T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEBEKEYE BAĞLI BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNÜN TRAFOLARININ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ İSTASYONUNA UYGUNLUĞU AÇISINDAN İNCELENMESİ: İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET GÜNDEM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

MAYIS 2025

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEBEKEYE BAĞLI BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNÜN TRAFOLARININ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ İSTASYONUNA UYGUNLUĞU AÇISINDAN İNCELENMESİ: İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET GÜNDEM
(36203615076)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

MAYIS 2025

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

AKILLI ŞEBEKEYE BAĞLI BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNÜN TRAFOLARININ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ İSTASYONUNA UYGUNLUĞU AÇISINDAN İNCELENMESİ: İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

Tezi Hazırlayan: Mehmet GÜNDEM
Yüksek Lisans Tezi

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ'a, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemal KELEŞ'e ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan aileme, tezin uygulama aşamasında vermiş oldukları destekten dolayı, İnönü Üniversitesi Rektörlüğüne ve Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığına teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "**Akıllı Şebekeye Bağlı Bir Üniversite Kampüsünün Trafolarının Elektrikli Araçların Şarj İstasyonuna Uygunluğu Açısından İncelenmesi: İnönü Üniversitesi**" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet GÜNDEM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ ..... **i**
ONUR SÖZÜ ..... **ii**
İÇİNDEKİLER..... **iii**
ÇİZELGELER DİZİNİ..... **v**
ŞEKİLLER DİZİNİ..... **vi**
SEMBOLLER VE KISALTMALAR..... **viii**
ÖZET ..... **ix**
ABSTRACT ..... **x**
1. GİRİŞ..... **1**
1.1 Tezin Amacı..... 2
1.2 Literatür Araştırması..... 3
2. AKILLI ŞEBEKENİN YAPISAL ANALİZİ VE BİLEŞENLERİ..... **5**
2.1 Akıllı Şebekeler 5
2.1.1 Akıllı şebeke bileşenleri ve fonksiyonları 6
2.1.1.1 Akıllı üretim 7
2.1.1.2 Akıllı istasyonlar 7
2.1.1.3 Akıllı dağıtım..... 7
2.1.1.4 Akıllı sayaçlar..... 7
2.1.1.5 Bütünleştirilmiş haberleşme 8
2.1.1.6 İleri kontrol metotları- enerji yönetim platformu 9
2.1.1.7 Enerji depolama üniteleri..... 9
2.1.1.8 Akıllı şebeke sisteminde yenilebilir enerji kaynakları 9
2.1.2 Akıllı şebeke sistemlerinin avantajları: 10
2.1.3 Akıllı şebeke ve klasik şebeke arasındaki farklar..... 10
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI **13**
3.1 Elektrik Araç Teknolojisinin Tarihçesi 13
3.2 Elektrik Araç Türleri..... 16
3.2.1 Tamamen bataryalı elektrikli araçlar..... 16
3.2.2 Hibrit elektrikli araçlar 16
3.2.3 Yakıt pilli elektrikli araçlar 16
3.3 Tamamen Bataryalı Elektrikli Araçların Bileşenleri 18
3.3.1 Elektrik motoru:..... 18
3.3.2 Enerji depolama sistemi (batarya)..... 19
3.3.3 Kontrol ünitesi..... 21
3.4 Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri 23
3.4.1 Batarya değişimi..... 23
3.4.2 Kablosuz şarj 23
3.4.3 Kablolu şarj 25
3.4.3.1 Elektrikli araç kablolu şarj yöntemleri ve standartları 25
3.4.3.2 Elektrikli araç şarj konnektör çeşitleri:..... 26
3.5 Elektrikli Araçların Akıllı Şebeke Sistemine Entegrasyonu (V2G – G2V) 29
3.5.1 Araçtan şebekeye..... 29
3.5.2 Şebekeden araca 29
4. İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ'NDE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GELECEĞİ VE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNİN ANALİZİ **31**
4.1 İnönü Üniversitesi'nde Araç Yoğunluğu ve Elektrikli Araçların Geleceği..... 31
4.2 Türkiye Genelinde ve Malatya Özelinde DC Hızlı Şarj İstasyonlarının Dağılımı 35
4.3 İnönü Üniversitesinin Elektrik Tüketim Verileri ve Mevcut Şebeke Yapısı..... 36

4.3.1 Rektörlük trafo merkezi (1) 37
4.3.2 Mühendislik trafo merkezi (2) 39
4.3.3 Doğu lojmanları trafo merkezi (3) 41
5. MATLAB / SİMULİNK ORTAMINDA MODELLEMELER 43
5.1 Rektörlük Trafo Merkezinin Matlab/ Simulink'te Modellemesi 44
5.2 Mühendislik Trafo Merkezinin Matlab/Simulink'te Modellemesi 50
5.3 Doğu Lojmankarı Trafo Merkezinin Matlab/Simulink'te Modellemesi 56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 60
KAYNAKLAR 63
ÖZGEÇMİŞ 66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 : Klasik ve akıllı şebeke karşılaştırılması..... 11
Çizelge 3.1 : Elektrikli araç türleri karşılaştırılması. 17
Çizelge 3.2 : Elektrikli araçlarda kullanılan pil teknolojileri ve özellikleri [19] 19
Çizelge 3.3 : Elektrikli araç kontrol ünitesi bileşenleri ve açıklaması [21] 22
Çizelge 3.4 : SAE J1772 Standardı[24] 25
Çizelge 3.5 : CHAdeMO Standardı [2]..... 25
Çizelge 3.6 : IEC 61851 Standardı [25] **.**..... 26
Çizelge 4.1 : TÜİK verilerine göre 2024 yılı trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı[31]. 33
Çizelge 4.2 : Elektrikli araç satışı pazar payının hedef oranları. 35
Çizelge 4.3 : Elektrikli araç sayısı düşük, orta ve yüksek senaryolar..... 35
Çizelge 4.4 : İnönü Üniversitesi kampüsünde önümüzdeki dönem EV hedef sayısı 35
Çizelge 4.5 : Rektörlük trafo etiket bilgileri 37
Çizelge 4.6 : Mühendislik trafo etiket bilgileri. 39
Çizelge 4.7 : Doğu lojmanları trafo etiket bilgileri. 41
Çizelge 5.1 : DC şarj istasyonunda EV'ların sisteme entegrasyon durumu 46
Çizelge 5.2 : DC şarj istasyonunda EV'ların sisteme entegrasyon durumu 52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Akıllı şebekenin yapısı. 5
Şekil 2.2: Akıllı şebeke mimarisi[10] 6
Şekil 2.3: Akıllı sayaçlar (elektrik, doğalgaz ve su). 8
Şekil 2.4: Farklı bilim alanlarının akıllı şebeke çalışmalarında buluşmaları [12]. 8
Şekil 2.5: Klasik elektrik şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri. 12
Şekil 2.6: Akıllı şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri..... 12
Şekil 3.1: Thomas Davenport tarafından icat edilen ilk elektrikli araç [15]..... 13
Şekil 3.2: Türkiye'de en çok satılan elektrikli araç TOGG'un T10X modeli [17] 15
Şekil 3.3 : Elektrikli araç türleri (BEV, HEV ve FCEV). 17
Şekil 3.4: Elektrikli araçlarda kullanılan motorların genel görünümü ve iç yapıları. 19
Şekil 3.5 : Örnek li-ion pil döngüsü. 20
Şekil 3.6 : Elektrikli araç batarya sistemi (pil paket, modül ve hücre yapısı)..... 21
Şekil 3.7: Elektrikli araç kontrol ünitesi birimleri şeması..... 23
Şekil 3.8: EV kablosuz şarj - mrk eşdeğer devresi [23]..... 24
Şekil 3.9 : Elektrikli araç şarj modları ve konnektör çeşitleri. 27
Şekil 3.10 : TYPE-CCS şarj soket yapısı. 28
Şekil 3.11 : Tesla elektrikli araç ve supercharger şarj istasyonu[27] 28
Şekil 3.12 : V2G/V2H ve G2V/H2V teknolojilerinin çalışma prensibi..... 29
Şekil 4.1: İnönü Üniversitesi merkez kampüs görünümü. 31
Şekil 4.2: İnönü Üniversitesi merkez kampüs konumu. 31
Şekil 4.3: İnönü Üniversitesi merkez kampüs görünümü[30] 36
Şekil 4.4: (a) Rektörlük dağıtım trafosu aylık tüketim verileri ve (b) grafiği. 37
Şekil 4.5: Rektörlük dağıtım trafosu temmuz ayı günlük tüketim verileri. 38
Şekil 4.6: Rektörlük dağıtım trafosu 08.07.2024 tarihli saatlik tüketim verileri. 38
Şekil 4.7: (a) Mühendislik dağıtım trafosu aylık tüketim verileri ve (b) grafiği..... 39
Şekil 4.8: Mühendislik dağıtım trafosu aralık ayı günlük tüketim verileri. 40
Şekil 4.9: Mühendislik dağıtım trafosu 19.12.2023 tarihindeki saatlik tüketim verileri. ... 40
Şekil 4.10: (a) Lojman dağıtım trafosu aylık tüketim verileri ve (b) grafiği. 41
Şekil 4.11: Lojman dağıtım trafosu ocak ayı günlük tüketim verileri. 42
Şekil 4.12: Lojman dağıtım trafosu 28.01.2024 tarihindeki saatlik tüketim verileri. 42
Şekil 5.1: Mevcut yük durumunun matlab/simulink'te modellemesi. 44
Şekil 5.2: Matlab/Simulink'te 08.07. 2024 tarihindeki 24 saatlik yük durumu analizi. 45
Şekil 5.3: Matlab/Simulink'te DC EV şarj istasyonu entegrasyon modellemesi..... 45
Şekil 5.4: Matlab/Simulink'te 08.07. 2024 tarihindeki 24 saatlik DC EV şarj istasyonunun mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği 46
Şekil 5.5: Maltlab/Simulink'te EV şarj istasyonu ve GES'in entegrasyon modellemesi .. 47
Şekil 5.6: Malatya güneş radyasyon değerleri[32]..... 48
Şekil 5.7: Malatya'da 2000 m² GES 2024 Temmuz ayı matlab/simulink yük grafiği. 49
Şekil 5.8: Matlab/Simulink ortamında 08.07. 2024 tarihindeki 24 saatlik EV şarj istasyonu ve GES'in mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği 49
Şekil 5.9: Mevcut yük durumunun matlab/simulink'te modellemesi 50
Şekil 5.10: Matlab/Simulink'te 19.12.2023 tarihindeki 24 saatlik yük durumu analizi 51
Şekil 5.11: Matlab/Simulink'te DC EV şarj istasyonu entegrasyon modellemesi 52
Şekil 5.12: Matlab/Simulink'te 19.12.2023 tarihindeki 24 saatlik DC EV şarj istasyonunun mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği 53
Şekil 5.13: Maltlab/Simulink'te EV şarj istasyonu ve GES'in entegrasyon modellemesi 53
Şekil 5.14: Malatya'da 2000 m² GES 2023 Aralık ayı matlab/simulink güç grafiği..... 55
Şekil 5.15: Matlab/Simulink'te 19.12.2023 tarihindeki 24 saatlik EV şarj istasyonu ve GES'in mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği 55

Şekil 5.16: Mevcut yük durumunun matlab/simulink'te modellemesi 56
Şekil 5.17: Matlab/Simulink'te 28.01.2024 tarihindeki 24 saatlik yük durumu analizi 57
Şekil 5.18: Matlab/Simulink'te AC EV şarj istasyonu entegrasyon modellemesi 58
Şekil 5.19: AC şarj istasyonlarında EV'ların sisteme entegrasyon durumu 58
Şekil 5.20: Matlab/Simulink'te 28.01.2024 tarihindeki 24 saatlik AC EV şarj istasyonunun mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği 59

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AC : Alternatif Akım

DC : Doğru Akım

EV : Elektrikli Araç

BEV : Tamamen Bataryalı Elektrikli Araçlar

HEV : Hibrit Elektrikli Araçlar

FCEV : Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar

IOT : Nesnelerin İnterneti

V2G : Araçtan Şebekeye Enerji Aktarımı

G2V : Şebekeden Araca Enerji Aktarımı

YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynağı

GES : Güneş Enerji Santrali

PV : Fotovoltaik

Li-ion : Lityum iyon

kW : Kilo watt

kV : Kilo volt

kVA : Kilo volt amper

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKILLI ŞEBEKEYE BAĞLI BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNÜN TRAFOLARININ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ İSTASYONUNA UYGUNLUĞU AÇISINDAN İNCELENMESİ: İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

MEHMET GÜNDEM

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

66 + X sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

Dünyada birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de sanayi devriminin başlamasıyla birlikte gündelik yaşamda ve endüstriyel üretimlerde enerjiye olan ihtiyaç sürekli artmıştır. Buhar makinelerinden elektrik motorlarına, robotik sistemlerden akıllı şehirlere kadar her yeni teknoloji, enerji tüketimini artıran bir etken olmuştur. Ülkeler, sanayi devriminin ilk yıllarında hızla artan enerji ihtiyaçlarını kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılamaya çalışmışlardır. Zamanla artan enerji gereksinimine karşın fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması, sürdürülebilirlik konusundaki endişeleri de ortaya çıkarmış olup insanları alternatif çözümler aramaya yönlendirmiştir. Günümüzde enerji talebinin ve maliyetlerin artmasının yanı sıra, fosil yakıtlara karşı gelişen çevresel farkındalığın yükselmesi, ulaşım sektöründeki dönüşüm çabalarını daha da önemli hale getirmiştir. Zira bu sektör, fosil yakıtların en yaygın şekilde tüketildiği alanlardan biridir. Önümüzdeki dönemde çevresel faktörler ve enerji arzı gibi sorunların yanında teknolojik gelişmelerinde etkisiyle ulaşım sektöründe elektrikli araçların sayısının daha da artması beklenmektedir. Elektrikli araç sayısının artmasına paralel olarak aynı zamanda elektrik araç şarj istasyonlarının da artacağı dikkate alındığında bu sistemlerin akıllı şebekelere getireceği elektriksel ilave yükün entegrasyonu büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple akıllı şebeke, elektrikli araç ve şarj istasyonlarının bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında akıllı şebekelerle beraber geçmişten günümüze elektrikli araç teknolojisinin geldiği mevcut durum incelenecek olup elektrikli araç bileşenleri anlatılmıştır. Bu tez çalışmasında ayrıca İnönü Üniversitesi'nin akıllı şebeke sisteminin elektrik altyapı otomasyonu incelenmiş olup mevcut yük durumu hakkında bilgiler elde edilmiştir. Mevcut yük durumu dikkate alınarak elektrik şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonuyla birlikte farklı senaryolarda elektrikli araçların sisteme getireceği yük akışında meydana gelecek etkiler üzerinde durulmuştur. Trafoların mevcut yük durumu ve elektrik şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonu Matlab/Simulink'te modellenmiştir. Ayrıca buradan elde edilen verilerle gelecekte elektrik şebeke sistemine dâhil olacak fazladan yükün karşılanmasına yönelik, yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler tespit edilerek bazı öneriler sunulmuştur. Bu tez kapsamında yapılan tüm bu araştırmalar İnönü Üniversitesi'nin Yeşil Kampüs çalışmalarına destek vermesi planlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebeke, Elektrikli Araçlar, Elektrik Şarj İstasyonları

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF TRANSFORMERS OF A UNIVERSITY CAMPUS CONNECTED TO A SMART GRID IN TERMS OF THEIR SUITABILITY AS AN ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION: INONU UNIVERSITY

MEHMET GÜNDEM

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

66 + X page

2025

Supervisor: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

As in many countries around the world, the need for energy in daily life and industrial production has continuously increased in our country with the beginning of the industrial revolution. From steam engines to electric motors, from robotic systems to smart cities, every new technology has been a factor that increases energy consumption. In the early years of the industrial revolution, countries tried to meet their rapidly increasing energy needs from fossil fuels such as coal, oil and natural gas. Despite the increasing energy need over time, the limited fossil fuel reserves have also revealed concerns about sustainability and led people to seek alternative solutions. Today, in addition to the increase in energy demand and costs, the rise in environmental awareness against fossil fuels has made the transformation efforts in the transportation sector even more important. Because this sector is one of the areas where fossil fuels are most widely consumed. In the coming period, it is expected that the number of electric vehicles in the transportation sector will increase even more due to problems such as environmental factors and energy supply, as well as the impact of technological developments. Considering that the number of electric vehicles will increase in parallel with the increase in the number of electric vehicles, the integration of the electrical additional load that these systems will bring to smart grids is of great importance. For this reason, smart grid, electric vehicle and charging stations should be considered as a whole.

In this thesis, the current situation of electric vehicle technology from the past to the present will be examined together with smart grids and electric vehicle components are explained. In this thesis, the electrical infrastructure automation of İnönü University's smart grid system was also examined and information about the current load status was obtained. Considering the current load status, the effects that will occur on the load flow that electric vehicles will bring to the system in different scenarios with the integration of electric charging stations to the grid were emphasized. The current load status of transformers and the integration of electric charging stations to the grid were modeled in Matlab/Simulink. In addition, with the data obtained from here, renewable energy-based systems were determined and some suggestions were presented to meet the additional load that will be included in the electric grid system in the future. It is planned that all these researches carried out within the scope of this thesis will support İnönü University's Green Campus studies.

Keywords: Smart Grid, Electric Vehicles, Electric Charging Stations

1. GİRİŞ

Dünyada gelişmiş birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de birinci sanayi devriminden, dördüncü sanayi devrimine kadar gündelik yaşamda ve endüstriyel üretimde enerjiye olan ihtiyaç sürekli artmıştır. Birinci sanayi devrimine baktığımızda enerji kaynağı olan fosil yakıtların ısıl etkisiyle buharın ve suyun kuvvetiyle çalışan mekanik sistemler artık üretim ve ulaşım sektörlerinde kullanılmaya başlanmıştır. İkinci sanayi devrimi, üretimde elektrik enerjisinin yardımıyla proseslerde seri imalatın başladığı dönemi kapsamaktadır. Üçüncü sanayi devrimi, bilgisayar, otomasyon ve robotların içinde yer aldığı analogdan dijitalleşmeye geçiş dönemini kapsamaktadır. İçinde bulunduğumuz dördüncü sanayi devrimi (Sanayi 4.0) ise bulut tabanlı bilişim teknolojileri ile endüstri faaliyetlerini bir araya gelmesini kapsamaktadır (Akıllı Şebeke, Akıllı Ulaşım, Akıllı Üretim, Akıllı Tarım vb.). Aslında Sanayi 4.0 teknolojik yenilik ve ilerlemeleri nesnelerin internetiyle (IOT) birleştiren bir sistemin genel adıdır. Sanayi 1'den Sanayi 4.0'a giden sürece baktığımızda enerjiye olan talep sürekli artmıştır. Önümüzdeki dönemde artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması, enerji fiyatları, sürdürülebilirlik ve iklim krizi konusundaki endişeler akıllı şebeke ve akıllı ulaşımın bir parçası olan elektrikli araçların önemini her geçen gün daha da artırmasına neden olmaktadır. Enerjiye olan talebin sürekli arttığı bir dönemde mevcut elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan trafo, kesici ve ayırıcıların teknolojik gelişiminin sınırlı olmasıyla beraber enerji üretiminde fosil yakıtların çoğunlukta olduğu geleneksel enerji üretimi yöntemlerinin önümüzdeki dönemde ihtiyacı karşılayamayacak duruma gelmesi beklenmektedir. Akıllı şebeke sistemlerinin temel mantığı, sürdürülebilir enerji kaynaklarının entegre olduğu bir sistemde mevcut elektrik dağıtım şebeke sisteminin uzaktan erişimle izleme, analiz ve arz-talep dengesini kontrol ederek enerji üretim ve tüketim verimini en üst düzeye çıkarmaktır. Bu sayede enerji talebi daha iyi tahmin edilerek şebeke kararlılığı artırılabilir. Bu sebeple önümüzdeki dönemde özellikle akıllı şebeke mimarisiyle sisteme entegre edilen sürdürülebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçlar mevcut şebekeleri daha verimli hale getirecektir.

Günümüzde elektrikli araçlara olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu talebin artmasında son yıllarda hem çevresel kaygılar hem de teknolojik ilerlemeler etkili olmuştur. Elektrikli araçlardaki teknolojik gelişmeler sayesinde lityum-iyon bataryalarının şarj sürelerinin kısalması, enerji kapasite yoğunluklarının artması ve maliyetlerin düşmesinin

yanında şarj altyapısının geliştirilmesi elektrikli araçlara olan talebi artırarak ulaşım sektöründe nicelik olarak etkisini göstermiştir. Bu teknolojik gelişimlerin yanında otonom sürüş sistemlerinin elektrikli araçlara entegre edilmesi ulaşımı daha akıllı, güvenli hale getirecektir. Elektrikli araçların popülerliğinin böyle devam etmesi durumunda önümüzdeki dönemde fosil yakıtlı araçların yerini alabileceği öngörülmektedir. Ayrıca ülkemizde yerli elektrikli araç üretiminin de olması bu sayının artmasında etkili olmuştur. Elektrikli araç sayısının artmasına paralel olarak elektrik araç şarj istasyonlarının da artacağı dikkate alındığında bu sistemlerin akıllı şebekelere getireceği ilave elektriksel yükün entegrasyonu büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple akıllı şebekenin bir parçası olan elektrikli araç ve şarj istasyonlarının bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı dünyada ve ülkemizde her geçen gün popülerliğini ve etkisini artıran elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarının akıllı şebekeye olası etkilerini incelemektir. Yapılan bu çalışmada akıllı şebekelerle beraber geçmişten günümüze elektrikli araç teknolojisinin geldiği mevcut durum bileşenleriyle beraber incelenmiştir. Ayrıca şarj teknolojilerinin sistem ile entegrasyon süreçleri ele alınmıştır.

İnönü Üniversitesi merkez kampüsü özelinde, elektrik altyapı sistemine elektrikli araç şarj istasyonlarının dahil edilmesi durumunda farklı senaryolar ile sisteme getireceği yüklerin olası etkilerinin incelenmesinin gerekliliği ortaya konulmuştur. İnönü Üniversitesi merkez kampüsü akıllı elektrik şebekesinin mevcut otomasyon elektrik altyapısı trafo yük verileri incelenerek üç trafo özelinde veri analizleri yapılmıştır. Bununla birlikte Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayımlanan Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun (EPDK) Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu raporunda önümüzdeki dönemde yıllara göre Türkiye'deki elektrikli araç sayısı oranları belirlenmiştir. Bu öngörüler doğrultusunda İnönü Üniversitesi'ne kayıtlı araç ve günlük giriş-çıkış yapan misafir araç sayısı tespit edilerek üniversitedeki elektrikli araç sayısı oranlanmıştır. Elektrik altyapısına entegrasyonu yapılan elektrikli araç şarj istasyonlarının yük değeri verileri belirlenen öngörüler doğrultusunda sisteme eklenerek, trafolarda oluşabilecek yüklenmeler tekrar analiz edilmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegrasyonu durumunda şebekeye gelecek ekstra yüklerin olası etkileri Matlab/Simülink'te farklı senaryolarda modellenerek şebeke tepkileri analiz edilmiştir.

İnönü Üniversitesi kampüsünün mevcut elektrik şebeke yapısına bağlı olarak kampüste deprem sonrası yapılaşmalar da dikkate alınarak gelecekte elektrikli araç şarj istasyonlarının yanında sisteme dâhil olacak ekstra yükün karşılanması amacıyla, sistemi desteklemeye yönelik yenilenebilir enerji kaynakları için kurulabilecek yerler (çatı, otopark ges sistemler) tespit edilerek bazı öneriler sunulmuştur. Bu tez çalışması aynı zamanda İnönü Üniversitesi'nin Yeşil Kampüs çalışmalarına da destek vermesi düşünülmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

Literatürde akıllı elektrik şebekesine bağlı bir sistemde trafoların elektrikli araç şarj istasyonuna uygunluğu açısından incelenmesine yönelik ve sisteme getireceği yükler ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Bir doktora tezi çalışmasında, elektrikli araç şarj altyapısının planlanması ve akıllı şarj yönetim sistemi için kapsamlı bir model sunulmuştur. Yapılan simülasyon çalışmaları, gerçek verilere dayalı olarak gerçekleştirilmiş olup farklı senaryolarla karşılaştırılarak detaylı analizler yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında amaçlara uygun sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, elektrikli araç kullanıcılarının ve elektrik şebekesinin ihtiyaçları analiz edilmiş ve çözüm önerisi geliştirilmiştir [1].

Kaya (2022) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu ile güç akışında meydana gelebilecek etkiler ele alınmıştır. Bu etkileri değerlendirmek amacıyla Mardin ilinde belirlenen bir bölgedeki dağıtım trafosu referans alınarak Matlab/Simulink ortamında bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen simülasyon modelinde, dağıtım trafosundan beslenen abone sayısı baz alınarak elektrikli araç sayısı tahmin edilmiş ve gelecek yıllarda öngörülen dönüşüm oranları doğrultusunda şebeke üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenerek analiz edilmiştir [2]

Avci (2022) yapmış olduğu çalışmada ise akıllı şebekeleri incelemiş olup akıllı şebekeler ile klasik şebekeler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın devamında, elektrikli araç teknolojisinin tarihsel gelişimi incelenmiş ve farklı elektrikli araç türleri incelenmiştir. Elektrikli araç bileşenleri kapsamında batarya, elektrik motoru, güç sistemleri ve şarj istasyon tipleri detaylandırılmış olup V2G teknolojisinin akıllı şebeke sistemine entegrasyonu açıklanmıştır. Çalışmada, Bursa ilindeki belirli transformatörler üzerinde elektrikli araç sayısındaki artışın güç değerleri simülasyona eklenerek farklı yöntem ve senaryolarda yüklenmelere etkisi değerlendirilerek sonuçlar analiz edilmiştir [3].

Bir yüksek lisans tez çalışmasında, farklı kullanıcı gruplarının bulunduğu pilot bir bölgede Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin altyapısı kullanılarak bir dağıtım fideri seçilmiş ve bu fider üzerinde elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi modellemesi gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı olarak elde edilen veriler, kullanılan programa ayrı ayrı işlenerek, şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri analiz edilmiş ve benzetim çalışmaları yapılmıştır [4].

Ünsal (2028) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında 'Elektrikli Araçlar' kavramı genel hatlarıyla ele alınmış, dünyadaki elektrikli araç çeşitleri ve şarj tipleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda, elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesine entegrasyonu ve güç akışı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir [5]

Yıldızhan vd. (2022), akıllı şebeke uygulanabilirliği üzerine yaptıkları çalışmada, Türkiye'de faaliyet gösteren bir otopark işletmecisi ile iş birliği yaparak altyapı hizmetlerinin kesintisiz sürdürülebilmesi için olası güç sistemi arızalarının önlenmesi amacıyla güç akışı analizi yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmasında, hat üzerindeki aktif ve reaktif güçler ile transformatör yüklenmeleri incelenerek çeşitli öneriler sunulmuştur [6].

Sarıkaya (2016) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında ise akıllı şebeke altyapı uygulamaları incelenmiştir. Matlab/Simulink ortamında geliştirilen enerji yönetim simülasyon modelinde, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin kullanımı ve tüketici yüklerinin yönetimi sağlanarak enerji verimliliği analiz edilmiştir. Buradan elde edilen sonuçların tüketici faturalarına yansıması gösterilmiştir. Güneş ve rüzgar türbini modellerini içeren sistemde, üretilen enerjinin tüketicinin elektrik ihtiyacını karşılaması, fazlasının batarya sistemlerinde depolanması ve şebekeye satılması işlemleri iki aşamalı simülasyon modeli üzerinden gerçekleştirilmiştir [7].

İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından "İstanbul İli Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Kurulumu Ön Fizibilite Raporu (2021)" hazırlanmıştır. Ajansın hazırlamış olduğu raporda İstanbul'da elektrikli araç şarj istasyonlarının kurulmasının uygunluğu araştırılmış olup elektrikli araçların enerji gereksinimini karşılayan çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarını yaygınlaştırılması hedeflenerek teşvik edici yatırım fikirleri geliştirilmiştir [8].

Yapılan literatür araştırmalarında akıllı şebekeye bağlı bir üniversite kampüsünün trafolarının elektrikli araçların şarj istasyonuna uygunluğu açısından incelenmesi yönelik üniversite özelinde benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışması bu bakımdan özgün bir çalışma olup diğer üniversiteler için örnek teşkil edecektir.

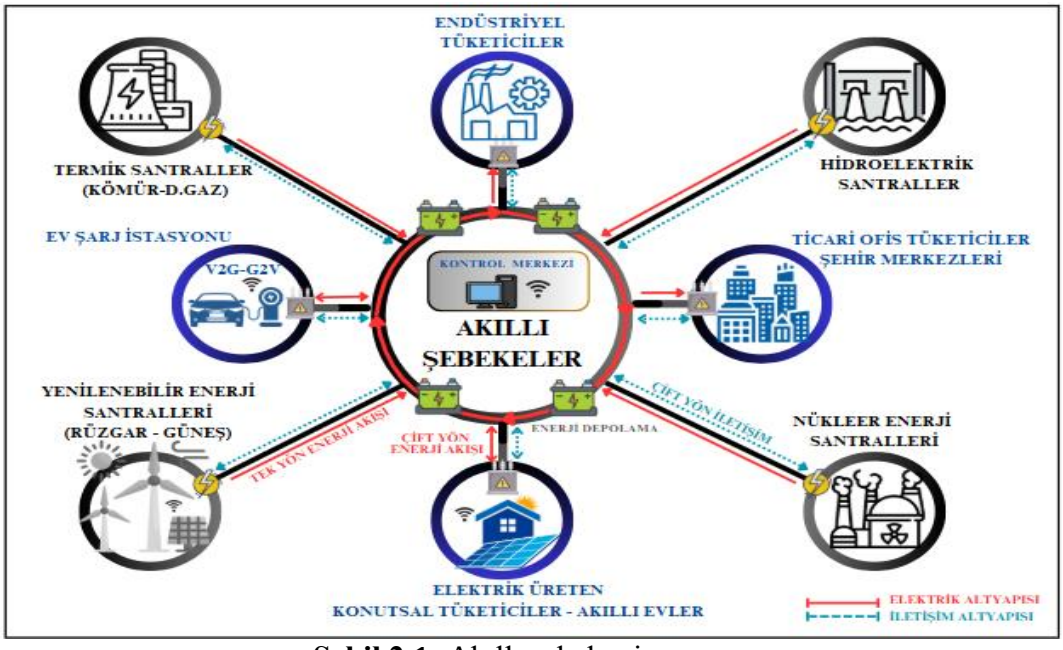
2. AKILLI ŞEBEKENİN YAPISAL ANALİZİ VE BİLEŞENLERİ

İnönü Üniversitesi'nin kampüs yerleşke alanının elektrik altyapısının akıllı şebeke olması nedeniyle bu tez çalışmamızda ilk olarak akıllı şebeke sistemi ve bileşenleri açıklanmıştır.

