T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEBEKE ALTYAPISI İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ SANTRALLERİNİN ŞEBEKE ENTEGRASYONU VE KORUMA SİSTEMİ DİZAYNI

Mehmet Tan TURAN

DOKTORA TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Erdin GÖKALP

Temmuz, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEBEKE ALTYAPISI İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ SANTRALLERİNİN ŞEBEKE ENTEGRASYONU VE KORUMA SİSTEMİ DİZAYNI

Mehmet Tan TURAN tarafından hazırlanan tez çalışması 02.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Erdin Gökalp
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Erdin GÖKALP, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Recep YUMURTACI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Aslan İNAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR, Üye
İstanbul Gelişim Üniversitesi _____

Prof. Dr. Osman KILIÇ, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erdin GÖKALP sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Akıllı Şebeke Altyapısı ile Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonu ve Koruma Sistemi Dizaynı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet Tan TURAN

İmza

Aileme

ve

biricik eşime

TEŞEKKÜR

Gelişmekte olan yeni nesil enerji üretim ve dağıtım sistemlerinin meydana getirmekte olduğu şebekelerin yenilenme ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Meydana gelen şebeke ihtiyaçları doğrultusunda, şebeke bileşenlerinin gelecek nesil üretim ve tüketim birimlerine uygun hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yeni nesil enerji üretim sistemleri daha çok yenilenebilir enerji kaynakları tabanlı sistemlerdir. Bu sistemlerin sağlamış olduğu temiz ve yenilenebilir enerji beraberinde düzensiz üretim karakterleri dolayısıyla şebeke üzerinde negatif etki meydana getirmektedir. Yeni nesil tüketim ünitelerinden elektrikli araçların şebeke üzerinde oluşturacağı etki de bu bağlamda incelenmesi gereken ana hatları oluşturmaktadır.

Yeni nesil şebeke bileşenlerini ele aldığımızda tüm bu ihtiyaca cevap verebilecek güvenilir ve akıllı şebeke altyapısı ile bütünleştirilmiş bir sistem oluşturulması gerekmektedir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında akıllı şebeke altyapısı kullanılarak mikro şebekelerde, yeni nesil üretim ve tüketim sistemlerinin entegre edilmesi ile oluşan etki incelenmiş olup, üretim ve tüketim üniteleri optimal boyutlandırılarak şebeke üzerindeki oluşan etkinin minimize edilmesi sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen tez çalışması süresince, değerli bilgi ve görüşleri ile tez çalışmasına ışık tutan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erdin GÖKALP'e , Sayın Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ'e, Sayın Öğr. Gör. Dr. Yavuz ATEŞ'e, her zaman desteklerini sunan ve yanımda olan aileme ve biricik eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Tan TURAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Orijinal Katkı 6

2 AKILLI ŞEBEKELER 9

2.1 Akıllı Şebekelere ait Genel Tanım ve Kriterler 9
2.2 Mikro Şebekeler 15
2.3 Yenilenebilir Enerji Santralleri 20

3 ELEKTRİKLİ ARAÇLAR 26

3.1 EA'lara ait Temel Bileşenler ve Genel Tanım 26
3.2 EA'ların Şebeke Üzerindeki Etkisi 29
3.3 EA'ların Gelecek Vizyonu 30

4 AKILLI ŞEBEKE ALTYAPISI İLE EA VE GES ENTEGRASYONU 32

4.1 GES Şebeke Entegrasyon Kriterleri 32
4.2 EA'ların Şebeke Entegrasyon Kriterleri 36
4.3 EA ve GES'lerin Eş zamanlı Şebeke Entegrasyon Metodolojisi 38
4.4 Koruma Sisteminin Adaptif Çalışma Kriterleri 40

5 BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLAR 43

5.1 Sistem Modellemesi ve Akış Şeması 44
5.2 Senaryo 1 Sistem Modeli ve Sonuçlar 46
5.3 Senaryo 2 Sistem Modeli ve Sonuçlar 54
5.4 Senaryo 3 Sistem Modeli ve Sonuçlar 64

5.5 Senaryo 4 Sistem Modeli ve Sonuçlar 74
5.6 Senaryo 5 Sistem Modeli ve Sonuçlar 82
6 SONUÇ VE ÖNERİLER **95**
KAYNAKÇA **99**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **106**

SİMGE LİSTESİ

A	Akım
P	Aktif Güç
Idc	DC Akım
Vdc	DC Gerilim
Pdc	DC Güç
V	Gerilim (volt)
PF	Güç Faktörü
Isc	Kısa Devre Akımı
MVAsc	Kısa Devre Gücü
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt Saat
Imax	Maksimum Akım Değeri
Vdc MAX	Maksimum DC Gerilim
Vmax	Maksimum Gerilim Değeri
Smax	Maksimum Görünür Güç
Pfmax	Maksimum Güç Faktörü
Isc max	Maksimum Kısa Devre Akımı
MW	Megawatt
MWh	Megawatt Saat
W/m2	Metrekare Başına Enerji Miktarı
kWh/m2	Metrakare Başına Enerji Üretimi
Vmin	Minimum Gerilim Değeri
Pfmin	Minimum Güç Faktörü
Isc min	Minimum Kısa Devre Akımı
Q	Reaktif Güç
R	Rezistans Değeri
Ip	Röle Çalışma Akımı
Tp	Röle Çalışma Zamanı
FLA	Tam Yük Akımı
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
USD	Amerikan Doları
DOE	Department of Energy
DC	Doğru Akım
EPRI	Electric Power Research Institute
ETAP	Electrical Transient Analyzer Programme
EA	Elektrikli Araç
PV	Fotovoltaik
GAMS	Global Algebraic Modeling System
GES	Güneş Enerji Santrali
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LIB	Lityum İyon Batarya
KZP	Koordinasyon Zaman Payı
RES	Rüzgar Enerji Santrali
SR	Solar Radyasyon
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YES	Yenilenebilir Enerji Santrali
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Konvansiyonel Şebeke Prensip Şeması 10
Şekil 2.2 Akıllı Şebeke Prensip Şeması [52] 10
Şekil 2.3 Çift Yönlü Haberleşme ve Güç Sistemleri [53] 11
Şekil 2.4 Akıllı şebeke altyapısına ait prensip şeması [54] 13
Şekil 2.5 Mikro şebeke modeli [56] 16
Şekil 2.6 Mikro şebekeler ile dağıtım şebekeleri 17
Şekil 2.7 Kule tipi GES prensip şeması [63] 21
Şekil 2.8 PV sistemlere ait şema [64] 22
Şekil 2.9 Yıllık bazda YES teknolojisi ve bölgesel değişim [67] 23
Şekil 2.10 Gelecek 15 yıla ait enerji kaynakları kullanım tahmini [68] 24
Şekil 3.1 Tam elektrikli tip EA modeli [69] 27
Şekil 3.2 EA bataryalarının zamanla değişimi [70] 29
Şekil 3.3 EA gelecek kullanım beklentisi [72] 31
Şekil 4.1 Şebekeden bağımsız GES modeli 33
Şekil 4.2 Şebeke ile paralel çalışan GES modeli 33
Şekil 4.3 GES entegrasyon algoritması 36
Şekil 4.4 EA şarj istasyonu entegrasyon algoritması 38
Şekil 4.5 EA ve GES entegrasyonuna ait akış şeması 39
Şekil 4.6 Adaptif koruma algoritması [78] 42
Şekil 5.1 GES ve EA modelleme algoritması 44
Şekil 5.2 GES prensip şeması 45
Şekil 5.3 IEEE 9 baralı test sistemi 47
Şekil 5.4 GES bağlantı şeması 47
Şekil 5.5 IEEE 9 baralı sistem ve GES modeli 49
Şekil 5.6 Koruma sistemi akış şeması 53
Şekil 5.7 IEEE 13 baralı test sistemi 55
Şekil 5.8 GES entegrasyonu sağlanmış şebeke modeli 57
Şekil 5.9 IEEE 13 baralı test sistemi tek hat şeması 65
Şekil 5.10 EA ve GES'lere ait tek hat şeması 65
Şekil 5.11 EA günlük tüketim profili 68

Şekil 5.12 GES ve EA üretim-tüketim profilleri 69
Şekil 5.13 633 nolu baraya ait gerilim regülasyonu 70
Şekil 5.14 633 nolu bara ana besleme fiderine ait aktif güç kayıpları 70
Şekil 5.15 675 nolu baraya ait gerilim regülasyonu 71
Şekil 5.16 675 nolu bara ana besleme fiderine ait aktif güç kayıpları 71
Şekil 5. 17 671 nolu baraya ait gerilim regülasyonu 72
Şekil 5.18 671 nolu bara ana besleme fiderine ait aktif güç kayıpları 73
Şekil 5.19 EA park alanına ait enerji alım satım değişimi 74
Şekil 5.20 13 baralı test sistemi ve entegrasyon barası 75
Şekil 5.21 EA tüketim profili 77
Şekil 5.22 GES ve EA tüketim değişimi 78
Şekil 5.23 Şebeke enerji alış ve satış değişimi 79
Şekil 5.24 Ana iletim hattına ait hat kayıpları 80
Şekil 5.25 Ana şebeke fiderine ait akım değişimi 81
Şekil 5.26 Şebeke gerilim regülasyonuna ait değişim 81
Şekil 5.27 YTÜ Davutpaşa Kampüsü dağıtım sistemi 83
Şekil 5.28 Tipik fakülte bağlantı şeması 84
Şekil 5.29 EA tüketim parametreleri 87
Şekil 5.30 EA entegrasyonunun şebeke üzerindeki etkisi 87
Şekil 5.31 Gerilim regülasyonuna ait değişim 89
Şekil 5.32 Fakültelere ait gerilim regülasyonu 90
Şekil 5.33 Röle çalışma sürelerinin değişimi 94

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Akıllı şebeke ve konvansiyonel şebekelerin farkları [1] 15
Tablo 3.1 EA'larda kullanılan batarya çeşitleri [70] 28
Tablo 5.1 EA profiline ait güç bilgileri [81] 46
Tablo 5.2 PV panel parametreleri [82] 48
Tablo 5.3 PV modül parametreleri 48
Tablo 5.4 İnverter dizayn parametreleri 48
Tablo 5.5 Kısa devre minimum ve maksimum değerleri 50
Tablo 5.6 Röle açma akım (Ip) değerleri 51
Tablo 5.7 Röle zaman sabiti (Tp) değerleri 52
Tablo 5.8 Sistem arıza müdahale süresi 53
Tablo 5.9 Şebeke model parametreleri 55
Tablo 5.10 Şebeke modeline ait yük ve kapasitör parametreleri 56
Tablo 5.11 PV modül parametreleri 57
Tablo 5.12 Hesaplanan kısa devre maksimum seviyeleri 58
Tablo 5.13 Hesaplanan kısa devre minimum seviyeleri 58
Tablo 5.14 Hesaplanan rölelere ait çalışma akımları 59
Tablo 5.15 Koruma sisteminde yer alan rölelere ait parametreler 62
Tablo 5.16 Koruma sistemi cevap süreleri 63
Tablo 5.17 PV modül parametreleri 66
Tablo 5. 18 İnverter parametreleri 66
Tablo 5.19 Güneş Radyasyonu ve Üretim Değerleri 67
Tablo 5.20 Yaz ve kış dönemlerine ait ortalama güç ve radyasyon verileri 76
Tablo 5.21 GES ve EA kapasiteleri 85
Tablo 5.22 PV panel parametreleri [84] 86
Tablo 5.23 Güneş radyasyonu verileri 86
Tablo 5.24 Maksimum ve minimum kısa devre akımları 91
Tablo 5.25 Koruma sistemi ayar değerleri 92
Tablo 5.26 Koruma sistemi çalışma süreleri 93

ÖZET

Akıllı Şebeke Altyapısı ile Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonu ve Koruma Sistemi Dizaynı

Mehmet Tan TURAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdin GÖKALP

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımında Tesla'dan bu yana kullanılmakta olan teknoloji, 21. yüzyıla ait yeni nesil bileşenlerin eklenmesi ile birlikte hızlı bir değişim sürecine girmiştir. Geleneksel üretim santrallerinin kullanımının devam etmesi ile birlikte yeni nesil üretim tesisleri olarak kabul edilen yenilenebilir enerji santrallerinin şebeke entegrasyonu ile birlikte, yenilenebilir enerji santrallerinin değişken üretim profili dolayısıyla şebeke üzerinde oluşan etkinin düzeltilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji santrallerinden olan güneş enerji santrallerinin üretim profili hava şartları, mevsimsel etki ve güneş radyasyon verilerine göre gün içerisinde değişim göstermektedir. Bu etkilerden kaynaklı değişken üretimin şebeke üzerindeki gerilim regülasyonuna olan etkisini minimize etmek için boyutlandırma ve konumlandırma çalışmalarının optimal şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Diğer yandan, yeni nesil tüketiciler içerisinde önemli bir yer edinmesi beklenen elektrikli araçların değişken tüketim profilinin şebeke üzerinde oluşturacağı etki incelenmeli ve şarj istasyonlarının kapasite tayini bu parametreler göz önüne alınarak gerçekleştirilmelidir. Güneş

santrallerinin konumlandırılacağı alanlarda mikro şebekeleri göz önüne aldığımızda santrallerin ve elektrikli araçların şebeke üzerinde oluşturacağı etkinin genliği daha yüksek olacaktır. Bu bağlamda, mikro şebekelerde gerçekleştirilecek olan güneş santrali ve elektrikli araç şarj istasyonları entegrasyonu şebeke üzerinde daha büyük etki oluşturacak ve daha optimal bir çözüm sunularak boyutlandırma ihtiyacı ortaya çıkaracaktır. Boyutlandırma çalışmaları esnasında gerçekleştirilecek olan optimizasyon çalışmaları ile mikro şebekelerde gelecek nesil üretim ve tüketim ünitelerinin şebeke ile sorunsuz çalışması sağlanabilecektir.

Gerçekleştirilen tez çalışması ile mikro şebekelerde gerilim regülasyonunu stabil hale getirmeyi amaçlayan elektrikli araç ve güneş enerji santrali boyutlandırma ve konumlandırma optimizasyonu sunulmuştur. Çalışmada güneş santrali modellemesi gerçekleştirme aşamasında fiziksel ve elektriksel limitler baz alınarak nominal kapasite kullanımı öngörülmüştür. Mikro şebekelerde güneş santrallerinin olası etkilerinin incelenmesi ve optimal boyutlandırma kriterleri baz alınarak güneş santrali entegrasyonu aşamalarının şebeke üzerinde oluşturduğu etkinin gerilim regülasyonu üzerindeki etkisinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Değişken profilli tüketicilerin mikro şebeke üzerinde olan etkisinin güneş santrali ile birlikte azaltılması amaçlanarak bu alanda katkı sağlanılması öngörülmüştür.

Mikro şebeke modeli üzerinde analiz gerçekleştirilebilmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'ne ait dağıtım şebekesi modellenmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması olarak çatı tipi güneş santralleri ve elektrikli araç modelleri oluşturulup benzetim ortamına aktarılmıştır. Oluşturulan benzetim modeli üzerinde değişken profilli üretim ve tüketim ünitelerinin şebeke gerilim regülasyonu üzerindeki etkisi senaryo tabanlı olarak incelenmiş ve sonuçlar bu parametrelere göre değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeler, elektrikli araçlar, güneş enerji santralleri, mikro şebekeler.

ABSTRACT

Grid Integration of Renewable Energy Power Plants and Protection System Design with Smart Grid Infrastructure

Mehmet Tan TURAN

Department of Electrical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Erdin GÖKALP

The technology of electrical energy production, transmission and distribution which has been used since Tesla is on the process of rapid change with integration of 21st century new generation components. The integration of new generation renewable energy power plants on the network causes disturbance on the distribution network which has to be eliminated along with the remaining operation of conventional power plants. Energy production of the solar power plants which are considered as a renewable energy power plants, depends on the weather conditions, seasonal effects and solar radiation data which causes a variable production even during the day time operation. Sizing studies and location analysis are required to be conducted and optimized to minimize the effect of variable production of solar power plants on the distribution network voltage regulation. On the other hand, the effect of electric vehicles which are considered as a major component of new generation consumers with variable consumption profile on the voltage regulation of the distribution network should be assessed carefully. The sizing studies should be conducted for electric vehicle charging stations to avoid distortion on the voltage regulation as well. The magnitude of the effect of electric vehicle charging stations and solar power plants

would be higher on the microgrids. In that case, sizing and optimization studies become much more important due to requirement of optimization of solar power plants and electric vehicle charging stations on microgrids. Optimization studies are expected to lead to proper operation of new generation electric network components during sizing studies of proposed network components.

The thesis study includes sizing and optimization studies of electric vehicle charging stations and solar power plants on the microgrids with the aim of stabilization of voltage regulation. The modeling stage of the solar power plants are realized with consideration of nominal capacity usage for solar power plants while considering physical and electrical limitations of the microgrids. The effect of solar power plants on the voltage regulation of microgrids are aimed to be minimized with proposed sizing methodology. The effect of variable consumption profile of electric vehicles on voltage stability is aimed to be eliminated using the solar power plant generated energy and it is aimed to provide contribution on the study field.

The distribution network of Yildiz Technical University Davutpasa Campus is modeled as a microgrid in simulation environment. As the second stage of the study, roof type solar power plants and electric vehicle charging stations are modeled and transferred into simulation environment. The designed simulation environment is investigated for voltage stability impact of variable production and consumption characteristics based on scenarios where the results are discussed considering the simulation parameters.

Keywords: Smart grids, electric vehicles, solar power plants, microgrids.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Elektrik enerjisi, gelişmekte olan teknoloji ile birlikte en çok değişim gösteren alanlar içerisinde yer almaktadır. Elektrik enerjisinin üretim ve dağıtım sistemleri ele alındığında, alternatif akım (AC) güç sistemlerinde elektrik enerjisi teknolojisinin içerisinde bulunduğu değişim süreci birçok iyileştirme ve avantajı da beraberinde getirmektedir. Bunun avantajların yanında, yeni nesil üretim ve tüketim tesislerinin karakteristikleri dolayısıyla, yeni nesil bileşenlerin mevcut şebeke ve bileşenler üzerinde bir negatif etki yaratma durumu ortaya çıkmaktadır.

20. yüzyılda kullanılmakta olan elektrik enerjisine ait sistemler temel olarak Nikola Tesla tarafından 1888 yılında tasarlanıp 1896 yılında hayata geçirilen tasarımlara dayanmaktadır [1]. Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım bileşenlerini ele aldığımızda gelişmekte olan teknolojinin, 20. yüzyılın başından itibaren kullanılan tasarımı etkilemesi kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Geleneksel olarak elektrik üretiminde yer alan hidrolik ve termik santraller baz yükü karşılamakla birlikte kaynaklara yakın konumlandırma stratejisi ile dizayn edilmişlerdir. Kaynakların tüketim alanlarına uzak olmasının yaratmış olduğu iletim hatlarına ait ihtiyaçlar ve kaynakların sınırsız olmaması, bu alanda temel problemleri teşkil etmektedirler. Yeni nesil yenilenebilir enerji santrallerinin (YES) kullanımının artması ile birlikte, santral çeşitliliği ve şebeke kompleksliği de paralel olarak artış göstermektedir. Aynı zamanda, YES kullanımının artması karbon emisyonunun düşürülmesinin en etkin yolu olarak görülmektedir [2]. Bu bağlamda, ortaya çıkan karmaşayı gidermek adına akıllı şebeke modelleri önemli bir çözüm metodu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüketim tarafından baktığımızda ise yeni nesil tüketim ünitelerinin başında elektrikli araçların (EA) gelmesi öngörülmektedir. Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI) tahminine göre 2050 yılında EA kullanımının %62'ye ulaşması öngörülmekte iken İngiltere'de yapılan araştırmada araç

sahiplerinin %80'i EA kullanımına geçmek istemektedir [3], [4]. EA'ların kullanımının artması ile birlikte şebeke üzerinde yüksek derecede bir etki oluşturması öngörülmektedir [5]. EA'ların değişken karakteristikleri, farklı marka ve modellerin çeşitliliği bu etkiyi arttırıcı yönde etki edecektir [6].

Bu aşamada, EA ve YES'lerin entegre edilecekleri şebeke üzerinde oluşturacakları etkinin incelenmesi öncelikli hale gelmektedir. EA'ların artan kullanımı ve şehir içerisinde kullanıma uygun YES tipi olan güneş enerji santrallerinin (GES) artışı öngörülmeli ve akıllı şebeke altyapısı ile şebeke bu entegrasyona hazır hale getirilmelidir. Burada EA park alanlarının birer şarj istasyonu olarak kullanılacağı ve büyük otoparklarda yüzlerce aracın farklı şarj güçleri ile şebekeye bağlanabileceği göz önüne alınmalıdır [7]. Bu bağlamda EA park alanlarının bu yüke cevap verebilecek şekilde dizayn edilmesi ve şebekeye olan etkisinin incelenmesi elzemdir [8]. EA'ların artan kullanımı ve şebekeye binen ek yükü göz önüne aldığımızda EA park alanları için GES kullanımı ve talebin azaltılması uygun bir çözüm olarak görülmektedir [9]. GES entegrasyonu ile birlikte şebeke kayıplarının azaltılması, gerilim regülasyonun düzeltilmesi ve ekonomik avantaj sağlanması ana avantajlar olarak sıralanmaktadır [10].

Şebeke yönünden GES ve EA şarj istasyonu entegrasyonunu incelediğimizde, EA' ların düzensiz ve tahmin edilmesi zor tüketim profili ile düzensiz GES üretiminin optimize edilmesi problemi ortaya çıkmaktadır. GES'lerin düzensiz ve kesintili üretim profili de entegrasyon öncesinde değerlendirilmelidir[11]. Büyük güçlü şebekelerde bu problem daha az etki oluştururken, gelecekte kullanımının artması öngörülen dağıtık üretim tesisleri içeren mikro şebekelerde bu etki çok daha yüksek seviyede olacaktır. Küçük ölçekli mikro şebekelerde EA ve GES'lerin kullanımı ile şebeke üzerindeki gerilim regülasyonun etkilenmesi üst seviyede olacaktır [12]. Bu bağlamda, GES ve EA entegrasyonun optimize edilmesi ve ortaya çıkan problemlerin çözümü için akıllı şebeke teknolojisi kullanımı tavsiye edilmektedir [13]. Başlıca çözülmesi gereken problemlerden olan ve büyük önem arz eden gerilim stabilitesi problemine literatürde değinilmiştir [14].

Literatürde EA entegrasyonu ile ilgili olarak birçok sayıda çeşitli farklı yaklaşımlar sunan çalışmalar mevcuttur. Bazı çalışmalarda EA entegrasyonu sonucu oluşan

talebi dengelemek yolu ile şarj sürelerini limitleme yaklaşımı ve enerji yönetim sistemi ile araçlarda öncelikli şarj sistemi kullanılarak talebin azaltılması yoluna gidilmesi önerilmiştir [15]. Enerji yönetim sistemi ile oyun teorisi kullanılarak şarj ihtiyacının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım [16] ile akıllı enerji yönetim sistemi kullanılarak kapasite limitlenmesi yaklaşımları da diğer bir çözüm olarak sunulmuştur [17]. EA park alanlarının enerji maliyet düşümü amacı ile GES ile enerjilendirilmesi ve güvenilirlik analizleri ile birlikte gerçek zamanlı enerji yönetimi algoritması kullanımı önerilen çözümler arasında yer almaktadır [18], [19], [20].

Gelecekte EA ve GESlerin şebeke entegrasyonunun yüksek seviyeye ulaşması öngörülmektedir. Ancak, bu seviyeye ulaşılmadan önce EA ve GES entegrasyon çalışmaları planlı bir şekilde optimizasyon çalışmaları ile analiz edilip, şebeke üzerinde etki oluşturmadan gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda, literatürde yer alan yüksek kapasiteli entegrasyon analizleri [21], [22] ile birlikte EA şarj koordinasyonu sağlanarak regülasyonun stabil hale getirilmesi [23] ve şarj operasyon sürelerinin optimizasyonu ile birlikte çözümler sunulmuş iken [24] EAların şebeke üzerindeki etkileri de araştırmalarda yer almıştır [25].

EAların şarj istasyonuna eş zamanlı gelmesi durumunda oluşacak olan güç talebinin mikro şebekeler üzerinde oluşturacağı etki yüksek seviyede olacaktır [26]. Literatürde anlık pik güç talebini elimine edebilmek için sunulmuş olan optimizasyon metodları yer almaktadır [27], [28], [29]. Ancak bu metodların uygulanması durumunda araçların şarj süresinin uzaması gibi istenilmeyen yan etkiler meydana gelmekte ve verimlilik düşüşüne neden olmaktadır. EAların şebeke üzerinde oluşturduğu etkiyi limitlemek üzere, EA şarj sürelerini kısıtlama tabanlı yaklaşımlar literatürde yer almaktadır [30], [31], [32]. Kullanılan diğer bir yaklaşım ise EA entegrasyonunun sürücülerin sosyo ekonomik faktörlerinin dikkate alınması ve şarj istasyonu boyutlandırmasının bu kriterlere göre gerçekleştirilmesidir [33]. Kontrol ve operasyon algoritması tabanlı yaklaşımlar ise ek haberleşme ve kontrol sistemleri gereksinimi ortaya çıkarmaktayken sosyo ekonomik faktörlere göre boyutlandırma ve dizayn yaklaşımının sürdürülebilirlik analizi literatürde yer almaktadır [34], [35]. GES entegrasyonu ile EA şarj

istasyonunu besleyecek olan dağıtım hatları ve trafoların kayıplarının azaltılması [36], şebeke üzerinde oluşan etkilerin incelenmesi [37], mikro şebekelerde fotovoltaik (PV) panellerin kullanımının etkisinin incelenmesi [38] ve sistemin ekonomik etkileri çeşitli çalışmalarda yer almaktadır [39].

Şebekelerde meydana gelen değişim temel olarak çevresel kaygılar ve ekonomik avantajlar sonucunda artmakta olan YES entegrasyonu ile oluşmaktadır. Entegrasyon aşamasının sağlanmasından önce gerçekleştirilmesi gereken analizler bu noktada önem taşımaktadır [40]. EA şarj istasyonlarında tüketim talebinin eşzamanlı artması öngörülmekle birlikte, oluşan pik yükleri ortadan kaldırmak için şarj süresinin zamana yayılması ve kontrol metodolojisi ile birlikte pik yüklerin ortadan kaldırılması çalışmaları gerçekleştirilmektedir [41], [42]. Bu kontrol algoritmalarının optimize edilmesi ile birlikte yüksek seviyede EA entegrasyonu, şebeke üzerinde etkilerin azaltılması ve YES kullanımı ile pik yüklerin azaltılmasına yönelik çalışmalar da bu alanda yer almaktadır [43], [44], [45], [46]. Kontrol algoritmaları ile şarj süresinin ayarlanması sonucunda akıllı şarj istasyonları olarak tanımlanan yapılar ortaya çıkmakta [47] ve bu şarj istasyonlarının optimize edilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir [48], [49]. EA şarj istasyonlarının YES ile birlikte koordine edilmesi, dağıtık üretim altyapısı ile sistem bileşenlerinin eşzamanlı çalışması planlanan operasyon algoritmaları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır [50], [51]. Ancak bu alanda kullanılan kontrol algoritmaları, araçları şarj süresi için sıralama tabanlı olduğundan dolayı, şarj süresinin uzamasına neden olmaktadır.

YES'lerin EA şarj istasyonu entegrasyonu ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen, bu çalışmaların çok azında YES ünitelerinin öncelikli olarak EA tüketim talebini karşılayıp, yeni nesil tüketim ihtiyacına karşılık vererek şebeke üzerinde oluşan etkinin minimize edilmesi analiz edilmiştir. Tez çalışması ile EA şarj istasyonları ile bütünleşik GES boyutlandırması ve optimizasyonu gerçekleştirilmiş olup, mikro şebekelerde oluşturmuş oldukları etki incelenmiş, sistem gerilim regülasyonunun en kötü senaryolarda stabil kalması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu sayede, mikro şebeke stabil hale getirilmiş, GES'ler optimal boyutlandırılmış, EA

şarj kapasitesi maksimum düzeye getirilmiş ve şebeke bileşenlerinin güç kayıpları azaltılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Endüstriyel gelişmenin ana taşıyıcısı olan elektrik enerjisi, yeni nesil bilgisayar ve iletişim teknolojisinin elektrik enerji sistemlerinde kullanılması ile yeni bir değişim sürecine girmiş bulunmaktadır. Konvansiyonel üretim ve tüketim bileşenleri de bu değişimin sonucu olarak yerini yeni nesil ünitelere bırakmakta ve bu değişim sürecinde yeni nesil elektrik enerji sistemleri için gerekli planlama ve dizayn eksiksiz olarak gerçekleştirilme ihtiyacı doğmaktadır. Konvansiyonel elektrik enerji üretim tesisleri, çevresel ve ekonomik kaygılarında etkisi ile yerlerini yeni nesil YES olarak adlandırılan santrallere bırakmaktadır. Bu noktada, YES entegrasyonunun sağladığı avantaj ve dezavantajlar dikkatli olarak incelenmeli ve dezavantajlar mümkün olduğunca ortadan kaldırılmalıdır. YES'lerin sunmuş olduğu ekonomik ve çevresel etki bakımından avantajların yanı sıra GES'leri ele aldığımızda, tüketicilere çok yakın konumlandırma avantajı ortaya çıkmaktadır. GES'lerin tüketiciye yakın konumlandırılması ile birlikte iletim sistemi maliyeti de ortadan kalkmakta ve dağıtık üretim için gerekli altyapı ortaya çıkmaktadır. Dağıtık üretim tesisleri ile entegre edilmiş olan şebekelerde bu metodoloji ile gerektiği zaman ada modunda çalışma imkanı da diğer bir avantaj olarak sunulmaktadır. GES'lerin bu konumlandırma ve entegrasyon stratejisi ile şebekeye eklenmesi ve dağıtık üretim metodolojisi ile ise mikro şebekeler ortaya çıkmaktadır.

Mikro şebekelerde GES entegrasyonu ile birlikte elde edilen şebeke modeli, üretim tesisinin mevsimsel ve solar radyasyon (SR) faktörlerine göre üretim yapması dolayısıyla düzensiz bir üretim karakteristiğine sahiptir. GES üretim parametreleri, yüksek ölçekli GES entegrasyonu olan bir mikro şebekede gerilim regülasyonunu üst düzeyde etkilemektedir.

Yeni nesil tüketim üniteleri arasında önemli bir yer tutan EA'ların şebeke üzerinde oluşturacağı etki, incelenmesi gereken önemli noktalardan birisidir. EA'ların şarj güçleri ve sürelerinin her marka ve modelde değişiklik göstermesi, EA tüketim profili oluşturulması ve tahminini güçleştirmektedir. EA'ların mikro şebekelerde

yer alan şarj istasyonları, şebeke gerilim regülasyonuna olumsuz yönde etki edecektir. EA şarj istasyonlarının bulundukları fiziksel konumlar, tüketim profili elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır. İşyerleri ve ticari meskenlerin bulunduğu bir alanda yer alan EA şarj istasyonunun sabah saatlerinde şebeke üzerinde üst düzey bir etki oluşturması muhtemeldir. Bu etkinin mikro şebekede katlanarak artması, öngörülen bir etkidir.

Gerçekleştirilen çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Davutpaşa Kampüsü'ne ait dağıtım şebekesi benzetim çalışmaları yapılmak üzere modellenmiş ve benzetim çalışmaları için kullanılmıştır. Bir mikro şebeke modeli olarak kullanılan kampüs ring şebekesi, GES ve EA entegrasyonu aşamaları ile analiz edilmiş ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon aşamasında optimizasyon fonksiyonu olarak, GES üretiminin maksimum hale getirilmesi dolayısıyla ekonomik avantaj sağlanması ve karbon emisyonunun azaltılması, EA şarj istasyonlarının optimal kapasite ile boyutlandırılması, şebeke gerilim regülasyonunun değişken üretim ve tüketim parametrelerinden etkilenmesinin minimuma indirilmesi, şebeke hat kayıpları ve trafo kayıplarının azaltılması faktörleri kullanılmıştır. Bu bağlamda, gerçekleştirilmiş olan benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, başlangıç koşulları ile kıyaslanmış ve dizayn parametrelerinin optimize edilmesi ile mikro şebeke modeli üzerinde oluşan etki incelenmiştir. Mikro şebekeye ait gerilim regülasyonun stabil olarak tutulması amaçlanırken GES üretiminin elektriksel ve fiziksel limitler gözetilerek maksimum seviyede tutulması amaçlanmıştır. Oluşturulan metodoloji ile birlikte GES ve EA entegrasyon aşamasında izlenmesi gereken adımlar uygulanmış ve elde edilen sonuçlar üzerinde yapılan analizler sonucunda optimize edilmiş bir mikro şebeke modeli üzerinde EA ve GES entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Gerçekleştirilen çalışma ile EA ve GES'lerin mikro şebekelere entegrasyonu aşamasında oluşan gerilim regülasyonu etkilenmesi problemine çözüm sunulur iken, GES ve EA kapasite ve üretim optimizasyonu sağlanmıştır. Sunulan optimizasyon çalışmasının yanı sıra şebekeden beslenmekte olan EA ve baz yüklerin GES ile enerjilendirilmesi sağlanarak karbon emisyonu düşürülmüş,

ekonomik avantaj elde edilmiş ve mikro şebekede yer alan transformatör ve hat kayıpları azaltılmıştır. Tez çalışmasında sunulan sistemin sağlamış olduğu avantajlar ve orijinal katkı aşağıda belirtilmiştir:

- EA ve GES'lerin kombine çalışma analizi gerçekleştirilmiş olup, mikro şebeke üzerinde oluşturdukları etkiler açığa çıkarılmıştır.
- Oluşturulan mikro şebeke modeli YTÜ Davutpaşa Kampüsü'ne ait olup, sistem sadece teorik açıdan değil, uygulama tabanlı olarak da incelenip mikro şebekelerde EA ve GES'lerin etkileri ortaya koyulmuştur.
- Önerilen enerji yönetim stratejisi, GES üretim ve EA tüketim parametrelerini referans almaktadır. EA'ların şarj ve parklanma süreleri benzetim ortamında, değişken geliş - gidiş süreleri, değişken şarj yüzdeleri baz alınarak saatlik zaman dilimleri ile modellenmiştir. GES üretimi İstanbul'a ait SR değerleri kullanılarak elde edilen ve mevsimsel olarak değişkenlik gösteren verilere göre modellenmiş ve sonuçları benzetim ortamına aktarılmıştır.
- Çalışmada yer alan EA şarj istasyonu ve GES dizaynı, optimal sonucu elde etmek üzere, mevcut sistemin elektriksel limitleri baz alınarak ve kampüs alanının fiziksel limitleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. GES ve EA kapasiteleri şebeke üzerindeki etkinin incelenmesi için ana faktörler olarak kullanılmıştır. GES ve EA ile bütünleşik mikro şebekelerin optimal çalışma kriterleri de incelenerek hat kayıplarının azaltılması ve gerilim regülasyonunun stabil hale getirilmesi sağlanmıştır.
- Oluşturulan mikro şebeke modelinde EA ve GES entegrasyonu sonucunda koruma sisteminde oluşan etkinin gözlemlenmesi amacıyla adaptif koruma yaklaşımı ile koruma sistemi analizi gerçekleştirilmiş olup, koruma sisteminde oluşan etki çalışma sonuçları içerisinde sunulmuştur.

Tez çalışmasında yer alan bir sonraki bölümde akıllı şebekeler, mikro şebekeler ve yenilenebilir enerji santralleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde yer alan elektrikli araçlar hakkında bilgilerin ardından dördüncü bölümde akıllı şebeke altyapısı ile EA ve GES entegrasyonu hakkında bilgiler yer almaktadır. Benzetim çalışmaları ve elde edilen sonuçların yer aldığı beşinci bölümde YTÜ Davutpaşa

Kampüsü'ne ait dağıtım şebekesi modeli üzerinde GES ve EA entegrasyon çalışmaları hakkında bilgiler yer almaktadır. Son bölümde ise tez çalışmasına ait sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2
AKILLI ŞEBEKELER

2.1 Akıllı Şebekelere ait Genel Tanım ve Kriterler

Akıllı şebekeler 1890lardan bu yana kullanılmakta olan elektrik enerjisi teknolojisine yeni nesil bilgisayar ve internet teknolojisinin eklenmesi ile birlikte ortaya çıkan, çok bileşenli kompleks yapılarda şebeke ihtiyaçlarının karşılanmasını kolaylaştıran bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel akıllı şebeke tanımı içerisinde üretici ve tüketici arasında çift yönlü haberleşme sağlayan, iletim hatlarındaki enerji değişimleri, yük akışları ve anormal durumları işlemden geçirebilen sistemler yer almaktadır. Akıllı şebeke teknolojisini oluşturan bileşenler ise internet, bilgisayar teknolojisi, kontrol sistemleri, otomasyon teknolojisi olarak sıralanmakla birlikte bu yapının mevcut elektrik şebekesi ile birlikte çalışması sonucunda elektriksel taleplere çok hızlı cevap verilebilme olanağı doğmaktadır.

2.1.1 Akıllı Şebeke Tanımı ve Özellikleri

Akıllı şebekeler, elektrik enerjisi endüstrisini bir sonraki aşamaya taşımak konusunda büyük bir sıçrama tahtası olarak nitelendirilebilir. Akıllı şebeke teknolojisine ait bileşenlerin beraberinde getirdiği güvenilirlik, hızlı çalışma, emre amadelik ve verimlilik avantajları ile mevcut elektrik şebekesi ve gelecek nesil şebeke bileşenlerinin kontrol ve çalışma şartlarının optimize edilme imkanı ortaya çıkmaktadır. Teknolojinin geleneksel elektrik şebeke bileşenlerine uygulanması ile birlikte ortaya çıkan elektriksel avantajların yanı sıra ekonomik ve çevresel avantajlar da beraberinde gelmektedir. Konvansiyonel şebekeler ve üretim sistemlerini ele aldığımızda, fosil yakıtlı, hidrolik, jeotermal, nükleer vb. kaynaklardan elde edilen enerjinin tüketiciye ulaştırılması prensiplerinin uygulandığını görmekteyiz. Üretim tesisleri, maliyet ve kaynaklara yakınlık kriterleri dolayısıyla, tüketimin gerçekleştiği şehirlerden uzak konumlanmak durumundadır. Üretilen enerjiyi tüketiciye taşımak amacıyla inşa edilen iletim

hatları vasıtasıyla, tek yönlü yük akışı ile enerjinin tüketiciye taşındığı sistemler konvansiyonel şebekeler olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1'de konvansiyonel şebekelere ait prensip şeması belirtilmiştir.



