.

Çobanoğlu, A., (2020). Elektrikli Kara Araçları için Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarımı / Design of A Solar-Assisted Charging Station for Electric Vehicles. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 612175.

Das, H., Rahman, M., Li, S., Tan, C., (2020). Electric Vehicles Standards, Charging Infrastructure, And Impact on Grid Integration: A Technological Review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews, 120*, 1-27.

Deb, S., Goswami, A., Lamichane, R., Roy R., (2023). Charging Coordination of Plug-in Electric Vehicles Considering Machine Learning Based State-of-Charge Prediction for Congestion Management in Distribution System. *Electric Power Component and Systems, 51*(2), 131-150.

Duman, A.C., Erden, H.S., Gonul, Ö., Guler, O., (2021). A Home Energy Management System with An Integrated Smart Thermostat for Demand Response in Smart Grids. *Sustainable Cities and Society, 65*, 602-639.

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

EPDK, (2024). Elektrikli Araç ve Şarj Alt Yapısı Projeksiyonu, *Enerji Piyasası Denetleme Kurumu,* 1-8, Nisan 2024.

Erdinc, F.G., Cicek, A., Erdinc, O., Yumurtacı, R., (2022). Decision-Making Framework for Power System with RES Including Responsive Demand, EV Aggregator and Dynamic Line Rating as Multiple Flexibility Resources. *Electric Power Systems Research, 204*, 107702.

ETKB, (2020). 2019-2023 Stratejik Plan. *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, 92-93.

George, W., Matias, N., Daniel, E., Macdonald, J., Duncan, S., (2018). Real-Time Charging Strategies for an Electric Vehicle Aggregator to Provide Ancillary Services. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *9*(5), 5141-5151.

Gunes, F., Zehir, M.A., (2022). Development of a Vehicle-to-Grid (V2G) Energy Management System to Mitigate Local Operational Challenges in Low Voltage Distribution Networks with Photovoltaics. *2022 4th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM),* 14-17.Jun.2022.

Guzel, I., Gol, I., (2022). Plug-In Electric Vehicle Load Modeling for Charging Scheduling Strategies in Microgrids. *Sustainable Energy, Grids and Networks, 32*,100819.

Gümüş, B.S., (2024). Türkiye Elektrik Görünümü 2024. *EMBER*, 3.

Han, S., Sezaki, K., (2010). Development Of an Optimal Vehicle-To-Grid Aggregator for Frequency Regulation. *IEEE Transactions on Smart Grid, 1*(1), 65-72.

Hemmati, R., Mehrjerdi, H., Al-Emadi, N.A., Rakhshani, E., (2019). Mutual Vehicle-to-Home and Vehicle-to-Grid Operation Considering Solar-Load Uncertainty. *2019 2nd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE),* Doha, QATAR, 19-21.Nov.2019.

Høyer, K.G., (2008). The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of Electric and Hybrid Cars. *Utilities Policy, 16*(1), 63–71.

IEA (2013). Global EV Outlook 2013. *IEA,* Paris.

IEA, (2020), Global EV Outlook 2020, International Energy Agency (IEA), Paris.

Inci, M., Savrun, M.M., Çelik Ö., (2022). Integrating Electric Vehicles as Virtual Power Plants: A Comprehensive Review on Vehicle-To-Grid (V2G) Concepts, Interface Topologies, Marketing and Future Prospects. *Journal of Energy Storage, 55*(B), 105579.

İpek, B., (2022). Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Türkiye için Gelecek Dönem Elektrikli Araç Miktarı Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul, 741220.

Jenkins, S.D., Rossmaier, J.R., Ferdowsi, M., (2008). Utilization and Effect of Plug-In Hybrid Electric Vehicles in the United States Power Grid. *Vehicle Power and Propulsion Conference,* Hei Longjiang, China, 3-5 September 2008.

Kaveh, K., Hakimi, S., Tafreshi, S., Naseri, F., (2014). Impact Of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging/Discharging Management on A Microgrid. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 22*(4), 825-839.

Kocer, B., Turkyilmaz, I., Poyrazoglu, G., (2021). Optimal Vehicle-to-Grid Controller for Energy Arbitrage and Frequency Regulation Markets. *3rd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM),* 05-08.Oct.2021.

Lopes, J., Almeida, P., Soares, P., (2019). Using Vehicle-To-Grid to Maximize the Integration of Intermittent Renewable Energy Resources in Islanded Electric Grids. *IEEE Xplore*, 290-295.