2.1 Akıllı Şebekeler

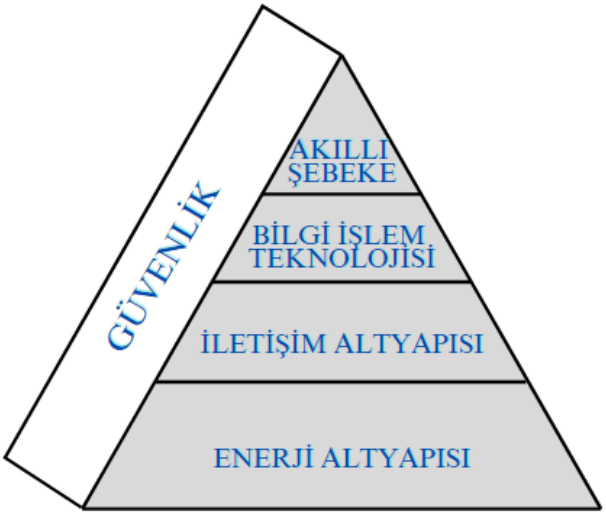
Akıllı şebekeler (Smart Grids), elektriğin üretiminden tüketimine kadar her aşamada dijital teknolojinin etkisiyle birbiriyle iletişim halinde olan daha güvenli, sürdürülebilir ve verimli bir enerji sistemi vadeden yenilikçi bir altyapıdır. Bu sistem, geleneksel elektrik şebekelerinin aksine, sadece enerji akışı değil, aynı zamanda elektrik altyapısını günümüz otomasyon ve bilişim sistemleri ile anlık veri akışı da sağlayarak şebekenin tüm bileşenlerini harmanlayarak birbirine bağlar.

Akıllı şebekenin ortaya çıkmasına neden olan çok fazla faktörden bahsetmek mümkün olmakla birlikte özellikle enerjiye olan talebin sanayi devriminden bu yana sürekli artmış olması ve mevcut durumda şebekelerin yetersiz kalmış olması önemli bir nedendir. Akıllı şebeke sistemler, sürdürülebilirliğin yanında şebekelerin tam otomasyonunu ve yüksek verimliliğini amaçlarken, haberleşmeden bilgi teknolojilerine, kontrol sistemlerinden yarı iletken teknolojilerine kadar birçok farklı teknolojiyi bir araya getiren yeni bir model olarak karşımıza çıkmaktadır [9]. Akıllı şebekelerin içende barındırdığı birçok özellik farklı tanımlamaları da ortaya çıkarmaktadır. Daha kapsamlı bir ifadeyle, enerjinin iki yönlü akışını sağlayan, iki yönlü haberleşme sistemi kullanan, otomasyonla birlikte kontrol yeteneği olan elektrik şebeke sistemleridir [7].



Şekil 2.1: Akıllı şebekenin yapısı.

Akıllı şebekenin yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Akıllı şebeke yapısını basitçe ifade etmek gerekirse, elektrik şebekesi sistemlerinin dört unsuru vardır: elektrik üretim tesisleri, iletim, trafo merkezleri (iletim ve dağıtım) ve son kullanıcılar. Yukarıdaki Şekil 2.1'de bu dört unsuru görebilmekteyiz. Akıllı şebeke sistemi kontrol merkezinin içinde yer aldığı üretim ve tüketim arasında bu dört unsurun birbiriyle haberleştiği bir otomasyon sistemidir. Bu şebeke sistemi çeşitli elektrik santrallerini yüksek gerilim hatlarıyla birbirlerine bağlayarak, elektrik üretimi ve tüketimi arasında iki yönlü bir bağlantı kuran gerçek zamanlı anlık verileri toplayan ve analiz eden, elektrik şebekesine entegre olan güvenliğin ön planda olduğu bir veri iletişim ağıdır.



Şekil 2.2: Akıllı şebeke mimarisi[10].

Akıllı şebeke mimarisi Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Future Generation Computer Systems (Gelecek Nesil Bilgisayar Sistemleri) dergisinde DOE (ABD Enerji Bakanlığı) tarafından yayımlanan, akıllı şebeke sistem mimarisinin tanımına baktığımızda; üçgenin en alt katmanı, enerjiyi dağıtan fiziksel enerji altyapısıdır. Orta bölümde iletişim altyapısı ve bilgi teknolojileri, en üstünde ise akıllı şebeke yapısı yer almaktadır. Bu şekilde de görüldüğü gibi güvenlik tüm katmanları kapsamaktadır. Genel olarak akıllı şebeke sistemlerini incelediğimizde, güvenliğin her aşamada ön planda olduğu elektrik şebeke sistemidir [10].

2.1.1 Akıllı şebeke bileşenleri ve fonksiyonları

Akıllı şebekeler farklı mühendislik alan disiplinlerin enterkonnekte şekilde bir araya gelmesiyle oluşur. Akıllı şebekenin temel bileşenlerine baktığımızda akıllı üretim, akıllı istasyonlar, akıllı dağıtım, akıllı sayaçlar, bütünleştirilmiş haberleşme, ileri kontrol metotları, enerji depolama ve yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) olarak sıralanır.

2.1.1.1 Akıllı üretim

Akıllı üretim akıllı şebekelerde önemli bir göreve sahiptir. Şebekenin birçok noktasından alınan geri beslemeler ile enerji üretiminin optimize ederek gerilimin, frekansın ve güç faktörünün otomatik olarak ayarlanabilmesine imkân vererek güç üretimine imkân verir. Akıllı üretimde gerilimin ve frekansın kararlı olmasının yanında enerjinin sürekliliği/ güvenilirliği çok önemlidir. Akıllı üretimin tanımına bakacak olursak, tedarik ve üretim aşamalarında neden sonuç ilişkileri kurabilen, gerçek zamanlı bilgi akışını sağlayan ve planlama aracı olarak kullanılabilen ağ tabanlı bilgi entegrasyonuna akıllı üretim denir[11].

2.1.1.2 Akıllı istasyonlar

Akıllı istasyonlar iletim hatları üzerinde ayırıcı, kesici ve trafo yük durumu verilerinin anlık izlenerek güç faktörü performansını aktif ve reaktif kritik değerleri analiz edilmesini sağlamaktadır. Tüm bu otomasyon sistemlerinin bilgisayar ve ağ teknolojisi ile birbirleri ile bağlantısıyla oluşan istasyonlara verilen addır.

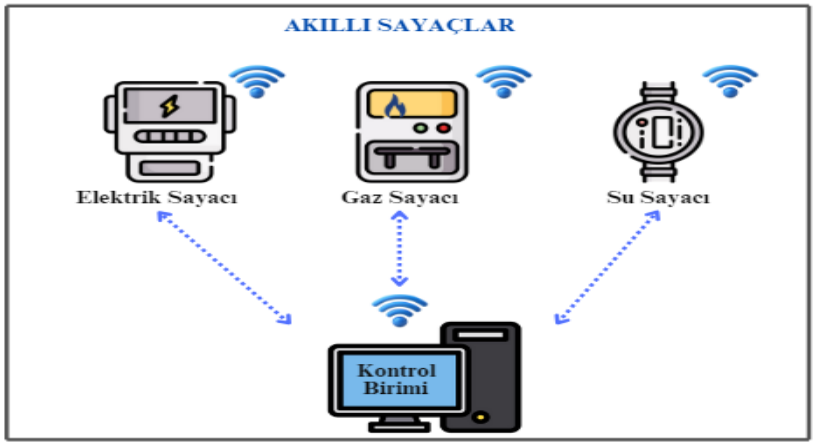
2.1.1.3 Akıllı dağıtım

Akıllı dağıtım elektrik şebekelerinde kendi kedini sürekli geliştiren, yapay zekâ ve makine öğrenmesinin de içinde yer aldığı dengeleyici ve optimize edici sistemlerdir. Dağıtım şebekelerine entegre edilen ve birbiriyle haberleşen akıllı scala ekipmanları ile toplanan bilgilerin kompleks algoritmalarla işlenmesiyle şebekeler optimize edilebilir. Otomatik izleme ve analiz etme özelliği ile mevcut elektrik dağıtım şebekelerinin voltaj düşüşü, elektrik kesintisi ve aşırı yüklenme açısından oluşacak arızalara daha hızlı kontrol edilerek oluşabilecek operasyonel maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla bu sistemler geliştirilmektedir. Bu sistemlerin önemli bir diğer avantajı da yasaların zorunlu kıldığı sürdürülebilirlik, güvenlik, enerji kalitesi ve sistem performansına katkıda bulunmasıdır [11].

2.1.1.4 Akıllı sayaçlar

Akıllı sayaçlar tüketici merkezli olup elektrik şebekelerini daha verimli hale getirmektedir. Son kullanıcılar açısından enerji tüketimini gerçek zamanlı anlık verileri analiz ederek hem tüketicilere enerji faturalarında tasarruf anlamında daha fazla kontrol imkânı sağlar hem de dağıtım şirketlerine sağladığı veriler sayesinde arz-talep dengesini kurmasına yardımcı olur. Akıllı sayaçlar tüketici ve elektrik dağıtım şirketi arasında kablolu ve kablosuz (GPRS, RF, PLC vb.) haberleşme altyapısını kullanarak iki yönlü iletişimi gerçekleştirirler. Akıllı sayaçlardaki ağ teknolojisindeki modem altyapısıyla dağıtım şirketlerine verimlilik anlamında fayda sağlayarak, uzaktan kontrol sayesinde sistemdeki

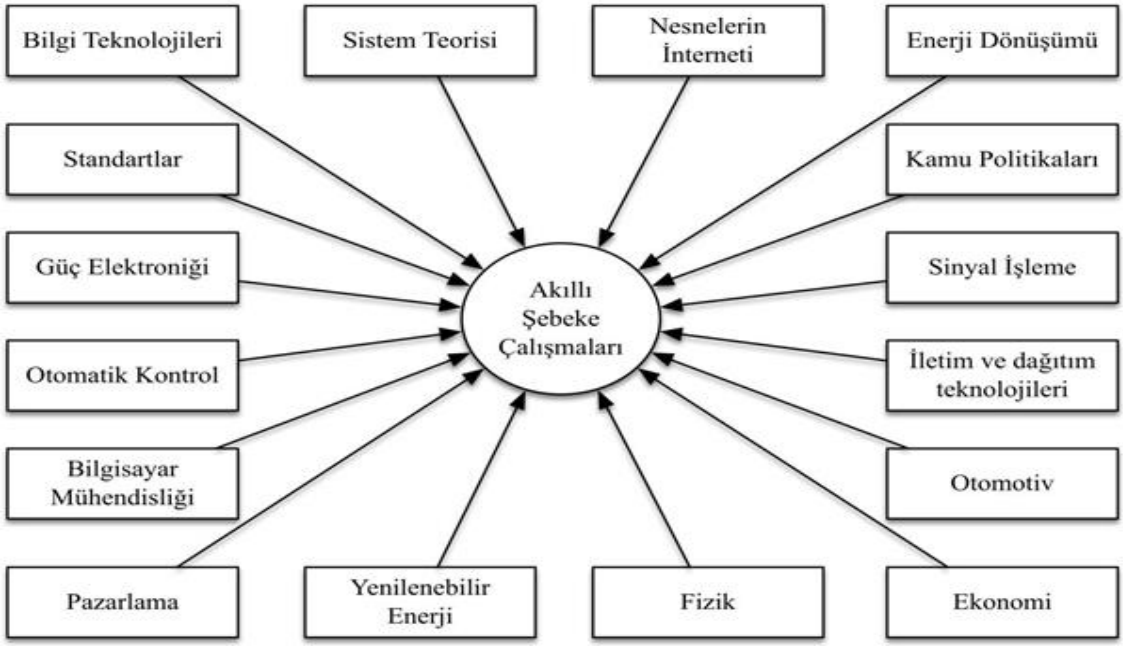
tüm sayaçlardan anlık veri alabildikleri için sayaç okuma ve kayıp-kaçak takibini de yapabilmeye imkân sunmaktadır. Akıllı sayaçlar Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Akıllı sayaçlar (elektrik, doğalgaz ve su).

2.1.1.5 Bütünleştirilmiş haberleşme

Akıllı şebekelerde bütünleştirilmiş haberleşme teknolojileri, farklı disiplindeki mühendislik alanlarının birbirini beslediği sistemlerden oluşturulmaktadır. Bütünleştirilmiş haberleşme teknolojileri farklı bilim alanlarının akıllı pazar çatısı altında bir araya gelmesiyle, entegre bir sistemde veri toplama, kontrol ve koruma mekanizmasıyla mevcut sistemdeki güç şebekesinde üretim, iletim, dağıtım ve tüketim değerlerinin kontrol, analiz ve raporlama işlemlerinde önemli bir rol alır. Akıllı şebeke sistemi kablolu/kablosuz haberleşme altyapısının içinde olduğu farklı bilim alanlarının birlikte çalıştığı bir sistem olup bu sistem çalışması Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Farklı bilim alanlarının akıllı şebeke çalışmalarında buluşmaları [12].

2.1.1.6 İleri kontrol metotları- enerji yönetim platformu

İleri kontrol metotları şebekenin durumunu analiz edip tanımlayan, mantıklı neden sonuç ilişkileri kurabilen, gerçek zamanlı bilgi akışını sağlayan cihazlar ve algoritmalar topluluğunu ifade etmektedir. Bu metotlar, güç kalitesini korumak ve enerji kesintilerini önlemek amacıyla otomatik olarak düzeltici önlemler alır [13]. Bu sistem enerji tüketiminin anlık olarak uzaktan izlenebildiği, raporlandığı ve analizlerin yapıldığı yazılımlardır. Yapay zekâ algoritmalarının kullanıldığı bu yazılımlarda kullanılan büyük veri analitiği sayesinde arıza tahmini, enerji tüketim tahminleri ve şebeke optimizasyona yönelik simülasyonlar yapılarak oluşabilecek arızalara yönelik öngörülebilirlik sağlamaktadır. Akıllı şebekenin sahip olduğu en önemli özelliklerden biri, elektrik enerjisinin üretiminden son tüketici dağıtımına kadar, şebekenin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek bütün olaylara karşı bir stratejisinin olmasıdır [12]. Akıllı şebekelerde kullanılan devre elemanlarındaki sensörler, akıllı sayaçlar, akıllı reaktif güç röleleri gibi cihazlardan alınan anlık veriler sayesinde analizler yapılarak arz ve talebin izlenmesi, sisteme giren ve çıkan yüklerin izlenmesi ileri kontrol metotları kullanılarak enerji yönetimi yapılabilmektedir.

2.1.1.7 Enerji depolama üniteleri

Akıllı şebekelerin dağıtık enerji üretim sistemlerinde bulunan rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları genellikle kesintili ve kararsızdırlar. Bu sebeple elektrik şebeke sistemine değişken güç sağlarlar. Dağıtık enerji üretim sistemine enerji depolama birimleri eklenmesi ile talebin az olduğu zamanlarda fazla üretilen enerjinin depolanarak daha sonra talebin yüksek olduğu zamanlarda sisteme verilmesi ile enerjinin daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Akıllı şebeke sisteminde enerji arz ve talep dengesi, enerji depolama ünitelerinin şarj ve deşarj zamanlaması açısından çok önemlidir. Bu zamanlama sistemin aşırı yüklenmeleri ve enerji kesintilerini önleyerek sistemin daha stabil çalışmasına imkân vermesi akıllı şebekelerin önemli görevlerindendir.

2.1.1.8 Akıllı şebeke sisteminde yenilebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Günümüzde birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması, enerji fiyatları, sürdürülebilirlik ve iklim krizi (karbon dioksit salınımı) konusundaki endişeler enerji üretiminde yenilebilir enerji kaynakların önemi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına baktığımızda güneş, rüzgâr, biyokütle, hidrolik, jeotermal, hidrojen ve okyanus enerjisi (dalga ve gel-git) olarak sıralanabilir. Yenilebilir

enerji kaynaklarının kesintili ve kararsız olması sebebiyle sisteme değişken yük sağlarlar. Bu kaynaklardan üretilen enerjinin arz ve talep dengesi dikkate alınarak şebekeye entegre olmasında akıllı şebekelerin önemli rolü vardır.

2.1.2 Akıllı şebeke sistemlerinin avantajları:

Enerji Verimliliği: Enerjide üretici, dağıtıcı ve tüketiciler arasında enerji kaybını önleyerek daha verimli güç iletimini sağlamayı amaçlar. Enerji tüketimini optimize ederek enerji tasarrufu sağlar. Enerji verimliliği uygulamaları tüketicilerin mevcut konfor şartlarını koruyarak enerji tüketimlerini düşürerek gerekli tasarruf etme yetkisini tüketicilere sunar.

Sürdürülebilirlik: Dünya genelinde, sürdürülebilir enerjiden veya diğer adıyla yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından üretilen enerjinin daha fazla kullanılması, akıllı şebeke sistemlerinin optimize edilebilmesi açısından önemlidir. Akıllı şebeke sistemleri açısından bu kaynakların en büyük avantajı, doğal döngüler içinde sürekli olarak yenilenebilmesi olup ve tükenmeyen enerji türleridir. Bu sistemde tükenebilir enerji kaynakları arasında kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilen enerji miktarı daha az kullanılmakta olup sürdürülebilir enerjiden daha fazla katkı alınabilmesine olanak sağlar.

Güvenilirlik: Sürdürülebilir enerjinin akıllı şebeke sistemine entegrasyonuyla beraber enerji arzının çeşitlendirilmesi güvenilirliğin artırılmasına katkı sağlar. Bu çeşitlendirme enerji arzının kesintisiz ve güvenli bir şekilde sağlanmasına olanak sağlar. Sistemde oluşabilecek arızaları önceden tahmin ederek ve otomatik olarak müdahale ederek şebeke kesintilerini azaltır. Sistem dengesini optimize eder (enerji üretim, tüketim tesisleri ve aboneler arasında). Akıllı şebeke sistemlerinde, kablolu/kablosuz haberleşme altyapısı olduğu için enerji güvenilirliği açısından siber güvenlik büyük önem taşır. Akıllı şebeke sistemleri siber saldırılara karşı dezavantajlı olmasına rağmen klasik hiyerarşik sistemden daha güvenilir ve esnektir.

Ekonomik Faydalar: Enerji kayıplarını ve operasyonel maliyetleri düşürür. Enerji fiyatlarının daha şeffaf ve dinamik bir şekilde oluşmasını sağlar.

2.1.3 Akıllı şebeke ve klasik şebeke arasındaki farklar

Akıllı şebekeler ile klasik (geleneksel) şebekeleri karşılaştırdığımızda, akıllı şebekelerin daha çok tercih edilme sebebi sürdürülebilirlik, verimlik, güvenilirlik ve ekonomik açıdan sağladığı fayda ve kolaylıktır. Klasik şebekelerde üretim ve iletişim tek bir merkezden tek yönlü sağlanmaktadır. Üretim merkezinde oluşabilecek bir arıza durumu

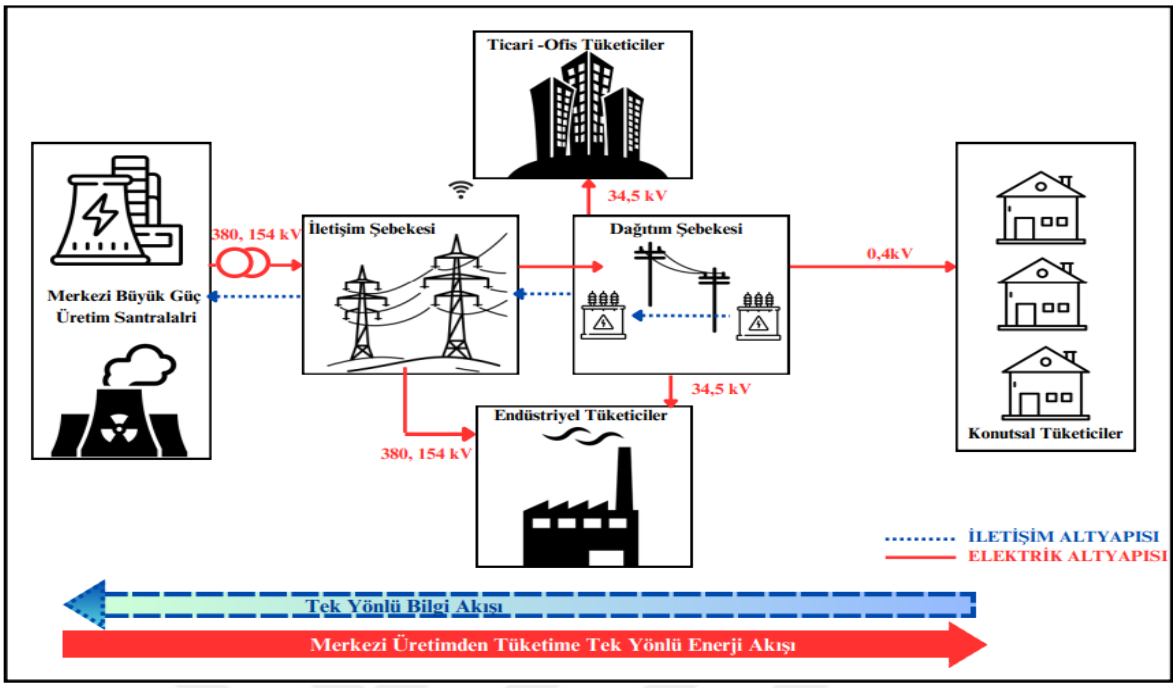
enerji tedarikinde büyük problemlere sebep olabilmektedir. Akıllı şebekelerde ise, dağıtık üretim merkezlerinin olmasından dolayı risk azalmaktadır. Ayrıca akıllı şebekelerde çift yönlü iletişimin varlığı bu riskin azalmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum, şebekenin kontrol edilebilirliğini artırarak yönetimini kolaylaştırmaktadır [3]. Akıllı şebeke sistemi, enerjinin farklı üretim yerlerinden aktif tüketicilere çok daha kontrollü bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu sayede tüketici için de daha kesintisiz ve kaliteli bir enerji imkânı sunar. Klasik ve akıllı şebeke sistemlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Klasik ve akıllı şebeke karşılaştırılması.

	Klasik Şebeke (Geleneksel Şebeke)	**Akıllı Şebeke**
Üretim	Merkezi büyük birkaç üretim güç santralleri (Merkezileştirilmiş)	Dağıtık küçük ölçekli birçok üretim güç santralleri (Merkezi olmayan)
İletim	Büyük ölçekli kalın iletim hatları ve ulusal tedarik	Küçük ölçekli ince iletim hatları ve bölgesel tedarik
Genel Sistem	Manuel elektromekanik sistemler. Üretim tüketim arası bilgi akışı gecikmeli vardır.	Dijital/Mikroişlemci/Otomasyon Üretim tüketim arası anlık sürekli bilgi akışı vardır.
İletişim	Tek yönlü iletişim	Çift yönlü iletişim
İzleme/Kontrol	Sürekli veri akışı olamaması sebebiyle sınırlı izleme/ kontrol edilebilirlik	Otomatik yapay zekâ yardımıyla öngörülebilir izleme ve bütünleşik kontrol edilebilirlik
Arıza	Arızaya manuel gecikmeli müdahale ve onarım	Arızaya merkezi hızlı müdahale ve onarım
Analiz /Rapor	Sınırlı raporlama ve fiyatlandırma bilgileri	Tam raporlama ve fiyatlandırma bilgileri
Güvenlik	Düşük güvenlik-Tahmini güvenlik Fiziksel saldırılara açık	Yüksek güvenlik-Öngörülü güvenirlik Fiziksel ve Siber saldırılara açık

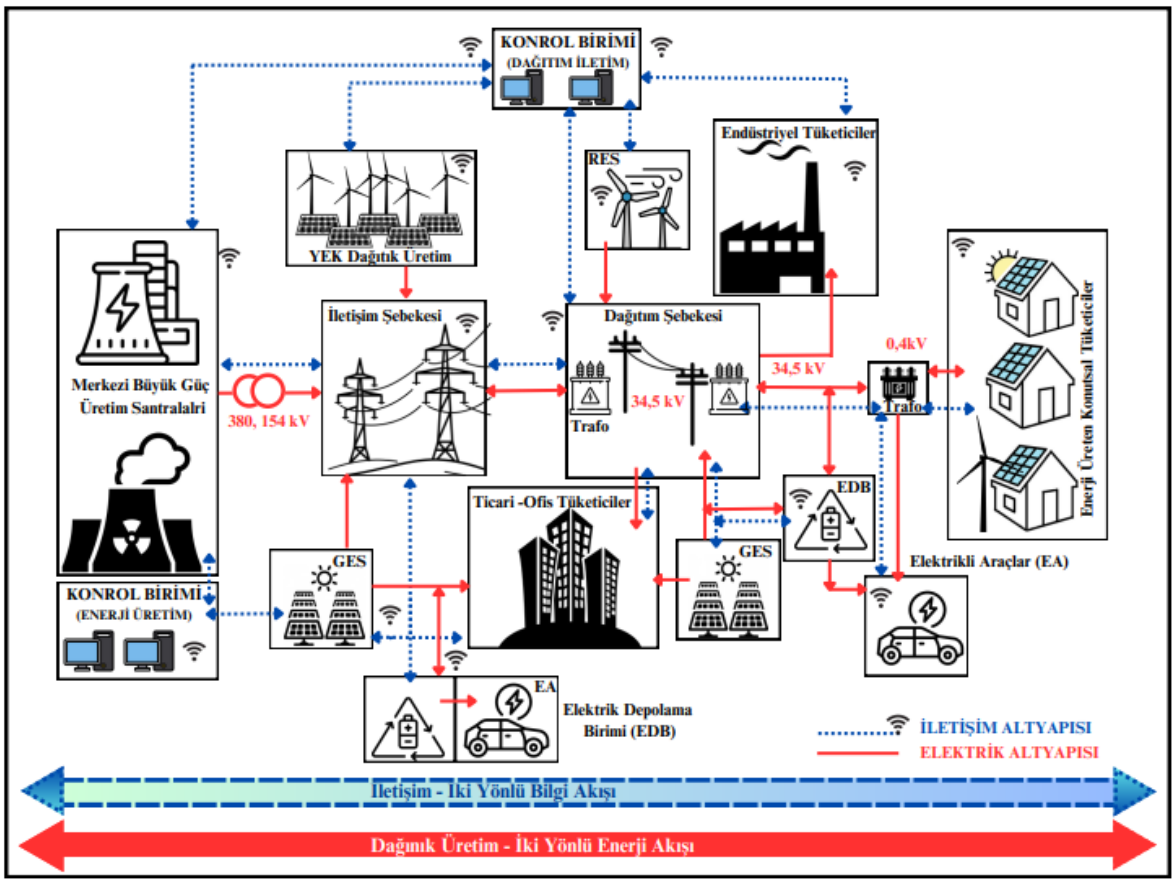
Sonuç olarak baktığımızda; akıllı şebeke teknolojileri ile donatılmış bir enerji altyapısı, gelecekte sürdürülebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin artmasıyla beraber depolama sistemlerinin geliştirilmesi ve elektrikli araç sayısının artmasıyla birlikte enerji ihtiyaçlarının daha güvenilir ve verimli bir şekilde karşılanmasını sağlayacaktır. Akıllı şebeke sistemi yalnızca ekonomik ve çevresel faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda üretimden tüketime kadar enerji arzının kesintisiz ve güvenli bir şekilde ulaşmasını sağlar. Önümüzdeki dönemde akıllı şebekeler, enerji dünyasının geleceğinin şekillenmesinde önemli görevler üstleneceği aşikârdır [14].

Klasik elektrik şebeke sisteminin temel yapısı ve bileşenleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Klasik elektrik şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri.

Akıllı şebeke sisteminin temel yapısı ve bileşenleri ise Şekil 2.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Akıllı şebekesinin temel yapısı ve bileşenleri.

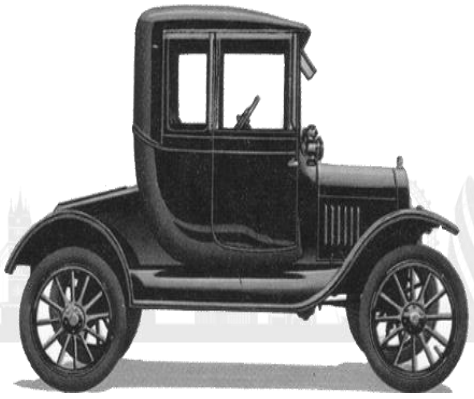
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI

Tezin bu bölümde geçmişten günümüze elektrikli araç teknolojisinin geldiği mevcut durum incelenecek olup elektrikli araç bileşenlerinden elektrik motoru, güç sistemleri, batarya ve elektrik araç şarj istasyonları arasındaki ilişki açıklanmıştır.

3.1 Elektrik Araç Teknolojisinin Tarihçesi

İlk çağlarda insanlar, geliştirdikleri buluşlarla basit araç sistemlerini hareket ettirmek için kendi enerjisi olan kas güçlerini kullanmaktaydı. Daha sonraki süreçte 1. Sanayi Devrimiyle birlikte su ve buhar gücüyle çalışan mekanik sistemler kullanılmaya başlanmış ve insan gücü, yerini çeşitli fosil yakıtlarla çalışan motorlara bırakmaya başlamış olup bu süreç içten yanmalı motorlara kadar devam etmiştir. Günümüzde de popüler olan içten yanmalı motorlar yerini elektrikli motorlara bırakarak elektrikli araç sürecini başlatmıştır.

Elektrikli Araç (EV- Electric Vehicle), elektrik enerjisi ile çalışan araçlara verilen isimdir. Dünya genelinde birçok araç üreticisi, elektrikli araçlar geliştirmekte ve üretmektedir. Günümüz de bu arabaların popüler olmasının sebebi yakıt tasarrufu yanında teknolojik gelişmeler, tüketici talepleri ve çevresel endişeler gösterilebilir. Dünya'da artan çevre sorunları ile fosil yakıt rezervlerinin gelecekte tükenecek olması, iklim değişikliğinin yanında karbon salınımı sorunlarının günümüzde popüler olması elektrikli araçların önemi her geçen gün artırmaktadır. Elektrikli araçların tarihi 15-20 yıllık bir süreç olarak görülse de sanıldığının aksine aslında bu sürecin çok eskiden başladığı 1800'lerin başına dayandığı görülmektedir. Tarihte bilinen ilk elektrikli motor ve araç, 1835 yılında Thomas Davenport tarafından Amerika Vermont'ta icat edildi. İcat edilen bu elektrikli araç, lokomotife benzemekte olup pivot (eksen), batarya ve iki elektromıknatıstan oluşmaktaydı [15]. İcat edilen ilk elektrikli araç Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Thomas Davenport tarafından icat edilen ilk elektrikli araç [15].