Şekil 2.1 Konvansiyonel Şebeke Prensip Şeması

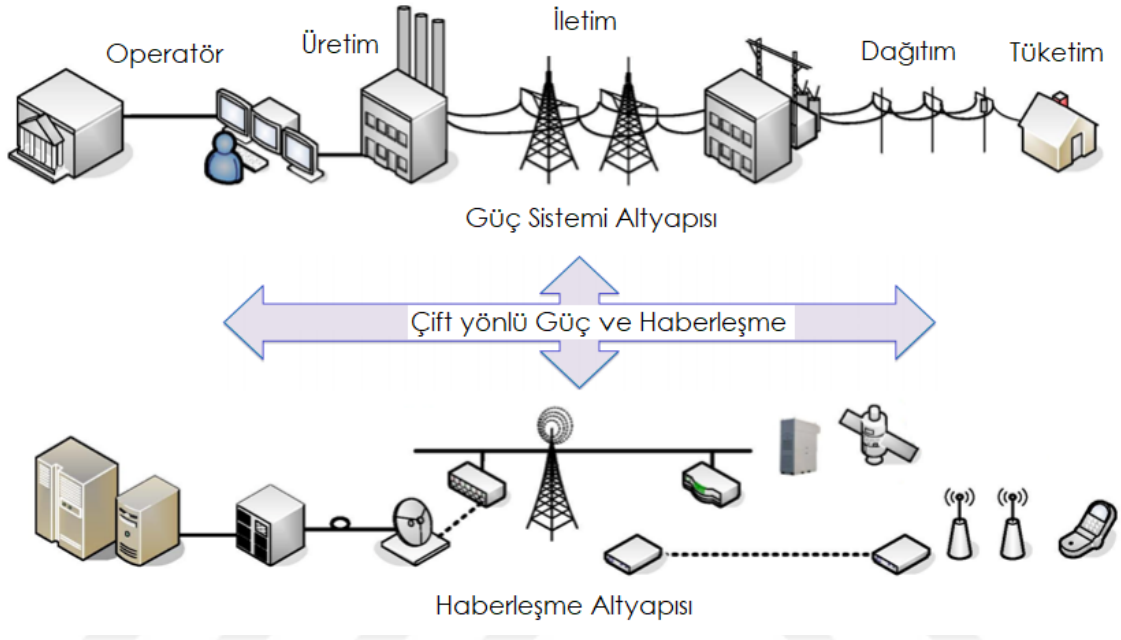
Başlangıçta basit bir yapıya sahip olan elektrik şebekesi, zamanla eklenen bileşenler ile kompleks bir yapıya dönüşmüştür. Konvansiyonel şebeke altyapısında bulunan bileşenlere temel olarak bilgi teknolojileri, iletişim altyapısı ve tesis altyapısının iyileştirilmesi faktörleri uygulanarak akıllı şebekeler için gerekli altyapı elde edilebilmektedir. Yeni nesil şebeke bileşenleri olarak adlandırdığımız akıllı iletim, dağıtım sistemleri ile birlikte yeni nesil üretim tesislerinin şebeke entegrasyonu mümkün hale gelmektedir. Şekil 2.2'de akıllı şebekelere ait prensip şeması belirtilmiştir.



Şekil 2.2 Akıllı Şebeke Prensip Şeması [52]

Akıllı şebekelerin temel yapısını oluşturan sistem, yenilenebilir enerji santrallerinin entegre edildiği, yeni nesil tüketicilerden olan EA'ların bir şebeke bileşeni olarak kabul edildiği, üretim ve tüketim arasında çift yönlü haberleşme ile

sürekli haberleşme ve kontrol sağlandığı, bu ihtiyaca cevap verecek olan kontrol merkezi yada merkezlerin bulunduğu bir yapıdır. Akıllı şebekelerin diğer bir bileşeni olan akıllı evler ise çift yönlü haberleşmenin yanı sıra çift yönlü yük akışı ile enerji piyasasına dahil olmaktadırlar. Şekil 2.3'de çift yönlü güç akışı ve haberleşme altyapısını belirten prensip şeması verilmiştir.



Şekil 2.3 Çift Yönlü Haberleşme ve Güç Sistemleri [53]

Tüketim tarafından artmakta olan talep, ekonomik ve çevresel kaygılar enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımının kolay hale gelmesi ile YES'lerin sayısında artış yaşanmaya başlamıştır. YES'lerin arasında önemli bir yere sahip olan GES'ler ise tüketiciye yakın yani şehir içerisinde konumlandırılabilme özelliği ile öne çıkmaktadır.

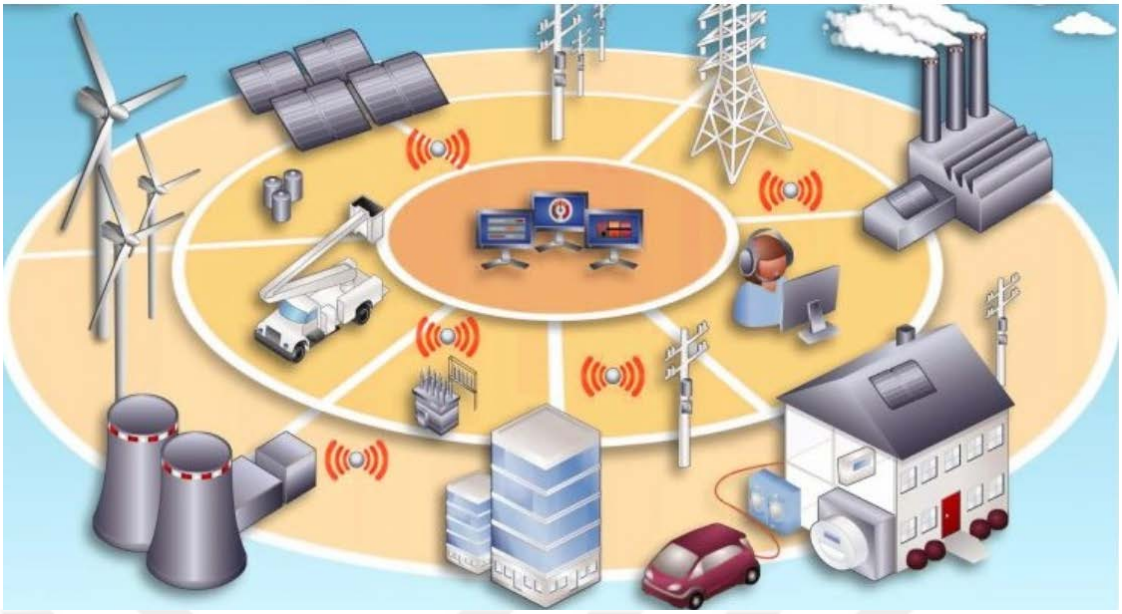
Akıllı şebekelerin sağlamış olduğu hızlı haberleşme ve manevra imkanı ile çok büyük maddi kayıpların önüne geçilme imkanı da doğmaktadır. Enerji kesintisinin meydana getirdiği kayıplar, konut, ticari ve sanayi tüketicileri için ekonomik ve vakit kayıpları olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji kesintisinin üretimi durdurmasının yanı sıra, şebekenin çalışır hale getirilmesi, üretim tesislerinin yeniden çalışır konuma getirilmesi büyük kayıplara yol açmaktadır. Bunun yanında arıza olmayan durumlarda, hatalı açma yapılması ile ortaya çıkan kayıplarda

önüne geçilmesi gereken bir sorun olarak yer almaktadır. Enerji kesintisi sonucu oluşan maddi kayıplar yaklaşık olarak, rafineri tesislerinde 5000 Amerikan Doları (USD) / dakika (dk.) ve yüksek güçlü santrallerde durup yeniden ayağa kalkma maliyeti 6000 USD olarak kabul edilebilir.

Mevcut konvansiyonel şebekelerin akıllı şebeke olarak güncel hale getirilmesi ve gelecekte daha yüksek oranda şebekede yer alacak YES ve EA yükleri için altyapısının hazırlanması büyük önem taşımaktadır.

2.1.2 Akıllı Şebeke Altyapısı

Konvansiyonel elektrik şebekeleri, elektrik enerji teknolojisindeki gelişime paralel olarak, ilk günden bu yana değişim içerisinde yer almaktadır. Şebeke altyapısı, ihtiyaç ve üretim kapasitelerine göre tayin edilmekle birlikte, oluşan ihtiyaçlara göre büyütme ve yeni eklemelerle sürekli değişim içerisindedir. Bu değişime ve gelişim talebine cevap vermek adına şebeke bileşenlerinde güncellemeler ve eklemeler meydana gelmekte, bu değişim sonucunda bazı noktalarda şebeke yapısı kompleks hale gelmektedir. Bu karmaşanın önüne geçmek ve gelecekte şebekelerde daha yüksek oranda yer alacak olan düzensiz EA ve YES bileşenlerinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için şebekelerin akıllı şebeke altyapısına uygun şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Akıllı şebeke altyapısı için en önemli bileşenler, haberleşme sistemi, kontrol sistemi, çift yönlü haberleşme ve güç akışı imkanı, siber güvenlik olarak nitelendirilebilir. Bu bağlamda, şebeke bileşenlerini oluşturan üretim, iletim, dağıtım üniteleri ve tüketicilerin bu altyapıya uygun hale getirilme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.4'de akıllı şebeke altyapısını tanımlayan prensip şemasına yer verilmiştir.



Şekil 2.4 Akıllı şebeke altyapısına ait prensip şeması [54]

Konvansiyonel şebekelerde yer alan üretim tesislerinin yanında bu altyapı içerisinde YES'lerin yer alacağı öngörülerek, EA ve batarya depolama sistemleri ile birlikte gelişmiş haberleşme ve çift yönlü yük akışı da dikkate alınmalıdır. Tüm şebeke bileşenlerinin birbiri ile ve ana yada dağıtık kontrol merkezleri ile haberleşeceği göz önüne alınmalı, YES'lerin artması ile birlikte dağıtık üretim tesisleri içeren mikro şebekelere uygun dizayn gerçekleştirilmelidir. Akıllı şebeke altyapısının elde edilebilmesi için yapılacak olan yatırımların, işletme maliyeti azalması, şebeke modernizasyonunun gerçekleştirilmesi, YES entegrasyonun arttırılması gibi avantajlar dolayısıyla, kısa sürede geri dönüşünün olacağı öngörülmektedir. Ayrıca, bu altyapı beraberinde gelen çift yönlü haberleşme teknolojisi, tüketici için enerji maliyeti avantajı oluşturacaktır. Altyapıda yer alan gelişmiş sensörler ve teknoloji sayesinde operatörler arıza anında daha hızlı müdahale edebilecek, şebeke stabilitesi sağlanabilecek, gelişmiş sayaç teknolojisi ile tüketiciler ile anlık olarak haberleşme imkanı doğacak ve otomatik kontrol sistemleri ile şebekedeki arızalı kısımlar izole edilip güç yönlendirmesi ile tüketicinin enerjisiz kalmasının önüne geçilmesi sağlanacaktır. Yeni nesil güç sistemlerinde yer alan batarya sistemlerinin de entegre edilmesi ile birlikte, güç stabillitesi ve güvenilirlik arttırılmış olacaktır.

2.1.3 Akıllı Şebekelerin Avantajları

Akıllı şebeke altyapısı ile bütünleştirilmiş güç sistemlerinde enerji sürekliliğinin sağlanması, sistem stabilitesinin sağlanması, YES, EA ve batarya sistemleri entegrasyonun sağlanması, dağıtık üretim ve mikro şebeke dizaynının gerçekleştirilmesinin yanı sıra birçok avantaj da beraberinde gelmektedir. Akıllı şebekelerin sağlamış olduğu avantajlar, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bakanlığı (DOE) yapmış olduğu tanımlamaya göre aşağıdaki şekilde sıralanmıştır [55]:

- Elektrik enerjisinin daha etkin şekilde iletimi
- Güç problemleri sonrasında şebekenin daha kısa sürede restore edilmesi
- İşletme maliyetlerinin düşmesi sonucunda tüketicilere yansıtılan maliyetin azaltılması
- Pik güç talebinin azaltılması
- Yüksek oranda YES entegrasyonuna olanak tanınması
- YES'ler dahil olmak üzere tüketicilere ait enerji kaynaklarının şebekeye dahil edilmesi imkanı
- Gelişmiş güvenlik

Elektrik enerjisinin bahsedilen avantajlar ile son kullanıcıya ulaştırılması ve aynı zamanda son kullanıcının bir üretici olarak şebekeye dahil edilme imkanı doğması ile üretim ve iletim maliyetleri ile hat kayıplarının azaltılması da sağlanmaktadır.

Akıllı şebeke altyapısı içerisinde yer alan yeni nesil yapı bileşenlerinden olan dijital röleler, haberleşme sistemleri, şebeke yapısının dağıtık üretim için uygun hale getirilmesi ve dağıtık haberleşme imkanı da oluşması gibi avantajlar ile birlikte tüketici açısından sağlanan maliyet avantajları da önemli yer tutmaktadır. Akıllı şebekeler ile konvansiyonel şebekelerin temel özelliklerine ait kıyaslama Tablo 2.1'de belirtilmiştir.

Tablo 2.1 Akıllı şebeke ve konvansiyonel şebekelerin farkları [1]

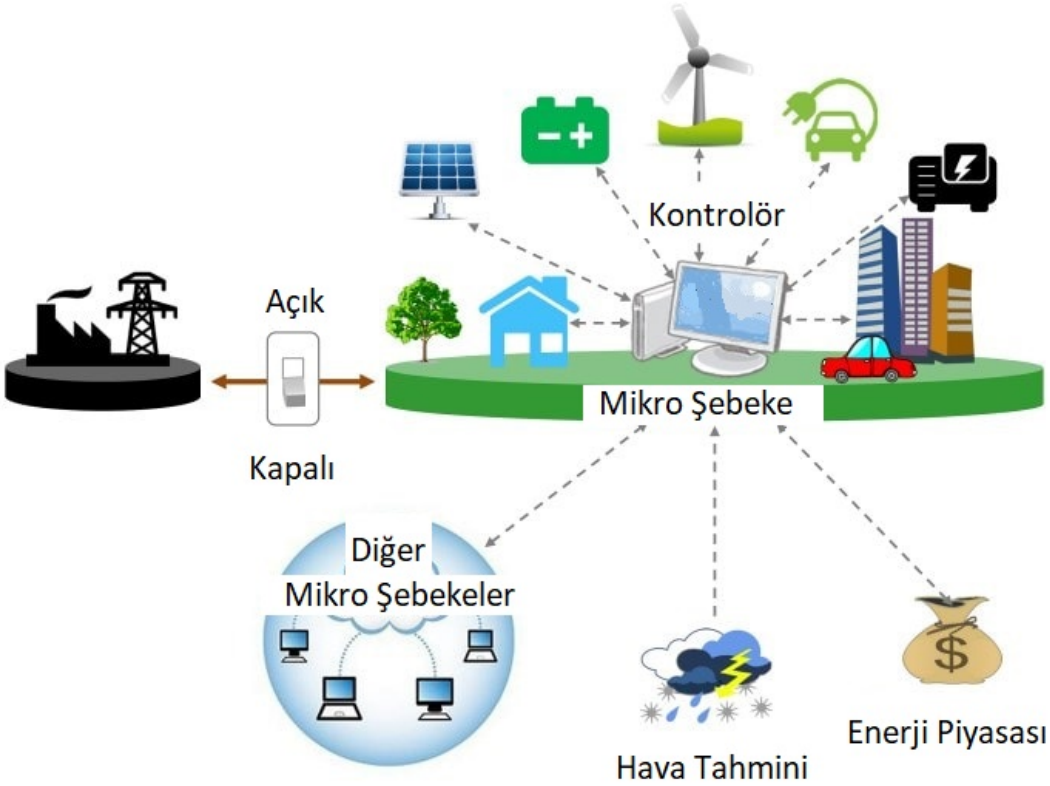
Konvansiyonel Şebekeler	Akıllı Şebekeler
Arızalarda operatör müdahalesi	Otomasyon sistemi ile arıza müdahalesi
Az sayıda merkezi üretim, dağıtık tüketim	Çok sayıda dağıtık üretim, dağıtık tüketim
İzlenemeyen tüketim	Uzaktan sayaç okuma, anlık tüketim takibi
Elektromekanik yapı	Dijital yapı
Tek yönlü haberleşme	Çift yönlü haberleşme
Az miktarda sensör kullanımı	Çok miktarda sensör kullanımı
Kısıtlı koruma, gözlem ve kontrol sistemleri, kesintiler ve çökmeler	Adaptif koruma, kendi kendini gözlemleme, ada modunda çalışma
Kesintiler üzerine odaklanma	Güç kalitesi üzerine odaklanma

Tablo 2.1'de belirtildiği üzere akıllı şebekelerin sağlamış olduğu avantajlar doğrultusunda gelecekte tamamıyla uygulamaya geçecek olan fonksiyonlar ile birlikte elde edilecek olan yapının sağlamış olduğu şebeke modelleri güç şebekelerinin temelini oluşturacaktır. Akıllı şebekelerin içerisinde yer alan dağıtık üretim tesislerinin konumlandırılabileceği, şebeke ile paralel çalışan ve gerektiğinde ada modunda çalışma ile enerji sürekliliğini sağlayan mikro şebekeler ile geleceğin EA ve YES bileşenlerinin sorunsuz ve optimal şekilde entegrasyonunun sağlanacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, EA ve YES entegrasyonunu sağlamak için temel şart olan akıllı şebeke altyapısının en iyi şekilde dizayn edilmesi, maksimum verimlilik ve şebeke stabilitesi faktörlerinin optimizasyon fonksiyonu olarak belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

2.2 Mikro Şebekeler

Akıllı şebeke altyapısının gelişmesi ile birlikte sunduğu esneklik ve imkanlar dahilinde, şebeke sistemlerinin önemli bir parçası olan dağıtık üretim tesisleri için ayrı bir şebeke modeli planlanmalıdır. Yeni nesil üretim tesisleri ve tüketicilerin yer aldığı şebeke modellerinde, GES, rüzgar enerji santrali (RES), mikro türbin teknolojilerinin konumlandırma avantajları dolayısıyla tüketiciye yakın olması, şebeke modellerinin mikro düzeye indirgenmesine olanak tanımaktadır. Tüketicilerin, akıllı şebekelerin tanıdığı imkan doğrultusunda çift yönlü olarak

şebeke ile bağlantılı olması dolayısıyla, eklenebilecek batarya sistemleri ve EA'ların şebekeyi enerjilendirmesi konsepti ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, oluşturulan mikro şebekelerde YES tabanlı üretim tesislerinin yanı sıra hem tüketici hem üretici olarak tanımlanabilecek bileşenlerin de eklenmesi ile birlikte oluşan kompleks yapı için kontrol sistemi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Mikro şebekelere ait temel bileşenler Şekil 2.5'de belirtilmiştir.



Şekil 2.5 Mikro şebeke modeli [56]

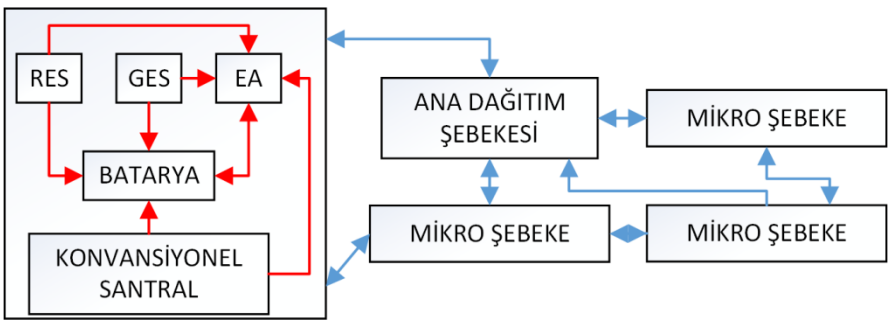
Şekil 2.5'de mikro şebeke modeli ile ana şebeke ve diğer mikro şebekeler arasındaki ilişki belirtilmiştir. Bu noktada, mikro şebekelerin arıza durumunda kendisini izole etmesi, güç ihtiyacının yüksek olması durumunda ana şebekeden ya da diğer mikro şebekelerden beslenebilme esnekliğinin bulunması önemli avantajlardandır.

2.2.1 Mikro Şebekelerin Genel Yapısı

Mikro şebekeler, genel olarak üretim ve tüketim bileşenlerini içeren, şebekeden bağımsız ada modunda veya şebeke ile paralel çalışabilen, küçük ölçekli şebeke modelleridir. Üretim ve tüketim bileşenlerinin aynı bölgede bulunması, iletim hat

kayıplarını ortadan kaldırmakta, tüketicinin de üretime katılması ile birlikte ekonomik avantajlar ortaya çıkarmaktadır. Mikro şebekelerin temel özelliklerinden olan esnek ve çift yönlü çalışabilme fonksiyonları ise enerji sürekliliğinin sağlanmasında önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mikro şebekeler, enerji sistemleri içerisinde enerji sürekliliğini sağlama ve YES entegrasyonunu arttırma amaçları için kullanılabilecek, birbirine bağlı dağıtık üretim tesislerinin koordinasyonunu sağlayabilecek bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro şebekelerde üretim üniteleri olarak RES, GES, mikro türbinler, jeotermal, biokütle, bataryalar ve EA'lar yer alırken tüketim üniteleri ise yine batarya ve EA'lar ile konvansiyonel tüketiciler olarak yer almaktadır. Üretim kaynaklarının çeşitlendirilmesi ile birlikte şebekede yer alan tüketicilerin enerjilendirilme opsiyonlarının artması, enerji sürekliliği ve ekonomik avantaj olarak geri dönmektedir. Mikro şebekelerde yer alan dağıtık üretim tesislerinin yanı sıra diğer bir avantaj da dağıtık depolama tesislerinin kurulabilme imkanıdır. Dağıtık olarak konumlandırılmış üretici ve tüketicilerin, mikro şebeke altyapısı ile kaynak paylaşımı yapabilecek olarak haberleşme ve kontrol sistemleri ile entegre edilmesi sonucunda daha güvenilir bir şebeke modeli ortaya çıkmaktadır. Ana dağıtım şebekeleri ile bağlı ve aynı zamanda diğer mikro şebekeler ile bağlı olan şebeke modeli, kendi içerisinde yer alan dağıtık üretim tesislerinde arıza ya da hava şartları dolayısıyla kesinti oluşması durumunda da enerjinin sürekliliğini sağlayabileceklerdir. Ana şebeke ile yapılan geçişler esnasında oluşması muhtemel olan güç kalitesi problemleri ise, kontrol sistemleri ile dengelenerek üstesinden gelinecektir. Şekil 2.6'da mikro şebekelerin içyapıları, diğer mikro şebeke ve ana dağıtım şebekeleri ile olan bağlantılarını gösteren şemaya yer verilmiştir.



Şekil 2.6 Mikro şebekeler ile dağıtım şebekeleri

Enerji yönetim sistemleri ile mikro şebekelerde yük akışı ve üretim tüketim dengesinin sağlanma ihtiyacı karşılanmaktadır. Mikro şebekelerin tüketim talebinin, şebekede yer alan dağıtık üretim tesisleri tarafından karşılanamaması durumunda, EA ve batarya üniteleri ile ana şebekeden besleme opsiyonu da kontrol sistemi tarafından devreye alınabilmektedir. Kontrol sisteminin otomatik olarak algoritma tabanlı ve hızlı müdahalesi ile şebeke stabilitesi sağlanmaktadır. Enerji geçişlerinin optimize edilmesi ile birlikte mikro şebeke içerisinde enerji sürekliliği, güvenilirlik sağlanmakta ve güç kalitesi problemlerinin önüne geçilebilmektedir.

2.2.2 Mikro Şebeke Bileşenleri

Elektrik enerjisinin güvenilirliği ve kaynak çeşitliliğini arttırmak için kullanılan mikro şebekelerde sistem bileşenleri şebeke yapısına göre çeşitlilik göstermektedir. Bir mikro şebekede bulunması gereken haberleşme sistemi ile şebekenin diğer dış bileşenler ile haberleşmesi ve gerekli manevraları yapabilmesi için kontrol sistemine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra, mikro şebekelerde yer alan yönetim sistemleri ile tüketici taleplerinin optimal şekilde karşılanması sağlanmaktadır. Mikro şebekelere ait temel bileşenler aşağıda belirtilmiştir [57]:

- YES
- Enerji depolama ve batarya sistemleri
- Ölçüm ve kontrol sistemleri
- Şebeke bağlantı sistemleri
- Güç dönüştürücü sistemler
- Batarya yönetim sistemleri
- Akıllı aydınlatma sistemleri
- EA şarj sistemleri
- Akıllı ev ve bina sistemleri
- Enerji yönetim sistemleri
- Haberleşme ve bilgi güvenliği sistemleri
- Kontrol ve otomasyon sistemleri

Şebeke bileşenlerinin koordineli bir şekilde çalışabilmesi için kullanılan kontrol sistemleri, mikro şebeke içerisinde yer alan tüm bileşenlerin talep ve ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde dizayn edilmelidir. Mikro şebekelerin çalışma modları ise, algoritma tabanlı olarak kontrol edilip, ada modu veya şebeke ile paralel çalışma modu seçimine karar verilmesi sağlanmalıdır. Mikro şebekelerin bütünleştirilmiş olarak tüm bileşenleri ile kullanımı sonucunda elde edilen avantajlar ise aşağıda belirtilmiştir [58, 59, 60].

- Ana şebekede oluşan kesinti sonucunda sistemin ada modunda çalışarak enerji kesintisinin önüne geçilmesi.
- YES ve EA entegrasyonunun yüksek seviyede sağlanmasına olanak tanınması.
- YES'lerin tüketiciye yakın konumlandırılması dolayısıyla iletim kayıpları ve maliyetinin azaltılması, azalan maliyetin tüketiciye yansıtılması.
- Mikro şebekelerin geniş ölçekte uygulamaya geçmesi ile birlikte akıllı şebeke sisteminin oluşacak olması.
- Kaynak kullanımının verimli hale getirilmesi ile üretimden kaynaklanan çevresel etkinin azaltılması.
- Çift yönlü yük akışına imkan tanınması dolayısıyla üretilen fazla miktarda enerjinin, şebekeye satılma imkanının bulunması.

Mikro şebeke konseptinin uygulanabilmesi için gerekli olan analizler, optimizasyon kriterleri dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. Şebeke içerisinde yer alacak olan yeni nesil EA şarj istasyonları, batarya sistemleri ve YES bileşenleri, sistem dizayn kriterleri içerisinde değerlendirilip maksimum verimlilik sağlanarak boyutlandırılmalıdır. Boyutlandırma aşamasında dağıtık üretim tesislerinin kapasite tayini, değişken mevsim ve hava koşulları dikkate alınarak, tüketim üniteleri, EA ve batarya kapasiteleri ise uzun vadeli planlama ile mevcut talep üzerine yedek kapasite eklenerek optimize edilmelidir.

2.3 Yenilenebilir Enerji Santralleri

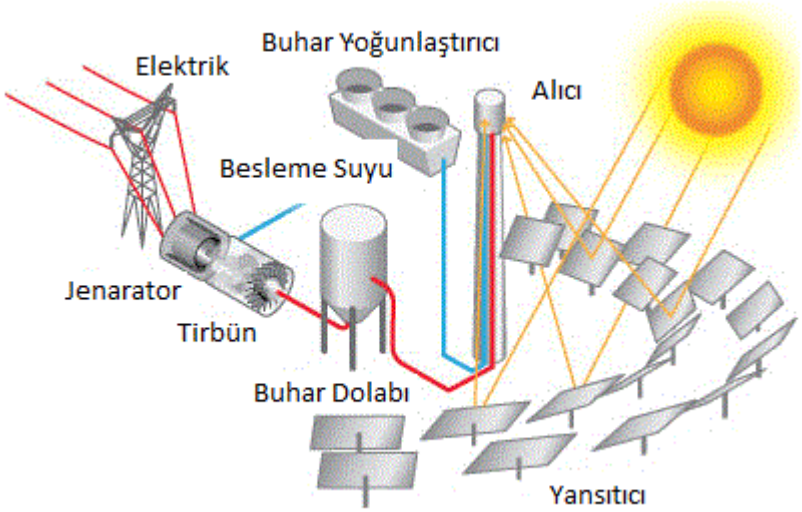
Elektrik enerji sistemlerinin içinde bulunduğu değişim süreci, yalnızca iletim ve dağıtım tarafında değil, üretim kaynaklarının çeşitlenmesi ile birlikte üretim santrallerinin değişimine de yol açmıştır. 20. yüzyılın başından bu yana kullanılmakta olan fosil yakıtlı konvansiyonel santraller çevresel ve ekonomik faktörlerin etkisiyle yerlerini YEK tarafından enerjilendirilen santrallere bırakmaktadırlar. YES'ler yakıt olarak doğada bulunan enerji kaynaklarının elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibi ile karbon salınımı olmadan tüketiciye enerjinin ulaştırılmasını sağlamaktadır. YEK olarak tanımlanan rüzgar, güneş, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve dalga enerjileri bu santral tipleri için yakıt olarak kabul edilmektedir. Bu kaynakların temel özelliği fosil yakıtların aksine kullanıldıkça yakıt azalması veya bitmesi gibi bir problem ortaya çıkarmıyor oluşlarıdır.

2.3.1 YES Genel Tanımı ve Çeşitleri

Temel YEK'ler olarak nitelendirilebilecek rüzgar, güneş, biokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve dalga enerjileri uygun tipte santraller ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedirler. RES'ler kaynak olarak ısı ve basınç farkından dolayı oluşan rüzgar enerjisinin türbin kanatlarını çevirmesi ile oluşan mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibi ile çalışmaktadırlar. Çeşitli türbin tipleri ve kanat yapıları, uygulama alanına göre elektrik enerjisinin maksimize edilmesine olanak tanımaktadır. Tüm dünyada üretilen elektrik enerjisinin %4'ü rüzgar enerjisi tarafından gerçekleştirilirken [61], ülkemizde bu oran 2020 yılı Ocak ayı itibariyle %7.42'dir [62].

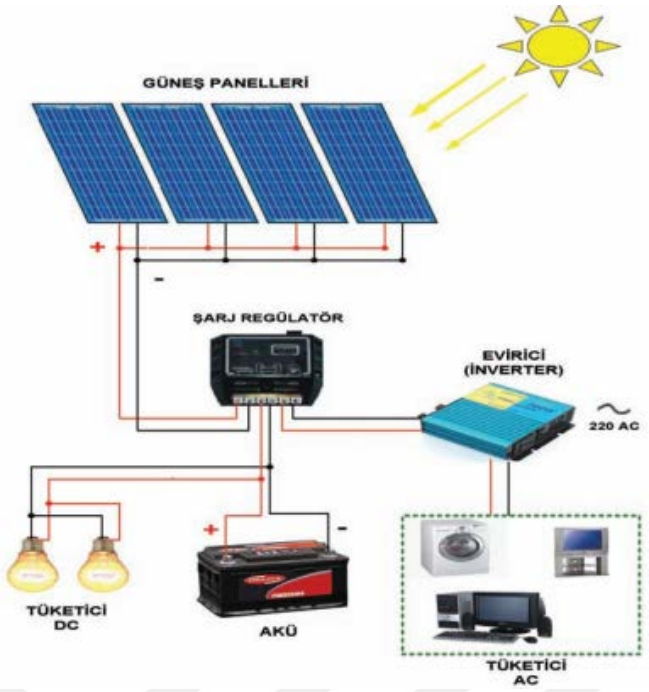
GES'lerin enerji kaynağı olarak kullandığı güneş enerjisinin çeşitli tiplerdeki santrallerde elektrik enerjisine dönüştürülmesi sonucunda, tüketicilerin enerji ihtiyaçları karşılanmaktadır. GES tipleri içerisinde büyük güçlü kule tipi yoğunlaştırılmış GES modelleri ile büyük ve küçük güçte kurulabilen PV paneller ile elde edilen santraller yer almaktadır. Büyük güçlü kule tipi GES'lerde yansıtıcı olarak kullanılan panellerin ısıyı kulede toplayıp, içerisindeki akışkanı 500 ile 1000^{o}C seviyelerine getirmesi ve bu buhar ile türbinlerin döndürülmesi sonucu elektrik enerjisi elde edilmektedir. Gün içerisinde güneş radyasyon açısının

değişimi doğrultusunda yansıtıcı açıları da değiştirilerek maksimum verim alınması sağlanmaktadır. Şekil 2.7' de kule tipi GES prensip şemasına yer verilmiştir.



Şekil 2.7 Kule tipi GES prensip şeması [63]

GES'lerin kullanım alanı ve kapasite parametrelerine göre GES tipi seçimi gerçekleştirilmektedir. Küçük güçlü veya fiziksel imkanların elverişsiz olduğu alanlarda PV santrallerin kurulumu daha uygun bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. PV panellerin seri ve diziler olarak birleştirilmesi sonucunda istenilen gerilim seviyesi ve güçte GES kurulumu gerçekleştirilebilmektedir. PV paneller temel olarak solar hücrelerden oluşmakta olup, solar hücreler ise yarı iletken malzeme olan silisyumdan üretilmiştir. Solar hücreler, elektriksel alan oluşturabilmek için pozitif ve negatif tabakalar olmak üzere çift katman olarak üretilmektedirler. Güneş radyasyonu ve fotonlar solar hücrelerde elektron hareketine sebep olarak kutuplar arasında meydana gelen elektron akışı sonucunda elektrik enerjisi üretilmesini sağlarlar. İstenilen güç ve gerilim seviyesine bağlı olarak PV paneller seri ve paralel bağlanarak PV GES dizaynı gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.8'de PV sistem dizayn metodolojisini gösteren şema yer almaktadır.



Şekil 2.8 PV sistemlere ait şema [64]

PV panellerin yapısına göre mono kristal, polikristal, ince film, esnek ve saydam olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Bu paneller içerisinde verimlilik olarak mono kristal paneller öne çıkmakta iken, maliyet olarak avantajlı olmaları dolayısıyla polikristal paneller en çok tercih edilen PV panellerdir.

PV panellerin seri ve paralel olarak bağlanmasıyla elde edilen PV modüller doğru akım (DC) elektrik üretmekte iken DC gerilimi inverter vasıtası ile alternatif akıma (AC) çevirme ihtiyacı doğmaktadır. PV sistemlerde yer alan inverterlerin kullanılması ile elde edilen DC enerji, AC'ye çevrilip tüketiciye iletilmektedir. PV paneller modüler yapılarının sağladığı avantajlar doğrultusunda, şehir içlerinde, çatı vb. yüzeylerde rahatlıkla kurulup kullanılabilmektedirler.

Dünyada toplam elektrik enerjisinin %2'si güneş enerjisi ile karşılanmakta iken ülkemizde bu oran %5.75'dir [65]. Türkiye Cumhuriyeti (T.C.) Enerji Bakanlığı tarafından hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlas'ında (GEPA) ülkemizde yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat ve yıllık ortalama güneş enerjisi 1527 kWh/m2.yıl olarak belirtilmiştir [66].

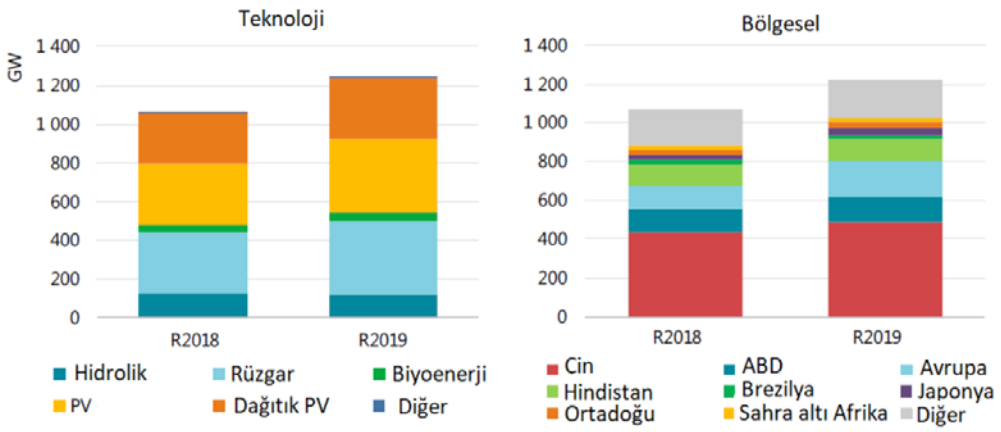
Başlıca YEK olarak kullanılabilen biokütle tesisleri daha çok kırsal alanlarda yetiştirilen bitki, ot, yosun, organik çöp, gübre vb. yakıtların kullanılması ile

jeotermal enerji santralleri, magma gibi yeraltı ısı kaynakları tarafından ısıtılan suyun buhar türbinleri ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Hidrolik santrallerde, suyun akışı esnasındaki kinetik enerjinin türbinleri çevirmekte kullanılması sonucunda oluşan mekanik enerjinin generatöre iletilmesi sonucu elektrik enerjisi elde edilmekte iken, dalga enerjisi ise okyanuslarda su seviyeleri arasındaki ısı farkı veya gel git dolayısıyla oluşan mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır.

2.3.2 YES Gelecek Vizyonu

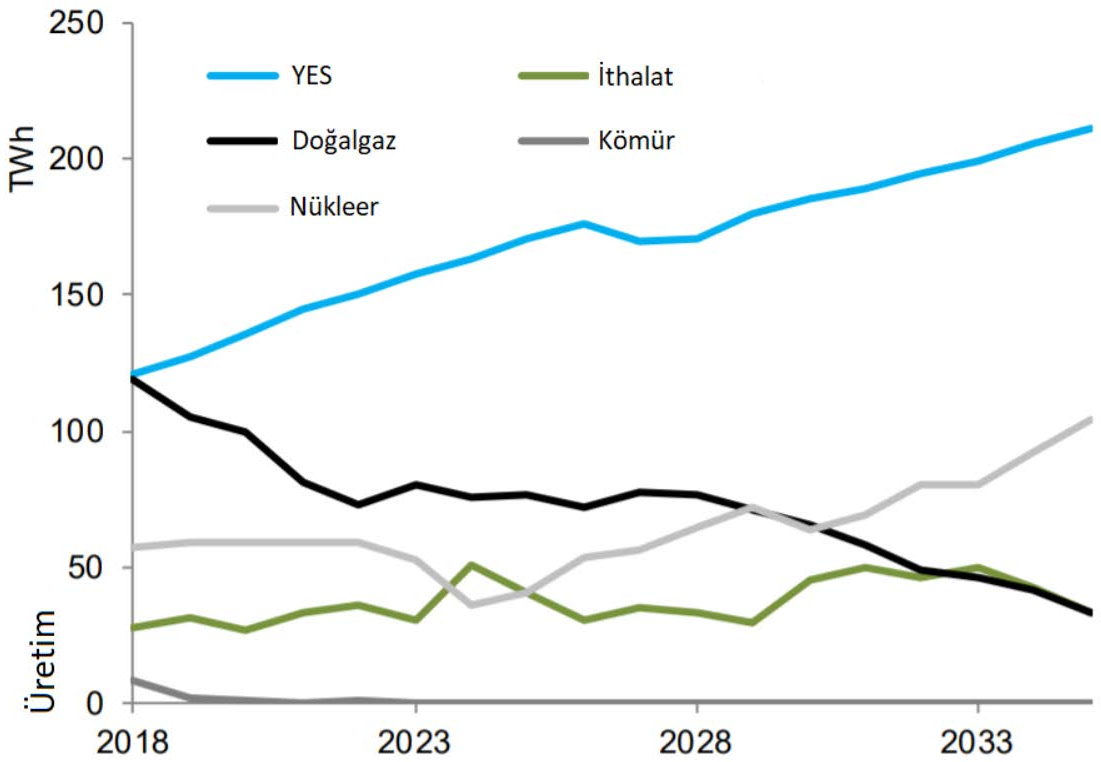
Ülkemizde ve dünyada artmakta olan enerji talebi dolayısıyla yeni kaynaklara olan ihtiyaç artarken, çevresel etkiler dolayısıyla YES'lere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Temiz ve sınırsız kaynaklı olan YEK'ler artan talebe cevap vermek ve karbon emisyonunu düşürmek adına en uygulanabilir çözümler arasında yer almaktadır. YES'ler içerisinde gelecekte en yoğun kullanılması öngörülen sistemlerden birisi olarak GES'ler yer almaktadır. GES teknolojisinin sürmekte olan gelişimi ile gelecekte artması beklenen verimliliği ve olumsuzluk yaratan gölge etkisi gibi faktörlerin ortadan kalkmasıyla gelecek nesil enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olacaklardır.