Martirano, L., Parise, G., Greco, G., Manganelli, M., Massarella, F. (2019). Aggregation of Users in a Residential/Commercial Building Managed by a Building Energy Management System (BEMS). *IEEE Transactions on Industry Applications*, *55*(1), 26-34.

Meral, H. (2023). Yenilenebilir Enerji Destekli Elektrikli Araç Şarj İstasyonları için Yük Tarafı Talep Yönetiminin Akıllı Kontrol Yöntemleri ile Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Bursa, 814869.

Miao, K., Ramachandaramurthy, K., Yong, J.Y., Padmanaban, S., (2017). Minimization of Load Variance in Power Grids Investigation on Optimal Vehicle-To-Grid Scheduling. *Energies*, *10*(11), DOI:10.3390/en10111880.

Mir, U., Abbasi, U., Mir, T., Kanwal, S., Alamri, S. (2021). Energy Management in Smart Buildings and Homes: Current Approaches, a Hypothetical Solution, and Open Issues and Challenges. *IEEE Access*, *9*(1), 94132-94148, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3092304.

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

Patel, N., Sahu, B., Debnath, M., (2019). Automatic Generation Control Analysis of Power System with Nonlinearities and Electric Vehicle Aggregators with Time-Varying Delay Implementing a Novel Control Strategy. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *27*(4), 3040-3054.

Pouladi, J., Bagher, M., Soleymani, S. (2017). A New Model of Charging Demand Related to Plugin Hybrid Electric Vehicles Aggregation. *Electric Power Component and Systems*, *45*(9), 964-979.

Prasad, B., Thogaru, R., Mitra, A., (2002). Integration of Electric Vehicles to DC Microgrid Enabling V2G and G2V. *IEEE Students Conference on Engineering and Systems*, Prayagraj/India 01-03 July 2022.

Rather Z.H., Nath, A.P., Dahiwale, P.V., (2023). Implementation of Vehicle-To-Everything (V2X) in India, Fundamentals of V2X: Technology, Enablers and Challenges. *Indian Institute of Technology (IIT)*, December 2023.

Sachan, S., (2022). Automatic Learning-based Charging of Electric Vehicles in Smart Parking. *Electric Power Component and Systems*, *49*(10), 860-866.

Sarıdağ, Ö., (2022). İki Yönlü Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Sistemlerine Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Yerleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 736027.

Sangswang, A., Konghirun, M., (2020). Optimal Strategies in Home Energy

Management System Integrating Solar Power, Energy Storage, and Vehicle-to-Grid for Grid Support and Energy Efficiency. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *56*(5), 5716-5728.

Santini, D.J. (2011). Electric Vehicle Waves of History: Lessons Learned about Market Deployment of Electric Vehicles. *Electric Vehicles - The Benefits and Barriers*, 254-284, DOI: 10.5772/22411.

Satılmış, O., Meşe, E., (2011). Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araçlar için Batarya Şarj Cihazları. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 1-6, 05-07 Ekim 2011.

Saygın, D., Tör, O., Teimourzadeh, S., Koç, M., (2019). Türkiye Ulaştırma Sektörünün Dönüşümü: Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekesine Etkileri. *SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi,* ISBN 978-605-2095-75-1, 1-102.

Selvam, P., Subramani, J., (2023). Optimized Deep Reinforcement Learning for Smart Charging Scheduling of Plug-in Electric Vehicles. *Electric Power Component and Systems*, *51*(18), 2085-2097, DOI:10.1080/15325008.2023.2205422.

Sengor, I., Cicek, A., Erenoglu, A., Erdinc, O., (2020). User-Comfort Oriented Optimal Bidding Strategy of An Electric Vehicle Aggregator in Day-Ahead and Reserve Markets. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 122*,106194.

Shakeel, F., Malik, O., (2019). Vehicle-To-Grid Technology in a Micro-grid Using DC Fast Charging Architecture. *IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 05-08 May 2019.

Shukla, G., Raval, K., Solanki, S., Patel U., Dave D., (2019). A study on Campus-Friendly Solar Powered Electric Vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology*, *6*(2), 1521-1526.

Sibi, K., https://getelectricvehicle.com/vehicle-to-vehicle-charging/, (Ziyaret Tarihi: 30.04.2023)

Slama, S.B., (2021). Design And Implementation of Home Energy Management System Using Vehicle to Home (H2V) Approach. *Journal of Cleaner Production*, *312*, 127792.

Sortomme, E., El-Sharkawi, M.A., (2011). Optimal Charging Strategies for Unidirectional Vehicle-To-Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid, 2*(1), 131-138, Mar.2011.