İlk elektrikli taksiler, New York sokaklarında 1897 yılında kullanılmaya başlandı. 1900 yılına gelindiğinde elektrikli araçlar büyük bir ilgi görerek altın çağını yaşamaya başladı. O dönemde, Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilen toplam 4.192 otomobilin %28'i elektrikliydi ve bu araçlar, New York, Boston ve Chicago'daki toplam otomobil sayısının yaklaşık üçte birini oluşturuyordu. O dönemde üretilen fosil yakıtlı araçların bakım masraflarının yanında meydana gelen arızalar (titreme, gürültü ve ses) ve tamir problemleri elektrikli araçların daha çok tercih edilmesine sebep olmuştu. Elbette dönemsel olarak dönemin şartları ve özellikle ekonomik ve teknolojik gelişimler sayesinde elektrikli araçlar ile ilgili ilerlemeler her zaman düz bir çizgi üzerinde olmamıştır. 1920'lerde elektrikli araçlar popülerliğini kaybederek artık tercih edilen bir ürün olmaktan çıktı. Bunun ardında yatan nedenlere baktığımızda;

• Amerika'da şehirlerarası yolların fiziksel koşullarının iyileşmesi sonucunda daha uzun menzilli araçlara ihtiyaç duyulması,

• Amerika'nın Teksas eyaletinde ham petrol bulunmasıyla benzin fiyatlarının düşmesi,

• Charles Kettering, 1912 yılında marş motorunu icat etmiş ve bunu geliştirmiştir. Bu marş motoru sayesinde, motora ilk hareketini vermek için krankı el ile döndürmeye gerek kalmaması,

• Henry Ford, 2. Sanayi Devrimi'nin sunduğu elektrik enerjisini 1908 yılında imalat sürecine entegre ederek, seri üretimle daha uygun maliyetle benzinli araba olan Model T'yi üreterek piyasaya sürmesi bu süreçte etkili olmuştur. Ford'un yaptığı bu hamle, Amerikan otomobil pazarını başta aşağı değiştirdi. Aynı yıl elektrikli bir otomobil 1.750 dolar iken benzinli bir otomobil yalnızca 650 dolardı [3]. Benzinli otomobillerdeki bu fiyat avantajı araç sayısındaki artışa yansımıştır. Daha sonraki süreçte benzinli ve dizel otomobillerin sayısının artmasından kaynaklı fosil yakıtların kullanımı nedeniyle çevresel etkenlerden kaynaklı hava kirliliği ve karbon salınımı gibi sıkıntılar sık sık gündeme gelse de ilerleyen süreçte elektrikli araçlar eski popülerliğini tekrar yakalayamamıştı.

Elektrikli araçların tarihsel gelişiminde 1997 yılına gelindiğinde Toyota, dünyanın ilk kez ticari olarak pazarlanan ve seri üretilen hibrit otomobil Prius'u Japonya'da tanıttı. Üretildiği ilk yıl yaklaşık 18.000 adet satıldı. Global satışa sunulduğu ilk yıl ise 50.000 adet satılsa da pazarda umduğunu bulamadı. Daha sonraki süreçte yıl 2006'ya gelindiğinde elektrikli araç konusunda devrim sayılabilecek bir adım olarak, Tesla üretimi karşımıza çıktı. Elektrikli araç üreticisi olan Tesla Motors adını, elektrik alanında çok önemli çalışmalar

yapan ünlü mucit ve aynı zamanda elektrik mühendisi olan Nicola Tesla'dan almaktadır. Tesla diğer elektrikli araçlardan farklı olarak, tek sefer şarj ile 200 km gidebilecek bir araç tasarlandı. 2008 yılında Tesla'nın Roadcaster adıyla piyasaya sürdüğü model ise 240 km menzile sahipti. Daha sonraki süreçte Tesla Model S (2012) ve Model X (2015) elektrikli araçlarını piyasaya sürmüştür. Tesla'nın bu alanda büyüyerek gelişimi diğer otomobil üreticisi firmaları da tetikleyerek pazara çekmiştir. Bu gelişimi sırasıyla Nissan-Renault firmalarının elektrikli araç alanında yaptığı yatırımlar izlemiştir. Firmalar arasındaki bu rekabet ortamı elektrikli araç fiyatlarının düşmesine sebep olmuştur. Elektrikli araç teknolojisindeki yeni yatırımlar ve teknolojik gelişmeler araçların menzilini, gücünü ve performansını artırmakla beraber şarj süresini kısaltmıştır. Yapılan tüm bu çalışmalar elektrikli araçları dünyada tekrar popüler hale getirmiştir [15].

Ülkemizde ise elektrikli araçlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Milli Teknoloji Hamlesi kapsamında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının teşvik ve desteğiyle Türkiye'de yerli otomobil üretebilmek için şirketler ve kuruluşlar birlikte çalışma kararı alırlar. 25 Haziran 2018 yılında Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş. kurulur. Şirketin üretim merkezi Bursa Gemlik'te bulunmaktadır. Bu fabrikada TOGG markasında ilk elektrikli araç 29 Ekim 2022 tarihinde banttan inmiştir. Piyasaya çıktığı ilk günden bu yana yoğun talep gören TOGG marka araçlar 2023 ve 2024 yıllarında yaklaşık olarak toplamda 50.000 adet satışa ulaşmıştır [16]. TOGG T10X modeli Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Türkiye'de en çok satılan elektrikli araç TOGG'un T10X modeli [17] .

TOGG T10X uzun menzil modelinin teknik verilerine bakacak olursak batarya kapasitesi 88,5 kWh olup tam dolu bir batarya ile normal sürüş modunda 523 km menzil sağlamakta olup kullanım koşullarına bağlı olarak bu menzil değişebilmektedir. Bu araç ev tipi AC şarj (11 kW) süresi 8-10 saat olup, DC hızlı şarj (180 kW) süresi ise 30-40 dakikadır (%80 doluluk) [18]. Bu tez çalışmasında, modellemede kullanılacak olan elektrikli araçların şarj süreleri TOGG T10X'in katalog değerleri dikkate alınarak tasarlanmıştır.

3.2 Elektrik Araç Türleri

Günümüzde kullanılan elektrik araç çeşitlerine baktığımızda; Tamamen Bataryalı Elektrikli Araçlar, Hibrit Elektrikli Araçlar ve Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar olmak üzere üç çeşittir.

3.2.1 Tamamen bataryalı elektrikli araçlar

Tamamen Elektrikli Araçlar (BEV- Battery Electric Vehicle), sadece elektrik enerjisi ile çalışan ve dışarıdan bataryası şarj edilebilen elektrikli motora sahip araçlardır. Bu araçlarda elektrik motoruna sağlanan güç yakıtın yanmasıyla değil şarj edilebilen bataryalardan (lityum-ion pil sistemi) sağlanmaktadır. Bu araçlar, içten yanmalı motor veya yakıt hücresi gibi alternatif güç kaynaklarına sahip olmaması sebebiyle çok sessiz çalışmaktadırlar. Tamamen elektrikli araçların en büyük avantajı karbon salınımı (CO_2) açısından, sıfır egzoz emisyonu üretmeleridir. BEV batarya teknolojisindeki gelişmeler sayesinde elektrikli araçların daha uzun menzillere ulaşması ve şarj süreleri kısalması günümüzde tercih edilme sebebidir.

3.2.2 Hibrit elektrikli araçlar

Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV – Hybrid Electric Vehicle) geleneksel içten yanmalı motor ve elektrikli motorun kombinasyonuyla çalışır. Fakat yine de sadece fosil yakıt tüketen içten yanmalı motora sahip araçlara göre daha tasarruflu ve çevrecidir. Hibrit elektrikli araçların hareketi, şehir içi kısa mesafelerde sadece elektrik motoruyla sağlanırken, şehirlerarası uzun mesafelerde akaryakıtla çalışan motora düşük elektrik motoru desteği sunarak aracın hızlanmasına katkı sağlar. Bu araçların batarya kapasiteleri küçük olması sebebiyle elektrik enerjisini genellikle daha düşük hızlarda ve kısa mesafelerde hareket ederken kullanırlar. Hibrit elektrikli araçlar, PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle- Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araçlar) ve MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle – Hafif Hibrit Elektrikli Araçlar) olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. PHEV bataryaları BEV gibi prize takılarak şarj edilebilir. MHEV bataryaları ise araç hareket halindeyken ya da frene basıldığında şarj edilir.

Hibrit elektrikli araçlar, elektrikli araç teknolojisine geçiş yapmak isteyen ancak şarj olma süresi ve şarj noktalarına ulaşım gibi endişeleri olan kullanıcılar tarafından kısmen tercih edilmektedir.

3.2.3 Yakıt pilli elektrikli araçlar

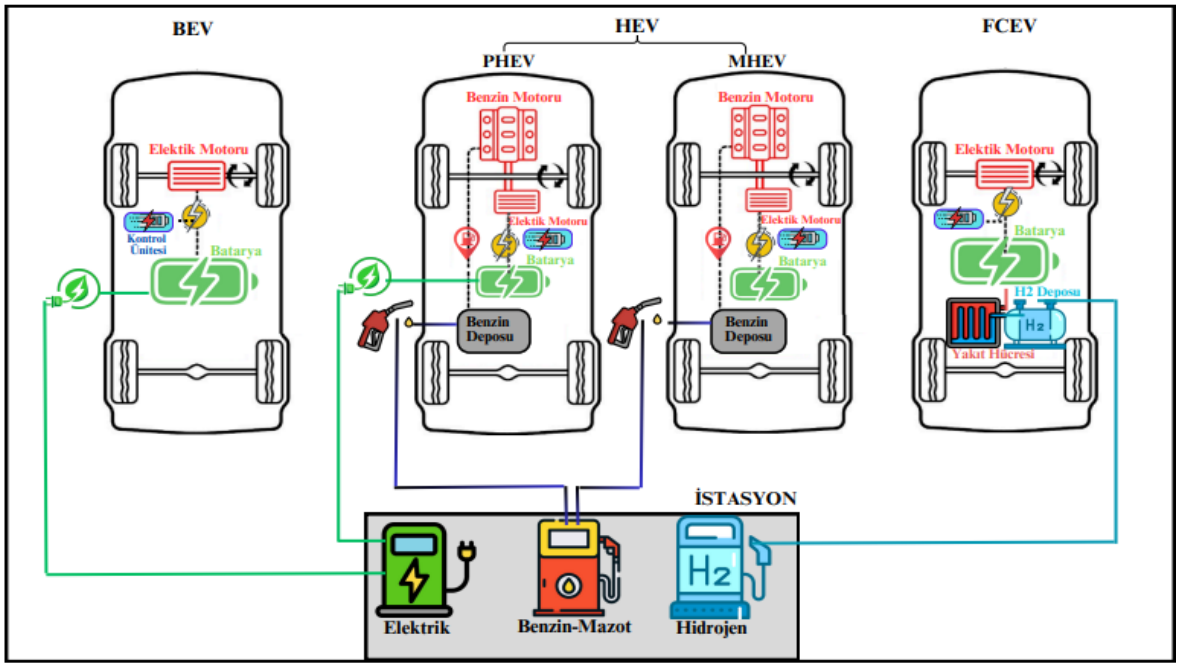
Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle), elektrik üretmek için hidrojen yakıt hücresi teknolojisini kullanır. Çevreci olan bu sistemde sıkıştırılmış

hidrojenin oksijenle temasıyla elektrik üretir. Yakıt hücresinde üretilen bu elektrik enerjisi bataryayı şarj eder. Enerjinin kaynağı hidrojen olsa da otomobil kendi ürettiği elektrikle çalıştığı için bu otomobiller da elektrikli araç sınıfında yer alır. Yakıt Pilli Elektrikli Araçları incelediğimizde araç yakıt dolum süresinin kısa olması avantaj olarak değerlendirilebilir. Ancak hidrojen üretimi, taşınması ve depolanmasıyla ilgili zorluklar ve sınırlı sayıda yakıt dolum istasyonu, bu teknolojinin kullanıcılar açısından çok tercih edilememe sebebidir.

Elektrikli araç türleri arasındaki farklar Çizelge 3.1'de karşılaştırılmış olup Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Elektrikli araç türleri karşılaştırılması.

	BEV	**HEV (PHEV ve MHEV)**	**FCEV**
Motor Tipi	Elektrik Motoru	Akaryakıt Motoru + Elektrik Motoru	Elektrik Motoru
Şarj Edilebilirlik	Elektrik şarj ihtiyacı olup batarya şarja takılmalıdır.	PHEV: Batarya şarja takılmalıdır. MHEV: Batarya, araç hareket halinde ya da frene basıldığında şarj edilir.	Batarya şarjı için gereken elektriği yakıt hücresi yoluyla aracın kendisi üretir.
Altyapı Gereksinimi	Yüksek: Şarj İstasyon ihtiyacı var. - DC Hızlı Şarj - Ev Tipi AC Şarj	PHEV: Orta (Şarj İstasyonları +Yakıt) MHEV: Düşük. Şarj gerekli değildir.	Yüksek: Hidrojen İstasyonlarına alternatif yakıta ihtiyaç vardır.
Erişilebilirlik / Ana Sorunlar	Pazarda Mevcut / Batarya ve Şarj Teknolojisi	Pazarda Mevcut / Batarya Teknolojisi ve Enerji Yönetimi	Pazarda Sınırlı / Batarya, Yakıt Pili ve H_2 Teknolojisi



Şekil 3.3 : Elektrikli araç türleri (BEV, HEV ve FCEV).

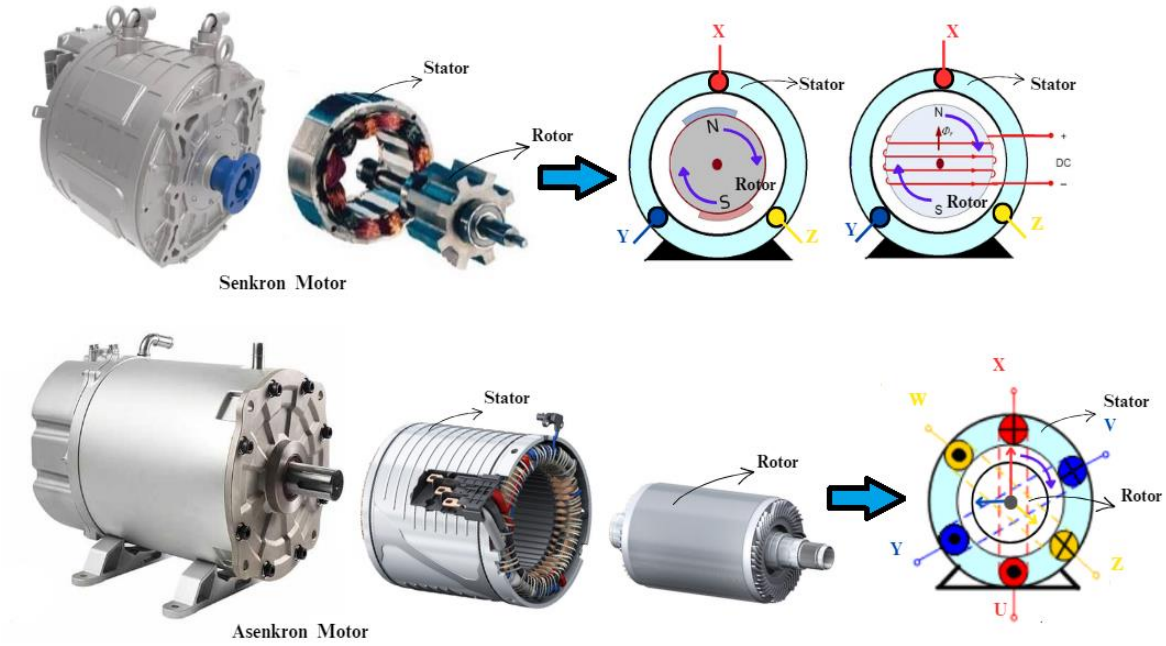
Bu tez çalışmasında elektrikli araç türlerinden günümüzde en yaygın kullanımda olan BEV'in (Tamamen Bataryalı Elektrikli Araç) bileşenlerini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

3.3 Tamamen Bataryalı Elektrikli Araçların Bileşenleri

Tamamen Elektrikli Araçların (BEV) çalışma mantığına baktığımızda, bataryadan gelen doğru akım elektrik enerjisini kontrol ünitesi vasıtasıyla alternatif akıma dönüştüren ve sistemde dönüşen bu alternatif akımı iletkenler yardımıyla elektrik motoruna ileterek motor üzerinde oluşan manyetik alanın etkisiyle hareketi sağlayan araçlardır. Elektrikli araçlar elektrik motoru, kontrol ünitesi ve enerji depolama sistemi (batarya) olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır.

3.3.1 Elektrik motoru:

Elektrik motoru, elektrik enerjisini manyetik alan etkisiyle mekanik enerjiye dönüştüren cihazlardır. Elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları araçtan araca farklılık gösterebilir. Elektrikli araçlarda kullanılan bu motorlar maliyet, verimlilik, güç, performans, tasarım, güvenirlilik konusunda farklılık gösterebilir. Günümüzde elektrikli araçlarda ağırlıklı olarak kullanılan Alternatif Akım (AC) Elektrik Motorları olan Asenkron Motorlar (ASM- Induction Motor) ve Senkron Motorlar- Sabit Mıknatıslı SM (SMSM, PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor) olarak sayılabilir. Bu tip motorların yapısına baktığımızda her ikiside stator ve rotor olmak üzere iki temel bileşenden oluşur. Stator, bir elektrik motorunun sabit (hareketsiz) parçasıdır. Stator rotorun etrafında sabit olarak yerleştirildiğinden manyetik alanın hareketsiz kısmını oluşturur. Statorda bulunan bobin üzerindeki tellere batarya üzerinden elektrik akımı verildiğinde manyetik alan oluşur. Asenkron elektrik motorlarında elektromanyetik indüksiyon prensibine göre ve senkron elektrik motorlarında ise manyetik kilitlenme (itme-çekme) prensibine göre oluşan bu manyetik alan rotorun manyetik alanı ile etkileşime girer ve etkileşimden kaynaklanan kuvveti kullanarak rotor dönmeye başlar. Senkron motorun rotoru, sabit bir mıknatıs veya elektromıknatıs (DC Besleme) olduğundan doğal olarak manyetik kutupları vardır(N/S). Asenkron motorun rotoru ise manyetik kutupları olmayan bir kısa devre sargısıdır. Senkron ve asenkron elektrik motorunda bulunan her iki rotor çeşidi de manyetik alanın dönen bölümüdür ve motorun hareketli parçasıdır. Rotor döndükçe kendisine bağlı mil üzerinden çark ve dişlileri de hareket ettirerek aracın sürüş için ihtiyaç duyduğu dönme momentini (tork) oluşturarak mekanik enerji elde edilir. Elektrikli araçlarda kullanılan senkron ve asenkron motorların genel görünümü ve iç yapıları Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Elektrikli araçlarda kullanılan motorların genel görünümü ve iç yapıları.

3.3.2 Enerji depolama sistemi (batarya)

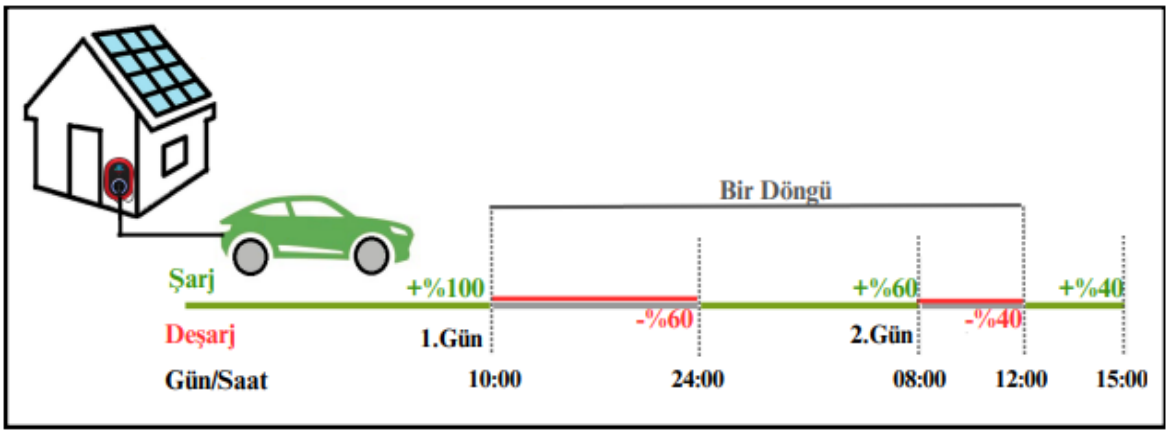
Batarya sistemleri, elektrikli araçların temel bileşenlerindendir. Elektrikli araçlarda elektrik enerjisinin depolandığı ve yeniden sisteme dağıtıldığı birim burasıdır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar araçtan araca farklılık gösterebilir. Bu bataryalar maliyet, verimlilik, güç, menzil, tasarım, güvenlik, ısınma, uzun çevrim ömrü (şarj-deşarj sayısı) ve AC-DC şarj etme süreleri gibi konularda farklılık gösterebilir. Batarya kapasitesi kilowatt saat (kWh) cinsinden ifade edilir. Bu değer elektrik motorunun anlık gücü veya kilowatt (kW) cinsinden ifade edilen şarj ile karıştırılmamalıdır. Bu ayrımı, içten yanmalı motorlarda yakıt deposunun litre cinsinden kapasitesi ile motor gücünün beygir gücü (bg) cinsinden ifade edilmesi arasındaki ilişkiye benzetilebilir.

Çizelge 3.2 : Elektrikli araçlarda kullanılan pil teknolojileri ve özellikleri [19].

Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji Yoğunlğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (#)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15,+5
NiCd	1.2	50-80 0	2000	Var	-20,+50
NiMH	1.2	70-95	<3000	Nadir	-20,+60
Zebra	2.6	90-120	>1200	Yok	+245
Li-ion	**3.6**	**118-250**	**2000**	**Yok**	**-20,+60**
LiPo	3.7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
LiFePO4	3.2	120	>2000	Yok	-45,+70

Zn-air	1.65	460	200	Yok	-10,+55
Li-S	2.5	350-650	300	Yok	-60,+60
Li-air	2.9	1300-2000	100	Yok	-10,+70

Elektrikli araçlarda kullanılan pil çeşitleri ve özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Çizelgede görüleceği üzere Lityum-iyon bataryalar günümüzde elektrikli araçlar için enerji yoğunluğu ve çevrim ömrü açısından açık ara en iyi seçeneklerden biri olarak görülmektedir. Li-ion pillerin ömrü şarj döngü sayısı ile tanımlandığı için başlangıçtaki kapasitelerinin koruyacak şekilde tasarlanmıştır.



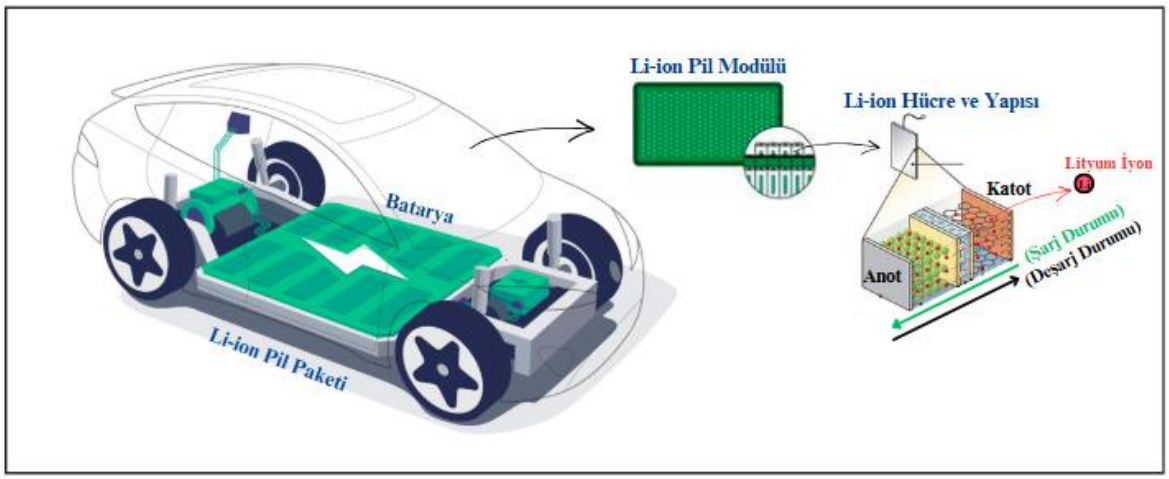
Şekil 3.5 : Örnek li-ion pil döngüsü.

Şekil 3.5'de örnek li-ion pil döngüsü incelendiğinde, bataryası tam dolu bir elektrikli aracın gün içinde saat 10:00'dan gece 24:00'a kadar %60'ı kullanılıp gece yeniden tam şarj edilmesi ve ertesi gün %40'ının tüketilmesi durumunda, toplamda bataryanın %100'ü ertesi gün saat 12:00'de bitmiş olur. Bu süreç, iki günde tamamlanmış olup tek bir şarj döngüsü olarak kabul edilir. Bir şarj döngüsü, pil kapasitesinin tamamının (%100) kullanılmasıyla tamamlanır ve bu süreç birkaç gün sürebilir.

Elektrikli araçlarda Li-ion pillerdeki şarj döngüsünden dolayı DC şarjda bataryayı %80 şarja 30dk. gibi kısa bir sürede gerçekleştirirken geriye kalan %20'lik kısmı araçta bulunan kontrol ünitesi elektrik akımını kontrol edip düşürerek yavaş şarj ile döngüyü geciktirerek aracın şarjını tamamlatır. Li-ion pillerde mini şarj döngüsü istenmeyen bir durum olup (%100→%99→%100) bundan kaçınmak gerekir. Bu durum Li-ion pillerde her seferde şarj döngüsünün tamamlanmasına sebep olarak batarya kapasitesinde çok az bir miktarda düşüş sağlar buda bataryanın ömrünü kısaltır.

Elektrikli araçlarda Li-ion piller şu an en yaygın kullanılan batarya türüdür. Elektrikli araçların gereksinimlerine göre seri ve paralel bağlanarak istenilen voltaj ve kapasitede birçok farklı boyutta ve kapasitede batarya üretilebilir. Lityumun en hafif metal olması tercih sebepleri arasında avantaj olarak görülmekte olup dezavantaj olarak bu bataryalar güvenlik konusunda patlama ve yangın riski yüksek bataryalardır.

Lityum-iyon (Li-ion) batarya kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir bileşendir. Bataryada oluşan bu kimyasal reaksiyon, pozitif (katot) ve negatif (anot) olmak üzere iki elektrot arasında gerçekleşir. Batarya şarj edildiğinde, lityum iyonları katotta depolandıkları enerjiyle anoda doğru hareket eder. Araç hareket halinde sürüş modunda batarya deşarj durumu gerçekleşir. Bataryanın deşarj durumunda enerji yüklü lityum iyonları katoda geri dönerek elektrikli aracın motoruna enerji sağlar. Elektrikli aracın batarya sistemi devrelerinde anot ve katot arasında sürekli enerji akışı salınır[20].



Şekil 3.6 : Elektrikli araç batarya sistemi (pil paket, modül ve hücre yapısı).

Elektrikli araç bataryalarında Li-ion hücreler birleşerek pil modülünü oluştururken, pil modülleri de birleşerek pil paketini oluşturur. Elektrikli araç batarya sistemi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

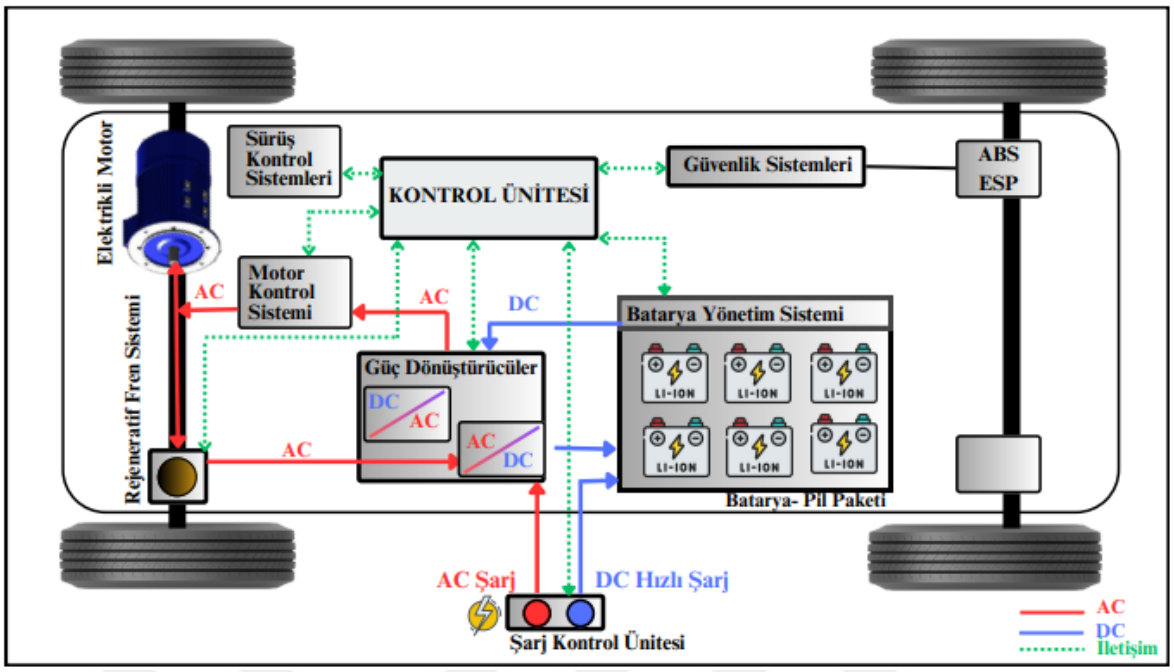
3.3.3 Kontrol ünitesi

Elektrikli araçlarda kontrol ünite sistemi, aracın belki de en kompleks parçası beyni olarak kabul edilebilir. Kontrol ünitesi, araçta bulunan sistem bileşenlerini izleyen, yöneten ve koordine eden karmaşık sistemlerdir. Kontrol ünitesini oluşturan sistemin bileşenlerine baktığımızda; Batarya Yönetim Sistemi, Motor Kontrol Ünitesi, Şarj Kontrol Ünitesi, Rejeneratif Fren Sistemi, Güç Dönüştürücüleri, Sürüş Kontrol Sistemleri ve Güvenlik Sistemleri gibi önemli bileşenlerden oluşmaktadır. Kontrol ünitesinin amacı, araçta bulunan

tüm bu bileşenlerin uyum içinde doğru bir şekilde çalışmasını koordine ederek aracın verimlilik açısından optimum performans göstermesini sağlamaktır. Elektrikli araba teknolojisi sürekli gelişmekte olup önümüzdeki dönemde yapay zekanın da etkisiyle otonom sürüş tekniklerinin daha yaygınlaşmasıyla bu sistemler daha karmaşık hale gelecektir. Fakat bu alanda yapılan çalışmalar sürdürülebilir ve yenilikçi bir ulaşım için önümüzdeki dönemde sürücülere daha fazla sürüş deneyimi, konfor ve güvenlik sağlayacaktır. EV kontrol ünitesi birimleri Çizelge 3.3'de açıklanmıştır.

Çizelge 3.3 : Elektrikli araç kontrol ünitesi bileşenleri ve açıklaması [21] .

