

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SCADA
SİSTEMLERİ VE ARIZA ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER ÇELEBİ

DANIŞMAN
DOÇ. DR. BEHÇET KOCAMAN

AĞUSTOS 2024

BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SCADA
SİSTEMLERİ VE ARIZA ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER ÇELEBİ
ORCID: 0000-0002-2199-5719

DANIŞMAN
DOÇ. DR. BEHÇET KOCAMAN

AĞUSTOS 2024
BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisiyim. Hazırlamış olduğum “Elektrik Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sistemleri ve Arıza Analizleri” başlıklı tezimde sunduğum bilgileri, dökümanları ve verileri etik ile akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi; tüm belge değerlendirme, bilgi ve sonuçları bilimsel etik çerçevesinde ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu; tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 27/08/2024

İmza
Ömer ÇELEBİ

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ YAZIM KILAVUZU UYGUNLUK BEYANI

“Elektrik Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sistemleri ve Arıza Analizleri”
başlıklı yüksek lisans tezi Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez
Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır. 27/08/2024

Tezi Hazırlayan

Ömer ÇELEBİ

Danışman

Doç. Dr. Behçet KOCAMAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY SAYFASI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Ömer ÇELEBİ tarafından hazırlanan “Elektrik Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sistemleri ve Arıza Analizleri” adlı Yüksek Lisans Tezi ile ilgili tez savunma sınavı, 27/08/2024 tarihinde yapılmış ve tezin oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

JÜRİ:

İMZA

Danışman: Doç. Dr. Behçet KOCAMAN
(Bitlis Eren Üniversitesi)

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
(Bitlis Eren Üniversitesi)

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM
(Batman Üniversitesi)

.....

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararıyla jüri tarafından kabul edilmiş bu çalışmanın yüksek lisans / doktora tezi olarak kabulü onaylanmıştır.

..../09/2024

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL
Enstitü Müdürü

T.C.
Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı
ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SCADA SİSTEMLERİ VE ARIZA
ANALİZLERİ
Yüksek Lisans Tezi
Ömer ÇELEBİ
Danışman: Doç. Dr. Behçet KOCAMAN
Ağustos 2024
ÖZET

Dünyada her geçen gün enerjiye olan ihtiyacın artış göstermesi elektrik dağıtım şebekelerinin genişlemesine ve talebin daha da artmasına neden olmaktadır. Enerji ihtiyacı dünyada her gün arttığı için enerji sektöründeki teknolojik gelişmeler ve kaliteli enerji kullanmak için ülkemizde de ön plana çıkmaya başlamıştır. Bunların başında elektrik dağıtım şebekelerinde merkezi kontrol ve veri toplama sistemi ile dağıtım yönetim sistemleri yerini almaktadır. Elektrik dağıtım şirketlerinin en önemli işlevlerinden bir tanesi, arıza yerini en kısa sürede bulmak ve arızayı onarmaktır. Fakat arıza servislerinin uyguladığı klasik yöntemler kesinti süresini uzattığı gibi tehlike ve zararlar da meydana getirebilmektedir. Bu sebeple elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar gözetleyici kontrol ve veri toplama sistemi gibi otomasyonlu çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, elektrik dağıtım şebekesinin uzaktan izlenmesi, analiz edilmesi, kontrol edilmesi ve arıza analizleri konuları açıklanmıştır. Tüm bunlarla birlikte merkezi kontrol ve veri toplama sistemi (SCADA) elektrik dağıtım şebekelerindeki teknik olmayan enerji kayıplarının azaltılmasında, önemli bir katkısı olduğu sonucuna varılmıştır. Elektrik dağıtım şirketleri için arızaların hızlı bir şekilde tespit edilip onarılması, hizmet sürekliliği açısından büyük önem taşır. Ancak, geleneksel arıza yöntemleriyle çözüme ulaşmak zaman almaktadır. Arıza tespiti ile onarımı sürecinde çeşitli sorunlar ortaya çıkarabilmektedir. Bu bağlamda, SCADA, gibi otomasyonlu çözümler önemli bir avantaj sunar. SCADA sistemleri, enerji şebekelerinin her noktasından veri toplar, bu verileri analiz eder. Sistemin performansını gerçek zamanlı olarak izler. Bu sistemler, arızaları verilerle hızlı bir biçimde tespit edilmesine ve yönetilmesine olanak sağlar. Enerji kesintileri kısa süreli olur ve güvenlik

riskleri minimize edilir. Veri yönetim sistemi (DMS, Data Management System), dağıtım süreçlerini optimize ederek enerji akışını daha etkili bir şekilde yönetir.

Anahtar kelimeler: Enerji Sektörü, SCADA, Kayıplar, Veri İletişimi.



Republic Of Türkiye
Bitlis Eren University Graduate School
Department Of Electrical and Electronics Engineering
SCADA SYSTEMS AND FAILURE ANALYSIS IN ELECTRICITY
DISTRIBUTION NETWORKS
Master Thesis
Ömer ÇELEBİ
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Behçet KOCAMAN
August 2024
ABSTRACT

This thesis study emphasizes the necessity of automated solutions in power distribution networks to meet the increasing demands in the energy sector. The growing need for energy worldwide is leading to the expansion of electrical distribution grids and a further increase in demand. As energy needs rise globally, technological advancements in the energy sector and the use of quality energy have also started to come to the forefront in our country. Among these, centralized control and data collection systems, along with distribution management systems in electrical distribution grids, play a key role. One of the most important functions of electricity distribution companies is to locate faults as quickly as possible and repair them. However, the traditional methods used by fault service teams not only prolong outage times but can also lead to dangers and damages. For this reason, automated solutions such as supervisory control and data acquisition systems are needed throughout the entire process from energy production to consumption.

This thesis explains topics such as remote monitoring, analysis, control, and fault analysis of the power distribution network. Additionally, it is concluded that Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems contribute significantly to reducing non-technical energy losses in electrical distribution networks. For electricity distribution companies, quickly detecting and repairing faults is crucial for service continuity. However, reaching a solution with traditional fault methods can take time and lead to various issues during fault detection and repair. In this context, automated solutions such as SCADA offer significant advantages. SCADA systems collect data from every point in the energy network, analyze this data, and monitor the system's performance in real-time. These systems allow faults to be quickly detected

and managed with data. Power outages are brief, and safety risks are minimized. The Data Management System (DMS) optimizes distribution processes and manages energy flow more efficiently.

Keywords: Energy Sector, SCADA, Losses, Data Communication.



ÖNSÖZ

Günümüzde dünya nüfusunun her geçen gün artması ve teknolojiye yaşanan ilerlemeler neticesinde elektrik enerjisi kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Bu artan ihtiyacı karşılamak için elektrik enerjisi üretiminin artırılması gerekmektedir. Elektrik enerjisi üretim ve tüketimin artmasıyla birlikte kesintisiz elektrik enerjisinin önemi de artmaktadır. Elektrik enerjisinin üretiminden başlayıp tüketimin son noktasına kadar kesintisiz ve enerji arzının karşılanması kaçınılmaz bir hal almıştır. Elektrik enerjisi tüketiminin artması, beraberinde maliyetleri de yükseltmektedir. Bu durum, daha ekonomik olacak yeni enerji kaynaklarının arayışına neden olmaktadır. Dolayısıyla enerji kaynaklarının kaliteli, verimli ve kesintisiz kullanılması gerekmektedir.

Elektrik dağıtım sisteminde oluşan kesinti ve kayıplar nedeniyle enerjinin kullanıcıya/tüketiciye kaliteli bir şekilde sunulamaması, hem sanayiye hem de ülkelerin milli ekonomilerine büyük zararlar verebilmektedir. Her gün giderek artan bir taleple karşı karşıya olan enerji sektörünün bu talepleri sağlıklı bir biçimde karşılaması ancak sağlıklı bir altyapı ile mümkündür. Kaliteli bir enerjinin kullanıcılara sunulması, şebekede meydana gelebilecek arızaların önceden bilinip engellenmesi ve iyi bir altyapının oluşturulması için merkezi kontrol ve veri toplama sistemlerinin kullanılması günümüz şartlarında giderek artan bir gereklilik olarak ön plana çıkmaktadır. Herhangi bir yapıyı iyileştirebilmek için teknik olarak ölçüm yapılması gerekmektedir. Ölçülemeyen hiçbir sistemde iyileştirme yapılamaz. Ölçüm bilgileri çoğu kez yeterli olmamakla birlikte ham verilerin analiz edilebilmesi için işlenmesi şarttır. Karar mekanizmasının doğru, kesin ve hızlı bir şekilde çalışması için teknolojinin gücünden faydalanılarak ölçüm ve analizlerin yapıldığı otomasyon sistemlerinin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Buna uygun olarak SCADA sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, fabrikasyon ve altyapı SCADA olmak üzere iki gruba ayrılır. Fabrikasyon SCADA'ları önceden tanımlanmış bir iş akışını belirli bir zaman diliminde insan katkısını asgari düzeyde tutmak, üretimi daha kaliteli ve kısa sürede gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Altyapı SCADA'larında ise önceden tanımlı bir iş akış bulunmamakta, tam tersine otomasyon sistemi beklenmeyen arızalar ve bu arızaları ortadan kaldırmak için tasarlanmaktadır. Altyapı şebekesinin analizi yapılarak çıkması muhtemel problemler önceden görülerek gerekli tedbirler alınır. Bu çalışmada, SCADA sistemleri hakkında temel bilgiler ve altyapı çalışmalarında SCADA ve arıza analizleri

hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, Vangölü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (VEDAŞ) Bitlis İl Müdürlüğünde SCADA olarak kullanılan ve elde edilen veriler ile elektrik dağıtım şebekelerinde arıza analizleri ile kesintisiz ve kaliteli bir şekilde tüm kullanıcılara ulaştırılan enerjinin önemi ve etkisi incelenmiştir.

