

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ENERJİ DEPOLAMA TESİSİ İÇEREN AKILLI ŞEBEKE  
SİSTEMİNDE PUANT YÜK DENGELİMESİ İÇİN DURUM İZLEME  
VE KONTROL ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ**

**Turhan ATICI**

**Danışman  
Prof. Dr. Sezai TAŞKIN**



**MANİSA-2021**

**Turhan  
ATICI**

**ENERJİ DEPOLAMA TESİSİ İÇEREN AKILLI ŞEBEKE SİSTEMİNDE PUANT YÜK  
DENGELEMESİ İÇİN DURUM İZLEME VE KONTROL ALGORİTMASI  
GELİŞTİRİLMESİ**

**2021**

## TEZ ONAYI

**Turhan ATICI** tarafından hazırlanan "**Enerji Depolama Tesisi İçeren Akıllı Şebeke Sisteminde Puant Yük Dengelemesi İçin Durum İzleme ve Kontrol Algoritması Geliştirilmesi**" adlı tez çalışması 27/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Sezai TAŞKIN**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Nevzat ONAT**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ŞENGÖR**

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Turhan ATICI**



# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	III
TABLO DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR .....	VI
ÖZET .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür Taraması .....	2
1.2. Tezin Amacı .....	6
2. GENEL BİLGİLER .....	7
2.1. Akıllı Şebekeler .....	7
2.1.1. Akıllı Şebeke Kavramı .....	7
2.1.2. Akıllı Şebeke Temel Bileşenleri ve Teknolojileri .....	7
2.1.3. Mevcut Şebeke ile Akıllı Şebeke Karşılaştırılması.....	10
2.1.4. Akıllı Şebekenin Faydaları .....	11
2.1.5. Akıllı Şebeke Entegrasyonu .....	12
2.1.6. Akıllı Şebeke Uygulamaları .....	13
2.1.6.1. Dünyada Akıllı Şebeke Uygulamaları .....	13
2.1.6.2. Türkiye'deki Akıllı Şebeke Uygulamaları .....	17
2.2. Enerji Depolama Sistemleri .....	19
2.2.1. Elektrik Enerjisinin Depolanma Teknikleri.....	19
2.2.2. Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama.....	21
2.3. Elektrikli Araçlar ve Puant Yük .....	23
2.3.1. Elektrikli Araçların Şebekeye Etkileri .....	23
2.3.2. Puant Yük .....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER .....	27
3.1. Materyal .....	27
3.1.1. Deney Setinin Bileşenleri ve Özellikleri .....	29
3.1.2. Enerji Depolama Sistemi ve Özellikleri .....	39
3.1.3. Veri Okuma Kartı ve Özellikleri.....	40
3.2. Yöntem.....	43
3.2.1. Akıllı Şebeke Deney Seti Bağlantıları ve Çalıştırılması .....	43
3.2.2. Enerji Depolama Sisteminin Şebekeye Bağlanması .....	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	48
4.1. Deneysel Çalışmalar .....	48
4.1.1. ETAP Programında Sistemin Yük Akış Analizinin Yapılması .....	48
4.1.2. Algoritmanın Oluşturulması .....	50
4.1.3. Veri Okuma Kartı Bağlantıları .....	51
4.1.4. Sistem Senaryolarının Uygulanması ve Ölçüm Sonuçları .....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>BT</b>	Bilişim Teknolojisi
<b>CERTS</b>	Elektrik Güvenilirliği Teknoloji Çözümü Konsorsiyumu (Consortium of Electrical Reliability Technology Solution)
<b>DIN</b>	Alman Standartlar Enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
<b>DSO</b>	Dağıtım Sistem Operatörü
<b>EA</b>	Elektrikli Araç
<b>EDS</b>	Enerji Depolama Sistemi
<b>EDT</b>	Enerji Depolama Teknolojileri
<b>EISA</b>	Enerji Bağımsızlığı ve Güvenlik Yasası (Energy Independence and Security Act)
<b>ERDF</b>	Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu (European Regional Development Fund)
<b>GES</b>	Güneş Enerjisi Santrali
<b>HES</b>	Hidroelektrik Santral
<b>ICT</b>	Bilgi ve İletişim Teknolojileri (Information and Communication Technologies)
<b>IoT</b>	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
<b>NI</b>	National Instruments
<b>PV</b>	Fotovoltaik (PhotoVoltaic)
<b>RES</b>	Rüzgar Enerji Santrali
<b>SCADA</b>	Supervisory Control and Data Acquisition
<b>TAŞ'2023</b>	Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyonu ve Stratejisi Belirleme Projesi
<b>YEK</b>	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Akıllı şebeke mimarisi.....	8
Şekil 2.2. Akıllı şebeke teknolojileri .....	10
Şekil 2.3. Telegestore projesinde kullanılan akıllı sayaçlar .....	14
Şekil 2.4. Fransa Linky pilot projesi için kullanılan sayaç .....	15
Şekil 2.5. Enerji depolama çözümlerinin zaman aralığı .....	20
Şekil 2.6. Tesla Megapack enerji depolama tesisi .....	22
Şekil 2.7. Zorlu Enerji elektrikli araç şarj istasyonu noktaları.....	23
Şekil 2.8. Eşarj elektrikli araç şarj istasyon haritası .....	23
Şekil 2.9. Bir dağıtım trafosuna ait yük eğrisi.....	25
Şekil 3.1. Laboratuvar ortamındaki deney setinin mevcut görüntüsü .....	27
Şekil 3.2. Enerji depolama birimi olarak batarya paketi entegre edilen akıllı şebeke deney seti.....	28
Şekil 3.3. Akıllı şebeke deney seti SCADA programı ana ekranı .....	28
Şekil 3.4. Hidroelektrik santral üretim birimini temsilen kullanılan senkron makine .....	29
Şekil 3.5. AC makine uyartım denetleyicisi.....	30
Şekil 3.6. Generatör senkronizasyon rölesi .....	30
Şekil 3.7. Rüzgar enerji üretim birimini temsilen kullanılan asenkron makine .	31
Şekil 3.8. Akıllı şebeke deney setindeki termik santral ünitesi.....	32
Şekil 3.9. Şebeke bağlantılı evirici (1- Güneş paneli giriş terminali, 2- Çıkış gücü göstergesi, 3- Ada koruma göstergesi, 4- Şebeke terminali)....	33
Şekil 3.10. Güneş paneli ve güneş simulatörü.....	34
Şekil 3.11. 380 kV, 1000 A, 100 km uzunluktaki iletim hattı modülü .....	34
Şekil 3.12. 380 kV, 1000 A, 360 km uzunluktaki iletim hattı modülü .....	35
Şekil 3.13. 800 VA 3 fazlı trafo.....	35
Şekil 3.14. Omik, endüktif ve kapasitif yükler.....	36
Şekil 3.15. Kesici modülü .....	38
Şekil 3.16. Kapasitif bank modülü .....	38
Şekil 3.17. Şebeke sisteminde kullanılan enerji depolama sistemi .....	39
Şekil 3.18. NI cDAQ-9174 CompactDAQ Chassis .....	40
Şekil 3.19. NI-9246 C Serisi akım giriş modülü .....	41
Şekil 3.20. NI-9242 C Serisi gerilim giriş modülü .....	41
Şekil 3.21. NI-9221 C Serisi gerilim giriş modülü .....	42
Şekil 3.22. NI-9474 C Serisi dijital modül.....	42
Şekil 3.23. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-1 .....	43
Şekil 3.24. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-2.....	44
Şekil 3.25. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-3.....	44
Şekil 3.26. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-4.....	44
Şekil 3.27. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-5.....	45
Şekil 3.28. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-6.....	45
Şekil 3.29. Deney seti sinyal kablolarının bağlantısı.....	46
Şekil 3.30. Deney seti haberleşme kablolarının bağlantısı .....	46
Şekil 3.31. Enerji depolama tesisinin şebekeye bağlantı şeması.....	47
Şekil 4.1. ETAP programında batarya paketi de içeren akıllı şebeke sisteminin yük akış analizi .....	49
Şekil 4.2. Geliştirilen algoritma akış şeması .....	51

Şekil 4.3. GES, EDS ve yük grubunun veri toplama ve kontrol modülü ile bağlantısı .....	52
Şekil 4.4. Akıllı şebeke deney setine entegre edilen batarya paketi ile birlikte sistemin sisteminin prensip şeması .....	53
Şekil 4.5. Akıllı şebeke deney setine ait SCADA ana ekran.....	54
Şekil 4.6. İletim hattı izleme ekranı .....	54
Şekil 4.7. Yük tarafı izleme ekranı .....	55
Şekil 4.8. LabVIEW™ ortamındaki durum izleme ve kontrol ekranı .....	60
Şekil 4.9. LabVIEW™ ortamındaki ölçüm ekranı .....	60
Şekil 4.10. MCBÜ Mühendislik Fakültesi güneş ışınımı verileri .....	61





## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Mevcut şebeke ile akıllı şebeke karşılaştırılması.....	11
Tablo 2.2. Akıllı şebekelerin faydaları .....	11
Tablo 2.3. Akıllı şebeke teknolojisine en çok yatırım yapan 10 ülke.....	17
Tablo 2.4. Enerji depolama bileşeni olarak batarya seçim kriterleri .....	21
Tablo 2.5. Türkiye’de elektrikli ve hibrit araç satışlarının değişimi .....	24
Tablo 3.1. Senkron makine etiket değerleri (rotoru sargılı).....	31
Tablo 3.2. Asenkron makine etiket değerleri (sincap kafesli).....	32
Tablo 3.3. Güneş paneli etiket değerleri .....	33
Tablo 3.4. Anahtar konumuna göre her faz için direnç değerleri.....	37
Tablo 3.5. Anahtar konumuna göre her faz için endüktans değerleri.....	37
Tablo 3.6. Anahtar konumuna göre her faz için kapasitans değerleri .....	37
Tablo 4.1. ETAP yük akış analizi raporu .....	50
Tablo 4.2. Senaryo-1 için ölçülen değerler .....	55
Tablo 4.3. Senaryo-1’de EDS’nin dahil olduğu durumdaki ölçümler .....	56
Tablo 4.4. Senaryo-2 için ölçülen değerler .....	56
Tablo 4.5. Senaryo-2’de EDS’nin dahil olduğu durumdaki ölçümler .....	56
Tablo 4.6. Senaryo-3 için ölçülen değerler .....	57
Tablo 4.7. Senaryo-3’te EDS’nin dahil olduğu durumdaki ölçümler.....	57
Tablo 4.8. Senaryo-4 için ölçülen değerler .....	58
Tablo 4.9. Senaryo-4’te EDS’nin dahil olduğu durumdaki ölçümler.....	58
Tablo 4.10. Tüm senaryolara ait ölçülen değerler .....	59

## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, lisans ve lisansüstü öğrenim hayatımın tüm aőamalarında yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Sezai TAŞKIN'a teőekkürü borç bilirim. Tez çalıőmamın deneysel uygulamaları için batarya paketi desteği sağlayan İnci GS Yuasa Akü Sanayi ve Tic. A.Ő. yetkililerine, Ar-Ge Merkezi Ekip Yöneticisi Dr. Alper TURHAN'a, fikir ve önerileri ile destek olan Dr. Öğretim Üyesi İbrahim ŞENGÖR'e, Öğretim Görevlisi Osman DEMİRCİ'ye ve Arő. Gör. Macit TOZAK'a teőekkürlerimi sunarım. Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Turhan ATICI  
Manisa, 2021

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

#### Enerji Depolama Tesisi İçeren Akıllı Şebeke Sisteminde Puant Yük Dengelemesi İçin Durum İzleme ve Kontrol Algoritmasının Geliştirilmesi

Turhan ATICI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sezai TAŞKIN

Ülkemizde ve dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır. Özellikle rüzgar-güneş gibi mikro şebekelerin sayısının her geçen gün artması ve enterkonnekte sisteme dahil edilmesi yeni şebeke kontrol yöntemlerinin üzerinde çalışılmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte sürekli artan güç talebini karşılamak için enerji verimliliği yöntemlerini artırmanın yanı sıra enerjinin sürekliliğini sağlamak amacıyla da güç sistemine yeni enerji kaynaklarının dahil edilmesi kaçınılmazdır. Bu kapsamda akıllı şebekelerde son kullanıcı tarafında daha fazla dağıtılmış üretim ve ayrıca enerji depolamaya da olanak tanıyan mikro şebekelerin kurulması önem arz etmektedir.

Sayıları her geçen gün artan ve daha da hızla artacak olan elektrikli araçlar gibi mobil ve değişken yüklerin şebeke üzerinde oluşturabileceği dengesizlikler konusu için de çözüm arayışları devam etmektedir. Bu kapsamda, hem enerjinin sürekliliğini hem de puant yük dengelemesi bakımından dağıtım sistem operatörü için güç sisteminde işletim esnekliğini sağlayabilmek amacıyla güneş enerji santralleri ile birlikte enerji depolama teknolojileri ön plana çıkan konular arasında yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, enerji depolama tesisi olarak batarya paketi içeren bir akıllı şebeke sisteminde; işletim esnekliği ve puant yük dengesinin sağlanması amacıyla durum izleme ve kontrol algoritması geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla deneysel çalışmalar için Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yer alan De Lorenzo firmasına ait akıllı şebeke sistemi kullanılmıştır. Bu akıllı şebeke sistemine göre boyutlandırılmış bir batarya paketi enerji depolama birimi olarak güç sistemine entegre edilmiştir. Güneş enerjisi üretim birimi ve batarya paketi için durum izleme ve kontrol yazılımı LabVIEW™ programında gerçekleştirilmiştir. Batarya paketinin sisteme entegrasyon koşullarını sağlayan bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol algoritmasının testleri için Manisa iline ait 2020 yılı puant yük verileri örnek olarak alınmıştır. Ayrıca, oluşturulan senaryo gereği dağıtım sistem operatörüne işletme esnekliği imkanı verecek çeşitli talep cevabı programları dikkate alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı şebeke, mikro şebeke, enerji depolama, durum izleme ve kontrol, talep tarafı yönetimi.

2021, 79 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **Development of Control Algorithm and Conditioning Monitoring for Peak Load Balancing in Smart Grids with Energy Storage System**

**Turhan ATICI**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Sezai TASKIN**

Renewable energy investments are increasing day by day in our country and in the world. Rising the number of micro grids such as wind and solar, and their inclusion in the grid system requires studies on new grid control methods. However, it is inevitable to include new energy sources in the power system in order to ensure the continuity of energy as well as energy efficiency in order to meet the increasing power demand. In this context, it is important to establish micro grids that allow more distributed generation and energy storage by the end-user in smart grids.

The search for solutions for the imbalances that can be caused by mobile and variable loads on the network, such as electric vehicles, is being continued. In this context, energy storage technologies and solar power plants are among the prominent issues to ensure the operating flexibility of the distribution system operator in the power system in terms of both sustainability of energy and peak load balancing.

This study aims to develop a condition monitoring and control algorithm for the peak load and supply-demand balancing in a smart grid system by using an energy storage unit. For this purpose, the energy storage unit has been integrated into the smart grid system, designed by the De Lorenzo Company, which is installed in the Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering. A battery pack is integrated into the smart grid system as an energy storage unit. Condition monitoring and control software for the photovoltaic system and battery pack are developed in the LabVIEW™ program. Moreover, an algorithm is developed that provides the conditions for the integration of the battery pack into the system. For the tests of the algorithm, daily load data belongs to the year 2020, of Manisa province is taken as the sample. Also, different demand response programs providing operational flexibility for the distribution system operator in accordance with the scenarios created are considered.

**Keywords:** Smart grid, micro-grid, energy storage, condition monitoring and control, demand side management.

**2021, 79 pages**

## 1. GİRİŞ

Güç sistemlerindeki değişim süreci incelendiğinde, güç sistemlerini değişime zorlayan birçok etken karşımıza çıkmaktadır. Azalan fosil yakıt kaynak rezervi ve buna bağlı olası enerji krizleri, olumsuz çevresel etkiler, küresel ısınma ve iklim değişikliği bu etkenlere örnek olarak gösterilebilir. Bu olumsuz etkenlere çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) kullanımı yaygınlaştırılmalı ve enerji verimliliği sağlanmalıdır. YEK'lerin yaygınlaştırılmasının yarattığı sorunlar ise kesintili ve/veya dalgalı güç üretimlerinin şebekeyi olumsuz etkilemesi ve aynı zamanda geleneksel şebeke yapısının dağıtık üretim konseptine tam uygun olmayışıdır. YEK'den üretilen gücün artması ile güç talebini karşılamak için gerekli enerji desteği ve enerji verimliliği görevi görecek sistemler, sistemdeki yükün dengeli dağılımını sağlayacak mekanizmalar, dağıtım sistem operatörü tarafından talep durumlarında şebekeyi beslemeye devam edebilecek enerji depolama teknolojileri oldukça önem arz etmektedir. Çözüm olarak önerilen ise YEK'lerle birlikte enerji depolama uygulamalarının yaygınlaştırılması ve akıllı şebeke altyapısının hızla geliştirilmesidir.

Akıllı şebekeler genel anlamda tanımlanacak olursa, bilgi ve haberleşme sistemlerinin bütünleştirilmesi ile ortaya çıkan akıllı bir elektrik şebekesi olarak tanımlanmaktadır. Akıllı şebekeler enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtım süreçlerinde anlık çift yönlü haberleşme ile daha sürdürülebilir, güvenli ve verimliliği yüksek bir enerji kullanımı sunmaktadır. Akıllı şebekelerin öncelikli hedeflerinden biri; son kullanıcı tarafında daha fazla dağıtılmış üretim ve enerji depolamaya olanak tanıyan mikro şebekelerin kurulmasıdır. Ayrıca, talep tarafı yönetim uygulamaları ile puant güç ötelenmekte ve böylece üretim, iletim ve dağıtım birimlerinin kapasite aşımı önlenmekte ve ilave santral yatırım maliyetleri ötelenirken aynı zamanda da iletim dağıtım kayıplarının azaltılmasına katkı sağlanmaktadır.

Sonuç olarak ülkemizde ve dünyada kullanılan mevcut şebeke sistemlerinin günümüz teknolojisine uyum sağlaması için bir değişim sürecinden geçmesi kaçınılmazdır. Bu değişim süreci uygun bir planlama ile yönetilmeli ve bir an önce uygulanmalıdır. Gelişmiş ekonomilere sahip birçok ülke, akıllı şebeke yatırımlarında uzun bir yol katetmiştir. Akıllı şebeke sistemlerinin kullanılması sonucunda; dengeli

tüketim değerlerine ulaşma, anlık veri akışı, gerçek zamanlı izleme, kontrol ve çalıştırma, enerji arz ve talebinde dengesizliklerin önlenmesi, CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin düşürülmesi, enerji verimliliğinin artırılması gibi hedefler gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, enerji depolama tesisi olarak batarya paketi entegre edilen bir akıllı şebeke deney sisteminde puant yük kontrolü ve arz-talep dengesinin sağlanması amacıyla durum izleme ve kontrol algoritması geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Durum izleme ve kontrol algoritması yazılımının geliştirilmesi amacıyla grafiksel tabanlı bir program olması nedeniyle LabVIEW™ programı tercih edilmiştir. Geliştirilen kontrol algoritmasının testleri için Manisa iline ait 2020 yılı puant yük verileri örnek olarak alınmıştır. Ayrıca, oluşturulan senaryo gereği dağıtım sistem operatörüne işletme esnekliği imkanı verecek çeşitli talep cevabı programları da dikkate alınmıştır. Bu çalışma ile enerji depolama sistemi olarak batarya paketi içeren akıllı şebeke sistemleri için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Şebeke üzerinde elektrikli araçlar gibi her geçen gün artmakta olan mobil yüklerin değişkenlik göstermesi ve şebekelerin zayıf noktalarında oluşturabilecekleri yük dengesizlikleri göz önünde bulundurulduğunda batarya paketi içeren bir akıllı şebeke sisteminin etkinliği de bu tez çalışmasında değerlendirilmiştir. YEK olarak Güneş Enerji Santrali (GES)'nden beslenen batarya paketi/paketlerinin güç sisteminde puant yük talebini sınırlama, yük kaydırma vb. talep cevabı programlarına dâhil olabilmesinin de senaryoları bu çalışmada göz önüne alınmıştır. Ayrıca, mevcut akıllı şebeke sistemine entegre edilen batarya paketi ile birlikte tüm güç sisteminin yük akış analizi de gerçekleştirilmiştir.

Literatürde akıllı şebeke teknolojileri ve enerji depolama sistemleri ile ilgili çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

### **1.1. Literatür Taraması**

Khoi Vu ve ark. (1997) yerel ölçüm cihazlarıyla başlayan ve daha üst düzey kontrol yapısının genel bir kontrol stratejisine entegre eden çok katmanlı bir koruma ve kontrol şemasının geliştirilmesi için bir sistem tanımlamışlardır. Koruma ve kontrol stratejilerinin güçlendirilmesi, yerel bir sorunun şebekenin diğer bölümlerine yayılmasını önlemek için öneriler vermişlerdir [1].

T. Ackermann ve ark. (2001) tüm akıllı şebeke çözümlerini değerlendirmek için ölçütler sunmuştur. Çalışmada, sırasıyla sanal enerji santralleri, mikro şebekeler ve hücrenel yaklaşım kavramlarına dayanan mevcut çözümlere bakılmaktadır [2].

R. H. Lasseter ve ark. (2003) "Elektrik Güvenilirliği Teknoloji Çözümü Konsorsiyumu" (CERTS) araştırma projesi ile ilgili çalışmalarında, Akıllı Şebeke'lerin geliştirilmesinin temelinde yer alan mikro şebeke teknolojilerine ayrıntılı olarak değinmişlerdir. Ayrıca bu raporda, dağıtık üretimi başlatmak için kullanılan teknolojiler hakkında bilgilere yer verilmiştir [3].

Carl H. Hauser ve ark. (2005) çalışmalarında elektrik şebekeleri için mevcut veri iletimi uygulamalarını gözden geçirmekte daha esnek ve verimli bir "akıllı" şebeke vizyonunu gerçekleştirmeye yardımcı olacak veri iletişimine yeni bir yaklaşım getirmiştir [4].

Dimitrios Pendarakis ve ark. (2007), algılayıcı ve eyleyici ağlarını kullanan akıllı bir elektrik şebekesi modeli geliştirmişlerdir. Algılayıcı ölçümlerinin kümelenmesi ve optimal çalıştırma parametrelerinin dağıtık hesaplanması sorunlarıyla ilgilenen etkili mekanizmalar sunmuşlardır. Bu olayların verimli bir şekilde özetlenmesi için algoritmalar geliştirilmiş ve bunları optimum olarak harekete geçirmek için asgari düzeyde etkileri gösterilmiştir. Çalışma, enerji dağıtım şebekeleri ve özellikle akıllı elektrik şebekeleri tarafından teşvik edilmiştir [5].

Rados ve ark. (2010), mevcut sisteme eklemelerle bu sistemin güvenilirliğini ve rüzgar enerjisi ile depolama sistemleri birlikte çalıştığında sistemin güvenilirliğini incelemişlerdir [6].

P. Roberts ve ark. (2011) çalışmalarında elektrik şebekesi desteği için kullanılan yeni depolama türlerini ve bunların şebekeye entegrasyon yollarını ele almışlardır. YEK'lerin kullanımının artmasıyla birlikte yükleri kontrol etme yöntemindeki değişiklikler ile tüketimin ve üretimin dengelenmesinde yeni zorlukların ortaya çıktığından bahsedilmiştir. Enerji depolama cihazlarının dağıtım şebekesine daha fazla yerleştirilmesi, bu işlemin daha etkili bir şekilde

gerçekleşmesine ve sistem performansını iyileştirmesine yardımcı olacağı savunulmuştur [7].

Hung ve diğ. (2011) puant zaman aralıklarında artan enerji talebi nedeniyle daha da artan enerji kayıplarının en aza indirilmesini amaçlayan bir çalışma sunmuşlardır. Bu amaçla kayıplar dikkate alınarak ortak enerji depolama sisteminin ideal yerinin tespit edilmesi, boyutlandırılması ve güç faktörünün tanımlanması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, ortak enerji depolama sistemi ile birlikte kapasitör yerleşiminin kombinasyonu da ele alınmıştır. Fakat, bu çalışmada sunulan modelde talep cevabı uygulamalarına ve YEK'lere yer verilmemiştir [8].

Sami S. Alwakeel ve ark. (2012) konut, endüstriyel ve ticari elektrik güç tüketimi için bir talep cevap mekanizması olarak Akıllı Şebeke Yük Dengelemesi için Sınıf Tabanlı P-kalıcı Şema planını önermiştir. Önerilen bu planın temel amacı, elektrikli ev aletlerinin kullanımını, elektrik satış fiyatının yüksek olduğu saatlerden ucuz saatlere ve daha ucuz oranlara kadar ev aletlerini, endüstriyel işlemleri ve ticari kullanımları yeniden planlayarak güç şebekesinin puant yükünü azaltmaktır. Bu hedefe ulaşmak için, ev aletlerini ve fabrika süreçlerini dinamik olarak planlamak, bazı cihazları ve fabrika süreçlerini yoğun saatlerden yoğun olmayan saatlere kaydırmak için bir mekanizma önerilmiştir ve buna karşılık tüketici tarafında fiyat indirimi şeklinde teşvikler önerilmiştir [9].

Huq ve diğ. (2012) fotovoltaik (PV) güç üretim sistemleri ve bir EDS içeren bir bölge için enerji yönetim sistemlerinin yapısını incelemişlerdir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu, PV güç üretim sistemlerini ve EDS'yi kullanarak şebekedeki enerji maliyetini minimize etmek olarak hedeflenmiştir. Önerilen model ile puant zaman dilimindeki enerji tüketiminin azaltılabileceği, şebekede verimliliğin arttırılabileceği ve YEK'lerin olumsuz etkilerinin azaltılabileceği görülmüştür [10].