İklim değişimi ve konvansiyonel santrallerin karbon salınımı üzerinde olan etkisi dolayısıyla, gelecek vizyonunda ilgili YES ünitelerinin sayılarının artması öngörülmektedir. Şekil 2.9'da yıllık bazda YES teknolojisi ve üretim kapasitelerine ait değişim belirtilmiştir.



Şekil 2.9 Yıllık bazda YES teknolojisi ve bölgesel değişim [67]

Geleceğe dair projeksiyonda YES'lerin yüksek kapasitede entegrasyonu kaçınılmaz olarak öngörülmektedir. İngiltere'de yapılan bir araştırmada gelecek 15 yıl için öngörülen enerji kaynaklarına ait değişim grafiği Şekil 2.10'da belirtilmiştir.



Şekil 2.10 Gelecek 15 yıla ait enerji kaynakları kullanım tahmini [68]

Elde edilen veriler ve tahminler ışığında, YES'lerin gelecekte elektrik enerjisi içerisinde çok önemli bir yere sahip olacağı kaçınılmaz olarak görülmektedir. Bu bağlamda, yüksek seviyeli entegrasyon aşamasından önce, YES teknolojisine uygun ve optimize edilmiş şebeke ihtiyacının karşılanması, mevcut şebeke bileşenlerinin bu seviyede entegrasyona uygun hale getirilmeleri büyük önem taşımaktadır.

2.3.3 YES'lerin Mikro Şebeke Entegrasyonu

Gelecek nesil elektrik enerji sistemleri içerisinde önemli bir yere sahip olan mikro şebeke teknolojisi, YES entegrasyonu için en uygun çözümlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ana dağıtım şebekelerine ve diğer mikro şebekelere bağlı ve ada modunda çalışma imkanı olan mikro şebekeler, enerji sürekliliği ve güvenilirlik açısından önemli bir avantaj sağlamaktadırlar. Mikro şebekeler içerisinde yer alan konut, ticari ve sanayi tüketicileri için, fiziksel şartların

elverdiği ölçüde YES kurulumu ve kendi enerjisini üretmelerinin sağlanması, gelecek vizyonunda öngörülmektedir. Bu bağlamda, kurulacak olan dağıtık üretim tesisleri tüketicilerin enerji ihtiyacını yerinde karşılama prensibi ile harekete edecek ve çift yönlü yük akışının mümkün hale getirilmesi ile şebekeye enerji satışı gerçekleştirebileceklerdir.

Entegrasyon aşamasının üst seviyelere ulaşmasından önce gerçekleştirilmesi gereken analizler bulunmaktadır. Optimal santral konumlandırması için en uygun seçenek YES'lerin mikro şebekeler üzerinde konumlandırılmasıdır. YES'lerin ana dağıtım şebekelerine oranla küçük güçlü olan mikro şebekelerde oluşturacakları elektriksel etkiler, daha büyük ölçekte olacaktır. Entegrasyon aşamasından önce, mevcut mikro şebekenin güç kapasitesi dikkate alınarak kapasite tayini gerçekleştirilmelidir. Mikro şebekede dağıtık üretim tesislerinin esnek yapıda çalışabilmesi için kontrol sisteminin üretim ve tüketim kontrollerini sağlaması gerekmektedir. Entegrasyon aşamasında, bağlantı kriterlerinin göz ardı edilmesi sonucunda büyük oranda güç kalitesi problemleri ile karşılaşılması muhtemeldir. Mikro şebekelerde entegre edilecek olan YES'lerin sistem kısa devre gücü, koruma sistemi, koruma sistemi ayarları üzerinde tüm sistemi etkileyecek bir etki oluşturması doğal olarak beklenmektedir. Bu nedenle entegrasyon aşamasında yük akış analizleri, kısa devre hesapları ve transient stabilite analizleri gerçekleştirilerek şebekenin YES çalışma koşullarında stabil hale getirildiği kanıtlanmalıdır. Bunun yanında verimlilik ve kapasite kullanımını maksimize edebilmek için optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmeli ve dağıtık üretim tesisleri ile tüketicilerin maliyetlerini minimize edecek yaklaşımlar uygulanmalıdır. Mikro şebekede üretim optimizasyonu ile birlikte tüketicilerin de kullanmakta olduğu EA ve batarya sistemlerinin yük akış yönleri ve gün içerisindeki değişim dikkate alınarak sistem üzerinde oluşturacakları etki analiz edilmelidir. Yeni nesil mikro şebeke bileşenlerinden olan EA ve batarya sistemlerinin de üretim kaynağı olarak kullanılabileceği dikkate alınmalıdır.

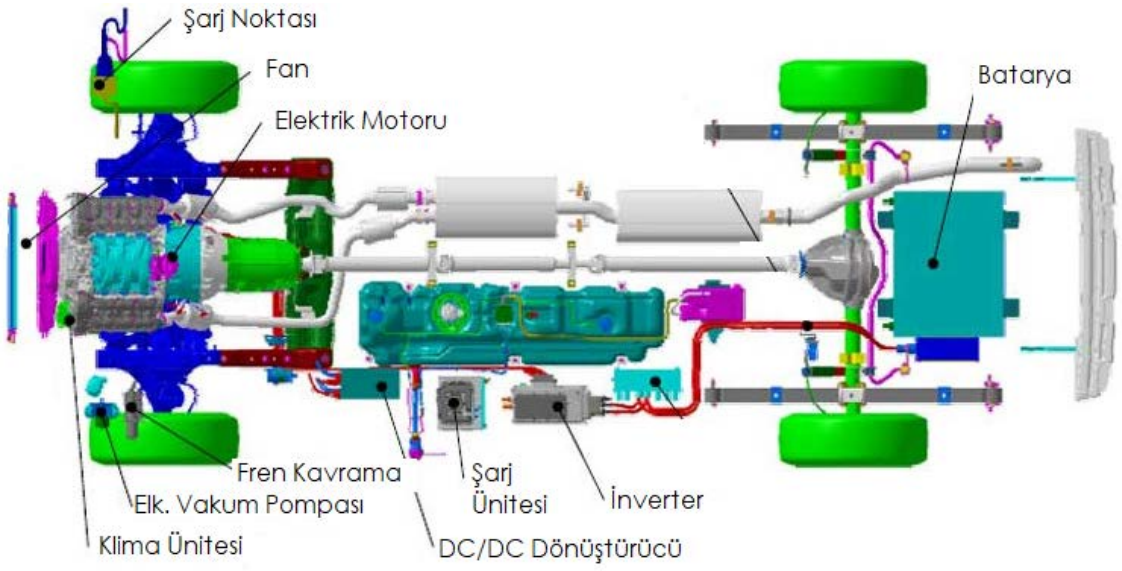
3
ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

EA'lar, 19. yüzyılın sonlarına doğru popülarite kazanmaya başlamış olan, konfor ve kullanım şartları kıyaslandığında fosil yakıtlı araçlara göre daha avantajlı ulaşım taşıtları olarak karşımıza çıkmaktadır. İçten yanmalı motor teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, 1900'lü yıllarda hakimiyetlerini içten yanmalı motorlara bırakmışlardır. Burada maliyet faktörü ve ABD'de petrol yakıtlı araçların seri üretimine geçilmesi büyük rol oynamış, 1930'lu yıllarda ise EA'lar tamamen yerlerini petrol yakıtlı içten yanmalı motorlara bırakmışlardır. Son yıllarda gelişmekte olan batarya teknolojisi, çevresel kaygılar ve artan yakıt maliyetlerinin de etkisiyle EA'lara olan ilgi yeniden başlamıştır. İçten yanmalı motorlara göre düşük işletme maliyeti, karbon emisyonu olmaması gibi faktörler dolayısıyla, otomobil üreticileri hibrit ve EA'ların üretimi ve geliştirme faaliyetlerine yönelmişlerdir. Yapılan ARGE faaliyetleri sonucunda batarya kullanım ömrü ve tek şarj ile gidilen mesafelerde artış sağlanmış olup, artan kullanım ile birlikte EA şarj istasyonu ihtiyacı da paralel olarak artış göstermektedir.

3.1 EA'lara ait Temel Bileşenler ve Genel Tanım

EA'lar temel olarak araç içerisinde bulunan batarya sistemi, elektrik motoru, şarj ünitesi ve kontrol modüllerinden oluşmaktadır. Hareket için gerekli olan mekanik enerji, bataryalarda depolanmış olan elektrik enerjisinin elektrik motoruna aktarılması sonucu elde edilmekte iken araç tiplerine göre değişkenlik gösteren fren esnasında enerjinin geri kazanımı ile ya da yakıt kullanılarak şarj metodu ile bataryalar geri doldurulmaktadır. EA'ların çeşitleri ise çalışma ve kullanım prensiplerine göre, tam elektrikli sistem, hibrit, arttırılmış menzilli sistem ve şarj edilebilir özellikli hibrit sistem olarak farklı kategorilere ayrılmaktadır. Hibrit sistemli araçlarda elektrik motoru ile birlikte klasik içten yanmalı motorlar yer almakta ve bu araçlarda temel amaç elektrik motorunun içten yanmalı motora destek olup yakıt tüketiminin azaltılması olarak belirtilmektedir. Bu tip araçlarda

bataryalar şebeke üzerinden şarj edilmemekte olup, fren esnasında açığa çıkan kinetik enerjinin depolanması prensibi ve içten yanmalı motor vasıtasıyla bataryaların şarj edilmesi sağlanabilmektedir. Hibrit EA'larda yol ve hız durumuna göre sadece elektrik motoru, sadece içten yanmalı motor ve birlikte çalışma durumları söz konusu olmaktadır. Menzil artırıcı sistemli EA'larda hibrit araçlara benzer olarak elektrik motoru ve içten yanmalı motor beraber kullanılmakta iken, aracın ihtiyacı olan mekanik enerji sadece elektrik motoru ile sağlanmaktadır. İçten yanmalı motor sadece bataryaları şarj etmek amacıyla kullanılmakta iken fren geri kazanımı ve şebeken şarj edilme imkanları da bulunmaktadır. Şarj edilebilir özellikli hibrit sistemler ise temel prensip olarak hibrit EA'lar ile aynı ve daha büyük batarya kapasitesine sahiptirler. Bu araçlarda batarya şarjı fren geri kazanım enerjisi veya şebekeden şarj ile sağlanabilmektedir. Tam elektrikli sistem EA'larda ise sadece elektrik motoru bulunmaktadır. Bataryaların yüksek kapasiteli olduğu bu araçlarda şarj için şebekeden enerjilendirme metodu kullanılmaktadır. Bu araçlarda çeşitlerine göre tek elektrik motoru ya da her bir aktarım ünitesine akuple elektrik motorları kullanılabilmekte, bu şekilde mekanik iletim kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Şekil 3.1'de tipik bir tam elektrikli EA modeli belirtilmiştir.



Şekil 3.1 Tam elektrikli tip EA modeli [69]

EA modelinde yer alan bileşenler marka ve modele göre değişim göstermekle birlikte araç teknolojisinin temel prensibini yansıtmaktadır. Araç içerisinde

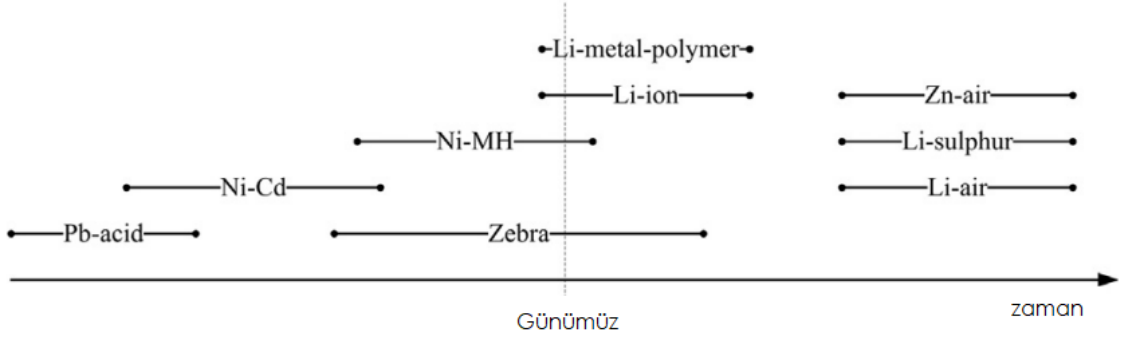
bulunan AC sistemler için inverter kullanılarak batarya üzerinden enerjilendirme sağlanmaktadır. EA'ların bataryalarında genellikle kullanılan lityum iyon bataryaların (LIB), şarj döngüsü ve kullanım eskimesi dolayısıyla belirli bir süre sonra ömürlerinde azalma meydana gelmekle birlikte, eski bataryalar için birçok değerlendirme imkanı mevcuttur. Bunların içerisinde bataryanın modüler yapısı dolayısıyla yedek batarya olarak kullanımı ve bataryanın harici güç depolama ünitesi olarak kullanım opsiyonları yer almaktadır.

EA bataryalarında kullanılan pil teknolojilerinden kurşun asit bataryalar eski ve kullanım alanı geniş bir teknoloji olmalarına rağmen düşük nominal gerilim ve enerji yoğunlukları dolayısıyla dezavantaja sahiptirler. Nikel kadmiyum bataryalar güvenli ve ucuz bir teknolojiye sahip olmakla birlikte düşük deşarj verimliliğine sahiptirler. Lityum iyon bataryalar ise en çok tercih edilen batarya tipi olup nikel tabanlı bataryalara göre daha yüksek nominal gerilim ve daha yüksek enerji yoğunlukları dolayısıyla EA batarya seçiminde avantaj sağlamaktadırlar. Tablo 3.1'de EA'larda kullanılan batarya tipleri ve özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 3.1 EA'larda kullanılan batarya çeşitleri [70]

Batarya Tipi	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Hacimsel Enerji Yoğunluğu (Wh/L)	Çevrim Sayısı	Üretim maliyeti (USD/kWh)
Kurşun-asit (Pb-acid)	2.0	35	100	1000	60
Nikel kadmiyum (NiCd)	1.2	50-80	300	2000	250-300
Nikel metal hidrit (Ni-MH)	1.2	70-95	180-220	<3000	200-250
Zebra	2.6	90-120	160	>1200	130-345
Lityum iyon (Li-ion)	3.6	118-250	200-430	>2000	150
Lityum iyon polimer (LiPo)	3.7	130-225	260-450	>1200	150
Lityum demir fostat (LiFePo4)	3.2	120	2000-4500	2000	350
Çinko hava (Zn-air)	1.65	460	80-140	200	90-120
Lityum Sülfür (Li-S)	2.5	350-650	-	300	100-150
Lityum hava (Li-air)	2.9	1520-2000	-	100	-

Tablo 3.1'de belirtilmiş olan batarya tipleri içerisinde günümüzde henüz üretimi gerçekleştirilemeyen bataryalara ait teorik değerler de yer almaktadır. Zn-air, Li-S, Li-air tipi bataryaların gelecekte lityum iyon bataryaların yerini almaları öngörülmektedir. Bataryaların kullanım periyotlarının geçmişten günümüze değişimi ve gelecek tahminleri Şekil 3.2'de belirtilmiştir.



Şekil 3.2 EA bataryalarının zamanla değişimi [70]

Araç ve batarya çeşitliliği, EA şarj ihtiyaçlarında da çeşitliğe sebep olmakla birlikte farklı kapasitedeki EA'ların ortak kullanabileceği şarj istasyonları kurulması mümkünüdür. EA şarj istasyonu boyutlandırılmasında EA'ların kapasite faktörlerinin yanı sıra, şarj gücü, şarj süresi ve batarya kapasiteleri ile kullanım yoğunlukları dikkate alınmalı ve bu şarj istasyonlarının şebeke üzerinde oluşturacakları etki dikkatlice analiz edilmelidir.

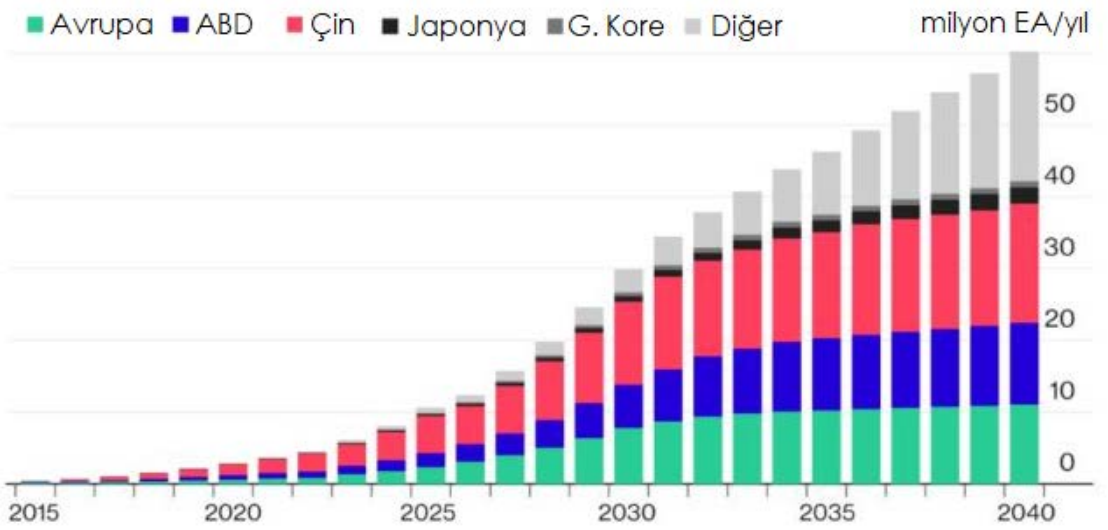
3.2 EA'ların Şebeke Üzerindeki Etkisi

Fosil yakıtların çevre üzerinde olan yıkıcı etkisi, ekonomik faktörler ve fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, bu kaynaklar tarafından enerjilendirilmekte olan üretim santralleri ve ulaşım araçlarında kaynak değişimi ve çeşitlendirme ihtiyacı doğurmuştur. EA 'ların petrol yakıtlı araçlar yerine tercih edilmeye başlanması ve bu sürecin gün geçtikçe hızlanması sonucunda EA'lar için şarj istasyonları ihtiyacı doğmaktadır. Çeşitli marka ve modellerde olan EA'lar çeşitli şarj kapasiteleri ve şarj güç değerleri dolayısıyla, şebeke üzerinde her bir şarj istasyonu tarafından farklı bir etki oluşturacaklardır. EA şarj istasyonunun şebeke entegre edileceği noktalarda, entegrasyon öncesi yapılması gereken analizler ile şebeke üzerinde stabilite ve güç kalitesi problemlerinin önüne geçilmesi mümkündür. Bu nedenle,

EA'ların şebeke üzerinde oluşturacakları etkiyi analiz edebilmek için planlanan şarj istasyonu ve şebeke üzerinde yük akış analizleri, kısa devre analizleri ve transient stabilite analizleri gerçekleştirilmeli, koruma sistemi ekipmanları ve ayar değerleri bu metodoloji ile belirlenmelidir. Şebeke üzerinde oluşacak olan etki, EA'ların mesai saatleri dolayısıyla yaklaşık olarak aynı zaman dilimi içerisinde şarj ihtiyacı doğması sonucunda meydana gelecektir. EA'ların sabah saatlerinde iş yerleri, kampüsler, alış veriş merkezi otoparkları gibi alanlarda şarj istasyonlarına bırakılmaları sonucunda doğacak olan enerji talebi, şebeke stabilitesini direkt olarak etkileyecektir. Mikro şebekelerde EA şarj istasyonları eklenmesi sonucunda oluşacak olan etki, konvansiyonel dağıtım şebekelerine oranla daha fazla olacaktır ancak, gelecekte oluşması öngörülen milyonlarca araçlık EA kullanım potansiyelini dikkate aldığımızda aynı etkinin büyük dağıtım şebekelerinde de görülmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle, mikro şebekelerde gerçekleştirilecek olan EA entegrasyon analizleri, ana dağıtım şebekeleri için de değerlendirilmelidir. Ülkemizde günümüzde 10000 EA var iken 2030 yılında 2.5 milyon elektrikli araç kullanılacağı beklenilmektedir [71]. Bu ihtiyaca cevap verebilecek olan şarj istasyonu altyapısını sağlayabilmek büyük önem taşımakla birlikte, mikro şebekelerin kullanımı ve dağıtık üretim tesislerinin kullanımı ile YES entegrasyonunun akıllı şebeke altyapısı ile sağlanması en uygun çözüm olarak görülmektedir. Şarj istasyonlarının EA tüketim talebine yetişebilmesi ve şebeke üzerinde stabiliteyi bozucu etki oluşmasının önlenebilmesi için YES entegrasyonu sağlanmış mikro şebekeler, beklenilen EA sayısına ulaşılmadan önce kademeli olarak hazır hale getirilmelidir.

3.3 EA'ların Gelecek Vizyonu

Otomobil kullanıcıları ve ulaşım sektörü EA'ların yaratacağı değişim için gerekli olan altyapının hazırlanması sonucunda artacak olan EA kullanımı ile bir değişim sürecine gireceklerdir. EA'lara ait gelecek kullanım beklentisi Şekil 3.3'de belirtilmiştir.



Şekil 3.3 EA gelecek kullanım beklentisi [72]

EA'ların potansiyel kullanıcıları için, EA kullanımına geçilmesini sağlayacak temel faktör yetersiz olan şarj istasyonu sayısının arttırılması olacaktır. Yapılan araştırmalarda ABD'de EA kullanım oranının 2050 yılında %62 olacağı, İngiltere'de ise şarj istasyonu sayısının artması ile birlikte araç sahiplerinin %80'inin mevcut araçlarını EA ile değiştirmek istedikleri belirtilmiştir [3, 4]. Bu bağlamda, EA kullanımını arttırarak karbon salınımı ve dolayısıyla oluşan sera etkisini azaltmak, ekonomik anlamda tüketiciye avantaj sağlamak, fosil yakıt kullanımını ortadan kaldırmak için ön şartlardan olan EA şarj istasyonlarının hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi EA kullanımındaki artışı hızlandıracaktır. EA kullanımı için gerçekleştirilen tahminler doğrultusunda büyük kapasiteli şarj istasyonlarına ihtiyaç duyulduğu gerçeği, şebeke üzerinde stabilite problemi yaratılmadan dikkate alınmalı ve gerekli analizler ile EA şarj istasyonları boyutlandırılıp konumlandırılmalıdır. EA şarj istasyonlarını şebekeye entegre etmek ve oluşturacakları güç talebini karşılayıp, pik yükleri elimine edebilmek için en uygun çözüm olarak öngörülen YES'lerin yer aldığı dağıtık üretim tesisleri tarafından enerjilendirilen mikro şebekeler için gerekli analiz ve metodolojiler hazırlanıp yüksek seviyeli EA entegrasyonundan önce hayata geçirilmelidir.

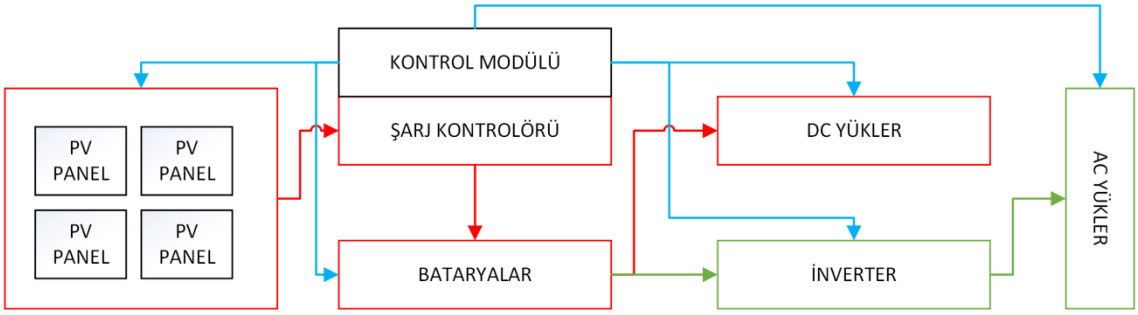
4
AKILLI ŞEBEKE ALTYAPISI İLE EA VE GES ENTEGRASYONU

Elektrik güç sistemlerinde gelişmekte olan teknolojinin kullanımının yaygınlaşması ve yeni nesil üretim tesislerinin şebeke entegrasyon ihtiyacının artması sonucunda yeni çözümler üretilme ihtiyacı doğmuştur. Şebeke bileşenleri ile birlikte üretim, tüketim ünitelerinin yeni nesil bileşenler ile entegre edilmiş olması, şebeke altyapısının da bu ihtiyaca cevap verebilecek şekilde dizayn edilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır. Geleneksel şebeke altyapısı ile yeni nesil dağıtık üretim tesislerinin entegrasyonu ve aynı zamanda üretici olabilen tüketicilerin eklenmesi, şebeke üzerinde stabilite ve güç kalitesi problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu problemin önüne geçebilmek ve güç sistemi bileşenlerinden optimum verimi sağlayabilmek için dağıtık üretim sistemlerinin mikro şebeke tabanlı altyapı ile entegre edilmesi önerilmektedir.

4.1 GES Şebeke Entegrasyon Kriterleri

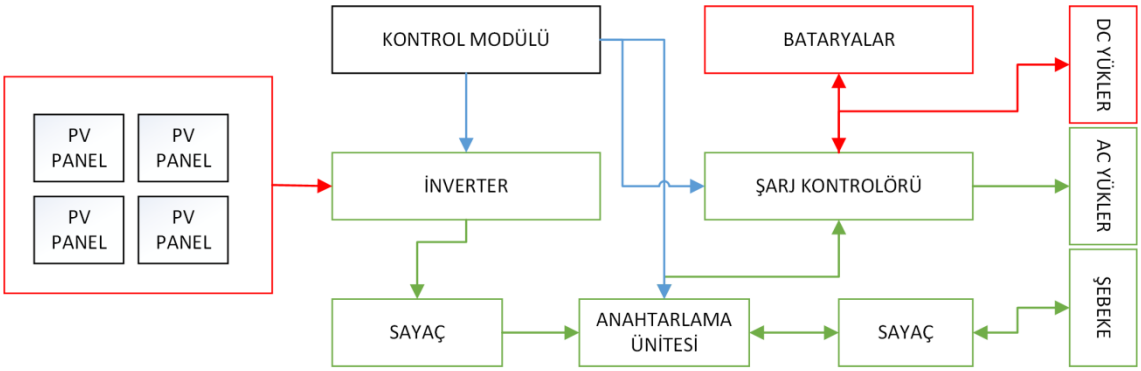
GES'ler kullanım amacı ve koşullara göre şebeke bağlantısı ve çalışma şartları olarak çeşitli alternatifler ile kullanılabilmektedir. Çalışma koşullarına göre GES'ler direkt olarak şebeke ile paralel olarak ya da ada modunda şebekeden bağımsız olarak çalışabilmektedir. Şebekeden bağımsız olarak ada modunda çalışan GES sistemleri genelde küçük güç seviyelerinde imal edilmektedir. Bu GES modellerinde PV paneller ile elde edilen elektrik enerjisi şarj kontrolörü üzerinden batarya ve inverter ünitelerine iletilmekte, güç talebine göre inverter üzerinden AC şebekeye iletilmekte ya da bataryaların direkt olarak şarj edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Tüketici, enerji ihtiyacını gece gündüz döngüsü içerisinde direkt olarak PV panellerden yada bataryalarda depolanmış olan enerjiden sağlayabilmektedirler. Şebekeden bağımsız olan GES modellerinde kapasite tayini, güç ihtiyacının gece ve hava şartları elvermediği anlarda karşılanabilmesi için, batarya kapasitesi de dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Bu tip GES'ler daha çok bağ

evleri, tarla sulama sistemleri, sinyalizasyon sistemleri, şantiyeler ve mobil uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Şekil 4.1'de şebekeden bağımsız GES modeline ait prensip şeması belirtilmiştir.



Şekil 4.1 Şebekeden bağımsız GES modeli

Büyük güçlü sistemlerde ise şebeke ile paralel çalışan GES modelleri kullanılmakta, bu modelin sağlamış olduğu şebekeyi enerjilendirme ve ada modunda lokal yükleri enerjilendirme avantajları dolayısıyla kullanım esnekliği sağlanmaktadır. GES'lerin bağlı olduğu mikro şebekelerde üretim ihtiyacı PV paneller ile karşılanıp, talebin artması durumunda şebekeden beslenme imkanı, talebin düşük olduğu anlarda şebekeye enerji satabilme imkanı ve şayet mikro şebekede depolama sistemleri bulunmakta ise şarj edilme imkanı sağlanmaktadır. Şekil 4.2'de şebeke ile paralel çalışan GES'lere ait prensip şeması belirtilmiştir.



Şekil 4.2 Şebeke ile paralel çalışan GES modeli

GES modelinde PV ile gerçekleştirilen enerjinin lokal yüklerin veya şebeke üzerinde bulunan diğer tüketicilerin enerjilendirilmesi mümkün kılınırken bu sistem karakteristik özellikleri dolayısıyla şebeke üzerinde negatif etki oluşmasına neden olmaktadır. GES'lerin düzensiz üretim karakteristikleri dolayısıyla şebeke üzerinde özellikle gerilim stabilitesini olumsuz yönde etkilemesi, istenilmeyen bir

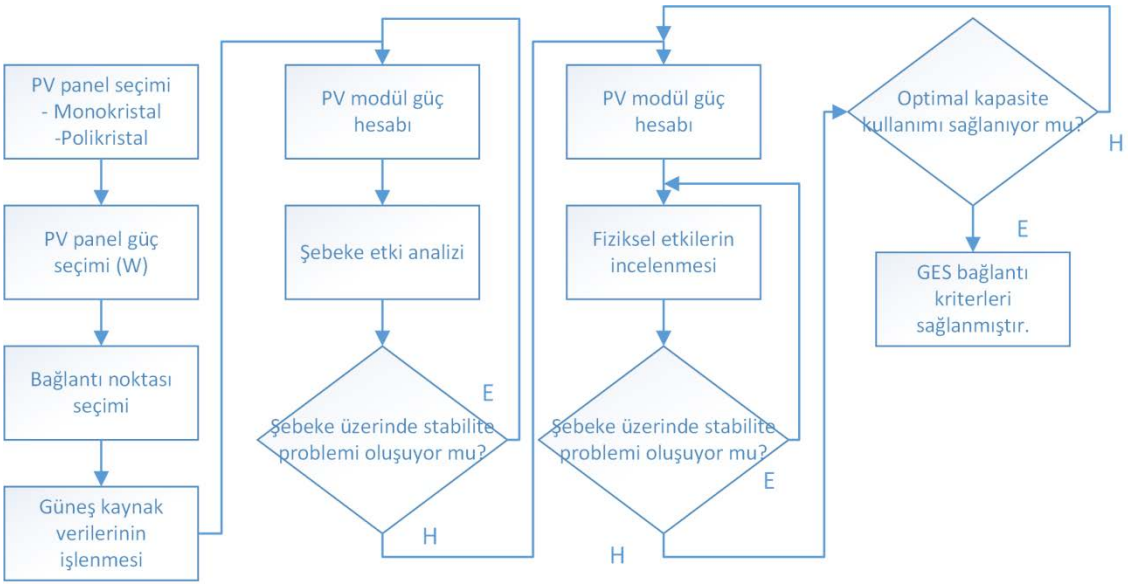
durum olarak ortaya çıkmaktadır. Bu dezavantaj, şebeke üzerinde güç kalitesi ve kararlılık açısından problemler ortaya çıkarmakla birlikte, düşük güçlü mikro şebekelerde bu etki daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. PV modüller ile kurulan GES'lerden oluşan mikro şebekelerde güm içerisindeki üretim değişimi ve tüketim değişimleri dolayısıyla büyük ölçüde gerilim dalgalanmaları meydana gelmekte, bu dalgalanmalar sonucunda ortaya çıkan aşırı gerilim ve düşük gerilim arızaları sonucunda sistemdeki tüketiciler enerjisiz kalabilmekte ve maddi kayıplar ortaya çıkmaktadır. Enerji sürekliliğini sağlamak, karbon salınımını azaltmak ve ekonomik avantaj sağlamak adına entegre edilen GES'lerin yaratmış olduğu şebeke üzerindeki gerilim stabilitesi problemi için, dizayn aşamasında gerekli hesaplama ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilerek bu problemin önüne geçilmesi büyük önem taşımaktadır. GES'lerin şebeke bağlantısı sağlanırken dikkate alınması gereken ana faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- Bağlantı yapılacak baranın akım taşıma ve kısa devre kapasitesinin kontrolü.
- GES üretim profilinin şebeke gerilim stabilitesi üzerindeki etkisi.
- Tüketicilerin talep profili ile üretim profilinin kıyaslanması ve analizi.
- Gerilim ve frekans seviyesinin uygunluğunun kontrolü, güç kalitesi problemlerinin incelenmesi.
- Şebekede meydana gelecek arıza senaryolarının incelenmesi ve ada moduna geçiş senaryolarının kontrolü.
- Üretim ve tüketim tesisinin aynı yapıda olması durumunda tesisat uygunluğunun kontrolü.
- Koruma sistemine ait röle, kesici, akım transformatörleri, gerilim transformatörleri gibi elemanların, eklenecek GES ile oluşan değişime uygun olup olmadığının kontrolü.

Belirtilmiş olan analizlerin dikkatlice yapılması ve maksimum verim ile güvenilirliğin sağlanabilmesi için optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmelidir.

4.1.1 GES Entegrasyon Kapasite Tayini ve Boyutlandırma

GES'lerin şebeke entegrasyon aşamasında gerçekleştirilmesi gereken analizlerin yanı sıra boyutlandırma ve konumlandırma çalışmaları esnasında elde edilecek sonucu iyileştirmek adına ek olarak optimizasyon çalışmaları da gerçekleştirilmelidir. İlk aşama olarak PV panel tipleri içerisinde maliyet ve verimlilik analizi gerçekleştirilerek panel tipi seçilmeli, PV modül oluşturulma aşamasında istenilen gerilim seviyesi ve güç için PV panel konfigürasyonu optimize edilmelidir. PV panel konumlandırma ve seçim aşamalarında yıllık ortalama güneşlenme süresi, güneş radyasyonu yoğunluğu ve güneş açısı parametreleri göz önüne alınmalıdır. Mikro şebekelerde şehir içerisinde kullanımı yaygın olarak sağlanabilecek çatı tipi PV paneller ile dağıtık üretim tesisleri oluşturularak, direkt olarak tüketicinin enerjilendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu bağlamda, çatı tipi PV panellerin fiziksel limitler, gölgelenme etkisi ve elektriksel bağlantı kriterleri göz önüne alınarak boyutlandırılması gerçekleştirilmelidir. PV modül boyutlandırılmasının ardından, inverter modülleri ile şayet sistemde depolama ünitesi yer alıyorsa bataryaların boyutlandırılması sağlanmalıdır. İnverter çıkışlarında AC tüketim üniteleri ile şebeke bağlantısı sağlandığından inverter seçiminde güç kalitesi problemleri yaratmayacak bir seçim gerçekleştirilmelidir. İnverter tipinde pulse seçimi ve gerekli ise harmonik filtre kullanımı bu noktada önem arz etmektedir. Şebeke üzerinde GES entegrasyonu sonucu oluşan etkinin incelenmesi ve giderilmesi bu noktada koruma sistemi üzerinde oluşan etki ile birlikte düşünülüp analiz edilmelidir. Şebeke ile paralel çalışan dağıtık üretim tesisi olarak planlanmış GES'ler için entegrasyon algoritması Şekil 4.3'de belirtilmiştir.



Şekil 4.3 GES entegrasyon algoritması

Kapasite tayini ve boyutlandırma aşamaları hem GES üretim optimizasyonu hem de şebeke stabilitesi açısından önemli bir analizdir. Bu noktada gerçekleştirilen çalışmalarda verimlilik ve güvenilirlik ön planda tutularak, fiziksel ve ekonomik limitler dahilinde kapasite maksimizasyonu, gerçekleştirilen çalışmada optimizasyon metodolojisi olarak kullanılmıştır.

4.2 EA'ların Şebeke Entegrasyon Kriterleri

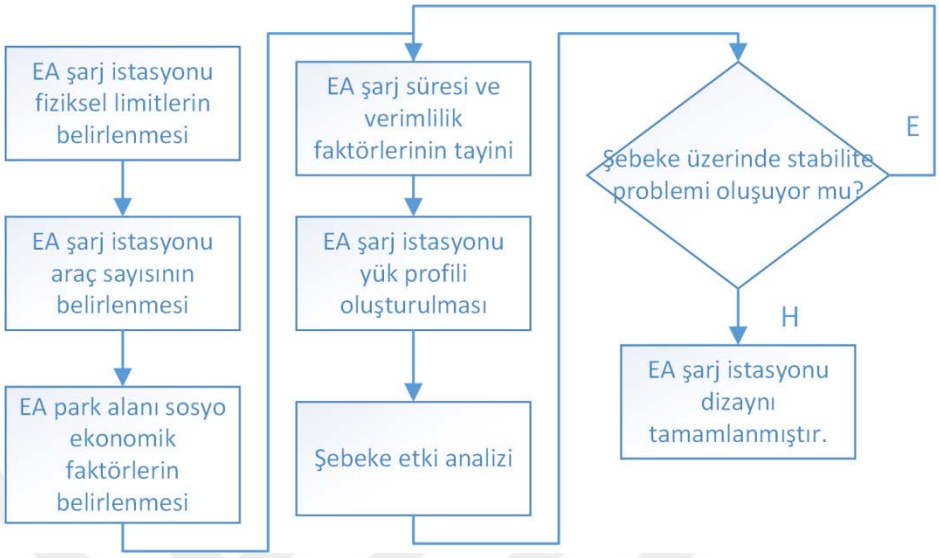
EA'ların gün geçtikçe artmakta olan kullanım oranı ve şebeke üzerinde oluşturdukları yüklenmedeki artış sonucunda, şebeke üzerinde oluşturdukları etkinin azaltılması ve elimine edilebilmesi için çözüm arayışı ortaya çıkmaktadır. Gelecek vizyonu içerisinde sayılarının milyonlarca olması beklenilen EA'ların şarj ihtiyaçları doğrultusunda, talep edilen güç ihtiyacına paralel olarak şebeke üzerinde büyük bir etki oluşturmaları beklenmektedir. EA güç talebinin yönetilmesi için sunulan çözümler içerisinde şarj istasyonlarında talep optimizasyonu ile talebin limitlenmesi görüşünün yanı sıra YES'lerin lokal olarak kullanılması ile pik yüklerin ortadan kaldırılması görüşü de sunulmaktadır. Lokal olarak EA güç talebinin YES'ler ile karşılanması durumunda bu dağıtık üretim tesislerinin entegre edilmesi gereken mikro şebeke ihtiyacı doğacaktır. Ana dağıtım şebekelerine kıyasla daha verimli ve güvenilir olan mikro şebekeler düşük güç kapasitesine sahip olmaları dolayısıyla değişken üretim ve tüketim

profillerinden daha çok etkilenmekte ve şebeke gerilim stabilitesindeki olumsuz etki enerji kesintisine kadar birçok güç kalitesi problemi ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, gerçekleştirilecek olan EA şebeke entegrasyon aşamasından önce, sistem stabilitesi üzerinde olan etkileri incelenmeli ve gerekli analizler sonucunda elde edilen veriler ışığında EA entegrasyonu optimal olarak sağlanmalıdır. EA şebeke entegrasyon aşamasında fiziksel ve elektriksel limitler ile tüketim talebi dikkate alınarak şarj istasyonu kapasite tayini gerçekleştirilirken şebeke üzerinde oluşturacağı gerilim stabilite problemleri de yüksek seviyeli entegrasyon öncesinde dikkate alınıp, gerekli analizler sonucunda optimal çözümü sunan metodoloji ile boyutlandırma ve konumlandırma çalışmaları gerçekleştirilmelidir.