Yapılan tez çalışmasının her aşamasında desteğini esirgemeyen, yönlendirmeleriyle çalışmamı biçimlendiren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, danışman hocam Doç. Dr. Behçet KOCAMAN'a teşekkür ederim. Tez çalışması için kullanılan verilerin elde edilmesinde yardımlarını esirgemeyen VEDAŞ Şirket Müdürlüğü yetkililerine ve çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ömer ÇELEBİ

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	III
ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
KISALTMALAR	XIII
SİMGELER	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. SCADA Sistemleri	2
1.2. SCADA Sistemlerinin Özellikleri.....	4
1.3. Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Kararlılığı ve SCADA Sistemleri İle Kombinasyonu	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
2.1. Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sistemleri	8
2.2. Dağıtım Şebekelerinde SCADA sisteminde Kullanılan Kontrol Sistemi ve Merkezi Kumanda Yapısı.....	9
2.2.1. SCADA Kontrol Merkezleri Programı	11
2.2.2. Merkezi Kumanda ve Kontrol Sistemi Fonksiyonları	12
2.3. Uzak Uç Birimi (RTU, Remote Terminal Unit).....	13
2.3.1. TM1703 ACP RTU Özellikleri.....	15
2.3.2. TM1703 EMİC RTU Özellikleri	16
2.4. Haberleşme protokolleri	18
2.4.1. IEC 61850 Haberleşme Protokolü	19
2.4.2. IEC 60870-xxx seri protokolleri.....	19
2.4.3. Modbus Haberleşme protokolü	20
2.5. Yüksek Gerilim ve Alçak Gerilim Ölçüm Teknikleri	20
2.6. Aşırı Akım Koruma Röleleri	23
2.7. Modem	27
2.8. Redresörler(Aküler)	28
2.9. Hücreler	28

2.10. Ölçüm ve Kontrol Amaçlı Olarak Kullanılan Algılayıcılar	29
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
3.1. Elektrik Dağıtım Şebekelerinde SCADA Kullanılan Merkezler	33
3.1.1. DM-KÖK-İM Merkezleri	34
3.1.2. Otomatik Tekrar Kapamalı Kesiciler ve Otomatik Yük Ayırıcıları ..	34
3.1.3. Havai Hat Arıza Gösterge Cihazları	40
3.1.4. PLC Sayaçların SCADA ile Kontrol Altına Alınması	42
3.2. Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sisteminin Arıza Çözümü Noktasındaki Analizi.....	49
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. SCADA kurulduktan sonra ortalama kesinti süreleri **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**3

Çizelge 3.2. SCADA sistemleri fider açma sayıları üzerinde analizleri55



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. VEDAŞ bölgesi örnek SCADA enerji akış şeması	1
Şekil 1.2. Klasik SCADA şeması.....	3
Şekil 1.3. Modem kullanımlı SCADA sistemleri GPRS kullanım yapısı	6
Şekil 2.1. VEDAŞ SCADA kontrol ve kumanda merkezi	10
Şekil 2.2. SCADA sistemlerinde genel yapı mimarisi	11
Şekil 2.3. SIEMENS spectrum VEDAŞ ekran görüntüsü tek hat şeması.....	12
Şekil 2.4. RTU pano dış görünümü	14
Şekil 2.5. TM 1703 ACP RTU ve çevresel birimleri	15
Şekil 2.6. TM 1703 EMİC RTU	16
Şekil 2.7. RTU'nun pano içi montajı.....	17
Şekil 2.8. DM'de kullanılan RTU pano iç görünümü	18
Şekil 2.9. Gerilim ölçü transformatörleri tek hat şeması	21
Şekil 2.10. YG seviyesinde ölçümde kullanılan mesnet tipi akım transformatörü	23
Şekil 2.11. Aşırı Akım Koruma rölesinin ön ve arka görünümü	24
Şekil 2.12. Röle programı atama işlemleri.....	24
Şekil 2.13. Aşırı akım koruma Rölesinin Montaj yeri.....	25
Şekil 2.14. Röle üzerinde bulunan led görünümü	26
Şekil 2.15. THYTRONIC NA11 serisi Rölesine ait iç görünüm şeması.....	26
Şekil 2.16. RTU içerisinde bulunan modem görünümü	27
Şekil 2.17. DM içerisinde bulunan Redresör	28
Şekil 2.18. Modüler hücreler (MMMh)	29
Şekil 2.19. Transformatör tavan kısmında bulunan yangın dedektörü.....	29
Şekil 2.20. DM kapı girişinde bulunan pır dedektörü	30
Şekil 2.21. DM giriş kapısında bulunan kapı switchi.....	30
Şekil 3.1. VEDAŞ bölge geneli SCADA kurulan merkezler.....	31

Şekil 3.2. VEDAŞ’a ait örnek tek hat şeması SCADA kontrol ve izleme diyagramı	32
Şekil 3.3. SCADA haberleşme şeması	33
Şekil 3.4. VEDAŞ Bitlis İlinden örnek Dağıtım merkezi.....	34
Şekil 3.5. Geçici arızaların oluşma durumları.....	35
Şekil 3.6. Recloser (Otomatik Tekrar kapamalı Kesici).....	36
Şekil 3.7. Van İli Gevaş ilçesinde montajı yapılan Direk Tipi Otomatik Tekrar Kapamalı Kesici	37
Şekil 3.8. Otomatik Yük Ayırıcıları	37
Şekil 3.9. Van Gevaş ilçesinde montajı yapılan otomatik yük ayırıcısı(Sectionalizer) .	38
Şekil 3.10. Kumanda Kontrol Panosu.....	39
Şekil 3.11. Örnek bir enerji nakil hattının K noktasında oluşan kalıcı bir kısa devre arızası varsayım simülasyonu.....	39
Şekil 3.12. Havai hat arıza gösterge cihazı	41
Şekil 3.13. Bitlis ili Hizan fiderinden branşman alan ve çıkışına takılan haberleşmeli arıza gösterge cihazının sahadaki montajı	42
Şekil 3.14. PLC sayaçlarla haberleşme argümanları	43
Şekil 3.15. PLC haberleşme alt yapısı şeması.....	44
Şekil 3.16. Ana dağıtım panosunda bulunan veri toplama ünitesi	45
Şekil 3.17. Monofaze direk tipi PLC sayaç montaj örnekleri.....	46
Şekil 3.18. Binalarda yatay elektrik panosuna sayaç montajı.....	47
Şekil 3.19. Box panoya sayaç montajı.....	47
Şekil 3.20. Giriş ekranı (Metrum, 2024).....	48
Şekil 3.21. Luna Metrum ana sayfa görünümü (Metrum, 2024).....	48
Şekil 3.22. Luna Metrum görev paneli okuma ekranı (Metrum, 2024).....	49
Şekil 3.23. Çağrı merkezinden gelen veya OSOS’nden arıza gelen bölgenin konum bilgisi, adres bilgileri, oluşturulan tarih, kapatma tarih ve diğer bilgiler	51
Şekil 3.24. CRM Çağrı merkezi kanalıyla gelen çağrı	52

Şekil 3.25. VEDAŞ bölgesi SCADA enerji akış şeması(kırmızı noktalar enerjinin kesik olduğu bölgeleri göstermektedir)..... 54



KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım, Alternating Current
AG	: Alçak Gerilim
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, American National Standard Institute
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CPU	: Merkezi İşlem Birimi, Central Processing Unit
CRM	: Müşteri İlişkileri Yönetimi, Customer Relationship Management
DC	: Doğru Akım, Direct Current
DCU	: Veri kontrol Ünitesi, Data Concentrator Unit
DIN	: Alman Standardizasyon Enstitüsü, Deutsches Institut für Normung,
DM	: Dağıtım Merkezi
DMS	: Veri yönetim sistemi, Data Management System
DYS	: Dağıtım Yönetim Sistemi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPRI	: Elektronik Güç Araştırma Enstitüsü, Electronic Power Research Institute
GES	: Güneş Elektrik Santrali
GPRS	: Genel Paket Radyo Servisi, General Packet Radio Service
GSM	: Mobil İletişim İçin Küresel Sistem, Global System for Mobile Communications
HES	: Hidroelektrik Santrali
IAC	: Entegre Yardımcı İletişimi, Integrated Auxiliary Communication
IEC	: Uluslararası Elektroteknik komisyonu, International Electrotechnical Commission,
IP	: İnternet protokolü, Internet Protocol

kV	: Kilo Volt
kWh	: Kilo Watt Saat
LAN	: Yerel ağ bağlantısı, Local Area Network
LCD	: Sıvı Kristal Ekran, Liquid Crystal Display
LED	: Işık Yayan Diyot, Light Emitting Diode
MODİCON	: Modüler Dijital Kontrolör, Modular Digital Controller
MWh	: Mega Watt Saat
OG	: Orta Gerilim
OMS	: Kesinti yönetim Sistemi, Operational Managment System
OSOS	: Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
PLC	: Programlanabilir Lojik Denetleyici, Programmable Logic Controller
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
RF	: Radyo Frekansı
RTU	: Uzak Uç Birimi, Remote Terminal Unit
SAIDI	: Sistem Ortalama Kesinti Süresi İndeksi, System Average Interruption Duration Index
SAIFI	: Sistem Ortalama Kesinti Sıklığı İndeksi, System Average Interruption Frequency Index
SCADA	: Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi, Supervisory Control and Data Acquisition
SDK	: Saha Dağıtım Kutusu
TCP	: İletim kontrol protokolü, Transmission Control Protocol
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	: Toplam Enerji Kayıpları
TKK	: Tekrar Kapamalı Kesici
UCA	: Kamu Hizmeti İletişim Mimarisi, Utility Communications Architecture

VEDAŞ : Vangölü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
YG : Yüksek Gerilim
XML : Genişletilebilir Biçimlendirme Dili, Extensible Markup Language
WAN : Geniş alan ağı, Wide Area Network