F. Shahnia ve ark. (2013) puant yük yönetimi için çevrimiçi talep tarafı yönetim sistemi önermiştir. Ötelenecek veya kontrol edilecek yükleri seçmek için çok amaçlı bir karar verme süreci önerilmiştir. Önerilen kontrol sisteminin etkinliği, MATLAB®'da geliştirilen bir simülasyonla doğrulanmıştır [11].



Eri Isono ve ark. (2013) akıllı şebekelerde batarya paketi kullanımını önermişler ve güç şebekesinin çalışmasına katkıda bulunmayı amaçlayan bir sanal enerji santrali oluşturulmuştur. Bu konsepti göstermek için bir B-SCADA sistemi geliştirilmiş ve yük frekansı kontrolü, rezerv marjı ve puant yük öteleme/kaydırma işlevleri gösterilmiştir [12].

M. Sechilariu ve ark. (2013) çalışmalarında; akıllı şebeke ile iletişim halinde olan bir binaya entegre edilen enerji depolama ve PV sistem içeren mikro şebeke tasarım ve uygulamasına odaklanmıştır. Amaç, şebekenin puant zaman dilimindeki tüketimini azaltmayı, istenmeyen şebeke gücü reaksiyonlarından kaçınmayı, yerel PV sistem güç üretimini tam olarak kullanmayı amaçlayan akıllı şebeke etkileşimi ile güç dengeleme stratejisi geliştirmektir. Enerji yönetimi, şebeke erişim sınırları, depolama kapasitesi ve gerekirse PV güçten yük atma durumu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel platforma dayanarak, sonuçlar sistemin kararlılığını koruduğunu ve önerilen yerel enerji yönetiminin uygunluğunu teyit ettiğini ve mikro şebeke olarak GES'in güç şebekesine daha iyi entegrasyonu için perspektifler verdiğini göstermektedir [13].

A. Temiz ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada akıllı şebeke sistemleri, elektrik şebekesinin güvenliği, hızlı arıza tespiti gibi benzer fonksiyonlar açısından kullanılacak haberleşme sisteminin öneminden bahsedilmiştir. Bu tür işlevlerin sağlıklı bir şekilde çalışmasına izin veren ve YEK'lerin şebekeye birçok farklı açıdan dahil edilmesini sağlayan bir iletişim sistemi çözümü önerilmiştir. İletişim için protokoller tanımlanmış ve iletişim ağının güvenliği için çözümler önerilmiştir. Akıllı şebekeyi izlemek ve kontrol etmek için örnek bir arayüz geliştirilmiştir. [14].

T. Atasoy ve ark. (2015) sürdürülebilir akıllı şehirlerde YEK'lerin, EDS'lerin, EA'ların ve akıllı aydınlatma kavramlarının şebeke entegrasyonuna odaklanan iki kavram arasındaki güçlü bağlantı üzerinde bir analiz sunmaktadır. Akıllı şehirlerin, sürdürülebilir bir kentsel hayata geçiş sürecinde kritik rol oynadığının, kritik altyapı ve çeşitli paydaşları entegre eden yönetimin, mobilite, ekonomi ve enerji gibi çeşitli bileşenlerden oluştuğundan bahsedilmiştir. Akıllı şehirler ve akıllı şebekeler kavramının mantıklı bir uzantısı olduğundan ve akıllı

şehirlerin gerçekleştirilmesi, geleneksel güç sistemlerinin modernizasyonu süreciyle sıkı sıkıya bağlantılı olduğuna değinilmiştir [15].

A. Shahid ve ark. (2018) yenilenebilir enerji kaynaklarının akıllı şebekeye entegrasyonu için ölçeklenebilir bir strateji sunmuştur. Amaç, büyük kapasiteli YEK ve sistemlerinin nüfuz ettiği akıllı şebekelerin kesintisiz ve esnek bir şekilde çalışmasına yönelik devam eden sorunları ele almaktadır. Önerilen entegrasyon yöntemi, kendi kendini onaran ve otomatik iyileştirme eylemleri gerçekleştirebilen akıllı bir güç altyapısı geliştirmenin yönlerine odaklanılmıştır [16].

M. Tozak (2020) tarafından yapılan tez çalışmasında deneysel araç olarak kullanılan De Lorenzo firmasına ait akıllı şebeke deney setinde yer alan tüm bileşenlerin Matlab®/Simulink®’te benzetimi ve deneysel olarak bu benzetimin doğrulanması gerçekleştirilmiştir [17].

## **1.2. Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasında; akıllı şebekeler, akıllı şebekelerin temel bileşenleri ve teknolojileri, dağıtık enerji üretimi ve enerji depolama sistemleri hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Akıllı Şebekeler Laboratuvarı’nda bulunan De Lorenzo firmasına ait Akıllı Şebeke Sistemine enerji depolama birimi olarak İnci GS Yuasa Akü firmasının katkıları ile temin edilen batarya paketi entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Batarya paketinin akıllı şebeke sistemine entegrasyon koşulları için bir algortima geliştirilmiş ve sistemin NI LabVIEW™ programında geliştirilen arayüz üzerinden durum izlemesi ve denetimi gerçekleştirilmiştir.

Deney setindeki enerji üretim, iletim ve dağıtım birimlerine ait elektriksel parametreler sistemin mevcut SCADA arayüzü üzerinden okunmuştur. Enerji depolama birimi olarak batarya paketinin geliştirilen algoritma çerçevesinde dağıtım barasından sisteme girip çıkması için gerekli ölçüm ve kontrolleri gerçekleştirmek amacıyla izlenmesi gereken parametreler ise bu çalışma kapsamında sisteme ilave edilmiştir. Tez çalışmasında hedeflenen çıktıların kontrolü ve sistemin durum izlemesi için grafiksel tabanlı bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Akıllı Şebekeler**

#### **2.1.1. Akıllı Şebeke Kavramı**

Akıllı şebeke, bilgi ve iletişim teknolojisi özellikleri ile geliştirilmiş bir elektrik şebekesidir. Böylece şebekedeki çeşitli varlıklar arasında haberleşme ve iki yönlü elektrik iletimi mümkün hale gelmektedir [18].

Akıllı şebekenin amacı, elektrik endüstrisinin daha verimli çalışmasını sağlamak ve topluma bugün olduğundan daha güvenilir ve sürdürülebilir bir elektrik enerjisi sağlamaktır.

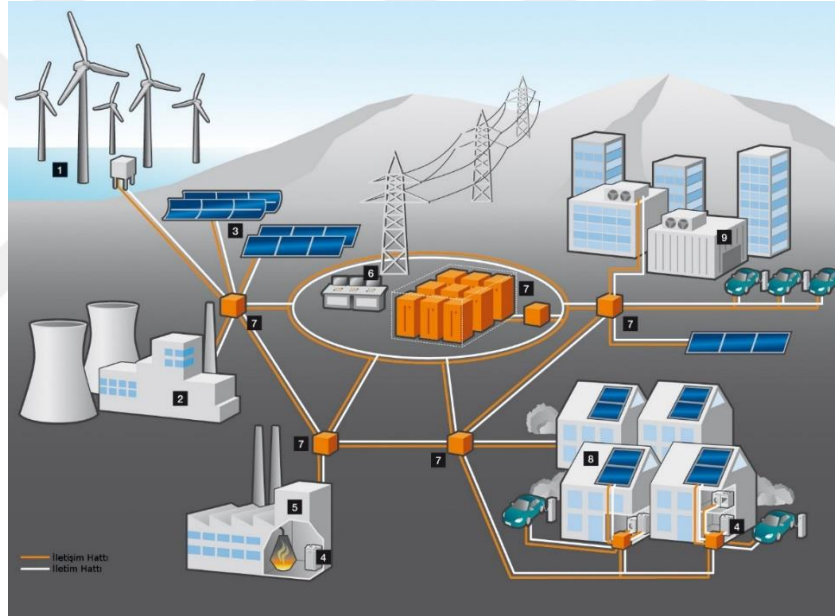
Akıllı şebeke, içinde çeşitli enerji kaynakları bulunan geniş yayılıma sahip birbirine bağlı kaynakların olduğu, oldukça entegre ve gelişmiş bir elektrik şebekesidir. Akıllı şebeke genellikle doğası gereği zaman zaman kesintili üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından (örn. rüzgar, güneş, biyokütle, vb.) elektrik üretimi yapan santralleri şebekeye entegre eder. Kapasitelerine bağlı olarak, bu dağıtık üretim yüksek gerilim iletim hatlarına, orta gerilim dağıtım hatlarına ve hatta müşteri seviyesindeki alçak gerilim hatlarına bağlanabilir. Bu sabit varlıkların yanı sıra akıllı şebeke, mobil ve esnek elektrik jeneratörleri veya depolama tesisi olarak işlev görebilen elektrikli araçlar gibi mobil varlıkları da içerir [19].

#### **2.1.2. Akıllı Şebeke Temel Bileşenleri ve Teknolojileri**

Akıllı şebeke teknolojileri; bütün elektrik şebekesi üzerinde büyük çaplı, gerçek zamanlı ve işletimsel veri üreteceklerdir. Bu bağlamda merkezi olmayan bilgi teknolojisi elektrik endüstrisindeki kuralları değiştirmektedir. Akıllı şebekedeki trafo merkezi, dağıtılmış işlevsel iletişim mimarisini ve yüksek boyutlu verileri yönetmek için temel koruma ve geleneksel otomasyon yöntemlerinin ötesine geçecektir. İletim ve dağıtım sisteminin cevap verme yeteneğini arttırmak için; merkezi enerji yönetimine ek olarak, transformatör merkezleri ve iletim hatlarındaki yeni teknolojiler vasıtasıyla entegre edilen lokal karar verme yeteneğinden yararlanılacaktır [20].

Akıllı şebekenin mimari yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu şekilde numaralandırılmış kısımları tanımlayacak olursak;

- 1 – Rüzgâr Enerji Santrali
- 2 – Fosil Kaynaklı Enerji Santrali
- 3 – Güneş Enerji Santrali
- 4 – Kojenerasyon (Buhar + Elektrik Üretimi)
- 5 – Akıllı Fabrikalar
- 6 – İletim ve Dağıtım Kontrol Merkezi
- 7 – Veri İşleme Merkezi
- 8 – Akıllı Evler
- 9 – Akıllı İşletmeler



**Şekil 2.1.** Akıllı şebekenin mimarisi [21]

Şekil 2.2’de gösterilen akıllı şebekenin teknolojileri; akıllı üretim, akıllı istasyonlar, akıllı güç dağıtımı, akıllı sayaçlar, iletişim ve gelişmiş kontrol yöntemleridir. Bunlar aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

a) Akıllı Üretim: Şebekeye enerji transferi sağlayan ve her an şebeke ile iletişim içerisinde olan üretim tesisleridir. Üretim verimliliğini artırmak amacıyla bilgisayar kontrolleri, modelleme, büyük veri ve diğer otomasyonları kullanan bir süreçtir. Akıllı üretimin akıllı şebekelerdeki görevi son derece önemlidir. Enerji

üretimini optimize etmek için şebekedeki birçok noktadan gelen geri bildirimlerin kullanılması; güç üretiminin otomatik gerilim, frekans ve güç faktörü ayarlaması ile sağlanması akıllı üretimin bazı hedefleri olarak sıralanabilir.

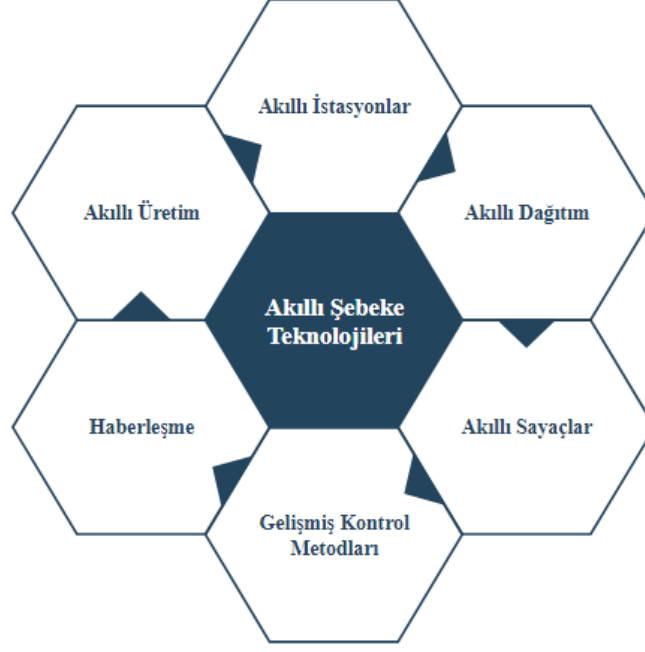
b) Akıllı İstasyonlar: Yüksek gerilim tarafı ile orta ve düşük gerilim tarafı arasında bulunan, devre kesici gibi koruma elemanlarını/ekipmanlarını kontrol eden bileşendir. Ayrıca güç faktörü ve işlem kontrolü sağlar. Akıllı istasyonlar, üretim verimliliğinin kontrolü ve güç biriminin bilgisayar ve ağ teknolojisine uyum sağlamasıyla ortaya çıkar. Bu istasyonlar, akıllı şebekelerde güç faktörü performansını, devre kesicilerini, transformatörleri, batarya durumunun izlenmesini ve kritik/kritik olmayan yüklerin kontrolünü sağlamaktadır.

c) Akıllı Dağıtım: Sistem, okuyucu ve izleyici cihazlar ile daha korunaklı bir hal alır, böylelikle ani kesintilere karşı en üst seviyede korunmalı hale gelmiş olur. Akıllı dağıtım, kendi kendini onaran, dengeli ve optimize edilmiş bir yapıya sahiptir. Otomatik izleme ve analiz işlevlerine sahiptir ve akıllı şebekede önemli bir rol oynamaktadır. Bu işlev, hava durumuna ve geçmiş sistem verilerine dayalı arızaları tahmin edebilmektedir.

d) Akıllı Sayaçlar: Tüketiciler ve üreticiler arasında iki yönlü iletişim sağlamak için bir iletişim altyapısı sağlar. Ödeme verilerini toplayabilir, gerçek zamanlı bilgiler sağlayabilir ve güç kalitesi ölçümü, güç kesintisi ve sayaç tüketim bilgilerini iletebilir. Bu sayede arıza yerinin tespitini ve müdahale hızını hızlandırmaktadır.

e) Haberleşme: Sistem kullanıcılarının verilerini kontrol etmek ve düzenlemek için çalışır, sistemin birbirleri ile etkileşimini ve verilerin toplanmasını sağlar. Haberleşme ve veri toplama sistemi, kontrol ve koruma sistemleri bütünleştirilmiş bir sistem üzerinde kullanıcının akıllı elektronik cihazlar ile etkileşimini sağlar.

f) İleri Kontrol Metodları: Şebekenin durumunu analiz eden, tanımlayan ve tahmin eden bir dizi cihaz ve algoritmayı ifade eder. Güç kalitesi sorunlarını ve enerji kesintilerini en aza indirmek için gerekli önlemleri otomatik olarak alır.



**Şekil 2.2.** Akıllı şebeke teknolojileri

### 2.1.3. Mevcut Şebeke ile Akıllı Şebeke Karşılaştırılması

Ülkemizde ve dünyanın birçok ülkesinde elektrik şebekelerinin yapısı; enerji santrallerinin birbirine uzun iletim hatları ile bağlanması sonucu birbirine bağlı şebeke yapısı oluşmaktadır. Bu yapı enterkonnekte yapıyı tanımlamaktadır. Birbirine bağlı olan şebeke, alternatif akımla çalışır ve sistemin herhangi bir parçası çökerse oluşan dengesizlik tüm sistemin çökmesine neden olup tüm ülkede (buna bağlı diğer ülkelerde bile) enerji kesintilerine yol açabilir [22].

Akıllı şebekeler, gelişmiş izleme ve teşhis teknolojilerini kullanarak varlıkların verimliliğini arttırıp bu varlıkların potansiyellerini ve performanslarını en üst düzeye çıkarmasını sağlar. Uzaktan izleme ve kontrol teknolojisini kullanarak enerji şirketlerinin kaynaklarını daha güvenilir ve verimli kullanmalarını sağlar. Dijital iletişim sayesinde akıllı şebekeler, insan hatası veya doğal afetlerden kaynaklanan sorunlarda arızanın yerini hızlı bir şekilde tespit ederek sistemin mümkünse kendi kendini onarmasını sağlar [22].

Tablo 2.1’de mevcut şebeke ile akıllı şebeke arasındaki farklara ilişkin karşılaştırma verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Mevcut şebeke ile akıllı şebekenin karşılaştırması [18]

Mevcut Şebeke	Akıllı Şebeke
Elektromekanik bileşenler	Dijital bileşenler
Tek yönlü iletişim	Çift yönlü iletişim
Merkezi üretim	Dağıtık üretim
Arızalar ve kesintiler	Uyarlanabilir ada modu
Daha az sayıda algılayıcı	Baştan sona algılayıcı
Durum izleme kısıtlı	Sistemin tüm noktalarını izleyen
Genellikle manuel operasyon	Kendini iyileştirme
Manuel kontrol/Test	Uzaktan kontrol/test
Sınırlı kontrol	Her zaman kontrol
Büyük güç üreticileri seçeneği	Dağıtık üretim sayesinde birçok müşteri seçeneği

#### 2.1.4. Akıllı Şebekenin Faydaları

Akıllı şebekelerin sunduğu fırsatlar olarak; gerçek zamanlı güç kalitesi tespiti, arıza ve kesinti tahmini, çift yönlü güç akışına izin verme, üreten tüketici (prosumer) yani güç sisteminde hem üretici hem tüketici olabilme durumuna imkan verme ve dinamik fiyatlandırma gibi öne çıkan özellikler sıralanabilir [23]. Akıllı şebekelerin sunduğu faydalar Tablo 2.2’de dağıtım şirketleri ve aboneler (tüketiciler) açısından incelenmiştir;

**Tablo 2.2.** Akıllı şebekelerin faydaları

Akıllı Şebekelerin Faydaları	
Dağıtım şirketleri açısından	Aboneler (tüketiciler) açısından
Kayıp-kaçak oranında azalma, enerji kalitesinin yükseltilmesi, daha dengeli yük dağılımı	Kayıp-kaçak oranlarının azaltılmasını sonucu olarak daha adil faturalandırma
Daha kısa sürede arıza giderme veya arıza öncesi tahminleme ile minimum arıza sayısı	Puant yük ötelenmesi yöntemi ile daha uygun tarifeden enerji kullanma imkanı
Abonelere elektronik ortamda bilgilendirme ve sürekli iletişim halinde olabilme imkanı	Abone gruplarına göre elektrik giderlerinde %20-25 oranında tasarruf
Tahakkuk-tahsilat oranlarında iyileşme	Kaliteli enerji satın alma imkanı ile elektronik cihazların hasar görme olasılığının azalması

### 2.1.5. Akıllı Şebeke Entegrasyonu

Akıllı şebeke konsepti, verimli ve güvenilir enerji tedariki elde etmek için bilgi teknolojisi ve iletişim sistemlerini kullanarak güç üretim, depolama, tüketim, dağıtım ve iletim sistemlerini esnek ve verimli bir şekilde kontrol etmeyi amaçlamaktadır.

YEK'lerin bütünleşip uyum içinde olması dağıtım şebekeleri için önemli bir konudur. Dağıtım seviyesinden şebekeye bağlanan bir YEK santrali şebeke kontrolünü çok daha karmaşık hale getirmektedir. Bundan dolayı YEK'lerden daha fazla yararlanmak için dağıtım sistemi altyapısının yenilenmeye ihtiyacı vardır. Bunun yanında bu kaynaklar şebekenin işlemlerini değiştirmekte ve yük dalgalanmalarına karşı daha savunmasız hale getirmektedir. Örneğin, Almanya'nın belirli bölgelerinde, belirli zamanlarda yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik miktarı daha fazladır [24]. Orta ve alçak gerilim enerji dağıtım sisteminde, çok yönlü çalışma için akıllı şebeke teknolojisine dayalı dinamik bir ağ oluşturulur. Elektrik piyasasının serbestleşmesi, arz ve talep modelindeki değişiklikler, dağıtım şebekesi operatörlerine yeni sorunlar getirdi. Yalnızca işletme yönetimini optimize ederek tedarik kalitesini ve verimliliğini artırabilir ve kayıpları azaltabiliriz. Bu, ekipmanın (örneğin; transformatörler, şalt tesisleri) ve elektrikli ekipmanın dağıtılmış üretim için akıllı bağlantılara sahip olmasını gerektirir [25].

Enerji şirketleri, maliyetleri düşürmeye ve iş süreçlerini hızlandırmaya, şebeke yönetiminin operasyonel güvenliğini iyileştirmeye ve müşteri hizmetlerinin kalitesini arttırmaya devam etmelidir. İş süreçleri hızlı ve yetkin kararlara dayanmalıdır. Bu sebeple farklı sistemlerde bilgileri en düşük maliyetle ve karar vericinin koşullarına göre birleştirmek, hazırlamak ve sunmak gerekir. Bu hedeflere ulaşma potansiyeli, iş süreçlerinin optimizasyonuna ve sistemlerin ve kullanıcıların entegrasyonuna bağlıdır [24].

Akıllı şebeke teknolojileri; EA'lar için şebekeden araca (G2V) ve araçtan şebekeye (V2G) özelliğinde şarj istasyonlarının yaygınlaşmasına, YEK'lerin şebekeye daha kolay entegrasyonuna ve tüketicilerin üreten tüketici (prosumer) konumunda olabilmeleri süreçlerine önemli katkılar sunacaktır.



## 2.1.6. Akıllı Şebeke Uygulamaları

### 2.1.6.1. Dünyada Akıllı Şebeke Uygulamaları

Avrupa'nın yenilenebilir enerjiye verdiği önem ve yatırım son yıllarda artmış olsa da karşılaşılan en büyük sorunlardan biri coğrafi koşullar. Güneyden güneş enerjisi, batıdan dalga enerjisi ve kuzeyden rüzgar enerjisi elde ederken bu enerjiyi en iyi şekilde kullanmak için Avrupa'nın mevcut klasik şebeke yapısına değil akıllı bir şebekeye ihtiyacı var. Bu konuda araştırma ve uygulanabilirlik çalışmaları yapılmıştır [26].

Avrupa Birliği (AB), Avrupa'nın gelecekteki ağ yapısı vizyonunu ve bu vizyonu gerçekleştirmek için gereken yöntemleri belirlemek üzere 2006 yılında AB Akıllı Şebeke Teknolojisi Platformunu kurmuştur. Bu platformun vizyonu “yeni ürünlerin, süreçlerin ve hizmetlerin ortaya çıkması, sanayide verimliliğin artması ve daha temiz enerji kaynaklarının kullanımı ile Avrupa'nın küresel pazarda rekabet gücünü arttırması” olarak belirlenmiştir. Bu vizyon, akıllı şebekenin AB'nin ekonomik ve çevresel hedeflerinde öncü bir rol oynayacağını göstermektedir [27].

Aşağıda Avrupa'da yapılmış akıllı şebeke çalışmalarının başlıkları sıralanmış ve açıklamaları verilmiştir;

*İtalya Telegestore Projesi (2000 - 2005)*, Enel'in Telegestore Projesi 32 milyondan fazla akıllı sayacın kurulumunu sağlamaktadır. Bu akıllı sayaçlar, Enel'in düzenli olarak gerilim kalitesi ve kesintileri, günlük enerji tüketimlerini, aktif ve reaktif enerji ölçümleri hakkında veri toplamasına ve sözleşmeli faaliyetleri uzaktan yönetmesine izin vermektedir. Sayaçlar, tüketimlerle ilgili verileri iletebilmekte, sözleşmeye bağlı parametrelerin güncellemelerini alabilmekte ve tedarik bağlantısını uzaktan yönetebilmektedir [28]. Bu projede kullanılmış olan akıllı sayaç örnekleri Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



**Şekil 2.3.** Telegestore projesinde kullanılan akıllı sayaçlar [29]

*Malta Enemalta Projesi (2008 - 2013)*, hedef olarak Malta'daki tüm elektrik ve su sayaçlarını 2008'den itibaren 5 yıl içinde akıllı sayaçlarla değiştirmektedir. Malta'nın dünyanın ilk akıllı şebeke ülkesi olarak tanımlanmasının nedeni budur.

Proje kapsamında 250.000 akıllı sayaç kullanılmış olup, kullanıcıların farklı elektrik fiyatlarından yararlanabilmesi, daha az enerji ve su tüketen müşterileri ödüllendirmesi ve kaynakların etkili kullanımının sağlanması için güç tüketimi gerçek zamanlı ölçülerek yetkili otoriteye otomatik olarak bildirilmektedir [30].

*İngiltere Akıllı Sayaçlara Geçiş Programı*, ülkenin düşük karbon emisyonlu ekonomisine geçişiyle birlikte güvenli ve sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluşturulmaktadır. Bu programın ilk aşaması, 2010-2015 yıllarında akıllı bir şebeke tasarlayarak ve 50 milyon akıllı elektrik ve gaz sayacı sistemini sonuna kadar genişleterek şebekeye adaptasyon yöntemlerini araştırmayı amaçlamaktadır. Sayaçların teknik özellikleri henüz yönetmelikte tam olarak belirlenmemiş olsa da, toplam yatırım maliyetinin 11 milyar Euro olması bekleniyor [31].