Kontrol Ünitesi Bileşenleri	**Açıklama**
Batarya Yönetim Sistemi (BMS – Battery Management System)	Elektrikli araçlardaki en önemli bileşenlerinden biri olan Batarya Yönetim Sistemi (BMS), bataryanın performansını ve sağlığını sürekli izler. Bu bileşen Sıcaklık, voltaj, akım ve diğer önemli parametreleri takip ederek bataryanın güvenli ve verimli çalışmasını sağlar. Bataryanın li-ion pil döngüsünde hücreler arasındaki dengeyi sağlayarak aşırı şarj ve deşarj durumlarını önleyerek batarya ömrünü uzatır.
Motor Kontrol Ünitesi (MCU – Motor Control Unit)	MCU Elektrikli araçlarda motor kontrolünü sağlar. Bu sistem motorun hızını, torkunu ve genel performansını yönetir. Sürüş modlarına göre güç dağıtımını optimize ederek verimli bir sürüş deneyimi sunar.
Şarj Kontrol Ünitesi (CCU)	Elektrikli araçlarda CCU, bataryanın doğru şekilde şarj olması için harici şarj cihazlarıyla iletişim kurarak şarj akımı ve voltajını kontrolünü sağlayarak süreci optimize eder. Bu bileşen şarj sürecinin verimliliğini ve güvenliğini artırır.
Rejeneratif Fren Sistemi	Elektrikli araçlarda frenleme sırasında açığa çıkan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bataryayı şarj eder. Bu enerji geri kazanımı sayesinde araca ekstra menzil eklenerek sistem verimliliğini artırır.
Güç Dönüştürücüleri	Elektrikli araçlarda güç dönüştürücü (power converter), alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) arasındaki dönüşümü sağlayan sistemdir. Motor, batarya, şarj ünitesi ve diğer elektrikli bileşenler arasında enerji transferini ve dönüşümünü sağlar (AC-DC / DC-AC).
Sürüş Kontrol Sistemleri	Araç kontrol sistemleri, aracın sürüş anında şerit takibi ve kör nokta algılama gibi özellikler sayesinde güvenli sürüş sağlamak için gaz ve fren kontrolünü yönetir. Sürüş modlarını ayarlayarak performansı optimize eder. Otonom araç teknolojilerindeki yapay zekâ temelli gelişmeler bu sistemleri etkilemektedir.
Güvenlik Sistemleri	Güvenlik sistemleri, araç üreticileri tarafından yolcu güvenliğini en üst düzeyde tutmak için geliştirilmiştir. Bu bileşenler; ABS fren sistemi, hava yastıkları ve ESP gibi savurma önleyici sistemleri kapsar. Bu sayede araba olası kazalardan en az hasarla veya hasarsız kurtulabilir.



Şekil 3.7: Elektrikli araç kontrol ünitesi birimleri şeması.

Elektrikli araç kontrol ünitesi bileşenlerinin iletişim altyapısı modellemesi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

3.4 Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri

Elektrikli araçlar için günümüz teknolojisinde üç farklı şarj etme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler batarya değiştirme, kablosuz ve kablolu şarjdır.

3.4.1 Batarya değişimi

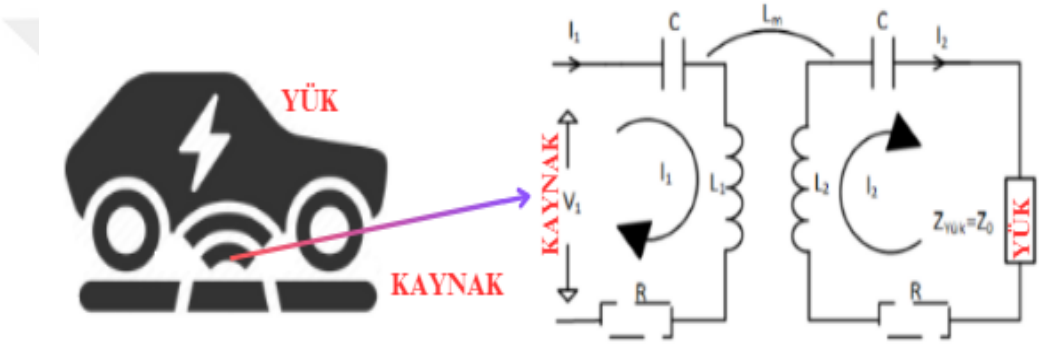
Batarya değişim (quick drop) işlemi, elektrikli araç şarj yöntemleri arasında yer almakta olup genellikle abonelik sistemiyle belirli değişim noktalarında uygulanan bir yöntemdir. Şarj süresinden doğan bekleme süresini ortadan kaldırarak EV kullanıcılarına hızlı ve pratik bir çözüm sunar. Bu hizmet kapsamında, aracın boşalan bataryası dolu bir batarya ile dakikalar içinde değiştirilerek istasyonlarda veya servis noktalarında hazır hale getirilmektedir. Bu servislerde boş batarya teslim edilip dolu batarya alınarak kiralama yöntemi kullanılmaktadır [22]. Elektrikli araçlarda batarya değişimi şarj yöntemiyle ilgili arge ve endüstriyel çalışmalar devam etmektedir.

3.4.2 Kablosuz şarj

Günümüzde birçok elektronik cihaz kablosuz şarj (wireless charging) teknolojisini desteklemektedir. Örneğin; akıllı telefonlar, akıllı saatler, tabletler vb. birçok elektronik cihaz artık herhangi bir kablo bağlantısı olmadan şarj edilebilir. Bu cihazlar, 'dock' adı verilen özel şarj yüzeylerine yerleştirilerek, kablolu bir bağlantı varmış gibi enerji aktarımı

sağlanır. Bu şarj yüzeyinin enerjisi, doğrudan prize bağlanarak ya da dahili batarya sistemi aracılığıyla güç sağlanabilir.

Elektrikli araçların kablosuz olarak şarj edilebilmesi için kullanılan farklı güç aktarım yöntemleri mevcuttur. Günümüzde en yaygın kablosuz güç aktarım yöntemi endüktif güç aktarımı olup, bu sistemde şarj edilecek cihaz olan yük (alıcı-receiver) ile şarj eden yüzey yani kaynak arasındaki (verici-transmitter) enerji aktarımı manyetik akı dağılım prensibiyle elektromanyetik dalgalarla yapılmaktadır. Bu yöntemde Manyetik Rezonanslı Kuplaj (MRK) devresi kullanılmaktadır. Bu sistem deverici bobini şarj aleti tarafında, alıcı bobini elektrikli araç üzerinde olan bir yapı kullanılarak, manyetik kuplaj yoluyla enerjinin transferi sağlanır.



Şekil 3.8: EV kablosuz şarj - mrk eşdeğer devresi [23]

Elektrikli araçlarda kablosuz şarj endüktif güç aktarımı yöntemi Şekil 3.8'de MRK'nın endüktif güç aktarım eşdeğer devresi gösterilmiştir. Bu yöntem geniş güç aralıklarına araçlarımızı park ettiğimiz alanlara ya da otopark gibi toplu alanların zeminine entegre edilerek kolayca uygulanabilir. Bu şarj işlemi iki yönlü olduğu için araçların altına da şarj alabilen sistemin olması gerekmektedir [23] . Elektrikli araçların kablosuz şarj yönteminde bir başka temassız endüktif güç aktarımı şarj edilebilir zeminlerin olduğu otoyollar olup bu alanda arge çalışmaları devam etmektedir. Bu tip otoyollar yavaş yavaş hayatımıza girmeye başlamış olup artık seyir halindeyken elektrikli araçların şarj edilebilmesinin önünü açan en büyük yeniliklerden biri olarak görülüyor. Yakın gelecekte, şarj edilebilir zeminlere sahip otoyolların yaygınlaşmasıyla, araçlarımızı durdurmadan şarj ederek kesintisiz ve sınırsız menzil sunan bir sürüş deneyimi yaşayabileceğiz.

3.4.3 Kablolu şarj

Günümüzde en yaygın kullanılan elektrikli araç şarj yöntemi kablolu şarjdır. Elektrikli araçlarda kablolu şarj dolum işlemleri Alternatif Akım (AC) ve Doğru Akım (DC) olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Elektrikli araçlarda kablolu şarj yöntemleri ülkeden ülkeye farklılık göstermekte olup gücün dönüştüğü yere göre farklı mod ve seviyelerde uygulanmaktadır.

3.4.3.1 Elektrikli araç kablolu şarj yöntemleri ve standartları

Günümüzde kablolu şarj yöntemleri ülke ve bölgeye göre farklılık gösterse de araçların şarj edildiği gerilim tipine göre en yaygın kullanılan standartlar SAEJ 1772, JEVS G105-1993 **(**CHAdeMO**)** ve IEC 61851'dir.

SAE J1772 Standardı: Elektrikli Araçlar için elektrik bağlantısını tanımlayan şarj kablo ve bağlantı parçalarının ekipmanlarına yönelik Amerika'da kullanılan standarttır. AC ve DC olmak üzere Seviye 1 ve Seviye 2 farklı gerilimlerin uygulandığı şarj yöntemleri tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.4 : SAE J1772 Standardı [24].

Şarj Yöntemi		**Faz Sayısı**	**Anma Gerilimi(V)**	**Maksimum Akım(A)**	**Maksimum Güç(kW)**
AC	Seviye 1	1	120	12	1,44
				16	1,92
	Seviye 2	1	208-240	24 - 80	5,0 - 19,2
	Seviye 3	3	208–600	63-160	22.7–166
DC	Seviye 1	-	50-1000	80	80
	Seviye 2	-	50-1000	400	400

JEVS G105-1993 Standardı (CHAdeMO**):** Bu standart Toyota, Mitsubishi ve Nissan'ın oluşturduğu birlikteliği ifade etmekte olup Japonya'da kullanılmaktadır. CHAdeMO olarak da bilinir ve 100 kW'a kadar güç sağlayan özel bir adaptör kullanılarak Elektrikli Araçları hızlı bir şekilde şarj etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir.

Çizelge 3.5 : CHAdeMO Standardı [2].

Şarj Yöntemi	**Anma Gerilimi (VDC)**	**Maksimum Akım(A)**	**Maksimum Güç (kW)**
CHAdeMO	500	125	62,5

IEC 61851 Standardı: Avrupa'da ve ülkemizde elektrikli araçları şarj etmek için kullanılan şarj kablo ve bağlantı parçalarının ekipmanlarına yönelik testleri tanımlayan bir dizi uluslararası standarttır. Bu standart, AC ve DC konnektöre göre tanımlanmakta olup şarj süreçlerini düzenlemek amacıyla Mod 1, Mod 2, Mod 3 ve Mod 4 olmak üzere dört ana şarj modunu belirlemektedir [2].

Çizelge 3.6 : IEC 61851 Standardı [25]**.**

Şarj Yöntemi		**Faz Sayısı**	**Anma Gerilimi(V)**	**Maksimum Akım (A)**
AC	Mod1 (Ev Tipi Şarj)	1	≤ 250	≤ 16 A
		3	≤ 480	
	Mod2 (Standart Şarj)	1	≤ 250	≤ 32 A (Yavaş)
		3	≤ 480	
	Mod3 (Normal Şarj)	1	≤ 250	≤ 32 A (Yavaş ve Hızlı)
		3	≤ 480	
DC	Mod4 (Hızlı Şarj)	-	400	≤ 200 A (Hızlı DC)

3.4.3.2 Elektrikli araç şarj konnektör çeşitleri:

Elektrikli araçları şarj etmek için farklı bağlantı kablo ve konnektör (soket) tipleri kullanılmaktadır. Elektrikli araçların asıl sorunları menzil ve şarj istasyon ağı olsa da önümüzdeki dönemde bu araçların yaygınlaşmasıyla şarj istasyonunun uygun konnektöre sahip olup olmaması, elektrikli aracınızı şarj etmek istediğinizde en temel unsur olarak karşınıza çıkacaktır. Elektrik araç şarj istasyonları üreticileri bu uyumsuzlukları önlemek ve sürdürülebilirlik açısından ortak şarj bağlantı noktaları oluşturmak için çalışmaktadırlar. Bu kapsamda dünya geneli ortak standart oluşturulmaya çalışılsa da ne yazık ki istenilen seviyeye ulaşılamamıştır. Günümüzde ülkeler farklı standartlar uygulamakta olup bu standartlara göre şarj bağlantı ve konektör modelleri kullanmaktadırlar. Elektrikli arabalarda kullanılan şarj soket çeşitleri ülkeden ülkeye farklılık gösterse de en yaygın kullanılan soket çeşitlerine baktığımızda;

Type 1- J1772 Şarj Soketi: Type-1 şarj soketi AC şarjı desteklemektedir. Bu soket modeli yavaş şarj olarak tanımlanan güvenlik ekipmanı barındırmayan modeldir. Bu soket sadece elektrikli otomobiller için değil, aynı zamanda elektrikli bisikletler ve hatta bazı hafif elektrikli araçlar için de kullanılmakta olup elektrikli araçlarda yaygın olarak bulunması kullanıcılarına ortak çözüm olarak kolaylık sağlamaktadır.

Type 2- Mennekes Şarj Soketi: Type-2 şarj soketi AC şarjda Mod2 ve Mod3 desteklemektedir. Bu soket tipinde iletişim altyapısı olup araçların güvenilir bir şekilde şarj edilmesini sağlar. Türkiye'de ve Avrupa'da AC şarjda yaygın olarak kullanılan modeldir.

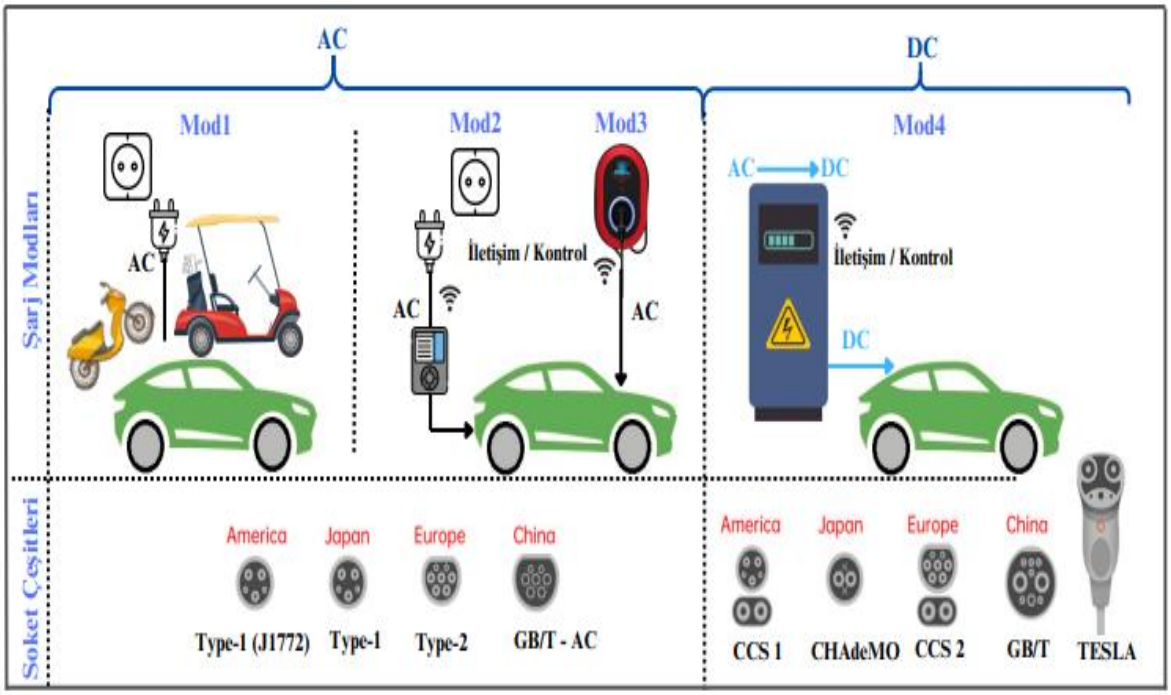
CHAdeMO Şarj Soketi: CHAdeMO şarj soketi, Japonya menşeli bir hızlı şarj soketidir. DC şarjda elektrikli araçların hızlı ve güvenilir bir şekilde yüksek güçte şarj edilmesini sağlayan özel bir teknoloji içeriyor. Bu şarj soketini kullanan araç üreticileri tarafından alternatif akım şarj soketinin yanında ikinci bir soket olarak monte edilebilmektedir. CHAdeMo şarj soketleri Türkiye'de kullanılmaya başlamıştır.

CCS 1 Şarj Soketi: CCS -Combıned Chargıng System (Kombine Şarj Sistemi)- CCS 1 (Combo 1) şarj soketi hem alternatif akım (AC) hem de doğru akım (DC) şarjı destekliyor. CCS1 DC'de hızlı şarj sunabilen ilk soket olarak biliniyor.

CCS 2 Şarj Soketi: CCS 2 (Combo 2) şarj soketi hem hızlı AC şarjı hem de yüksek hızlı DC şarjı destekleyen çok yönlü bir çözüm olarak CC1'in de ötesine geçiyor. Türkiye'de ve Avrupa'da DC hızlı şarjda yaygın olarak kullanılan modeldir.

Tesla Şarj Soketi: DC şarjda elektrikli araçların hızlı ve güvenilir bir şekilde yüksek güçte şarj edilmesini sağlayan kendi geliştirdiği Supercharger ağına sahip birbiri ile uyumlu kendine has bir soket türüdür. Markasal olarak supercharger ağ teknolojisi ile Tesla sadece kendine özgü bir tür kullanarak şarj süresini kısaltmak ve yolculuklara konfor katmak için tasarlanmıştır.

GB/T Şarj Soketi: GB/T şarj soketi Çin'de geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir elektrikli araç şarj soketidir. Bu soket, hızlı ve verimli şarj sağlayan bir tasarıma sahip olup farklı güç seviyeleri ve şarj modlarına da uyum sağlayabilmektedir [26].



Şekil 3.9 : Elektrikli araç şarj modları ve konnektör çeşitleri.

Elektrikli araç şarj modları ve konnektör çeşitleri Şekil 3.9'de gösterilmiştir. Avrupa'da ve Türkiye'de kullanılan elektrikli araçlarda genellikle yavaş şarj için AC-Type-2, hızlı şarj için DC-CCS2 konnektörleri kullanılmakta olup bu araçlarda tek noktada iki şarj giriş yeri bulunmaktadır. Her ne kadar Türkiye'de CCS2 ve Type-2 konnektörleri yaygın olarak kullanılsa da CHAdeMO, Tesla ve GB/T soketleri de kısmen kullanılmaktadır. Biz bu tez çalışmamızda Türkiye'de de yaygın olarak kullanılan kablolu şarjda Mod4 DC-CCS konnektörlü hızlı şarj istasyonları modellemesi üzerine yoğunlaşacağız. Type-CCS şarj soket ve pin yapısı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : TYPE-CCS şarj soket yapısı.

Elektrikli araç üretiminin öncüsü olan Tesla firması kendi ürettiği elektrikli araçlar için farklı soket yapısı ve şarj istasyonu kullanmaktadır. Firma kendi araçları için tasarlamış olduğu Supercharger olarak isimlendirilen şarj istasyonları ile şarj işlemini daha uygun fiyata DC şeklinde yapmakta ve şarj sürelerini oldukça düşürmektedir. Bu şarj istasyonları ile elektrikli araçlar 15 dakika gibi kısa bir sürede batarya paketlerinin yüzde 80 oranında şarj edebilmektedir. Türkiye'de 10 farklı noktada 250 kW soket gücüne sahip DC-CCS soket modelinde Tesla SuperCharger şarj istasyonu bulunmaktadır. Tesla firması Avrupa pazarında bazı model araçlarında Tesla-CCS soket dönüştürücüde kullanmaktadır [2].



Şekil 3.11 : Tesla elektrikli araç ve supercharger şarj istasyonu[27] **.**

3.5 Elektrikli Araçların Akıllı Şebeke Sistemine Entegrasyonu (V2G – G2V)

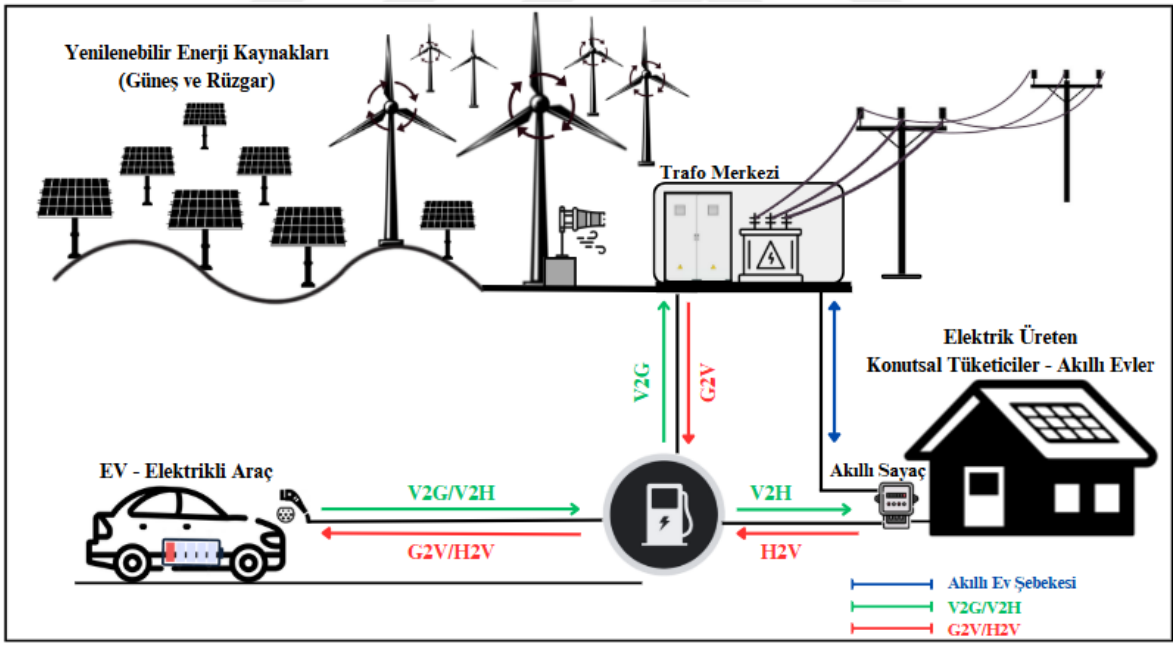
Bu sistem, elektrikli araç bataryası ile akıllı şebeke arasında iki yönlü olarak enerji akışına imkân sağlayan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.5.1 Araçtan şebekeye

V2G (Vehicle to Grid) teknolojisi, elektrikli araç bataryasında depolanmış enerjinin şebekeye doğru akması durumudur (Batarya Deşarj Durumu). Elektrikli araç bataryasında mevcut olan enerji dağıtım şebekesine istenilen amaç için aktarılabilmekte ve burada kullanılabilmektedir. Bu teknoloji sayesinde elektrikli araçlar ihtiyaç anında elektrik şebekesi için bir güç kaynağı olarak kullanılarak şebekenin dengelenmesine katkı sağlamaktadır [28].

3.5.2 Şebekeden araca

G2V (Grid to Vehicle) teknolojisi, şebekede bulunan enerjinin elektrikli araca doğru akması durumudur (Batarya Şarj Durumu). Bu teknoloji hali hazırda elektrikli araçları şarj etmek için kullanılan yöntemdir.



Şekil 3.12 : V2G/V2H ve G2V/H2V teknolojilerinin çalışma prensibi.

V2G/V2H ve G2V/H2V teknolojilerinin çalışma prensibi ile V2G, G2V ve YEK'in (rüzgâr ve güneş) şebeke sistemine entegrasyonu temel hatlarıyla Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Burada V2H araçtan eve, H2V evden araca olan enerji teknolojisini ifade eder. Şekil 3.12'de gösterilen mimari sistemde V2G-G2V teknolojisinin çalışma mantığına bakacak olursak; rüzgâr santralinin gece vakti aktif bir şekilde çalışmış olduğunu ve

tüketicilerin ihtiyacından fazla elektrik üretildiğini kabul edelim. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük sorunlarından biri üretilen enerjinin depolanamamasıdır. Bu sistemde rüzgâr santralinin ürettiği talep fazlası enerjiyi bir yere aktarması gerekmektedir. Akıllı şebeke sisteminde elektrikli araç bataryası mükemmel bir depolama aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü bu sistem, elektrik santrallerinde üretilen talep fazlası elektrik enerjisinin depolanmasına imkân vermektedir. Bu sistemde rüzgâr santralinden gelen fazla elektrik, aracın bataryasını şarj etmektedir. Günün ilerleyen saatlerinde elektrik ihtiyacı olması durumunda şebeke sistemine bağlı elektrikli aracın bataryasındaki akülerden şebekeye elektrik akmaktadır. Bu sistem sayesinde herhangi bir elektrik kesintisi ya da arıza durumunda sisteme enerji sağlanırken, dünyamız için ise daha sürdürülebilir bir kaynak kullanımı imkânı sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birbiri ile entegre olduğu bu akıllı şebeke sisteminde gündüz güneş enerji santrallerinin ihtiyaç fazlası ürettiği elektrik içinde V2G-G2V teknolojisini kullanabiliriz. Bu teknolojik yenilik ile akıllı şebeke sistemlerinin enerji dengelemesine (yüksek üretim ve tüketim belirsizliği) yönelik çözüm önerileri sunmaktadır. V2G-G2V teknolojisinin en basit anlatımı bu şekildedir. Türkiye'de bu alanda yapılan çalışmalar çok sınırlı kalsa da Avrupa'da pek çok ülkede bu teknoloji yaygın olarak kullanılmaktadır[29].

Bu tez çalışmasında akıllı şebeke sistemine bağlı elektrik şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonu G2V teknolojisi kullanılarak Matlab/Simulink'te sistem modellenmiştir.

4. İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ'NDE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GELECEĞİ VE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNİN ANALİZİ

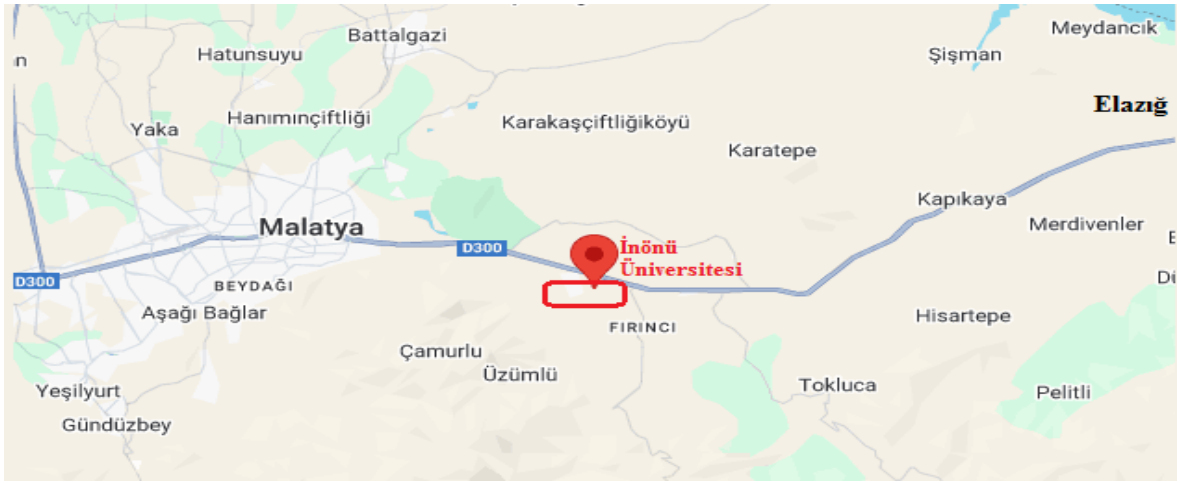
4.1 İnönü Üniversitesi'nde Araç Yoğunluğu ve Elektrikli Araçların Geleceği

İnönü Üniversitesi, 3 Nisan 1975 tarihinde Malatya'da kurulan bir devlet üniversitesidir. Ülkemizin saygın ve köklü üniversiteleri arasında yer alan İnönü Üniversitesi, 14 Fakülte, 1'i Devlet Konservatuvarı olmak üzere 2 Yüksekokulu, 4 Meslek Yüksekokulu, 6 Enstitü, Teknokent ve Turgut Özal Tıp Merkezinin de aralarında bulunduğu 31 araştırma ve uygulama merkeziyle yaklaşık 40.000 öğrenciye eğitim ve öğretim hizmeti sunmaktadır. Öğrenci sayısı her yıl düzenli bir artış göstermektedir [30].



Şekil 4.1: İnönü Üniversitesi merkez kampüs görünümü.

İnönü Üniversitesi merkez kampüs, Malatya Meslek Yüksekokulu ve Malatya OSB Meslek Yüksekokulu kampüsleriyle üç ayrı yerleşkede eğitim-öğretim, bilimsel araştırma ve uygulama faaliyetlerini sürdürmektedir. Biz bu tez çalışmasında merkez kampüsün elektrik altyapısını inceleyerek şarj istasyonları açısından uygunluğunu analiz edeceğiz.



Şekil 4.2: İnönü Üniversitesi merkez kampüs konumu.

İnönü Üniversitesi merkez kampüsünün mevcut konumu çeşitli ulaşım güzergâhları üzerinde yer almaktadır. Merkez kampüs Malatya-Elazığ yolunun içinde bulunduğu D-300 karayolu üzerinde, Malatya şehir merkezine 10. Km mesafede bulunmaktadır. Ayrıca üniversite çevresinde Malatya Stadyumu, Teknokent, Turgut Özal Tıp Merkezi, Onkoloji ve Diş Fakültelerinin de bu bölgede yer alması ve her yıl öğrenci sayısındaki artışı da dikkate aldığımızda bölgedeki insan yoğunluğunun daha da artıracağı öngörülebilmektedir. Buda doğal olarak araç yoğunluğunu artıracaktır. Ayrıca 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ili Pazarcık ve Elbistan merkezli depremler Malatya'da da önemli ölçüde tahribata neden olarak çok sayıda binanın yıkılmasına sebep olmuştur. Yaşanan bu depremlerden İnönü Üniversitesi de etkilenmiş olup yerleşkesindeki binalar ve çevresindeki yapılarda önemli ölçüde hasar almıştır. Depremler sonrası kampüs yerleşkesinde yeni binalar yapılmasına devam edilmektedir. Ayrıca TOKİ tarafından yeni toplu konut yerleşke alanlarının üniversite çevresinde yapılıyor olması önümüzdeki süreçte bu bölgedeki insan ve araç yoğunluğunu daha da artıracaktır. Tüm bu yaşananlarla birlikte günümüzde birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus ve gelişen teknolojinin de etkisiyle insanların satın alma gücünün artması ve araçlara erişimin kolay olması önümüzdeki dönemde araç sayısında ciddi artışlara sebep olması muhtemeldir. Araç sayılarının artmasıyla birlikte fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması, enerji fiyatları, sürdürülebilirlik ve iklim krizi konusundaki endişeler elektrikli araçların önemini her geçen gün daha da artıracaktır. Elektrikli araçlar son yıllarda dünya genelinde büyük bir ilgi görmekte olup sürdürülebilir ulaşımın bir parçası haline gelmiştir. Bu durum elektrikli araç satışlarında etkili olmuştur. Elektrikli araçlar konusunda teknolojik yenilik ve ilerlemelerin yanında Ülkemizin de taraf olduğu Paris İklim Antlaşmasıyla beraber Yeşil Mutabakat kapsamında elektrikli araçlara olan talep artacağından dolayı dönüşüm ileriki günlerde ülkemizde de daha da hızlanacaktır. Ayrıca Ülkemizin yerli elektrikli otomobili TOGG ve Çinli firmaların piyasada daha da yaygın hale gelmesiyle elektrikli araç sayısındaki artış daha da belirgin gözlemlenebilecektir.