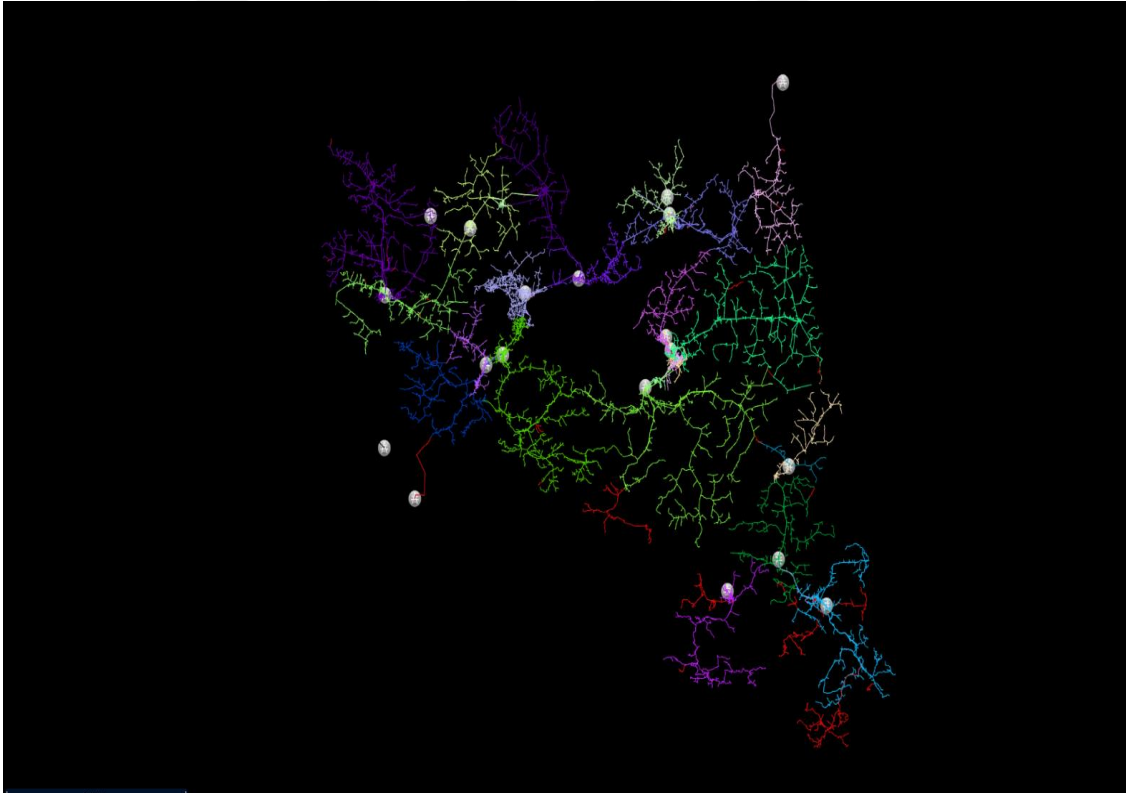


SİMGELER

A	: Amper
$\cos\phi$	: Güç Faktörü
f	: Frekans
P	: Aktif Güç
R	: Direnç
S	: Görünür Güç
V	: Volt
W	: Watt

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte enerji talebi de önemli ölçüde artış göstermektedir. Küresel çapta enerji tüketimi arttıkça, enerji verimliliği de giderek daha da kritik hale gelmiştir. Bu bağlamda, ülkemizde enerji verimliliği çalışmaları zorunlu hale getirilmiş ve bu çalışmalar sonucunda teknoloji alanında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Enerji kullanımının verimli bir şekilde yönetilmesi, kesintilerin ve kayıpların minimize edilmesi gerekmektedir. Elektrik dağıtım ağlarında meydana gelebilecek arızaların hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve müdahale edilmesi; sistemlerin uzaktan izlenmesi ve gerektiğinde uzaktan müdahale edilmesi olanaklı hale gelmiştir. Bu doğrultuda, dağıtım şirketleri ve enerji üretim sistemleri, verilerini toplayıp analiz edebilecekleri sistemler geliştirmişlerdir. Bu tür ihtiyaçları karşılamak üzere SCADA sistemleri tasarlanmıştır. SCADA sistemlerinin geçmişi ve gelişim süreçlerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Elektrik dağıtım şebekeleri için VEDAŞ'tan örnek bir SCADA enerji akış şeması Şekil 1.1'de verilmiştir [1].



Şekil 1.1. VEDAŞ bölgesi örnek SCADA enerji akış şeması

Şekil 1.1'de verilen şemadan ve örnek olarak verilebilecek basit veya karmaşık şemalardan da anlaşılacağı üzere; enerji akışının izlenimi ve takibi SCADA sistemleri

ile yapılabilir hale gelmiştir. SCADA sisteminin daha geniş dağıtım ağına yayılması, ileri seviye izleme takibinin göstergesidir. Böylece kullanıcı veya dağıtıcı enerji akışına hâkim olmaktadır.

Günümüzde teknoloji alanında olan gelişmeler ile birlikte enerjiye olan ihtiyaçlarında aynı düzeyde artmaya başladığı görülmektedir. Dünya genelinde enerjinin kullanımının artması ile enerji verimliliğinin de önemi artmıştır. Buna bağlı olarak da enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalar ülkemizde de zorunlu hale gelmiştir. Verimlilik alanında yapılan çalışmalarla birlikte teknolojide de yeni gelişmeler görülmektedir. Elektrik enerjisine olan talebin her geçen artması ve bu talebin karşılanması için elektrik üretim, iletim ve dağıtım şebekelerinin verimli bir alanda kullanılması önem arz etmektedir. Bu nedenle, enerji verimliliği konusunda birçok çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte aynı zamanda tüketimi yapılan enerjinin kontrol altına alınması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin kontrol altına alınabilmesi için elektrik enerjisinin ölçülmesi, enerji giderlerinin kontrol altına alınması, kullanılan enerjinin analizinin yapılması ve enerjinin takibinin yapılması gerekir. Dolayısıyla yeni teknolojilerden faydalanılarak elektrik şebekelerinde kaliteli ve kesintisiz enerjinin sağlanması gerekmektedir.

Böylece yapılacak olan çalışmaların en doğru düzeyde yapılmasına olanak sağlanmaktadır. Hatta bu doğru tespitler ve çalışmalar sayesinde; yapılacak olan ekonomik yatırımın en doğru zaman ve yöntemle kullanılmasına olanak sağlanmıştır. Bu da mühendislik ilkesi olan en doğru çalışmayı en ucuz ve verimli şekilde yapılması ilkesinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır. Tüm bunlara ilave olarak; elektrik dağıtım şirketi çalışanlarının zamanlarının en doğru biçimde kullanması, olası arızaya doğru tespitle zaman kaybının önüne geçilmesi göz ardı edilemeyecek bir durumdur.

1.1. SCADA Sistemleri

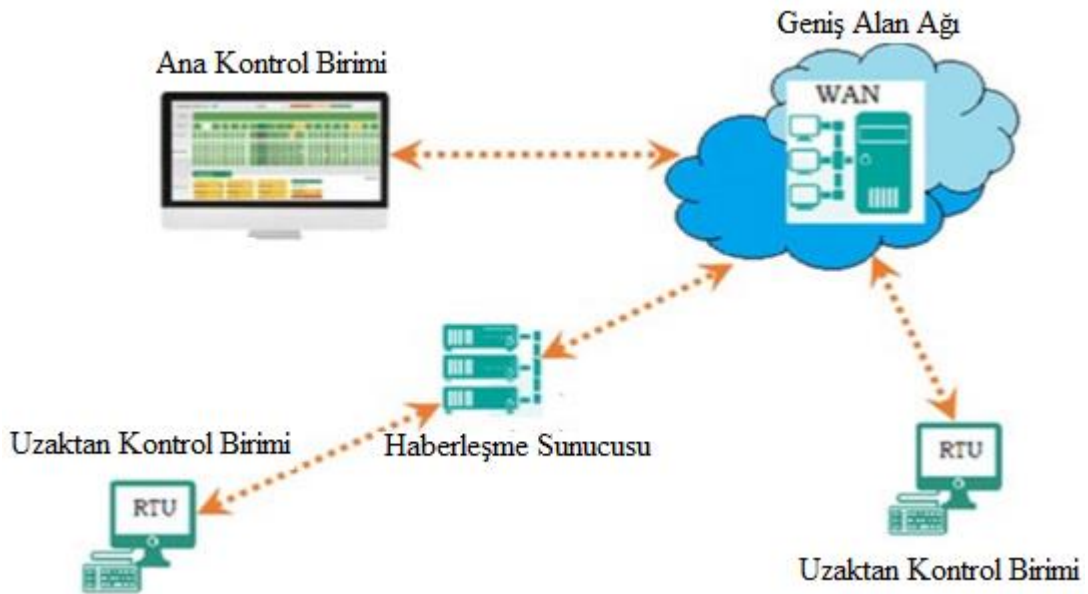
SCADA sistemlerinin tam olarak anlaşılabilmesi için kelime anlamından yapılan işlemlerin tam olarak anlaşılması gerekmektedir. SCADA terimi İngilizce "Supervisory Control and Data Acquisition" kelimelerinin ilk harflerinin okunması ile oluşturulan bir kısaltmadır. Türkçe anlamı ise; “merkezi kontrol ve veri toplama sistemi” olarak çevrilmiştir.

SCADA sistemleri, modern endüstriyel ve ticari tesislerde kapsamlı bir veri tabanlı kontrol ve izleme altyapısı sağlar. Bu sistemler, bir işletmedeki tüm

ekipmanların kontrolünden üretim planlamasına, çevresel denetim ünitelerinden destekleyici iş süreçlerine kadar geniş bir yelpazede otomatik kontrol ve izleme işlevlerini üstlenir. SCADA yazılımı, esas olarak izleme, kontrol, veri toplama, veri kaydı ve veri saklama gibi temel işlevleri sağlar.