*Almanya DENA I ve II Akıllı Şebeke Projeleri*, DENA I projesinin temel amacı, YEK'lerin şebekeye entegre edilmesidir. Bu hedef; YEK'lerin ürettiği elektrik enerjisinin tüm sistem içindeki payının 2004'te %10, 2010'da %12.5 ve 2020'de %20 olması idi ve bu hedefler daha öncesinden de yakalanmış oldu. Projenin bir diğer

hedefi ise akıllı sayaçların sisteme dahil edilmesidir. DENA II projesi ise DENA I projesinin tamamlanmasıyla başlamaktadır [27].

DENA II projesinde üç ana hedef belirlenmiştir: (i) YEK'lerin elektrik üretim oranını %39'a çıkarmak, (ii) şebeke altyapısını güçlendirmek, (iii) tüketicilere özellikle rüzgar ve güneş enerjisi kullanımıyla enerji satın alma tercihlerinde esneklik sağlamaktır. Proje tasarımında mevcut şebekenin zayıf bağlantıları tespit edilmiş ve bu bağlantıları güncellemek ve büyütmek için yeni bir yüksek gerilim hattı ilavesi (2015 yılında 850 kilometre), aktif ve reaktif güç kontrol cihazlarının eklenmesi planlanmıştır. 2015 yılına kadar tüm sistemin kararlılığını ve güvenilirliğini kontrol ederek kritik şebeke koşullarını belirlemeyi hedeflemiştir [27].

*Fransa Linky Pilot Projesi*, elektrik dağıtım kamu hizmetinin sürekliliğinden sorumlu olan Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu (ERDF), elektrik şebekesini geliştirmek, modernleştirmek ve güvence altına almak için sürekli yatırımlar yapmaktadır. Şebekeyi toplumun yeni ihtiyaçları ile uyumlu hale getirmek büyük bir stratejik zorluktur. Fransa'da, Ağustos 2010'da yayımlanan bir yasa tasarısına göre, Ocak 2012'den 2016'nın sonuna kadar ülkenin %95'ine akıllı sayaçlar kurmayı hedeflemektedir. Bu amaçla ERDF, “iletişim protokolüne sahip sayaçlar” olarak bilinen yeni nesil akıllı sayaçlar olan “Linky” sistemini geliştirdi. Bu sayede Fransa'da 300 bin “Linky” iletişim protokollü cihazların kullanılacağı bir pilot proje başlatılmıştır [32]. Fransa Linky pilot projesinde kullanılmış akıllı sayaç Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** Fransa Linky pilot projesi için kullanılan sayaç

Aşağıda, diğer ülkelerde yürütülen ve planlanan akıllı şebekeler üzerine yapılan çalışma ve araştırmaların özeti verilmiştir.

*ABD;* akıllı şebeke mevzuatı 2007 yılında ulusal enerji iletim ve dağıtım sistemini modernize etmeye karar veren Enerji Bağımsızlık Yasası (EISA) ile düzenlenmiştir. Bu kanun kapsamında; enerji sistemlerinde dijitalleşme, şebeke faaliyetlerinin ve kaynaklarının dinamik optimizasyonu, enerji verimliliği ve arz-talep dengesini sağlayacak yeni bileşenlerin ve uygulamaların entegrasyonu konularında çalışmalar yapılmasına karar verilmiştir [33].

*Brezilya;* 2012 itibarıyla Brezilya 1 milyondan fazla uzaktan sayaç okuması kurdu. 2021 yılı sonuna kadar 63 milyon elektrik sayacının akıllı sayaçlarla değiştirilmesi planlanmaktadır [33].

*Hindistan;* Hindistan Enerji Bakanlığı'nın araştırmasına göre, dünyanın en büyük iletim ve dağıtım kaybı oranı Hindistan elektrik şebekesidir. Kaçaklar dahil edildiğinde bu kayıpların ortalama %50 olduğu belirtildi. Bu nedenle, 2008 "Hindistan Akıllı Şebeke" konferansında ilk adımı attılar ve akıllı ağılar üzerine çalışmalarına başladılar. 2020 yılına kadar 130 milyondan fazla akıllı sayaç kurulması planlanmaktadır [33].

*Çin;* demografik ve endüstriyel nedenlerden dolayı elektriği etkin bir şekilde birincil politikası haline getirdi. Çin'in akıllı şebeke yol haritası üç aşamaya ayrılmıştır: (i) planlama ve pilot uygulama (2009-2010), (ii) kurulum (2011-2015) ve (iii) geliştirme (2016-2020). Akıllı şebeke teknolojisinin geliştirilmesi için 2009 ile 2020 yılları arasında 101 milyar ABD doları yatırım yapılması planlanmaktadır. [33].

*Japonya;* Japonya'nın başlıca endüstri ortakları tarafından kurulan Japonya Akıllı Toplum Birliği, Japonya'nın akıllı şebekesi için yol haritasının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. 1990'lardan beri Japonya akıllı şebekelere büyük yatırımlar yaptı ve dünya lideri haline geldi. Çok erken yatırım yapmaya başladığından beri, akıllı şebeke araştırması ve talep tarafı yönetimi araştırması yapmaya devam etti. 2010 yılında, 4 şehrin akıllı şebekesi içinde bir akıllı şehir pilot uygulaması başlatmışlardır [33].

*Güney Kore*; Güney Kore hükümetinin planı üç aşama ve beş faz içeriyor ve 2030'a kadar akıllı şebekelerin uygulanmasına tam olarak geçiş yapmayı planlıyor. Bu aşamalar 2010-2012, 2012-2020 ve 2021-2030 olmak üzere ayrılmış ve bu aşamalar sırasıyla Akıllı Şebeke, Akıllı Tüketici, Akıllı Ulaşım, Akıllı Yenilenebilir Enerji ve Akıllı Güç Hizmeti olarak adlandırılır. Yol haritasında; şebekenin uzaktan izlenmesi, akıllı evlerin enerji yönetimi ve sürücüsüz araçlar için şarj cihazlarının kurulması gibi adımları içerir. Plan tamamlandıktan sonra, elektrik şebekesinin kendi kendine onarımı, gerçek zamanlı fiyatlandırmanın gerçekleştirilmesi ve enerji depolama ekipmanının yaygınlaştırılması gibi birçok akıllı sistemi kapsamaması beklenmektedir [33].

Tablo 2.3'te akıllı şebeke teknolojisine yatırım yapan ülkelerin yatırım miktarları verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Akıllı şebeke teknolojisine en çok yatırım yapan 10 ülke

Ülke	Yatırım Miktarı (milyon dolar)
Çin	7320
ABD	7090
Japonya	849
Güney Kore	824
İspanya	807
Almanya	397
Avustralya	360
İngiltere	290
Fransa	265
Brezilya	204

#### 2.1.6.2. Türkiye'deki Akıllı Şebeke Uygulamaları

Türkiye'de akıllı şebeke sistemlerinin kurulum ve tanıtımının yanı sıra 2014 yılından sonra artan araştırma ve geliştirme çalışmaları kapsamında; gelişmiş ölçüm altyapısı, talep tarafı yönetimi, akıllı sayaçlar ve iletişim gibi konularda pilot projeler başlatıldı. Akıllı şebekelerin gelişimini analiz ederken, yeni teknolojilerin faydalarını belirli sistemler aracılığıyla analiz etmek çok önemlidir.

Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi (TAŞ'2023) kapsamında amaç, akıllı şebekeler ile ilgili öncelikli araştırmaları ortaya çıkararak 2035 akıllı şebeke vizyonu ile dağıtım şirketlerine kısa vadeli ve orta vadeli yol haritasını göstermektir [34].

TAŞ'2023 projesinin çalışmasında, akıllı şebeke ile ilgili konular teknik bileşenlere göre gruplandırılarak aşağıda listelenmiştir:

- Akıllı şebeke şirket vizyon ve stratejisi
- Gelişmiş şebeke izleme, kontrol ve yönetim sistemleri
- BT altyapıları ve veri analitiği
- Kurumsal uygulama entegrasyonu
- Dağıtık üretim entegrasyonu ve depolama
- Elektrikli araçlar
- Akıllı sayaç altyapıları ve müşteriler
- Haberleşme altyapıları
- Siber güvenlik

Aynı zamanda, bu teknik bileşenler aşağıdaki tüm standartları kapsar:

- Teknoloji ve fonksiyon
- Yaygınlık seviyesi
- Birlikte çalışabilirlik
- İş süreçleri ve faydalar
- Organizasyon ve insan kaynağı

2035 yılında Türkiye akıllı şebeke projelerinde hedeflenen, yerel ve ulusal düzeyde kullanılan bir sayaç iletişim protokolü oluşturmaktır. Müşterilerin en az %80'inin akıllı sayaçlarla donatılması, akıllı sayaç ve haberleşme birimlerinin %90'ın üzerinde yerel kaynakla sağlanması hedeflenmektedir. Talep tarafı katılımında ülkenin kayıp kaçak oranının %8'e (iletim, dağıtım dahil) düşürülmesi hedeflenmektedir. 50 milyonu aşan müşterilerin en az %80'inin akıllı ölçüm altyapılarına ve %40'ın piyasa katılımına dahil edilmesi planlanıyor. Aynı zamanda 10GW'e kadar talep tarafı yönetimi yapılması planlanmaktadır [35].

Diğer önemli hedefler arasında, küçük ölçekli, geniş çapta dağıtılan ve yenilenebilir kaynak enerji üretimini destekleyen bir dağıtım şebekesi altyapısının geliştirilmesi ile milyonlara ulaşmak ve bunları şebekeye entegre etmek için çatı /

bina tipi güneş panellerinin sayısını destekleyecek bir altyapının kurulması yer alıyor.

Depolama birimlerinin mikro düzeyde yaygınlaştırılması ve günlük tüketim profillerine olumlu katkı sağlanması, 50GWh depolama kapasitesi ile pik yük dağılımının sağlanması, mevcut kurulu güce ek olarak 35GW üretim kaynağının sisteme dahil edilmesi bir başka hedefler arasında yer almaktadır.

Belirlenen hedefler arasında şebeke kapasitesi kullanımının %20 oranında artırılması, siber saldırılara ve doğal afetlere dayanma becerisinin sağlanması, gelişmiş şebeke donanımı ve teknolojisi kullanılarak şebeke izlenebilirliği, uzaktan kontrol ve kendi kendine onarım işlevlerinin genişletilmesi yer almaktadır. Teknoloji geliştirme ve ihracat için hedef alanların (depolama, IoT, veri analitiği, ağ yönetim yazılımı, akıllı sayaçlar, güneş panelleri vb.) desteklenmesi, ülkemizin akıllı şebeke hedeflerini oluşturmaktadır.

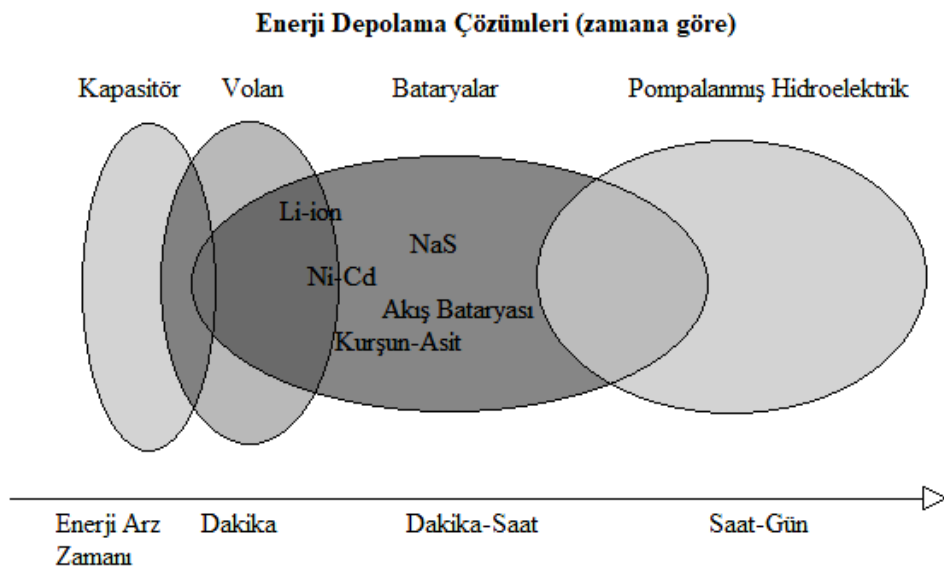
## **2.2. Enerji Depolama Sistemleri**

### **2.2.1. Elektrik Enerjisinin Depolanma Teknikleri**

Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi YEK'ler, genellikle kesintili ve kararsızdırlar, bundan dolayı şebeke sisteminde değişken bir güç sağlamaktadırlar [36]. Güç sistemine EDS'nin eklenmesi, fazla enerjiyi depolayarak daha sonra talebin fazla olduğu zamanlarda kullanmak suretiyle yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına katkıda bulunabilir. Bu durum aynı zamanda yeni YEK'lerin katılımını da desteklemektedir [37]. Güç sistemindeki YEK'lere bağlı EDT, farklı iletim ve dağıtım gerilim seviyelerine sahip akıllı şebekeler için önemli destek sağlayabilir [38]. Enerji depolama teknolojileri; pompalı hidroelektrik, basınçlı hava enerji depolama (SHED), bataryalar, volanlar, süper iletken manyetik enerji depolama (SMED) ve süper kapasitörler gibi farklı uygulamalar için birden fazla yöntem içermektedir [39]. Her EDT elemanının kendi çalışma özellikleri vardır. Bundan dolayı yardımcı hizmetlere optimum uyum sağlar [40]. Büyük EDT'nin (pompalı hidroelektrik ve SHED gibi) şarj ve deşarj süresi onlarca saattir [41] ve 1000 MW değerine ulaşırlar [42].

Günümüzde bataryalar tüketici elektroniği ürünlerinde ve elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Günümüz batarya teknolojisi, elektrik dağıtım sistemlerinde gerekli performans gereksinimlerini karşılama yeteneği olarak tek başına kısıtlı durumdadır [43]. Kurşun asit aküler yaygın olarak otomobillerde kullanılmaktadır. Bu bataryalar düşük enerji yoğunluğuna sahip olmalarına rağmen kısa süreliğine yüksek akım değerleri sağlayabilirler. Bu özellikleri sayesinde geleneksel araçlarda ilk çalıştırma için gereken yüksek akımı sağlayabilmesi bu aküleri avantajlı hale getirmektedir. Ancak EA sürekli enerji talep ettiğinden kurşun asit akülerin bu araçlarda kullanımını uygun değildir [44].

Ticari uygulama düzeyinde; büyük ölçekli enerji depolama, şebeke tabanlı enerji depolama ve kullanıcı düzeyinde enerji depolama sistemleri olmak üzere bazı önemli enerji depolama teknolojileri sıralanabilir. Büyük ölçekli enerji depolama; süper kapasitörler, SMED ve volanlar dahil olmak üzere yüksek güçlü uygulamalardır. Enerji tabanlı uygulamalar, yüksek güçlü bataryaları içermektedir. Enerji ve güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda; kurşun-asit ve lityum-iyon piller, hidrojen enerji depolama, SHED ve pompalı depolama sistemleri gereklidir. Tüketici sınıfı enerji depolama sistemleri, yüksek güçlü süper kapasitör uygulamaları ve kurşun asit ile lityum-iyon piller gibi yüksek enerjili uygulamalardır [45]. Şekil 2.5'te farklı EDT'nin deşarj sürelerinin değerlendirilmesi görülmektedir.



**Şekil 2.5.** Enerji depolama çözümlerinin zaman aralığı



Yakın bir gelecekte EDT'nin giderek daha önemli hale gelmesi öngörülmektedir. Örneğin EDT, belirli bir zaman dilimi için kullanılmayan üretim fazlası elektrik enerjisini depolayacak ve talep edildiğinde şebekeye geri verecektir [37]. Dağıtım düzeyinde enerji depolama sistemlerinin kullanımının artırılması, güç sisteminin daha verimli çalışmasına ve güç sisteminin performansını iyileştirmesine yardımcı olacaktır. Elektrik üretmeden önce, fazla enerjiyi depolamak için birkaç seçenek vardır. YEK'lerin güç sistemindeki payı artmaya devam ettikçe, enerji depolamaya yönelik talep güvenli ve sürekli güç kaynağı açısından ciddi olacaktır. Enerji depolamanın ek kullanımından sonra, sistem maliyeti ve verimliliği daha ümit verici olacaktır. Bu nedenle yakın gelecekte YEK'lerin bağlantısının daha ekonomik hale geleceği tahmin edilmektedir [40].

Uzun vadeli uygulamalar büyük enerji depolama kapasitesi gerektirir, bu nedenle doğru enerji depolama teknolojisini seçmek, enerji maliyetlerini düşürmek için çok önemlidir. Benzer şekilde, şebeke tabanlı gerilim dengeleme uygulamaları ek güç gerektirir. Bu da enerji maliyetlerini doğru EDT seçiminde önemli bir faktör haline getirir. Tablo 2.4, bazı enerji depolama bileşenlerinin seçim kriterlerini göstermektedir [39].

**Tablo 2.4.** Enerji depolama bileşeni olarak batarya seçim kriterleri

Enerji	kWh
Güç	kW
Deşarj derinliği	%
Cevap zamanı	ms
Kendi kendine deşarj süresi	h
Çalıştırma ve bakım maliyetleri	\$
Çalışma sıcaklığı	°C
Boyutları	kg, cm <sup>3</sup>
Ömür	yıl
Çevrim sayısı	-

### 2.2.2. Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama

Sanayileşme ve insan nüfusunun artması, yaşam ihtiyaçlarını karşılamak için artan enerji talebiyle sonuçlanmaktadır. Artan enerji talebi nedeniyle sürekli enerji arzı daha da önem kazanmaktadır. Günümüzde, geleneksel ve yenilenebilir kaynaklar

gibi farklı türdeki kaynaklar şu anda enerji talebini karşılamak için birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca, farklı kaynaklardan enerji üretilirken CO<sub>2</sub> seviyesini ve küresel ısınmayı azaltmak da talep edilmektedir. Güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi, insanların çevresel kısıtlamalarına ve beklentilerine uymaları nedeniyle önem kazanmaktadır [46].

Çevresel endişeleri karşılarken, sisteme enerji tedarik güvenilirliğinden ödün vermeden bazı operasyonel ihtiyaçlar yaratabilecek yenilenebilir enerjinin uygulanması çok önemlidir [47]. Ancak, YEK'lerin çıkışı her zaman gerekli enerjiyi karşılamayabilir. Bu nedenle, enerjinin depolanması yenilenebilir enerjiyle gelişmekte olan bir alan haline gelmektedir.

Şekil 2.6'da, Tesla şirketi tarafından üretilmiş ve kurulmuş büyük ölçekli bir depolama tesisi görülmektedir. 2019'da piyasaya sürülen her bir Megapack, 3 MWh enerji depolayabilmektedir. Kamu hizmeti veren şirketler tarafından kullanılmak üzere tasarlanmış bu sistemler, güneş ve rüzgar gibi kesintili YEK'ler tarafından üretilen enerjiyi depolamak için yapılmıştır. Depolanan enerji, elektrik talebinin en yüksek olduğu dönemlerde şebeke tarafından kullanılabilir.

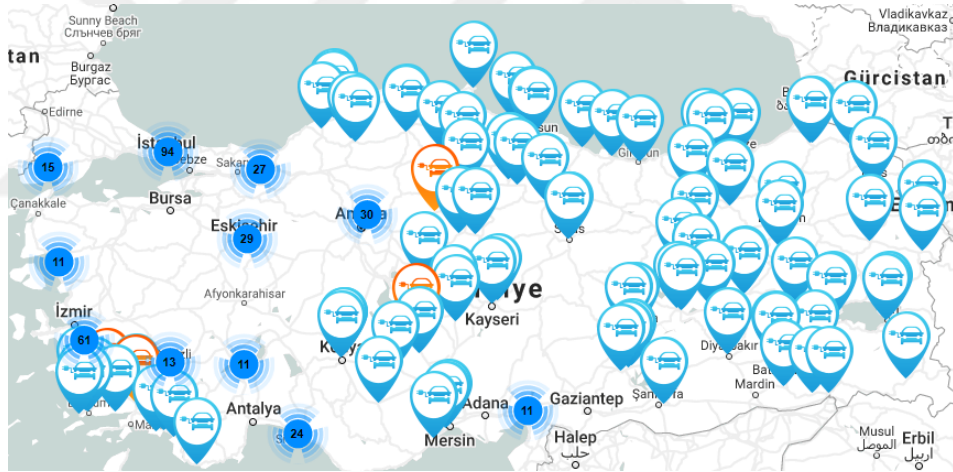


Şekil 2.6. Tesla Megapack enerji depolama tesisi [48]

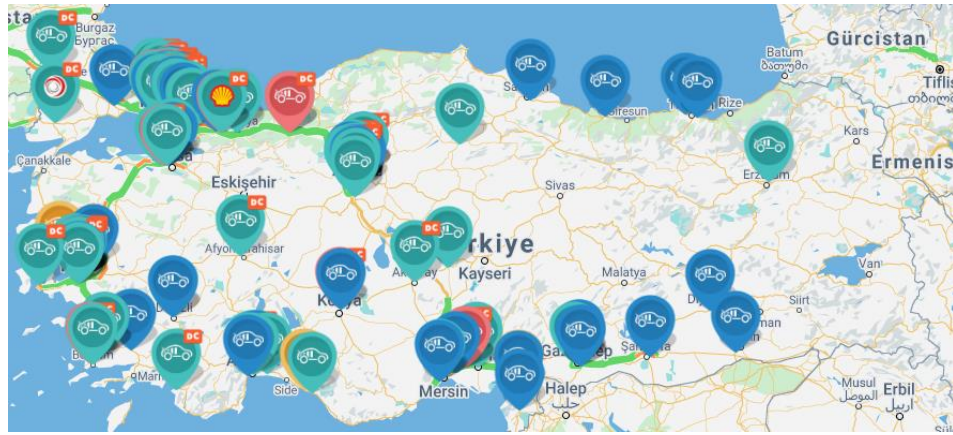
## 2.3. Elektrikli Araçlar ve Puant Yük

### 2.3.1. Elektrikli Araçların Şebekeye Etkileri

Elektrikli araçlar günümüzde kullanılan ve gelecekte daha etkin kullanılacak olan araçlar olması yapılarının hızla gelişmesi ve içten yanmalı motorlu araçlar ile her bakımdan rekabet edebilecek düzeye nispeten gelmesiyle birlikte bu araçların günlük hayatımıza girmesi artık kaçınılmaz olmuştur. Günümüzde şarj istasyonlarının yaygınlaşmasının oranı, elektrikli araç sayısındaki artışla doğru orantılıdır. İnsanlar benzin istasyonlarına, araç kontrol noktalarına, otoparklara, alışveriş merkezlerine ve şehir merkezine gitmesinin yanı sıra evlerine elektrikli araç şarj istasyonları da kurulabilmektedir. Tüm bu gelişmeler şebeke üzerinde artan bir yük anlamına gelmektedir. Bu nedenle elektrik şebekesi ve güç dağıtım sistemi de bu değişikliklere hazırlıklı olmalıdır. 2020 yılı itibari ile Türkiye’de konumlandırılmış iki farklı firmanın aktif elektrikli araç şarj istasyonlarının dağılımı Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Zorlu Enerji elektrikli araç şarj istasyonu noktaları [49]



Şekil 2.8. Eşarj elektrikli araç şarj istasyon haritası [50]

Elektrikli araçlar elektrik sistemine bağlantı noktası olarak dağıtım sistemi altyapısını kullanacaklarından talep edecekleri güç değerinin ve zamanının kestirilmesinin belirsizliklerinden dolayı dağıtım sistemi üzerinde muhtemel olumsuz etkilerinin olması beklenmektedir. Bu durumda ani yükler ve noktasal yüklerin neden olabileceği enerji kalitesi sorunları (gerilim dalgalanmaları, fazlar arası dengesizlik, harmonikler vb.) dağıtım operatörleri ve son kullanıcılar için sorunlara neden açabilmektedir [51].

Belirli bir zamanda belirli bir konumdaki EA yoğunlaşmasına, şarj seviyesine ve şarj cihazı özelliklerine bağlı olarak, şebeke üzerinde çok çeşitli etkiler olabilir. Gerilim dengesizlikleri, gerilim sapmaları ve ekipman aşırı yüklenmeleri, artan şebeke gücü kayıpları, arz talebi dengesizlikleri, istikrarsızlık sorunları EA'ların getirebileceği olumsuz etkilerden bazılarıdır [52]. Güne özel teşvik planı, akıllı şebeke altyapısının yaygınlaştırılması, akıllı ölçüm ve enerji depolama sistemlerinin gerekli ihtiyaç dahilinde talep tarafı programlarının devreye alınması güç sisteminde oluşabilecek olumsuz etkilerin bir kısmının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, Şubat 2020 itibarıyla, kayıtlı 12.503.049 aracın %38,1'i dizel, %37,3'ü sıvılaştırılmış petrol gazı, %24,2'si benzin ve % 0,1'i elektrikli veya hibrit araçlar olarak görülmektedir [53].

Tablo 2.5'te Türkiye'deki Elektrikli-Hibrit araç sayısının yıllara göre artış oranları ve araç sayıları gösterilmiştir.