4.2.1 EA Entegrasyon Kapasite Tayini ve Boyutlandırma

EA'ların şebeke entegrasyonu için konvansiyonel şebekeler üzerinde gerçekleştirilmesi gereken analizler ve detaylı hesaplamalar, entegrasyon aşaması öncesinde gereklilik arz etmektedir. Konvansiyonel şebeke altyapısına sahip dağıtım şebekelerinde yüksek seviyede EA şarj istasyonu entegre edilmesi durumunda karşılaşılması muhtemel olan gerilim regülasyonu ve stabilite problemleri, şarj istasyonu entegrasyonu ve dolayısıyla EA satışları önünde bir engel olarak durmaktadır. Bu nedenle, EA şarj istasyonu entegrasyonu için, dağıtık üretim tesisleri ile desteklenmiş ve güvenilirliği arttırılmış olan mikro şebekeler en uygun seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. EA entegrasyonunun mikro şebekelerde gerçekleştirilebilmesi için izlenilmesi gereken yol, öncelikle tüketim talebi, fiziksel limitler ve elektriksel limitler dikkate alınmalıdır. Bağlantı noktasında, bağlantı barasının akım taşıma kapasitesi, kısa devre dayanımı, koruma sistemi ekipmanlarının kapasiteleri ve koruma sistemi ayar değerleri dikkatlice analiz edilmelidir. Gerçekleştirilecek olan çalışmalar sonucunda EA entegrasyonu için mikro şebeke üzerinde uygun bağlantı noktası tayini yapılırken fiziksel limitlerde dikkate alınarak araç kapasitesi ve güç değerleri belirlenmelidir. Araç kapasitesi ve güç değerleri belirlenirken farklı marka ve model araçların, farklı şarj güçleri ve nominal batarya kapasiteleri dikkate alınmalıdır. Bu noktada, EA şarj istasyonlarının kurulacağı mikro şebeke içerisinde yer alan bölgedeki kullanıcıların sosyo ekonomik durumları ve dolayısıyla araç kullanım

karakteristikleri incelenip, kapasite tayini optimizasyon çalışmalarında dikkate alınmalıdır. Şekil 4.4'de EA şarj istasyonları için optimize edilmiş boyutlandırma çalışmasını temel alan algoritma belirtilmiştir.



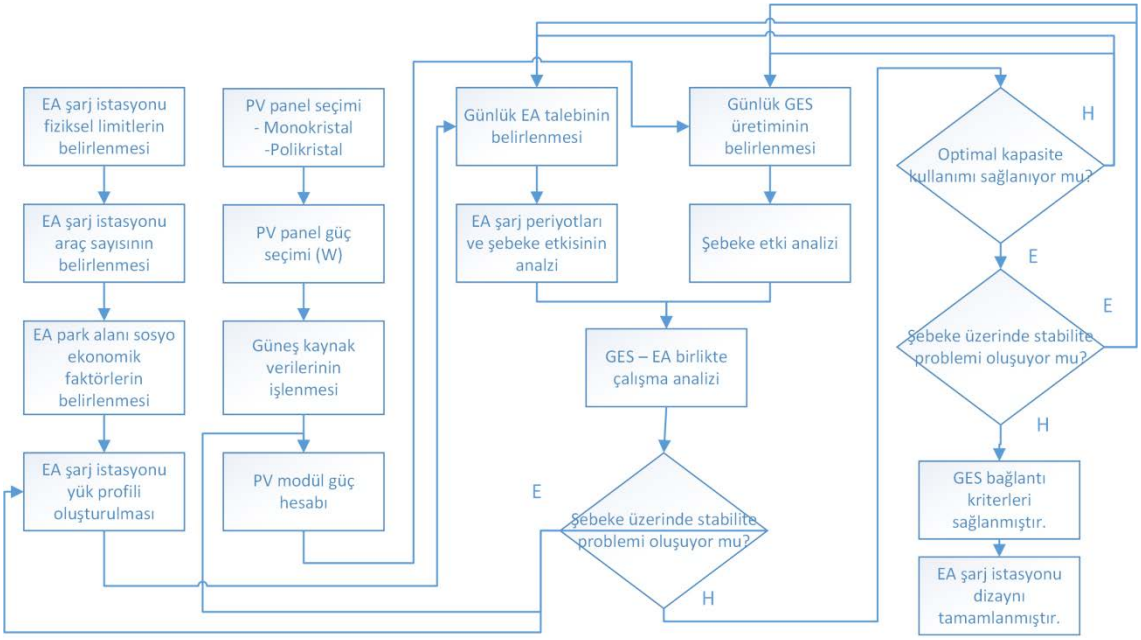
Şekil 4.4 EA şarj istasyonu entegrasyon algoritması

EA entegrasyon aşamalarında şebeke açısından inceleme yaptığımız zaman, şebeke üzerinde etkinin oluşmaması için kapasite limitlemesi ya da şarj sürelerinin periyodik olarak zamana yayılması sonucu verimlilik düşüşü ve şarj sürelerinin uzaması problemi ortaya çıkmaktadır. EA'ların şarj gücü ve pik talebin azaltılmasına yönelik çalışmalar, EA'ların kısmi olarak şebekeyi enerjilendirmesi yoluyla stabilite sağlanması ve dağıtık üretim tesisleri ile enerji depolama sistemleri kullanılarak EA şarj istasyonu optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir [73, 74, 75]. Bu problemi ortadan kaldırmak adına, EA şarj istasyonlarının GES'ler ile birlikte dizayn edilmesi ve GES'ler tarafından üretilen enerjinin dağıtık üretim tesisi konsepti ile mikro şebeke altyapısına dönüştürülüp kullanılarak stabilite ve verimlilik problemlerinin ortadan kaldırılması önerilmiştir.

4.3 EA ve GES'lerin Eş zamanlı Şebeke Entegrasyon Metodolojisi

Şehirlerde ve sanayi yerleşkesi gibi mikro şebeke altyapısı için uygun olan alanlarda GES entegrasyonu sonucunda ekonomik ve çevresel etki açısından büyük avantajlar elde edilirken şebeke stabilitesi açısından üstesinden gelinmesi gereken

entegrasyon problemleri ortaya çıkmaktadır. EA'ların bu konseptteki mikro şebekelerde, tüketici ihtiyaçları doğrultusunda enerji ve şarj istasyonu ihtiyaçları doğacaktır. Bu ihtiyaç, sayıları milyonlarla ifade edilen EA'ların şehirlerde kullanılması ile birlikte katlanarak artacaktı. EA'ların enerji talebi sonucunda şebeke geriliminde düşük gerilim problemi ortaya çıkacaktır. EA şarj istasyonlarının artması ile birlikte, mikro şebekelerde gerilim seviyesi, pik yüklenme anlarında büyük düşüş ve gerilim stabilitesi problemleri ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle mikro şebekelerde GES'lerin dağıtık üretim tesisleri olarak kullanımı ile EA'ların şarj talebinin fiziksel ve elektriksel limitlere göre karşılanması, talebin düşük olduğu durumlarda üretilen fazla enerjinin şebeke satılması ve gerilim seviyesinin dengelenmesi söz konusu olmaktadır. EA ve GES'lerin birlikte çalışması planlanan mikro şebekelerde iki önemli nokta, muhtemel sorunların temelini oluşturmaktadır. İlk olarak GES'lerin entegrasyonu sonucunda şebeke üzerinde oluşturacağı gerilim yükselmesi etkisi ve ikinci olarak EA'ların şebeke üzerinde oluşturacağı gerilim düşümü etkisi dikkate alınmalıdır. Bahsedilen iki etkinin optimal olarak koordine edilmesi ile şebeke üzerinde oluşacak gerilim regülasyonu ve kararlılık probleminin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Şekil 4.5'de EA ve GES entegrasyon aşamalarına ait akış şeması belirtilmiştir.



Şekil 4.5 EA ve GES entegrasyonuna ait akış şeması

GES'lerin ve EA'ların entegrasyon aşamaları esnasında izlenmesi gereken adımlar ve hesaplamalara ek olarak optimizasyon algoritması kullanımı ile verimlilik ve GES üretim maksimizasyonu amaçlanmıştır. GES üretimini elektriksel ve fiziksel limitler dahilinde arttırırken EA'lardan kaynaklanan gerilim düşümü de hesaplanıp mikro şebekelere ait gerilim regülasyonunun kararlı halde kalması amaçlanmaktadır.

4.4 Koruma Sisteminin Adaptif Çalışma Kriterleri

Dağıtım şebekelerinde kullanılmakta olan ana koruma ekipmanlarında kesiciler, röleler, akım ve gerilim transformatörleri ve ayırıcılar, sistem bileşenleri içerisinde, enerjinin sürekliliğini sağlamak, arıza durumunda müdahalede bulunmak ve yanlış açma gerçekleştirmemek amaçlarını taşımaktadırlar. Bu bileşenlerden karar ünitesi olan röleler, ayar değerleri belirlenirken dikkatlice analiz edilmeli ve en optimal seçim gerçekleştirilmelidir. En sık ve efektif olarak uygulanan aşırı akım koruması için rölelerde belirlenen ayar değerleri, ilgili rölelere atanarak koruma sistemi ayarı gerçekleştirmektedir. Arıza noktasına en yakın rölenin bağlı olduğu kesiciyi ilk olarak açtırması ve ardından ikinci yakın rölenin, bu açma işlemi gerçekleşmezse müdahale etmesi, sırasıyla devamındaki rölelerin arıza noktasını sistemden izole etmesi prensibi ile selektif koruma sağlanmaktadır. Selektif koruma ile arıza bölgesini sistemden izole etmek ve yanlış açmaların önüne geçmek için röle ayar değerleri hesaplanırken koordinasyon zaman payı (KZP) değeri kullanılmaktadır. Aşırı akım rölelerinde kullanılan modellere göre seçilen açma ayar değerleri ve zaman parametreleri International Electrotechnical Commission (IEC) 60225 standardına göre belirlenmektedir [76].

Şebeke modelinde yer alan rölelerde aşırı akım koruması için doğru değeri ayarlama çalışmalarında yük yada fidere ait nominal akım değeri baz alınarak koruma metodolojisi için hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Şebeke bileşenleri dizayn edilirken kısa devre dayanım hesaplamalarında kullanılan maksimum kısa devre akımı ile ekipman seçimi gerçekleştirilirken koruma sistemi ayar değerleri belirlenirken minimum kısa devre akımı kullanılmalıdır. Şebeke üzerindeki yüklenme, gerilim seviyesi ve sıcaklık değerlerindeki değişimler dolayısıyla kısa devre değeri değişebilmektedir. Kısa devre hesabı esnasında kullanılacak olan

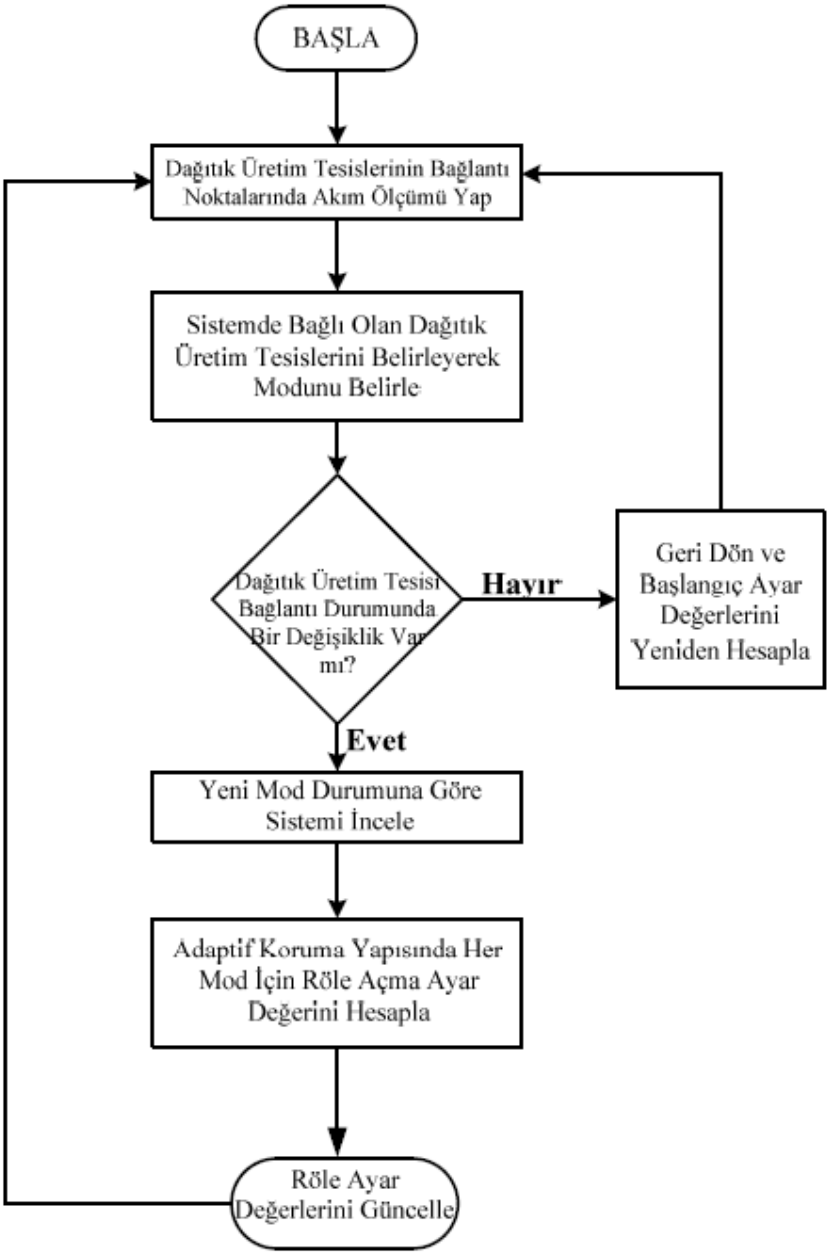
parametreler, düzeltme katsayıları ve hesap metodolojisi IEC 60909 standardına göre gerçekleştirilmektedir[77]. Bu nedenle koruma sistemi ayar değerleri belirlenirken sistemde oluşabilecek minimum kısa devreler dikkate alınmalı ve koruma sisteminin minimum kısa devre anında açması sağlanmalıdır. Aşırı akım ayar değeri belirlenirken oluşturulan metodoloji ile KZP değeri dikkate alınıp koruma sisteminin selektif çalışması sağlanmalıdır.

Koruma sisteminde yer alan rölelerin farkı çalışma koşullarında, şebekede meydana gelen değişimler dolayısıyla ilk ayar değerini referans almaları sonucunda yanlış açmalar ya da arıza anında etkisiz kalma durumları ortaya çıkabilmektedir. Değişken üretim profiline sahip YES'lerin ve değişken tüketim profiline sahip EA'ların entegre edileceği mikro şebekelerde bu durum çok daha sık görülecektir. Artan ve azalan güç parametreleri doğrusunda anma akımlarının yanı sıra sistemdeki maksimum ve minimum kısa devre akımları da değişecek, koruma sisteminin dinamik olarak bu ihtiyaca cevap verme zorunluluğu doğacaktır. Şebeke bileşenlerinde meydana gelen değişim sonucunda çalışma senaryolarına uygulanması gereken ve koruma sistemini etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- EA şarj istasyonunun yoğun güç talebi
- EA şarj istasyonunun düşük güç talebi veya istasyonun boş olması
- YES'lerin nominal güçte üretim gerçekleştirmesi
- YES'lerin düşük güç üretimi ya da devre dışı olması
- Ana şebeke ile mikro şebekenin paralel çalışması
- Mikro şebekenin ada modunda çalışması
- Mikro şebeke içerisinde manevralar gerçekleştirilmesi, şebeke yapısının değişmesi

İlgili faktörler göz önüne alındığında oluşan her bir farklı senaryo için farklı bir koruma metodolojisi ile farklı ayar değerleri belirlenmelidir. Röleler üzerinde bulunacak farklı kademeler ve ayar değerleri ile senaryo tabanlı olarak ayar değerlerinin, şebeke çalışmasına uygun hale getirilmesi ve bu faaliyet gerçekleştirilirken selektivitenin korunması sonucunda adaptif koruma sistemi

gerçekleştirilmiş olacaktır. Adaptif koruma sisteminin çalışma kriterleri ve metodolojisini belirten algoritma Şekil 4.6'da belirtilmiştir.



Şekil 4.6 Adaptif koruma algoritması [78]

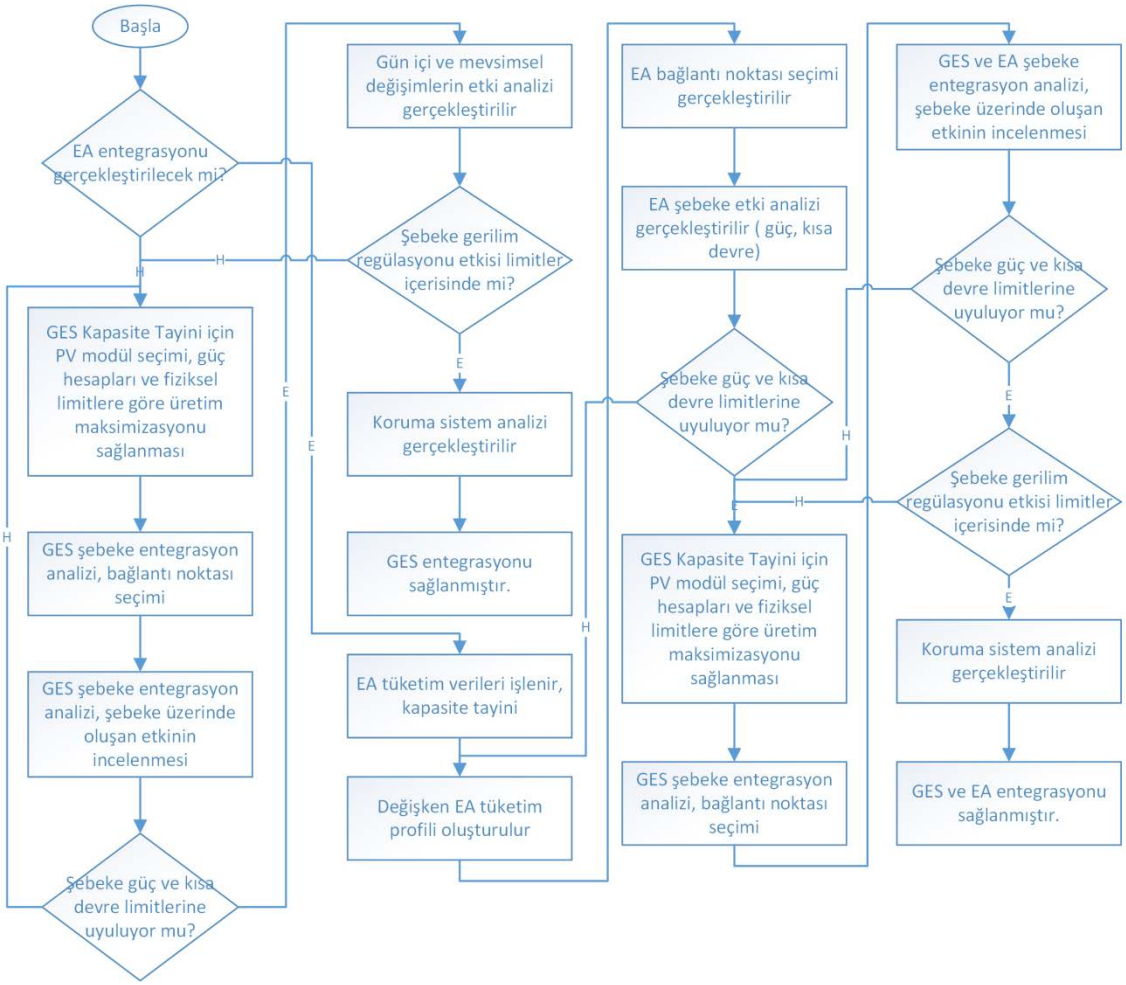
Sunulan algoritma ile GES ve EA'ların çalışma koşulları dikkate alınarak, EA kullanıcılarının sosyo ekonomik davranışları, hava durumu ve mevsimsel şartlardan etkilenen GES üretim değişimi, ada modu ve şebeke ile paralel çalışma modlarının koruma sistemine olan etkisi, mikro şebeke üzerine yansıtılıp adaptif ve selektif koruma sistemi oluşturulmuştur.

5
BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLAR

EA ve GES'lerin şebeke entegrasyon analizleri ve optimal boyutlandırma ile üretimin maksimize edilmesi amaç fonksiyonu kullanılarak dizayn gerçekleştirilmiş olup, şebeke üzerinde gerilim regülasyonunun stabil hale getirilmesini sağlayan metodoloji, çeşitili senaryo ve sistemler üzerinde uygulanmıştır. İlk aşamada kurulan çatı tipi PV paneller ile GES modelleri için boyutlandırma ve konumlandırma optimizasyonları gerçekleştirilmiş ve konumlandırma çalışmaları sonucunda şebeke üzerindeki etkiler sunulmuştur. EA'ların şebeke üzerindeki etkileri senaryo tabanlı olarak GES'ler ile birlikte mikro şebekeler üzerinde çalışılması durumunda incelenmiş ve farklı şebeke modelleri üzerinde etkileri gözlemlenmiştir. General Algebraic Modeling System (GAMS) programı ile deterministik olarak elde edilen EA tüketim parametreleri, benzetim ortamı olarak kullanılan Electrical Transient Analyzer Program'a (ETAP) 11.0 aktarılmış ve ETAP üzerinde kurulan şebeke modellerinde benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Senaryo tabanlı olarak gerçekleştirilen analizlerde ilk senaryo olarak GES modelinin IEEE 9 baralı test sistemi [79]üzerindeki etkisi, şebeke gerilim stabilitesinin sağlanması amacıyla optimize edilip uygulanmıştır. GES modelinin farklı sistemler üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla GES modelinin Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 13 baralı test sistemine [80] entegrasyonu sağlanmış ve ikinci senaryo olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü senaryoda GES ve EA şarj istasyonlarının IEEE 13 baralı test sistemine optimal entegrasyonu ve gerilim stabilitesi sağlanırken, dördüncü senaryoda mevsimsel etkilerin şebeke gerilimi üzerindeki etkileri ve stabilite analizleri sunulmuştur. Beşinci senaryoda ise GES ve EA'ların YTÜ Davutpaşa Kampüsü'ne ait dağıtım şebekesine entegrasyonu ve optimal boyutlandırma ve operasyon analizi gerçekleştirilmiş, gerilim stabilitesinin iyileştirilmesi sağlanmış ve koruma sistemi üzerindeki etkiler sunulmuştur.

5.1 Sistem Modellemesi ve Akış Şeması

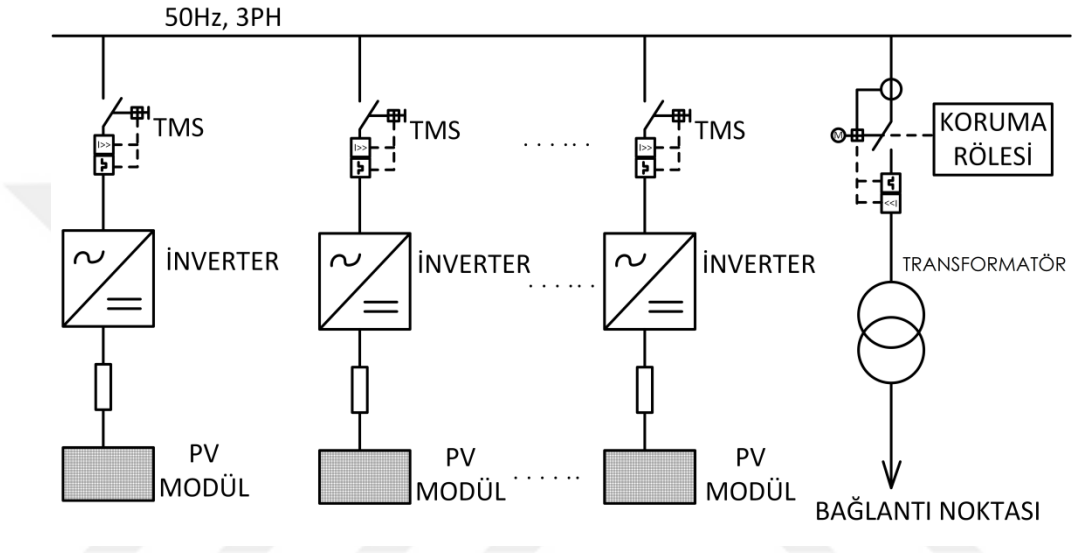
Gerçekleştirilen tez çalışmasında, EA ve GES tabanlı mikro şebeke modelleri benzetim ortamında modellenmiş olup, giriş parametreleri, İstanbul'a ait güneş radyasyonu ve GAMS ile elde edilen deterministik EA tüketim talebi kullanılarak oluşturulmuştur. GES'lerin kapasite tayinleri, senaryo tabanlı olarak, şebeke gerilim regülasyonu ile elektriksel ve fiziksel limitler baz alınarak maksimize edilmeye çalışılırken, EA'ların dahil edildiği senaryolarda, şarj istasyonlarının şebeke gerilim regülasyonu üzerindeki etkisi GES etkisi ile beraber değerlendirilerek optimize edilmiştir. Modelleme algoritmasına ait şema Şekil 5.1'de belirtilmiştir.



Şekil 5.1 GES ve EA modelleme algoritması

Oluşturulan algoritmanın senaryo tabanlı mikro şebeke modelleri üzerinde benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları için kullanılan algoritma 5 farklı senaryo için analiz edilip sonuçları sunulmuştur.

GES modelleri he bir senaryo için elde edilen kapasite tayinleri sonucunda boyutlandırılmıştır. GES modeli için kullanılan bileşenler olan PV paneller, PV modüller, inverterler, yükseltici transformatörler, izolasyon transformatörleri ve koruma sistemi elemanları için kullanılan konfigürasyon Şekil 5.2'de belirtilmiştir.



Şekil 5.2 GES prensip şeması

GES modüllerinde kullanılan PV modüller, inverter sayıları arttırılarak, güvenilirliğin arttırılması için boyutlandırılmıştır. Kullanılan GES modellerinde gerilim seviyelerine göre yükseltici ya da izolasyon transformatörleri kullanılmıştır.

EA şarj istasyonu boyutlandırma ve kapasite tayin çalışmalı için 10 araçlık EA havuzu oluşturulmuştur. EA tüketim profili oluşturma aşamasında kullanılan araçlara ait bilgiler Tablo 5.1'de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 EA profiline ait güç bilgileri [81]

Araç Modeli	**Batarya kapasitesi (kWh)**	**Şarj gücü (kW)**
Volkswagen E-Golf	24	7.2
BMW i-3	22	6.6
Mercedes B-Class	28	10
Tesla Model - S	85	17.2
Fiat 500E	24	6.6
Ford Focus Electric	23	6.6
Kia Soul EV	27	6.6
Mitsubishi i-MiEV	16	3.3
Chevy Volt	17	3.3
Nissan LEAF	24	6.6

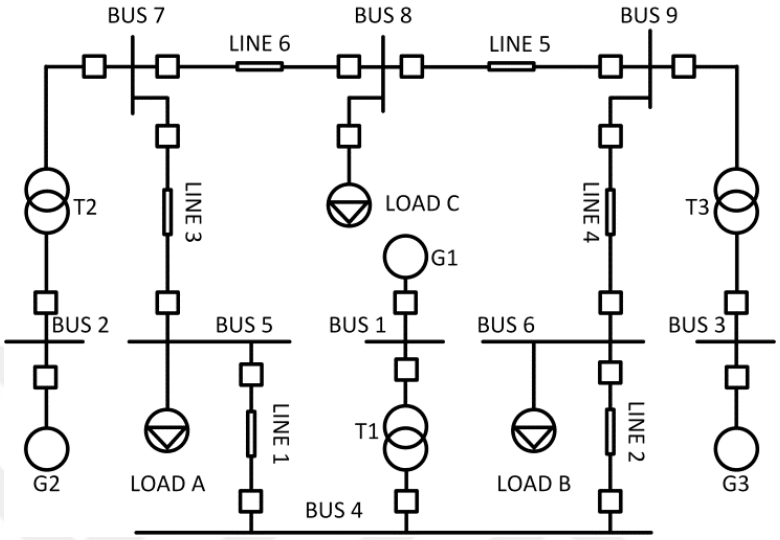
Farklı marka ve modellerde seçilen araçlar, GAMS programı ile deterministik olarak seçilerek tüketim profilleri oluşturulmuş ve her senaryo için farklı konfigürasyon ile şebekeye entegre edilerek etkileri gözlemlenmiştir.

5.2 Senaryo 1 Sistem Modeli ve Sonuçlar

Geliştirilmiş olan algoritmanın güvenilirliği ve verimliliğini test edebilmek adına oluşturulan ilk senaryoda GES modeli benzetim ortamında kurulan IEEE 9 baralı test sistemine aktarılmış, şebeke entegrasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon analizi ile GES modelinin şebeke kısa devre seviyeleri üzerinde oluşturduğu değişim ve bu değişimin koruma sistemine olan etkisi gözlemlenip adaptif koruma ile şebekenin bu değişimden etkilenmesinin önüne geçilmiştir.

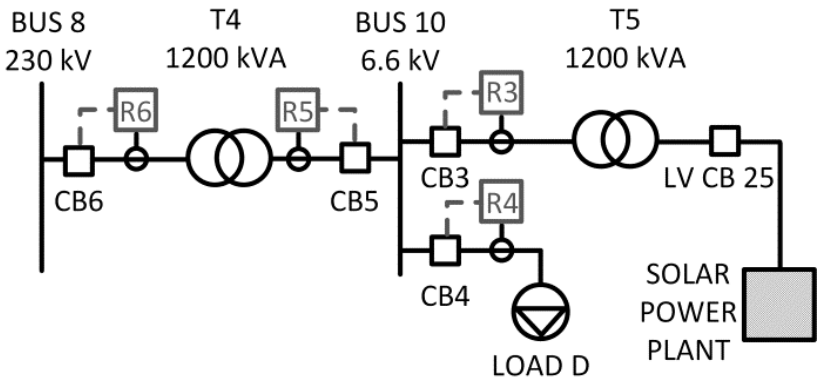
5.2.1 Senaryo 1 Sistem Modeli

Gerçekleştirilen senaryoda, IEEE 9 baralı test sistemi benzetim ortamında kurulup, GES entegrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Benzetim ortamına aktarılan IEEE 9 baralı test sistemine ait tek hat şeması Şekil 5.3'de belirtilmiştir.



Şekil 5.3 IEEE 9 baralı test sistemi

9 baralı test sisteminde hali hazırda bulunan üreticiler, tüketiciler ve hat parametreleri korunmuş olup, bir mikro şebeke modeli olarak kabuk edilen sistemde GES entegrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz için boyutlandırılan GES, 8 nolu baraya entegre edilmiştir. Entegrasyon aşamasında alçak gerilim (AG) seviyede üretilen GES enerjisi orta gerilim (OG) şebekeye bağlanılıp OG yüklerin enerjilendirilmesi sağlanmıştır. Şekil 5.4'de bağlantı şemasına ait tek hat diyagramı belirtilmiştir.



Şekil 5.4 GES bağlantı şeması

Benzetim çalışmasına aktarılan modelde kullanılan şebeke modelinin kurulmasının ardından GES modelleme aşamasına geçilmiştir. GES modeli için kullanılan güneş radyasyonu bilgileri İstanbul'a ait radyasyon verileri kullanılarak elde edilmiştir. Kapasite tayini sonucunda GES'e ait kurulu güç 600 kVA olarak belirlenmiş olup, OG seviyesinde ilk bağlantı noktasındaki yükler kritik yük olarak belirlenip arıza anında ada moduna geçilerek enerjilendirilmeleri hedeflenmiştir. Benzetim çalışmasında kullanılan PV panellere ait bilgiler Tablo 5.2'de belirtilmiştir.

Tablo 5.2 PV panel parametreleri [82]

Panel Tanımı	Nominal Kapasite (W)	Kısa Devre Akımı (A)	DC Maksimum Gerilim (V)	Tolerans (%)
KD205GX-LPU	205	8.33	600	5

PV paneller istenilen güç seviyesine ulaşabilmek için seri ve paralel olarak konfigüre edilip PV modül elde edilmiştir. Modül içerisinde toplam 153 adet PV panel kullanılmıştır. Oluşturulan PV modüle ait bilgiler Tablo 5.3'de belirtilmiştir. PV modül dizayn aşamasının ardından inverter boyutlandırma çalışmaları gerçekleştirilirken, boyutlandırma aşamasında inverter verimi ve kısa devre etkileri göz önüne alınmıştır. İnverter dizayn parametreleri Tablo 5.4'de belirtilmiştir.

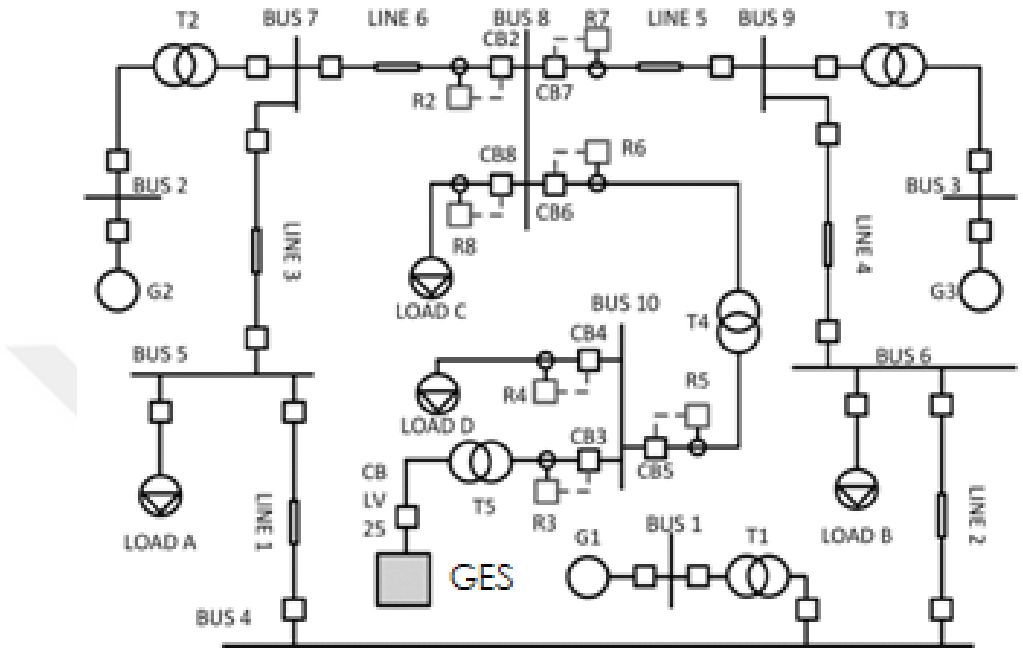
Tablo 5.3 PV modül parametreleri

PV Panel	DC Gerilim (V)	DC Güç (kW)	DC Akım (A)
9*11=99	244.71	21.238	86.79

Tablo 5.4 İnverter dizayn parametreleri

DC Güç (kW)	Gerilim (V)	Vmax /Vmin	FLA (A)	Verim (%)	Imax (%)
23.611	220	%120 / %80	107.3	90	150
AC Güç (kVA)	**Gerilim (V)**	**Pfmax / Pfmin**	**FLA (A)**	**Güç Faktörü (PF) (%)**	**K Faktör (%)**
25	480	100 / 80	30.07	85	150

Oluşturulan GES modeli, 8 nolu bara üzerinden şebeke modeline entegre edilerek, şebeke kısa devre ve güç akış analizleri ile koruma sistemi analizleri gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon aşamasının tamamlanması ile elde edilen şebeke modeli Şekil 5.5'de belirtilmiştir.



Şekil 5.5 IEEE 9 baralı sistem ve GES modeli

Şebeke modeli üzerinde ada modu ve şebeke ile paralel çalışma analizleri gerçekleştirilip GES çalışma modlarının şebeke üzerinde etkisi gözlemlenmiştir.

5.2.2 Senaryo 1 Benzetim Sonuçları

Senaryo 1'in ilk aşaması olarak ekipman seçimi ve şebeke etkilerini gözlemlemek amacıyla yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. Şebeke üzerinde kısa devre etkisini gözlemlemek ve koruma sistemi analizi için kullanılacak olan akım transformatörleri, kesiciler ve rölelere ait parametreler belirlenmiştir. Sistem kısa devre analizi esnasında hesaplanan maksimum ve minimum kısa devre değerleri, GES üretim etkisi dikkate alınarak benzetim ortamında hesaplanmıştır. Maksimum kısa devre için GES tam yükte çalışmada ve şebeke ile paralel olma durumunda en kötü senaryo kabul edilerek hesaplar gerçekleştirilmiştir. IEC 60909'a göre kullanılması gereken gerilim, sıcaklık, reaktans toleransı faktörleri hesaplara dahil edilmiştir. Maksimum ve minimum kısa devre değerleri Tablo 5.5'de belirtilmiştir

Tablo 5.5 Kısa devre minimum ve maksimum değerleri

Bara Tanımı	Gerilim (kV)	Maksimum Kısa Devre (kA)	Minimum Kısa Devre (kA)
1	16.5	209.4	190.4
2	18	159.1	144.6
3	13.8	155	140.9
4	230	9.19	8.33
5	230	9.17	8.36
6	230	9.17	8.34
7	230	9.18	8.33
8	230	9.17	8.34
9	230	9.18	8.35
10	6,6	2.62	1.99
PV BUS	0,4	19.41	13.88

IEC 60909 standardına göre hesaplanan kısa devre değerleri, sistem kısa devre değerleri üzerindeki etkinin GES tarafından oluşturulan kısa devre katkısına bağlı olan değişimi göstermektedir. Bu değişimin koruma sisteminde yer alan IEC normal invers eğriler üzerine uygulanması ile sistem arıza müdahale süresinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Eşitlik (5.1) de normal invers eğri için koruma ayar değeri formülasyonu verilmiştir.

$$t(I) = \frac{0.14}{(I / I_P)^{0.02} - 1} * Tp \tag{5.1}$$

Eşitlik (5.1)'de t(I) açma süresi, I arıza akımı, Ip röle açma akımı ve Tp ise zaman çarpanı olarak formüle edilmiştir.