TÜİK verilerine göre Türkiye'de 2024 yılı Eylül ayı sonu itibariyle trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımını Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Bu Çizelgede son yıllarda elektrikli araç sayısındaki artış gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 4.1 : TÜİK verilerine göre 2024 yılı trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı[31].

Yıl	Toplam	%	Benzin	%	Dizel	%	LPG	%	Hibrit(2)	%	Elektrik	%	Bilinmeyen(3)	%
2010	**7 544 862**	**100**	3 191 964	42,3	1 381 631	18,3	2 900 034	38,4	-	-	-	-	71 233	0,9
2011	**8 113 111**	**100**	3 036 129	37,4	1 756 034	21,6	3 259 288	40,2	23	0,0	24	0,0	61 613	0,8
2012	**8 648 875**	**100**	2 929 216	33,9	2 101 206	24,3	3 569 143	41,3	53	0,0	175	0,0	49 082	0,6
2013	**9 283 923**	**100**	2 888 610	31,1	2 497 209	26,9	3 852 336	41,5	83	0,0	353	0,0	45 332	0,5
2014	**9 857 915**	**100**	2 855 078	29,0	2 882 885	29,2	4 076 730	41,4	113	0,0	412	0,0	42 697	0,4
2015	**10 589 337**	**100**	2 927 720	27,6	3 345 951	31,6	4 272 044	40,3	324	0,0	565	0,0	42 733	0,4
2016	**11 317 998**	**100**	3 031 744	26,8	3 803 772	33,6	4 439 631	39,2	517	0,0	643	0,0	41 691	0,4
2017	**12 035 978**	**100**	3 120 407	25,9	4 256 305	35,4	4 616 842	38,4	925	0,0	760	0,0	40 739	0,3
2018	**12 398 190**	**100**	3 089 626	24,9	4 568 665	36,8	4 695 717	37,9	4 415	0,0	952	0,0	38 815	0,3
2019	**12 503 049**	**100**	3 020 017	24,2	4 769 714	38,1	4 661 707	37,3	13 877	0,1	1 176	0,0	36 558	0,3
2020	**13 099 041**	**100**	3 201 894	24,4	5 014 356	38,3	4 810 018	36,7	33 690	0,3	2 797	0,0	36 286	0,3
2021	**13 706 065**	**100**	3 495 172	25,5	5 158 803	37,6	4 923 275	35,9	86 682	0,6	6 267	0,0	35 866	0,3
2022	**14 269 352**	**100**	3 817 104	26,8	5 261 876	36,9	5 005 563	35,1	134 662	0,9	14 552	0,1	35 595	0,2
2023	**15 221 134**	**100**	4 362 975	28,7	5 425 652	35,6	5 094 751	33,5	222 328	1,5	80 043	0,5	35 385	0,2
2024(1)	**15 963 660**	**100**	4 783 233	30,0	5 518 120	34,6	5 150 865	32,3	330 659	2,1	145 497	0,9	35 286	0,2

(1) Veriler 2024 yılı Eylül ayı sonu itibarıyledir.
(2) Hibrit, benzin-elektrik ve dizel-elektrik otomobilleri kapsamaktadır.
(3) Yakıt türü bilinmeyenler, ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan otomobilleri kapsamaktadır.

Çizelge 4.1'i incelediğimizde 2024 yılı Eylül ayı sonu itibariyle Türkiye'deki toplam araç sayısı 15.963.660 olup bu araçlardan Hibrit ve Elektrikli araç sayısı 476.156 olup buda toplam araç sayısındaki oranına baktığımızda %3'e denk gelmektedir. Biz bu tez çalışmasında tamamen elektrikli araçları dikkate alırsak bu sayının 145.497 olduğu buda %0,9'a denk gelmektedir. Çizelge daha ayrıntılı incelendiğinde ülkemizdeki elektrikli araç sayısının her yıl arttığı gözlemlenebilmektedir. Tüm bu istatistikler, Türkiye'de elektrikli araçların giderek daha popüler hale geldiğini ve insanların sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım seçeneklerine yönelmeye başladığını göstermektedir.

Bu verilerden yola çıkarak, yüksek lisans tez çalışmamızda sağlıklı verilere ulaşmak için kampüsteki araç sayısını tespit edebilmek için İnönü Üniversitesi Rektörlüğü ile resmi yazışma yapılmıştır. Yapılan bu yazışmalar sonucunda İnönü Üniversitesi Güvenlik Biriminden araç kayıt sistemine kayıtlı toplam araç sayısı ve merkez kampüsüne günlük ortalama giriş ve çıkış yapan araç sayısı verileri alınmıştır. Buradan elde edilen araç verileri Çizelge 4.1'de TÜİK verilerindeki elektrikli araç sayıları oranlamaları yapılarak üniversitedeki elektrikli araç sayısı oranı tespit edilmiştir.

Türkiye'deki araç sayısından üniversite özeline indirgersek 22.10.2024 tarihi itibariyle elde ettiğimiz veriler doğrultusunda üniversite kampüsünde araç tanıma sisteme kayıtlı toplamda 8.500 araç olup bunlardan 36 tanesi elektrikli araç ve 80 hibrit araç olduğu verisi alınmıştır. Güvenlik Biriminden alınan veriler doğrultusunda ayrıca günlük ortalama 3718 aracın misafir aracın kampüse girdiği verisi temin edilmiştir. Üniversite sistemine kayıtlı araçların yanında misafir araçların %1'lik oranlamasını aldığımızda günlük ortalama 37 elektrikli aracın misafir araç olarak kampüste bulunduğu hesap edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda sisteme kayıtlı ve misafir araçlar dikkate alındığında toplamda günlük ortalama 73 elektrikli aracın kampüste olduğu tahmin edilmektedir. Tez çalışmasının ileriki bölümlerinde Matlab/Simulink modellemelerinde bu 73 elektrikli araç sayısı baz alınacaktır.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2022 yılında yayımlanan Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritasında 2023, 2025 ve 2030 yıllarına ait ülkemizde elektrikli araç pazarının ve şarj altyapısı ihtiyacının gelişimine dair elektrikli araç satışı pazar payının hedef oranları belirlenmiş olup Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Bu rapor 2022 yılında yayımlanmasına rağmen 2023 yılında konulan hedef değerin gerçekleştiği Çizelge 4.1'de TÜİK verilerinde görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Elektrikli araç satışı pazar payının hedef oranları.

Hedefler	**2023**	**2025**	**2030**
Elektrikli Araç Satışı	Elektrikli araç stokunda yaklaşık 110.000 adet araca ulaşmak	Elektrikli araç stokunda yaklaşık 402.000 adet araca ulaşmak	Elektrikli araç stokunda ise yaklaşık 2.500.000 milyon adet araca ulaşmak

Ayrıca EPDK tarafından yayınlanan "Elektrikli Araç Ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu" yayınında önümüzdeki süreçte ülkemizdeki elektrikli araç sayısı ile ilgili düşük, orta ve yüksek senaryolar planlamış olup Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Elektrikli araç sayısı düşük, orta ve yüksek senaryolar

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

STB ve EPDK'nın hazırlamış olduğu raporlardan yola çıkarak, İnönü Üniversitesi merkez kampüsünde bulunan günlük ortalama 73 elektrikli araç sayısını Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'deki hedeflere oranladığımızda, kampüste önümüzdeki dönemde bulunması beklenen elektrikli araç sayıları Çizelge 4.4'deki hedef sayı oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : İnönü Üniversitesi kampüsünde önümüzdeki dönem EV hedef sayısı

Hedefler	**İnönü Üniversitesi 2024 Günlük EV Ortalama Sayısı**	**2025 Hedef**	**2030 Hedef**
İnönü Üniversitesi Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası Hedef Oranlaması	73	202	1254
İnönü Üniversitesi – Elektrikli Araç Ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu Hedef Oranlaması	73	182	842

4.2 Türkiye Genelinde ve Malatya Özelinde DC Hızlı Şarj İstasyonlarının Dağılımı

Türkiye'de 18.11.2024 tarihi itibariyle EPDK web sayfasından Şarj İstasyonu sorgulama ekranından alınan veriler doğrultusunda 9975 adet şarj istasyonu EPDK onayı alarak kurulmuş ya da kurulumu devam etmektedir. Ayrıca 10 farklı noktada Tesla supercharge şarj istasyonu kurulmuş olup 250 kW DC CCS sokete sahiptir.

EPDK verilerine göre Malatya'da 34 şarj istasyonu lisansı alınmış olup bu istasyonlardan 16 adeti DC CCS sokete sahip istasyonlardır. Malatya'da Kurulu olan DC

istasyonlardan 3 adeti 180 kW DC CCS sokete sahip, 1 adeti 150 kW DC CCS sokete sahip, 9 adeti 120 kW DC CCS sokete sahip, 2 adeti 60 kW DC CCS sokete sahip, 1 adet 50 kW DC CCS sokete sahip istasyonlardır. EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) Geri kalan elektrikli araç şarj istasyon tiplerine baktığımızda 3 kW, 7 kW,11 kW ve 22 kW Soket Gücü (kW) AC_TYPE2 şarj istasyonundan oluşmaktadır.

Biz bu tez çalışmamızda, 180 kW DC ve 11 kW AC şarj istasyonlarının farklı senaryolarda sisteme getireceği yüklerin analizi Matlab/Simulink'te simülasyonu yapılarak modellenecektir.

4.3 İnönü Üniversitesinin Elektrik Tüketim Verileri ve Mevcut Şebeke Yapısı

İnönü Üniversitesi merkez kampüs elektrik altyapısının mevcut şebeke yapısı ve tüketim verilerini alabilmek için Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığıyla Elektrik-Elektronik Mühendisliği ve Fen Bilimleri Enstitüsü üzerinden resmi yazışmalar yapılmıştır. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığının vermiş olduğu izin sonucunda İnönü Üniversitesinin akıllı şebeke sistemine bağlı merkez kampüs elektrik altyapısı incelenmiştir. Üniversitenin merkez kampüsünde 1 ölçü merkezi (Giriş) ve 14 trafo merkezi bulunmaktadır. Akıllı şebeke sistemine bağlı bu trafo merkezlerinden aylık, günlük ve saatlik veriler alınabilmektedir.



Şekil 4.3: İnönü Üniversitesi merkez kampüs görünümü[30]

Bu tez çalışmasında kampüste merkezi konumda olan tüketimi yüksek olan 3 trafo merkezinin yük durumları ayrıntılı olarak incelenecektir. İnönü Üniversitesi kampüsünde Şekil 4.3'de yeri belirtilen; Rektörlük Trafo Merkezi (1), Mühendislik Trafo Merkezi (2) ve Doğu Lojmanları Trafo Merkezi (3) incelenecektir.

4.3.1 Rektörlük trafo merkezi (1)

İnönü Üniversitesi yerleşkesinde bulunan rektörlük trafo merkezi dağıtım trafosunun etiket bilgileri Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Rektörlük trafo etiket bilgileri

REKTÖRLÜK TRAFO ETİKET BİLGİLERİ	Gerilimler (kV)	Bağlantı Grubu	Güç (kVA)	Kısa Devre Gerilimi(%Uk)	Marka / Model	İmalat Yılı	Trafo Tipi
	33/0.4	DYN11	1250	6,60	MAKSAN	2000	Dahili-Yağlı

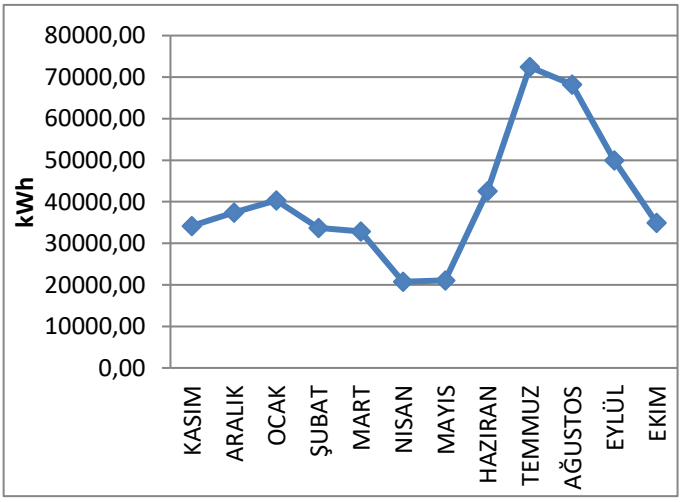
Rektörlük trafo merkezinde bulunan 1250 kVA'lık Maksan marka trafo, rektörlük binasını, idari birimler binasını, kütüphane ve internet merkezini beslemektedir. 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli depremler kampüsü de etkilemiş olup depremler sonrası ağır hasar alan bilgi işlem ve internet merkezi binası yıkılmıştır. Bu sebeple şu an sadece bilgi işlem ve internet merkezi mevcut trafoda yük teşkil etmemekte olup diğer binaların elektrik beslemesi bu trafodan yapılmaktadır. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından, akıllı şebeke sistemine bağlı trafodan 2023-2024 yılı aylık tüketim verileri tedarik edilmiştir.

Rektörlük trafo merkezinde bulunan dağıtım trafosunun aylık tüketim verileri Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Tedarik edilen aylık verilerden tüketimin en çok olduğu 2024 Temmuz ayı tespit edilmiştir. Temmuz ayında tüketimin yüksek olmasının sebebi sıcaklıklar sebebiyle merkezi sistem klimaların çalıştırılmasıdır.

(a)

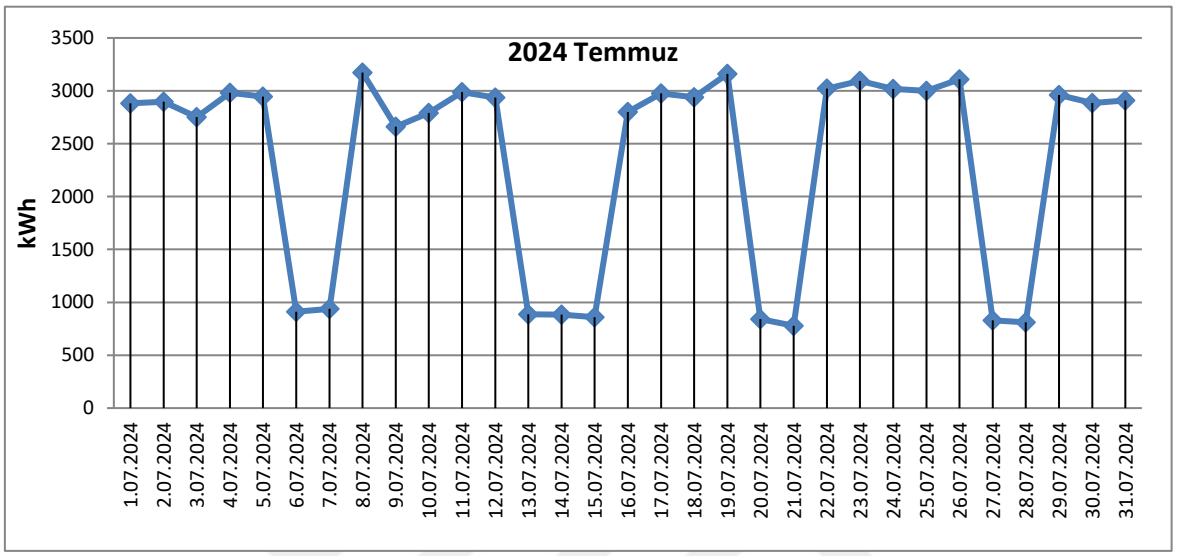
Aylık (2023-2024)	kWh
KASIM 2023	34178,80
ARALIK 2023	37416,70
OCAK 2024	40342,00
ŞUBAT 2024	33721,30
MART 2024	32830,40
NISAN 2024	20744,80
MAYIS 2024	21046,00
HAZIRAN 2024	42535,10
TEMMUZ 2024	**72431,80**
AĞUSTOS 2024	68195,90
EYLÜL 2024	49945,40
EKIM 2024	34965,50

(b)



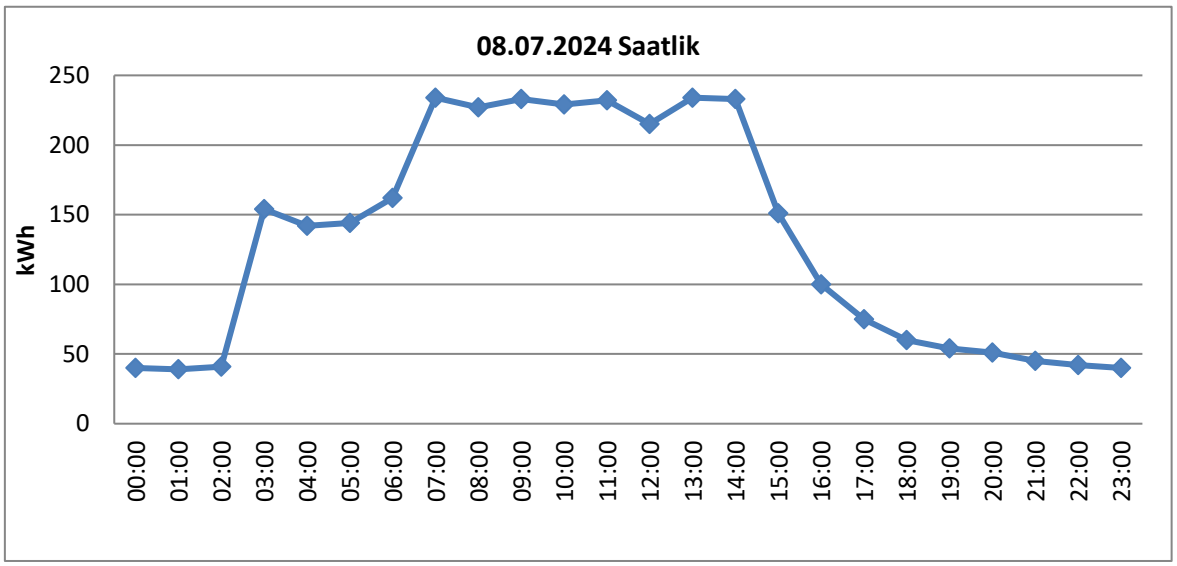
Şekil 4.4: (a) Rektörlük dağıtım trafosu aylık tüketim verileri ve (b) grafiği.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından tedarik edilen 2024 yılı temmuz ayı verilerini Şekil 4.5'de analiz ederek tüketimin en fazla olduğu 8 Temmuz 2024 günü olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayında hafta sonları klimaların çalışmaması sebebiyle enerji tüketimin düştüğü bariz gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.5: Rektörlük dağıtım trafosu temmuz ayı günlük tüketim verileri.

Rektörlük trafo merkezinde 2024 yılı temmuz ayında tüketimin en çok olduğu gün 8 Temmuz 2024 olup dağıtım trafosunun saatlik yük durumu Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Rektörlük dağıtım trafosu 08.07.2024 tarihli saatlik tüketim verileri.

4.3.2 Mühendislik trafo merkezi (2)

İnönü Üniversitesi yerleşkesinde bulunan mühendislik trafo merkezi dağıtım trafosunun etiket bilgileri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Mühendislik trafo etiket bilgileri.

MÜHENDİSLİK TRAFO ETİKET BİLGİLERİ	Gerilimler (kV)	Bağlantı Grubu	Güç (kVA)	Kısa Devre Gerilimi (%Uk)	Marka/Model	İmalat Yılı	Trafo Tipi
	34.5/0.4	DYN11	1000	5,82	MAKSAN	2004	TS 267-Yağlı

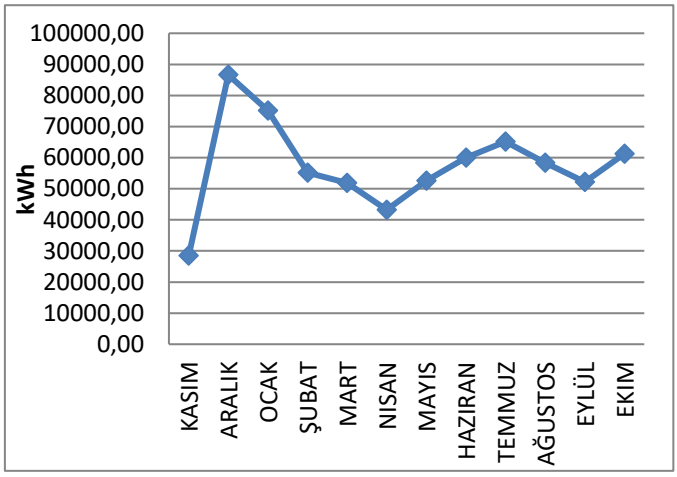
Mühendislik trafo merkezinde bulunan 1000 kVA'lık maksan marka trafo, Mühendislik A-B-C ve D blok binalarını, yabancı diller yüksekokulu binasını, personel yemekhanesi ve Esenlik Market binalarını elektrik beslemesi bu trafo merkezinden yapılmaktadır. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından akıllı şebeke sistemine bağlı trafodan aylık tüketim verileri tedarik edilmiştir.

Mühendislik trafo merkezinde bulunan dağıtım trafosunun aylık tüketim verileri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Tedarik edilen aylık verilerden tüketimin en çok olduğu 2023 Aralık ayı olduğu tespit edilmiştir. Aralık ayında tüketimin yüksek olmasının sebebi soğuklar sebebiyle ısıtıcıların, kaloriferlerin ve sıcak modda klimaların çalıştırılmasıdır.

(a)

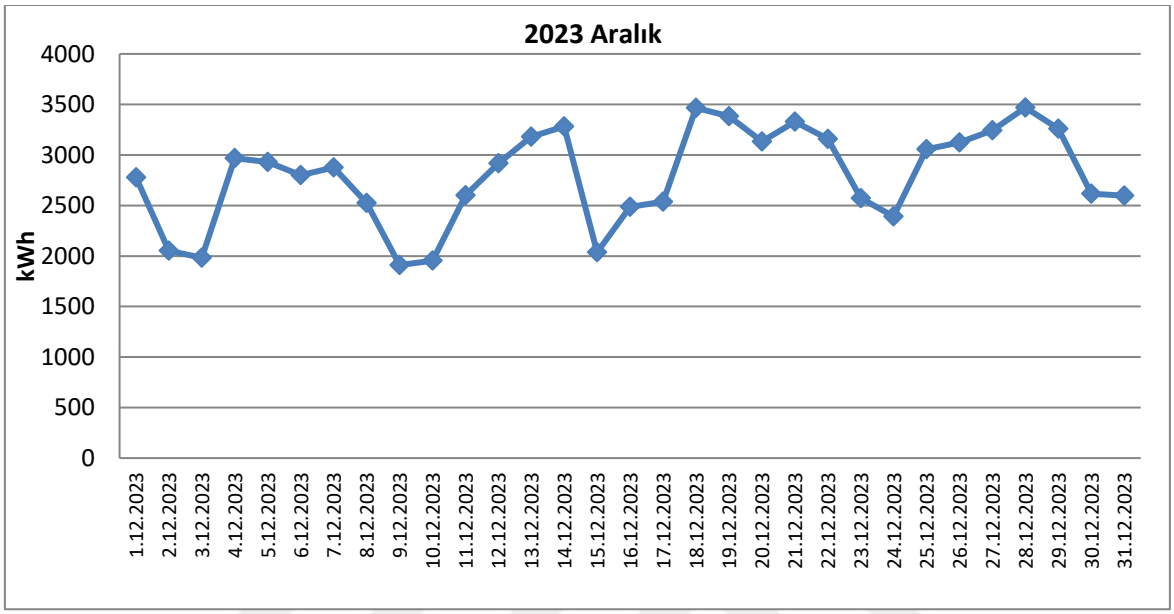
Aylık (2023-2024)	kWh
KASIM 2023	28457,60
ARALIK 2023	**86516,50**
OCAK 2024	75094,60
ŞUBAT 2024	55115,30
MART 2024	51853,30
NISAN 2024	43192,80
MAYIS 2024	52638,80
HAZIRAN 2024	60024,50
TEMMUZ 2024	65097,50
AĞUSTOS 2024	58341,90
EYLÜL 2024	52196,50
EKIM 2024	61192,10

(b)



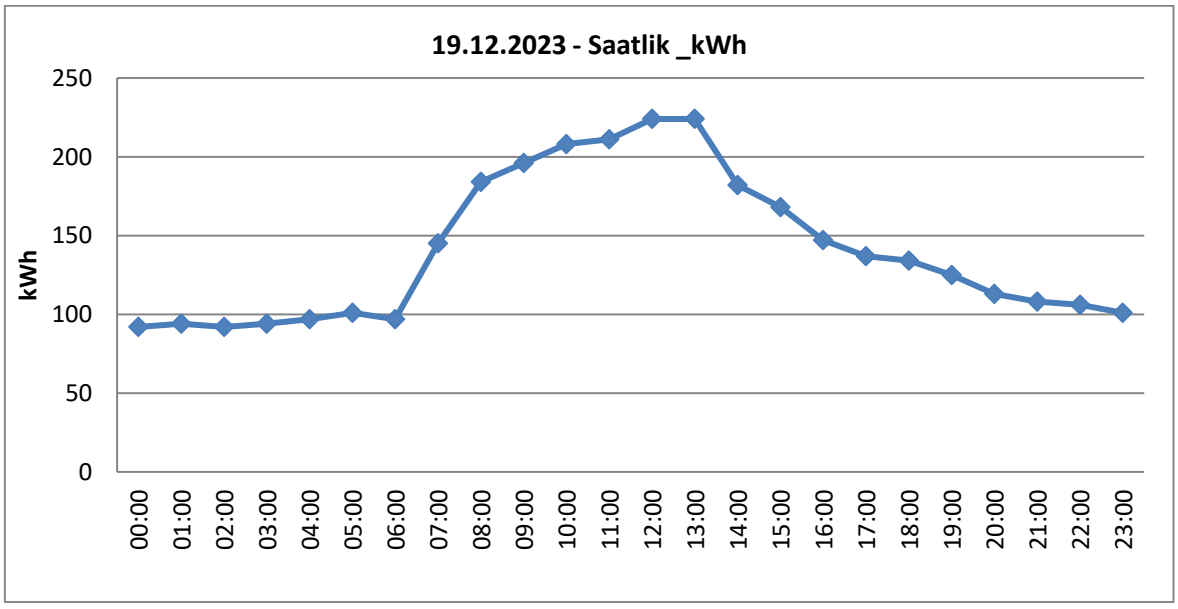
Şekil 4.7: (a) Mühendislik dağıtım trafosu aylık tüketim verileri ve (b) grafiği.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından tedarik edilen 2023 yılı aralık ayı verilerini Şekil 4.8'de analiz ederek tüketimin en fazla olduğu 19 Aralık 2023 günü olduğu tespit edilmiştir. Aralık ayında hafta sonları ısıtıcı ve kaloriferlerin çalışmaması sebebiyle enerji tüketimin düştüğü bariz gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.8: Mühendislik dağıtım trafosu aralık ayı günlük tüketim verileri.

Mühendislik trafo merkezinde 2023 yılı aralık ayında tüketimin en çok olduğu gün 19 Aralık 2023 olup dağıtım trafosunun saatlik yük durumu Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Bu tarihdeki saatlik verilerin analizi yapıldığında gün içersin de trafonun 08:00 ile 16:00 arası en yüklü olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9: Mühendislik dağıtım trafosu 19.12.2023 tarihindeki saatlik tüketim verileri.

4.3.3 Doğu lojmanları trafo merkezi (3)

İnönü Üniversitesi yerleşkesinde bulunan doğu lojman trafo merkezi dağıtım trafosunun etiket bilgileri Çizelge 4.7'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Doğu lojmanları trafo etiket bilgileri.

	Gerilimler (kV)	Bağlantı Grubu	Güç (kVA)	Kısa Devre Gerilimi(%Uk)	Marka / Model	İmalat Yılı	Trafo Tipi
DOĞU LOJMAN TRAFO ETİKET BİLGİLERİ	34.5/0.4	DYN11	630	4,56	MAKSAN	1992	TS 267-Yağlı

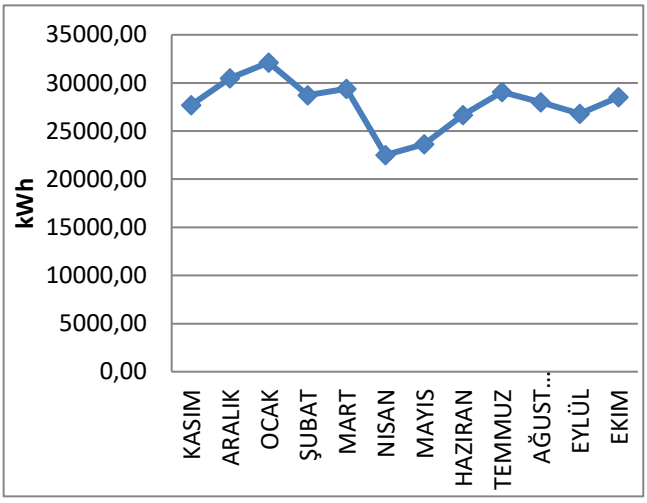
İnönü Üniversitesi Doğu Lojmanlarında bulunan trafo merkezinde 630 kVA'lık maksan marka trafo, doğu lojman binalarının elektrik beslemesini yapmaktadır. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından akıllı şebeke sistemine bağlı trafodan aylık tüketim verileri tedarik edilmiştir.

Lojman trafo merkezinde bulunan dağıtım trafosunun aylık tüketim verileri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Tedarik edilen aylık verilerden tüketimin en çok olduğu 2024 Ocak ayı olduğu tespit edilmiştir. Ocak ayında tüketimin yüksek olmasının sebebi soğuklar sebebiyle ısıtıcıların, kaloriferlerin ve sıcak modda klimaların çalıştırılmasıdır.