**Tablo 2.5.** Türkiye'de elektrikli ve hibrit araç satışlarının değişimi [53]

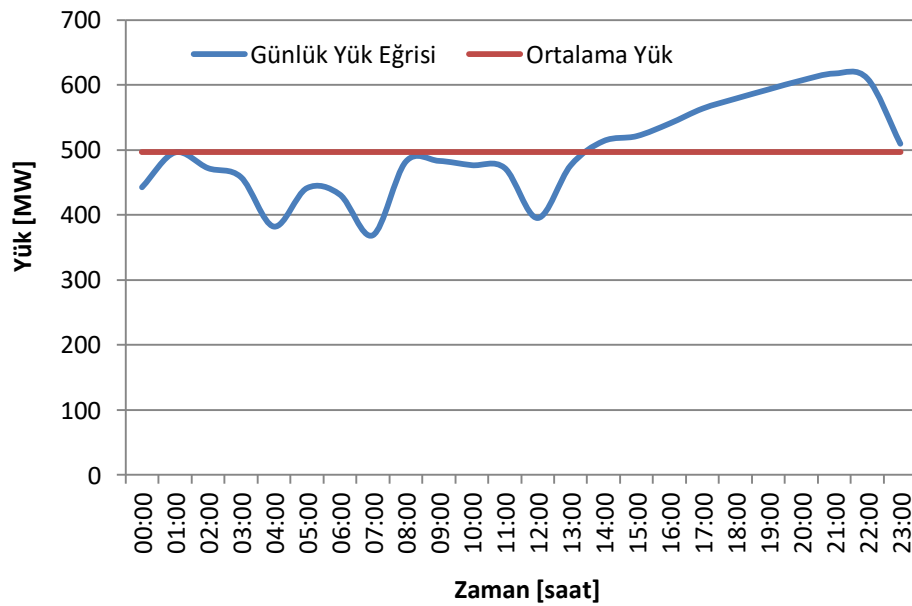
Yıl	Elektrikli-Hibrit araç sayısı	Bir önceki yıla göre artış oranı (%)
2011	47	
2012	228	385,11
2013	436	91,23
2014	525	20,41
2015	889	69,33
2016	1160	30,48
2017	1685	45,26
2018	5367	218,52
2019	15053	180,47

### 2.3.2. Puant Yük

Puant yük, elektrik enerjisi tüketiminin en yüksek olduğu zaman aralığını belirtmektedir. Puant denilmesinin sebebi İngilizce “peak” yani tepe yük dediğimiz “peak load” kavramından türemiştir. Bazı makaleler, bildiriler, dökümanlar vb. gibi kaynaklarda pik talep, pik saat şeklinde de karşımıza çıkabilmektedir.

Ülkemizde, 06:00 – 17:00 saatleri arası gündüz, 17:00 – 22:00 saatleri arası puant, 22:00 – 06:00 saatleri arası ise gece tarifesi olmak üzere 3 farklı zaman dilimi dikkate alınmakta ve fiyatlandırmalar buna göre yapılmaktadır. Puant saatlerde elektrik tüketim talebi fazla olduğundan, üretim de bununla dengeli olarak artmak zorundadır. Dengelemeyi sağlayabilmek adına tüketicinin puant zaman diliminde daha az tüketme teşviki için birim fiyat bu zaman diliminde diğer tarifelere göre daha yüksek yapılmaktadır. Elektrik enerjisi henüz mevcut şebeke sistemlerinde depolanamadığından dengeyi sağlayabilmek adına, sadece puant saatlerde devreye giren hidroelektrik santraller mevcuttur.

Şekil 2.9’da Manisa GDZ Elektrik Dağıtım A.Ş.’den alınan veriler doğrultusunda 30.07.2019 tarihine ait bir dağıtım trafosu günlük yük eğrisi görülmektedir. Saat 17:00 ile 22:00 arası puant yük talebinin 500 MW olan ortalama anlık gücün üstünde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.9. Bir dağıtım trafosuna ait günlük yük eğrisi

Puant yük fiyatlandırma stratejisinin uygulama ihtiyacı, temel olarak kamu hizmetlerinde kapasitenin eşit olarak kullanılmadığı yerlerde enerjinin depolanamaması, talepteki dengesizlik, talep miktarı ve talep süresindeki değişkenlik gösteren sorunlara yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Kamu hizmet kuruluşları çift taraflı hedefleri karşılayan dolaylı bir yük yönetim mekanizması sağlamaktadır. Puant zaman diliminde güç talep eden özellikle mesken aboneleri tüketiciler için puant zamanlarda daha yüksek bir fiyattan ücretlendirme yaparak müşterilerin kullanımını azaltmayı teşvik ederek puant yük dilimindeki talebi karşılayacak ilave santral yatırımını ve kapasite genişletme ihtiyacını nispeten azaltmaktadır [54].



### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

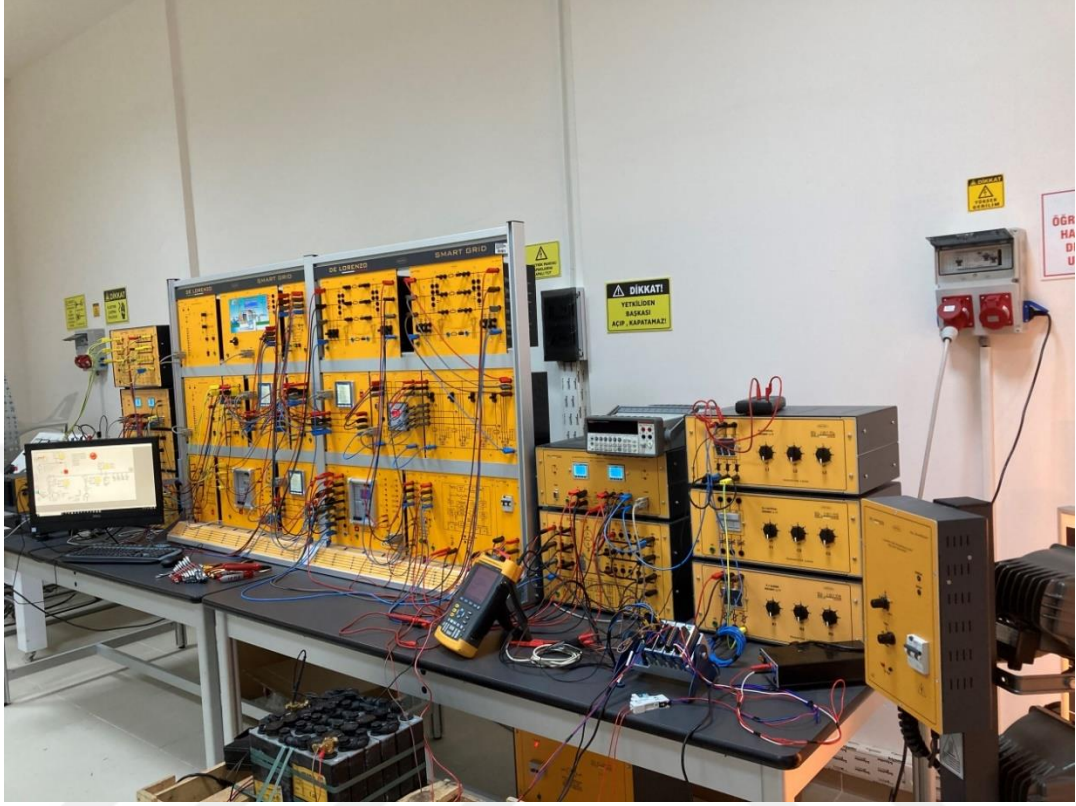
Akıllı şebeke deney setinde termik, hidroelektrik, rüzgar ve güneş enerji üretim birimlerini temsil eden senkron ve asenkron generatörler, trafolar, senkronizasyon röleleri, ölçüm cihazları, iletim hatları modelleri ve tüketici karakteristiğini temsil eden yükler mevcut olup SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ekranı ile sistemin kontrolü gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.1’de sistemin mevcut haldeki bir resmi görülmektedir. Şekil 3.2’de ise bu akıllı şebeke deney setine enerji depolama tesisinin de eklendiği resim verilmiştir.



Şekil 3.1. Laboratuvar ortamındaki deney setinin mevcut görüntüsü

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi akıllı şebeke sistemi temel olarak, termik, hidroelektrik, rüzgar ve güneş enerji üretim birimleri, trafolar, iletim hatları, kesiciler, ölçüm üniteleri, senkronizasyon röleleri, kompanzasyon birimi ve yüklerden oluşmaktadır. Bu deney setinde yer alan ünitelere ait daha detaylı bilgi [17] nolu çalışmada da yer almaktadır.

Şekil 3.2’de gösterilen resimde ise enerji depolama tesisini temsil eden batarya paketinin sisteme bağlı olduğu durumdaki görüntüsü, Şekil 3.3’te SCADA ekranının giriş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2. Enerji depolama birimi olarak batarya paketi entegre edilen akıllı şebeke deney seti

**DE LORENZO**  
Engineering Training Solutions

TO KNOW BEFORE TO START	HARDWARE REQUIRED	GENERAL
VIDEO	HUBR485F DL 2108T23 DL 1017R	REMOTE CONTROL
INTRODUCTION	DL 2108TAL_CP DL 1067S DL 1017L	GLOBAL RESET
INSTALLATION	DL 2108T25 DL 10065N DL 1017C	PROJECT VERSION
MSCOM MANUAL	DL 2108T29 DL 2108T02 DL 1080TT	WEB VERSION
	DL 7007T1S DL 7007TT DL 2108T19	UPGRADE
	DL 2108T20 DL 9013G DL 9031	EXIT

**STAND ALONE**

INSTRUMENTS

MSCOM2 Remember to close SCADA software

DAS

**ELECTRICAL POWER**

SECTION 1 Hydroelectrical system

SECTION 2 Wind system

SECTION 3 Photovoltaic system

SECTION 4 Transformer

SECTION 5 Transmission

SECTION 6 Smart grid

Şekil 3.3. Akıllı şebeke deney seti SCADA programı ana ekranı



Elektriğin üretilmesinden tüketilmesine kadar her aşamasında sisteme ait akım ve gerilim değerleri, aktif, reaktif ve görünür güçler, güç faktörü, frekans gibi değerler merkezi kontrol ve veri toplama birimi üzerinden izlenmektedir. Ayrıca, bu sistem üzerinden kesicilerin konumu değiştirilebilmekte, senkron ve asenkron generatörleri tahrik eden fırçasız doğru akım motorlarının tork ve hız değerleri değiştirilebilmekte, PV panel için güneş simülatörü ile ışınım miktarı ayarlanabilmektedir.

### 3.1.1. Deney Setinin Bileşenleri ve Özellikleri

Deney düzeneğinde 4 farklı enerji üretim birimi bulunmaktadır. Bunlar; hidroelektrik, rüzgar, termik ve fotovoltaik enerji üretim birimleridir. Hidroelektrik ve rüzgar enerji üretiminde jeneratör rotorunu tahrik eden birer adet 1 kW gücünde fırçasız DC servo motor kullanılmaktadır.

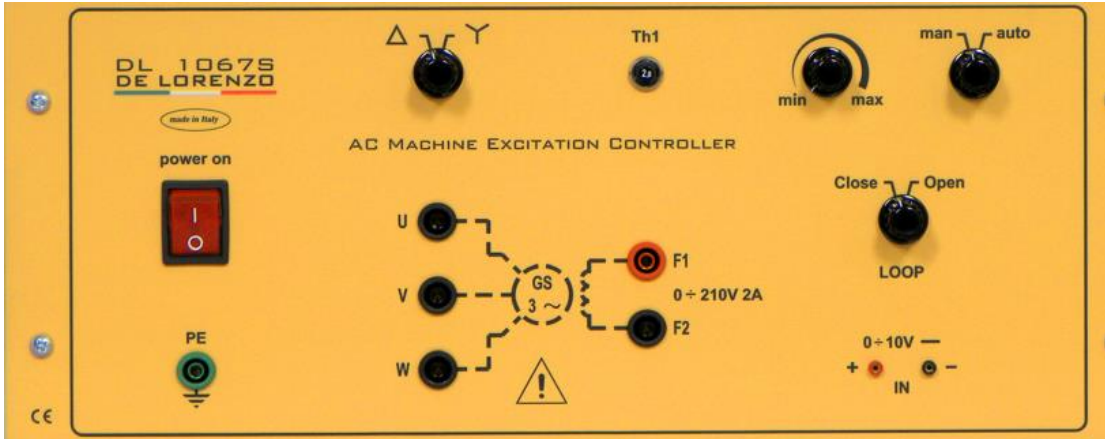
Hidroelektrik santrali temsil eden birim Şekil 3.4'te gösterilen bir adet senkron generatör ile elektrik üretimi sağlamaktadır. Generatörün rotoru 1 kW gücünde akuple bağlı DC servo motor ile döndürülmektedir. SCADA ekranından generatörün uyarım gerilimi değiştirilerek senkronizasyon şartları ayarlanmaktadır.



**Şekil 3.4.** Hidroelektrik santral üretim birimini temsilen kullanılan senkron makine

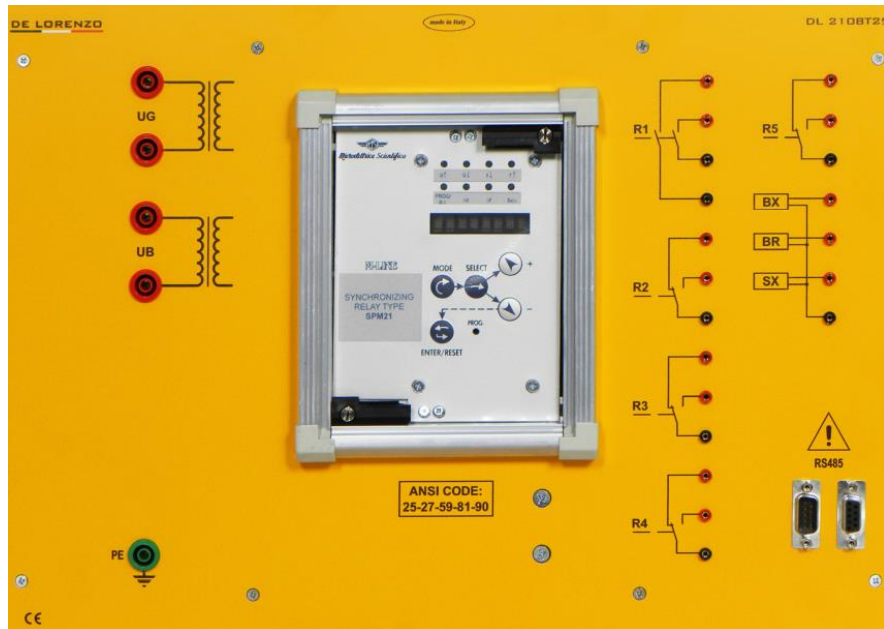
Jeneratörün alan sargılarını kontrol eden AC makine uyarım denetleyicisi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu denetleyici, uyarım sargıları için 0-210 V gerilim ve 0-2 A arası akım sağlamaktadır. Buradan elde edilen doğru akım senkron makinenin rotorundaki alan sargılarına verilmektedir. Ayrıca senkron jeneratörün U1-V1-W1

uçları çıkışın ölçülüp uyarım gerilimi ile düzenlenebilmesi için bu denetleyiciye bağlanmaktadır.



Şekil 3.5. AC makine uyarım denetleyicisi

Şekil 3.6'da gösterilen senkronizasyon rölesi senkron jeneratörün şebekeye bağlanması için gerekli sabit gerilim, frekans ve faz açısı şartlarını sağlaması için kullanılmaktadır. Aldığı gerilim bilgisine göre senkron jeneratör gerekli şartları sağladığında senkronizasyon rölesi kesici çıkışlarını aktif hale getirerek bara kesicisinin kapatmasını sağlar.



Şekil 3.6. Generatör senkronizasyon rölesi

Tablo 3.1, deneyde kullanılan senkron makinenin etiket değerlerini göstermektedir [17].

**Tablo 3.1** Senkron makine etiket değerleri (rotoru sargılı)

50 Hz Çalışma Frekansında		60 Hz Çalışma Frekansında	
<b>Nominal endüvi gerilimi</b> 220/380 Vrms ( $\Delta/Y$ )	<b>Nominal endüvi akımı</b> 2,1/1,2 A ( $\Delta/Y$ )	<b>Nominal endüvi gerilimi</b> 220/380 Vrms ( $\Delta/Y$ )	<b>Nominal endüvi akımı</b> 2,4/1,39 A ( $\Delta/Y$ )
<b>Nominal güç</b> 0,8 KVA	<b>Güç faktörü</b> $\cos\phi=1$	<b>Nominal güç</b> 0,9 KVA	<b>Güç faktörü</b> $\cos\phi=1$
<b>Anma hızı</b> 1500 devir/dakika	<b>Frekans</b> 50 Hz	<b>Anma hızı</b> 1800 devir/dakika	<b>Frekans</b> 60 Hz
<b>Max. alan gerilimi</b> 220 V	<b>Max. alan akımı</b> 0,9 A	<b>Max. alan gerilimi</b> 220 V	<b>Max. alan akımı</b> 0,9 A

Rüzgar enerjisi üretim birimi Şekil 3.7’de gösterilen 1 adet 1.5 kW gücünde asenkron makine, rüzgar gücünü temsilen jeneratörü tahrik eden 1 kW gücünde DC servo motor, rüzgar hızını ölçmek amacıyla kullanılan 1 adet anemometre, rüzgar yönünü tayin eden 1 adet rüzgar oku ve rüzgar hızını ayarlamak amacıyla kullanılan 1 adet rüzgar simülatöründen oluşmaktadır. Burada kullanılan asenkron makineye ait etiket değerleri Tablo 3.2’de belirtilmiştir.



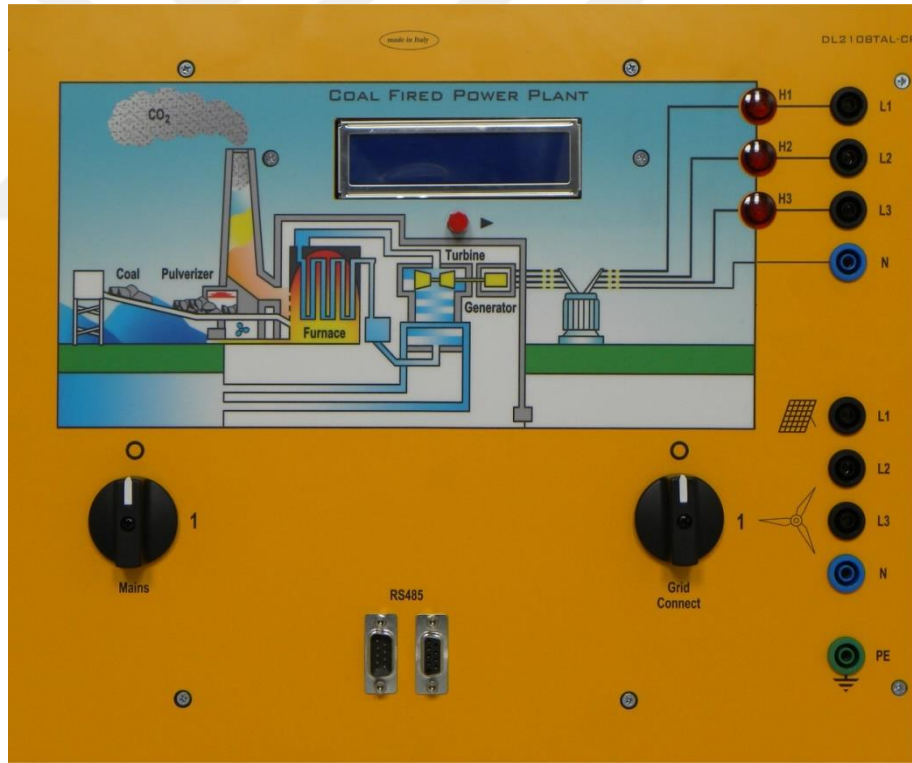
**Şekil 3.7.** Rüzgar enerji üretim birimini temsilen kullanılan asenkron makine

Tablo 3.2’de deneyde kullanılan asenkron makinenin etiket değerleri verilmiştir [17].

**Tablo 3.2.** Asenkron makine etiket değerleri (sincap kafesli)

50 Hz Çalışma Frekansında		60 Hz Çalışma Frekansında	
<b>Nominal endüvi gerilimi</b> 230/400 Vrms ( $\Delta/Y$ )	<b>Nominal endüvi akımı</b> 6,4/3,7 A ( $\Delta/Y$ )	<b>Nominal endüvi gerilimi</b> 230/400 Vrms ( $\Delta/Y$ )	<b>Nominal endüvi akımı</b> 5,7/3,3 A ( $\Delta/Y$ )
<b>Nominal güç</b> 1,5 kW	<b>Güç faktörü</b> $\cos\phi=0,73$	<b>Nominal güç</b> 1,5 kW	<b>Güç faktörü</b> $\cos\phi=0,8$
<b>Anma hızı</b> 1420 RPM	<b>Frekans</b> 50 Hz	<b>Anma hızı</b> 1720 RPM	<b>Frekans</b> 60 Hz

Termik santral; Şekil 3.8’de gösterilmiş olup doğrudan şebekeden beslenen 400 V fazlar arası gerilime sahip 3 fazlı güç kaynağı ile temsil edilmektedir. Üzerinde bulunan göstergede YEK’ler şebekeye dahil edildiğinde sera gazı salınımındaki azalma oranı gösterilmektedir.



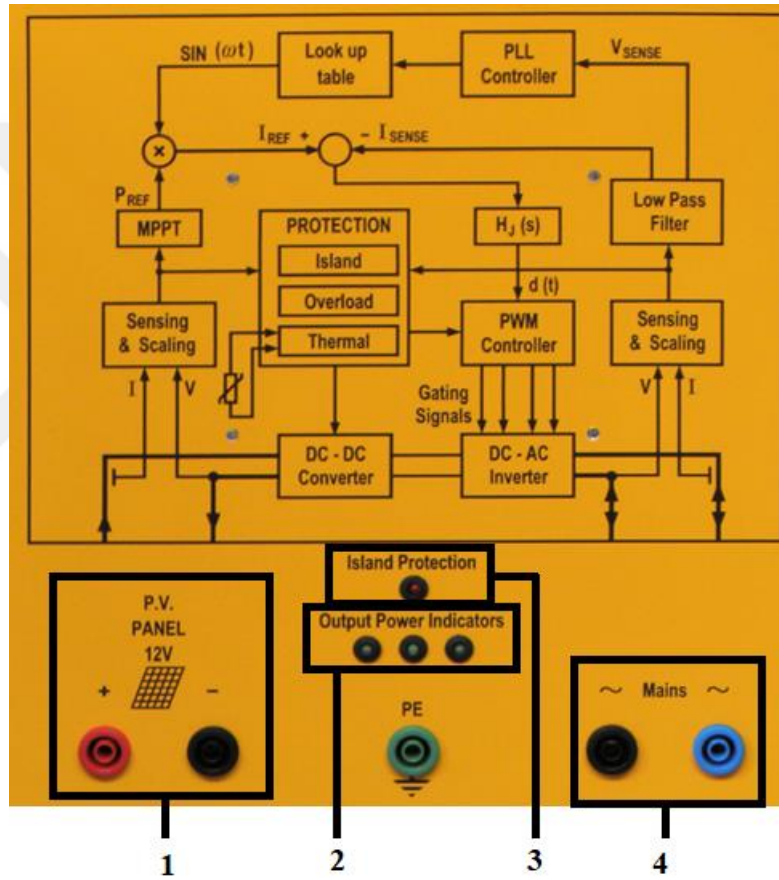
**Şekil 3.8.** Akıllı şebeke deney setindeki termik santral ünitesi

Güneş enerji sistemi; 1 adet 90 Wp gücünde PV panelinden, 1 adet şebeke bağlantılı eviriciden ve güneş simülatörü olarak 4 adet 300 W gücünde halojen lambalardan oluşmaktadır. Güneş paneli etiket değerleri ise Tablo 3.3'te verilmiştir.

Şebeke bağlantılı inverter Şekil 3.9'da, güneş paneli ve halojen lambalar Şekil 3.10'da gösterilmiştir [17].