Bu sistemler, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz imkânı sunar. İzleme işlevi, sistemin sürekli olarak performansını değerlendirmeye olanak tanırken, kontrol işlevi, çeşitli cihaz ve süreçleri merkezi bir noktadan yönetir. Veri toplama ve veri kaydı işlevleri, sistem performansını değerlendirmek ve optimize etmek için kritik öneme sahiptir. SCADA sistemleri, endüstriyel işlemlerde, üretim tesislerinde, enerji santrallerinde ve rafinerilerde çeşitli modlarda (sürekli, kesintili, tekrarlayan, ayırık) çalışabilir. Bu çok yönlülük, sistemlerin farklı operasyonel ihtiyaçlara uyum sağlamasını ve süreçlerin verimliliğini artırmasını mümkün kılar.

SCADA sistemlerinin sunduğu avantajlar arasında, süreçlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi, verimliliğin artırılması ve potansiyel sorunlara hızlı müdahale yer alır. Bu sistemler, merkezi kontrol birimlerinin ölçülen değerlerinin görmesini ve ihtiyaç duyulan komutların göndermesini sağlamaktadır. Böylece operasyonel riskler en aza indirilir ve sistem performansı optimize edilir. Temel SCADA haberleşme sistemi Şekil 1.2.'de belirtilmiştir [2, 30-34].



Şekil 1.2. Klasik SCADA şeması

Kontrol sistemlerinin vazgeçilmez elemanı olan SCADA, ilk olarak basit bir şekilde gösterge panelleri, ışık ve şerit şeklinde grafik kaydediciler aracılığıyla veri kazanımı sağlamıştır. Çeşitli kontrol düğmeleri ile manuel olarak operatör, denetim yöntemiyle kontrolü sağlıyordu. Bu aygıtlar; makinalar, üretim fabrikaları, güç üreten merkezlerde denetim, kontrol ve veri akışı sağlamaktadır [2].

Sensörler ile basit bir şekilde yönetilen SCADA sistemleri; yazılı programlaması yapılmaz ve sensör doğrudan panel üzerine bağlanarak ikaz verilirdi. Bu sistemler, modern SCADA sistemlerinin aksine gelişime ve uzaktan izlemeye imkân tanıımıyordu. Kullanılan bu sistemler şu anda gelişmemiş ve üretim kapasitesi az olan fabrika benzeri yerlerde kullanılan kumanda devrelerine benzetmek mümkündür [2].

Modern SCADA sistemlerinin haberleşme ile veri kazanımının üst düzeyde olduğu ve geliştirme imkânlarının bulunduğu sistemler ön plandadır. Modern SCADA sistemlerinde haberleşme sağlanabilmekte; haberleşmenin sağlandığı bir merkez bulunarak sistematik şekilde ilerleme sağlanabilmekte ve programlanmaya imkân verilmektedir [2].

İlk gelişim aşamalarında sadece uyarı ve benzeri prosesleri olan SCADA sistemlerinin; takiben veri işleme daha sonrasında da işlenen veri üzerinden kullanıcı komutuyla daha karmaşık hale geldiği söylenebilir. SCADA sistemlerin bu denli hızlı bir biçimde gelişmesi, sektörün bu emtiaya olan muhtaçlığının ve gerekliliğinin en büyük göstergelerindendir.

1.2. SCADA Sistemlerinin Özellikleri

Günümüzde bilgi ve teknolojinin gelişmesinin ürünü olan ve tüm iş alanlarında vazgeçilmez haline gelmiş olan güç hattı üzerinden haberleşme ve SCADA sistemlerinin, güvenilirliği, çeşitliliği ve fonksiyonelliği ispat edilmiştir. Ayrıca çok daha kullanılabilir duruma gelmiş ve teknoloji bakımından önemli yol almış durumdadır [3].

Bu gelişmelerin yanında, sistemin daha çok kontrolünün sağlanması adına; hızlı, güvenli vs. olabilmesi adına halen güncellemeler devam etmektedir.

SCADA sistemlerinin modern çağa uygun taşınmasını istediğimiz bazı özellikleri vardır. Genel anlamda SCADA sistemlerinden:

- Uzaktan izleme,
- Uzaktan kontrol edebilme,

- Verilerin toplanması,
- Verilerin depolanması istenmektedir.

Daha anlaşılır ifadeyle kurulan SCADA sistemlerinin kullanıldıkları lokasyon çalışma alanına kullanıcının hâkimiyetini sağlaması amacıyla uzaktan takibinin sağlanmasına olanak sağlaması gerekmektedir. Modern sistemlerde sisteme manuel olarak parametre girişi sağlanmalı ve parametreler işleme alınabilmelidir. Bu ve bunun gibi parametrelerin anlık veya periyodik aralıklarla takibinin sağlanması ve gerektiği takdirde sonuçların rapor halinde alınması gerekmektedir.

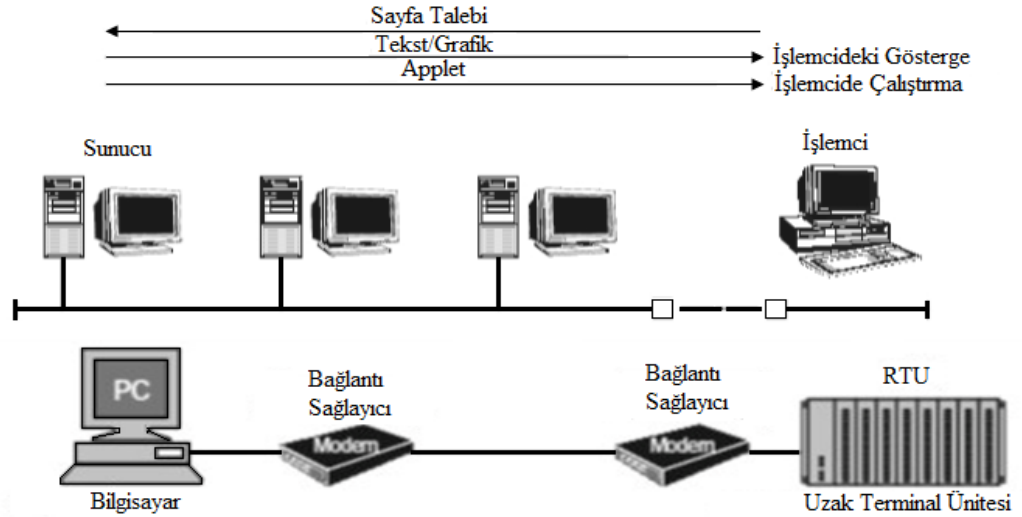
Ayrıca yukarıdaki maddelere ek olarak opsiyonel olarak, işlenen verilerin sonucunda, SCADA'nın kullanıldığı sisteme komut verilmesine olanak sağlayarak işlenen verinin sahada tam anlamıyla kullanılmasına olanak sağlanmış durumdadır. Buda tam anlamıyla sahada yüksek hızda müdahalelerin sağlanmasını sağlamaktadır.

SCADA sistemlerimizde bulunmasını istediğimiz donanım özellikleri;

- Merkezi işlem birimi (CPU, Central Process Unit) ve geçici bellek.
- Programları ve verileri depolamak için kalıcı bellek.
- Seri portlar aracılığıyla veya bazen yerleşik modem ile iletişim yeteneği.
- Güvenli güç kaynağı (Redresör).
- Zamanlayıcı (başarısızlıkta RTU'nun yeniden başlatılmasını sağlamak için).
- Olası durumlarda elektrik koruması.
- DI/DO/AI/AO'lara I/O ara yüzleri.
- Gerçek zamanlı saat olarak sıralanır [4].

SCADA sistemlerinde mimari olarak üç aşamada geliştiğini söylemek mümkündür. Birinci aşama ilk SCADA sistemlerinin kullanıldığı mimariydi. Bu mimaride ağ bağlantısı kullanılmayan bağımsız sistemlerdi. Bu sistemde ana bilgisayarlar kullanılıyordu [4].

İkinci aşama mimarisinde ise birden fazla anabilgisayar arasında bilgiler, yerel ağ bağlantısı (LAN, Yerel ağ bağlantısı, Local Area Network) aracılığıyla paylaşıldı. Bu aşamada kullanılan protokoller halen özeldi ve bu yüzden güvenlik problemleri halen devam etmekteydi [4]. Modem kullanımının şemalandırıldığı SCADA sistemleri genel paket radyo servisi (GPRS, General Packet Radio Service) kullanım yapısı Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Modem kullanımlı SCADA sistemleri GPRS kullanım yapısı

Şekil 1.3'te görüldüğü gibi üçüncü aşama ve şu anda kullanılan SCADA mimarisi, SCADA sisteminin internet protokolü (IP, Internet Protocol) veya geniş alan ağı (WAN, Wide Area Network) protokolleri üzerinden daha güvenli ve kaliteli olarak kullanılan mimaridir.

Birinci aşamada uzaktan kontrolün kablo aracılığıyla paylaşılması sistemin fiziksel olarak kontrolünün sürekli yapılmasını gerektiriyor. IP (İnternet protokolü, Internet Protocol) veya WAN (Geniş alan ağı, Wide Area Network) protokollerinin olmaması güvenlik açıklarını peşinde getiriyordu. Daha sonra gelişen teknoloji ve sistem sayesinde modemler aracılığıyla daha güncel şekilde haberleşmeler sağlanmıştır. Bu durum sayesinde güvenlik yönü daha iyi hale getirilmiştir. İkinci aşamayı açıklayacak olursak; bir ana bilgisayar birinci modeme veri akışı sağlamakta; birinci modem, ikinci modeme veriyi aktarmada; daha sonrasında ikinci modem işlemciye komutu bildirmektedir. Bu sistem SCADA'nın haricinde diğer haberleşme modüllerinde de kullanılmakta ve gelişmektedir.