Şebeke bileşenleri dikkate alınarak Senaryo 1 içerisinde 3 farklı çalışma durumu benzetim çalışmalarına aktarılmıştır. Bu çalışma koşulları içerisinde sadece şebekeden enerjilendirme, ada modu ve paralel çalışma durumları benzetim ortamına aktarılmıştır. Röleler için belirlenen açma akımları Tablo 5.6'da her bir alt senaryo için belirtilmiştir.

Tablo 5.6 Röle açma akım (Ip) değerleri

Açma Ünitesi	Senaryo 1-A		Senaryo 1-B		Senaryo 1-C	
	Nominal Akım (A)	Açma Akımı (A)	Nominal Akım (A)	Açma Akımı (A)	Nominal Akım (A)	Açma Akımı (A)
R2	173	208	173	208	173.6	208
R3	44.9	54	43.6	52	0	0
R4	43.7	52	43.6	52	43.6	52
R5	24.4	30	0	0	43.6	52
R6	0.7	2.5	0	0	1.3	3
R7	93	111	92.9	110	93.5	112
R8	259	312	259	312	259	312
LV CB 25	740.2	880	719	864	0	0
LV CB 1....24	30.84	44.1	29.96	44.1	0	44.1

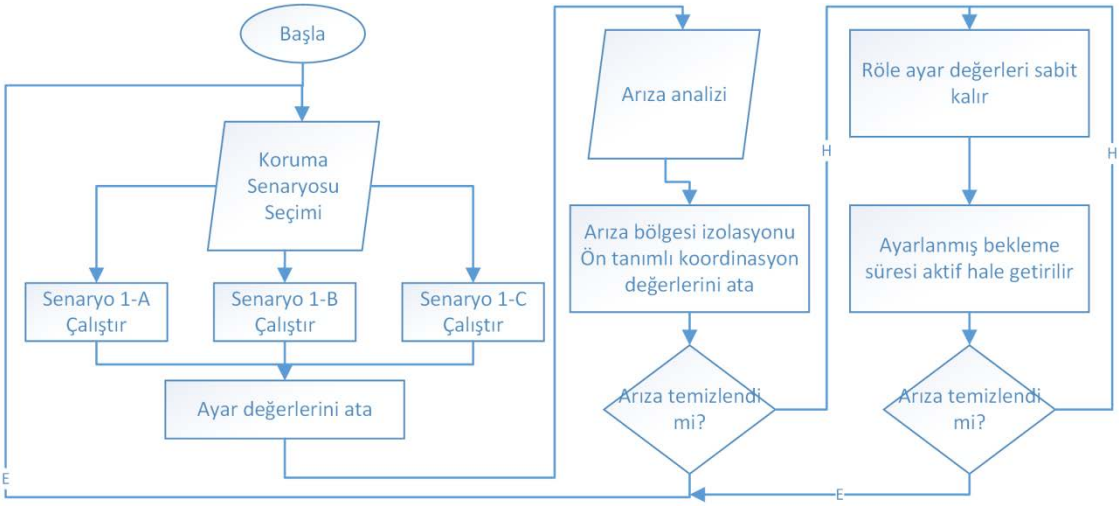
Senaryo tabanlı olarak hesaplanan açma akımları eşitlik (5.1) ile hesaplanıp benzetim ortamına aktarılmıştır. Rölelerin selektif çalışma filozofisini korumak adına KZP değeri 200 milisaniye (ms) olarak kabul edilmiştir. Çalışma modları arasında geçişler meydana gelirken rölelerin yanlış açma meydana getirmesini önlemek için gerekli ayar değerleri belirlenmiş ve benzetim ortamında analiz

edilmiştir. Bu bağlamda hesaplanıp benzetim ortamına aktarılan zaman sabit değerleri Tablo 5.7'de belirtilmiştir.

Tablo 5.7 Röle zaman sabiti (Tp) değerleri

Açma Ünitesi	**Senaryo 1-A**	**Senaryo 1-B**	**Senaryo 1-C**
	Zaman Sabiti (Tp)	**Zaman Sabiti (Tp)**	**Zaman Sabiti (Tp)**
R2	0.08	0.08	0.21
R3	0.12	0.08	0.05
R4	0.08	0.05	0.05
R5	0.08	0.05	0.08
R6	0.05	0.08	0.12
R7	0.08	0.08	0.21
R8	0.05	0.05	0.12
LV CB 25	-	-	-
LV CB 1....24	-	-	-

Röle ayar değerlerinin belirlenmesinin ardından benzetim çalışmaları, sistem güvenilirliğini test etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm senaryolar için gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında tüm baralarda 3 faz kısa devre arızası oluşturulmuş ve sistemin anlık cevap süresi elde edilmiştir. Tüketicilerin enerji sürekliliğini sağlamak adına ada moduna geçiş analizi ile birlikte koruma sisteminin belirlenmiş olan ayar değerlerini sürekli güncellemesi sağlanmıştır. Koruma sisteminin izlediği akış şeması Şekil 5.6'de belirtilmiştir.



Şekil 5.6 Koruma sistemi akış şeması

Senaryo sonuçlarına göre elde edilen açma süreleri ve sistem cevap süreleri Tablo 5.8'de belirtilmiştir.

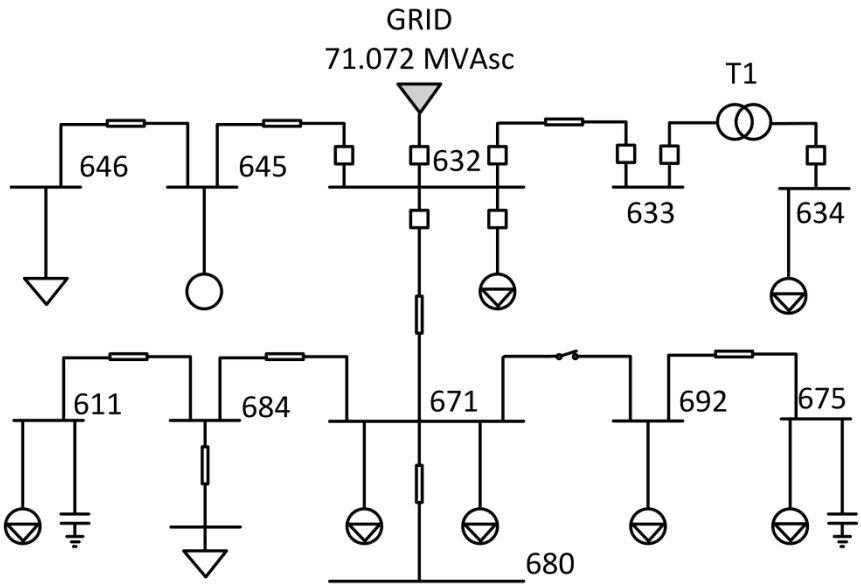
Tablo 5.8 Sistem arıza müdahale süresi

Senaryo	**Arıza Yeri**	**Röleler**	**Operasyon**	**Zaman (ms)**
1	T5 Trafo OG tarafı	R - 3/4/5	CB-3 Aç CB-LV-25 Aç	219 255
1	Bara 8	R - 2/7/6	CB-6 Aç CB-2 Aç CB-7 Aç	159 174 259
3	T4 Trafo YG tarafı	R - 3/4/5/6	CB-6 Aç CB-5 Aç CB-3 Kapat	99.4 159 400
2	T5 Trafo OG tarafı	R - 3/4/5	CB-3 Aç CB-LV-25 Aç CB-5 Kapat	161 255 671

Şebeke modeline uygulanan üç farklı senaryoya göre elde edilen koruma sistemi cevap süreleri değişimi, GES entegrasyonu sonucunda oluşan açma süreleri etkisini yansıtmaktadır. Paralel çalışma senaryosu (1-A) esnasında gözlemlenen açma süreleri, adaptif koruma sistemi sayesinde 259 ms maksimum süre olarak hesaplanmıştır. Arıza esnasında GES üzerindeki yüklerin şebekeye aktarımı ve GES'in izole edilmesi senaryosunda (1-B) ise sistemin toplam manevra süresi 671 ms olarak hesaplanırken, şebekede meydana gelen arıza sonucunda yüklerin GES üzerine aktarımı ve ada moduna geçiş senaryosuna ait manevra süresi toplam 400 ms olarak elde edilmiştir. GES'lerin şebeke entegrasyonun sistem stabilitesi ve koruma sistemi üzerinde oluşturdukları etki gözlemlenmiş ve kullanılan dizayn algoritması ile kapasite tayini aşamasında, sistemin güvenilir şekilde çalışma koşullarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu senaryoda kullanılmış olan GES modelinin İstanbul'a ait yıllık ortalama güneş radyasyonu ile üretim kapasitesi hesaplandığında günlük 6.06 MWh üretim değeri elde edilmektedir. Konvansiyonel bir termik santral ile kıyaslandığı zaman günlük 2754 kg CO_2 emisyonunun azaltılması anlamına gelmektedir. Bu değerde bir YES ünitesinin entegrasyonu sonucu ortaya çıkan bu avantajların, şebeke üzerindeki etki analizleri ile birlikte değerlendirilip, YES entegrasyonunun arttırılması ile çevresel, ekonomik ve elektriksel verimliliğin arttırılması mümkün olarak görülmektedir.

5.3 Senaryo 2 Sistem Modeli ve Sonuçlar

GES'lerin şebeke entegrasyon analizleri gerçekleştirilir iken dikkate alınması gereken entegrasyon kriterlerini gerçekleştirmemizi sağlayan dizayn algoritmasının çeşitli şebeke modelleri üzerinde test edilip güvenilirliğinden emin olma ve optimize etme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle GES dizayn parametreleri ile şebeke etki analizi metodolojisi, tez çalışmasının ikinci senaryosu olarak planlanan IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde analiz edilmiştir. GES entegrasyonu sonucunda ortaya çıkan mikro şebeke modeli IEEE 13 baralı sistem üzerinde benzetim ortamına aktarılmış ve şebeke üzerindeki etkiler incelenerek, dizayn algoritmasının güvenilirliği test edilmiştir. Benzetim çalışmaları için kullanılan 13 baralı sisteme ait tek hat şeması Şekil 5.7'de belirtilmiştir.



Şekil 5.7 IEEE 13 baralı test sistemi

GES dizayn aşamasında belirlenen bağlantı noktasına, kurulacak olan GES için boyutlandırma analizi gerçekleştirilmiş, sistemin fiziksel ve elektriksel limitleri dikkate alınarak GES kurulu gücü 600 kVA olarak belirlenmiştir.

5.3.1 Senaryo 2 Sistem Modeli

IEEE 13 baralı sistemde GES etkisini gözlemlemek amacıyla 634 nolu bara entegrasyon barası olarak seçilmiştir. Şebeke modelinde yer alan konfigürasyonda yer alan 634 nolu baradaki yükler, kritik yükler olarak kabul edilerek ada modunda çalışmada enerjilendirilmesi amaçlanmıştır. Ada modu için belirlenen 494 kVA kritik yük değeri, IEEE modelinden alınarak benzetim ortamına aktarılmıştır. Benzetim ortamında kurulan IEEE 13 baralı test sistemi içerisinde yer alan transformatörler, iletim hatları, yükler, kapasitörler ile koruma sistemi elemanları GES entegrasyon analizinde kullanılmıştır. Şebeke modelinin bağlı olduğu ana baraya ait parametreler Tablo 5.9'da belirtilmiştir.

Tablo 5.9 Şebeke model parametreleri

Bağlantı Barası	Gerilim Seviyesi (kV)	Güç (MVAsc)	Reaktans/Direnç
632	4.16	71.072	2.864

Mikro şebeke olarak modellenen IEEE 13 baralı test sistemine entegre edilen GES modelinin yanı sıra, test sisteminde bulunan tüketicilere ait parametreler ise Tablo 5.10'da belirtilmiştir.

Tablo 5.10 Şebeke modeline ait yük ve kapasitör parametreleri

Yük Adı	Yük Tanımı	Bara	Toplam Güç (kVA)	Kritik Yük (E/H)
Lump 1	3 Faz - Aktif Reaktif Yük (P+Q)	634	494	E
Load 1	1 Faz - Empedans (Z)	646	265	H
Lump 3	3 Faz - Aktif Reaktif Yük (P+Q)	671	1329	H
Lump 4	3 Faz - Aktif Reaktif Yük (P+Q)	675	971	H
Lump 5	1 Faz - Empedans (Z)	692	227	H
Lump 6	1 Faz - Empedans (Z)	611	188	H
Load 2	1 Faz - Empedans (Z)	652	154	H
Lump 7	3 Faz - Aktif Reaktif Yük (P+Q)	671	116	H
Lump 9	3 Faz - Aktif Reaktif Yük (P+Q)	632	116	H
Motor 1	1 Faz - Motor Yükü	645	211	H
Cap 1	1 Faz Şönt Kapasitör	611	100 kVAr	H
Cap 2	3 Faz Şönt Kapasitör	675	600 kVAr	H

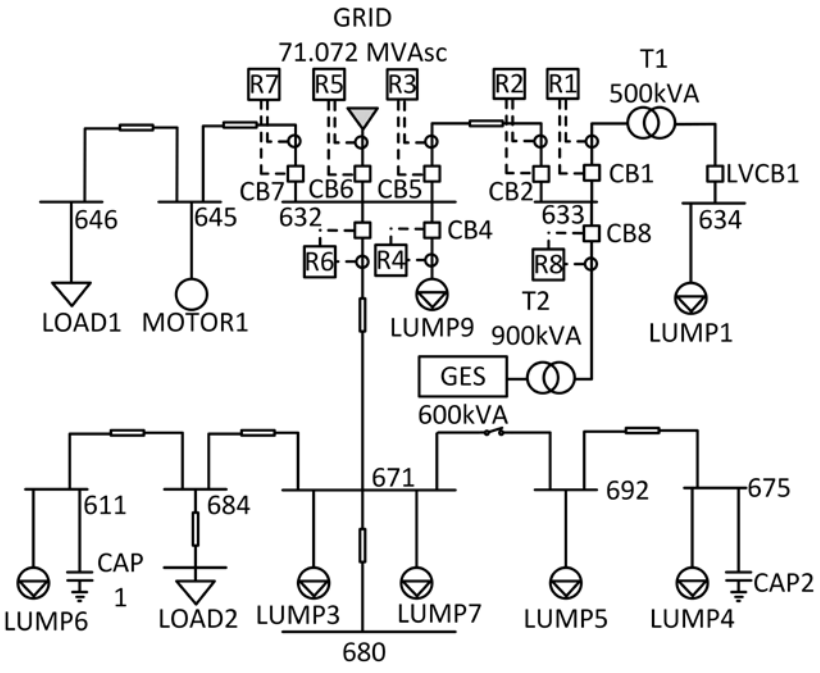
Şebeke modelinin kurulum aşamasının tamamlanmasını takiben GES modeli parametreleri benzetim ortamına aktarılmıştır. PV paneller için kullanılan dizayn parametreleri Tablo 5.2'de belirtilen değerler baz alınarak benzetim ortamına aktarılmıştır. GES üretim kapasitesi için tayin edilen güç ile elektriksel ve fiziksel limitler dikkate alınarak, PV modül dizaynı gerçekleştirilebilmesi için 9 adet PV

panel seri olarak ve 17 tane paralel bağlanılarak toplam 153 adet PV ünite kullanılmıştır. GES modeli için oluşturulan PV modüle ait dizayn parametreleri Tablo 5.11'de belirtilmiştir.

Tablo 5.11 PV modül parametreleri

Panel Adedi	DC Gerilim (V)	DC Güç (kW)	DC Akım (A)
9*17=153	244.71	32.823	134.13

Fotovoltaik modül boyutlandırma aşamasının gerçekleşmesini takiben inverter boyutlandırma ve hesaplama aşamasına geçilmiştir. İnverterler boyutlandırılırken, verimlilik faktörleri göz önüne alınarak Tablo 5.4'de görüldüğü üzere boyutlandırma aşaması tamamlanmıştır. Elde edilen PV modüller ile inverterlerin bağlantısı benzetim ortamında sağlanarak AG baranın enerjilendirilmesi ile GES dizaynı tamamlanmıştır. 600 kVA kurulu güce sahip olan GES 24 adet üniteden oluşturulmuştur. GES modelinin entegre edildiği şebeke modeli ve bağlantı noktası Şekil 5.8'de belirtilmiştir.



Şekil 5.8 GES entegrasyonu sağlanmış şebeke modeli

Entegrasyon aşamasının ardından, sistem çalışma koşulları için oluşturulmuş olan senaryolar, benzetim ortamında gerçekleştirilerek analiz sonuçları elde edilmiştir.

5.3.2 Senaryo 2 Benzetim Sonuçları

Gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında, şebeke modeline entegre edilmiş olan GES modeli üzerinde senaryo tabanlı şebeke etki analizleri uygulanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında sistem üzerinde oluşan kısa devre etkisi incelenmiş olup, maksimum ve minimum kısa devre akımları, senaryo tabanlı olarak hesaplanmıştır. Şebeke modeline ait hesaplanmış olan maksimum kısa devre akım parametreleri Tablo 5.12'de belirtilmiştir.

Tablo 5.12 Hesaplanan kısa devre maksimum seviyeleri

Bara Bilgisi	Maksimum Kısa Devre (kA)	Güç (kVA)
632	12.27	3.52
633	8.98	0.727
634	25.01	0.494
680	5.68	0
671	7.62	2.69
692	7.62	1.03
675	6.83	1.04
PV Bara	17.13	0.589

Maksimum kısa devre değerlerinin hesaplanmasının ardından, sistem koruma ayar değerleri için gerekli olan minimum kısa devre değerlerinin hesaplanma aşaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5.13'de belirtilmiştir.

Tablo 5.13 Hesaplanan kısa devre minimum seviyeleri

Bara Bilgisi	Minimum Kısa Devre (kA)
632	12.05
633	8.61
634	20.64
680	5.29
671	7.16
692	7.16
675	6.39
PV Bara	13.92

GES ile kısa devre değişim analizi gerçekleştirildikten sonra koruma sistemi üzerindeki etkinin gözlemlenmesi amacıyla rölelerde IEC normal invers eğri ile selektif ve adaptif koruma entegrasyon aşaması gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre elde edilen rölelere ait çalışma akım değerleri Tablo 5.14'de belirtilmiştir.

Tablo 5.14 Hesaplanan rölelere ait çalışma akımları

Açma Ünitesi	Nominal Akım (A)	Röle Çalışma Akımı (Ip) (A)
R-1	68.3	80
R-2	68.4	84
R-3	68.4	84
R-4	15.6	20
R-5	517.1	620
R-6	371	444
R-7	104.1	124
R-8	79.2	80
LV-CB1	591.9	720
CB PV Bara	686.2	832
CB1-24	28.6	44.1

Röle koordinasyon aşamasında birincil ayar parametresi R-1 rölesi için hesaplanmıştır. En sonda yer alan orta gerilim kesiciden başlanılacak olan çalışma için ilk röleye ait zaman sabiti (Tp) değeri 0.05 ve KZP değeri 200 milisaniye olarak belirlenmiştir. R-1 rölesinin bir üst seviyede yer alan R-2 rölesi ile koordinasyonu sağlanması gerekir iken R-2 rölesinin alt kademesinde yer alan R-8 rölesi bu koordinasyon işleminden önce belirlenmeli ve röle parametreleri

kararlaştırılmalıdır. Bu sebepten dolayı R-8 rölesinde Tp değeri 0.05 ve Ip değeri belirlenmiş ve belirlenen değerler Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

R-1 ve R-8 röleleri ile koordinasyonu sağlanması gereken R-2 rölesinin koruması gereken bara için minimum kısa devre parametrelerini içeren bara referans olarak seçilmelidir. Bölgede güç akış fonksiyonunun iki taraflı olarak gerçekleşecek olması dolayısıyla bu seçim elzemdir. R-2 için eşitlik (5.1) formülasyonu kullanılarak eşitlik (5.3) sonucu elde edilen değer koruma sistemine uygulanmıştır.

$$t(I) = \frac{0.14}{(21.5/0.21)^{0.02} - 1} * 0.05 \tag{5.2}$$

$$t(I) = 0.0724 \tag{5.3}$$

R-1 ve R-8 röleleri ile R-2 rölesi arasında KZP süresini sağlayacak gecikme oluşturulmalıdır. İstenilen KZP değerini sağlayacak olan Tp değeri eşitlik (5.4) ile belirlenmiştir.

$$t' = t + KZP \tag{5.4}$$

$$t' = 0.0724 + 0.2 = 0.2724 \tag{5.5}$$

$$t' = \frac{0.14}{(21.5/0.21)^{0.02} - 1} * Tp' = 0.2724 \tag{5.6}$$

$$Tp' = 0.118 \tag{5.7}$$

R-2 ile R-3 röleleri aynı yük parametreleri ve kısa devre parametrelerine sahiptirler. Bu sebeple sadece zaman gecikmesi artırılıp ayar değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Eşitlik (5.1) ve eşitlik (5.4) bu kademe için uygulandığında aşağıdaki eşitlikler elde edilmektedir.

$$t' = 0.12 + 0.2 = 0.312 \tag{5.8}$$

$$t' = \frac{0.14}{(21.5/0.21)^{0.02} - 1} * Tp' = 0.312 \tag{5.9}$$

$$Tp' = 0.215 \tag{5.10}$$

R-3 rölesine ait koruma parametrelerinin kararlaştırılmasının arkasından yukarı kademede yer alan röle ile koordinasyonu gerçekleştirilmeli ve bu noktada yer alan R-5 rölesine ait koruma parametreleri kararlaştırılmadan önce bileşenler içerisinde yer alan R-4, R-6, R-7 rölelerine ait parametreler kesinleştirilmelidir. Belirtilen rölelere ait ayar parametreleri yük akımları kullanılarak ve Tp değeri 0.05 seçilerek kararlaştırılmıştır. R-6 rölesi için eşitlik (5.1) ve eşitlik (5.4) kullanılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilmiş ve benzetim ortamına aktarılmıştır.

$$t = \frac{0.14}{(17.9/1.11)^{0.02}-1} * 0.05 \tag{5.11}$$

$$t = 0.122 \tag{5.12}$$

$$t' = 0.122 + 0.2 = 0.322 \tag{5.13}$$

$$t' = \frac{0.14}{(30/1.55)^{0.02}-1} * Tp' = 0.322 \tag{5.14}$$

$$Tp' = 0.141 \tag{5.15}$$

R-4 rölesi için eşitlik (5.1) ve eşitlik (5.4) kullanılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilmiş ve benzetim ortamına aktarılmıştır.

$$t = \frac{0.14}{(30/0.05)^{0.02}-1} * 0.05 \tag{5.16}$$

$$t = 0.0512 \tag{5.17}$$

$$t' = 0.0512 + 0.2 = 0.2512 \tag{5.18}$$

$$t' = \frac{0.14}{(30/1.55)^{0.02}-1} * Tp' = 0.2512 \tag{5.19}$$

$$Tp' = 0.109 \tag{5.20}$$

R3 rölesi için eşitlik (5.1) ve eşitlik (5.4) kullanılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilmiş ve benzetim ortamına aktarılmıştır.

$$t = \frac{0.14}{(21.53/0.21)^{0.02} - 1} * 0.05 \tag{5.16}$$

$$t = 0.303 \tag{5.17}$$

$$t' = 0.303 + 0.2 = 0.503 \tag{5.18}$$

$$t' = \frac{0.14}{(30/1.55)^{0.02} - 1} * Tp' = 0.503 \tag{5.19}$$

$$Tp' = 0.219 \tag{5.20}$$

Hesaplanan değerler baz alınarak R-5 rölesine ait Tp parametresinin 0.22 seçilmesinin uygunluğu kararlaştırılmıştır. Tüm bileşenlere ait koruma sistemi ayar parametreleri Tablo 5.15'de gösterilmiştir.

Tablo 5.15 Koruma sisteminde yer alan rölelere ait parametreler

Koruma Bileşeni	**Yük Akımı (A)**	**Çalışma Akımı (Ip) (A)**	**Tp (A)**
R-1	68.3	80	0.08
R-2	68.4	84	0.12
R-3	68.4	84	0.21
R-4	15.6	20	0.05
R-5	517.1	620	0.22
R-6	371	444	0.05
R-7	104.1	124	0.05
R-8	79.2	80	0.05
LV-CB1	591.9	720	-
PV BUS CB	686.2	832	-
CB1-24	28.6	44.1	-

Koruma sistemine ait değerlerin belirlenmesinin ardından sistem benzetim ortamına aktarılarak analizler gerçekleştirmiştir. 634 ve 632 nolu baralarda meydana getirilen trifaze kısa devre arızaları sonucunda sistem cevabı Tablo 5.16'da belirtilmiştir.

Tablo 5.16 Koruma sistemi cevap süreleri

Süre (ms)	Röle Kesici	Hata Akım Değeri If (kA)	Sinyal Tanımı
Arıza Yeri: 632			
219.25	Relay-4	0.096264	Faz - OC1 - 51
229.25	MV CB-4		Relay-4 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
255.88	Relay-6	1.7117	Faz - OC1 - 51
265.88	MV CB-6		Relay-6 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
371.4	Relay-1	0.35327	Faz - OC1 - 51
381.4	MV CB-1		Relay-1 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
511.70	Relay-2	0.42242	Faz - OC1 - 51
521.70	MV CB-2		Relay-2 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
541.31	Relay-5	9.8638	Faz - OC1 - 51
551.31	MV CB-5		Relay-5 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
835.30	Relay-	0.1214	Faz - OC1 - 51
845.30	MV CB-8		Relay-8 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
895.48	Relay-3	0.42242	Faz - OC1 - 51
905.48	MV CB-3		Relay-3 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
Arıza Yeri: 634			
56.336	LV CB-1	17.26	Faz
168.64	Relay-1	1.9923	Faz - OC1 - 51
178.64	MV CB-1		Relay-1 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
257.58	Relay-2	1.978	Faz - OC1 - 51
267.58	MV CB-2		Relay-2 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51
450.77	Relay-3	1.978	Faz - OC1 - 51
460.77	MV CB-3		Relay-3 tarafından arıza sinyali Faz - OC1 - 51

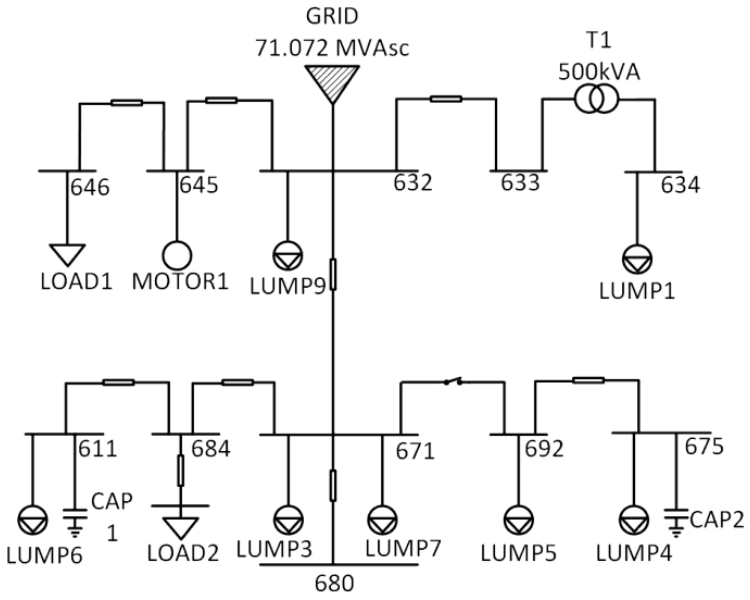
Koruma sisteminde GES entegrasyonu sonucu oluşan etki ve şebeke üzerinde meydana gelen kısa devre arızalarındaki değişim süresi analiz edilerek, boyutlandırılan GES'in şebeke modeli üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre GES entegrasyonu sonrasında şebeke stabilitesi korunmuş ve koruma sisteminin hatalı açma ya da geç manevrada bulunma hatalarının önüne geçilmiştir.

5.4 Senaryo 3 Sistem Modeli ve Sonuçlar

GES ve EA şarj istasyonu boyutlandırma ve optimizasyon metodolojisinin şebeke modeli üzerindeki analizleri için gerçekleştirilen üçüncü senaryoda, şebeke ortamı olarak IEEE 13 baralı test sistemi entegre edilmiştir.. Bu senaryoda, iki nolu senaryoda kullanılan GES modeline EA şarj istasyonu modeli entegre edilip, şebeke üzerindeki etkilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. EA şarj istasyonu dizayn aşamasında Tablo 5.1'de belirtilmiş olan araç havuzu kullanılmış olup, tüketim profili GAMS üzerinden elde edilerek benzetim ortamına aktarılmıştır. IEEE 13 baralı test sistemi, EA ve GES etkilerini gözlemlemek ve analiz etmek amacıyla benzetim ortamında kurulmuştur. GES ve EA entegrasyonu için üç farklı bara bağlantı noktaları olarak seçilerek, GES ve EA entegre edilmiş çoklu mikro şebekelerin ana dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

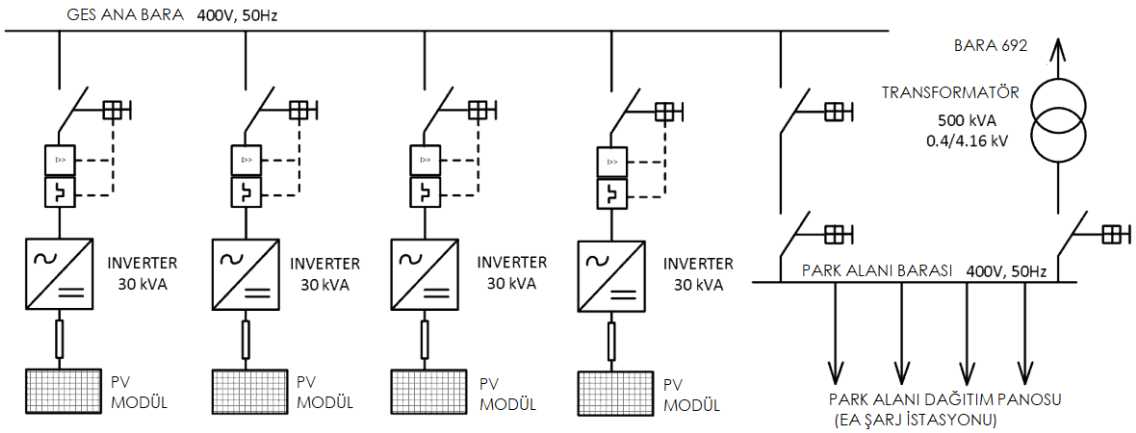
5.4.1 Senaryo 3 Sistem Modeli

EA şarj istasyonu ve GES fiderleri, AG şebeke barasına 500 kVA transformatör üzerinden bağlanarak şebekeye entegre edilmişlerdir. IEEE 13 baralı test sistemine ait tek hat şeması Şekil 5.9'da belirtilmiştir.



Şekil 5.9 IEEE 13 baralı test sistemi tek hat şeması

Test sistemine entegre edilen EA şarj istasyonu toplam 100 araçlık araç kapasitesine sahip ve araç havuzundan seçilen marka ve modeldeki araçların GAMS üzerinden elde edilen değişken varış süreleri baz alınarak elde edilmiştir. GES kapasitesi ise 100 araçlık ve çok katlı park alanının ölçülerinin standartlara uygun olarak boyutlandırılması ile elde edilmiştir. Park alanına ait fiziksel ölçülerin optimal PV panel boyutlandırılması ile maksimum GES üretimi sağlanmıştır. EA ve GES modellerinin yerleşim prensiplerini gösteren tek hat şeması Şekil 5.10'da belirtilmiştir.



Şekil 5.10 EA ve GES'lere ait tek hat şeması

GES modelini elde edebilmek adına Tablo 5.2'de parametreleri belirtilen PV paneller kullanılmıştır. Senaryodaki GES modelinin gerçekleştirilebilmesi için ilk adım olan PV panel seçiminin ardından, şarj istasyonuna ait fiziksel ve elektriksel limitler dikkate alınarak PV modül oluşturulma aşamasına geçilmiştir. İstenilen gerilim ve güç seviyesine ulaşabilmek için kullanılan PV modüle ait konfigürasyon ve güç parametreleri Tablo 5.17'de belirtilmiştir.

Tablo 5.17 PV modül parametreleri

Panel Adeti	**DC Gerilim(V)**	**DC Güç (kW)**	**DC Akım (A)**
9*17= 153	244.71	32.823	134.13

Fotovoltaik modül dizayn aşamasının tamamlanmasını takiben inverter dizaynı gerçekleştirilmiştir. İnverter modelinin elde edilmesi için kullanılan parametreler Tablo 5.18'de belirtilmiştir.

Tablo 5. 18 İnverter parametreleri

DC Güç (kW)	**Gerilim (V)**	**Vmax /Vmin**	**FLA (A)**	**Verim (%)**	**Imax (%)**
34	220	%120 / %80	154.5	90	150
AC Güç (kVA)	**Gerilim (V)**	**Pfmax / Pfmin**	**FLA (A)**	**Güç Faktörü (%)**	**K Bileşeni (%)**
30	400	100 / 80	44.17	85	150

GES dizayn aşamasının son adımı olarak 4 adet inverter sistemi AG baraya bağlanmıştır. GES sisteminin güvenilirliğini arttırmak amacıyla 4 inverter üzerinden AC sistem bağlantısı gerçekleştirilerek inverter arızası durumunda tüm sistemin devre dışı kalmasının önüne geçilmiştir. GES dizaynı, İstanbul'a ait solar radyasyon datasının modüllere entegre edilmesi ile tamamlanmıştır. GES enerji üretimi, solar radyasyon datasını bağlı olarak eşitlik (5.21)'de gösterildiği üzere hesaplanmıştır.

$$Eg = Apv * r * H * PR \quad (5.21)$$

Eşitlik (5.21)'de belirtilen Eg enerji, Apv toplam PV panellerin kapladığı alan, r solar panel verimliliği, H ortalama solar radyasyon ve PR PV panellerin verimlilik değeri olarak formülize edilmiştir. Ortalama güneş radyasyonu datası ve üretim değerleri Tablo 5.19'da belirtilmiştir.

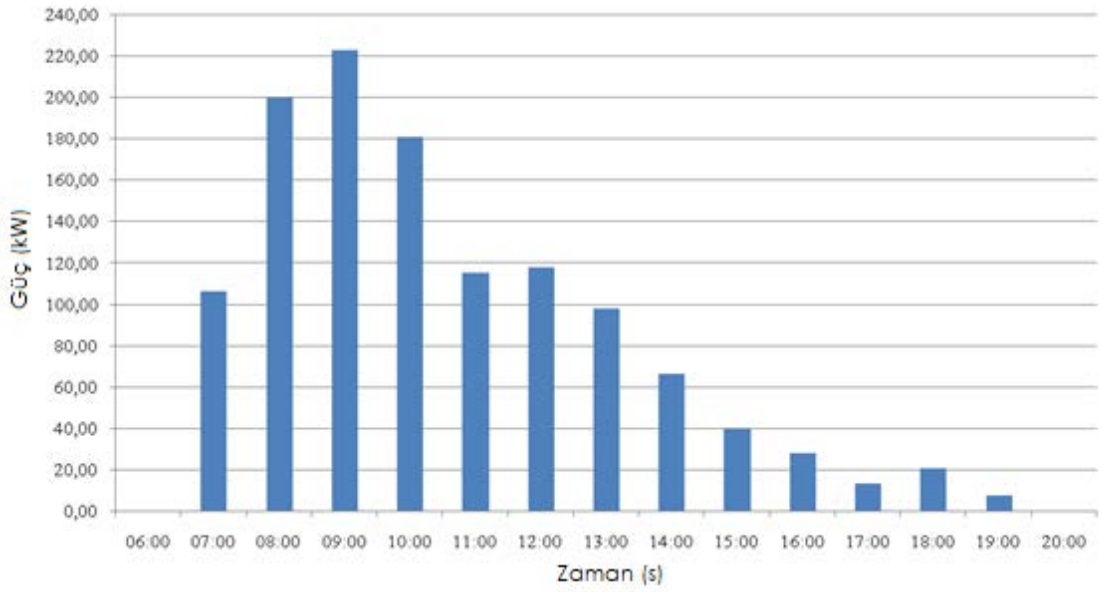
Tablo 5.19 Güneş Radyasyonu ve Üretim Değerleri

Zaman	**Solar Radyasyon(W/m²)**	**Maksimum Üretim (kW)**
06:00	158	0
07:00	520	58
08:00	696	79
09:00	794	90
10:00	852	97
11:00	887	101
12:00	906	104
13:00	912	104
14:00	907	104
15:00	889	102
16:00	855	98
17:00	798	91
18:00	704	80
19:00	534	60
20:00	185	0

Gün doğumu ve gün batımı parametrelerine bağlı olarak benzetim modeli zaman aralığı sabah 6 ile akşam 8 arasında seçilmiştir. Her zaman dilimi için elde edilen

üretim verileri ile GAMS üzerinden deterministik olarak elde edilen EA tüketim verileri benzetim ortamına aktarılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1'de listelenmiş olan EA'ların GAMS üzerinden deterministik olarak belirlenmiş olan varış sürelerini dikkate alarak belirlenen tüketim profili, benzetim ortamına aktarılmıştır. EA tüketim profiline ait günlük değişim Şekil 5.11'de belirtilmiştir.



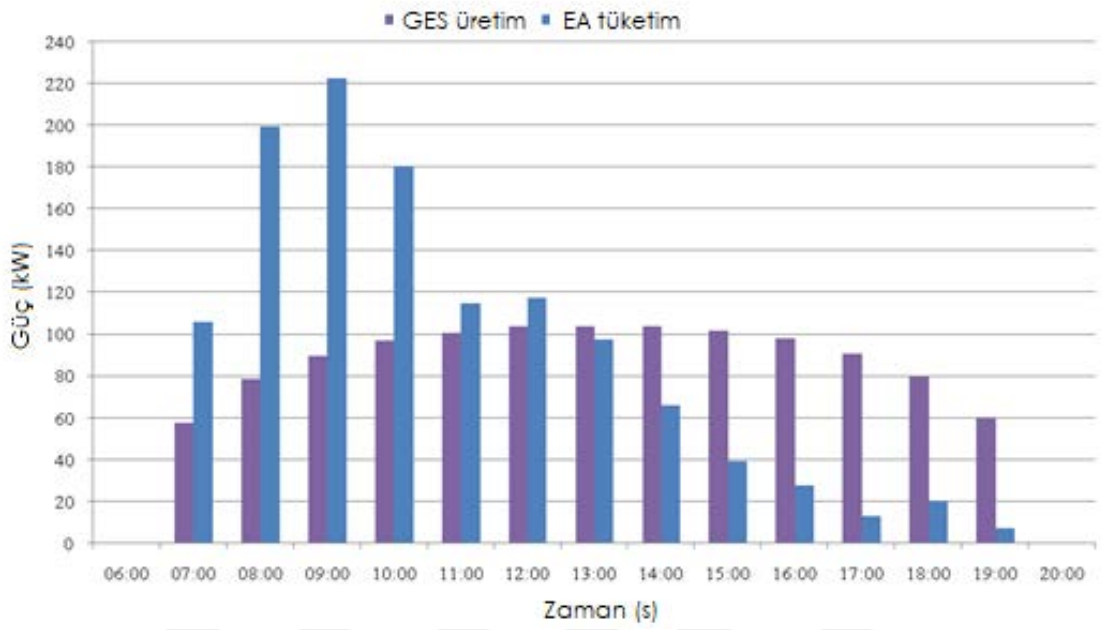
Şekil 5.11 EA günlük tüketim profili

EA tüketim profili ve GES üretim profili, benzetim ortamında IEEE 13 baralı test sistemine entegre edilerek, eklenen bileşenlerin şebeke stabilitesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Gerilim regülasyonunda stabilitenin sağlanması ve hat kayıplarının GES entegrasyonu ile azaltılması ana faktörler olarak kabul edilmiştir.