**Tablo 3.3.** Güneş paneli etiket değerleri

Maksimum güç (Pmax)	90 Wp
Maksimum güçteki gerilim (Vpmax)	18,37 V
Maksimum güçteki akım (Ipmax)	4,90 A
Açık devre gerilimi (Voc)	22,05 V
Kısa devre akımı (Isc)	5,15 A

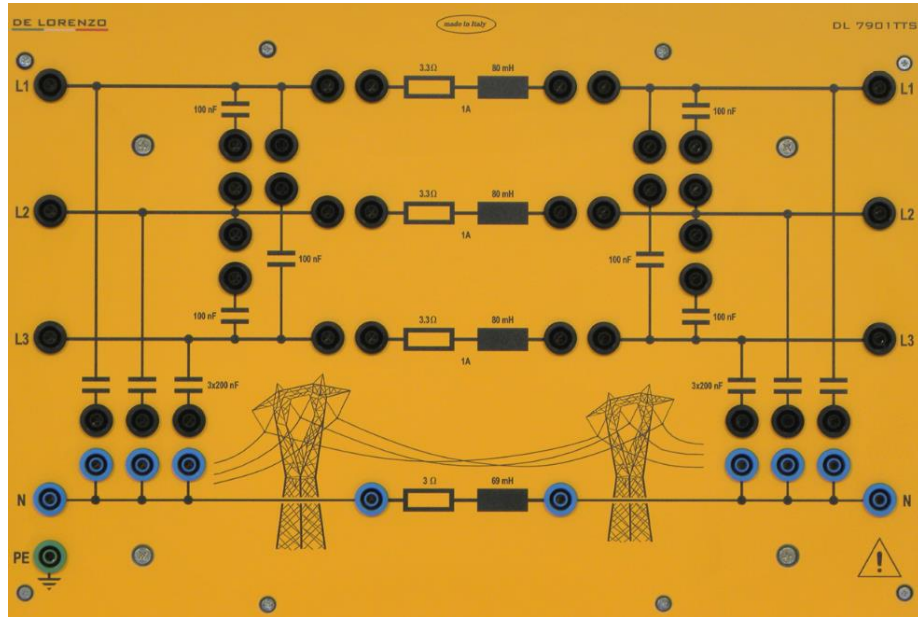


**Şekil 3.9.** Şebeke bağlantılı evirici (1- Güneş paneli giriş terminali, 2- Çıkış gücü göstergesi, 3- Ada koruma göstergesi, 4- Şebeke terminali)

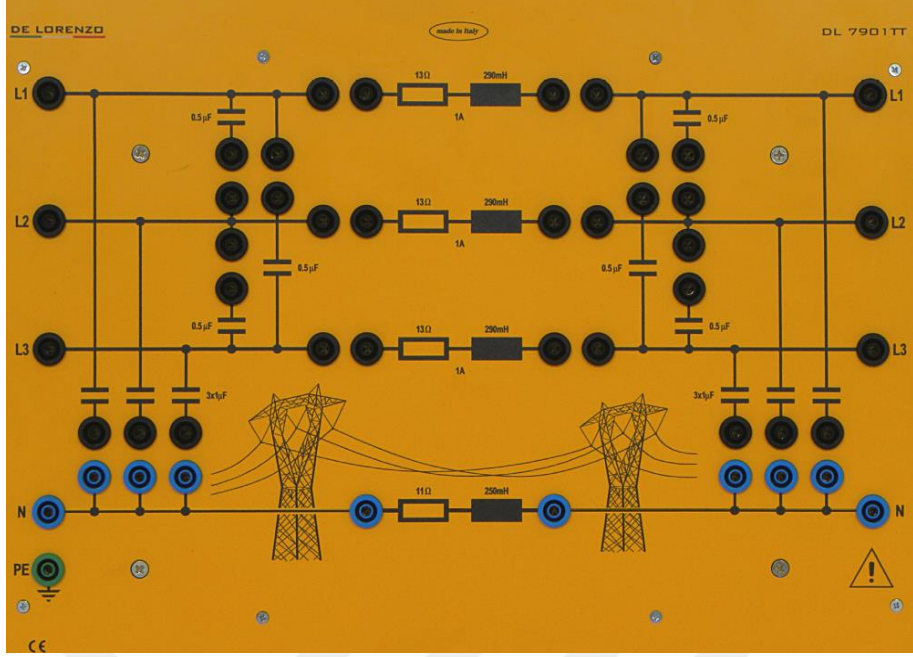


Şekil 3.10. Güneş paneli ve simulatörü

Sistemde iki farklı uzunluktaki havai iletim hattını temsil eden iletim hattı modülü mevcuttur. 1:1000 oranında ölçek faktörüne sahip olan modüllerden ilki Şekil 3.11’de gösterilen 100 km uzunluğundaki 380 kV-1000 A iletim hattını, ikincisi ise Şekil 3.12’de gösterilen 360 km uzunluğundaki 380 kV-1000 A iletim hattını temsil etmektedir.

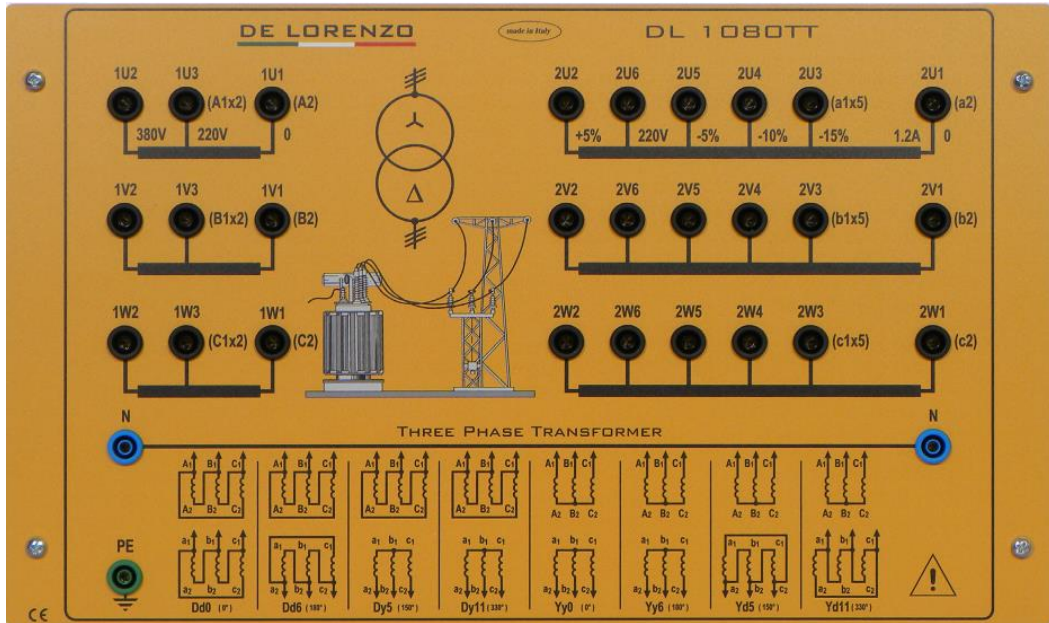


Şekil 3.11. 380 kV, 1000 A, 100 km uzunluktaki iletim hattı modülü



Şekil 3.12. 380 kV, 1000 A, 360 km uzunluktaki iletim hattı modülü

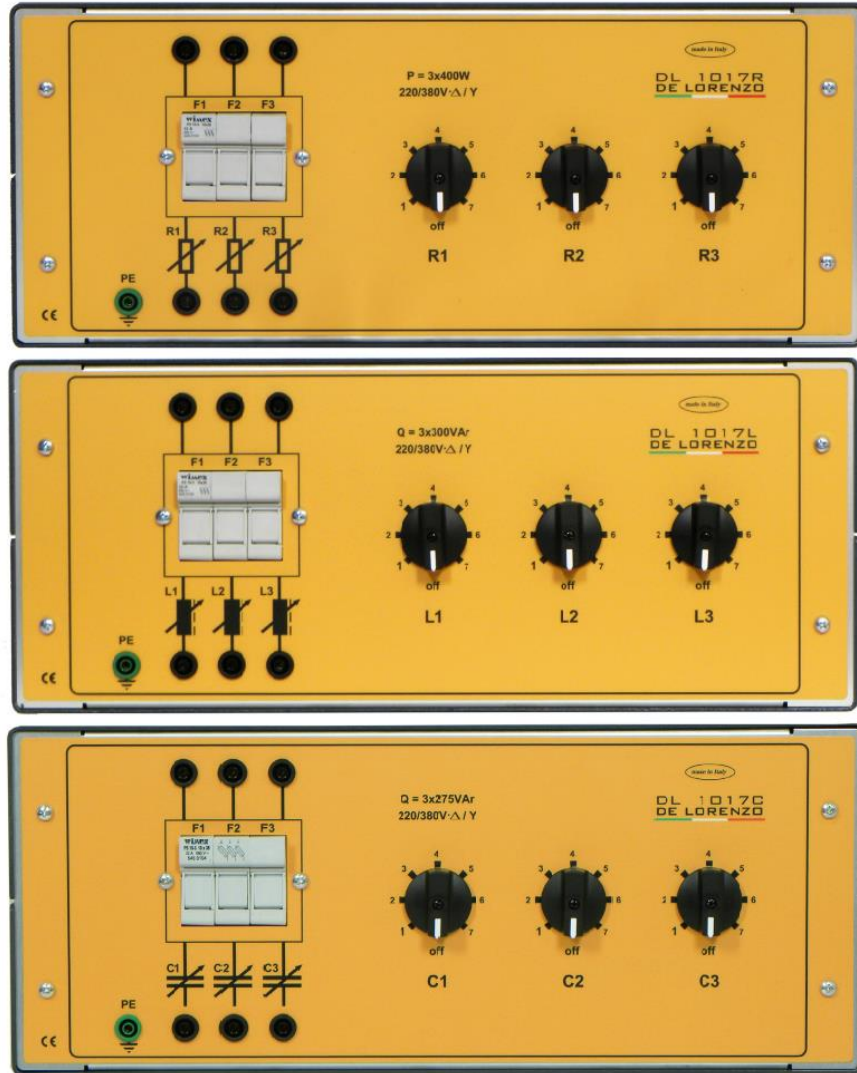
Sistemde senkron, asenkron üretim birimleri ve yük tarafı için birer adet Şekil 3.13'te gösterilen trafo kullanılmaktadır. 220 V giriş geriliminin % 5, % 0, % - 5, % - 10 ve % -15'i oranında dönüşüm ile çıkış gerilimi elde edilmektedir. Yıldız ve üçgen bağlantı koşullarına göre iki farklı girişi mevcuttur. Trafoların nominal gücü 800 VA'dır.



Şekil 3.13. 800 VA 3 fazlı trafo

Sistemde Şekil 3.14'te gösterildiği üzere her faz için ayrı olmak üzere omik, endüktif ve kapasitif özellikte 3 farklı yük bulunmaktadır. Yüklerin her biri 7 kademedir. Aynı kademedeki ve özellikteki yükler birbirine eş olarak tasarlanmış, ölçüm sonucunda da yakın değerler elde edilmiştir. Her faz için omik yüklerin ölçülen değerleri Tablo 3.4'te, endüktif yüklerin değerleri Tablo 3.5'te ve kapasitif yüklerin değerleri Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Dirençlerin tek faz ve 3 fazda sahip oldukları maksimum aktif güç 1200 W, endüktif yüklerin sahip oldukları maksimum reaktif güç 890 VAR, kapasitif yüklerin tek faz veya üç fazlı bağlantıda sahip oldukları maksimum reaktif güç 825 VAR'dır. Anma gerilimi; yıldız bağlantıda 400 V, üçgen bağlantıda 230 V'tur.



Şekil 3.14. Omik, endüktif ve kapasitif yükler



**Tablo 3.4.** Anahtar konumuna göre her faz için direnç değerleri [17]

Anahtar Konumu	R1 ( $\Omega$ )	R2 ( $\Omega$ )	R3 ( $\Omega$ )	Faz başına düşen maksimum güç (W)
1. Kademe	1066	1058	1056	46
2. Kademe	752	748	746	65
3. Kademe	440	438	438	110
4. Kademe	304	300,8	302	160
5. Kademe	216,4	214,6	215,4	230
6. Kademe	151,1	151,2	151,6	330
7. Kademe	125,8	125,8	126,2	400

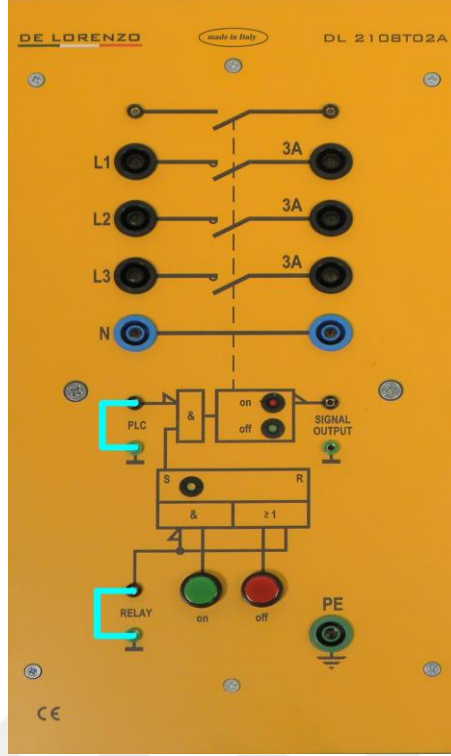
**Tablo 3.5.** Anahtar konumuna göre her faz için endüktans değerleri [17]

Anahtar Konumu	L1 (H)	L2 (H)	L3 (H)	Faz başına düşen maksimum güç (VAr)
1. Kademe	3,18	3,15	3,24	34
2. Kademe	2,27	2,25	2,32	48
3. Kademe	1,25	1,25	1,27	83
4. Kademe	0,82	0,84	0,84	121
5. Kademe	0,56	0,58	0,58	171
6. Kademe	0,37	0,41	0,39	242
7. Kademe	0,31	0,32	0,32	297

**Tablo 3.6.** Anahtar konumuna göre her faz için kapasitans değerleri [17]

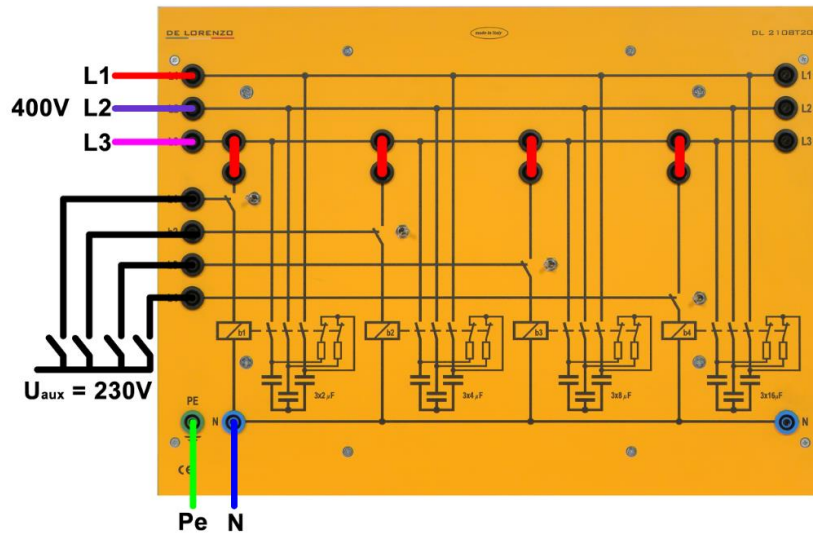
Anahtar Konumu	C1 ( $\mu$ F)	C2 ( $\mu$ F)	C3 ( $\mu$ F)	Faz başına düşen maksimum güç (VAr)
1. Kademe	2,13	2,13	2,13	30
2. Kademe	3,3	3,3	3,33	45
3. Kademe	5,15	5,14	5,15	76
4. Kademe	8,37	8,45	8,46	121
5. Kademe	10,49	10,56	10,59	152
6. Kademe	13,79	13,86	13,9	197
7. Kademe	18,93	18,99	19,04	275

Deney setinde 4 adet kesici bulunmaktadır. Şekil 3.15'te deneyde kullanılan bir kesici modülü gösterilmiştir. Bunlardan 3 tanesi normalde kapalı iken 1 tanesi normalde açık kontaklıdır. Kesiciler hem üzerindeki butonlara basarak manuel olarak, hem de uzaktan röle ve PLC ile kontrol edilebilmektedir. Fider yönetim rölesi, senkronizasyon rölesi ve haberleşme modülündeki analog çıkışlar üzerinden SCADA arayüzünden kesiciler kontrol edilmektedir.



Şekil 3.15. Kesici modülü

Anahtarlanabilir kompanzasyon biriminde farklı kapasitans değerlerine sahip 4 farklı kapasitör grubu mevcuttur. Bunlar her faz için 2  $\mu\text{F}$ , 4  $\mu\text{F}$ , 8  $\mu\text{F}$  ve 16  $\mu\text{F}$  değerlerine sahip kapasitörlerdir. 50 Hz, 400 V altında 1360 VAr gücündeki endüktif karakterli reaktif gücü kompanse edebilir. Şekil 3.16'da kapasitif bank modülüne ait görüntü verilmiştir. Her kapasitör grubun sisteme dahil edilmesi veya çıkarılması güç faktörü denetleyicisi tarafından kontrol edilir.



Şekil 3.16. Kapasitif bank modülü

### 3.1.2. Enerji Depolama Sistemi ve Özellikleri

Traksiyoner aküler temelde stasyonery akülerle birlikte iki ana endüstriyel akü kategorisinden biridir. Forkliftler gibi iş makinelerinde uzun süre yük talebini karşılayabilmek amacıyla kullanılan bataryalardır. Şekil 3.17'de gösterilen traksiyoner aküler akıllı şebeke deney setine entegre edilmiştir.



Şekil 3.17. Şebeke sisteminde kullanılan enerji depolama sistemi

Traksiyoner aküleri üretim tiplerine göre jel / VRLA ve sıvı dolgulı (sıvı elektrolit içeren) olmak üzere ikiye ayrılır. Geometrik özellikleri bakımından DIN, İngiltere ve ABD gibi farklı standartlara sahiptir. Ülkemizde ağırlıklı olarak DIN standartlarına uygun olarak üretilen bataryalar kullanılmaktadır. Traksiyoner akülerin % 90'a varan kısmı 2V hücrelerin aside dayanıklı kaplamalı üstü açık çelik kasa (kazan) içerisine yerleştirilmesi ve hücre kutuplarının kurşun köprü veya iletken bağlantı kabloları ile birbirine bağlanmasıyla oluşturulur. Genellikle 12V - 96V ve 150 Ah - 1500 Ah aralığında olacak şekilde seri ve paralel bağlantılar ile istenen gerilim ve akım seviyeleri elde edilir.

Enerji depolama sistemi olarak kullandığımız batarya paketi hücre nominal gerilimi 2V olan traksiyoner tipi toplam 6 hücreden oluşmaktadır. 12V nominal gerilime sahip batarya paketinin kapasitesi 170 Ah'dir. Bu çalışmada kullanılan temsili yük maksimum 1200W'tır. Traksiyoner tipi hücreler elektriksel test standardı gereği, kapasitesinin dörtte bir (1/4) akımla (C5) beş saat boyunca deşarj edilebilir. Traksiyoner batarya paketinden çekilebilecek toplam güç, yaklaşık olarak 34A x 12V

= 408 W olarak hesaplanmaktadır. EDT'yi bu deney seti ile ölçeklendirerek gerçekleştirdiğimiz için batarya paketinin tam kapasitede çalışması durumunda yükün %34'lik kısmını 5 saat süre ile karşılayabilecek şekilde boyutlandırma yapılmıştır.

### 3.1.3. Veri Okuma Kartı ve Özellikleri

Batarya paketinin dağıtım barasından sisteme bağlandığı noktadaki elektriksel parametrelerin ölçülmesi ve geliştirilen algoritma çerçevesinde batarya paketinin devreye alınabilmesi amacıyla gerekli ölçümler için National Instruments (NI) cDAQ-9174 CompactDAQ Chassis ile birlikte akım, gerilim ölçüm modülleri ve batarya paketi anahtarlaması için sayısal çıkış modülü kullanılmıştır. Şekil 3.18'de görüldüğü gibi NI CDAQ-9174 her biri bir C Serisi modülü tutabilen dört yuvaya sahiptir. İstenilen ölçümleri gerçekleştirmek için, cDAQ şasisi üzerindeki herhangi bir açık yuvaya modül takabilmektedir.



Şekil 3.18. NI cDAQ-9174 CompactDAQ Chassis

İlk slotta kullandığımız modül, 50 kS/s/ch, 20 A(rms), 30 Apeak, 24-Bit, 3 kanallı NI-9246 C Serisi akım giriş modülüdür. Şekil 3.19'da gösterilmiş olan bu modül; güç sistemleri, enerji sistemleri ve endüstriyel uygulamalar için optimize edilmiştir. Fazör ölçüm birimleri, aşırı gerilim aralıkları, güç kalitesi izleme ve ölçüm, trafo merkezi birleştirme üniteleri, endüstriyel makine ölçümleri gibi uygulamalar için sık kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında, akıllı şebeke sistemimizde bulunan farklı türlerdeki yük birimlerinin akım değerlerini ölçmek için kullanılmaktadır.



**Şekil 3.19.** NI-9246 C Serisi akım giriş modülü

İkinci slotta kullandığımız modül, 250 V(rms) L-N, 400 V(rms) L-L, 50 kS/s/ch, 24-Bit, 3 faz NI-9242 C Serisi gerilim giriş modülüdür. NI - 9242 modülünün geniş ölçüm aralığı, fazör ölçümleri, güç ölçümü, güç kalitesi izleme, standart potansiyel transformatörleri ve motor testi gibi yüksek gerilim ölçüm uygulamaları için kullanımı idealdir. Aynı zamanda yüksek hızda eşzamanlı örnekleme ile harmonik analizi de yapılmasına olanak sunmaktadır [55]. Şekil 3.20’de bu modüle ait görsel verilmiştir.



**Şekil 3.20.** NI-9242 C Serisi gerilim giriş modülü

Üçüncü slotta kullandığımız modül,  $\pm 60$  V, 800 kS/s, 12-Bit, 8 kanal NI-9221 C Serisi gerilim giriş modülüdür. Bu modül genel olarak endüstriyel seviyede

ölçümler, otomotiv sektörü ve küçük hücreli pil ölçümleri için kullanılmaktadır. Şekil 3.21’de bu modül gösterilmiştir. Bu tez kapsamında, akıllı şebeke sistemimizde bulunan enerji depolama tesisini temsil eden batarya paketinin gerilim, akım değerleri ile PV panelin güç ölçümleri için kullanılmıştır.



Şekil 3.21. NI-9221 C Serisi gerilim giriş modülü

Dördüncü slotta ise 8 kanallı NI-9474 C Serisi dijital çıkış modülü kullanılmıştır. Şekil 3.22’de bu dijital çıkış modülüne ait görsel verilmiştir.



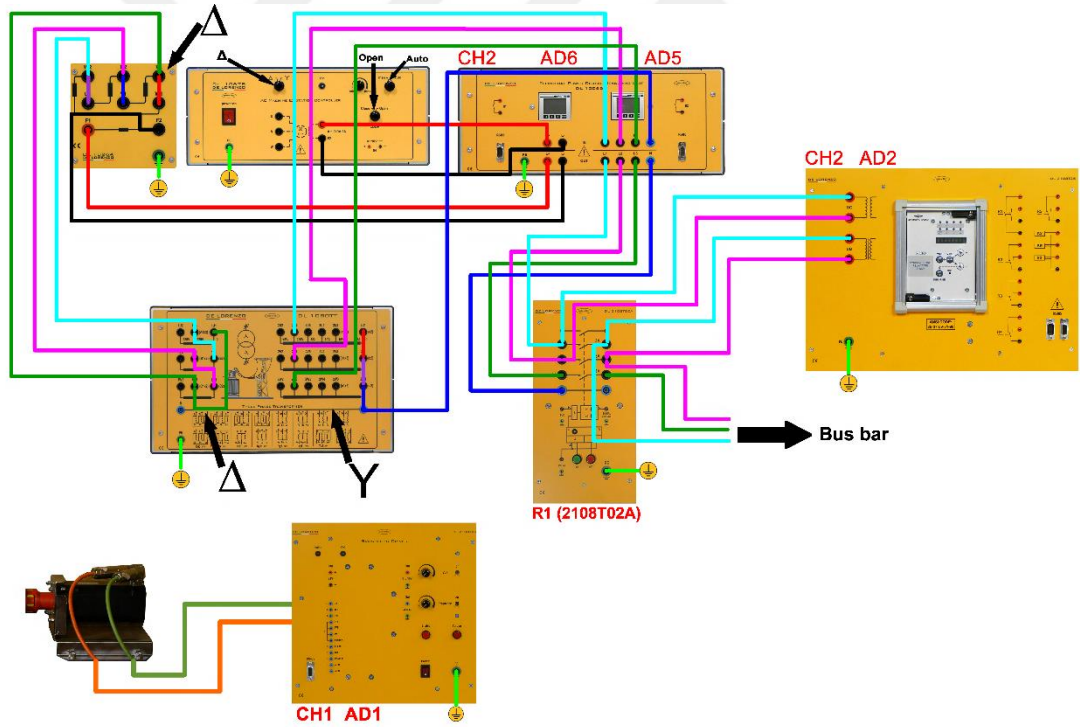
Şekil 3.22. NI-9474 C Serisi dijital modül

## 3.2. Yöntem

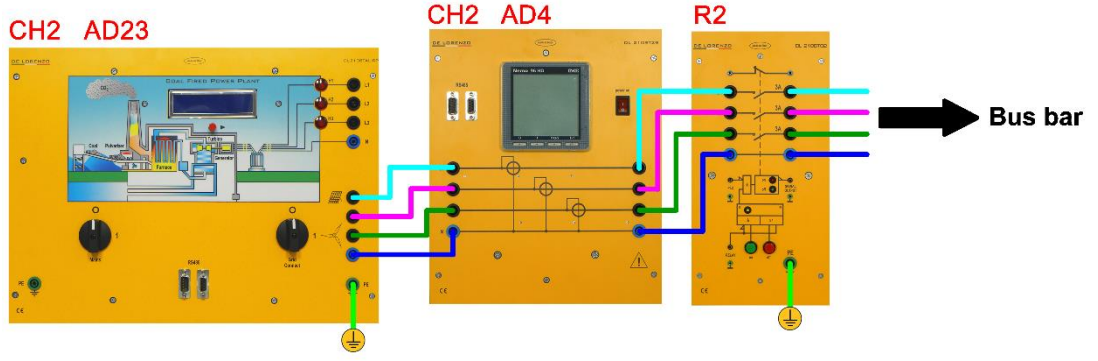
### 3.2.1. Akıllı Şebeke Deney Seti Bağlantıları ve Çalıştırılması

Akıllı şebeke deney setinin bağlantıları bu bölümde gösterilmiştir. Batarya paketi bu bölümdeki incelemelerde şebekeye bağlı değildir. Batarya paketinin sisteme bağlı olduğu durum bir sonraki bölümde yer almaktadır.