1.3. Dağıtım Şebekelerinde Gerilim Kararlılığı ve SCADA Sistemleri İle Kombinasyonu

Dağıtım şebekeleri tesis edilirken ileriye dönüş güç ilavelerini düşünmek hayati önem arz etmektedir. Ancak buna rağmen tesis bölgelerinde planlanan güç seviyelerinde çok daha fazlasına çıkılabilmektedir. Bunlara ek olarak tarımsal sulama, üretim tesisleri gibi tesislerin bulundukları yerlerde, müşterilerin/tüketicilerin bir anda şebekeye yüklenmesi sonucunda gerilim değerlerinde ciddi kararsızlıklar meydana

gelmektedir. Ani şekilde meydana gelebilen bu tür dalgalanmalar dağıtım şebekelerine, müşterinin/tüketicinin kullanmakta oldukları cihazlara ve başka unsurlara ciddi zarar verebilmektedir [6].

Bu tür arızalara hızlıca çözüm bulmak önemlidir. Bundan dolayı arızanın zamanı, neden gerçekleştiği, gerçekleşme süresi, bulunduğu yer gibi unsurlar önemlidir.

Gelişen takip sistemleri, analizörler bu bağlamda ciddi yararlar sağlamaktadırlar. SCADA sistemleri ile entegre olan bu cihazlar dağıtım şirketlerine hayati bilgiler vermektedir. Arızaların zaman aralıkları, süreleri, beslendikleri yerleri, arıza ile ilgilenen yetkililer analizörlerden alarak gerekli raporlamalarını yapabilmektedirler. Böylece bu tür olaylar için reaksiyon alma süreleri azalmaktadır [6].

Alınan tüm veriler kaydedilerek daha sonraki zamanlarda kullanılmak için dağıtım şirketleri veri depolarında bekletilmektedir. Bu da dağıtım şirketlerini daha sonraki yatırımlarında daha net ve kaliteli yatırım yapmalarını kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda Akıllı Şebekeler üzerine de yatırım yapılmaktadır.

Genel olarak; SCADA sisteminin yetersiz veya kullanılmadığı bir dağıtım şebekesinin düşünülmesi yeni teknoloji dünyasında mümkün değildir. Giderek artan enerji talebi; yükselen güç talepleri; genişleyen dağıtım şebekesi olası problemleri yanında getirmektedir. Bu problemlere çözümlerin sağlanması, önlemlerin alınması için dağıtıcının sürekli olarak şebekesine hâkim olması gerekmektedir. Meydana gelecek arızaların önceden sezme, yapılacak bakım onarım çalışmalarının en doğru biçimde yapılması ve benzeri konularda SCADA sistemi ana katalizör görevini açıkça üstlenmektedir. Bu bağlamda dağıtıcı görevi gören firmaların SCADA sistemlerine ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında materyal olarak; Vangölü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (VEDAŞ) sorumluluk alanında bulunan Bitlis ilindeki bazı dağıtım binalarında bulunan dahili transformatör giriş ve çıkış fiderlerine ait; orta gerilim (OG) kesiciler, OG transformatörleri, OG ayırıcılar, OG akım transformatörleri, aşırı akım koruma röleleri, OG kumanda panoları, ve RTU (Uzak Uç Birimi, Remote Terminal Unit) panosunda bulunan; RTU, sigortalar, modem, aküler, PLC (Programlanabilir Lojik Denetleyici, Programmable Logic Controller) yardımcı röleler ve VEDAŞ'a ait uzaktan bağlantının yapılabileceği kontrol ve kumanda ve yazılımından bahsedilecektir.

VEDAŞ sorumluluk sahasında modbus alt yapısı kullanılarak 2010 yılından sonra Van il merkezinde küçük çaplı bir SCADA alt yapısı kurulmuştur. Alt yapı yeterli olmadığından dolayı bu sistem genişletilmediği gibi mevcut modbus alt yapısı uygulamasından da verim alınmamıştır. 2020 yılında ise SIEMENS alt yapısı kullanılarak uzaktan haberleşme ile birlikte bölge genelinde SCADA kurulmaya başlanılmıştır. Bitlis il genelinde 2020 yılından itibaren SCADA alt yapı çalışmalarına başlanmıştır. 2020 yılında 20 adet Dağıtım merkezine SCADA kurulmuş olup sistem üzerinden uzaktan veri akışı sağlanmıştır. Her yıl il genelinde bu sayı artırılarak SCADA ile saha daha da genişletilmiştir. Bitlis İl ve İlçelerinde 2023 yılı sonu itibari ile altmış noktada SCADA kurulmuştur. Kurulan altmış noktada tüm veri analizleri kurulan SCADA ile yapılmaktadır.

2.1. Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sistemleri

Dağıtım şebekeleri basit üretim merkezlerinin aksine çok daha fazla karışık bir yapıdadırlar. Kesintisiz ve kaliteli enerjinin verilmesini ilke alan bu sistemlerde SCADA önemli bir yer kapsar. Daha sonraki kısımda bahsedeceğimiz analizörler sayesinde ölçümler izlenebilmekte ve enerjinin ihtiyaçlar doğrultusunda düzenlemeleri yapılabilmektedir. Ani arıza durumlarında uzaktan beslemenin yapılabilmesi, arızanın anında sisteme düşmesi, ihtiyaç doğrultusunda gerekli olan arıza akımlarının okunabilmesi ve geçmişe yönelik raporlar çekilmesi arızanın çözümlerinde büyük olanaklar sağlanmaktadır.

Dağıtım şebekelerinde en önemli unsur müşteriye enerjinin ulaştırılmasıdır. Enerjinin rahatça kullanılabilmesi ve kesintisiz olmasıdır. SCADA merkezleri kurulmadan önceki zamanlarda herhangi bir enerji kesintisinde, dağıtım şirketleri ancak

enerji kesintisini bildiren müşteri veya şans eseri kesintinin olduğu yerde bulunan çalışanlar sayesinde enerji kesintisi fark edilebilmekteydi. Bunlara ek olarak arıza akımının bilinmemesi ve herhangi bir verinin olmaması sebebiyle müşterinin/tüketicinin beslenebileceği ring şebeke varsa beslemesi yapılabilmekteydi. Ring şebeke yok ise daha fazla enerjisiz süre uzamaktaydı.

Modern SCADA sistemlerinin kullanılmaya başlanmasıyla oluşan arızaların uzaktan takibi, arızanın türü ve yeri (lokasyonu) gibi bilgileri anında öğrenebilme şansı oldu. Arızaların bazılarında uzaktan müdahale edilerek zaman açısından önemli bir yol kat ediliyor.

2.2. Dağıtım Şebekelerinde SCADA sisteminde Kullanılan Kontrol Sistemi ve Merkezi Kumanda Yapısı

Merkezi kumanda ve kontrol sistemi; merkezlerde kullanılan SCADA sistemine ilave edilmiş olan kesici, kapı, yangın, röle, analizör, fider, röle, analizör, ayırıcı ve merkezde bulunan hemen hemen tüm OG teçhizatlar için fider çıkışlarının verilerini kontrolünü sağlamaktadır. Bu OG teçhizatlarına ait tüm konumların durumlarını izlemektedir. Ayrıca bunları kontrol edebilen ve manevra yapmasını sağlayan bir altyapıdır. Elektrik şebekesinin kesintisiz ve sürekli izlenmesi esas alındığından dolayı 7-24 (gün-saat) olarak işletme personelleri şebekeyi sürekli izlemektedir. Gerek duyulması durumlarında sahada bulunan personeli yönlendirmekte ve sahada canlı bir biçimde müdahale edebilmektedirler. Bu işlemleri yaparken anahtarlama yöntemleriyle sahada bulunan konum bilgileriyle tamamını SCADA yazılımlarından faydalanarak tek hat şemalarından faydalanarak sistemi uzaktan izleyerek yapabilmektedir. SCADA sistem yazılımı bir bilgisayarda çalışmakta ve herhangi bir sistemin kontrolü için yazılıma veri kaynağı gerekmektedir. VEDAŞ'ın SCADA merkezinden alınmış bir görüntü, Şekil 2.1'de verilmiştir [8].

Bununla beraber can ve mal güvenliğinden emin olunan lokasyonlarda otonom olarak yönetilen açma kapama durumları da mevcuttur. Örneğin rüzgârlı bir havanın sürekli hâkim olduğu yerlerde açmalarımız mümkündür. Bunun için sistemin bir kereye mahsus olmak üzere sistemi beslenmesi istenebilmektedir. Lakin sistemin kırsal alanda olmaması durumunda otonom olarak beslemeler yapılmamaktadır. SCADA olmadığı yerlerde özellikle kırsal bölgelerde rölelerde tekrar kapama vererek kontrolsüz bir

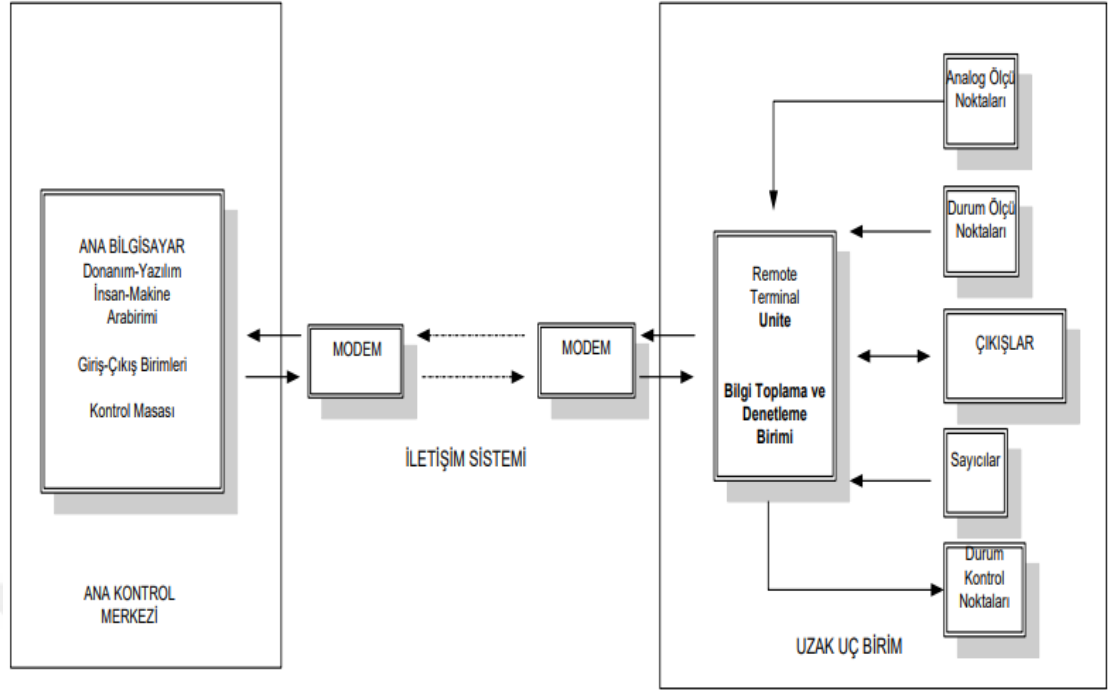
şekilde enerji verilir. Ancak SCADA olan yerlerde operatör kontrolünde teyit edilerek enerji verilmektedir.