5.4.2 Senaryo 3 Benzetim Sonuçları

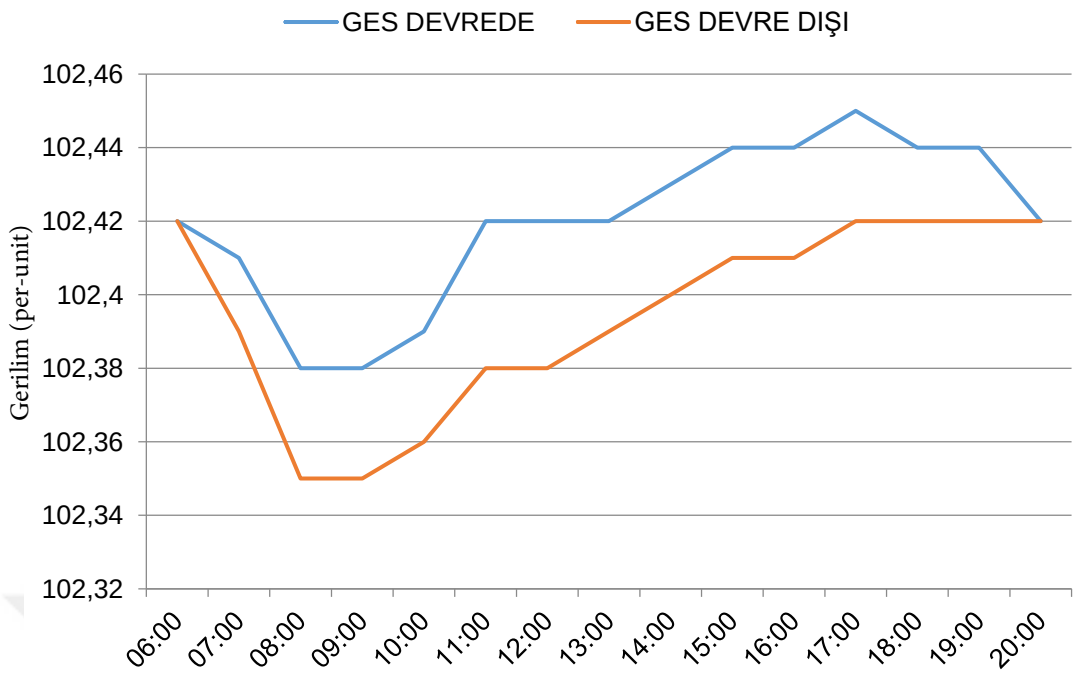
IEEE 13 baralı test sistemi ile GES ve EA şarj istasyonlarının entegrasyon analizleri gerçekleştirmiştir. Senaryoların sonuçları gerilim regülasyonu ve hat kayıpları dikkate alınarak analiz edilmiştir. Benzetim ortamında sistem bileşenleri için gerçekleştirilen yük akış analizleri Netwon-Raphson metodolojisi kullanılarak analiz edilmiştir [83].

Gerçekleştiren senaryolar tabanlı olarak GES ve EA'lar 3 farklı baraya entegre edilmiştir. EA'ların değişken tüketim profilleri bu senaryolarda dikkate alınarak benzetim ortamına aktarılmıştır. GES'lerin elde edilen üretim profilleri ve EA'ların tüketim profillerine ait kıyaslama Şekil 5.12'de belirtilmiştir.



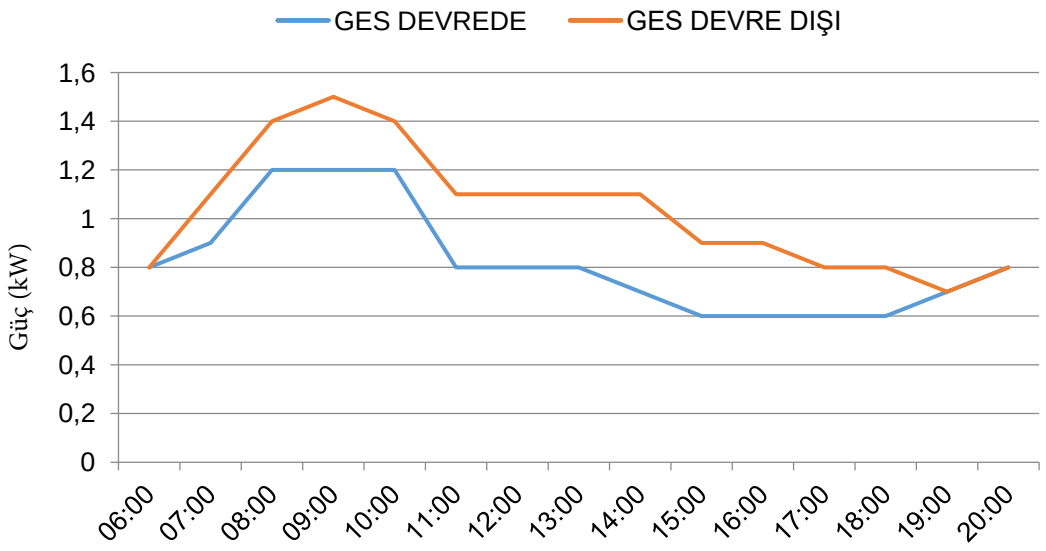
Şekil 5.12 GES ve EA üretim-tüketim profilleri

İlk senaryo olarak GES ve EA modelleri 633 nolu baraya entegre edilmişlerdir. İlgili bara bir adet şebeke giriş fideri ve bir transformatör fideri ile bağlanmıştır. GES'in 633 nolu baraya bağlanma analizini gerçekleştirilmesinin ardından yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. Benzetim ortamında sonuçların analiz edilebilmesi için hat kayıpları ve gerilim regülasyonuna ait parametreler analiz edilmiştir. Gün içerisinde değişen gerilim regülasyonunu gösteren grafik Şekil 5.13'de belirtilmiştir.



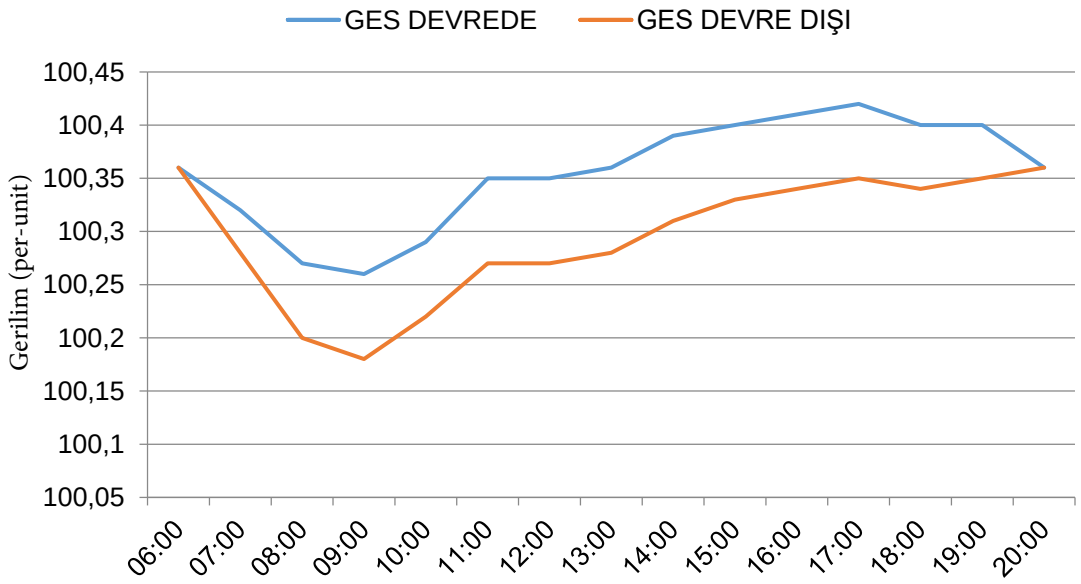
Şekil 5.13 633 nolu baraya ait gerilim regülasyonu

Gerilim regülasyonu ile ilgili sonuçlar Şekil 5.13'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre GES'lerin regülasyon üzerindeki düzeltici etkisi görülmektedir. Bu veriler ışığında GES entegrasyonunun şebeke üzerinde olumsuz etki oluşturmadan gerçekleştirileceği görülmektedir. 633 nolu barada gerçekleşen hat kayıplarına ait değişim grafiği ise Şekil 5.14'de sunulmuştur.

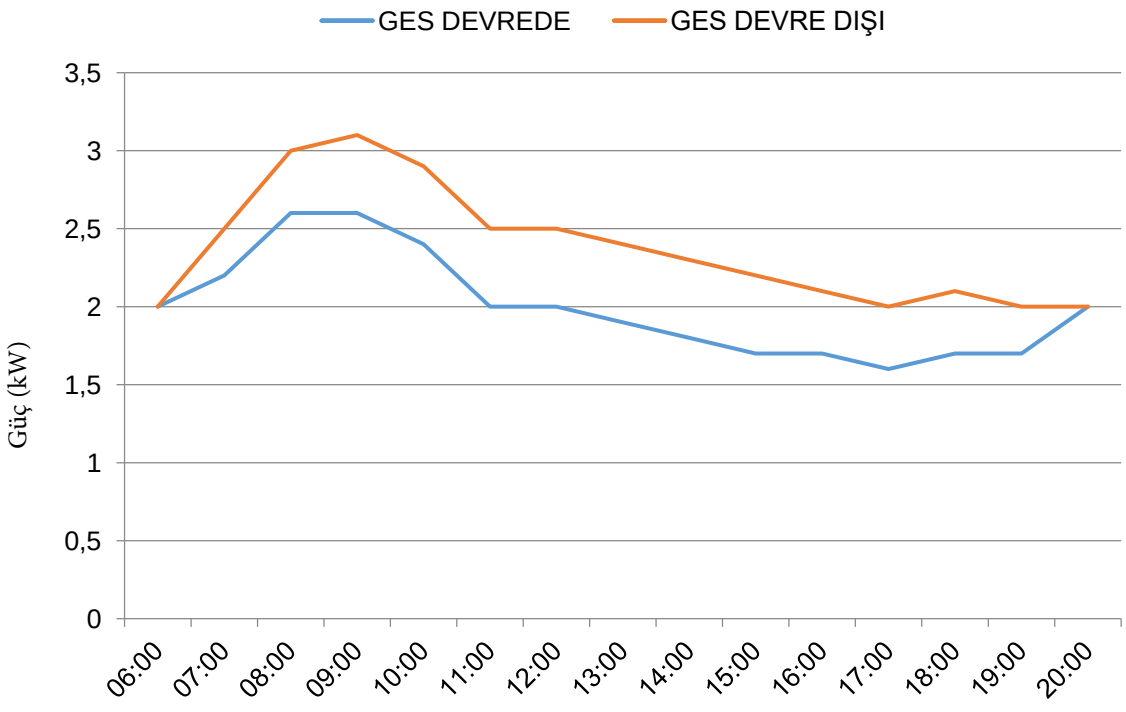


Şekil 5.14 633 nolu bara ana besleme fiderine ait aktif güç kayıpları

İlgili senaryo üzerinde gerçekleştirilen ikinci analizde ise bağlantı noktası olarak 675 nolu bara kullanılmıştır. Gerilim regülasyonu ve hat kayıplarına ait senaryo bazlı değişim ise Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da belirtilmiştir.



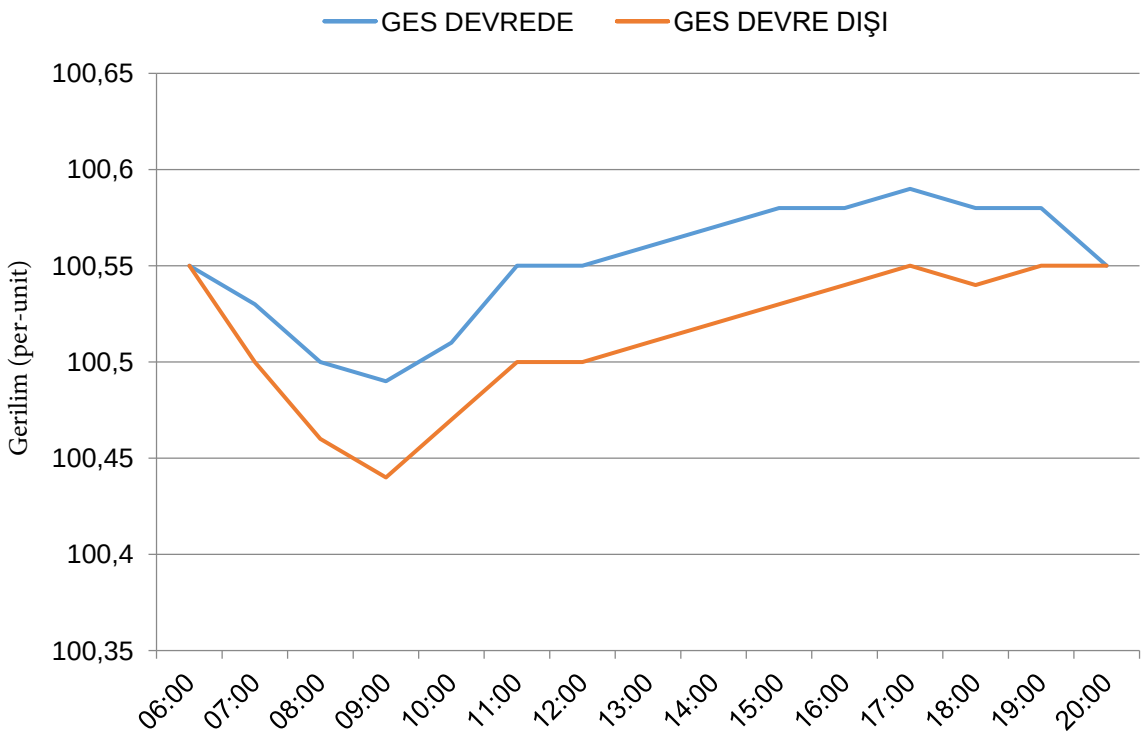
Şekil 5.15 675 nolu baraya ait gerilim regülasyonu



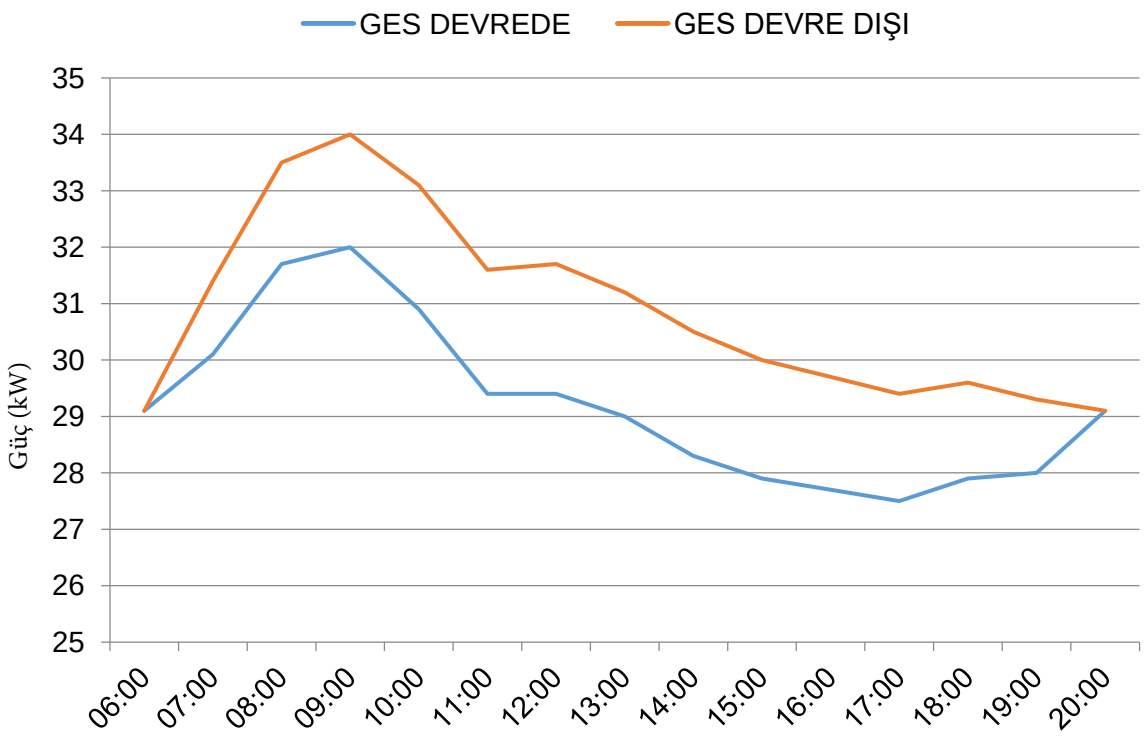
Şekil 5.16 675 nolu bara ana besleme fiderine ait aktif güç kayıpları

Şekil 5.15 ve 5.16'da belirtilmiş olan kayıplar ve regülasyon parametreleri dikkate alındığında, gerilim regülasyonunun limitler dahilinde kaldığı ve hat kayıplarının GES entegrasyonu ile birlikte %16.01 azaldığı gözlemlenmiştir.

Senaryo analizi içerisinde yer alan son çalışmada ise EA ve GES modeli 671 nolu baraya entegre edilerek, şebeke üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu çalışmada GES, normal çalışma şartlarında 2.75 MW güç üreten ana baraya entegre edilmiştir. GES ve EA kombinasyonunun bu sistem üzerinde oluşturduğu gerilim regülasyonu ve hat kayıplarına ait etkiler Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de belirtilmiştir.



Şekil 5. 17 671 nolu baraya ait gerilim regülasyonu

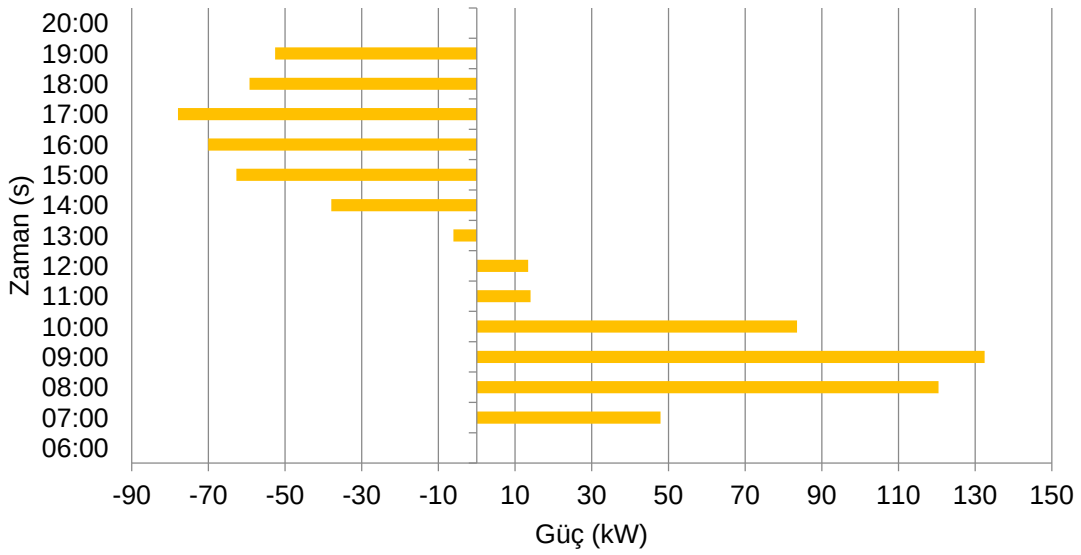


Şekil 5.18 671 nolu bara ana besleme fiderine ait aktif güç kayıpları

İncelenmiş olan 3 farklı baraya entegrasyon analizi sonucunda gerilim regülasyonu istenilen seviyede seyrederken hat kayıpları %5.44 seviyesinde azaltılmıştır.

3 farklı senaryoda izlenilen metodoloji sonucunda gerilim regülasyonu istenilen seviyelerde, aşırı gerilim ya da düşük gerilim arızası oluşturmadan seyretmiştir. Bu incelenmiş olan senaryoların analiz edilmesi sonucunda optimal bağlantı barasının 671 nolu bara olduğu görülmektedir. 671 nolu baraya entegre edilen GES ve EA şarj istasyon sistemlerinin sonucunda hat kayıpları günlük 25.2 kWh olacak seviyede azaltılmış ve bara 671 optimal bağlantı barası olarak seçilmiştir.

GES ile üretilen enerjinin şebekeye aktarımı ile bara 671'in EA entegrasyonu için en uygun bara olduğu, şebeke üzerindeki gerilim regülasyonu ve hat kayıplarının azaltılması faktörleri izlenerek karar verilmiştir. Bu senaryonun gerçekleşmesi durumunda EA talebinden fazla olan gün içerisindeki üretilen GES enerjisinin şebekeye satılma durumu ortaya çıkmaktadır. Talep edilen EA enerjisinin gün içerisinde düştüğü anlarda şebekeye enerji satılma olanağının doğduğu anları gösteren grafik Şekil 5.19'da belirtilmiştir.



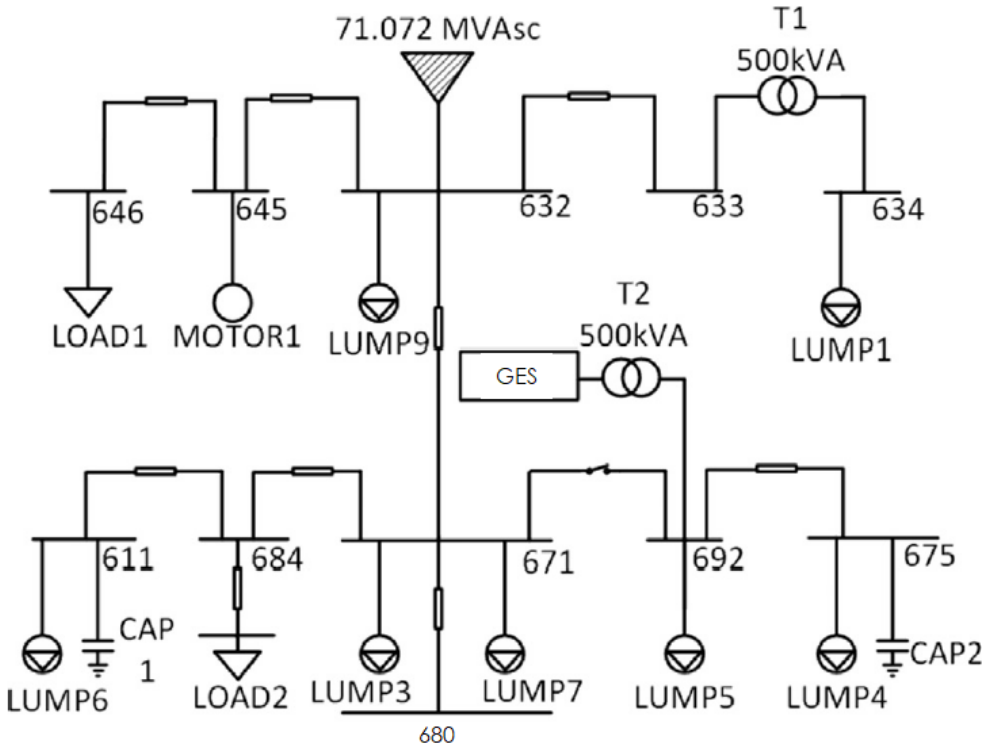
Şekil 5.19 EA park alanına ait enerji alım satım değişimi

Elde edilen sonuçlara göre EA park alanına entegre edilmiş olan GES, gün içerisinde 7 saat boyunca EA şarj istasyonunun enerji talebini karşılayabilmektedir. Önerilen EA ve GES in kombine edilmiş modeli ile hat kayıplarının azaltılması, enerji maliyetinin düşürülmesi, gerilim regülasyonunun istenilen limitler dahilinde tutulması gerçekleştirilmiştir. Bu avantajlar elde edilirken GES ve EA ünitelerinin elektriksel ve fiziksel limitler dahilinde boyutlandırılmaları sağlanmıştır.

5.5 Senaryo 4 Sistem Modeli ve Sonuçlar

GES ve EA modellerinin şebeke entegrasyon analizi için oluşturulan dördüncü senaryoda, GES'lerin mevsimsel hava koşulları dolayısıyla üretimlerinde meydana gelen değişimlerin, şebeke gerilim regülasyonu üzerinde oluşturdukları etki analiz edilmiştir. Benzetim ortamında gerçekleştirilen EA şarj istasyonu modeli için Tablo 5.1'de belirtilen EA'lar GAMS üzerinden tüketim profili oluşturularak şebekeye entegre edilmiştir. EA şarj istasyonlarının GES ile birlikte şebekeye optimal çalışma kriterleri göz önüne alınarak entegre edilmesi ile şebeke gerilim regülasyonunun kararlı hale getirilmesi ve hat kayıplarının azaltılması amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Modellenen 100 araçlık EA park alanında araçların geliş ve gidiş

süreleri deterministik olarak GAMS üzerinden elde edilerek benzetim ortamına aktarılmıştır. Şebeke modeli olarak ise IEEE 13 baralı test sitemi benzetim ortamına aktarılıp modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şebeke modeli ve bağlantı barasına ait tek hat şeması Şekil 5.20'de belirtilmiştir.



Şekil 5.20 13 baralı test sistemi ve entegrasyon barası

5.5.1 Senaryo 4 Sistem Modeli

GES dizayn aşamasında PV panel dizaynı, modül oluşturma ve inverter parametrelerinin belirlenip şebeke entegrasyonu sağlanması amaçlanmıştır. PV panel modeli Tablo 5.2'de, PV modüllere ait parametreler Tablo 5.11'de ve inverter dizayn bilgileri ise Tablo 5.18'de sunulmuştur. GES modelinin kapasite tayin aşamasında 100 araçlık EA şarj istasyonunun, şehir içerisinde konumlandırma analizi gerçekleştirilmiş ve standartlara uygun olarak park istasyonunun 3 katlı yapıda olacak şekilde 65m x 35m boyutlarında olmasına karar verilmiştir. Bu boyutlardaki bir park alanında çatı tipi PV panel konumlandırma analizi esnasında çatıda yer alan havalandırma üniteleri ve çatı çıkış noktalarının kapladığı alan dikkate alınarak GES kurulu gücünün 120 kVA olarak boyutlandırılması sağlanmıştır. Boyutlandırma aşamasının ardından yaz ve kış aylarına ait ortalama

güneş radyasyonu verileri saatlik dilimlere ayrılıp, sabah 6 ile akşam 8 aralığında GES modeline uygulanmıştır. Dizaynı gerçekleştirilmiş olan GES modeli üzerine uygulanan radyasyon verileri ve elde edilen güç üretim karakteristikleri Tablo 5.20'de belirtilmiştir.

Tablo 5.20 Yaz ve kış dönemlerine ait ortalama güç ve radyasyon verileri

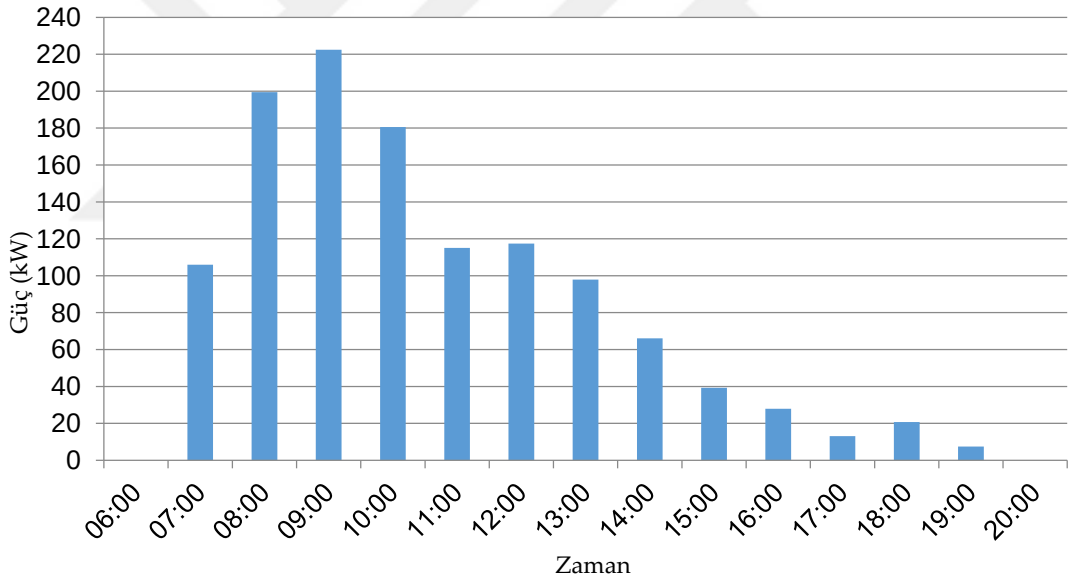
Zaman	Güneş Radyasyonu (W/m^2)		Maksimum Üretim (kW)	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz
06:00	0	158	0	0
07:00	0	520	0	58
08:00	55	696	0	79
09:00	481	794	54	90
10:00	680	852	77	97
11:00	776	887	88	101
12:00	824	906	94	104
13:00	841	912	96	104
14:00	833	907	95	104
15:00	797	889	91	102
16:00	720	855	82	98
17:00	567	798	64	91
18:00	221	704	0	80
19:00	0	534	0	60
20:00	0	185	0	0

GES güç üretimi, mevsimsel olarak eşitlik (5.21)'de belirtilmiş olan formülasyon ile hesaplanıp benzetim ortamına aktarılmıştır. Şebeke üzerinde GES üretimi kaynaklı gerilim değişimi, kısa devre değişimi ve dağıtık üretimin sağladığı avantaj sonucunda hat kayıplarında değişim meydana gelmektedir. EA şarj istasyonunun tüketim karakteristikleri bu noktada şebeke üzerinde oluşturulacak etki bakımından incelenmelidir. EA tüketim profilinin elde edilebilmesi için EA'ların şarj istasyonlarına geldiklerindeki şarj durumları, şarj kapasiteleri, şarj güçleri ve

şarj süreleri dikkate alınarak EA tüketim profili elde edilmiştir. EA'ların şarj istasyonuna geldiklerinde minimum enerji durumu (SoE) değerine sahip oldukları kabul edilmiştir. EA tüketim profilleri için oluşturulan eşitlik (5.22) aşağıda belirtilmiştir.

$$SoE_{h,t} = SoE_{h,t-1} + CE_h * P_t^{ch} * \Delta T \quad (5.22)$$

Eşitlik (5.22)'de belirtilen h araç sayısı, t süre, $SOE_{h,t}$ h nolu aracın t periyodundaki SoE değeri, P_t^{ch} h nolu aracın t periyodundaki şarj gücü, CE_h h nolu araca ait şarj verimlilik faktörü ve ΔT ise zaman aralığı faktörü olarak formülize edilmiştir. Oluşturulan EA tüketim profili 1 saatlik zaman dilimlerindeki değişimi yansıtacak şekilde benzetim ortamına aktarılmıştır. Elde edilen EA tüketim profili Şekil 5.21'de belirtilmiştir.

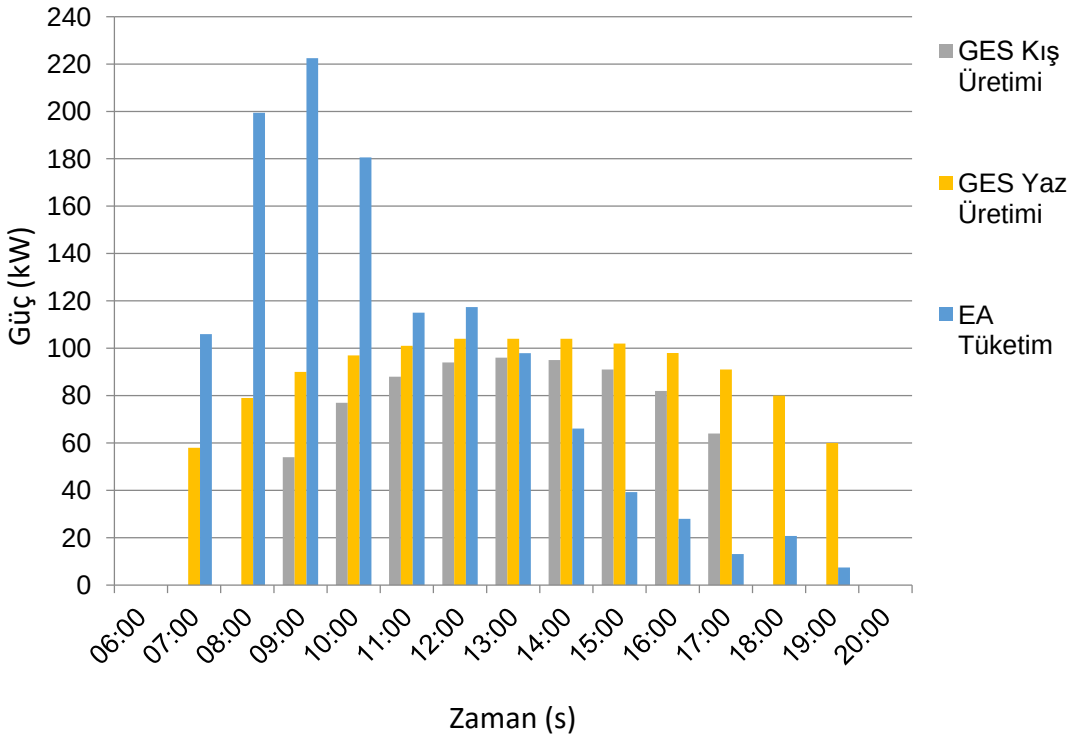


Şekil 5.21 EA tüketim profili

EA ve GES sistemlerinin dizayn aşamasının tamamlanması ile giriş verileri simülasyon ortamına aktarılmıştır. IEEE 13 baralı test sistemine 692 nolu baradan 500 kVA gücünde transformatör üzerinden entegre edilen model üzerinde gerekli analizler gerçekleştirilmiş ve şebeke üzerinde bozucu etki oluşmasının önüne geçilmesi sağlanmıştır.

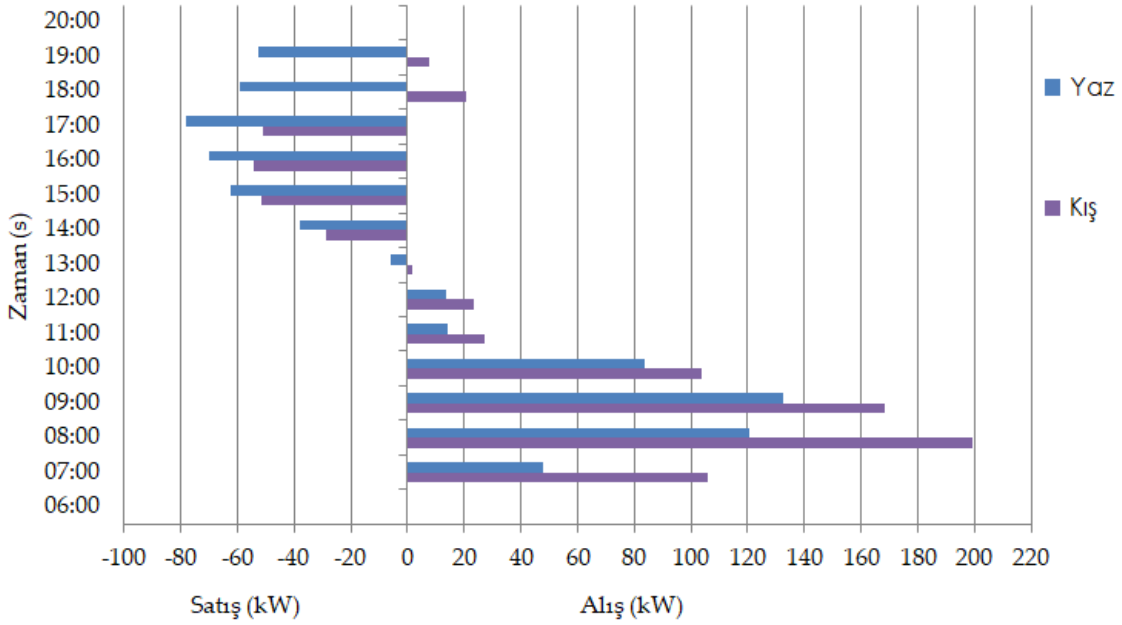
5.5.2 Senaryo 4 Benzetim Sonuçları

Şebeke modeli olarak kullanılan IEEE 13 baralı test sistemine entegre edilen GES ve EA modelleri ile ilk olarak yük akış analizleri gerçekleştirilmiştir. GES'e ait yaz ve kış aylarındaki ortalama üretim değişimi ve EA'ların gün içerisindeki değişken tüketim talepleri sonucu oluşan enerji değişimleri yük akış analizi sonucunda elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.22'de belirtilmiştir.