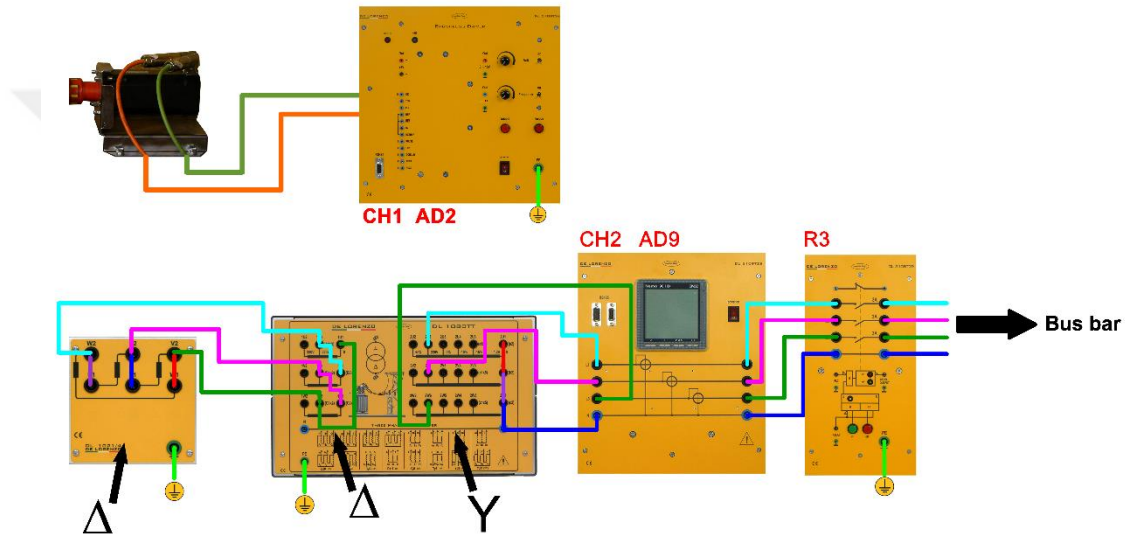
Akıllı şebeke deney setinde tüm bağlantılar gerçekleştirildikten sonra SCADA ekranından giriş yapılmaktadır. Bu ekranda 6 bölümden oluşan deneysel çalışma grubu karşımıza gelmektedir. Buradan Smart Grid (Akıllı Şebeke) bölümü seçilip, güç bağlantılarının ve sinyal bağlantılarının doğruluğunu yeniden kontrol edilmelidir. Şekil 3.23'ten Şekil 3.28'e kadar sistemin güç bağlantıları kısım kısım verilmiştir. Şekil 3.29'da sistemin sinyal kablolarının bağlantısına ilişkin görüntü, Şekil 3.30'da sistemin haberleşme bağlantısı gösterilmiştir.



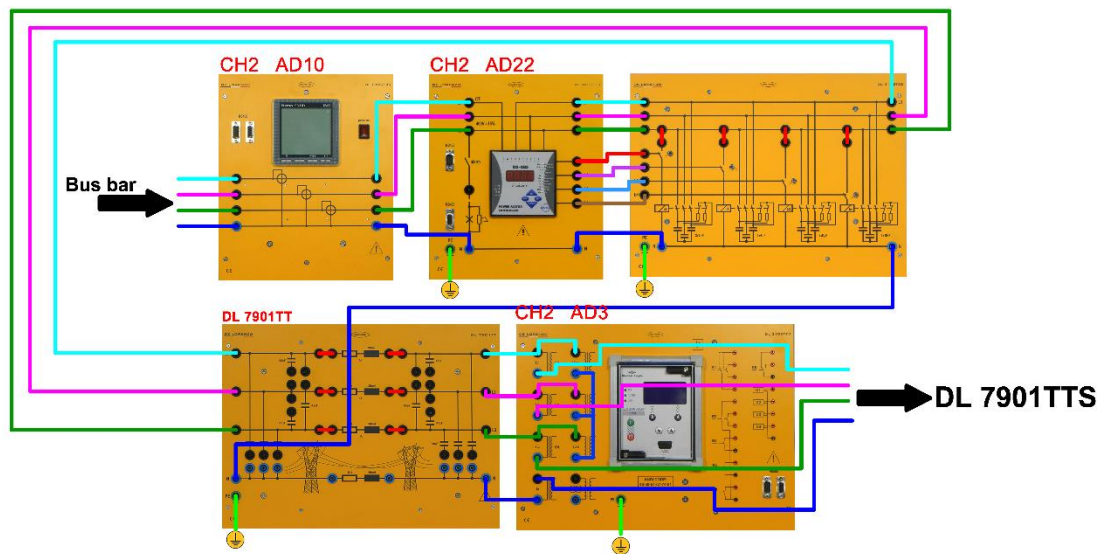
Şekil 3.23. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-1



Şekil 3.24. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-2

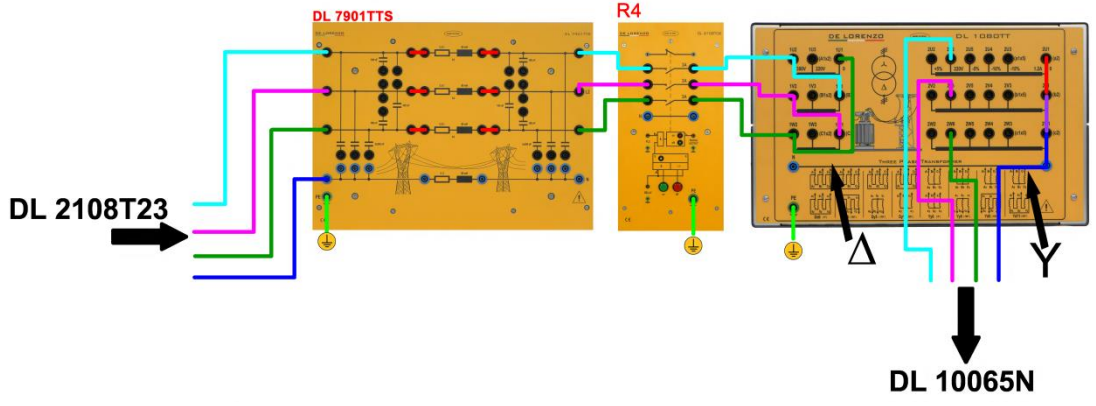


Şekil 3.25. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-3

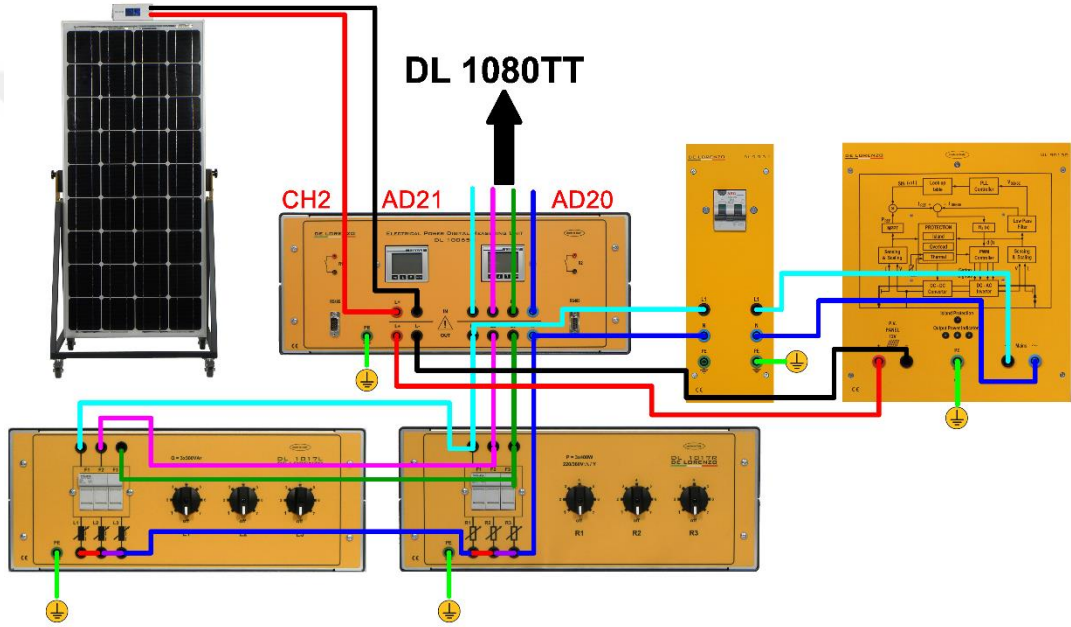


Şekil 3.26. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-4

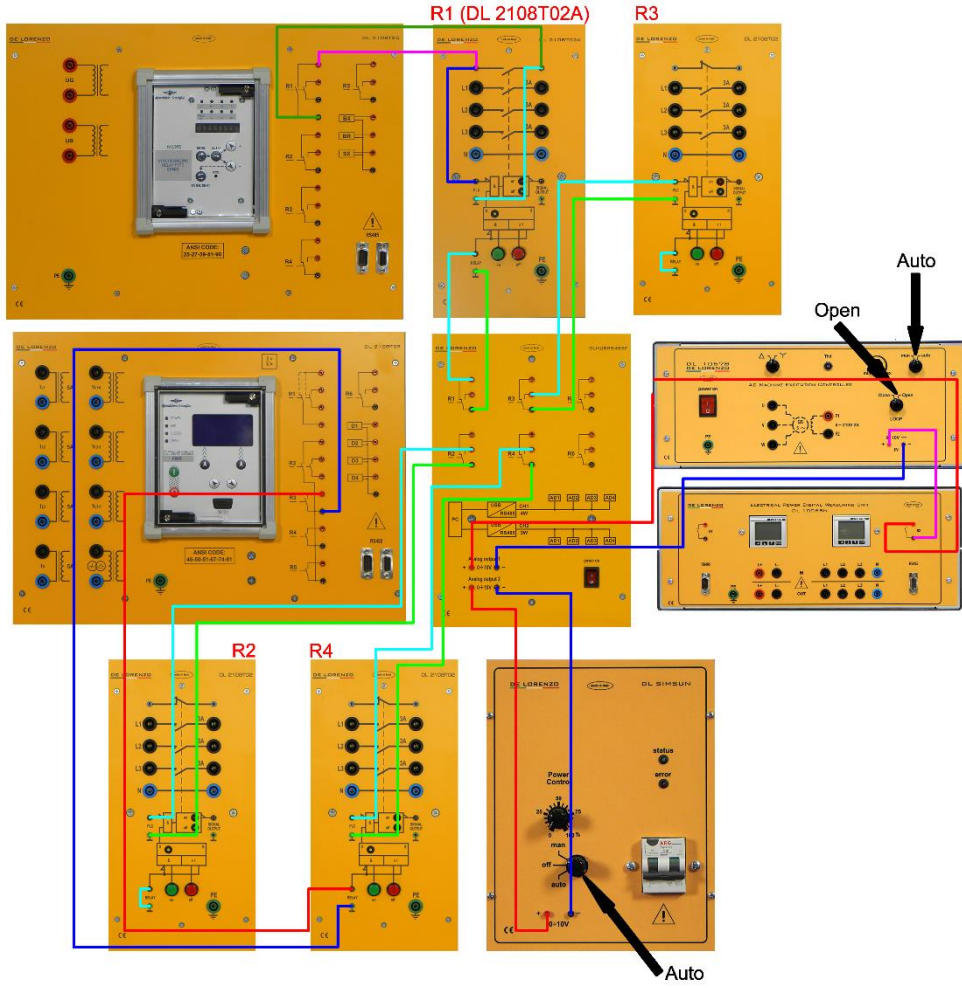




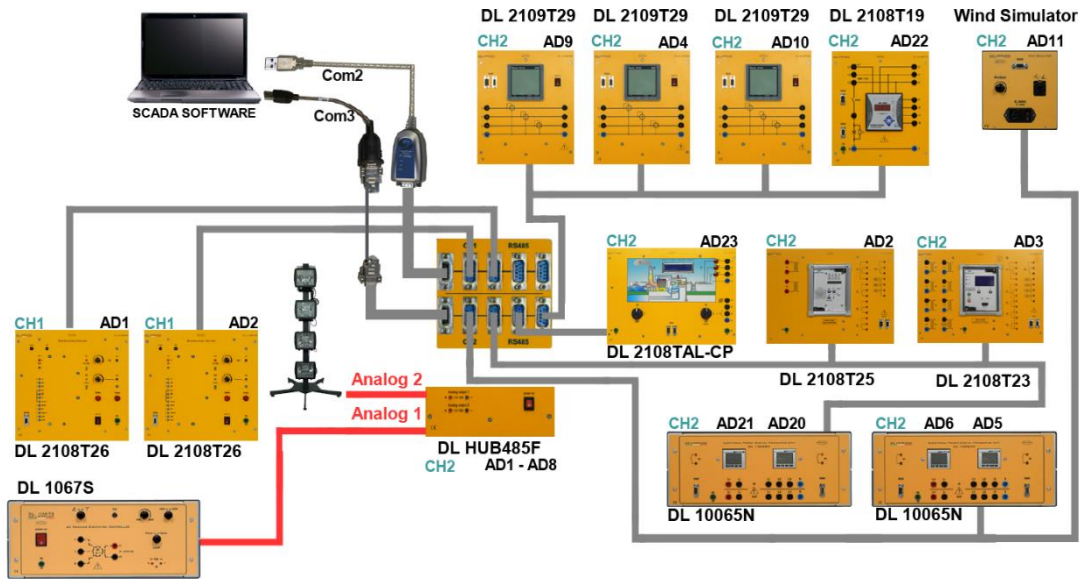
Şekil 3.27. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-5



Şekil 3.28. Deney seti güç kabloları bağlantısı Kısım-6



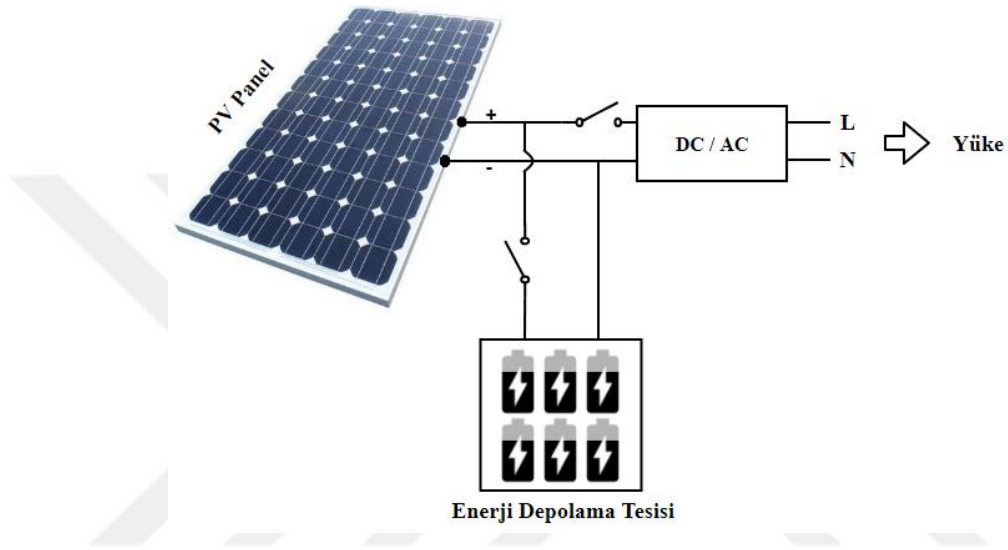
Şekil 3.29. Deney seti sinyal kablolarının bağlantısı



Şekil 3.30. Deney seti haberleşme kablolarının bağlantısı

### 3.2.2. Enerji Depolama Sisteminin Şebekeye Bağlanması

Akıllı şebeke deney setimizde dağıtım tarafından sisteme bağlanan güneş enerji santrali ve batarya paketi DC besleme sistemidir. PV sistem deney seti üzerinde bulunan şebeke bağlantılı inverter (evirici) üzerinden sisteme dahil olmaktadır. Bu sistem üzerinde halihazırda bulunan invertere batarya paketi de dahil edilerek ayrıca ilave bir inverter kullanılmadan bağlantılar Şekil 3.31’de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.31. Enerji depolama sisteminin şebekeye bağlantı şeması

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu kısımda, sırasıyla çalışmada kullanılan güç sisteminin yük akış analizi verilmiş, geliştirilen kontrol algoritmasının işleyiş mantığı açıklanmış ve oluşturulan senaryolara göre deneysel çalışmaların sonuçları incelenmiştir.

### 4.1. Deneysel Çalışmalar

#### 4.1.1. ETAP Programında Sistemin Yük Akış Analizinin Yapılması

Güç sistemlerinin devreye alınmadan önce doğru tasarlanıp tasarlanmadığının kontrolü ve mevcut yapılarındaki genişleme durumlarında, kontrol sonucunda olası aksaklıkların tespiti ve bu anlamda sunulan çözümleri kapsayan mühendislik analizi büyük önem arz etmektedir [56].

Yük akış analizi temel olarak sistemdeki tüm baraların gerilimini, gerilim açısını ve bu baraların bastığı veya sisteme çektiği aktif ve reaktif güçleri hesaplamak için yapılır. Sistemin kararlı ve hatasız bir durumda çalıştığı varsayımı, analizde bir ön koşuldur. Yük akış analizi sonucunda gerilim düşmeleri, sistemin yük dengesi, üretilen ve tüketilen gücün sistemde dağılımı, yükleme sistemi elemanları gibi birçok veri elde edilir. Bu veriler kullanılarak, sistem bileşenlerinin optimum boyutlandırılması ve besleme senaryoları belirlenebilir [56].

Bu çalışmada yük akış analizi için ETAP programı kullanılmıştır. ETAP, AC ve DC güç sistemlerinin tasarımı, simülasyonu, işletimi, kontrolü, optimizasyonu ve analizi için geliştirilmiş bir elektrik mühendisliği yazılımıdır [57]. Yük akış analizi için akıllı şebeke sisteminin tek hat şeması oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de batarya paketi de içeren akıllı şebeke sisteminin tek hat şeması, Şekil 4.2'de ise ETAP programında gerçekleştirilen yük akış analizi raporu verilmiştir.

Burada, Newton-Raphson yöntemine dayalı bir yük akışı analizi kullanılmıştır. Bu yöntem, çok değişkenli doğrusal olmayan denklemleri çözmek için yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir. Buna göre değişkenlerin değerleri başlangıçta rastgele belirlenir. Bu değerler kullanılarak yeni değerler oluşturulur. Çalışma, en son üretilen iki değer arasında kabul edilebilir küçük bir fark olana kadar yinelemeli olarak sürdürülür.

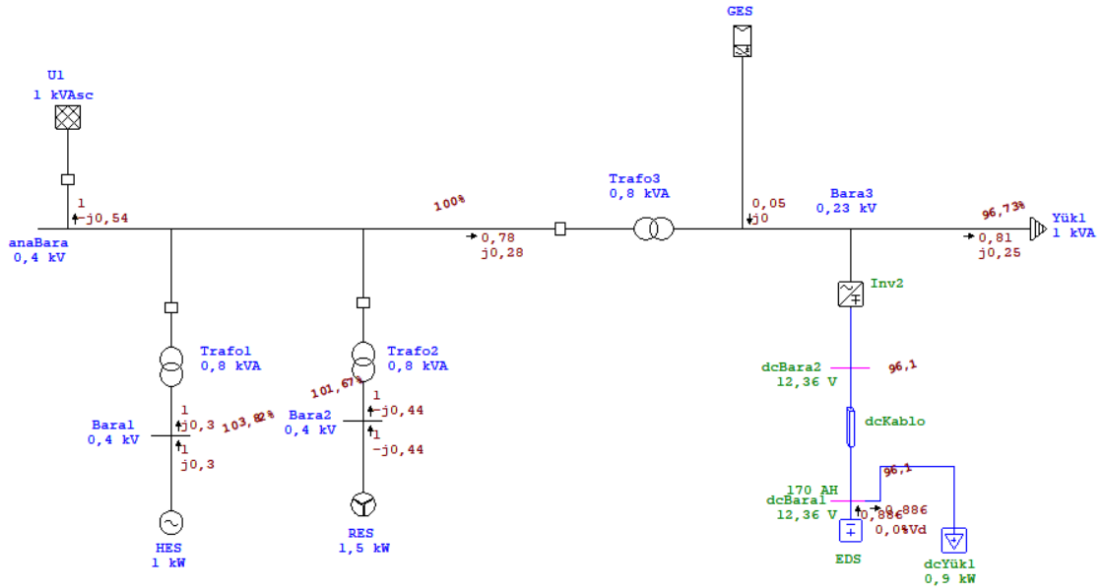
Newton-Raphson yöntemi Denklem 4.1'deki ifade edilir ve iterasyonla çözülür. Denklemde sırasıyla;  $\Delta P$  ve  $\Delta Q$  belirlenen ve hesaplanan değerler arasındaki bara aktif ve reaktif güç farkını,  $\Delta|V|$  ve  $\Delta\delta$  bara gerilim genliği ve açısındaki değişimleri,  $J$  ise Jacobian matrislerini temsil eder.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad 4.1$$

Jacobian matrisi Denklem 4.2'deki gibi ifade edilir. Jacobian matrisi aktif ve reaktif güç denklemlerinin açı ve genlik değişimine göre kısmi türevlerinden oluşur [57].

$$J = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial P / \partial \delta & \partial P / \partial V \\ \partial Q / \partial \delta & \partial Q / \partial V \end{bmatrix} \quad 4.2$$

Şekil 4.1'de verilmiş olan görüntüde, ETAP programında akıllı şebeke sisteminin tek hat şeması oluşturulmuş ve yük akış analizi yapılmıştır. Tablo 4.1'de ise bu yük akış analizine ilişkin rapor sonuçları tablo olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. ETAP programında batarya paketi de içeren akıllı şebeke sisteminin yük akış analizi

**Tablo 4.1.** ETAP yük akış analizi raporu

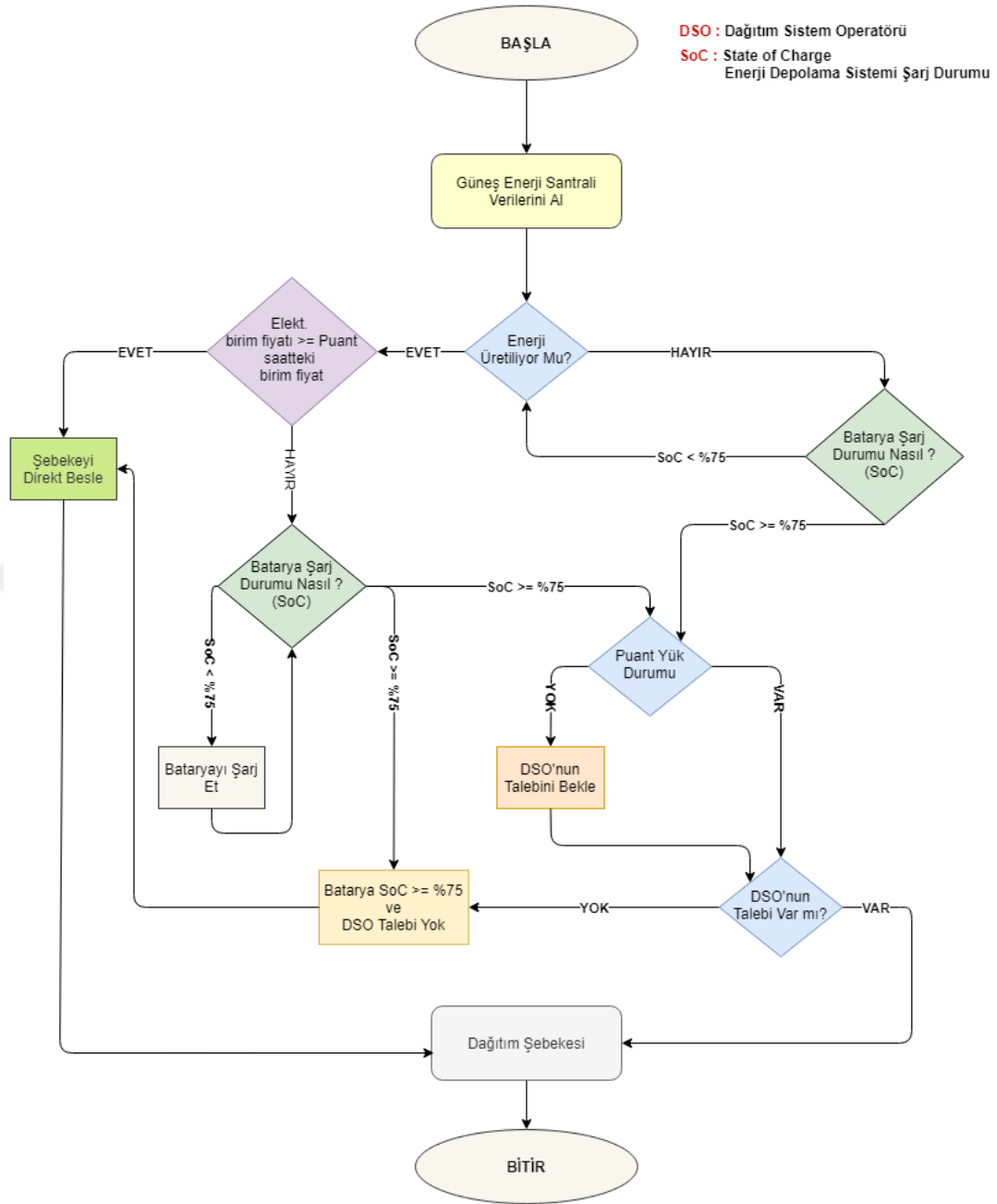
Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow				
ID	kV	%Mag.	Ang.	kW	kVar	kW	kVar	ID	kW	kVar	Amp	%PF
anaBara	0.4	100	0.0	-1.5	0.5	0	0	Bara1	-0.972	-0.258	1.5	96.7
								Bara2	-1.296	0.519	2.0	-92.8
								Bara3	0.779	0.275	1.2	94.3
Bara1	0.4	103.822	1.8	1.0	0.3	0	0	anaBara	1	0.3	1.5	95.8
Bara2	0.4	101.667	3.9	1.4	-0.4	0	0	anaBara	1.350	-0.438	2.0	-95.1
Bara3	0.23	96.727	-1.5	0	0	0.8	0.2	anaBara	-0.760	-0.247	2.1	95.1

Yük akış analizi raporunda; akıllı şebeke sistemindeki tüm üretim birimlerinin birlikte aktif olduğu durum için sonuçlar görülmektedir. Termik santral, hidroelektrik santral ve rüzgar enerji santrali için generatör, güneş enerji santrali için ise inverter özelliği bulunan PV birimi verilmiştir. EDS için batarya birimi kullanılmıştır. Batarya birimi için ayrıca DC/AC inverter kullanılmıştır. EDS ve GES deney setinde tek fazlı inverter üzerinden dağıtım barasına bağlandığından ETAP tek hat şemasında bara gerilimi 230 V olarak seçilmiştir. Yük akış analizi raporunda, her bir üretim biriminin aktif ve reaktif güçleri görülmektedir. Aynı zamanda üretim ve dağıtım baralarındaki gerilim değerlerinin 400 V'a yakın değerler olduğu ve gerilim düşümlerinin de sınır değerler içinde kaldığı görülmektedir.