(a)

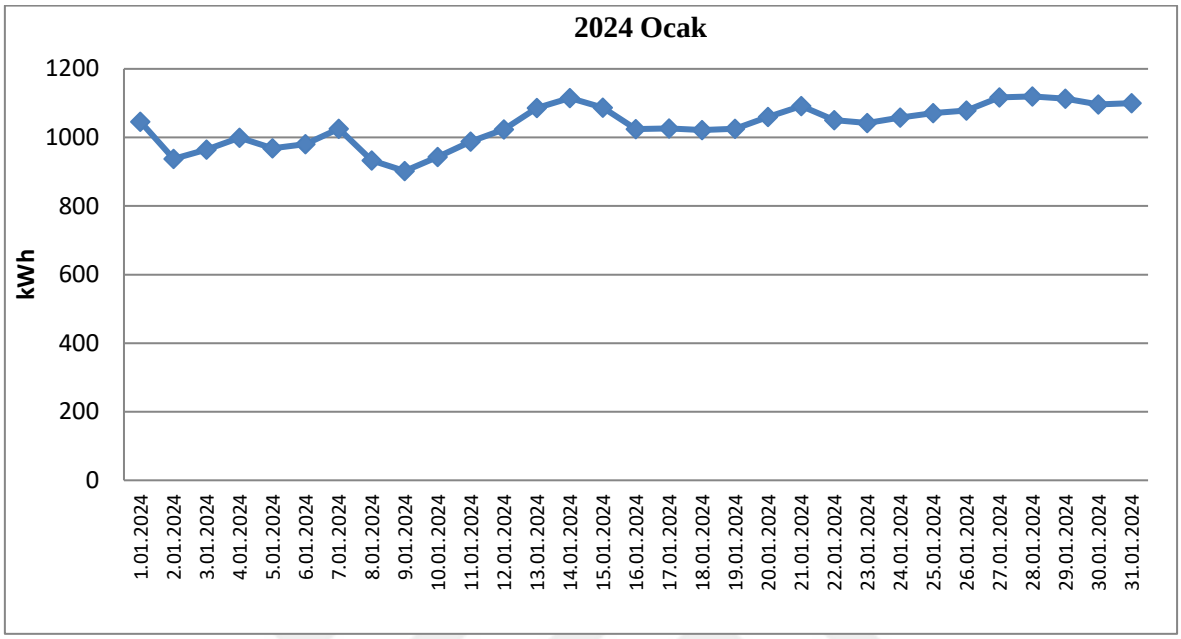
Aylık	kWh
KASIM 2023	27690,50
ARALIK 2023	30506,10
OCAK 2024	**32122,00**
ŞUBAT 2024	28735,80
MART 2024	29377,40
NISAN 2024	22515,70
MAYIS 2024	23650,60
HAZIRAN 2024	26674,80
TEMMUZ 2024	29056,00
AĞUSTOS 2024	27983,30
EYLÜL 2024	26784,10
EKIM 2024	28516,80

(b)



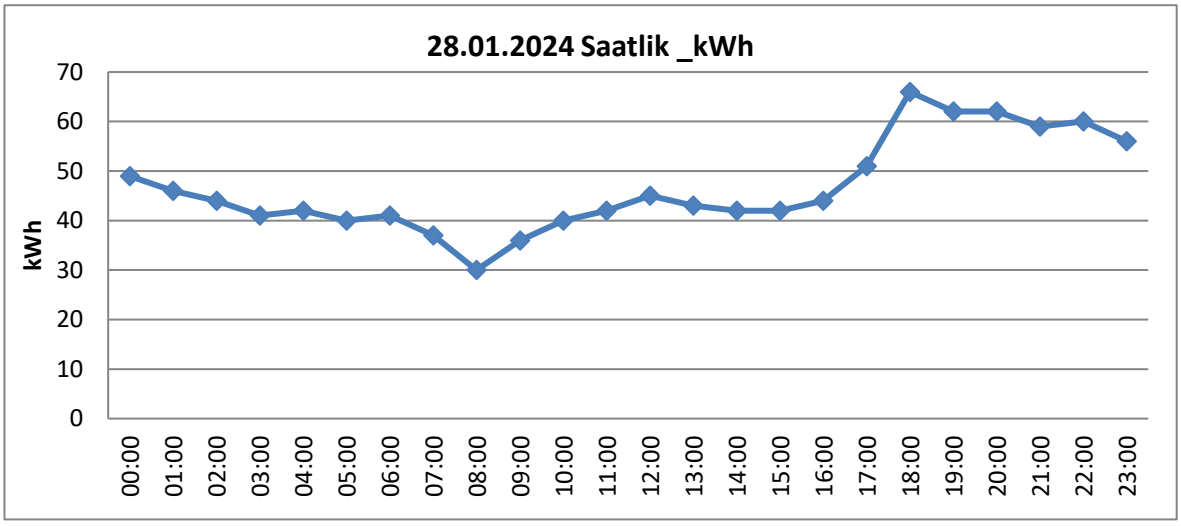
Şekil 4.10: (a) Lojman dağıtım trafosu aylık tüketim verileri ve (b) grafiği.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından tedarik edilen 2024 yılı ocak ayı verilerini Şekil 4.11'de analiz ederek tüketimin en fazla olduğu 28 Ocak 2024 günü olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11: Lojman dağıtım trafosu ocak ayı günlük tüketim verileri.

Lojman trafo merkezinde 2024 yılı ocak ayında tüketimin en çok olduğu gün 28 Ocak 2024 tarihinde olup dağıtım trafosunun saatlik yük durumu Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Bu tarihdeki saatlik verilerin analizi yapıldığında gün içersin de trafonun 17:00 ile 24:00 arası en yüklü olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12: Lojman dağıtım trafosu 28.01.2024 tarihindeki saatlik tüketim verileri.

5. MATLAB / SİMULİNK ORTAMINDA MODELLEMELER

Tezin bu bölümünde, dünyada ve ülkemizde her geçen gün popülerliğini ve etkisini artıran elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarının elektrik şebeke sistemine eklenmesi durumunda sabit olmayan bu yük artışlarının şebekeye olası etkilerinin incelenmesinin gerekliliği ortaya konulmuştur. İnönü Üniversitesi merkez kampüsü özelinde mevcut elektrik altyapısı ve elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegrasyonu durumunda mevcut şebekeye gelecek ekstra yüklerin olası etkileri Matlab/Simülink programı ile farklı senaryolarda tasarlanıp modellenerek şebeke tepkileri analiz edilmiştir.

Matlab/Simulink programında yapılan modelleme İnönü Üniversitesi merkez kampüsünde kurulacak olan 2 adet DC Hızlı Şarj (2x180 kW) ve 30 adet Ev Tipi AC Şarj (11 kW) istasyonuna farklı senaryolarda 110 araçlık bir elektrikli araç filosunun şarj olması durumunun 3 farklı dağıtım trafosunda, sisteme entegrasyonu ele alınmıştır. Yapılan modellemede elektrikli araç teknolojisine sahip TOGG T10X model aracın teknik özellikleri kullanılmıştır. Bu aracın batarya nominal kapasitesi 88,5 kWh'dir. TOGG T10X model elektrikli araç ev tipi AC şarjda (11 kW) ortalama 8 saatlik sürede, hızlı şarj DC'de ise ortalama 30 dakika gibi bir sürede %0'dan %80 şarja ulaşabilmektedir. Modellemede bu şarj süreleri dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Modellemede 3 farklı senaryoda araçların dağılımının mevcut şebeke sistemine entegrasyonu yapılmış olup G2V teknolojisi kurgulanarak tasarlanmıştır. Elektrik şebeke sistemine entegre edilen yük senaryolarında;

1. Senaryo: Elektrik şebeke sistemindeki dağıtım trafosunun mevcut yük durumu Matlab/Simulink ortamında modellenerek analizleri yapılmıştır (Sistemde EV Yok).

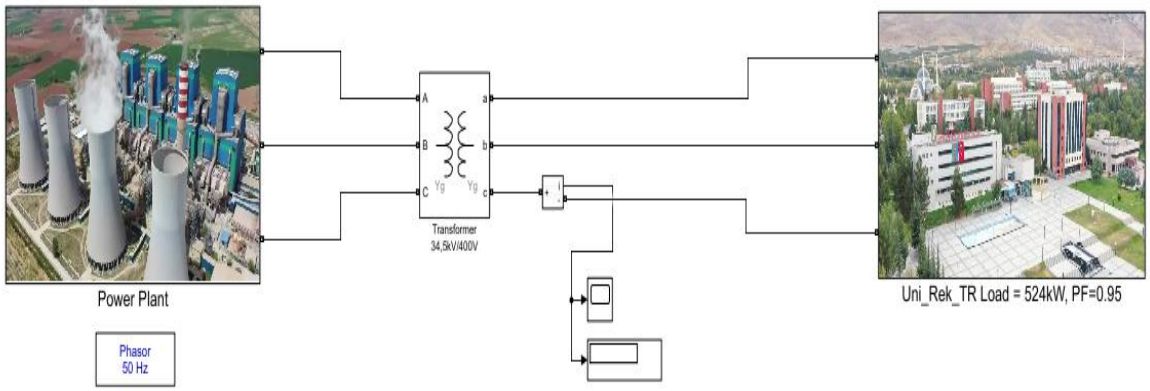
2. Senaryo: Trafo merkezinde elektrikli araçların farklı senaryolarda şarj edilmesi durumunda DC ve AC şarj istasyonlarının mevcut şebeke sisteminde dağıtım trafosuna getireceği yüklerin Matlab/Simulink ortamında modellenerek analizleri yapılmıştır.

3. Senaryo: Önümüzdeki süreçte elektrik şebeke sistemine gelecek ilave yüklerle dağıtım trafolarının aşırı yüklenme olasılığına karşı sistem arızalarını önlemek ve sürdürebilirlik açısından 2000 m² çatı GES'in sisteme entegre edilmesi tasarlanmıştır. Matlab/Simulink programında yapılan modellemede çatı GES'in ve DC hızlı şarj istasyonunun sisteme entegre edilmesi durumunda dağıtım trafosunun mevcut yük durumuna göre şebeke tepkileri analiz edilmiştir. Bu senaryo modellemesi rektörlük trafo merkezi ve mühendislik trafo merkezi için uygulanmıştır.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından tedarik edilen elektrik altyapısındaki gerçek zamanlı mevcut veriler kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında saatlik değişimlerin gözlemlenebilmesi adına, modelleme için 24 saatlik zaman periyodu seçilmiştir. Simülasyonlar Matlab/Simulink programında yapılmış ve trafo üzerinden geçen yükün farklı senaryo durumlarına göre etkileri analiz edilmiştir.

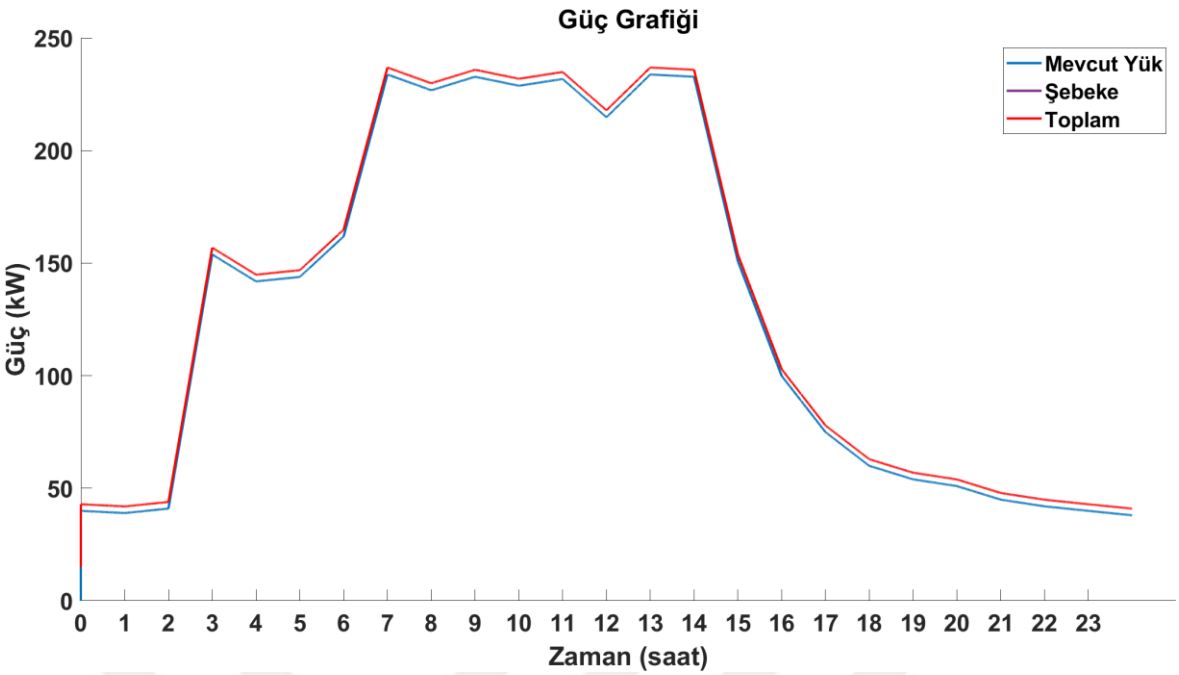
5.1 Rektörlük Trafo Merkezinin Matlab/ Simulink'te Modellemesi

1. Senaryo: Rektörlük Trafo Merkezi Dağıtım Trafosu Mevcut Yük Durumu



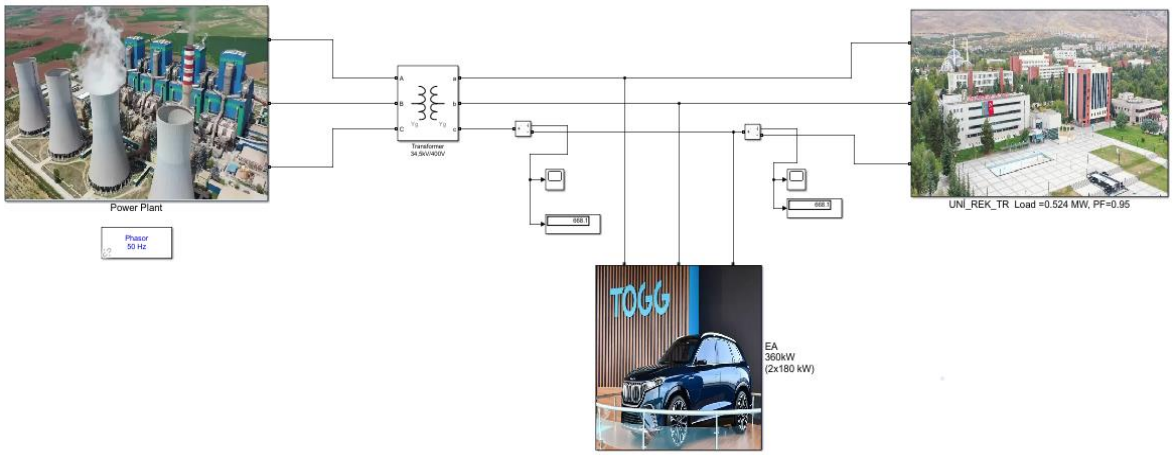
Şekil 5.1: Mevcut yük durumunun matlab/simulink'te modellemesi.

Rektörlük trafo merkezinde bulunan dağıtım trafosu rektörlük, idari birimler ve kütüphane binalarının elektrik beslemesini yapmaktadır. Rektörlük trafo merkezi dağıtım trafosu 1250 kVA gücüne sahip olup 2023 Kasım – 2024 Ekim aylık tüketim verileri Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Tüketimin en yüksek olduğu zaman dilimi temmuz ayıdır. Temmuz ayında tüketimin artmasının en büyük sebeplerinden biri yazın sıcaklıkların artmasının da etkisiyle merkezi sistem klimaların çalıştırılmasıdır. Temmuz ayında tüketimin en yüksek olduğu gün 8 Temmuz 2024 tarihi olup mevcut yük değerleri Matlab/Simulink'te Şekil 5.1'de ki modellemeye işlenerek tasarlanmıştır. Bu tarihteki tüketimin güç grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şebekeden çekilen gücün toplam güce eşit olduğu görülmektedir. Güç grafiğine baktığımızda gece saat 02:00'den sonra klimaların devreye girmesiyle sabah 07:00'a kadar tüketim artmaya devam etmekte olup gün içerisindeki en yüksek pik seviye olan 234 kW/h değerine sabah 07:00'de ulaşmaktadır. Bu yüksek talep seviyesi 07:00-15:00 saatleri arasında devam etmekte olup gün içerisinde tekrar 14:00 ile 15:00 saatlerinde tüketim tekrar 234 kW/h ve 233 kW/h pik seviyelerini görmektedir. Saat 15:00'dan sonra tüketim talebi azalan bir grafik seyretmekte bu durum gün içerisinde merkezi sistem klimaların devreden çıkarılmasıyla paralellik oluşturmaktadır. Mevcut toplam yükün oldukça küçük bir kısmı, sistemde kayıp güç olarak toplam güç eğrisine yansımaktadır.



Şekil 5.2: Matlab/Simulink'te 08.07. 2024 tarihindeki 24 saatlik yük durumu analizi.

2. Senaryo: Rektörlük Trafo Merkezine Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Mevcut Şebeke Sistemine Entegrasyon Modellemesi:



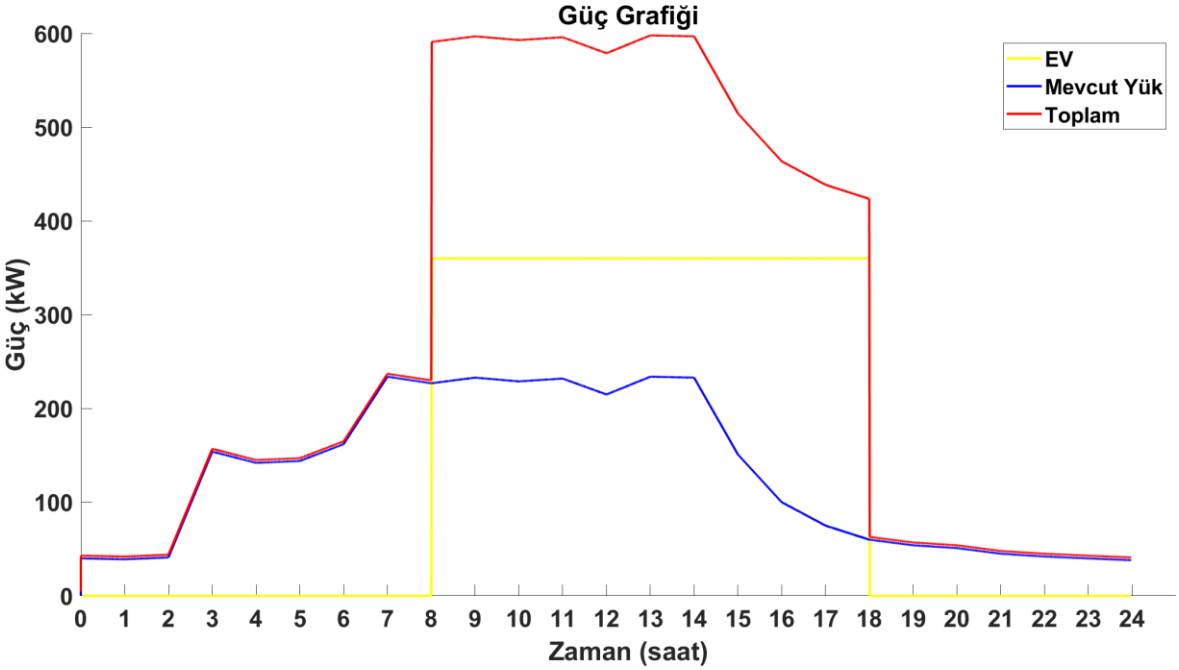
Şekil 5.3: Matlab/Simulink'te DC EV şarj istasyonu entegrasyon modellemesi

Elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegre edilmesi durumunda sisteme getireceği yük ile birlikte rektörlük trafo merkezinde dağıtım trafosunun son yük durumu analizi yapılmıştır. Matlab/Simulink ortamında yapılan modellemede rektörlük trafo merkezinde kurulacak olan 2 şarj soketli 2x180 kW güç kapasitesine sahip DC hızlı şarj istasyonu, trafonun yük durumunun en yüksek olduğu saatler dikkate alınarak tasarlanmış olup sisteme entegrasyonu yapılmıştır. Modellemede her araç ortalama 30 dk. Şarjda kaldığı kabul edilerek 1 DC şarj istasyonunda 2 şarj soketiyle 1 saatte ortalama 4 aracın şarj olduğu kabul edilmiş olup Matlab/Simulink ortamında analizleri yapılmıştır.

Çizelge 5.1 : DC şarj istasyonunda EV'ların sisteme entegrasyon durumu

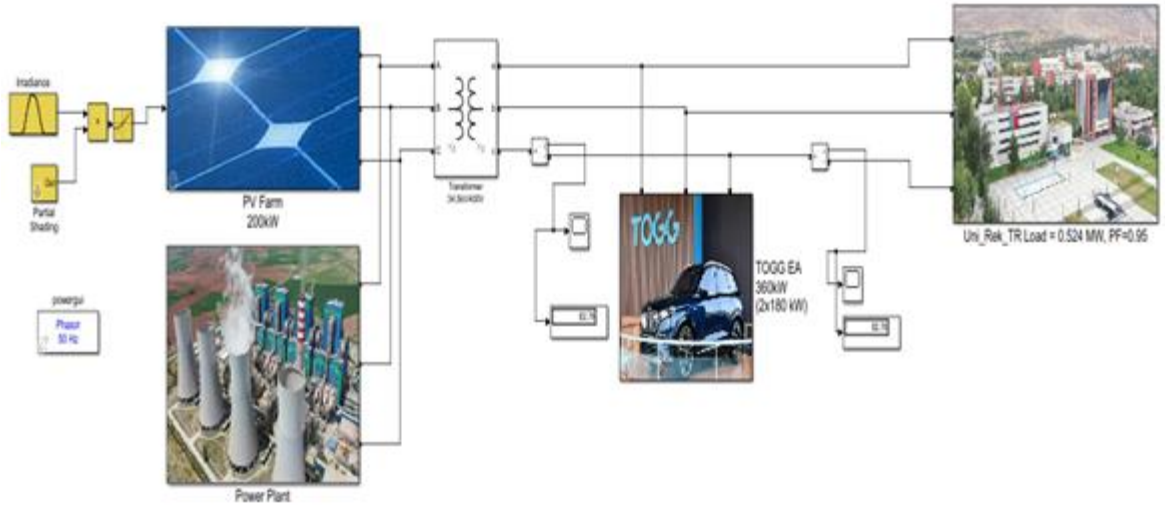
Saat	08:00-09:00	09:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
EV Sayısı	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Çizelge 5.1'deki elektrikli araçların DC şarj istasyonunda gün içerisinde şarj olan elektrikli araç sayılarının saatlik verileri gösterilmiştir. Bu Çizelge 5.1'deki verileri Şekil 5.3'deki Matlab/Simulink modellemesine işlersek Şekil 5.4'deki güç grafiğini elde ederiz. Elektrikli araç şarj istasyonları sabah 08:00'den akşam 18:00'e kadar Çizelge 5.1'de gösterildiği gibi tam kapasite elektrikli araçları şarj etmesi durumunda günlük toplamda 40 aracın şarj olması durumunda şarj istasyonlarının sisteme getireceği yük ile birlikte trafoların son yük durumu Matlab/Simulink programında modellenerek analizi yapılmıştır. Modellenen sistemin güç grafiği şekil 5.4'de gösterilmiş olup şebekeden çekilen güç toplam güce eşittir. Güç grafiğinden anlaşılacağı üzere elektrikli araç şarj istasyonu sisteme entegre edildiğinde öğleden sonra 14:00'da pik yaptığı ve çekilen yükün 594 kW/h olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Rektörlük trafo merkezi dağıtım trafosu 1250 kVA'lık güce sahip olup tüketim değerlerinin en yüksek olduğu zaman diliminde bile elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegre olması durumunda trafo için aşırı yük kapasite artışına sebebiyet vermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4: Matlab/Simulink'te 08.07. 2024 tarihindeki 24 saatlik DC EV şarj istasyonunun mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği

3. Senaryo: Önümüzdeki süreçte elektrikli araç sayılarının artmasına paralel olarak birden fazla DC şarj istasyonu kurulması ve deprem sebebiyle yıkılan internet merkezi binasıyla beraber yeni binaların yapılması durumunda rektörlük trafo merkezinde dağıtım trafosunun aşırı yüklenme olasılığına karşı sistem arızalarını önlemek ve sürdürebilirlik açısından önlem olarak sisteme 2000 m² çatı GES'in dâhil olma durumu:



Şekil 5.5: Maltlab/Simulink'te EV şarj istasyonu ve GES'in entegrasyon modellemesi

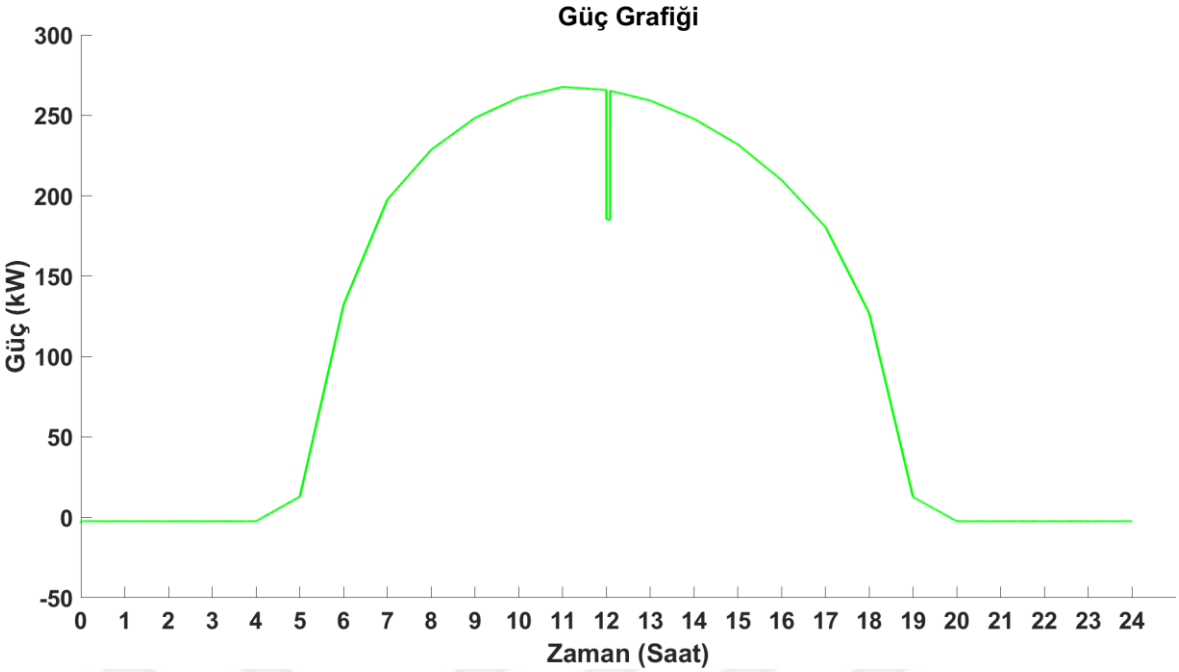
Rektörlük trafo merkezinin dağıtım trafosu değerleri temmuz ayında yük durumunun maksimum seviyeye çıktığı tespit edilmiş olup Senaryo 1'de bu durum Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Senaryo 2'de ise mevcut şebeke sisteminde trafoya entegre edeceğimiz DC şarj istasyonunun sisteme getireceği ilave yükün analizi yapılmıştır. Senaryo 3'de ise mevcut şebeke sisteminde dağıtım trafosuna DC şarj istasyonundan kaynaklı gelecek ilave yükün analizi ve sisteme entegre edeceğimiz çatı GES'in şebeke üretim ve tüketim tepkileri analiz edilmiştir. Önümüzdeki süreçte dağıtım trafosunun aşırı yüklenmesi durumunda şebekedeki büyük arızaları önlemek için sisteme entegre edeceğimiz çatı GES ile ilave kaynak sağlamış oluruz. Kuracağımız 2000 m² çatı GES'in sisteme nasıl bir güç sağlayacağını hesaplamak için Küresel Güneş Atlası (Global Solar Atlas) web sayfasından Malatya özelinde Şekil 5.6'daki saatlik güneş radyasyonu verilerini baz alacak olursak Malatya için güneşlenme şiddetinin en yüksek olduğu zaman temmuz ayı olarak gösterilmiştir.

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6					42	87	51					
6 - 7			4	99	331	499	449	251	99			
7 - 8		19	168	331	497	659	667	596	549	260	67	
8 - 9	118	230	357	432	587	750	770	722	710	509	405	143
9 - 10	280	329	420	494	634	804	836	798	793	604	514	330
10 - 11	304	393	493	530	658	829	878	847	831	658	560	353
11 - 12	313	428	516	537	652	829	900	866	844	650	573	360
12 - 13	300	408	484	513	617	799	894	855	834	632	555	351
13 - 14	290	391	453	484	565	749	872	835	803	597	533	350
14 - 15	291	374	431	451	526	697	834	787	749	548	497	341
15 - 16	286	352	401	399	485	645	781	726	686	480	435	308
16 - 17	169	295	342	340	425	589	707	643	596	327	174	116
17 - 18	1	90	209	258	356	508	610	530	352	32		
18 - 19			16	50	194	369	431	211	19			
19 - 20					4	48	50					
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	2,352	3,309	4,297	4,917	6,571	8,859	9,730	8,666	7,865	5,298	4,312	2,652

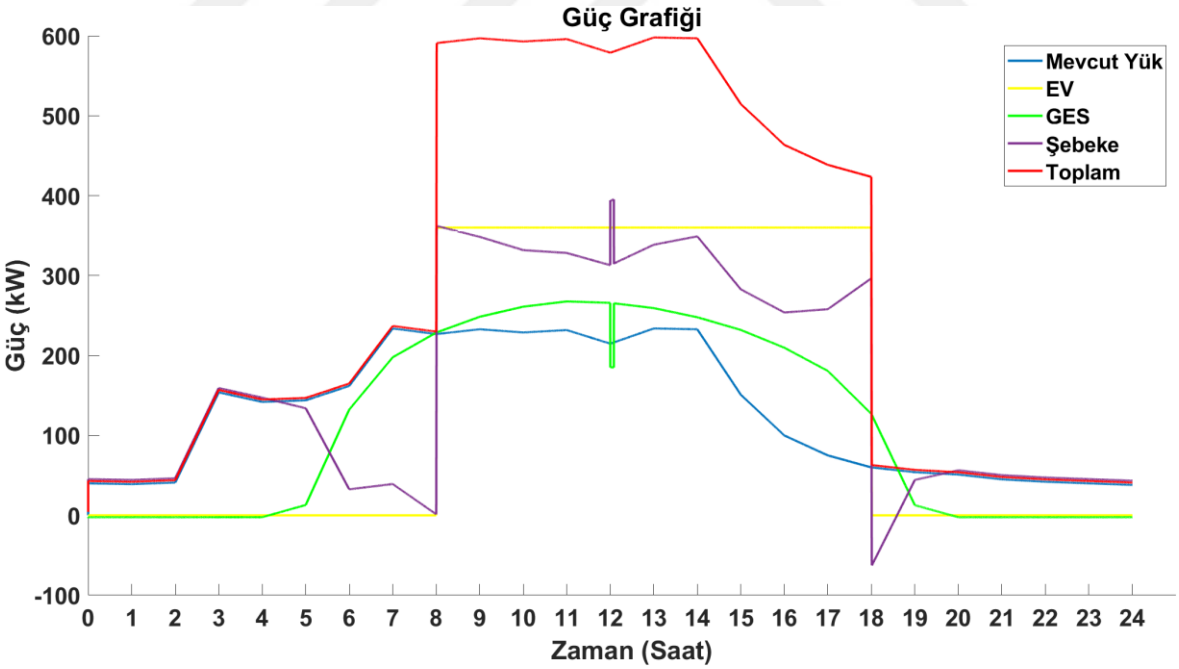
Şekil 5.6: Malatya güneş radyasyon değerleri[32]

Matlab/Simulink ortamında Şekil 5.5'deki mevcut şebeke modellemesine Malatya ili Temmuz 2024 solar radyasyon verileri işlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda Şekil 5.7'de ki güneş enerjisi üretim güç grafiğini incelersek, günün ilk saatlerinden itibaren güneşin doğmasıyla birlikte PV panellerinin enerji üretmeye başladığı gözlemlenmiştir. Güneş radyasyonunun en yüksek seviyelere ulaştığı öğle saatlerinde, 267 kW/h enerji üretildiği tespit edilmiştir. Sistem, Matlab/Simulink ortamında kısmi gölgelenme senaryosu ile simüle edilmiş olup, Şekil 5.7'de öğlen saat 12:00'de görülen yaklaşık 5 dakikalık ani güç düşüşünün kısmi gölgelenmeden kaynaklı olduğu grafik üzerinde görülmektedir. Öğleden sonra güneş radyasyon seviyelerinin azalmasına paralel olarak enerji üretiminin de azaldığı gözlemlenmiştir. Akşam saat 20:00'den sonra güneşin batmasıyla birlikte güç üretiminin sona erdiği grafik üzerinden açıkça görülmektedir.