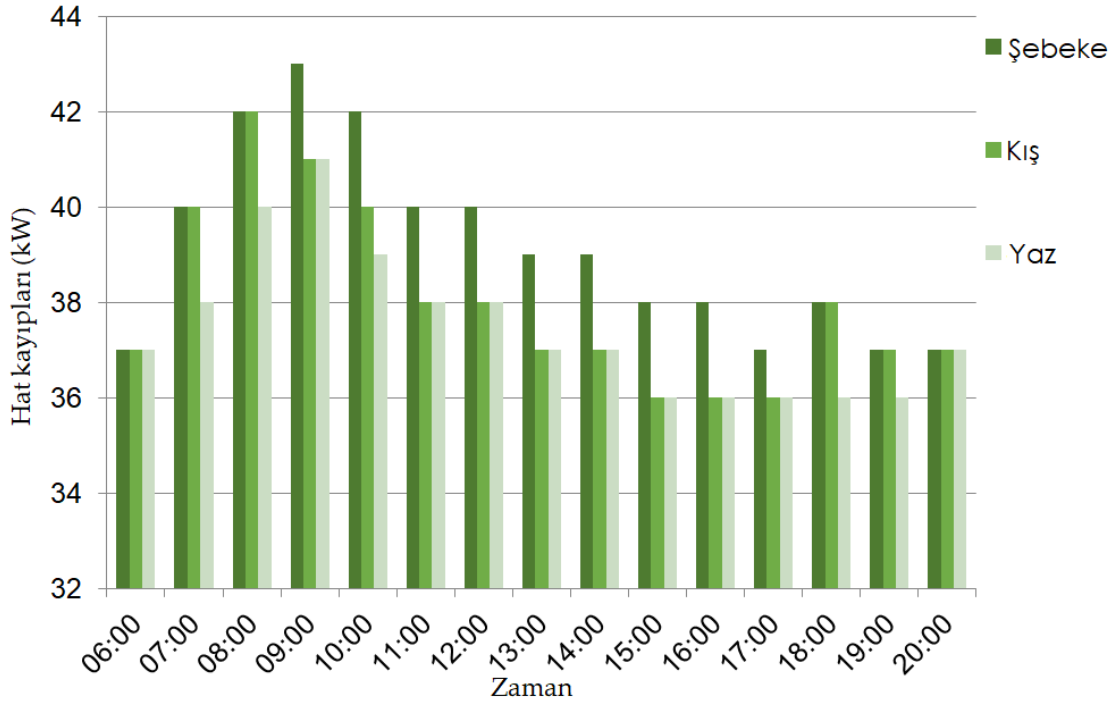
Şekil 5.22 GES ve EA tüketim değişimi

Elde edilen sonuçlara göre maksimum tüketim talebi sabah 9'da oluşurken, GES tarafında üretilen enerji ile yazın 7 saat ve kışın 4 saat süresince EA şarj istasyonunun enerjilendirilmesi sağlanabilmektedir. Hesaplamalarda elde edilen sonuçlara göre şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji miktarları mevsimsel etkiye bağlı olarak Şekil 5.23'de belirtilmiştir.



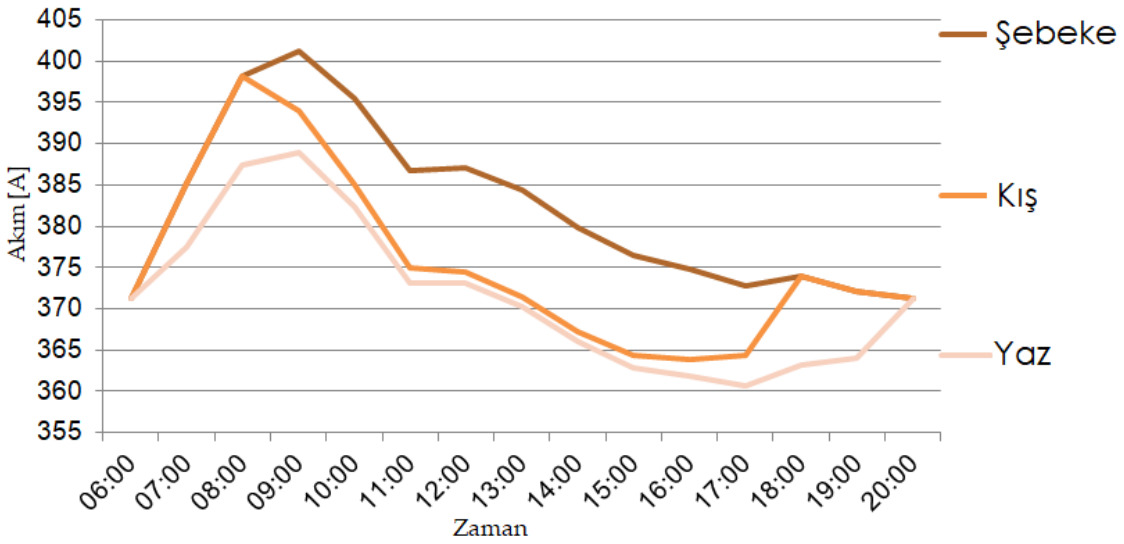
Şekil 5.23 Şebeke enerji alış ve satış değişimi

GES ile bütünleştirilmiş EA şarj istasyonu ile ilgili analizlerin tamamlanmasının ardından şebeke üzerindeki etki analizi gerçekleştirilmiştir. Bahsi edilen entegrasyon analizleri hat kayıpları ve gerilim regülasyonu üzerinde GES ve EA'ların etkisinin incelenmesi ile ortaya çıkarılmıştır. Bütünleşik GES ve EA çalışma şartlarında şebeke üzerindeki etkinin gözlemlenebilmesi için 3 farklı alt senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar GES'in devre dışı olma durumu, yaz ayları çalışma şartları ve kış ayları çalışma şartları olmak üzere 3 başlıkta toplanmıştır. Senaryo tabanlı olarak ana iletim hattında meydana gelen değişim ve hat kayıplarına ait değişim grafiği Şekil 5.24'de belirtilmiştir.



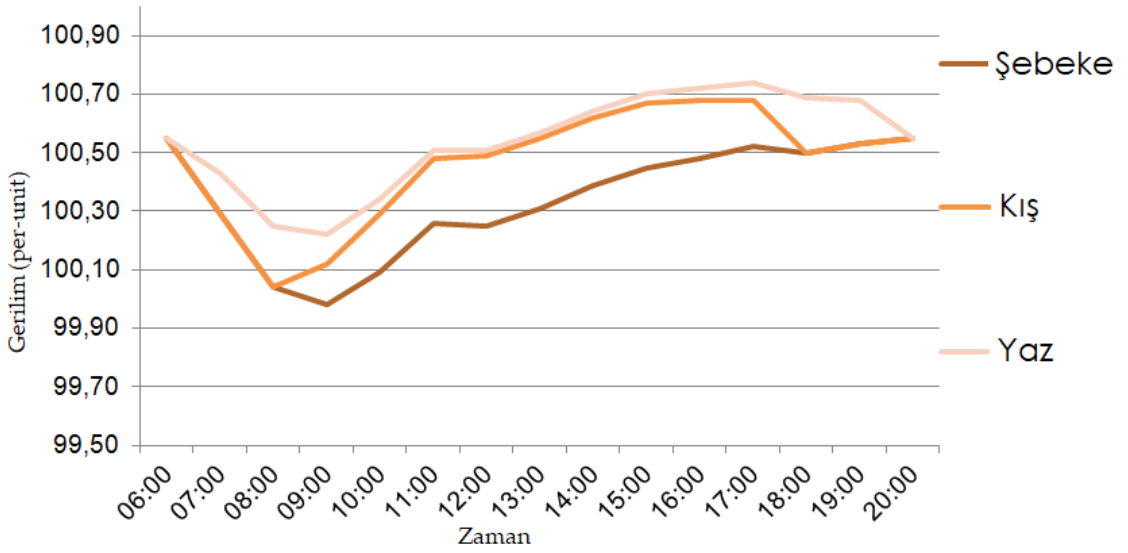
Şekil 5.24 Ana iletim hattına ait hat kayıpları

Hat kayıpları hesapları için yaz ve kış aylarındaki GES üretiminin, şebeke üzerindeki etkisi, hesap metodolojisine yansıtılmıştır. GES'in devre dışı olması durumunda günlük ortalama hat kayıpları 587 kWh olarak hesaplanırken, yaz aylarında GES'in devrede olması sonucu kayıpların toplamı 562 kWh, kış ayları için ise 570 kWh olmuştur. Hesap sonuçlarına göre yaz aylarında toplam hat kayıpları %4.26 ve kış aylarında %2.89 seviyesinde azaltılmıştır. Hat kayıplarına ait hesapların gerçekleştirilmesinin ardından şebeke modelindeki ana fider olan 601_22 nolu hatta, ana şebekeden çekilen akım değişimi elde edilmiştir. Ana şebeke fiderinden çekilen akımın mevsimsel faktörler sonucu değişimi Şekil 5.25'de belirtilmiştir.



Şekil 5.25 Ana şebeke fiderine ait akım değişimi

Hat parametrelerinin incelenmesinin ardından şebeke gerilim regülasyonu üzerinde oluşan mevsimsel etki incelenmiştir. Newton-Raphson metodolojisi ile hesaplanan regülasyon değerlerinin yaz ve kış koşullarında %1'lik limit içerisinde seyretmesi sağlanmıştır. Gerilim regülasyonunun değişimini belirten grafik Şekil 5.26'da gösterilmiştir.



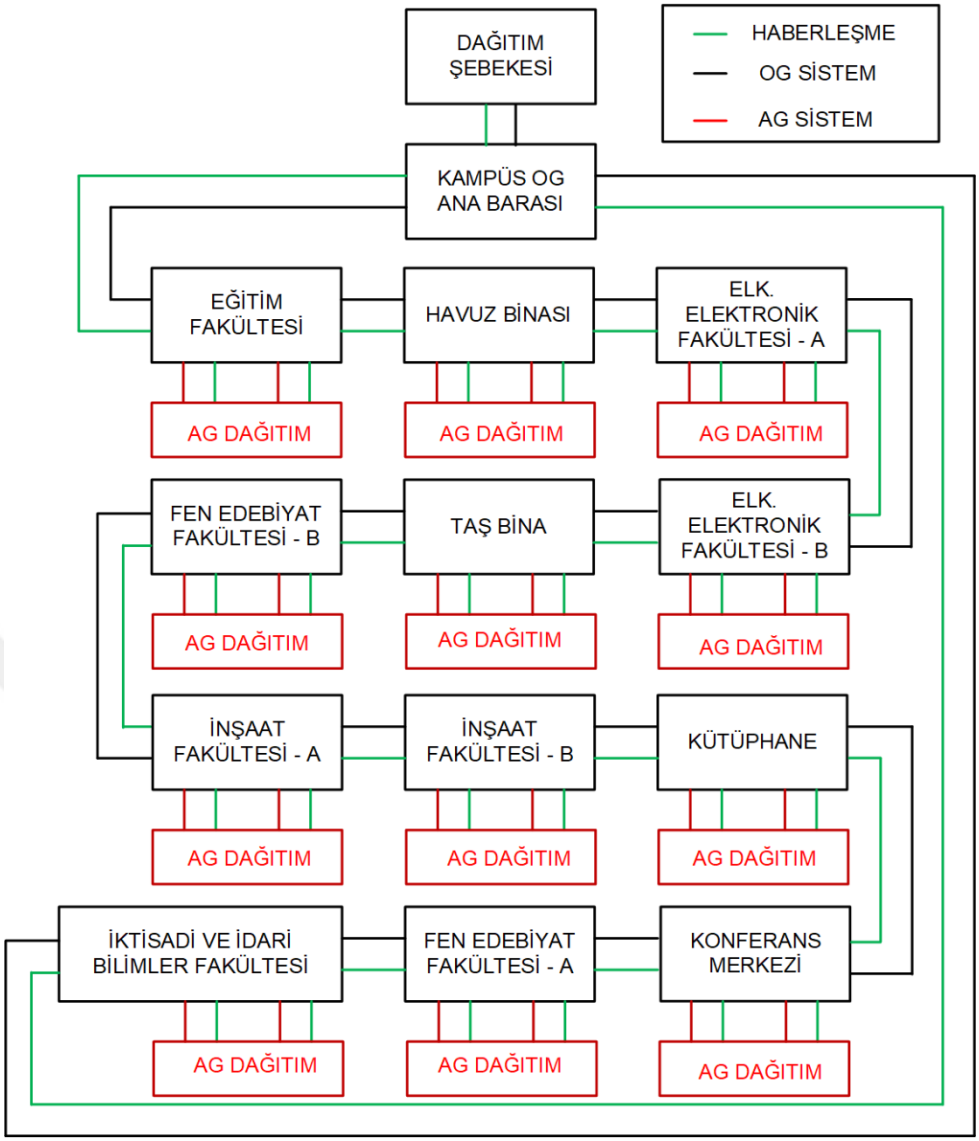
Şekil 5.26 Şebeke gerilim regülasyonuna ait değişim

Çalışma sonucunda şebeke gerilim regülasyonu limitler dahilinde tutulurken, hat kayıpları azaltılmıştır. Optimal boyutlandırma metodolojisi ile 100 araçlık EA şarj

istasyonu ile 120 kVA kurulu güce sahip GES modelinin dağıtık üretim tesisi olarak mikro şebeke üzerinde entegrasyonu sağlanmıştır. Oluşturulan model ile yaz aylarında 7 saat, kış aylarında ise 4 saatlik sürede EA tüketim talebinin tamamen GES ile karşılanması sağlanırken şebeke üzerinde bozucu etki oluşmasının önüne geçilmiştir.

5.6 Senaryo 5 Sistem Modeli ve Sonuçlar

GES ve EA şarj istasyonlarının entegrasyon analizi için uygulanan beşinci senaryoda YTÜ Davutpaşa Kampüsü'ne ait şebeke modeli benzetim ortamında kurulmuştur. Şebeke bileşenleri, gerçek verilerin işlenmesi ve ölçülen tüketim değerlerinin benzetim ortamına aktarılması ile elde edilmiştir. Kampüs içerisinde yer alan fakülte binalarına ait park alanları, EA şarj istasyonları olarak boyutlandırılmış olup, şebeke üzerinde olumsuz etki oluşturmamak adına GES'ler ile birlikte entegre edilmişlerdir. Kampüs şebekesinde gelecekte yer alması öngörülen EA şarj istasyonlarının şebeke üzerinde gerilim stabilitesini bozucu etki oluşturmaması için GES boyutlandırılması sonucu planlanan çatı tipi PV panellerin, fakültelerin fiziksel ve elektriksel limitleri dikkate alınarak entegrasyonu sağlanmıştır. Bu senaryoda EA'ların şebeke etkisi ve GES'lerin optimal boyutlandırma ile bu etkiyi elimine edici özelliklerini analiz etmek ve ispatlamak adına iki alt senaryo tasarlanmıştır. İlk alt senaryoda EA'lar mevcut kampüs şebekesine entegre edilmiş ve analizler gerçekleştirilmiş iken ikinci alt senaryoda EA ve GES'lerin bütünleştirilmiş çalışma koşullarında analiz edilmesi sağlanmıştır. Kullanılan kampüs modeline ait genel şema Şekil 5.27'de belirtilmiştir.



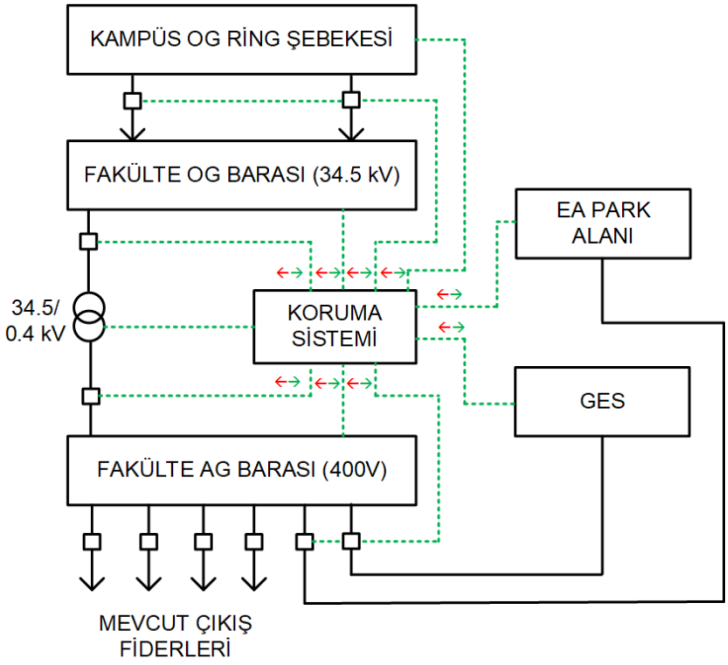
Şekil 5.27 YTÜ Davutpaşa Kampüsü dağıtım sistemi

Planlanan bu senaryo ile EA ve GES entegrasyonu gerçekleştirilen mikro şebekelerde, oluşan dezavantajları ve güç problemlerini ortadan kaldırmak amaçlanmıştır. Gerilim stabilitesinin sağlanması ve şebekenin limitleri dahilinde maksimum GES boyutlandırması sağlanmaya çalışırken koruma sistemi üzerindeki olası etkilerde analiz edilmiştir.

5.6.1 Senaryo 5 Sistem Modeli

Kampüs alanı içerisinde yer alan transformatör merkezleri üzerinden beslenen fakültelere ait yük verileri gerçek ölçüm değerleri kullanılarak benzetim ortamına aktarılmıştır. Fakültelere ait AG baralara PV sistemlerin entegrasyonu için kapasite

ve uygunluk faktörleri göz önüne alınarak, EA şarj istasyonları için de kapasite tayini gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma çalışmaları esnasında, fakültelere ait park alanları ve çatı alanlarına dair ölçümler gerçekleştirilmiş olup fiziksel limit kriterleri elde edilmiştir. Şebeke elektriksel limit kriterleri için mevcut sistemde yer alan transformatörler, baralar, kablolar ve koruma sistemi ekipmanları analiz edilmiş olup, elde edilen veriler ışığında GES ve EA elektriksel entegrasyon limitleri belirlenmiştir. Senaryo tabanlı olarak planlanan GES ve EA entegrasyon analizi ile mikro şebeke modeli olarak kabul edilen kampüs şebekesinin gerilim regülasyonunun stabil kalması amaçlanmıştır. EA'lara ait tüketim profilleri Tablo 5.1'de belirtilmiş olan araç havuzu kullanılarak GAMS üzerinden elde edilen verilerin benzetim ortamına aktarılması ile bulunmuştur. GES üretim profilinin elde edilmesi için ise saatlik aralıklarla ortalama güneş radyasyon datası eşitlik (5.21)'de formülize edildiği üzere hesaplanıp benzetim ortamına aktarılmıştır. Kampüs modelinde yer alan ring şebekede 12 adet istasyon bulunmakla birlikte her bir istasyon düşürücü transformatörler ile fakültelere ait 400V baralara bağlanmıştır. Fakülte AG baraları EA ve GES bağlantı noktaları olarak seçilip, limitler dahilinde GES ve EA kapasite tayinleri gerçekleştirilmiştir. Her bir fakülteye ait tipik bağlantı şeması Şekil 5.28'de belirtilmiştir.



Şekil 5.28 Tipik fakülte bağlantı şeması

Senaryo çalışmasının ilk aşaması olarak EA ve GES'ler için optimal boyutlandırma kriterleri göz önüne alınarak şebekede bozulmaya sebebiyet vermemeyi amaçlayan metodoloji kullanılarak, boyutlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. GES'ler fiziksel ve elektriksel limitler göz önüne alınarak, bağlantı barasının kısıtlamalarının analiz edilmesi ile birlikte boyutlandırılmışlardır. EA park alanları ve GES'lerin gün içerisinde şarj süreleri ve GES üretimine bağlı olarak oluşturdukları etkinin şebeke üzerinde oluşturdukları etki dizayn aşamasında ortadan kaldırılmaya amaçlanmıştır. Elde edilen boyutlandırma analizi sonuçlarına göre oluşan EA park alanı kapasiteleri ve GES'lere ait kurulu güç parametreleri Tablo 5.21'de belirtilmiştir.

Tablo 5.21 GES ve EA kapasiteleri

No	Transformatör Merkezi	GES Kurulu Gücü (kVA)	EA Park Alanı Kapasitesi
1	Eğitim Fakültesi	270 kVA	194 Araç
2	Havuz Binası	180 kVA	84 Araç
3	Elektrik Elektronik Fakültesi - A	504 kVA	74 Araç
4	Elektrik Elektronik Fakültesi - B	315 kVA	113 Araç
5	Fen Edebiyat Fakültesi - B	774.1 kVA	177 Araç
6	Taş Bina	828 kVA	168 Araç
7	İnşaat Fakültesi - A	540 kVA	276 Araç
8	İnşaat Fakültesi - B	467.9 kVA	46 Araç
9	Kütüphane	126.1 kVA	53 Araç
10	Konferans Merkezi	440.9 kVA	201 Araç
11	Fen Edebiyat Fakültesi - A	899.9 kVA	299 Araç
12	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	315.1 kVA	285 Araç

GES modelleme aşamasında boyutlandırma kriterleri ve şebeke etkisi dikkate alınarak bileşenler için boyutlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. GES

boyutlandırma aşamasında kullanılan PV panele ait parametreler Tablo 5.22'de belirtilmiştir.

Tablo 5.22 PV panel parametreleri [84]

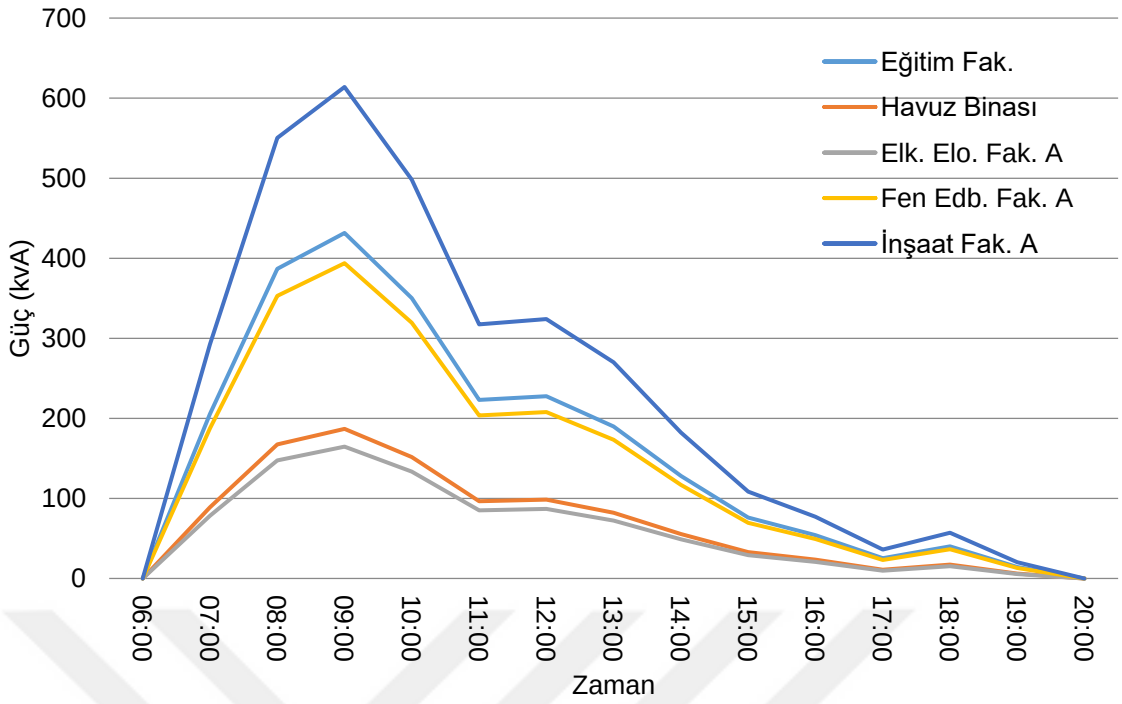
Panel Tanımı	Güç (W)	Vdc Max (V)	Tolerans (%)
STP280-24-VD.STP275-24-VD	280	600	5

GES dizaynının son aşaması olarak güneş radyasyon datası, boyutlandırılan panellere uygulanmıştır. Benzetim çalışmasında gün doğumu ve gün batımı arasındaki süre sabah saat 6 ile akşam saat 8 aralığı referans alınarak GES analizleri gerçekleştirilmiştir. Güneş radyasyonuna ait veriler Tablo 5.23'de belirtilmiştir.

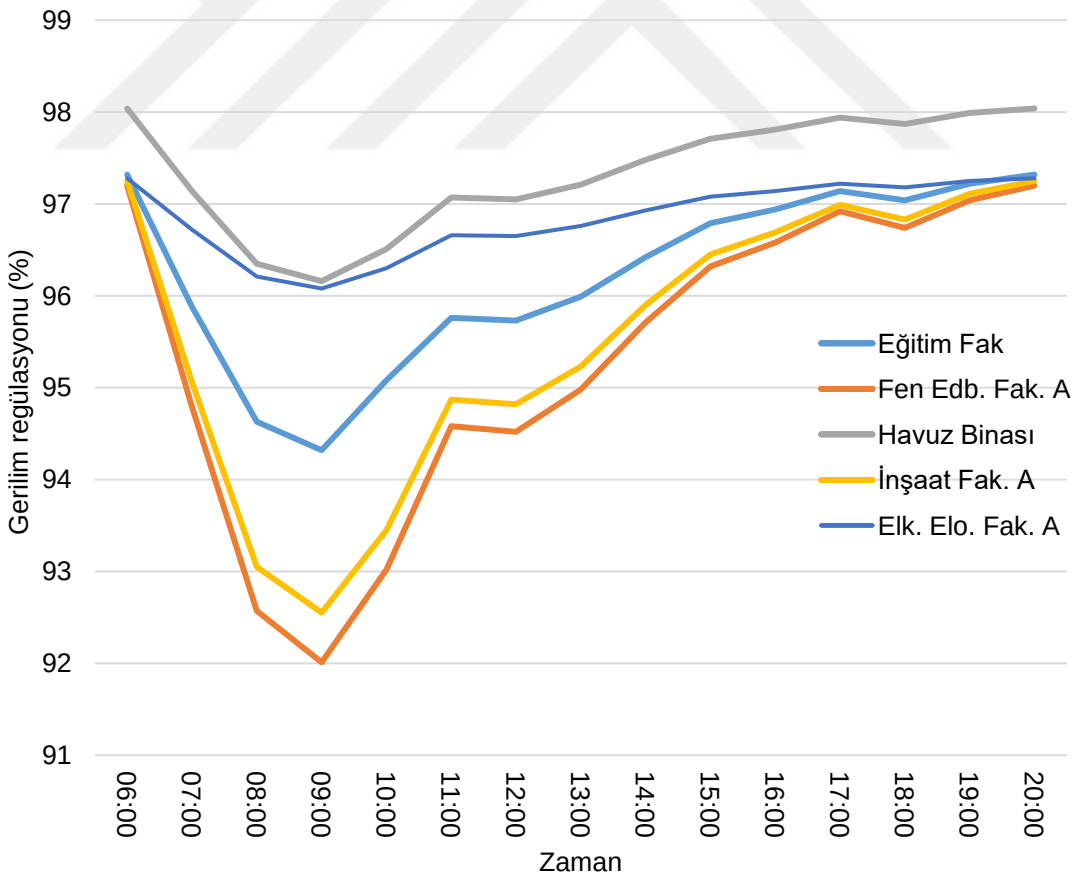
Tablo 5.23 Güneş radyasyonu verileri

Zaman	Güneş Radyasyonu (W/m²)	Zaman	Güneş Radyasyonu (W/m²)
06:00	158 W/m²	14:00	907 W/ m²
07:00	520 W/ m²	15:00	889 W/ m²
08:00	696 W/ m²	16:00	855 W/ m²
09:00	794 W/ m²	17:00	798 W/ m²
10:00	852 W/ m²	18:00	704 W/ m²
11:00	887 W/ m²	19:00	534 W/ m²
12:00	906 W/ m²	20:00	185 W/ m²
13:00	912 W/ m²		

Her fakülte binası için kullanılması planlanan EA şarj istasyonlarına ait veriler, Tablo 5.21'de belirtilen araç kapasiteleri doğrultusunda Tablo 5.1'de belirtilen araç parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. EA tüketim profili Şekil 5.29'da belirtilmiştir.



Şekil 5.29 EA tüketim parametreleri



Şekil 5.30 EA entegrasyonunun şebeke üzerindeki etkisi

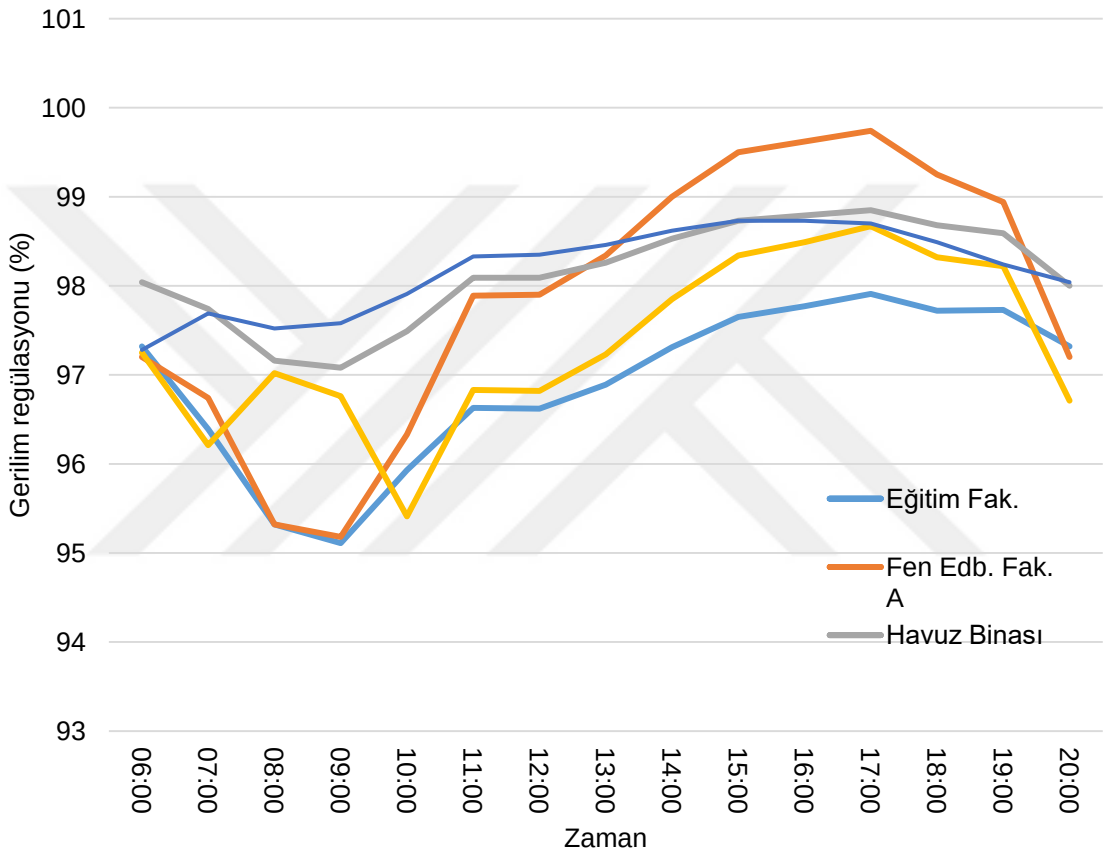
EA tüketim profilinin benzetim ortamında şebeke modeline aktarılması ile birlikte ilk alt senaryo olarak planlanan EA entegrasyonunun şebeke üzerindeki etki analizi gerçekleştirilmiştir. Kampüs şebekesinde gerilim regülasyonunun %52lik limitler içerisinde tutulması GES ve EA entegrasyon analizi için amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Fakültelerdeki gerilim regülasyonu ve EA entegrasyonu sonucu oluşan etki Şekil 5.30'da belirtilmiştir.

EA entegrasyonu sonucunda oluşan gerilim regülasyonundaki bozulma mikro şebekelerde oluşan etkinin gözlemlenmesi amacıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, EA entegrasyonunun mikro şebeke üzerinde üst düzeyde etkin olduğu görülmekte ve bu problemin ortadan kaldırılma ihtiyacı doğmaktadır. Bu noktada, GES entegrasyonu ile stabilite probleminin önüne geçilmesi önerilmektedir. GES dizaynı için kullanılacak olan metodolojide, üretimin maksimize edilmesi, gerilim stabilitesinin sağlanması amaçlanırken şebeke elektriksel limitleri ve PV panel konumlandırma kriteri olan fiziksel limitler göz önüne alınarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

5.6.2 Senaryo 5 Benzetim Sonuçları

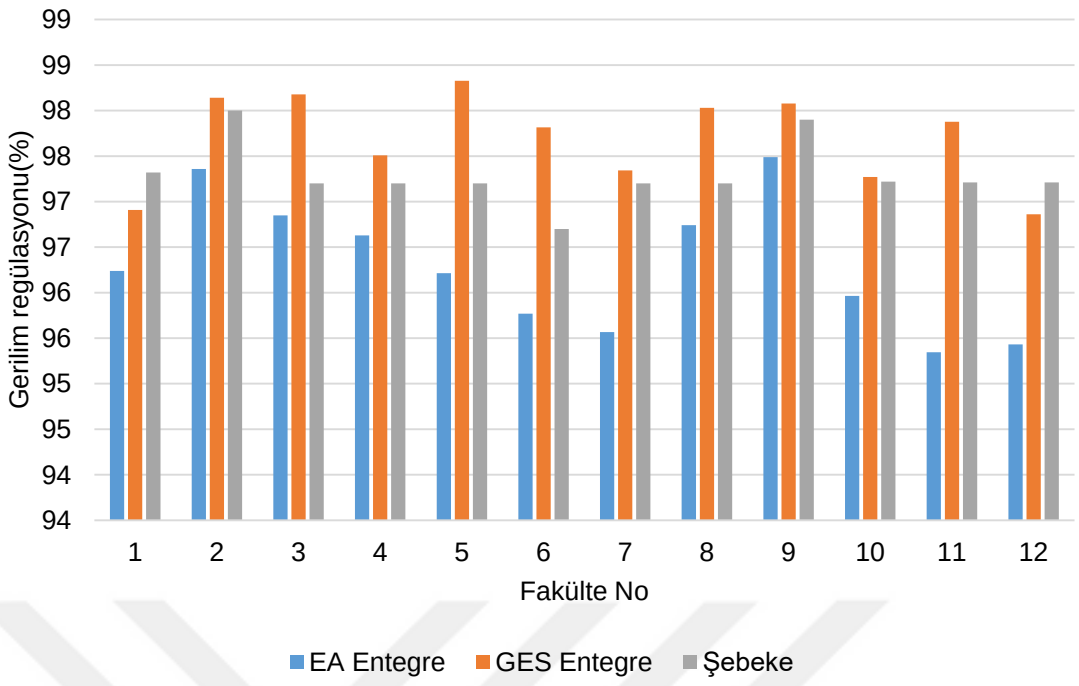
Benzetim ortamına aktarılan GES ve EA ünitelerinin entegre edilmiş olduğu mikro şebeke modeli olarak kullanılan YTÜ Davutpaşa Kampüsü'ne ait dağıtım şebekesi üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda, optimal boyutlandırma faktörleri göz önüne alınarak boyutlandırılan EA ve GES'lerin şebeke üzerinde güvenilir olarak çalışma sağladığı gözlemlenmiştir. EA'ların gün içerisinde oluşturduğu talebin artması sonucunda mikro şebekede meydana gelen gerilim düşümü, GES entegrasyonu ile elimine edilmeye çalışılmıştır. EA entegrasyonu sonucu oluşan güç talebi, şebeke gerilimi üzerinde anlık olarak dikkate değer yüklenmeler oluşturmaktadır. Bu nedenle GES'lerin gerilim stabilitesini sağlamak ve yanında gelen ekonomik avantajları maksimize etmek amacıyla analizler gerçekleştirilmiştir. EA'ların şebeke bağlantısının gerçekleştirilmesinin ardından çalışmanın ikinci alt senaryosunda, şebekeye entegre edilen GES'lerin gerilim regülasyonu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. GES'lerin düzensiz üretim karakteristikleri dolayısıyla GES ve EA'ların optimal şekilde boyutlandırılması

gerekmektedir. Bu nedenle GES kapasitesi ekonomik avantajlar dolayısıyla maksimize edilmeye amaçlanırken, şebeke gerilim stabilitesini bozucu etki oluşmaması için kapasite sınırlandırması uygulanmıştır. EA'lar tarafından oluşturulan gerilim düşüm etkisi, optimal boyutlandırılmış olan GES'ler ile gerilim stabilitesinin düzeltilmesi için gerekli analizlerin gerçekleştirilme ihtiyacını doğurmuştur. Gerçekleştirilen senaryo sonucunda elde edilen gerilim regülasyonu Şekil 5.31'de belirtilmiştir.



Şekil 5.31 Gerilim regülasyonuna ait değişim

Düşük ve aşırı gerilim arızalarının şebeke üzerinde oluşması ve mikro şebeke bileşenlerini önlemek adına optimize edilen GES ve EA'ların bütünleşik olarak sunulduğu çalışmada, gerilim regülasyonu üzerindeki GES etkisi olumlu yönde stabilitenin sağlanmasına olanak tanımıştır. Mikro şebekede EA entegrasyonu, GES ve EA bütünleşik entegrasyonu ile şebekenin başlangıç koşullarındaki gerilim regülasyon değerleri, tüm fakülteler için Şekil 5.32'de belirtilmiştir.



Şekil 5.32 Fakültelere ait gerilim regülasyonu

Elde edilen sonuçlara göre, gerilim regülasyonunda EA entegrasyonu sonucunda meydana gelen bozulmanın GES entegrasyonu ile değişken üretim profili dikkate alınarak düzeltildiği görülmektedir. İlk alt senaryoda fakülte binalarına ait aydınlatma ve baz yüklerin devrede olması durumunda gerilim regülasyonu araştırılırken ikinci alt senaryoda EA entegrasyonu sonucunda oluşan gerilim regülasyonu incelenmiştir. GES'lerin optimize edilip kapasite tayinlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda üçüncü alt senaryoda GES entegrasyonu gerçekleştirilmiş ve gerilim stabilizasyonu sağlanmıştır.

Gerilim ve kısa devre katkısı dikkate alındığında şebeke üzerinde bulunan koruma sistemi ekipmanlarının üzerinde meydana gelen değişim çalışmanın son fazı olarak sunulmuştur. Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen değerler, koruma algoritması üzerinden uygulanarak adaptif koruma sistemi için giriş parametreleri elde edilmiştir. Şebeke koruma bileşenlerinden olan akım transformatörleri, kesiciler ve röleler benzetim ortamına aktarılarak gerekli ayar değerleri belirlenmiştir. Röle ayar değerleri için hesaplanan kısa devre değerlerinde düzeltme faktörlerinin yanı sıra gerilim etkisini yansıtabilmek için eşitlik (5.23) uygulanmıştır.

$$I_k'' = \frac{c * V_n}{\sqrt{3} * Z_k} \quad (5.23)$$

Eşitlik (5.23)'de yer alan I_k" kararlı hal simetrik kısa devre akımı, c gerilim düzetme faktörü, V_n nominal sistem gerilimi ve Z_k pozitif sekans kısa devre empedansını temsil etmektedir. Maksimum ve minimum kısa devre akımları, GES ve EA'ların çalışma koşullarına göre maksimum ve minimum faktörler gözetilerek hesaplanmıştır. Hesaplamalarda IEC 60909 standardına göre kullanılması gereken reaktans toleransı ve sıcaklık düzeltme faktörleri benzetim ortamına aktarılmıştır. Elde edilen maksimum ve minimum kısa devre akım değerleri her bir fakülte istasyonu için Tablo 5.24'de belirtilmiştir.