#### 4.1.2. Algoritmanın Oluşturulması

Sistemin çalışma mantığı GES ve EDS üzerinden kurulmuştur. Şekil 4.2'de GES ve EDS'nin akıllı şebeke sistemine dahil edilmesi sürecine ait bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritmanın akış şeması ve sisteme dahil olma koşullarını gösteren işleyiş verilmiştir. Buna göre; GES enerji üretiyorsa öncelik EDS olarak batarya paketinin şarj durumunun sorgulanmasıdır. EDS'nin şarj durumu %75'ten küçük ise öncelik GES tarafından şarj edilmesidir. EDS şarj durumu belirtilen seviyenin üstünde ise bu durumda GES doğrudan şebekeyi beslemektedir. GES enerji üretiyor ve EDS şarj durumu %75'in üzerinde ise güç sistemindeki puant yük durumu sorgulanır ve DSO'nun talebinin varlığına göre EDS şebekeyi beslemekte veya beklemektedir. Bu durum DSO'ya işletim esnekliğini kazandırmaktadır.

GES üretiminin olmadığı fakat EDS'nin şarj durumunun belirlenen limitin üzerinde olması durumunda ise puant yük varlığı ve DSO talebine göre EDS şebekeyi besleyebilmektedir.

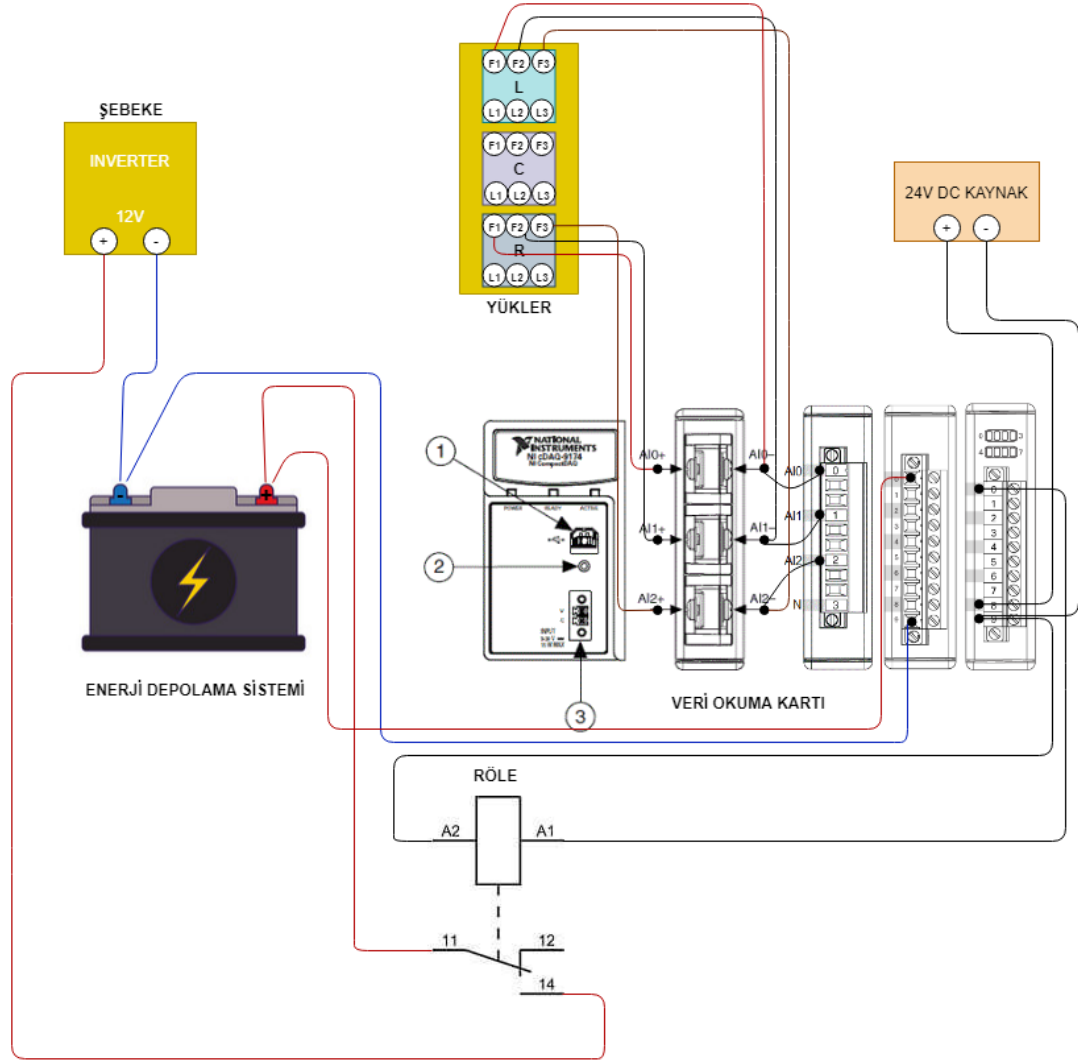


**Şekil 4.2.** Geliştirilen algoritma akış şeması

#### 4.1.3. Veri Okuma Kartı Bağlantıları

Şekil 4.3'te verilen bağlantı şemasında görüldüğü gibi veri toplama ve kontrol sistemi ile geliştirilen algoritmaya bağlı olarak GES ve EDS'nin işleyişi kontrol edilmektedir. Veri toplama düzeneğindeki ilk modülden dağıtım barasındaki yüklerin akım değerleri okunmaktadır. Sistem çalışırken yük kademelerinin değiştirilmesi ile şebeke üzerindeki güç parametrelerinin değişimleri, termik santralin ürettiği güce bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyon değerindeki artma/azalmalar sistemin mevcut

SCADA ekranı üzerinden izlenebilmektedir. Veri toplama sisteminin ikinci modülünden dağıtım barası gerilimleri okunmaktadır. Üçüncü modülde ise EDS'yi temsil eden batarya paketinin elektriksel parametreleri ölçülmektedir. Son slotta kullanılan dijital çıkış modülünün görevi ise geliştirilen algoritmanın çıktısına göre EDS'nin sisteme dahil edilip edilmeyeceğidir. Bu durum Şekil 4.4'te sistemin prensip şemasındaki ATS-Automatic Transfer Switch anahtarının kontrolünü temsil etmektedir.

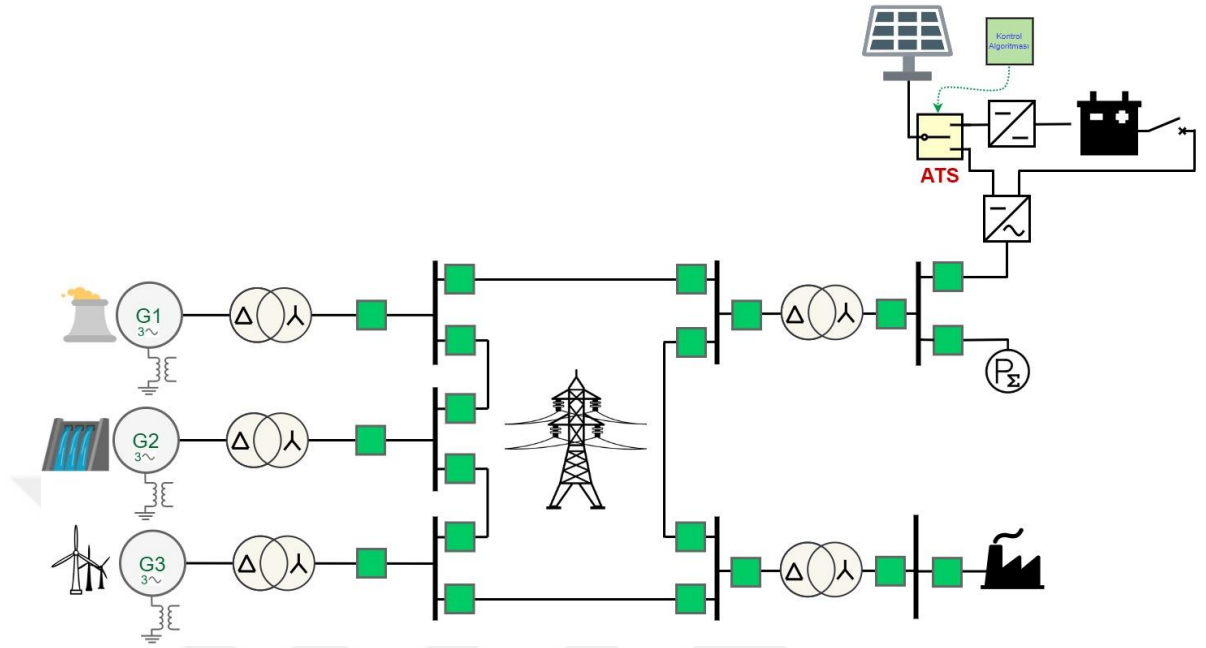


**Şekil 4.3.** GES, EDS ve yük grubunun veri toplama ve kontrol modülü ile bağlantısı

Şekil 4.4'te akıllı şebeke sisteminin tek hat şeması ve sistem üzerindeki kesicilerin konumları görülmektedir. Burada verilen arayüz LabVIEW™ programında geliştirilmiştir. Durum izleme ve kontrol programının akıllı şebeke sisteminde kontrol ettiği kısım, dağıtım barasına bağlanan GES ve EDS'nin sisteme



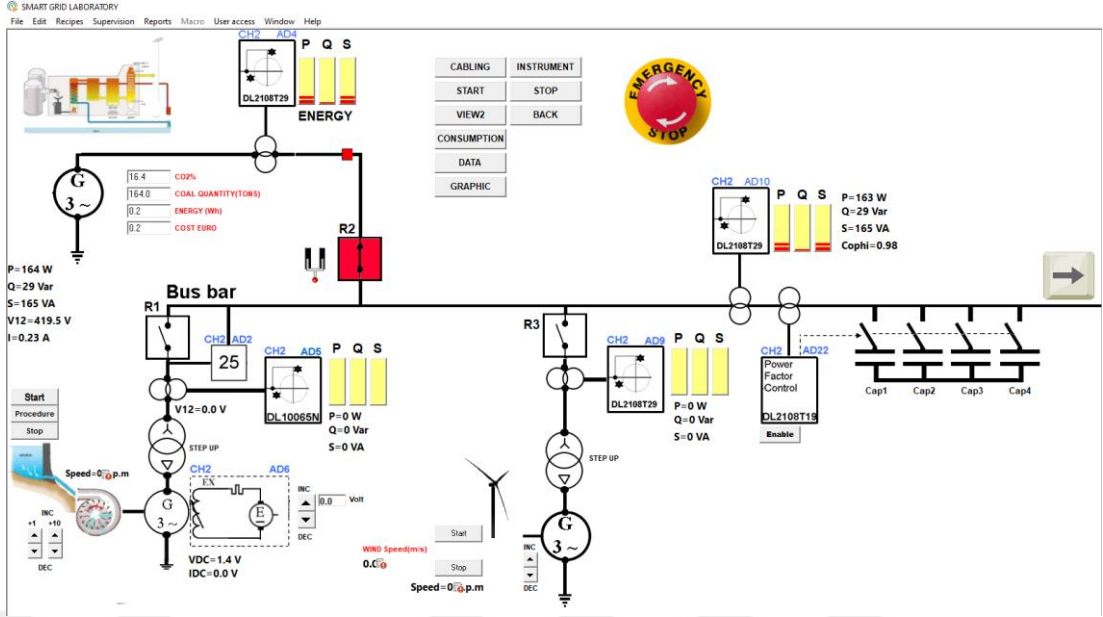
entegrasyonu için geçerlidir. Durum izleme ve kontrol programı akıllı şebeke sisteminin SCADA arayüzü ile birlikte işlemektedir.



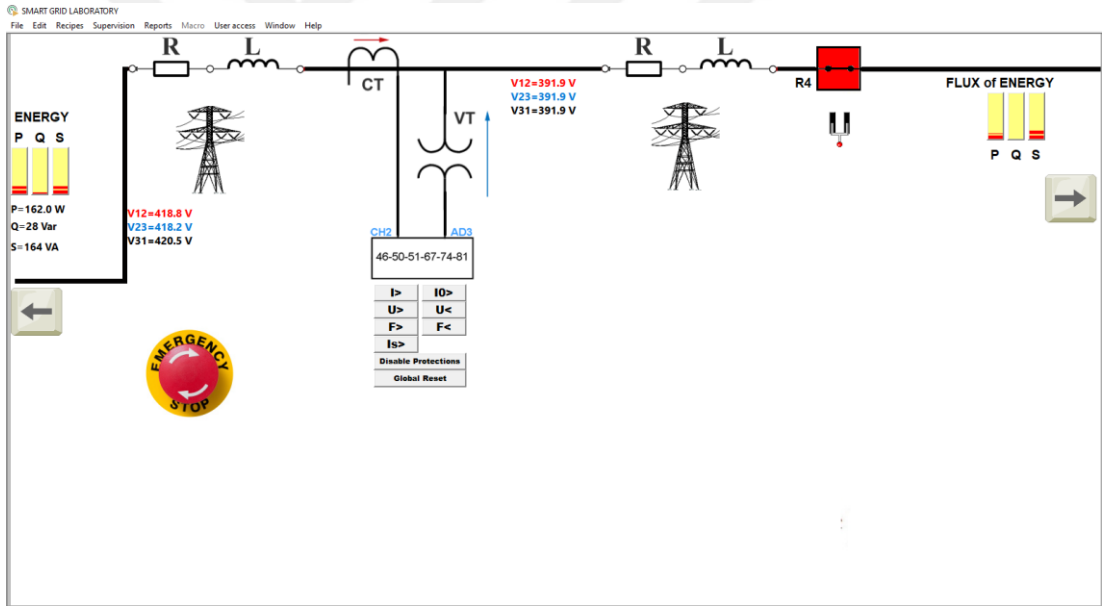
**Şekil 4.4.** Akıllı şebeke deney setine entegre edilen batarya paketi ile birlikte sistemin prensip şeması

#### 4.1.4. Sistem Senaryolarının Uygulanması ve Ölçüm Sonuçları

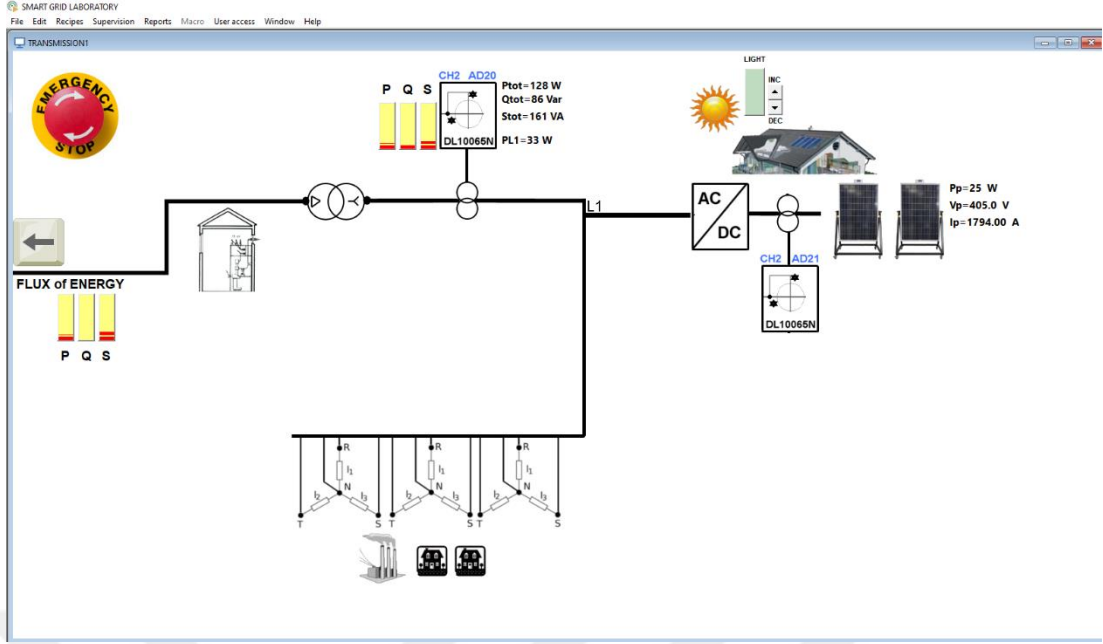
**Senaryo-1:** Bu durum için oluşturulan senaryoda, akıllı şebeke deney setindeki aktif olan üretim birimleri Termik Santral ve GES'tir. HES ve RES devre dışı bırakılmıştır. Tüm senaryolarda yük ve hat sonu gerilimi sabittir.  $f=50$  Hz,  $\cos\phi=0,965$  olarak ölçülmüştür. Senaryo için çalışır durumdaki deney seti SCADA ekranı görüntüsü Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu senaryo için ölçülen sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Akıllı şebeke deney setine ait SCADA ekranı



Şekil 4.6. İletim hattı izleme ekranı



Şekil 4.7. Yük tarafı izleme ekranı

Tablo 4.2. Senaryo-1 için ölçülen değerler

Aktif Üretim Birimleri		Hat sonu değerleri		
TERMİK	P=164 W	$V_{L1}$	$V_{L2}$	$V_{L3}$
	Q=29 Var	405.2 V	387.4 V	391.6 V
	S=165 VA	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$
GÜNEŞ	Vdc=15.4 V	0.16 A	0.27 A	0.27 A
	Idc=1.792 A	P	Q	S
	W=28 W	128 W	86 Var	162 VA

Sistem Senaryo-1'de yer alan üretim birimleri ile yükleri besmekte iken geliştirilen algoritma çerçevesinde DSO talebinin kabulü ile sisteme EDS olarak batarya paketi dahil edilmiştir. EDS eklendiğinde, GES ve EDS'nin aynı anda şebekeyi beslediği durumda tek fazlı inverter üzerinden yük barasının 1. fazına bağlanan EDS sayesinde faz akımının 0,27 A'den 0,14 A'e düştüğü gözlenmiştir. Bu durumda GES ve EDS'nin sisteme katkısı %48 olarak hesaplanmıştır. Sistemde GES üretimi olmadığı fakat puant yük zaman dilimi ve DSO talebi kabulü ile EDS şebekeyi beslemeye devam etmektedir. EDS'nin bu durumda şebekeye katkısı %25,92'dir. Tablo 4.3'te EDS'nin dahil olması ile birlikte ölçülen değerler verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Senaryo-1’de EDS’nin dahil olduğu durumdaki ölçümler

Ölçümler	TERMİK+GÜNEŞ+EDS		
Hat sonu gerilimleri (AC)	405,4 V (L1)	384,2 V (L2)	386,9 V (L3)
Hat sonu akımları (AC)	0,14 A (L1)	0,27 A (L2)	0,26 A (L3)
DC ölçümler	15,3 V	2,575 A	39 W
<i>*Tüm ölçümlerde yük sabit, frekans=50Hz, cosφ=0,965</i>			

**Senaryo-2:** Bu durum için oluşturulan senaryoda, akıllı şebeke sistemindeki aktif olan üretim birimleri termik santral ve RES’tir. HES ve GES aktif değildir. Bu senaryo için ölçüm sonuçları Tablo 4.4’te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Senaryo-2 için ölçülen değerler

Aktif Üretim Birimleri		Hat sonu değerleri		
TERMİK	P=284 W	V <sub>L1</sub>	V <sub>L2</sub>	V <sub>L3</sub>
	Q=526 Var	387.9 V	386.9 V	385.1 V
	S=602 VA	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>
RÜZGAR	P=-95 W	0.27 A	0.27 A	0.27 A
	Q=-481 Var	P	Q	S
	S=490 VA	148 W	97 Var	178 VA

Sistem Senaryo-2’de yer alan üretim birimleri ile yükleri beslemekte iken geliştirilen algoritma çerçevesinde puant zaman aralığında ve DSO talebinin kabulü ile sisteme şarj durumunun iyi olduğu durumda batarya paketi dahil edilmiştir. EDS şebekeye eklendiğinde, Termik Santralin üretim gücünün düştüğü ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyon değerindeki düşüş gözlemlenmiştir. RES ve EDS’nin aynı anda şebekeyi beslediği durumda tek fazlı inverter üzerinden yük barasının 1. fazına bağlanan EDS sayesinde faz akımının 0,27 A’dan 0,21 A’e düştüğü görülmüştür. Bu durumda EDS’nin tek başına sisteme katkısı %25 olarak hesaplanmıştır. EDS’nin 15 W’lık bir güç aktarımı yaptığı görülmektedir. 2. durum senaryosuna EDS’nin de eklenmesi ile hat sonunda yapılan ölçümler Tablo 4.5’te verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Senaryo-2’de EDS’nin dahil olduğu durumdaki ölçümler

Ölçümler	TERMİK+RÜZGAR+EDS		
Hat sonu gerilimleri (AC)	396,9 V (L1)	384,6 V (L2)	391,2 V (L3)
Hat sonu akımları (AC)	0,21 A (L1)	0,27 A (L2)	0,26 A (L3)
DC ölçümler	14,7 V	1,060 A	15 W
<i>*Tüm ölçümlerde yük sabit, frekans=50Hz, cosφ=0,965</i>			

**Senaryo-3:** Bu durum için oluşturulan senaryoda; Termik Santral, RES ve GES'in aktif olduğu durumda sisteme EDS'nin de eklenmesi ile genel durum incelemesi ve analizi gerçekleştirilmiştir. Bu senaryo için ölçülen sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Senaryo-3 için ölçülen değerler

Aktif Üretim Birimleri		Hat sonu değerleri		
TERMİK	P=83 W			
	Q=542 Var	$V_{L1}$	$V_{L2}$	$V_{L3}$
	S=550 VA	399.4 V	381.8 v	386.6 V
RÜZGAR	P=76 W	$V_{L1N}$	$V_{L2N}$	$V_{L3N}$
	Q=-513 Var	229.3 V	226.1 V	218.8 V
	S=519 VA	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$
GÜNEŞ	Vdc=15,5 V	0.16 A	0.27 A	0.26 A
	Idc=1,740 A	P	Q	S
	W=26 W	125 W	88 Var	157 VA

Sistem Senaryo-3'de yer alan üretim birimleri ile yükleri beslemekte iken geliştirilen algoritma çerçevesinde DSO talebinin kabulü ile sisteme EDS'ni temsil eden batarya paketi dahil edilmiştir. Şebeke, 3 üretim birimi ile çalışırken (termik, rüzgar, güneş) puant yük zaman diliminde ve DSO'nun da talebi doğrultusunda batarya grubu şebekeye dahil olmaktadır. EDS'nin şebekeye katılması ile birlikte termik santralin üretim gücünün azaldığı gözlenmektedir. Buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyon oranında azalma olmaktadır. EDS eklendiğinde, GES ile birlikte şebekeyi beslediği durumda inverter üzerinden yük barasının 1. fazında 0,27 A'den 0,14 A'e düşen bir akım değeri gözlenmiştir. Termik santralin mevcut durumda 83 W üretim gücü varken EDS'nin eklenmesi ile sisteme verdiği güç 70 W'a düşmüştür. Bu durumda EDS'nin şebekeye %15'lik bir katkısı olmuştur. DC tarafta güneş enerjisi tarafında üretilen güç 26 W iken, EDS'nin devreye girmesi ile birlikte 38 W seviyelerine gelmiştir. Senaryo-3'te EDS'nin de eklenmesi ile dağıtım noktası ölçümleri Tablo 4.7'de verilmiştir.

**Tablo 4.7.** Senaryo-3'te EDS'nin dahil olduğu durumdaki ölçümler

Ölçümler	TERMİK+RÜZGAR+GÜNEŞ+EDS		
Hat sonu gerilimleri (AC)	406,8 V (L1)	383,8 V (L2)	388,3 V (L3)
Hat sonu akımları (AC)	0,14 A (L1)	0,27 A (L2)	0,26 A (L3)
DC ölçümler	15,1 V	2,619 A	38 W
*Tüm ölçümlerde yük sabit, frekans=50Hz, $\cos\phi=0,965$			

**Senaryo-4:** Bu senaryoda, akıllı şebeke deney setindeki termik santral, HES, RES ve GES'in aktif olduğu ve sisteme geliştirilen algoritma çerçevesinde EDS'nin de eklenmesi ile genel durum incelemesi ve analizi gerçekleştirilmiştir. Bu durum tüm sistemin entegrasyonunun birlikte gerçekleştiği bir senaryodur. Bu senaryo için ölçüm sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir.