Şekil 5.7: Malatya'da 2000 m² GES 2024 Temmuz ayı matlab/simulink yük grafiği.

Güneş enerjisi PV panellerinin üretmiş olduğu gücün Matlab/Simulink ortamında sisteme entegrasyonu durumunda şebekeden çekilen gücün azaldığını Şekil 5.8'de sistem güç grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Matlab/Simulink ortamında 08.07. 2024 tarihindeki 24 saatlik EV şarj istasyonu ve GES'in mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği

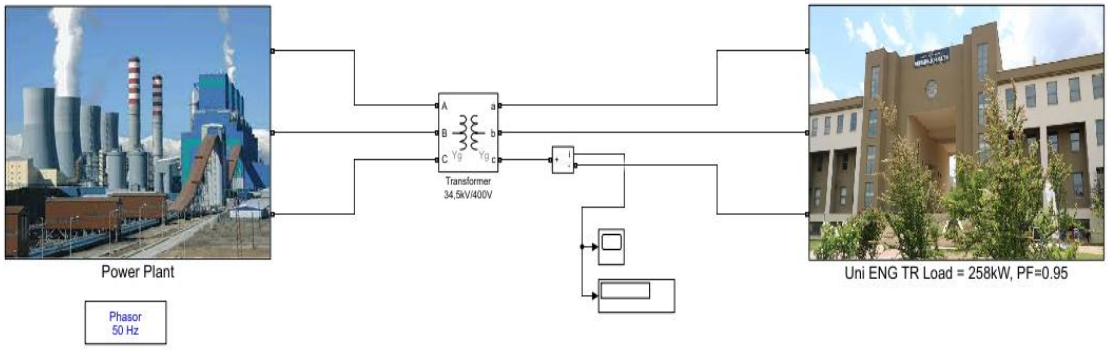
Mevcut akıllı şebeke sistemini incelediğimizde bina yüklerinin enerji talebi sadece şebekeden sağlanırken sistemin yük dengesinde dağıtım trafo bazlı aşırı yüklenme durumu

görülmemektedir. Elektrik şebeke sisteminin yük dengesinde şu an için ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmasa da önümüzdeki süreçte yeni yapılacak binalar ve elektrikli araç sayılarının artması durumunda trafo merkezlerinde birden fazla DC hızlı şarj istasyonu kurulması durumunda, mevcut dağıtım trafosu ve şebeke sistemi talebi karşılayamayacak duruma gelecektir. Bu durumda çatı GES'in yapılması önümüzdeki dönemde sürdürebilirlik açısından önemlidir. Elektrik şebeke sistemini analiz edersek sisteme 2000 m² çatı GES ilave edersek Şekil 5.8'de görüldüğü gibi güneş enerjisi kaynaklı üretim gerçekleştiği zaman şebekeden çekilen elektrik enerjisinin azaltmakta olduğu görülmektedir. Matlab/Simulink ortamında modellenen sistemin güç grafiğine bakıldığında güneş enerjisi üretiminin maksimum olduğu öğle saatlerinde şebekeden talep edilen gücün minimum seviyelere düştüğü görülmektedir. Saat 12:00'da güç eğrisinde görülen yaklaşık 5 dakikalık kısmı gölgelenmeden kaynaklı güneş enerjisi üretimindeki ani düşüşe tepki olarak elektrik altyapısını enerjisiz bırakmamak için şebekeden çekilen gücün ani yükselmesi sistemin verdiği reaksiyon olarak görülmektedir.

Matlab/Simulink ortamında modellenen sistemde yük olarak bina yükleri, elektrikli araç şarj istasyonları ve sistem kayıpları bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin elektrik ihtiyacı şebekeden ve güneş enerjisinden karşılanmaktadır. Modellemede enerji talebini karşılamaya yönelik tüketim önceliği güneş enerjisinde olup tasarlanan sistemin dengede de bir güç eğrisi grafiği seyretmektedir.

5.2 Mühendislik Trafo Merkezinin Matlab/Simulink'te Modellemesi

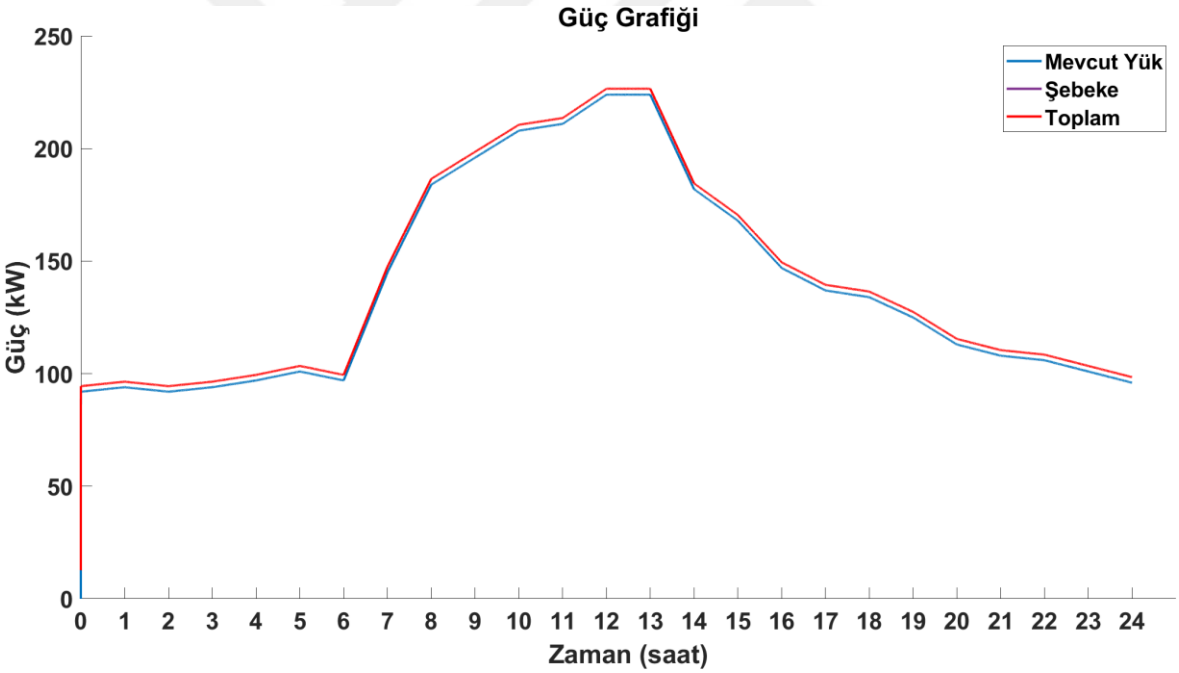
1. Senaryo: Mühendislik Trafo Merkezi Dağıtım Trafosu Mevcut Yük Durumu



Şekil 5.9: Mevcut yük durumunun matlab/simulink'te modellemesi

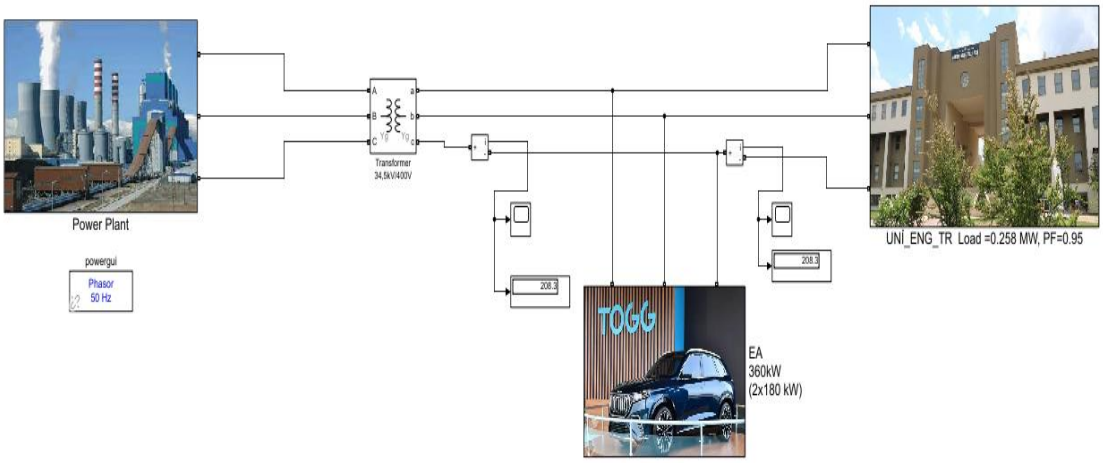
Mühendislik trafo merkezinde bulunan dağıtım trafosu Mühendislik A-B-C ve D blok, yabancı diller yüksekokulu, personel yemekhanesi ve Esenlik Market binalarının elektrik beslemesini yapmaktadır. Mühendislik trafo merkezi dağıtım trafosu 1000 kVA gücüne sahip olup 2023 Kasım – 2024 Ekim aylık tüketim verileri Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

Tüketimin en yüksek olduğu zaman dilimi aralık ayıdır. Aralık ayında tüketimin artmasının en büyük sebeplerinden biri kışın sıcaklıkların düşmesinin etkisiyle ısınma ihtiyacından kaynaklı kalorifer ve ısıtıcıların çalıştırılmasıdır. Aralık ayında tüketimin en yüksek olduğu gün 19 Aralık 2023 tarihi olup mevcut yük değerleri Matlab/Simulink'te Şekil 5.9'da ki modellemeye işlenerek tasarlanmıştır. Bu tarihteki tüketimin güç grafiği Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Güç grafiğine baktığımızda sabah saat 06:00'den sonra kalorifer kazanlarının devreye girmesiyle öğlen 13:00'a kadar tüketim artmaya devam etmekte olup gün içerisindeki en yüksek pik seviye olan 224 kW/h değerine öğlen 13:00'de ulaşmaktadır. Bu yüksek talep seviyesi 13:00-14:00 saatleri arasında devam etmekte olup saat 14:00'dan sonra tüketim talebi azalan bir grafik seyretmekte bu durum gün içerisinde ısıtıcıların ve kalorifer kazanlarının devreden çıkarılmasıyla paralellik oluşturmaktadır. Güç grafiğinde görüldüğü gibi şebekeden çekilen güç toplam güce eşittir. Mevcut toplam yükün oldukça küçük bir kısmı, sistemde kayıp güç olarak toplam güç eğrisine yansımaktadır.



Şekil 5.10: Matlab/Simulink'te 19.12.2023 tarihindeki 24 saatlik yük durumu analizi

2. Senaryo: Mühendislik Trafo Merkezine Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Mevcut Şebeke Sistemine Entegrasyon Modellemesi:



Şekil 5.11: Matlab/Simulink'te DC EV şarj istasyonu entegrasyon modellemesi

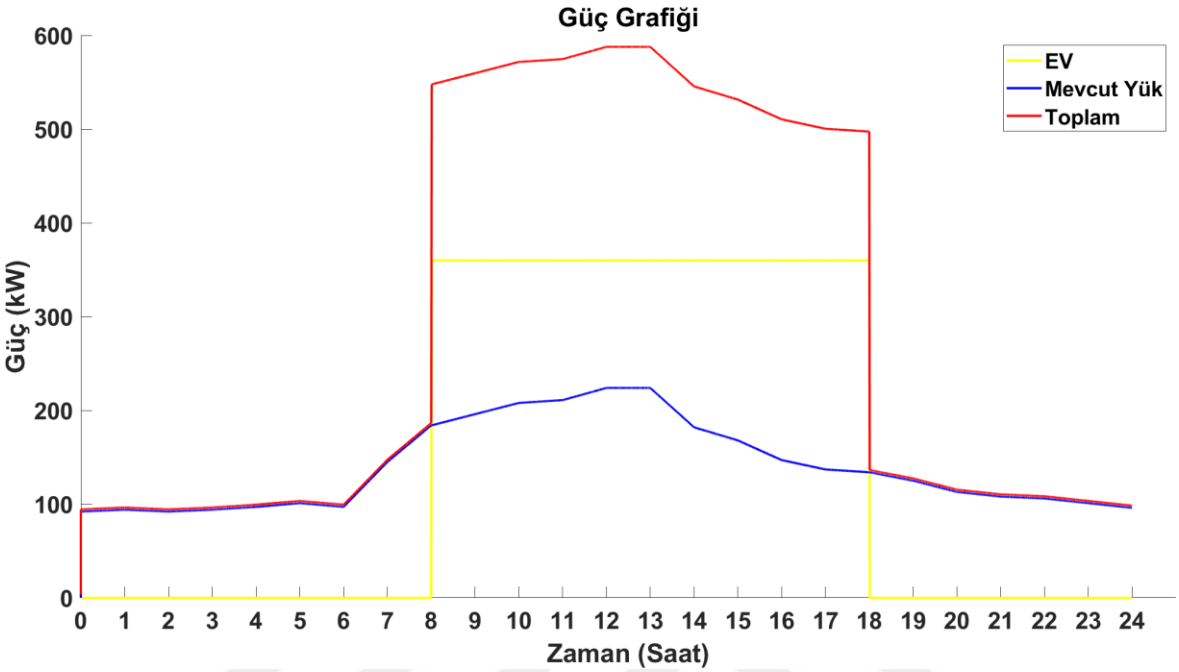
Elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegre edilmesi durumunda sisteme getireceği yük ile birlikte mühendislik trafo merkezinde dağıtım trafosunun son yük durumu analizi yapılmıştır. Matlab/Simulink ortamında yapılan modellemede mühendislik trafo merkezinde kurulacak olan 2 şarj soketli 2x180kW güç kapasitesine sahip DC hızlı şarj istasyonu mevcut elektrik tüketiminin ve üniversitede insan sirkülasyonunun en yüksek olduğu saatler dikkate alınarak sisteme entegrasyonu sağlanarak tasarlanmıştır. Modellemede her araç ortalama 30dk. Şarjda kaldığı kabul edilerek 1 DC şarj istasyonunda 2 şarj soketiyle 1 saatte 4 aracın şarj olduğu kabul edilmiş olup Matlab/Simulink ortamında analizleri yapılmıştır.

Çizelge 5.2 : DC şarj istasyonunda EV'ların sisteme entegrasyon durumu

Saat	08:00-09:00	09:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00
EV Sayısı	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

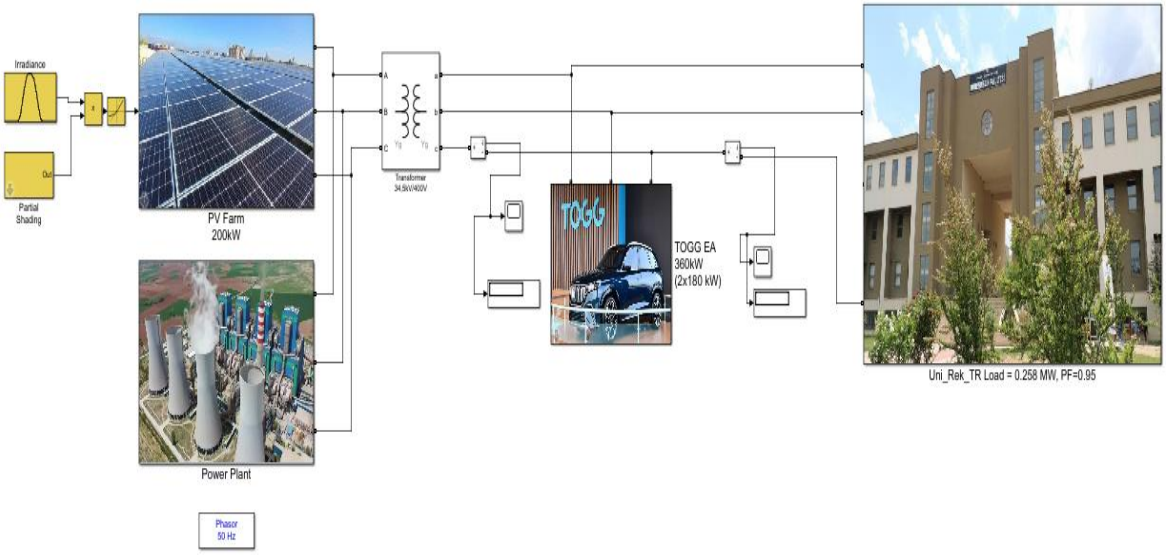
Çizelge 5.2'deki elektrikli araçların DC şarj istasyonunda gün içerisinde şarj olan elektrikli araç sayılarının saatlik verileri gösterilmiştir. Çizelge 5.2'deki verileri Şekil 5.11'deki Matlab/Simulink modellemesine işlersek Şekil 5.12'deki güç grafiğini elde ederiz. Elektrikli araç şarj istasyonları sabah 8:00'den akşam 18:00'e kadar Çizelge 5.2'de gösterildiği gibi tam kapasite elektrikli araçları şarj etmesi durumunda günlük toplamda 40 aracın şarj olması durumunda şarj istasyonlarının sisteme getireceği yük ile birlikte trafoların son yük durumu Matlab/Simulink programında modellenerek analizi yapılmıştır. Modellenen sistemin güç grafiği şekil 5.12'de gösterilmiştir. Güç grafiğinden anlaşılacağı üzere elektrikli araç şarj istasyonu sisteme entegre edildiğinde öğlen saat 13:00'da pik yaptığı ve çekilen yükün 584

kW/h olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Mühendislik trafo merkezinde bulunan dağıtım trafosu 1000 kVA'lık güce sahip olup tüketim değerlerinin en yüksek olduğu zaman diliminde bile elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegre olması durumunda trafo için aşırı yük kapasite artışına sebebiyet vermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12: Matlab/Simulink'te 19.12.2023 tarihindeki 24 saatlik DC EV şarj istasyonunun mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği

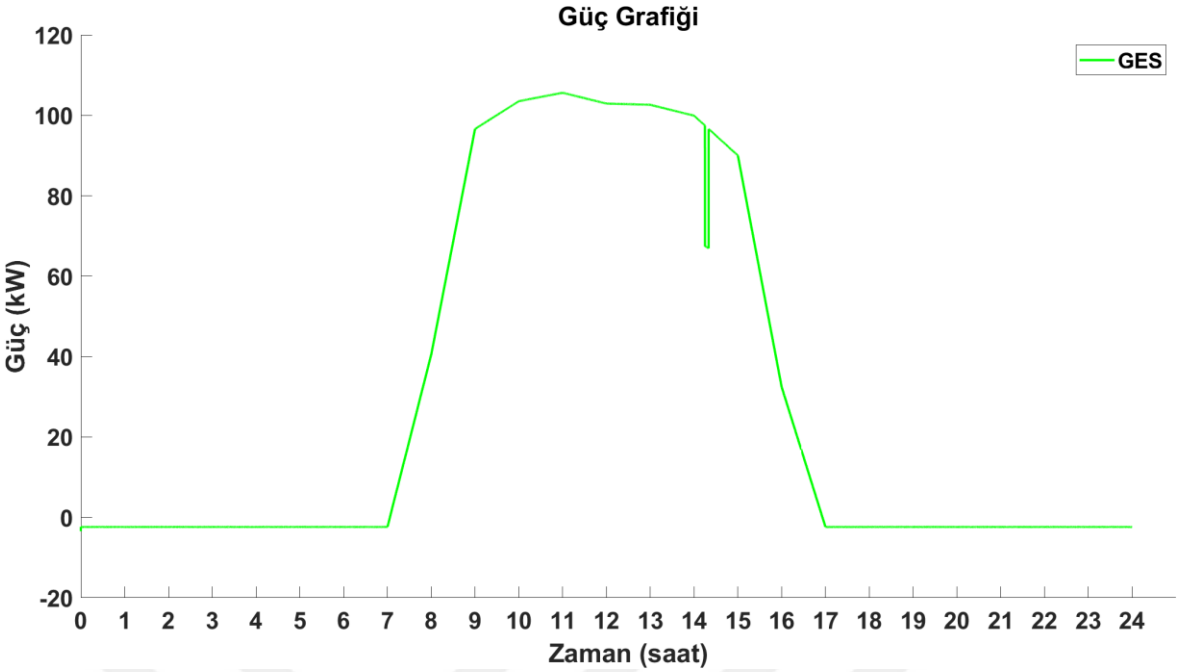
3. Senaryo: Önümüzdeki süreçte elektrikli araç sayılarının artmasına paralel olarak mühendislik trafo merkezine bağlı birden fazla DC şarj istasyonu kurulması ayrıca kampüsün doğu yakasında yeni binaların yapılması durumunda mühendislik trafo merkezinde dağıtım trafosunun aşırı yüklenme olasılığına karşı sistem arızalarını önlemek ve sürdürebilirlik açısından önlem olarak sisteme 2000 m² Çatı GES'in dâhil oma durumu:



Şekil 5.13: Maltlab/Simulink'te EV şarj istasyonu ve GES'in entegrasyon modellemesi

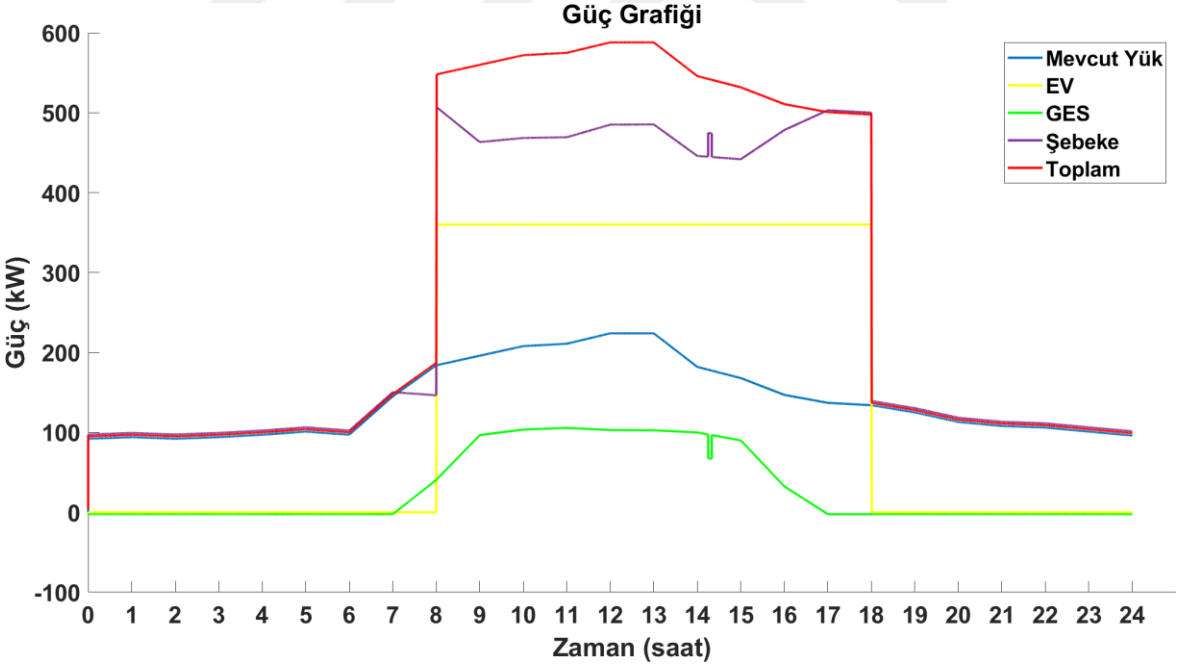
Mühendislik trafo merkezinin dağıtım trafosu değerleri aralık ayında yük durumunun maksimum seviyeye çıktığı tespit edilmiş olup Senaryo 1'de bu durum Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Senaryo 2'de ise mevcut şebeke sisteminde dağıtım trafosuna entegre edeceğimiz DC hızlı şarj istasyonunun sisteme getireceği ilave yükün analizi yapılmıştır. Senaryo 3'de ise mevcut şebeke sisteminde dağıtım trafosuna DC şarj istasyonundan kaynaklı gelecek ilave yükün analizi ve sisteme entegre edeceğimiz çatı GES'in ürettiği enerjinin şebeke tüketim tepkileri analiz edilmiştir. Önümüzdeki süreçte dağıtım trafosunun aşırı yüklenmesi durumunda şebekedeki büyük arızaları önlemek için sisteme entegre edeceğimiz çatı GES ile ilave kaynak sağlamış oluruz. Kuracağımız 2000 m² çatı GES'in sisteme nasıl bir güç sağlayacağını hesaplamak için Küresel Güneş Atlası (Global Solar Atlas) web sayfasından Malatya özelinde Şekil 5.6'daki saatlik güneş radyasyonu verilerini baz alacak olursak Malatya için güneşlenme şiddetinin en düşük olduğu verisi aralık ve ocak ayları olarak gözlemlenmiştir.

Matlab/Simulink ortamında Şekil 5.13'deki mevcut şebeke modellemesine Malatya ili Aralık 2023 solar radyasyon değerleri işlenmiştir. İşlenen bu veriler doğrultusunda güneşin doğmaya başladığı günün ilk saatlerinden itibaren güneş enerjisi PV panellerinin enerji üretimine başladığı ve üretilen bu enerjinin sistemin güç ihtiyacının bir kısmını karşılamaya başladığı görülmektedir. Güneş radyasyon değerlerinin maksimum seviyelerde seyrettiği öğle saatlerinde sistemi besleyen güneş enerjisi üretim grafiği Şekil 5.14'ü incelersek öğlen saatlerinde elde edilen gücün 105 kW/h kadar enerji üretimini gerçekleştirdiği görülmektedir. Sisteme Matlab/Simulink ortamında kısmı gölgelenme işlenerek simule edilmiştir. Öğleden sonra saat 14:00 civarında, güneş enerjisi üretim eğrisinde gözlemlenen yaklaşık 15 dakikalık ani güç düşüşünün, kısmi gölgelenme etkisinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Öğle saatlerinden itibaren güneş radyasyon değerlerinin azalmasıyla birlikte, güç üretiminde de paralel bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Akşam saat 17:00'den sonra ise güneşin tamamen batmasıyla birlikte enerji üretiminin sona erdiği grafik üzerinde açıkça izlenebilmektedir. Matlab /Simulink'te modellemesi yapılan 2000m² yüz ölçümüne sahip çatı PV güneş enerji santrallerinin temmuz ayında 267 kW/h pik seviyesinde enerji üretirken, aralık ayında bu pik değer 105kW/h seviyelere düşerek enerji üretmektedir. Bu verilerden yola çıkarak iklimsel hava koşullarının güneş enerji santrallerin enerji üretiminde ne kadar etkili olduğunu görülmektedir.



Şekil 5.14: Malatya'da 2000 m² GES 2023 Aralık ayı matlab/simulink güç grafiği

Güneş enerjisi PV panellerinin üretmiş olduğu gücün Matlab/Simulink ortamında sisteme entegrasyonu durumunda şebekeden çekilen gücün azaldığını Şekil 5.15'de sistem güç grafiğinde analiz edilebilir.



Şekil 5.15: Matlab/Simulink'te 19.12.2023 tarihindeki 24 saatlik EV şarj istasyonu ve GES'in mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği

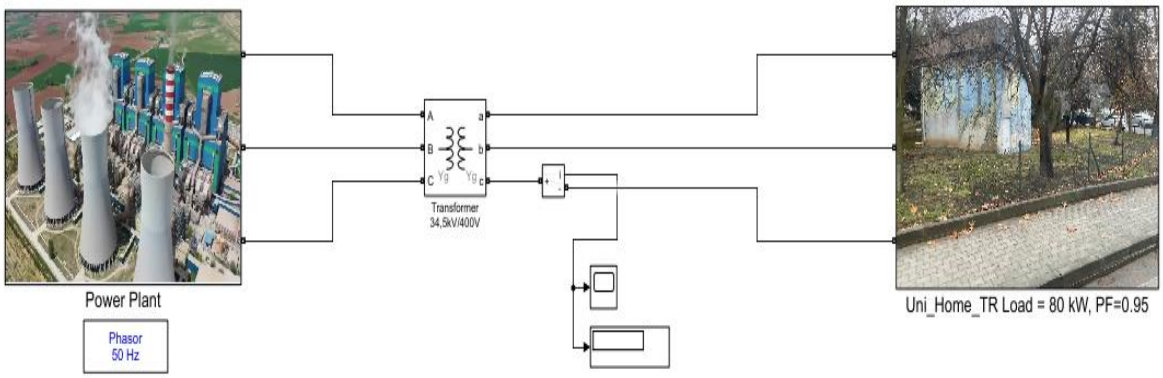
Mevcut akıllı şebeke sistemini incelediğimizde bina yüklerinin enerji talebi sadece şebekeden sağlanırken sistemin yük dengesinde dağıtım trafo bazlı aşırı yüklenme durumu görülmemektedir. Elektrik şebeke sisteminin yük dengesinde şu an için ek bir enerji

kaynağına ihtiyaç duyulmasa da önümüzdeki süreçte yeni yapılacak binalar ve elektrikli araç sayılarının artması durumunda birden fazla DC hızlı şarj istasyonu kurulması durumunda mevcut şebeke sisteminin talebi karşılayamayacak duruma gelecektir. Bu durumda çatı GES'in yapılması önümüzdeki dönemde sürdürebilirlik açısından önemlidir. Elektrik şebeke sistemini analiz edersek sisteme 2000 m² Çatı GES ilave edersek Şekil 5.15'de görüldüğü gibi güneş enerjisi kaynaklı üretim gerçekleştiği zaman şebekeden çekilen enerjinin azaltmakta olduğu görülmektedir. Matlab/Simulink ortamında modellenen sistemin güç grafiğine bakıldığı zaman güneş enerjisi üretiminin maksimum olduğu öğle saatlerinde şebekeden talep edilen gücün minimum seviyelere düştüğü görülmektedir. Öğleden sonra saat 14:00'da güç eğrisinde görülen yaklaşık 15 dakikalık kısmı gölgelenmeden kaynaklı güneş enerjisi üretimindeki ani düşüşe tepki olarak elektrik altyapısını enerjisiz bırakmamak için şebekeden çekilen gücün ani yükselmesi sistemin verdiği reaksiyon olarak görülmektedir.

Matlab/Simulink ortamında modellenen sistemde yük olarak bina yükleri, elektrikli araç şarj istasyonları ve sistem kayıpları bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin enerji ihtiyacı şebekeden ve güneş enerjisinden karşılanmaktadır. Modellemede enerji talebini karşılamaya yönelik tüketim önceliği güneş enerjisinde olup tasarlanan sistemin deneğe de bir güç eğrisi grafiği seyretmektedir.