Tablo 5.24 Maksimum ve minimum kısa devre akımları

No	Fakülte	I_{SC} min (kA)	I_{SC} max (kA)
1	Eğitim Fakültesi	20.141	25.189
2	Havuz Binası	14.518	18.197
3	Elektrik Elektronik Fakültesi - A	20.354	24.66
4	Elektrik Elektronik Fakültesi - B	20.174	24.825
5	Fen Edebiyat Fakültesi - B	20.614	27.329
6	Taş Bina	21.685	28.471
7	İnşaat Fakültesi - A	20.367	28.983
8	İnşaat Fakültesi - B	20.297	25.093
9	Kütüphane	14.419	18.678
10	Konferans Merkezi	20.218	27.639
11	Fen Edebiyat Fakültesi - A	20.649	29.256
12	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	20.069	29.018

Röle ayar değerlerinin belirlenebilmesi için IEC normal invers eğri ile modellenen röleler, eşitlik (5.1)'de formülize edildiği üzere hesaplanarak benzetim ortamına aktarılmıştır. Koruma sisteminde yer alan akım transformatörleri, kesiciler, röleler

ve haberleşme modülleri, GES ve EA karakteristiklerinin koruma üzerinde etkisini belirtmek amacıyla modellenmiştir. Hesaplanan koruma sistemine ait ayar değerleri Tablo 5.25'de belirtilmiştir.

Tablo 5.25 Koruma sistemi ayar değerleri

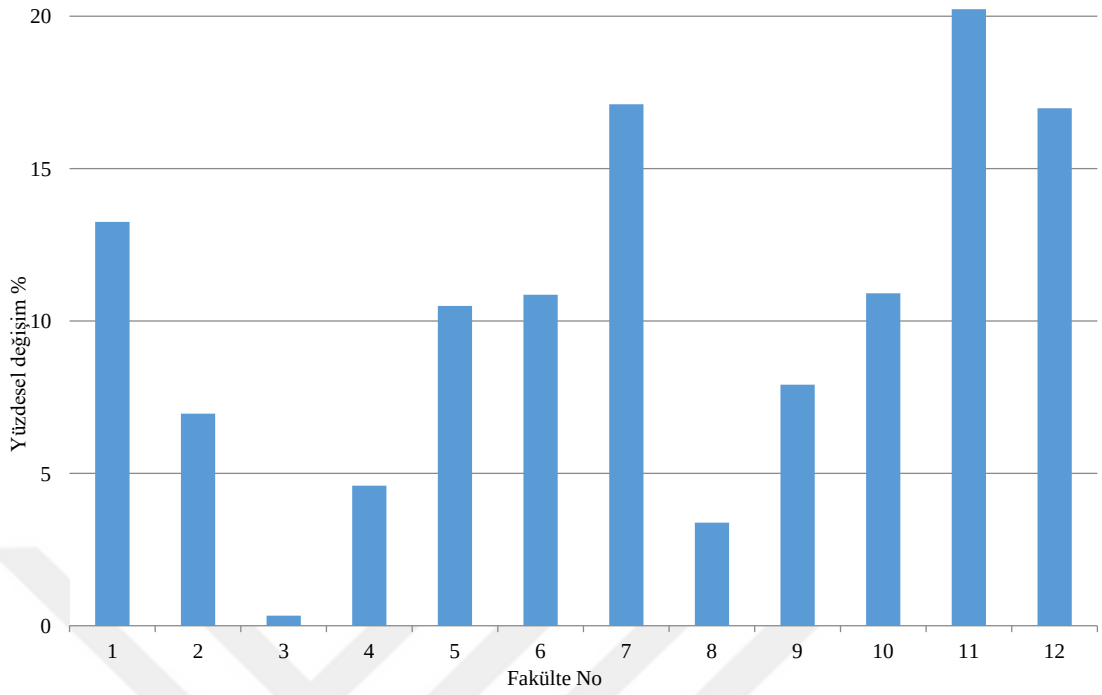
Fakülte Koruma Ünitesi	Senaryo 5-A	Senaryo 5-B	Senaryo 5-A	Senaryo 5-B
	Nominal Akım (A)		Röle Açma Akımı (A)	
Eğitim Fakültesi	532.6	1125	640	1184
Havuz Binası	271.1	530.2	640	640
Elektrik Elektronik Fakültesi - A	534	760.8	640	784
Elektrik Elektronik Fakültesi - B	532	880	640	912
Fen Edebiyat Fakültesi - B	534	1113	640	1168
Taş Bina	680.8	1229	704	1280
İnşaat Fakültesi - A	530	1448	640	1488
İnşaat Fakültesi - B	533	680.7	640	704
Kütüphane	271	441.1	640	640
Konferans Merkezi	535	1193	640	1216
Fen Edebiyat Fakültesi - A	533.7	1528	640	1600
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	525.8	1479	640	1504

Hesaplanan ayar değerleri ilgili rölelere benzetim ortamında aktarılmış ve Tp değeri 0.05 kabul edilmiştir. Hesap ve ayar değerlerinin belirlenme aşamasının ardından benzetim ortamında koruma sisteminin konvansiyonel yaklaşım ile adaptif röle koordinasyonu analizleri gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel yaklaşım ile adaptif röle koordinasyonu arasındaki manevra süresi benzetim sonuçlarına göre elde edilip Tablo 5.26'da sunulmuştur.

Tablo 5.26 Koruma sistemi çalışma süreleri

No	Fakülte	Senaryo A (sn.)	Senaryo B (sn.)
1	Eğitim Fakültesi	0.1110	0.0980
2	Havuz Binası	0.1087	0.1011
3	Elektrik Elektronik Fakültesi - A	0.0980	0.0977
4	Elektrik Elektronik Fakültesi - B	0. 1025	0. 0980
5	Fen Edebiyat Fakültesi - B	0. 1076	0. 0973
6	Taş Bina	0.1094	0.0987
7	İnşaat Fakültesi - A	0.1144	0.0977
8	İnşaat Fakültesi - B	0.0978	0.0945
9	Kütüphane	0.1089	0.1003
10	Konferans Merkezi	0.1086	0.0979
11	Fen Edebiyat Fakültesi - A	0.1170	0.0973
12	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	0.1148	0.0981

Arıza anında sistemin cevap süresi, GES ve EA entegrasyon aşamaları tamamlandıktan sonra değişin sistem karakteristikleri dolayısıyla değişime uğramıştır. Bu değişim nedeniyle oluşan konfigürasyon farkının koruma sistemini etkilememesi için adaptif koruma önerilmektedir. Benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçlar, önerilen koruma yaklaşımı ile değerlendirildiğinde koruma sistemi cevap süresinin azaltıldığı görülmektedir. Röle çalışma sürelerinde meydana gelen değişimi yüzdesel olarak ifade eden değişim grafiği Şekil 5.33'de belirtilmiştir.



Şekil 5.33 Röle çalışma sürelerinin değişimi

Sistem üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda koruma sisteminde adaptif yaklaşımın uygulanması ile %20'ye yakın hızlandırma sağlanabileceği sonuç olarak elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, EA entegrasyonu sonucunda gerilim seviyesi dikkate değer seviyede etkilenmektedir. EA entegrasyonu oluşan bu dezavantaj GES entegrasyonu ile ortadan kaldırılarak optimal boyutlandırma sayesinde üretim maksimize edilirken şebeke gerilim stabilitesinin bozulmasının önüne geçilmiştir. Önerilen dizayn algoritması ile şebeke ihtiyaçlarından olan gerilim stabilitesi, hat kayıplarının azaltılması, karbon emisyonunun azaltılması ve koruma sisteminin güvenilirliğinin arttırılması sağlanmıştır.

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım ve haberleşme sistemlerine teknolojideki gelişmelerin yansıtılması ile birlikte yeni nesil elektrik enerji sistemleri bileşenleri oluşmaktadır. Üretim alanını incelediğimizde, ekonomik faktörler ve çevresel kaygıların yaratmış olduğu değişim ihtiyacı doğrultusunda, yeni nesil yenilenebilir enerji santralleri ön plana çıkmaktadır. Rüzgar ve güneş enerji santrallerinin başı çekmekte olduğu yenilenebilir enerji santrallerinin sayısı gün geçtikçe artmakta ve şebeke entegrasyonları hızlanmaktadır. Yenilenebilir enerji santrallerinin sağlamış olduğu karbon salınımının azaltılması ve ekonomik avantaj faktörlerinin yanı sıra, şebeke entegrasyonları esnasında, değişken üretim parametrelerinden kaynaklanmakta olan şebeke üzerinde stabiliteyi bozucu etki oluşturmaktadırlar. Bu etkinin önüne geçmek ve yenilenebilir enerji santrallerinin gelecekte daha yüksek orana ulaşacak olan entegrasyonunu optimize edebilmek adına gerekli çalışma ve analizler gerçekleştirilmelidir. Yeni nesil tüketiciler olarak adlandırabileceğimiz elektrikli araçlar, gün geçtikçe artmakta olan kullanıcı sayıları ve gelecek vizyonu olarak sayıları milyonlarla ifade edilen kullanım potansiyeli dolayısıyla şebeke üzerinde oluşturacakları etkinin incelenmesi gerekliliğini doğurmaktadır. Elektrikli araçlar için kurulan şarj istasyonlarının sayısı arttıkça, kullanıcı sayıları da katlanarak artacaktır. Bu nedenle, yüksek seviyeli şarj istasyonu entegrasyon aşamasından önce gerekli optimizasyonlar ile birlikte boyutlandırma analizlerinin gerçekleştirilme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Elektrikli araçların şarj istasyonlarında kalacakları süre, şarj güçleri ve batarya kapasiteleri, her marka ve model için değişkenlik arz etmektedir. Bu nedenle şarj istasyonlarında tüketim esnasında değişken ve yüksek bir güç talebi oluşması öngörülmektedir. Bu talebin şebeke üzerinde oluşturacağı etki, entegrasyon aşamasından önce dikkatlice analiz edilip optimal çözüm sunulmalıdır.

Bu bağlamda, gerçekleştirilen tez çalışmasında yenilenebilir enerji santralleri ve elektrikli araç şarj istasyonlarının şebeke entegrasyonu için optimizasyon analizi gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlara göre şebekede stabilite sağlanması gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak GES ve EA modelleri için üretim ve tüketim profilleri oluşturularak değişken üretim ve tüketim tesislerinin şebeke üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Oluşturulan optimal GES ve EA boyutlandırma algoritması ile senaryo tabanlı analizler gerçekleştirilmiş ve sistemin güvenilirliği ve verimliliği ortaya koyulmuştur. Sistem güvenilirliği ve verimliliği test amacıyla beş farklı senaryo üzerinde optimizasyon algoritması kullanılarak boyutlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiş ve şebeke üzerinde oluşturulan etki gözlemlenmiştir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen ilk senaryoda IEEE 9 baralı test sistemi üzerinde GES modeli bir dağıtık üretim tesisi olarak modellenip benzetim ortamında bağlantı analizleri gerçekleştirilmiştir. Şebekenin GES entegrasyonu sonucunda meydana gelen kısa devre değerleri ve parametrelerde meydana gelen değişimin koruma sistemi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Algoritmanın güvenilirliğini test etmek adına oluşturulan ikinci senaryoda IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde GES entegrasyon analizi gerçekleştirilmiş olup sistemin hat kayıpları ve gerilim regülasyonu üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre şebekede değişen parametreler koruma sistemine uygulanarak, koruma sistemi üzerinde oluşan etki senaryo sonuçları içerisinde sunulmuştur. Üçüncü senaryoda EA şarj istasyonlarının şebeke üzerinde oluşturduğu etki açıklanıp, bu negatif etkinin GES'ler ile düzeltilmesini sağlayan metodoloji sunulmuştur. Bu senaryoda IEEE 13 baralı test sistemi, şebeke modeli olarak benzetim ortamında modellenmiştir. Dördüncü senaryoda IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde EA entegrasyonu sonucu bozulan şebeke gerilim stabilitesinin GES ile düzeltilmesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bir önceki senaryodan farklı olarak mevsimsel faktörler ve hava şartlarının GES üretiminde ve dolayısıyla şebeke üzerinde oluşturmuş oldukları değişim açığa çıkarılmıştır. Şebeke üzerindeki hat kayıpları, gerilim regülasyonu ve kısa devre değerlerinin hava şartlarına bağlı olarak değişimi dikkate alınarak GES ve EA şarj istasyonu boyutlandırmaları gerçekleştirilmiştir. Beşinci ve son senaryoda ise YTÜ Davutpaşa Kampüsü'ne ait şebeke modeli bir mikro şebeke olarak modellenmiş olup GES ve EA

entegrasyonları gerçekleştirilmiştir. Şebeke modeli üzerinde oluşturulan EA ve GES modelleri, gerçek zamanlı olarak ölçülen kampüs tüketim değerlerine eklenerek boyutlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. EA entegrasyonu sonucunda hat kayıpları artmış, şebeke gerilimi azalmış iken, GES entegrasyonu sonucunda bu dezavantajlar ortadan kaldırılarak, gün içerisinde değişken saatlerdeki üretim ve tüketim parametrelerine bağlı olarak iyileştirme sağlanmıştır. Benzetim ortamında gerçekleştirilen analizler sonucunda ortaya çıkan veriler, GES ve EA entegrasyon metodolojisinin optimal sonuçları ortaya koyduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ile GES ve EA şarj istasyonlarının optimal entegrasyonu sağlanmış, hat kayıpları azaltılmış, gerilim regülasyonu stabil hale getirilmiş, kısa devre analizleri ve koruma analizi ile entegrasyon aşaması sonrasında kullanılması gereken koruma ayar değerleri ve metodoloji sunulmuştur.

Tez çalışması ile sunulan EA ve GES entegrasyon metodolojisi ile gerçekleştirilen benzetim çalışmaları sonucunda ortaya çıkan katkılar ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Geliştirilen EA ve GES entegrasyon metodolojisi 5 farklı şebeke modeli ve alt senaryolar ile desteklenerek analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen modelin optimal ve güvenilir sonuçlar verdiği ortaya koyulmuştur.
- EA ve GES entegrasyon metodolojisi, GES üretimini maksimize etmeyi amaçlarken elektriksel ve fiziksel limitler ile sınırlandırılmıştır. Metodolojide öncelikli olarak GES ve EA boyutlandırmaları ile fiziksel limitler baz alınarak boyutlandırma gerçekleştirilmiş ve şebeke entegrasyon analizi ile şebeke elektriksel limitleri tarafında sınırlanmıştır.
- Limitler dahilinde boyutlandırılan GES ve EA modelinin optimizasyon algoritması ile değişken üretim ve tüketim değerleri ile değişken mikro şebeke modelleri için güvenilirliği test edilmiş olup, sunulan metodolojinin uygulanılabilirliği ortaya koyulmuştur.
- Gün içerisindeki enerji üretim ve tüketim faktörleri göz önüne alınarak, metodolojinin şebeke stabilitesini hem bu şartlarda hem de mevsimsel

bazda gerçekleşen üretim parametrelerinin değişmesi durumunda sağladığı ispatlanmıştır.

- Geliştirilen yaklaşım ile EA ve GES'lerin elektriksel ve fiziksel limitler dahilinde optimal entegrasyonu sağlanırken, şebeke üzerinde gerilim stabilitesinin sağlanması, hat kayıplarının azaltılması, kısa devre ve koruma analizleri ile koruma sistemlerinin müdahale sürelerinin azaltılması sağlanmıştır.
- Entegrasyon aşamasında kullanılan GES üretimini maksimize etmeyi amaçlayan optimizasyon fonksiyonu ile karbon salınımı azaltılması ve ekonomik avantaj sağlanması konusunda önemli bir aşama kaydedilmiştir.

Sonuç olarak, geleceğin enerji sistemlerinde üretici ve tüketicileri sorunsuz ve optimal olarak şebeke entegre etmek amacıyla kullanımı büyük avantajlar sunan dağıtık üretim tesisleri ile entegre edilmiş mikro şebekelerde, üretici ve tüketicilerin entegrasyonu konusunda gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, EA ve GES entegrasyonu optimizasyonu sağlanmış ve şebeke stabilitesi sağlanmıştır. Akıllı şebeke altyapısı ile kurulan mikro şebekelerde, stabilite ve güç kalitesini sağlamak büyük önem taşımakta, bu stabilitenin sağlanabilmesi için gerekli optimizasyon ve analizler, entegrasyon aşamasından önce gerçekleştirilmelidir. Tez çalışmasında sunulan metodoloji ile EA entegrasyonu sonucu oluşan dezavantajların GES üretimi ile sönümlenmesi sağlanarak ek avantajlar olarak sıralayabileceğimiz hat kayıplarının azaltılması ve şebekeye enerji satma imkanının doğması sağlanmıştır. Bu bağlamda, sunulan çalışma ile yenilenebilir enerji santrallerinin mikro şebeke bazlı ve akıllı şebeke altyapısı ile donatılmış bir şebeke modeli üzerinde entegrasyonu optimal olarak sağlanmış ve EA'lar için gerekli olan şarj istasyonlarının şebeke üzerinde kararlılık problemleri oluşturmasının önüne geçilmiştir. Güç kalitesinde meydana getirilen iyileştirmenin yanı sıra ekonomik ve çevresel etki anlamında karbon salınımının azaltılmasına yardımcı olacak olan elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji santralleri üzerine daha çok araştırma ve geliştirmeler yapılması, akıllı şebeke altyapısı ile uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] G. Şen, "Akıllı Dağıtım Şebekelerinde İşletim Koşullarının İyileştirilmesine Yönelik Çok Ajanlı Kontrol Yönteminin Geliştirilmesi", Doktora Tezi, 2018, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] J. Dai, M. Dong, R. Ye, A. Ma, W. Yang, "A Review on Electric Vehicles and Renewable Energy Synergies in Smart Grid," 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Xi'an, China, 10-13 Aug. 2016, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CICED.2016.7575995.

[3] Office for Low Emission Vehicles – Investing in Ultralow Emission Vehicles in UK, 2015 to 2020 [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/307019/ulev-2015-2020.pdf] Last accessed: 11.20.2019.

[4] L. Yao, Z. Damiran and W.H. Lim, "Optimal Charging and Discharging Scheduling for Electric Vehicles in a Parking Station with Photovoltaic System and Energy Storage System", Energies 2017, Vol.10-550, pp. 1-20, DOI: 1 0.3390/en10040550.

[5] H. Xing, M. Fu, Z. Lin and Y. Mou, "Decentralized Optimal Scheduling for Charging and Discharging of Plug-In Electric Vehicles in Smart Grids", IEEE Transactions on Power Systems 2016, Vol. 31, pp. 4118-4127, DOI: 10.1109/TPWRS.2015.2507179.

[6] W. Aggoune-Mtalaa, Z. Habbas,, A. Ouahmed and D. Khafraoui, "Solving New Urban Freight Distribution Problems Involving Modular Electric Vehicles", IET Intelligent Transport Systems 2015, Vol. 9, Iss. 6, pp. 654-661, DOI: 10.1049/IET-ITS.2014.0212.

[7] S. Aghajani and M. Kalantar, "A cooperative game theoretic analysis of electric vehicles parking lot in smart grid", Elsevier Energy 2017, Vol.137, pp. 129-139, DOI: 10.1016/j.energy.2017.07.006.

[8] K. Kazem, S. Abapour, S. Moghaddas-Tafreshi, M. Abapour, "Application of Data Envelopment Analysis Theorem in Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging Station Planning", IET Generation, Transmission & Distribution 2015, Vol. 9, Iss. 6, pp. 666-676, DOI: 10.1049/IET-GTD.2014.0554.

[9] Z. Darabi and M. Ferdowsi, "Aggregated Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile", IEEE Transactions on Sustainable Energy 2011, Vol. 2, pp. 501-508, DOI: 10.1109/TSTE.2011.2158123.

[10] I. Green, C. Robert, L. Wang and M. Alam, "The Impact of Plug-In Hybrid Vehicles on Distribution Network: A Review and Outlook", Renewable Sustainable Energy 2011, Vol. 15, pp. 544-553, DOI: 10.1109/PES.2010.5589654.

[11] P. C. Darab, "Strategies for Charging Electric Vehicles in Smart Grid," 2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering

(EPE), Iasi, Romania, 18-19 Oct. 2018, pp. 1019-1022, DOI: 10.1109/ICEPE.2018.8559743.

[12] H. Sharma and G. Kaur, "Optimization and Simulation of Smart Grid Distributed Generation: A Case Study of University Campus," 2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa, ON, Canada, 21-24 Aug. 2016, pp. 153-157, DOI: 10.1109/SEGE.2016.7589517.

[13] L. Grackova, I. Oleinikova and G. Klavs, "Electric Vehicles in The Concept of Smart Cities," 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), Riga, Latvia, 11-13 May 2015, pp. 543-547, DOI: 10.1109/PowerEng.2015.7266374.

[14] M. T. Turan, Y. Ateş, O. Erdinç, E. Gökalp and J. P. S. Catalao, "Effect of Electric Vehicle Parking Lots Equipped with Roof Mounted Photovoltaic Panels on the Distribution Network", International Journal of Electrical Power & Energy Systems (IJEPES), vol. 109, July 2019, pp. 283-289, DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.02.014

[15] M. S. Kuran, A. C. Viana, L. Iannone, D. Kofman, G. Mermoud and J. P. Vasseur, "A Smart Parking Lot Management System for Scheduling the Recharging of Electric Vehicles", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 6, No. 6, November 2015, 2942-2953 doi: 10.1109/TSG.2015.2403287.

[16] L. Zhang and Y. Li "A Game-Theoretic Approach to Optimal Scheduling of Parking-Lot Electric Vehicle Charging", IEEE Transactions on Vehicular Technology, VOL. 65, NO. 6, JUNE 2016 4068-4078 doi: 10.1109/TVT.2015.2487515.

[17] E. Akhavan-Rezai, M. F. Shaaban, E. F. El-Saadany and F. Karray, "Online Intelligent Demand Management of Plug-In Electric Vehicles in Future Smart Parking Lots", IEEE Systems Journal, Vol. 10, No. 2, June 2016 483-494 doi: 10.1109/JSYST.2014.2349357.

[18] M. Rahmani-Andebili, "Canopying Plug-In Electric Vehicles Parking Lots with Photovoltaic Panels", 21st Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC), 26-27 April 2016, Karaj, Iran, DOI: 10.1109/EPDC.2016.7514774.

[19] M. F. Shaaban, M. Ismail, E.F. El-Saadany and W. Zhuang, "Real-Time PEV Charging/Discharging Coordination in Smart Distribution Systems", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 5, No. 4, July 2014, pp. 1797-1807 doi: 10.1109/TSG.2014.2311457.

[20] I. M. Hussein and A. T. Al-Awami, "Reliability Assessment of Sustainable Photovoltaic-Electric Vehicles System", 2017 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition (GCCCE), 8-11 May 2017, Manama, Bahrain, DOI: 10.1109/IEEEGCC.2017.8447958.

[21] G. R. Bharati and S. Payudal, "Coordinated Control of Distribution Grid and Electric Vehicle Loads," Electric Power Systems Research, Vol. 140, pp. 761-768, DOI: 10.1016/j.epsr.2016.05.031.

[22] J. Su, T. T. Lie and R. Zamora, "Modelling of Large-Scale Electric Vehicles Charging Demand: A New Zealand Case Study," Electric Power Systems Research, Vol. 167, pp. 171-182, DOI: 10.1016/j.epsr.2018.10.030.

[23] J. Hu, H. Morais, M. Lind and H. W. Bindner, "Multi-agent Based Modeling for Electric Vehicle Integration in A Distribution Network Operation," Electric Power Systems Research, Vol. 136, pp. 341-351, DOI: 10.1016/j.epsr.2016.03.014.

[24] S.M.B Sadati, J. Mostagh, M. Shafie-khah and J. P. S. Catalao, "Smart Distribution System Operational Scheduling Considering Electric Vehicle Parking Lot and Demand Response Programs," Electric Power Systems Research, Vol. 160, pp. 404-418, DOI: 10.1016/j.epsr.2018.02.019.

[25] Q. Zhang, Y. Li, C. Li and C. Li, "Grid Frequency Regulation Strategy Considering Individual Driving Demand of Electric Vehicle," Electric Power Systems Research, Vol. 163, pp. 38-48, DOI: 10.1016/j.epsr.2018.05.019.

[26] R. Abousleiman and R. Scholer, "Smart Charging: System Design and Implementation for Interaction Between Plug-in Electric Vehicles and the Power Grid," IEEE Transactions on Transportation Electrification, Vol. 1-1, pp. 18-25, 2015, DOI: 10.1109/TTE.2015.2426571.

[27] F. Rassaei, W. S. Soh and K. C. Chua, "Demand Response for Residential Electric Vehicles With Random Usage Patterns in Smart Grids," IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 6-4, pp. 1367-1376, 2015, DOI: 10.1109/TSTE.2015.2438037.

[28] S. Sachan and N. Kishor, "Charging Of Electric Vehicles Under Contingent Conditions In Smart Distribution Grids," 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), Trivandrum, India, 14-17 Dec. 2016, DOI: 10.1109/PEDES.2016.7914235.

[29] M. Nicoli, R. Das, Y. Wang, G. Putrus, R. Turri and R. A. Kotter, "Smart Grid Modelling Tool for Evaluating Optimal Control of Electric Vehicles," 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, UK, 4-7 Sept. 2018, DOI: 10.1109/UPEC.2018.8541956.

[30] T. Zhang, W. Chen, Z. Han and Z. Cao, "Charging Scheduling of Electric Vehicles with Local Renewable Energy Under Uncertain Electric Vehicle Arrival and Grid Power Price", IEEE Vehicle Technologies 2013, Vol. 63, pp. 2600-2612, DOI: 10.1109/TVT.2013.2295591.

[31] M. A. Ortega-Vasquez, "Optimal Scheduling of Electric Vehicle Charging and Vehicle-to-Grid Services at Household Level Including Battery Degragation and Price Uncertainity", IET Generation, Transmission & Distribution 2014, Vol. 8, pp. 1007-1016, DOI: 10.1049/iet-gtd.2013.0624.

[32] N. G. Paterakis and M. Gibescu, "A methodology to generate power profiles of electric vehicle parking lots under different operational strategies", Elsevier Applied Energy 2016, Vol. 173, pp. 111-123, DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.04.024.

[33] M. Rahmani-Andebili, M. F. Firuzabad and M. Moeini-Aghtaie, "Optimal Incentive Plans for Plug-in Electric Vehicles", Electric Distribution Network Planning 2018, Springer, pp. 299-320, DOI: 10.1007/978-981-10-7056-3_11.

[34] M. Rahmani-Andebili and G. K. Venayagamoorthy, "Co-operative Responsive Electric Vehicles for Social-Economic Dispatch", Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering 2016, IET, pp. 291-315, DOI: 10.1049/PBPO081E_ch11.

[35] S. Faddel, A. Al-Awami and M. A. Abido, "Fuzzy Optimization for the Operation of Electric Vehicle Parking Lots", Elsevier Electric Power Systems Research 2017, Vol. 145, pp. 166-174, DOI: 10.1016/j.epsr.2017.01.008.

[36] R. Figueiredo, P. Nunes and M. C. Brito, "The feasibility of solar parking lots for electric vehicles", Elsevier Energy 2017, Vol. 140, pp. 1182-1197, DOI: 10.1016/j.energy.2017.09.024.

[37] P. Nunes, R. Figueiredo and M. C. Brito, "The use of parking lots to solar-charge electric vehicles", Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016, Vol. 66, pp. 679-693, DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.015.

[38] A. M. Alsomali, F. B. Alotaibi and A. T. Al-Awami, "Charging strategy for electric vehicles using solar energy", 2017 Saudi Arabia Smart Grid (SASG), 12-14 Dec. 2017, Jeddah , Saudi Arabia, DOI: 10.1109/SASG.2017.8356485.

[39] Y. Guo, J. Xiong, S. Xu and W. Su, "Two-Stage Economic Operation of Microgrid-Like Electric Vehicle Parking Deck", IEEE Transactions on Smart Grid 2016, Vol. 7, pp. 1703-1712, DOI: 10.1109/TSG.2015.2424912.

[40] H. Hashemi-Dezaki, A. M. Hariri and M. A. Hejazi, "Impacts Of Load Modeling On Generalized Analytical Reliability Assessment Of Smart Grid Under Various Penetration Levels Of Wind/Solar/Non-Renewable Distributed Generations," Sustainable Energy, Grids and Networks, Vol. 20, 100246, pp. 1-16, 2019, DOI: 10.1016/j.segan.2019.100246.

[41] S. Khatiri-Doost and M. Amirahmadi, "Peak Shaving and Power Losses Minimization by Coordination of Plug-In Electric Vehicles Charging and Discharging In Smart Grids," IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Milan, Italy, 6-9 June 2017, DOI: 10.1109/EEEIC.2017.7977547.

[42] Y. Shi, H. D. Tuan, A. V. Savkin, T. Q. Duong and V. Poor, "Model Predictive Control for Smart Grids With Multiple Electric-Vehicle Charging Stations," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 10-2, pp. 2127-2136, 2018, DOI: 10.1109/TSG.2017.2789333.

[43] E. Veldman and R. A. Verzijlbergh, "Distribution Grid Impacts of Smart Electric Vehicle Charging From Different Perspectives," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 6-1, pp. 333-342, 2015, DOI: 10.1109/TSG.2014.2355494.

[44] J. Lei, Z. Xiaoying, Z. Labao and W. Kun, "Coordinated Scheduling Of Electric Vehicles and Wind Power Generation Considering Vehicle to Grid Mode," IEEE

Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Harbin, China, 7-10 Aug. 2017, DOI: 10.1109/ITEC-AP.2017.8081021.

[45] J. Stuchly, S. Misak and L. Prokop, "Prospects For Electric Vehicles Technology with Renewable Energy Sources in A Smart-Grid Environment - An Introduction," 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 20-22 May 2015, DOI: 10.1109/EPE.2015.7161193.

[46] G. Ferro, F. Laureri, R. Minciardi and M. Robba, "An Optimization Model for Electrical Vehicles Scheduling In a Smart Grid," Sustainable Energy, Grids and Networks, Vol. 14, pp. 62-70, 2018, DOI: 10.1016/j.segan.2018.04.002.

[47] M. Zweistra, S. Janssen and F. Geerts, "Large Scale Smart Charging Of Electric Vehicles In Practice," Energies, Vol. 13(2), 298, pp. 1-13, 2020, DOI: 10.3390/en13020298.

[48] C. Srithapon, P.Ghosh, A. Siritaratiwat and R. Chatthaworn, "Optimization of Electric Vehicle Charging Scheduling in Urban Village Networks Considering Energy Arbitrage and Distribution Cost," Energies, Vol. 13(2), 349, pp. 1-20, 2020, DOI: 10.3390/en13020349.

[49] M. Spitzer, J. Schlund, E. Apostolaki-Iosifidou and M. Pruckner, "Optimized Integration of Electric Vehicles in Low Voltage Distribution Grids," Energies, Vol. 12(21), 4059, pp. 1-19 , 2019, DOI: 10.3390/en12214059.

[50] G. Haddadian, N. Khalili, M. Khodayar and M. Shahidehpour, "Optimal Coordination of Variable Renewable Resources and Electric Vehicles As Distributed Storage for Energy Sustainability," Sustainable Energy, Grids and Networks, Vol. 6, pp. 14-24, 2015, DOI: 10.1016/j.segan.2015.12.001.

[51] B. Morvaj, K. Knezovic, R. Evins and M. Marinelli, "Integrating Multi-Domain Distributed Energy Systems With Electric Vehicle PQ Flexibility: Optimal Design And Operation Scheduling For Sustainable Low-Voltage Distribution Grids," Sustainable Energy, Grids and Networks, Vol. 8, pp. 51-61, 2018, DOI: 10.1016/j.segan.2016.10.001.

[52] Accelerate the smart grid, Akıllı şebekelerin hızlandırılması, https://www.smartcitiesworld.net/news/news/huawei-set-to-accelerate-the-smart-grid-1613, 3 Aralık 2019.

[53] Smart grids brief, Kısaca akıllı şebekeler, https://www.meee-services.com/smart-grids-brief/, 3 Aralık 2019.

[54] Akıllı şebeke nedir?, http://www.prowmes.com/blog/akilli-sebeke-nedir/, 5 Mart 2020.

[55] Smart grids, Akıllı şebekeler,

https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html, 25 Şubat 2020.

[56] Mikro şebeke nedir?, https://www.elektrikde.com/microgrid-mikro-sebeke-nedir/, 5 Şubat 2020.

[57] Enerji yönetimi ve akıllı şebeke sistemleri, https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/enerji-sistemleri/enerji-yonetimi-ve-akilli-sebeke-sistemleri/mikro-sebeke-sistemleri, 15 Mart 2020.

[58] S. Parhizi, H. Lotfi, A. Khodaei and S. Bahramirad, " State of the art in research on microgrids: A review", IEEE Access, vol. 3, pp. 890-925, DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2443119.

[59] H. Xin, L. Zhang, Z. Wang, D. Gan and K. P. Wong, " Control of Island AC Microgrids Using a Fully Distributed Approach", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6-2, pp. 943-945, DOI: 10.1109/TSG.2014.2378694.

[60] J. Li, Y. Liu and L. Wu, " Optimal Operation for Community-Based Multi-Party Microgrid in Grid-Connected and Islanded Modes", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 9-2, pp. 756-765, DOI: 10.1109/TSG.2016.2564645.

[61] Wind power, Rüzgar Enerjisi, https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power, 1 Mart 2020.

[62] TUREB Türkiye RES istatistik raporu, https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_ocak_2020.pdf, 11 Mart 2020.

[63] Güneş Enerji Santralleri, http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/CSP_gun_enj_sant.aspx, 15 Mart 2020.

[64] Güneş paneli sistemlerinin tasarımı, http://www.emo.org.tr/ekler/8e692a34a5e564e_ek.pdf, 1 Mart 2020.

[65] Güneş Enerji Santralleri, https://www.enerjiatlasi.com/gunes/, 18 Mart 2020.

[66] Güneş enerji sistemleri, https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes, 15 Mart 2020.

[67] The future of renewable energy, Yenilenebilir enerjinin geleceği, https://eco-act.com/renewable-energy/the-future-of-renewable-energy/, 12 Mart 2020.

[68] Updated energy and emissions projections, Güncellenmiş enerji ve emisyon tahminleri, https://www.gov.uk/government/publications/updated-energy-and-emissions-projections-2018, 1 Aralık 2019.

[69] Elektrikli arabalar nasıl çalışır, https://www.otomovi.com/elektrikli-arabalar-nasil-calisir/, 19 Şubat 2020.

[70] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan and N. Mithulananthan, " A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 49 (2015), pp. 365-385, DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.130.

[71] Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü ve elektrikli araçların Türkiye dağıtım şebekesine etkileri, https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/12/Turkiye-ulastirma-sektorunun-donusumu-Elektrikli-araclar%C4%B1n-Turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri-.pdf, 19 Mart 2020.

[72] China surge electric vehicle sales, Çin'de elektrikli araç satışlarının artışı, https://www.weforum.org/agenda/2018/05/china-surge-electric-vehicle-sales/, 16 Mart 2020.

[73] İ. Şengör, O. Erdinç, B. Yener, A. Taşcıkaraoğlu and J. P. S. Catalao, " Optimal Energy Management of EV Parking Lots Under Peak Load Reduction Based DR Programs Considering Uncertainty" IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol.10-3, pp. 1-9, DOI: 10.1109/TSTE.2018.2859186.

[74] N. G. Paterakis, O. Erdinç, I. N. Pappi, A. G. Bakirtzis and J. P. S. Catalao, " Coordinated Operation of a Neighborhood of Smart Households Comprising Electric Vehicles, Energy Storage and Distributed Generation", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7-6, pp. 2736-2747, DOI: 10.1109/TSG.2015.2512501.

[75] O. Erdinç, A. Taşcıkaraoğlu, N. G. Paterakis, İ. Dursun, M. C. Sinim and J. P. S. Catalao, " Comprehensive Optimization Model for Sizing and Siting of DG Units, EV Charging Stations, and Energy Storage Systems", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 9-4, pp. 3871-3882, DOI: 10.1109/TSG.2017.2777738.

[76] IEC 60225 Standardı,

[77] IEC 60909 Standardı,

[78] Y. Ateş, "Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Şebekeler için Akıllı ve Adaptif Bir Koruma Metodunun Geliştirilmesi", Doktora Tezi, 2016, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[79] IEEE 9 Bus Test System, IEEE 9 baralı test sistemi, http://icseg.iti.illinois.edu/wscc-9-bus-system/, Eylül 2019.

[80] IEEE Radial Distribution Test Feeders, IEEE radyal test fiderleri, http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html, Ağustos 2019.

[81] Plug-in electric vehicle data, Elektrikli araçlara ait datalar, https://www.plugincars.com/, 1 Nisan 2019.

[82] Kyocera güneş paneli katalogu, Kyocera PV Panel Catalogue, http://www.kyocerasolar.eu/index/products.html, 17 Mart 2019.

[83] R. G. Wasley and M. A. Shlash, "Newton-Raphson Algorithm for 3-phase Load Flow. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers", 1974, Vol.121, pp. 630-638, DOI: 10.1049/piee.1974.0145

[84] PV panel technical specification, PV panel teknik özellikleri, http://english.cooperatecloud.com/webfile/upload/2018/11-28/10-42-5207772112055614.pdf, 2 Mart 2019.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: mehmettan.turan@emo.org.tr

Makaleler

1. M. T. Turan, Y. Ateş, E. Gökalp, "Enerji Dağıtım Sistemlerinde Güneş Enerji Santrali Entegrasyonu ve Röle Koordinasyonu ", EMO Bilimsel Dergi, vol. 8(1), pp. 71-78. http://dergipark.gov.tr/emobd/issue/39771

2. Turan, M.T., Ateş, Y., Erdinç, O., Gökalp, E., Catalao, J.P.S., (2019), " Effect of electric vehicle parking lots equipped with roof mounted photovoltaic panels on the distribution network" International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 109, pp. 283-289, DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.02.014.

Konferans Bildirileri

1. M. T. Turan, Y. Ateş, E. Gökalp, (2017), "Self-healing distribution network design with renewable power sources considering adaptive relay protection", IEEES-9, 14-17 May 2017, Split, Croatia, 1:740-746.

2. M. T. Turan, Y. Ateş, E. Gökalp, (2018), "Integration of Electric Vehicle Parking Lot Equipped With Solar Power Plant to the Distribution Network Considering Optimal Operation Criteria" 53rd International Universities Power Engineering Conference, Glasgow, Scotland, 4-7 Sept. 2018, DOI: 10.1109/UPEC.2018.8542081.

3. M. T. Turan, Y. Ateş, O. Erdinç, E. Gökalp, (2019) " Effect of Distributed Generation Based Campus Model Combined with Electric Vehicle Charging Stations on the Distribution Network Considering Optimal Renewable Energy Power Plant Design"

2nd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST - 2019), Porto, Portugal, 9-11 Sept. 2019, DOI: 10.1109/SEST.2019.8849132.

4. M. T. Turan, Y. Ateş, E. Gökalp, (2017), "Enerji Dağıtım Sistemlerinde Güneş Enerji Santrali Entegrasyonu ve Röle Koordinasyonu", EL-EN, 1. Ulusal Elektrik Enerjisi Dönüşümü Kongresi, 1:33-38.

Kitap Bölümleri

1. M. T. Turan, Y. Ateş, E. Gökalp, (2018), "Integration of Solar Power Plant to Existing Network with Adaptive Relay Protection in The Concept of Smart Grid", The role of Exergy in Energy and Environment", Springer Nature, 3, pp. 351-632, DOI: 10.1007/978-3-319-89845-2_25.