Şekil 2.1. VEDAŞ SCADA kontrol ve kumanda merkezi

SCADA sisteminin kontrol merkezinde kontrol ve operasyon amaçlı operatörler bulunmaktadır. Bu operatörler için kullanıcılar belirlenmiş ve yetkiler verilmiştir. Bu kullanıcılara farklı farklı yetki ve sorumluluklar tanımlanmaktadır. Kullanıcılara sınırlı yetki verilmesi amaçlanmakta ve bu yetki kısıtlanması kendi sorumluluk alanlarının dışına çıkmaması sağlanmaktadır. Çünkü sahada canlı bir sistem işletilmekte ve İş güvenliği yönünden can ve mal güvenliği bakımından tedbir alınmalıdır.

Bunun yanında alınan yetkilerin olması sistemin izinsiz kullanılması için yeterli değildir. Yapılacak olan işlemler telsizler ile teyit ettirilerek ve yine anlık olarak onay alınarak yapılmaktadır. Bu onayın haricinde saha sorumlu personel ile de teyitleşme yapılmaktadır. SCADA iletişim ağı ile ilgili görüntü Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. SCADA sistemlerinde genel yapı mimarisi

Ayrıca dağıtım şebeke elemanlarını sağlamak veya yok etmek gibi statik bir alt yapı tabanında yapılan eşleştirmeler ve düzeltmeler kontrol noktası ile kontrol edilerek gerçekleştirilmektedir. Bir başka ifade ile diğer sistemlerle karşılaştırılması durumunda merkezi bir yapı yoluyla, arıza, operasyonlar, yenileme, bakım ve mühendislik işleri en az sayıda personel ve gayret ile gerçekleştirilir [9].

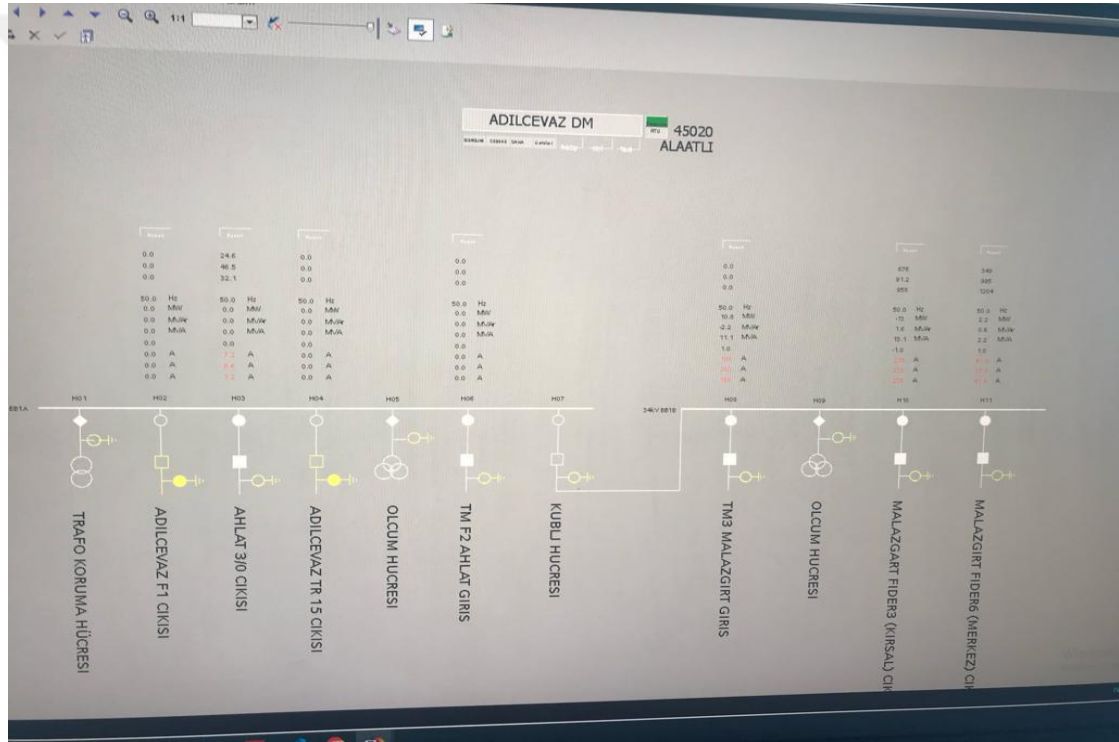
2.2.1. SCADA Kontrol Merkezleri Programı

SCADA sistemlerinde, ara yüz programı, operasyonel personelin güç sistemiyle etkileşim kurmasını sağlayan kritik bir yazılımdır. Bu yazılım, bir iletişim konsolu aracılığıyla güç sistemi haberleşmesini yönetir ve çeşitli işlevleri yerine getirir. Örneğin, saha cihazları olarak bilinen RTU'larla (Uzaktan Terminal Üniteleri) etkili bir veri alışverişi sağlanır. RTU'lar, sahada bulunan çeşitli ekipmanların izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılır; bu ekipmanlar, elektriksel, mekanik veya diğer işlevsel bileşenler olabilir.

Ara yüz programı, saha ekipmanlarının uzaktan kontrol edilmesini ve bu ekipmanların çalışma durumlarının izlenmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, saha ölçüm cihazlarından (sensörler, akım ve gerilim ölçüm cihazları vb.) veri toplanarak, bu

verilerin merkezi kontrol noktasına iletilmesini sağlar. Bu süreç, saha analizlerinin yapılmasını da içerir; yani, saha verileri değerlendirilir, analiz edilir ve raporlanır.

Bu proje özelinde, Siemens A.Ş. tarafından geliştirilmiş olan Spectrum Power 5 arayüz programı kullanılmaktadır. Spectrum Power 5, SCADA sistemleri için kapsamlı bir ara yüz sunar ve sahadaki ekipmanlarla etkin bir şekilde iletişim kurarak sistem performansını optimize etmeye yardımcı olur. Bu yazılım, kullanıcıların sahadaki cihazları izlemelerini, kontrol etmelerini ve analiz etmelerini sağlayan güçlü bir araçtır. VEDAŞ SCADA merkezinin kullandığı bir SIEMENS spectrum tek hat şema görüntüsü Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. SIEMENS spectrum VEDAŞ ekran görüntüsü tek hat şeması

Burada sistem oldukça sade biçimde tasarlanmıştır. Amaç kullanıcının veya operatörün sisteme olabildiğince hâkim olabilmesi ve sistemi okuyabilmesidir.

2.2.2. Merkezi Kumanda ve Kontrol Sistemi Fonksiyonları

SCADA sistemi için kullanılmakta olan merkezi kontrol ve kumanda sistemleri; Dağıtım Yönetim Sistemi (DYS), Kesinti Yönetim Sistemi, Otomatik Sayaç Okuma Sistemi ve PLC ile çalışan sayaçlar haberleşme modemleri ile haberleşme sistemine sahip olmalıdır. Şebekeyi yönetirken; kesinti yönetim sistemi (OMS, Operational

Managment System) ve DMS'den aldığı verileri sistemselsel olarak karıştırarak saha personellerini görevlendirme işlemlerini yürütür. Merkezi kumanda ve kontrol sistemi; elektrik dağıtım şebekesinin gözetimini, kontrolünü ve kumanda işlemleri için tam yetki ve sorumluluğu üstlenmektedir. Herhangi bir sebep fark etmeksizin Enerjiyi açma ve kapama yetkileri, yük durumunun izlenmesi, arızaların takibi ve kontrolü bu fonksiyonlar üzerinden yapılmaktadır. Enerji nakil hattı arızaları, kablo arızaları, Transformatör, ayırıcı ve kesici açma ile kapama işlemleri buradan veya kontrollerinde yapılmaktadır. SCADA/DMS sayesinde alınan ham veriler günlük, aylık ve yıllık alınan arıza raporlar üzerinde çalışma yapılmaktadır. Ayrıca bu arıza analizleri sayesinde şebekede yapılacak olan yenileme ve bakım çalışmalarına yön verilmektedir. Şebekede izlenen yük analizleri, tüketimleri, yüklenme düzeylerini, ekonomik ömürlerini vb. ilgili bütün istatistiklerin tutulmasında ve hazırlanmasında ön ayak olmaktadır.

2.3. Uzak Uç Birimi (RTU, Remote Terminal Unit)

SCADA/DMS sistemlerinin işleyişi, modern endüstriyel ve enerji yönetiminde kritik bir rol oynar. Bu sistemler, uzak saha cihazlarından veri toplama, analiz etme ve yönetme yetenekleri sayesinde, büyük ve karmaşık altyapıların etkin bir şekilde denetlenmesini sağlar.

RTU'lar (Uzaktan Terminal Üniteleri), SCADA sistemlerinin temel bileşenleridir ve sahadaki çeşitli cihazları kontrol etme işlevini üstlenir. Bu üniteler, elektriksel parametrelerin ölçülmesi, cihazların durumu hakkında bilgi sağlanması ve ekipmanların kontrol edilmesi gibi işlevleri yerine getirir. Örneğin, gerilim ve akım ölçümleri ile güç kalitesinin izlenmesi, enerji dağıtımının güvenli ve verimli bir düzeyde sağlanmasına yardımcı olur.