5.3 Doğu Lojmankarı Trafo Merkezinin Matlab/Simulink'te Modellemesi

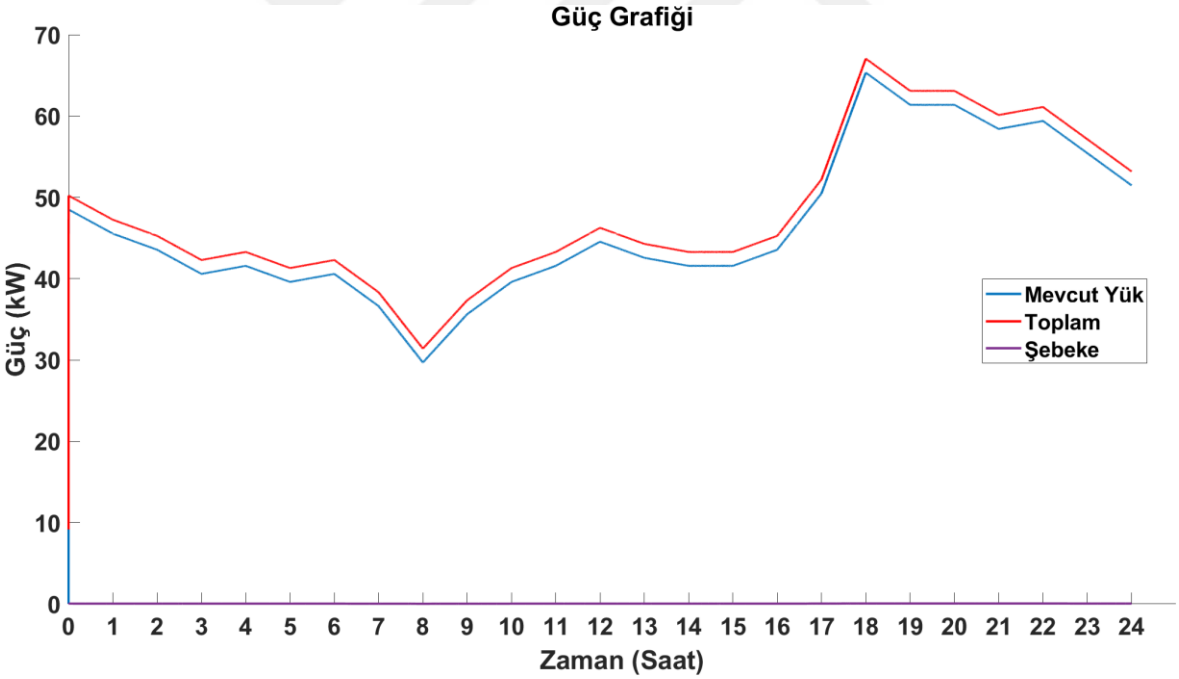
1. **Senaryo:** Doğu Lojmanı Trafo Merkezi Dağıtım Trafosunun Mevcut Yük Durumu



Şekil 5.16: Mevcut yük durumunun matlab/simulink'te modellemesi

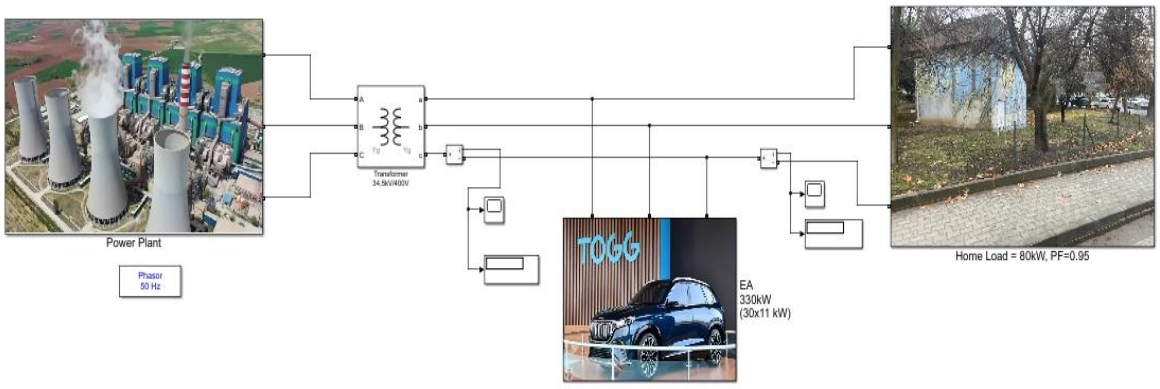
İnönü Üniversitesi Doğu Lojmanlarında bulunan trafo merkezindeki dağıtım trafosu, kampüsün doğu yakasında bulunan lojman binalarının elektrik beslemesini yapmaktadır. Doğu lojman trafo merkezi dağıtım trafosu 630 kVA gücüne sahip olup 2023 Kasım – 2024 Ekim aylık tüketim verileri Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Tüketimin en yüksek olduğu

dönem ocak ayıdır. Ocak ayında tüketimin artmasının en büyük sebeplerinden biri kışın sıcaklıkların düşmesinin etkisiyle lojmanda oturanların ısınma ihtiyacından kaynaklı ısıtıcı ve kaloriferlerin çalıştırmasıdır. Ocak ayında tüketimin en yüksek olduğu gün 28 Ocak 2024 tarihi olup mevcut yük değerleri Matlab/Simulink'te Şekil 5.16'da ki modellemeye işlenerek tasarlanmıştır. Bu tarihteki tüketimin güç grafiği Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Güç grafiğine baktığımızda akşam saat 17:00'den sonra lojman sakinlerinin evlerine dönmesinin de etkisiyle akşam saat 19:00'a kadar tüketim artmaya devam etmekte olup gün içerisindeki en yüksek pik seviye olan 66 kW/h değerine ulaştığı görülmektedir. Sonraki zaman diliminde güç tüketiminde düşme eğilimi gösterip saat 20:00'de güç tüketiminde 62 kW/h değerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu yüksek talep seviyesi 19:00-24:00 saatleri arasında devam etmekte olup saat 24:00'dan sonra tüketim talebi azalan bir grafik seyretmekte bu durum gün içerisinde insanların evde kullandığı elektriksel aletlerin kapatılması ve uykuya geçmesiyle paralellik oluşturmaktadır. Güç grafiğinde görüldüğü gibi şebekeden çekilen güç toplam güce eşittir. Mevcut toplam yükün oldukça küçük bir kısmı, sistemde kayıp güç olarak toplam güç eğrisine yansımaktadır.



Şekil 5.17: Matlab/Simulink'te 28.01.2024 tarihindeki 24 saatlik yük durumu analizi

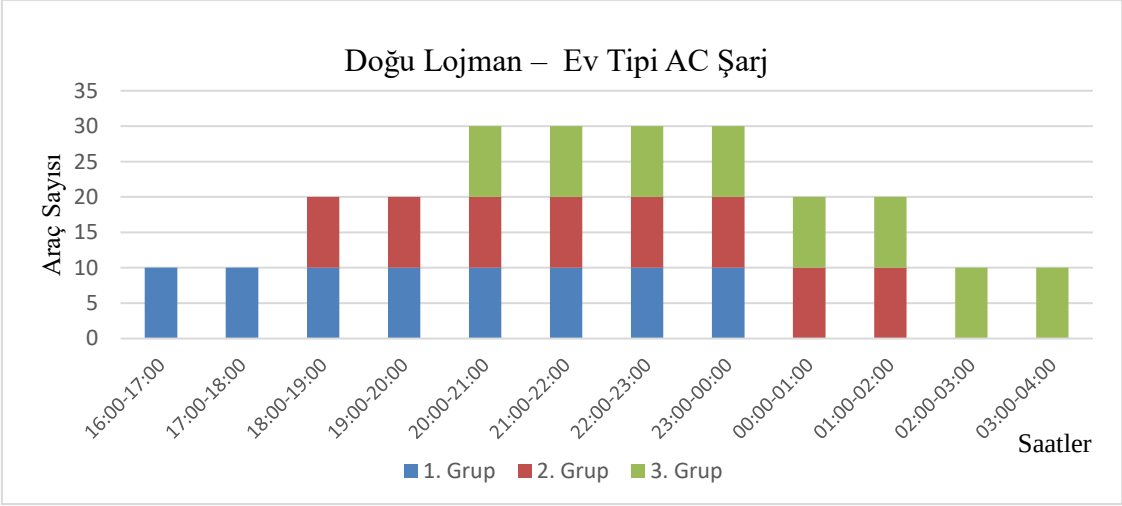
2. Senaryo: Doğu Lojman Trafo Merkezine Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Mevcut Şebeke Sistemine Entegrasyon Modellemesi (AC 11kW):



Şekil 5.18: Matlab/Simulink'te AC EV şarj istasyonu entegrasyon modellemesi

Ev tipi AC modda 30 adet 11kW gücü sahip elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegre edilmesi durumunda sisteme getireceği yük ile birlikte lojman trafo merkezinde dağıtım trafosunun son yük durumu analizi yapılmıştır. Matlab/Simulink ortamında yapılan modellemede lojman sakinlerinin evde olduğu zaman diliminde dağıtım trafosunun yük durumunun en yüksek olduğu saatler dikkate alınmıştır. Modellemede her araç ortalama 8 saat şarjda kaldığı kabul edilmiş olup Matlab/Simulink ortamında tasarlanarak analizleri yapılmıştır.

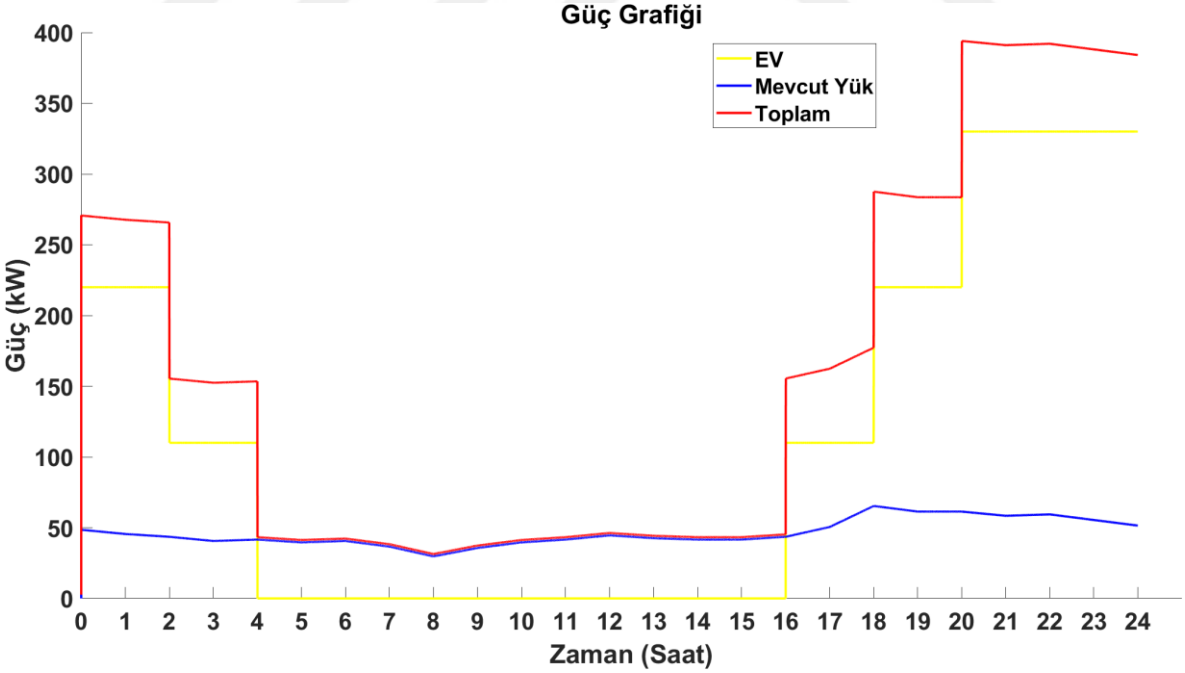
Bu çalışmada üniversite kampüsünün doğu lojmanlarında ikamet eden personellerin 30 adet elektrikli aracının olduğu kabul edilecektir. Her bir grup 10 EV'den oluşmaktadır. Elektrikli araçların sisteme entegrasyonu modellemesinde dağıtım trafosunun yük yoğunluğunun en yüksek olduğu saatler dikkate alınmıştır. Lojman trafo merkezinde 30 aracın 3 farklı grupta sisteme entegre edilmesi Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19: AC şarj istasyonlarında EV'ların sisteme entegrasyon durumu

Şekil 5.19'da ki 30 adet elektrikli aracın ev tipi AC şarj istasyonlarında gün içerisinde gruplar halinde şarj olma saatlerinin sisteme entegrasyon zaman verileri Şekil 5.19'da

gösterilmiştir. 1. Grupta 10 elektrikli araç öğleden sonra saat 16:00'da devreye girip 24:00'da devreden çıkmaktadır. 2. Grupta 10 elektrikli araç akşam saat 18:00'da devreye girip gece 02:00'de devreden çıkmaktadır. 3. Grupta ise 10 elektrikli araç akşam saat 20:00'da devreye girip gece 04:00'de devreden çıkmaktadır. Şekil 5.19'daki verileri Şekil 5.18'deki Matlab/Simulink ortamında modellemeye işlersek Şekil 5.20'de ki güç grafiğini elde ederiz. Bu durumunda günlük toplamda 30 aracın şarj olması durumunda AC ev tipi şarj istasyonlarının sisteme getireceği yük ile birlikte trafoların son yük durumu Matlab/Simulink programında modellenerek analizi yapılmıştır. Modellenen sistemin güç grafiği şekil 5.20'de gösterilmiştir. Güç grafiğinden anlaşılacağı üzere elektrikli araç şarj istasyonu sisteme entegre edildiğinde akşam saat 20:00'da pik yaptığı ve çekilen yükün 392 kW/h olduğu grafikten görülmektedir. Dağıtım trafosundaki yüksek güç tüketimi 20:00-24:00 saatlerinde devam etmekte olup bu zaman dilimindeki durumun, ev tipi AC şarj bağlantısı kuran elektrikli araç sayısından kaynaklandığı görülmektedir. Elektrikli araç sayısındaki artışa bağlı olarak, şebekeden çekilen enerji de benzer oranda bir artış gözlemlenmektedir. Güç grafiğinde görüldüğü gibi, şebekeden çekilen güç toplam güçle eşdeğerdir. Şebekeden talep edilen toplam yük; mesken yükleri, elektrikli araç yükleri ve sistem kayıplarının toplamından oluşmaktadır.



Şekil 5.20: Matlab/Simulink'te 28.01.2024 tarihindeki 24 saatlik AC EV şarj istasyonunun mevcut yük durumuna entegrasyonu grafiği

Lojman trafo merkezi dağıtım trafosu 630 kVA'lık güce sahip olup tüketim değerlerinin en yüksek olduğu zaman diliminde bile elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegre olması durumunda trafo için aşırı yük kapasite artışına sebebiyet vermediği gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen teknolojiyle birlikte dünyada ve ülkemizde her geçen gün popülerliğini ve etkisini artıran elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarının elektrik şebeke sistemine eklenmesi durumunda sabit olmayan bu yük artışlarının sistem kararlılığı açısından şebekeye olası etkileri çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu tez çalışmasında İnönü Üniversitesi merkez kampüsü özelinde mevcut elektrik altyapısı ve elektrikli araç şarj istasyonlarının belirlenen öngörüler doğrultusunda sisteme entegrasyonu durumunda mevcut şebekeye gelecek ekstra yüklerin olası etkileri Matlab/Simülink programı ile farklı senaryolarda tasarlanıp modellenerek şebeke tepkileri analiz edilmiştir. İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından tedarik edilen akıllı şebeke sistemine bağlı kampüs elektrik altyapısında bulunan üç dağıtım trafosunun gerçek zamanlı mevcut verileri kullanılarak şebeke durumu analiz edilmiştir.

İnönü Üniversitesi merkez kampüsündeki mevcut ve ileriki süreçte elektrikli araç sayısını belirlemek için TÜİK verilerinin yanında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun hazırlamış olduğu raporlardan yola çıkılmıştır. Bu kapsamda Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayımlanan Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun (EPDK) Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu raporunda önümüzdeki dönemde 2025 ve 2030 yıllarına ait Türkiye'de ki elektrikli araç sayısı hedefleri belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak İnönü Üniversitesi'ne kayıtlı elektrikli araç sayısı ve üniversite kampüsüne günlük giriş-çıkış yapan misafir araç sayısını TÜİK araç sayısı verilerine oranlayarak üniversitedeki günlük ortalama elektrikli araç sayısı tespit edilmiştir. Yapılan tespit ve oranlamalar sonucu 2024 yılı verilerine dayanarak üniversite kampüsünde günlük ortalama 73 elektrikli aracın olduğu tahmin edilmektedir. Bizim yaptığımız simülasyonda kampüste 3 trafo merkezinde kuracağımız 2 adet DC hızlı şarj ile 30 adet ev tipi AC şarj istasyonuyla 110 araçlık elektrikli araç filosunun Matlab/Simulink ortamında farklı senaryolarda sistem modellemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu modellemede dağıtım trafolarının yük kapasitesinin en yüksek olduğu zaman dilimlerinde şarj istasyonlarının sisteme entegrasyonu durumunda mevcut elektrik dağıtım sistemine herhangi bir olumsuz etkisi görülmemiştir.

Bu çalışmada İnönü Üniversitesi yerleşkesinde 2025 ve 2030 yıllarında olması muhtemel elektrikli araç sayısı tahmin edilmiştir. Matlab/Simulink ortamında 2 adet DC ve 30 adet AC şarj istasyonları modellemesinde sistemin 24 saat tam kapasite çalışması durumunda 282 adet elektrikli aracın şarj olması mümkündür. Bu durumda Sanayi ve

Teknoloji Bakanlığı tarafından yayımlanan Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritasında 2025 yılı için belirlenen hedefin üniversitedeki araç sayısına oranlaması 202 elektrikli araç olup aynı zamanda Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun (EPDK) Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu raporunda 2025 yılı için belirlenen hedefin üniversitedeki araç sayısına oranlaması 182 elektrikli araç olup kampüse kurulacak 2 adet DC ve 30 adet AC şarj istasyonu 2025 yılı elektrikli araç sayısı hedeflerini karşıladığı görülmüştür.

İnönü Üniversitesi merkez kampüsteki günlük elektrikli araç sayısı 2030 yılı hedef oranlarına baktığımızda Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası raporunu kampüs araç sayısına oranlaması 1254 elektrikli araç olduğu ve Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu raporunun ise kampüs araç sayısına oranlaması 842 elektrikli araç olduğu tahmin edilmektedir. Önümüzdeki dönem muhtemel elektrikli araç sayısı tahminlerinin gerçekleşmesi durumunda kampüste ilave DC hızlı şarj istasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak olan ilave şarj istasyonlarının Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılan 3 dağıtım trafosuna eklenmesi durumunda dağıtım trafolarında yüklenme oranlarının limit değerler üzerine çıkarak aşırı yüklenme durumu oluşacaktır. Buda şebekeden çekilen akımın artmasına buda mevcut şebekeyi besleyen elektrik kablolarının akım taşıma kapasitelerinin üzerine çıkmasına sebebiyet verecektir. Mevcut elektrik iletim kablolarının önümüzdeki dönemde ilave gelecek yüklerle beraber akım taşıma kapasitesine göre artırılması elektrik altyapı şebekesinin tekrardan yenilenmesi anlamına gelmekte olup mevcut şartlarda altyapı maliyetleri açısından bu durum çok zor görülmektedir. Elektrik şebeke sisteminin kararlılığı ve sürdürülebilirlik açısından önümüzdeki süreçte sisteme gelecek ilave yüklere karşı bir dizi tedbirlerin alınması elzemdir. Bu kapsamda kampüste bulunan trafo merkezlerine yakın binalarda ve otoparklarda kurulacak PV panelli çatı GES'ler önümüzdeki dönem sistem için alternatif bir enerji kaynağı olarak gösterilebilir. Bu durumda kampüste kurulacak PV panelli GES'ler mevcut şebekenin enerji ihtiyacını büyük oranda karşılayacak olup kampüs elektrik altyapısındaki iletim kablolarının yenilenmesine gerek kalmayacaktır. Bu tez çalışmasında Matlab/Simulink ortamında mevcut şebeke yüklerine göre DC ve AC şarj istasyonlarının yapıldığı simülasyona 2000 m² PV panelli çatı GES'in güç değerleri Malatya ili güneş radyasyon değerleri dikkate alınarak modellemeye işlenmiştir.

Elektrik altyapı şebekesine ileriki süreçte entegre edilecek elektrik şarj istasyonu ve güneş enerji santralleri işlemlerinin düzensiz ve belli bir planlama dahilinde yapılmaması sistemde bulunan bazı dağıtım trafolarında aşırı yüklenme durumunu ortaya çıkaracaktır. Bu durum ayrıca elektrik kablolarında aşırı akım ve aşırı yük termik dayanımı sağlayacak olup kablonun akım eşik değeri aşılarak akım taşıma kapasitesi sınırının üzerine çıkmasına

sebebiyet verecektir. Buda yeraltı elektrik kablolarında aşırı ısınma olarak kayıp güce sebebiyet verecektir. Bu durum şebekede kullanılan yeraltı kablolarında aşınmadan kaynaklı elektrik arızaları ve kesintileri gibi sorunları da beraberinde getirerek şebekenin kararlılığını etkileyecektir. Sürdürülebilirlik ve sistem kararlılığı açısından önümüzdeki dönem yeni yapılacak altyapı yatırımları hesaplamalarında kampüste kurulması muhtemel şarj istasyonlarının da artık dikkate alınması gerekmekte olup sisteme gelecek bu elektriksel sabit olmayan ilave yükün elektrik kablolarının kesiti ve trafo gücünü belirlemesinde önemli bir parametre olduğu gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tez kapsamında yapılan bu çalışmada, 2030 yılında kampüsteki elektrik araç sayılarının belirlenen hedefler doğrultusunda olması durumunda yerleşkenin mevcut elektrik altyapısını sürdürülebilirlik ve sistem kararlılığı açısından incelediğimizde;

- Elektrik altyapı sistemini desteklemeye yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerji santrallerinin kurulması mevcut elektrik şebekeye destek sağlamanın yanında deprem, yangın, sel vb. doğal afetler sonrasında elektrik kesintilerine karşı yerleşkenin elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılabilecektir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonuyla şebekeden çekilen elektriksel gücü azaltacağından maliyet açısından da avantaj getirecek olup enerji ihtiyaçlarının daha güvenilir ve verimli bir şekilde karşılanmasını sağlayacaktır.
- İnönü Üniversitesinde mevcut trafoların güçleri göz önüne alındığında 2030 yılında öngörülen elektrikli araç sayılarının belirlenen hedeflere gelmesi durumunda Matlab/Simulink ortamında modellenen 3 trafo merkezinin dışında 5 farklı trafo merkezine yeni DC şarj istasyonu kurulması durumunda mevcut altyapının yeterli olacağı ve elektrikli araçların sorunsuz bir şekilde şarj olabileceği düşünülmektedir.
- Kampüste kurulacak elektrikli araç şarj istasyonlarının yardımıyla ilerleyen süreçte V2G teknolojisinin daha da gelişmesiyle beraber kampüste bulunan elektrikli araçlar ihtiyaç halinde bataryalarında depolanmış oldukları enerjiyi şebekeye doğru aktararak uzun süre elektrik kesintilerine karşı şebekenin bir parçası haline gelerek sistem kararlılığı açısından şebekenin dengelenmesine katkı sağlayabilecektir.

Bu çalışma kapsamında, Matlab/Simulink ortamında yapılan bu modellemenin hayata geçmesi aynı zamanda İnönü Üniversitesi kampüsünde devam eden Yeşil Kampüs çalışmalarına da destek verecektir. Bu çalışma aynı zamanda elektrikli araç şarj istasyonlarının farklı lokasyonlar da akıllı şebeke sistemine entegrasyonu konusunda benzer bilimsel çalışma yapmak isteyen pek çok kişiye ilham kaynağı olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Yağcıtekin, B.** (2014). Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Tasarımı ve Akıllı Şarj Sisteminin Geliştirilmesi (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] **Kaya, R.** (2022). Elektrikli Araçların Şehir Şebekesine Entegrasyonu Mardin Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.

[3] **Avci, E.** (2022). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Akıllı Şebekelerle Entegrasyonunun Sağlanması ve Bu İstasyonların Şebekeye Getireceği Yükün İncelenmesi: Bursa Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

[4] **Sen, Y. R.** (2019). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesi Modellemesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] **Ünsal, A. B.** (2018). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebekeye Entegrasyonu, Modellemesi ve Güç Akış Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] **Yıldızhan, D., Erenoğlu, A. K. ve Erdinç, O.** (2022). Elektrikli Araç Entegrasyonunun Dağıtım Sistemine Etkilerinin İncelenmesi ve Şarj İstasyonu Altyapısının Tayin Edilmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1232-1242. https://doi.org/10.21923/jesd.1113644

[7] **Sarıkaya, T.** (2016). Akıllı Şebekelerde Ev Enerji Yönetim Sistemi Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] **Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, İstanbul Kalkınma Ajansı .** (2021). İstanbul İli Elektrikli Araçlar İçin Şarj İstasyonu Kurulumu Ön Fizibilite Raporu. İstanbul: İSTKA Kurumsal Raporu.

[9] **Akçin, M., Alagöz, B. B., Keleş, C., Karabiber, A. ve Kaygusuz, A.** (2013). Dağıtık Kontrol ile Akıllı Şebekelerde Geniş-Alan Yönetimi ve Geleceğe Dönük Projeksiyonlar. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17. Cilt, 3. Sayı, S. 457-470

[10] **Gao, J., Xiao, Y., Liu, J., Liang, W., ve Chen, C. L. P.** (2012). A survey of communication/networking in Smart Grids. Future Generation Computer Systems, 28(2), 391-404. https://doi.org/10.1016/j.future.2011.04.014

[11] **Yenilmez, M.** (2016). Akıllı Şebekelerde (Smart Grid) Dağıtım Sistem Otomasyondaki Gelişmeler (Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük.

[12] **Baloğlu, U. B.** (2017). Akıllı Şebekelerde Hesapsal Yöntem Uygulamaları (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[13] **Çetinkaya, H. B.** (2009). Akıllı Şebeke Teknolojisi Smart Grid.Siemens. Rüzgar ve Güneş Santrallerinin Şebeke Bağlantısı ve Ekonomik Sorunlar Paneli, ODTÜ, Ankara, Türkiye: Şubat 2009

[14] **LOGGMA.** Akıllı Şebeke Teknolojileri Enerji Verimliliği ve Güvenilirliği Nasıl Artırır? Erişim: 11 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://loggma.com/akilli-sebeke-teknolojileri-enerji-verimliligi-ve-guvenilirligi-nasil-artirir/

[15] **HedefFilo.** Elektrikli Araç Tarihçesi. Erişim: 12 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://ev.hedeffilo.com/elektrikli-arac-tarihcesi

[16] **Wikipedia.** TOGG - Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu. Erişim: 12 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Togg#:~:text=T%C3%BCrkiye'nin%20Otomobili%20Giri%C5%9Fim%20Grubu,seri%20%C3%BCretime%20haz%C4%B1r%20h%C3%A2le%20getirdi.

[17] **Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu.** TOGG. Erişim: 12 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.togg.com.tr/

[18] **TOGG T10X Katalog.** (2025). ToggT10XKatalog.

[19] **Muratoğlu, Y. ve Alkaya, A.** (2016). Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik Mühendisliği Dergisi Sayı:458, S. 10-14

[20] **Renault.** Renault E-Tech Elektrikli Bataryaları Hakkında Bilmeniz Gereken Her Şey. Erişim: 10 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.renault.com.tr/e-tech-elektrikli/batarya.html

[21] **Kolay Şarj.** (2023). Elektrikli Araç Kontrol Sistemleri ve Üniteleri 2023. Erişim: 10 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://kolaysarj.com/elektrikli-arac-kontrol-sistemleri-ve-uniteleri-2023/

[22] **Hedef Filo.** Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri: Elektrikli Araba Nasıl, Nerede ve Ne Kadara Şarj Edilir? Erişim: 10 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://ev.hedeffilo.com/ev-nedir/elektrikli-araclarda-sarj

[23] **Karapinar, F. ve Daldaban, F.** (2022). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 38. Cilt, 3. Sayı, S. 549-556

[24] **Wikipedia.** SAE J1772 Standardı. Erişim: 13 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772

[25] **Wikipedia.** IEC 61851 Standardı. Erişim: 13 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61851

[26] **Hedef Filo .** Elektrikli Araç Şarj Soketi ve Çeşitleri. Erişim: 10 Ocak 2025, [Çevrimiçi] . Erişim adresi: https://ev.hedeffilo.com/ev-gundem/blog/elektrikli-arac-sarj-soketi-ve-cesitleri

[27] **Tesla.** Tesla EV . Erişim: 13 Ocak 2025, [Çevrimiçi] . Erişim adresi: https://www.tesla.com/tr_tr

[28] **Verim, İ., Acarkan, B., Yağcitekin, B., Uzunoğlu, M.** (2013). Elektrikli Araçların Dağıtılmış Enerji Üretim/Depolama Sistemi Olarak Değerlendirilmesi. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye: 23-24 Mayıs

[29] **Hedef Filo .** V2G. Erişim: 16 Ocak 2025, [Çevrimiçi] . Erişim adresi: https://ev.hedeffilo.com/ev-gundem/blog/v2g-vehicle-to-grid-nedir

[30] **İnönü Üniversitesi.** İnönü Üniversitesi Hakkında. Erişim:27 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.inonu.edu.tr/

[31] **TÜİK.** (2024, Ekim). TÜİK 2024 Yılı Araç Sayısı. Erişim:27 Ocak 2025, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.tuik.gov.tr/

[32] **Global Solar Atlas .** Malatya Güneş Atlası . Erişim: 29 Ocak 2025, [Çevrimiçi] . Erişim adresi: https://globalsolaratlas.info/map

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Mehmet GÜNDEM

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2009, İnönü Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** **:** 2025, İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri

MESLEKİ DENEYİM:

- 2009-2010 Malatya Belediyesi – Bilgi İşlem Müdürlüğü
- 2010-2012 İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı Kontrol Mühendisi
- 2012- Devam Ediyor – Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı – Malatya – Mühendis – FSMH Danışmanı

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR:

1- 2.Uluslararası İyonya Bilimsel Araştırmalar Kongresi
Bildiri 1- İnönü Üniversitesi Akıllı Şebeke Sisteminde Bulunan Dağıtım Trafolarının Güneş Enerji Sistemine Entegrasyonu Durumunda Şebeke Yük Analizi: Mühendislik Fakültesi Trafosu Örneği

2- 2.Uluslararası İyonya Bilimsel Araştırmalar Kongresi

Bildiri 2- İnönü Üniversitesi Rektörlük Trafo Merkezi Dağıtım Trafosuna Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Entegrasyonu Durumunda Trafo Uygunluk Analizi