Szinai, J.K., Sheppard, C.J.R., Abhyankar, N., Gopal, A.R., (2020). Reduced Grid Operating Costs and Renewable Energy Curtailment with Electric Vehicle Charge Management. *Energy Policy*, *136*, 111051.

Şahin, M.A., (2023). Şebeke Destekli Güneş Enerjili Araç Şarj İstasyonlarının Tasarımı ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 812665.

Tan, K.M., Ramachandaramurthy V.K., Yong J.Y., (2014). Bidirectional Battery Charger for Electric Vehicle. *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA),* 20-23.May.2014.

URL-1:https://www.jato.com/, (Ziyaret Tarihi: 25.05.2022)

URL-2:https://www.jato.com/in-september-2020-for-the-first-time-in-european-history-registrations-for-electrified-vehicles-overtook-diesel/, (Ziyaret Tarihi: 25.05.2021)

URL-3:https://tehad.org/2021/01/16/2020-yili-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu/, (Ziyaret Tarihi: 03.04.2021)

URL-4:https://www.ntv.com.tr/galeri/ekonomi/otomotiv-devlerinin-elektrikli-arac-takvimleri,KTOS8IZPh0uXNxs6II9Cyw/tj0IcwNEMEGfqiVMd4WN1g, (Ziyaret Tarihi: 22.04.2023)

URL-5:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Togg_T10X_%28cropped%29.jpg, (Ziyaret Tarihi: 05.04.2024)

URL-6:https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/togg-seri-uretim-oncesi-abmevzuatiyla-uyumlu-41-testten-gecti/2862826, (Ziyaret Tarihi: 05.04.2023)

URL-7:https://www.togg.com.tr/ , (Ziyaret Tarihi: 05.04.2023)

URL-8:https://www.eraltek.com.tr/blog-529-elektrikli-arac-marka-modele-gore-batarya-kapasiteleri , (Ziyaret Tarihi: 05.04.2023)

URL-9:https://www.yenisafak.com/v2l-teknolojisi-nedir-v2l-teknolojisine-sahip-elektrikli-araclar-hangileri-h-4593290, (Ziyaret Tarihi: 30.04.2023)

URL-10:https://www.ikinciyeni.com/blog/oto-bellek/togg-sedan-t10f-fiyati-ve-ozellikleri , (Ziyaret Tarihi: 30.04.2023)

URL-11: https://www.nearbycomputing.com/v2x-technology/, (Ziyaret Tarihi: 30.04.2023)

URL-12: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/, (Ziyaret Tarihi: 30.04.2023)

Xu, M., Wu, T., Tan, Z., (2021). Electric Vehicle Fleet Size for Carsharing Services Considering On-Demand Charging Strategy and Battery Degradation. *Transport. Research Part C Emerging Technologies, 127*, 1-25, Jun 2021.

Y. Liu, J. Yang, Y. Wang, Y. Chai, J. Xu, (2019). Electric Vehicle Charging and Batteries Swapping Management Strategy with Photovoltaic Generation in Business Districts. *Electric Power Component and Systems*, *47*(10), 2019.

Yilmaz, A., (2020). Reklam mecrası Instagram: TOGG ve GÜNSEL elektrikli otomobil markaları üzerine ampirik bir araştırma. *Erciyes İletişim Dergisi*, *7*(2), 895-915.

Zheng, Y., Niu, S., Shang, Y., Shao, Z, Jian, L., (2019). Integrating Plug-In Electric Vehicles into Power Grids: A Comprehensive Review on Power Interaction Mode, Scheduling Methodology and Mathematical Foundation. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *112*(1), 424-439.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yayla, S., Özdemir, E., (2022). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Desteklenen Akıllı Şebekelerde Elektrikli Araç Şarj İstasyonları İçin Enerji Yönetimi. *3rd International Conference on Applied Engineering,* 20-23 Temmuz 2022.

Yayla, S., Özdemir, E., (2024). Smart Vehicle to Grid Energy Management Algorithm for Electric Vehicle Supported by Photovoltaic Energy Sources. *Electric Power Components and Systems*, 2024, DOI: 10.1080/15325008.2024.2330097.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimlerini Kocaeli'nde tamamladı. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2013 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü'nde Araştırmacı mühendis olarak göreve başladı ve 2019 yılına kadar çeşitli projelerde görev yaptı. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans yaptı. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi pedagojik formasyon eğitimini tamamladı. 2019 yılında Endüstriyel Otomasyon Bölümü teknik öğretmeni olarak Tuzla Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'ne atandı ve dört yıl görev yaptı. Haydarpaşa Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde mesleki eğitim görevine devam etmektedir.