Dağıtım merkezlerinde RTU'lar, verilerin toplandığı ve analiz edildiği merkezi bir kontrol birimi ile bağlantı kurar. Bu merkez, RTU'lardan gelen verileri değerlendirir ve gerekli komutları ileterek sahadaki ekipmanları yönetir. RTU'lar, sadece veri toplamak ve komutları uygulamakla kalmaz, aynı zamanda anormal durumları ve alarm koşullarını tespit ederek merkezi birimlere bildirir. Bu özellik, sistemin güvenilirliğini artırır ve arıza durumlarının hızlı bir biçimde ele alınmasını sağlar.

Bu sistemlerin sağladığı merkezi kontrol ve izleme kapasitesi, operasyonel verimliliği artırır, arıza sürelerini azaltır ve genel olarak işletme maliyetlerini düşürür. SCADA/DMS sistemlerinin sağladığı bu geniş kapsamlı veri toplama ve analiz yetenekleri, modern endüstriyel operasyonların başarılı bir şekilde yönetilmesi için

vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir [10, 35-39]. Şekil 2.4'te verilen bir RTU pano görüntüsüdür.



Şekil 2.4. RTU pano dış görünümü

Mikroişlemcili RTU'lar, gelişmiş işlemci teknolojileri sayesinde alarm uyarılarını etkin bir biçimde yönetir ve durumlara anında yanıt verebilir. Bu RTU'lar, tüm olumsuz koşulları değerlendirebilir ve gerekli müdahaleleri otomatik olarak gerçekleştirebilir. Kullanıcıların özel ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen bu tür RTU'lar, denetleyici cihazların belirlenen gereksinimlerini karşılayacak şekilde programlanabilir.

Bu RTU panolar, yalnızca sahadaki cihazların kontrolünü sağlamakla kalmaz, aynı zamanda diğer RTU panolarla haberleşerek işlemlerin koordine edilmesini mümkün kılar. Merkezi kontrol birimleriyle sürekli iletişim halinde kalarak, tüm sistem bileşenlerinin izlenmesini ve yönetilmesini sağlar. Bu yapılar, sistemin güvenliğini ve verimliliğini artırmak için gerekli tüm denetim ve koordinasyonu sağlar [11,40,41].

SIEMENS'in SICAM TM1703 ACP ve SICAM TM1703 Emic RTU'ları, modern enerji otomasyon sistemlerinde kritik bir rol oynar. SICAM 1703 serisi, geniş bir fonksiyon yelpazesi sunarak, enerji yönetim sistemlerinde ihtiyaç duyulan çeşitli görevleri yerine getirir. Bu cihazlar, haberleşme, I/O (Giriş/Çıkış) modülleri, telekontrol (uzaktan kontrol), yedeklilik (redundancy) ve PLC gibi temel otomasyon işlevlerini destekler.

TM1703 sistemi, RTU Master kontrol ünitesi ve bu üniteye entegre olan haberleşme ile I/O birimlerinden oluşur. RTU Master kontrol ünitesi, sistemin merkezi

kontrol noktasıdır ve bu üniteye dört farklı haberleşme arayüzü bulunur. Bu arayüzler, sistemin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir ve çeşitli haberleşme protokollerini destekleyecek biçimde yapılandırılabilir. Bu esneklik, farklı protokoller arasında geçiş yapabilme ve çeşitli haberleşme ihtiyaçlarına cevap verebilme yeteneği sağlar [12,42].

RTU'lar sistem içerisinde veya dağıtım merkezlerine ilave edilen DC (Doğru Akım, Direct Current) güç kaynaklarıyla beslenmektedir. İstasyon içerisinde bulunan diğer besleme cihazlarından izole edilmiştir. Bu besleme gerilimi 24 VDC ile sağlanmaktadır [5].

2.3.1. TM1703 ACP RTU Özellikleri

- 24-60 VDC besleme gerilimi,
- Nesne yönelimli programlama yapısı
- Otomasyon ve parametre programları Flash kartta saklanabilir
- 2 seri + 1 WAN (IEC 103) +1 LAN (IEC 104/61850) mevcut
- Ax 1703 peripheral bus yardımıyla 16 adete kadar I/O modülü (ihtiyaç durumunda ek I/O sürücü modüller ile bu sayı değiştirilir)



Şekil 2.5. TM 1703 ACP RTU ve çevresel birimleri

- Her biri farklı protokol olmak üzere dört haberleşme ara yüzü var
- 3 seri + 1 LAN/WAN, ya da 11 dört seri haberleşme
- 2 seri + Profibus DP Master
- TM1703 ACP RTU sistemi; bir master kontrol modülü, haberleşme protokol kartları ve I/O modüllerinden oluşmakta
- CAEx plus programı yardımıyla PLC fonksiyonları ilave etme
- TS35 DIN standartlarında 35 mm ray montajı
- Parametre değişikliği yapmadan modüllerin değiştirilebilmesi yapılmaktadır.

Bu devre elemanları modüler şeklindedir. İhtiyaç duyulması halinde ise tek başına sağlanabilmektedir. Herhangi bir modülün arıza vermesi durumunda, yalnızca arızalı olan modül sökülüp, yenisi montaj edilerek sorun çözülür [12,13].

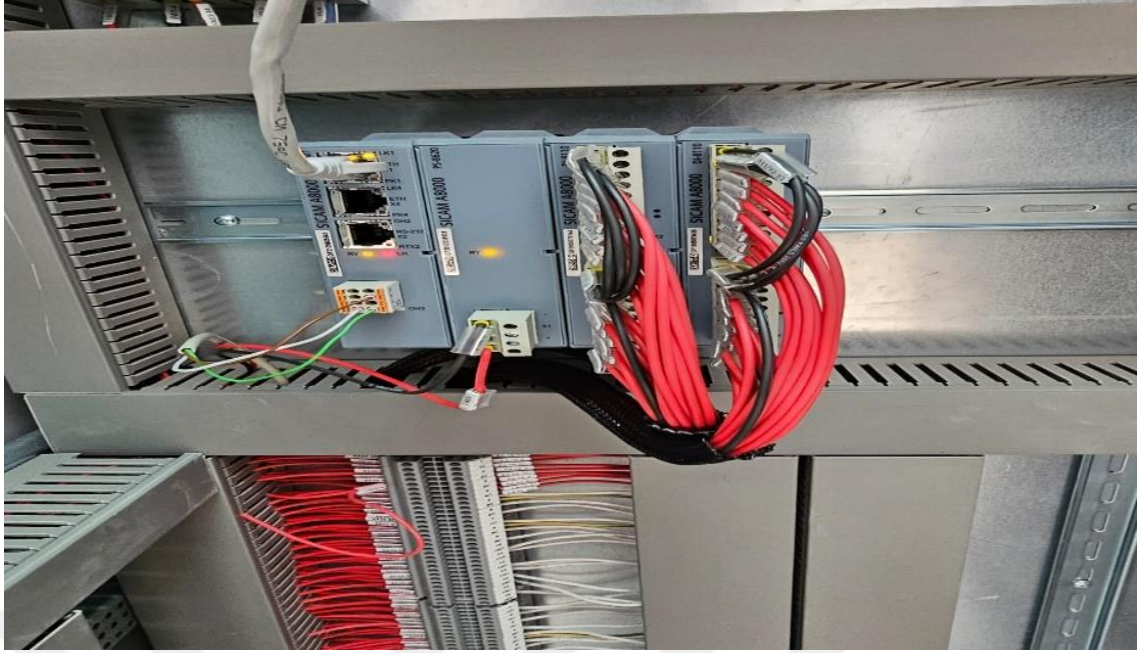
2.3.2. TM1703 EMİC RTU Özellikleri

- 24-60 VDC besleme gerilimi,
- Kompakt tasarım,
- Web Server özelliğinin yardımıyla Web browser üzerinden şekillendirilir.



Şekil 2.6. TM 1703 EMİC RTU

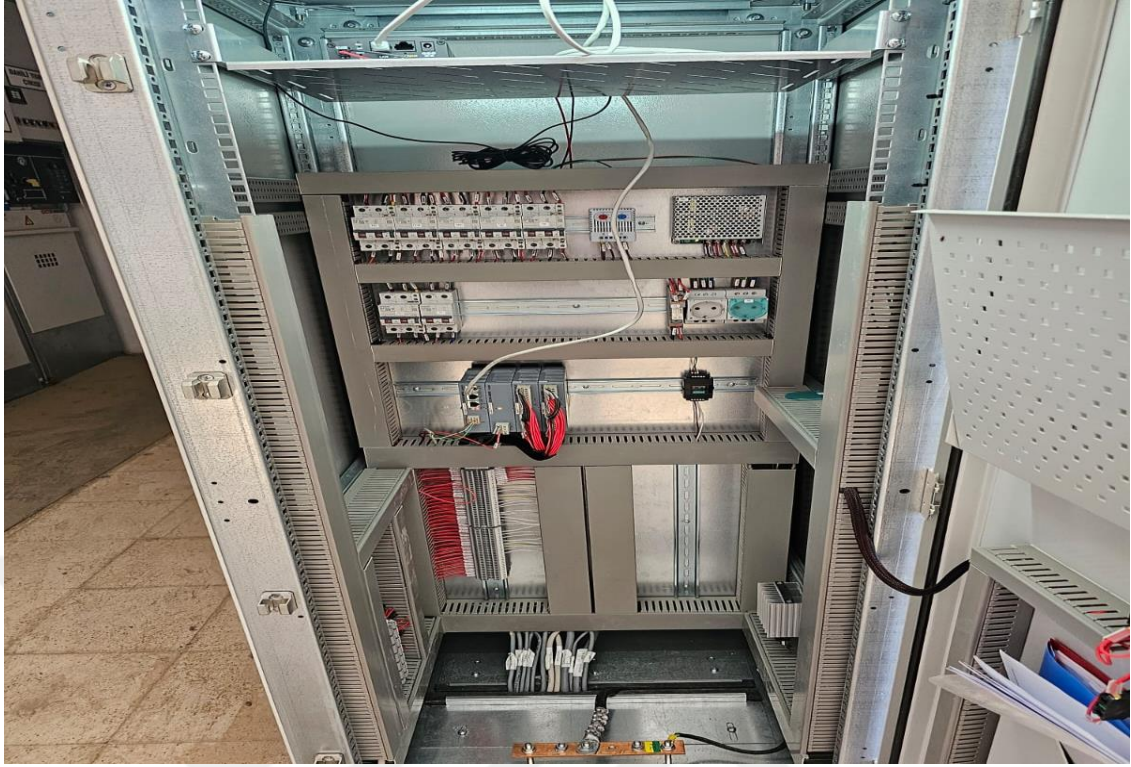
- 3 haberleşme arayüzü için her biri farklı protokoller içerisinde de kullanılabilir.
 - ✓ 1 seri RS-485
 - ✓ 1 Ethernet
 - ✓ 1 seri RS-232 ara yüzleri
- 8 adete kadar I/O modülü
- TS35 DIN standartıyla (35mm) ray montajı
- Parametre değiştirmeden modüllerin değiştirilebilmesi
- NTP protokolü ile zaman senkronizasyonu
- CAEx plus programı yardımıyla PLC fonksiyonları ekleyebilme
- Nesne yönelimleri programlama yapısı
- Otomasyon ve parametre programları flash kartta yüklemeler.