**Tablo 4.8.** Senaryo-4 için ölçülen değerler

Aktif Üretim Birimleri	TERMİK	P=8 W	Hat sonu değerleri					
		Q=712 Var						
		S=712 VA						
	HİDRO	P=255 W				$V_{L1}$	$V_{L2}$	$V_{L3}$
		Q=-213 Var				397.7 V	379.3 V	386.8 V
		S=343 VA						
	RÜZGAR	P=-109 W				$V_{L1N}$	$V_{L2N}$	$V_{L3N}$
		Q=-472 Var				229.1 V	224.5 V	218.2 V
		S=479 VA				$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$
	GÜNEŞ	Vdc=14.4 V				0.17 A	0.27 A	0.26 A
		Idc=1.774 A				P	Q	S
		W=25 W				126 W	87 Var	153 VA

Akıllı şebeke deney seti tüm üretim birimleri ile çalışırken (termik, hidroelektrik, rüzgar, güneş) EDS'nin şebekeye dahil edilmesi ile birlikte mevcut yük dikkate alındığında termik santralin üretim gücüne ihtiyaç kalmadığı bu sistemin CO<sub>2</sub> emisyonunun 0 değerine düşmesinden anlaşılmaktadır. Mevcut durumda tüm YEK kaynakları devrede olduğundan tamamıyla temiz enerji üretimi gerçekleşmektedir. 4. durum senaryosuna EDS'nin de eklenmesi ile hat sonunda yapılan ölçümler Tablo 4.9'da verilmiştir.

**Tablo 4.9.** Senaryo-4'te EDS'nin dahil olduğu durumdaki ölçümler

Ölçümler	TERMİK+HİDRO+RÜZGAR+GÜNEŞ+EDS		
Hat sonu gerilimleri (AC)	403,3 V (L1)	379,2 V (L2)	383,7 V (L3)
Hat sonu akımları (AC)	0,14 A (L1)	0,27 A (L2)	0,26 A (L3)
DC ölçümler	15,5 V	2,538 A	38 W
<i>*Tüm ölçümlerde yük sabit, frekans=50Hz, cosφ=0,965</i>			

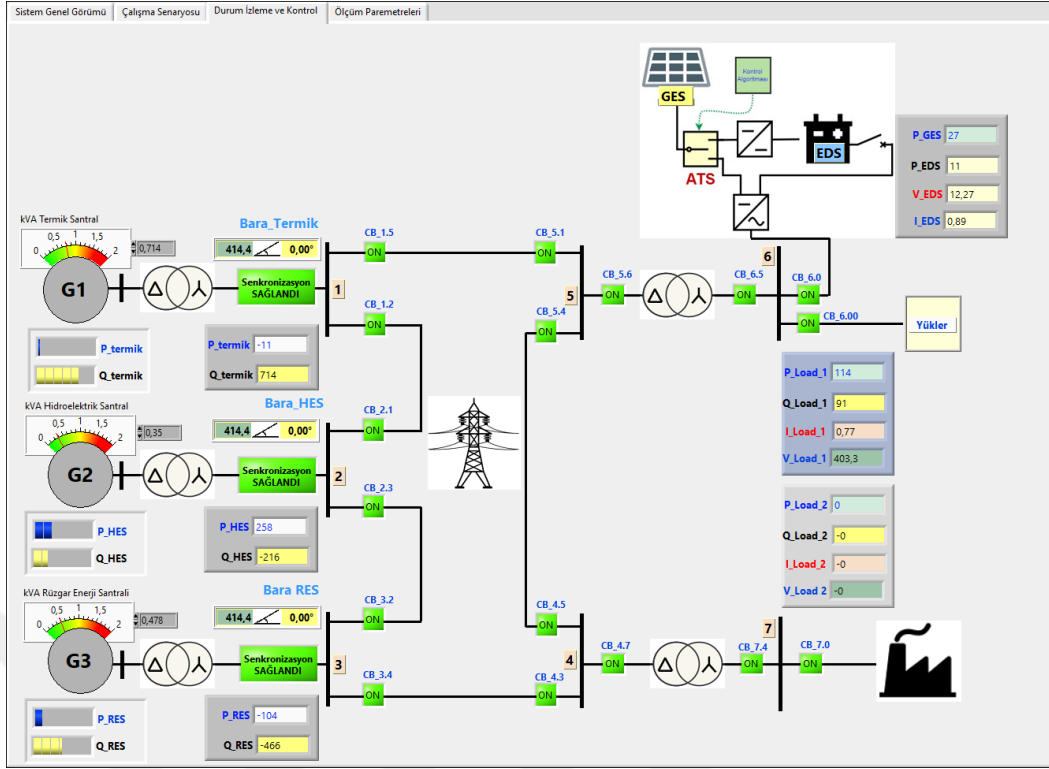
Yapılan tüm deneyler sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye dahil olması ile termik santralin üretim gücünün düştüğü ve CO<sub>2</sub> emisyon değerinde azalma gözlemlenmiştir. Enerji depolama tesisinde şebekede ihtiyaç olması durumunda geliştirilen algoritma kapsamında puant zaman diliminde ve dağıtım sistem operatörlerinin talebi doğrultusunda şebeyi beslediğinde yük ihtiyacının belirli kısmının karşıladığı görülmüştür.

Tablo 4.10'da oluşturulan senaryolarda ölçülen değerler için karşılaştırma tablosu verilmiştir.

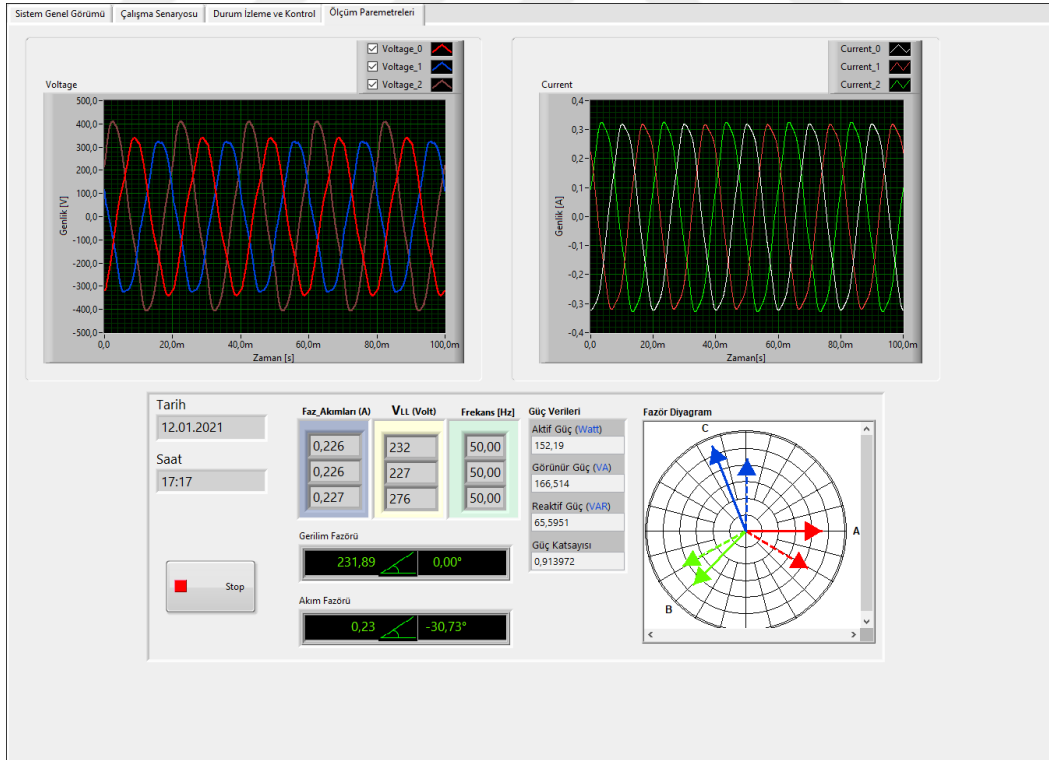
**Tablo 4.10.** Tüm senaryolara ait ölçülen değerler

	Senaryo - 1		Senaryo - 2		Senaryo - 3		Senaryo - 4	
	TERMİK +GES	+ EDS	TERMİK +RES	+ EDS	TERMİK+ RES+GES	+ EDS	TERMİK+ HES+RES+ GES	+ EDS
<b>Termik Santral</b>								
<b>P</b>	164W	147W	284W	110W	84W	70W	8W	-11W
<b>Güç</b>								
<b>Q</b>	29Var	29Var	526Var	547Var	542Var	538Var	712Var	714Var
<b>S</b>	165VA	150VA	602VA	555VA	550VA	543VA	712VA	714VA
<b>DC Güç Değeri</b>	25W	38W	-	15 W	26W	38W	27W	38W

Tüm sistemin aktif olarak çalıştığı, aynı zamanda geliştirilen arayüz üzerinden bu çalışma kapsamında yer alan sistemin kontrol ve izlemesini gerçekleştirdiğimiz geliştirilen LabVIEW™ kullanıcı arayüzü Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Buradaki okunan değerler akıllı şebeke deney setindeki üretim birimlerinin aktif çalıştığı ve EDS'nin de eklenmesi ile elde edilen verilerdir. Aynı zamanda yük tarafındaki ölçümlerin gerçekleştirildiği LabVIEW™ arayüz ekranı da Şekil 4.9'da verilmiştir.



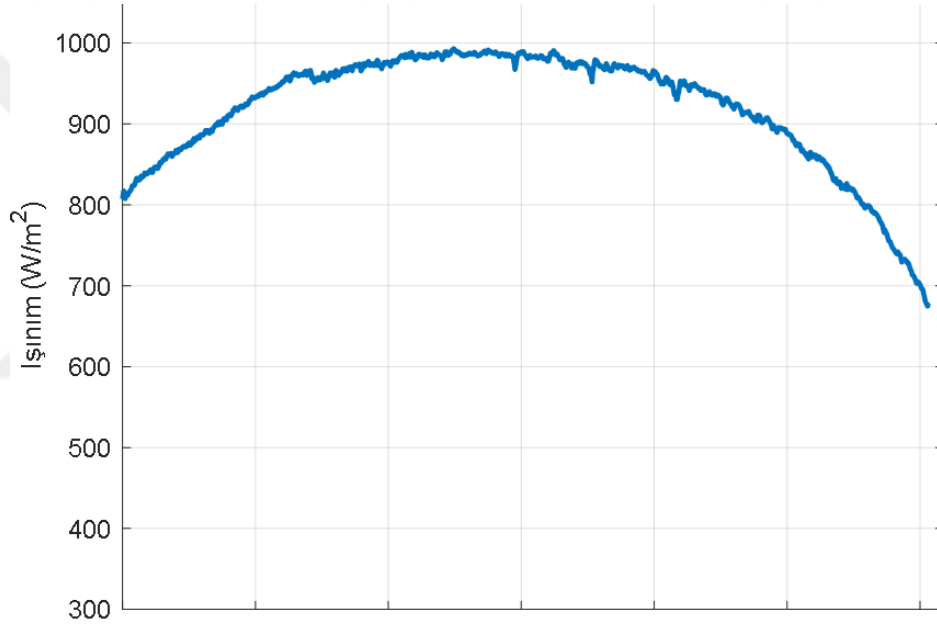
Şekil 4.8. LabVIEW™ ortamındaki durum izleme ve kontrol ekranı



Şekil 4.9. LabVIEW™ ortamındaki ölçüm ekranı



Yukarıdaki tüm senaryolar için gerçekleştirilen deneylerde puant yük durumunun olduğu zaman dilimlerinde ve DSO'nun da talebi durumunda EDS şebekeyi beslemiştir. GES sistemi laboratuvar ortamında güneş simülatörü ile güç ürettiğinden max. gücünün 1/3'lük kısmı elde edilebilmektedir. Piranometre ile panelin değişik noktalarında yapılan ölçümlerde  $270 \text{ W/m}^2$  ışınım değerleri elde edilmiştir. Halbuki, deneysel çalışmaların yapıldığı lokasyondaki güneş ışınım verilerinin 10.08.2020 tarihli dış ortam ölçümlerinde Şekil 4.10'da verildiği gibi  $1000 \text{ W/m}^2$  değerlerine ulaştığı görülmektedir. Dolayısı ile gerçek saha uygulamalarında verilen senaryolarda ölçülen değerlerden daha fazla GES katkısı olacaktır.



Şekil 4.10. MCBÜ Mühendislik Fakültesi güneş ışınımı verileri

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, elektrik güç sistemine yeni üretim birimlerinin yanı sıra talep tarafında da yeni yükler entegre olmakta ve bu yapılar genel itibariyle yenilenebilir enerji sistemleri gibi kesintili ya da elektrikli araçlar gibi mobil yüklerden oluşmaktadır. Dolayısı ile bu gibi değişkenlikler güç sisteminin işletiminde bazı önemli problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda güç sistemi akıllı şebeke konseptinde mikro şebekeler haline dönüştürülmekte ve dağıtık üretim sistemleri entegre edilerek merkezi olmayan yaklaşımla yönetilmek üzerine evirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında enerji depolama sistemi içeren bir akıllı şebekenin sürdürülebilir işletimi için durum izleme ve kontrol algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma sistemin puant yükünü, dağıtım sistem operatörünün talebini ve talep esnasındaki enerji birim fiyatı durumlarını dikkate alarak batarya paketini sisteme entegre edebilmektedir. Ayrıca, geliştirilen algoritma, yenilenebilir enerji kaynağı olarak PV üretim biriminin batarya paketini şarj etme koşullarını belirlenen akış çerçevesinde yerine getirmekte ve fazla üretim gibi durumlarda ise üretilen enerjinin batarya paketinin şarj edilmesi işleminde kullanılmasını sağlamaktadır.

Laboratuvar ortamında deney düzeneği kullanılarak farklı senaryolar altında test edilen algoritmanın termik santralden gerçekleştirilen tüketimi azalttığı görülmüştür. Puant zaman dilimleri ile birlikte plansız enerji kesintisi olması durumları da göz önünde bulundurularak ve dağıtım sistem operatörü talebine de bağlı olarak güç sisteminde işletim esnekliği sağlayabilecek bir işleyişe ilişkin farklı çalışma senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolara ilişkin deneysel veriler analiz edilerek batarya paketinin sisteme olan katkısı değerlendirilmiştir.

Puant zaman aralığında yük talebinin ortalama yükten daha fazla olması hem şebeke sistemi bileşenlerini zorlamakta hem de müşteri tarafındaki maliyeti arttırabilmektedir. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte şarj istasyonlarının sayısının artacak olması ve böylece enerji talebinin dağılımının daha değişken hale gelecek olması gibi durumlar nedeniyle enerji depolama sistemlerinin

boyutlandırılarak talep halinde dağıtım sistemlerinde kullanılabilir hale getirilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın devamında, dağıtım şebekeleri açısından trafo bazında arıza tahminleme programları ile bu çalışmada geliştirilen algoritma üzerinden enerji kesintisi yaşanmadan batarya paketlerinin güç sistemine daha hızlı entegrasyonu üzerine çalışılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Vu, K., Begovic, M., Novosel D. Grids get smart protection and control. IEEE Comput. Appl. Power. 1997, 10(4), 40–44.
- [2] Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L. Distributed generation: A definition. Electr. Power Syst. Res. 2001, 57(3), 195–204.
- [3] Lasseter, J., Akhil, A., Marnay, C., Stephens, J. Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS MicroGrid Concept. 2003, 32s.
- [4] Hauser, C., Bakken, D., Anjan, B. A Failure to Communicate. IEEE Power Energy Mag. 2005, 47-55.
- [5] Pendarakis, D., Shrivastava, N., Zhen, L., Ambrosio, R. Information aggregation and optimized actuation in sensor networks: Enabling smart electrical grids. IEEE INFOCOM. 2007, 2386–2390.
- [6] Caralis, G., Rados, K., Zervos, A. On the market of wind with hydro-pumped storage systems in autonomous Greek islands. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010, 14(8), 2221–2226.
- [7] Roberts, B., Sandberg, C. The role of energy storage in development of smart grids. Proceedings of the IEEE. 2011, 99(6), 1139–1144.
- [8] Hung, D., Mithulananthan, N. Community energy storage and capacitor allocation in distribution systems. 21st Australasian Universities Power Engineering Conference, 2011, AUPEC.
- [9] Alwakeel, S., Altwaijry, H., Ammad-Uddin, M. Class based P-persistent scheme for smart grid load balancing. IEEE Electrical Power and Energy Conference. 2012, 196–201.
- [10] Huq, K., Baran, M., Lukic, S., Nare, O. An Energy Management System for a community energy storage system. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. 2012, 10.1109/ECCE.2012.6342532.
- [11] Shahnia, F., Wishart, M., Ghosh, A. Voltage regulation, power balancing and battery storage discharge control by smart demand side management and multi-objective decision making. Australasian Universities Power Engineering Conference, 2013, AUPEC.
- [12] Isono, E., Ebata, Y., Isogai, T., Hayashi, H. Development of battery aggregation technology for smart grid. IEEE Grenoble Conference PowerTech, 2013, POERTECH.
- [13] Sechilariu, M., Wang, B., Locment, F. Building-integrated microgrid: Advanced local energy management for forthcoming smart power grid communication. Energy Build. 2013, 59, 236–243.
- [14] Temiz, A., Kahraman, Ö., Şahin, C., Nadar, A. Akıllı şebekeler için haberleşme çözümü - A communication solution for smart grids. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü. Ankara, 2013, 6s.
- [15] Atasoy, T., Akinc, H., Ercin, O. An analysis on smart grid applications and grid integration of renewable energy systems in smart cities. International Conference on Renewable Energy Research and Applications. 2015, 5, 547-550
- [16] Shahid, A. Smart Grid Integration of Renewable Energy Systems. 7th International IEEE Conference on Renewable Energy Research and Applications. 2018, ICRERA, 944–948
- [17] Tozak, M. Bir Akıllı Şebeke Sisteminin Modellenmesi, Simülasyonu ve Deneysel Olarak Doğrulanması. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2020, 98 s. (Yüksek Lisans Tezi).

- [18] Farhangi, H. The path of the smart grid. *IEEE Power Energy Magazine*. 2010, 8(1), 18–28.
- [19] Mustafa, M. *Smart Grid Security: Protecting Users' Privacy in Smart Grid Applications*. The University of Manchester, The Faculty of Engineering and Physical Sciences, Manchester, 2015, 286 s. (Degree of Doctor Thesis)
- [20] Borlase, S. *Smart Grids: Infrastructure. Technology and Solutions*. 2013, 73, 591 s.
- [21] Yusufoglu, G. "Akıllı Şebeke ve Getirisi," 2015. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.kontrolkalemi.com/akilli-sebeke-ve-getirisi/>. [Erişim: 17-Nisan-2020].
- [22] Tanrıöven, K., Yararbaş, S., Cengiz, H., Geleceğin Elektrik Dağıtım Şebekesi Smart Grid. *Elektr. ve Bilgi. Sempozyumu*. 2011, 52–55
- [23] Rahman, G., Bin, F., Chowdhury, R., Mahfuz, S. Summary of Smart Grid : Benefits and Issues. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 2013, 4(3), 1–7.
- [24] Dönmez, M., Akıllı Şebekeler ve Entegrasyon (Smart Grids and Integration). Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektr. Şebekesinin Geleceği Sempozyumu. 2013, 1-9.
- [25] Ludger, B., Tanja, S., Petra, B., Hans-Jürgen, A., Mathias, U. *IT-Architectureentwicklung im Smart Grid*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
- [26] Şen, O. "Dünya'daki Akıllı Şebeke Uygulama Çalışmaları." [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/dunyadaki-akilli-sebeke-uygulama-calismalari/4200#ad-image-0>. [Erişim: 30-Mart-2020].
- [27] Kırmızıoğlu, E. Akıllı Şebeke Stratejileri ve Örnek Projeler. *EMO Bilim. Dergisi*. 2003, 1-4.
- [28] "Telegestore (Smart Grid Project) | Open Energy Information." [Çevrimiçi]. Available at: [https://openei.org/wiki/Telegestore\\_\(Smart\\_Grid\\_Project\)](https://openei.org/wiki/Telegestore_(Smart_Grid_Project)). [Erişim: 30-Mart-2020].
- [29] Rogai, S. *ENEL Telegestore Project*. ENEL Distribuzione SpA. Geneva, 2006, 29 s.
- [30] "Becoming an Enemalta customer - Enemalta." [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.enemalta.com.mt/services/becoming-enemalta-customer/>. [Erişim: 30-Mart-2020].
- [31] Deloitte, D. Akıllı Sayaç Sistemleri: Avrupa uygulamaları analizi ve Türkiye uygulamaları üzerine düşünceler. 2015, 32 s.
- [32] EDF (Électricité de France), Reference Document 2017 and Annual Financial Report. 2018, 508 S.
- [33] Akcanca, M., Taşın, S. Akıllı Şebeke Uygulanabilirliği Açısından Türkiye Elektrik Enerji Sisteminin İncelenmesi. Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektr. Şebekesinin Geleceği Sempozyumu. 2013, 131–135.
- [34] E. ELDER, Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi. 98 s.
- [35] Kötek, S. "Türkiye'nin 2035 akıllı şebeke vizyonu," *TAŞ2023*. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.enerjigunlugu.net/turkiyenin-2035-akilli-sebeke-vizyonu-aciklandi-26999h.htm>. [Erişim: 04-Nisan-2020].
- [36] Biswas, M., Azim, S., Saha, T., Zobayer, U., Urmi, M. Towards Implementation of Smart Grid: An Updated Review on Electrical Energy Storage Systems. *Smart Grid Renew. Energy*. 2013, 4(1), 122–132.
- [37] European Commission, "The future role and challenges of Energy Storage,"

- 2013.
- [38] Blume, S. Global Energy Storage Market Overview & Regional Summary Report. Mawson, Australian, 2015, 26 s.
- [39] U.S. Department of Energy, “Grid Energy Storage Report,” 2013.
- [40] Eyer, J., Corey, G. Energy storage for the electricity grid: Benefits and market potential assessment guide. A study DOE Energy Storage Systems Program. 2010, 232 s.
- [41] Whittingham, M. S., History, evolution, and future status of energy storage. Proceedings of the IEEE. 2012, 1518–1534, 10.1109/JPROC.2012.2190170.
- [42] Smith, S., Sen, P., Kroposki, B. Advancement of energy storage devices and applications in electrical power system. IEEE Power and Energy Society 2008 General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. PES, 2008, 10.1109/PES.2008.4596436.
- [43] Divya, K., Østergaard, J., Battery energy storage technology for power systems-An overview. Electric Power Systems Research. Elsevier, 2009, 79(4), 511–520.
- [44] Ferreira, H., Garde, R., Fulli, G., Kling, W. Characterisation of electrical energy storage technologies. Energy. 2013, 53, 288–298.
- [45] Koochi-Kamali, S., Tyagi, V., Rahim, N., Panwar, L., Mokhlis, H. Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Pergamon, 2013, 25, 135–165.
- [46] Zhang, Y., Sun, W., Wang, L., Wang, H., Green, R., Alam, M. A multi-level communication architecture of smart grid based on congestion aware wireless mesh network. NAPS 2011 - 43rd North American Power Symposium. 2011.
- [47] Wang, W., Xu, Y., Khanna, M. A survey on the communication architectures in smart grid. Computer Networks. Elsevier B.V. 2011, 55(15), 3604–3629.
- [48] “Tesla Megapack.” [Çevrimiçi]. Available at: [https://www.tesla.com/en\\_eu/megapack](https://www.tesla.com/en_eu/megapack). [Erişim: 22-Haziran-2020].
- [49] “Zorlu Enerji Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Noktaları.” [Çevrimiçi]. Available at: <https://zes.net/sarj-noktalari.html>. [Erişim: 22-Aralık-2020].
- [50] “eŞarj Elektrikli Araç İstasyon Haritası.” [Çevrimiçi]. Available at: <https://esarj.com/harita>. [Erişim: 22-Aralık-2020].
- [51] Yagcitekin, B., Uzunoglu, B., Karakas, A. Elektrikli Araçların Şarjı Ve Dağıtım Sistemi Üzerine Etkileri. Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisleri Sempozyumu. TMMOB EMO. 2011, 316–320.
- [52] Dharmakeerthi, C., Mithulanathan, N., Saha, T. Overview of the impacts of plug-in electric vehicles on the power grid. 2011 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies. ISGT Asia 2011 Conference: Smarter Grid for Sustainable and Affordable Energy Future. 2011, 10.1109/ISGT-Asia.2011.6167115.
- [53] Gökkoyun, S. “Elektrikli ve hibrit otomobil sayısı bir yılda üçe katlandı,” Anadolu Ajansı, 2020. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/elektrikli-ve-hibrit-otomobil-sayisi-bir-yilda-uce-katlandi>. [Erişim: 14-Mart-2020].
- [54] Hassan, M. Peak-Load Pricing. March, 2017, 10.13140/RG.2.2.29651.17447.
- [55] “National Instruments Support.” [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.ni.com/en-tr/support.html>. [Erişim Tarihi: 25-Aralık-2020].
- [56] Türker, T. GÜÇ SİSTEM ANALİZLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞE ETKİLERİ. SIEMENS San. Tic. A.Ş. 2015, 3 s.
- [57] Operation Tech.Inc., ETAP 12.6 Guía del Usuario ®, 2014, 4844 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Turhan ATICI  
Doğum Yeri ve Yılı : Soma, 1995  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : aticiturhan@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Rıfat Dağdelen Anadolu Lisesi, 2013  
Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2017  
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2021

### Mesleki Deneyim

ÖZ-BAY YAPI DENETİM LTD. ŞTİ. 2018-2020  
YASKAWA İZMİR  
STANDART ELEKTRONİK ELEKT. OTOM. MAK. SAN. TİC. A.Ş. 2017-2018  
İLKE ENDÜSTRİYEL  
BOYAMA SİSTEMLERİ VE OTOMASYON A.Ş. 2017