Şekil 2.7. RTU'nun pano içi montajı

SICAM 1703 serisi RTU'lar, endüstriyel otomasyon sistemlerinde güvenilirlik ve verimliliği artırmak için tasarlanmıştır. Bu cihazların en önemli özelliklerinden biri, tüm parametre ve konfigürasyon verilerinin bir harici karta kaydedilmesidir. Bu yöntem, cihazda herhangi bir arıza oluştuğunda, verilerin kaybolmadan yeni bir cihaza aktarılmasını ve sistemin hızlı bir şekilde yeniden devreye alınmasını sağlar. Harici kart kullanımı, bilgisayar veya özel programlamalara ihtiyaç duymadan veri yedekleme ve geri yükleme işlemlerini seri bir biçimde gerçekleştirebilme imkânı sunar. Bu, arıza durumlarında müdahale süresini minimize eder ve operasyonel kesintileri en aza indirir.

SICAM 1703 ailesinin TM1703 ACP ve TM1703 Emic modelleri, yüksek veri işleme ve saklama kapasiteleri ile dikkat çeker. Bu modüller, çeşitli haberleşme protokollerini desteklemek için son derece esnek bir yapıya sahiptir. Özellikle dağıtım şirketlerinde kullanılan protokoller arasında IEC61850, IEC60870-103 ve Modbus yer alır. Bu protokollerin desteklenmesi, cihazların farklı sistemlerle uyumlu çalışmasını sağlar. Ayrıca, TCP/IP tabanlı IEC61850 ve IEC60870-5-103 protokolleri için SM2556 protokol ara yüz kartı kullanılarak, geniş bir ağ üzerinden veri iletişimi sağlanır [5,12-14,43]. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de RTU'nun pano montaj görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.8. DM’de kullanılan RTU pano iç görünümü

2.4. Haberleşme protokolleri

Bu bölümde genel olarak elektrik dağıtım şebekelerinde; kesiciler, güç kalitesi cihazları, röleler ve ölçü cihazları gibi materyallerin RTU’leri ile haberleşme alanlarından söz edilmektedir. Haberleşme; herhangi verinin iletişim şebekesinde nasıl iletileceğini ifade eden resmi kuralların yazılım diline uygulanmış protokol halidir. Alt seviye haberleşme kuralları, elektrik ve fiziksel standartları belirler ve belirlenen bu haberleşmeler byte, bit sıralamaları, iletimi, bit sıralamasının hata tespiti ve bu hatanın düzeltilmesi için sağlayan yazılım protokolleri vardır. Bu ve buna benzer Üst seviye protokollerde, söz dizimi, mesajların sırası ve karakter seti gibi veri bulunmakta ve kullanılmaktadır. Ancak Bunların sadece birkaçı sadece ön plana çıkarılıp üreticiler tarafından kabul görüp uygulanmaktadır. Dağıtım sektöründe ise en yaygın olarak IEC (International Electrotechnical Commission, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) standartlarında 61850 ile 60870-103 ve Modbus kullanılmaktadır. Günümüz teknoloji alanında 350’den fazla haberleşme protokolü mevcuttur [16].

2.4.1. IEC 61850 Haberleşme Protokolü

Endüstriyel alanlarda bilgisayar gibi sistemlerin haberleştirilmesinde ve geliştirilme yollarında ve kolaylaştırılmasında, EPRI (Elektronik Güç Araştırma Enstitüsü), IAC (Entegre Yardımcı İletişim) programını devreye aldı. Sonradan 1988 yılında UCA adı verilen program için çalışmalar başladı. UCA'nın daha ileri versiyonu olan ve gelişmiş halini alan IEC61850 protokolü oluşturuldu. IEC61850 verilere erişimde (kontrol cihazları, örnek değerler ve kayıtlı veriler) kullanıcılara büyük seçenekler ve avantajlar sağlamaktadır. Bu haberleşme yönteminin en önemli faydalarından biri XML (Genişletilebilir İşaretleme Dili) tabanlı sistem konfigürasyon dosyası kullanabilmesidir [17].

Kısacası IEC 61850 protokolü SCADA ağına tak çalıştır demektir. SCADA ağında arttırılmış kesin doğruluk oranı, azaltılan konfigürasyon ve hata ayıklama zamanı gerçekleşir. Diğer protokollere göre daha seri ve daha hızlıdır. IEC 61850 haberleşme protokolünün dezavantajı biraz daha karmaşık yapıda olmasıdır. Dağıtım şirketleri son zamanlarda bu protokolü daha yaygın olarak kullanmaya başlamıştır [16].

2.4.2. IEC 60870-xxx seri protokolleri

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından geliştirilen SCADA protokolleri, modern endüstriyel otomasyon ve güç sistemlerinin temel taşlarını oluşturur ve dünya genelinde farklı sistemler arasında tutarlılık sağlar. Bu protokoller, güç sistemlerinin izlenmesi ve kontrolü için standartlaştırılmış bir iletişim çerçevesi sunar.

IEC 60870-5 serisinin bölümleri şu şekildedir. IEC 60870-5-1, iletim çerçeve formatlarını belirlerken; IEC 60870-5-2, link iletim prosedürlerini tanımlar. IEC 60870-5-3, uygulama verisinin yapısını, IEC 60870-5-4, uygulama bilgi elemanlarının tanımını ve kodlanmasını açıklar. IEC 60870-5-5 ise temel uygulama fonksiyonlarını sağlar. Bu standartlar, çeşitli protokollerin gelişimine olanak tanımıştır; IEC 60870-5-101, basit telekontrol görevleri ve RTU'lar için standartlar getirirken, IEC 60870-5-102, elektrik güç sistemlerinde sayaç bilgilerinin iletim standartlarını belirler. IEC 60870-5-103, koruma cihazlarıyla haberleşme standartlarını sunar. Ayrıca, IEC 60870-5-104, Ethernet ortamında çalışan tek standarttır ve ağ üzerinden IEC 60870-5-101 ve IEC 60870-5-103 protokollerine erişim sağlar. Bu, modern ağ tabanlı iletişim ihtiyaçlarına yanıt verir.

IEC 60870-5 serisinin kapsamlı yapısı, endüstriyel otomasyon sistemlerinin standardizasyonunu ve uyumluluğunu büyük ölçüde artırır. Özellikle, bu standartlar, farklı sistemler arasında veri tutarlılığını ve güvenilirliğini sağlar. Ethernet tabanlı IEC 60870-5-104 protokolü, ağ tabanlı sistemler için önemli bir gelişme olup, geniş ölçekli sistemlerde veri iletişimini daha etkili hale getirir. Bu, endüstriyel otomasyonun ve enerji yönetiminin karmaşıklığını yönetmede kritik bir rol oynar [16,44,45].

2.4.3. Modbus Haberleşme protokolü

Modbus protokolü, SCADA sistemlerinde otomasyon için kullanılmakta olan en eski ve köklü haberleşme protokollerinden biri olarak bilinir. İlk olarak Modicon firması tarafından 1979 yılında geliştirilen bu protokol, endüstriyel otomasyon sistemlerinde veri iletişimi için geniş çapta kabul görmüştür.

Modbus'un temel avantajlarından biri, sadeliği ve düşük maliyetidir. Bu yapı, özellikle küçük ve orta ölçekli uygulamalar için uygun hale getirir. Protokolün genişlemeye pek izin vermeyen basit adresleme mantığı, küçük sistemlerde etkin bir veri iletimi sağlar. Ancak, sistemdeki cihaz sayısının artmasıyla birlikte iletişim karmaşılaşabilir ve performans sorunları ortaya çıkabilir.

Modbus'un çeşitli versiyonları, protokolün farklı ihtiyaçlara göre uyarlanmasını sağlar. Modbus RTU seri haberleşme yöntemlerinde kullanılırken, Modbus Plus daha yüksek hızda veri iletimi sunar ve genişletilmiş cihaz ağları için uygundur. Modbus TCP/IP ise Ethernet ağı üzerinden veri iletişimi sağlayarak modern ağ yapılarıyla uyumlu hale gelir. Bu esneklik, Modbus'un endüstriyel otomasyon sistemlerinde geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamıştır.

Modbus'un evrimi, endüstriyel otomasyon sistemlerinin standardizasyonunu ve entegrasyonunu desteklemiş, böylece sistemlerin daha verimli yönetilmesine olanak tanımıştır [16, 46-48].

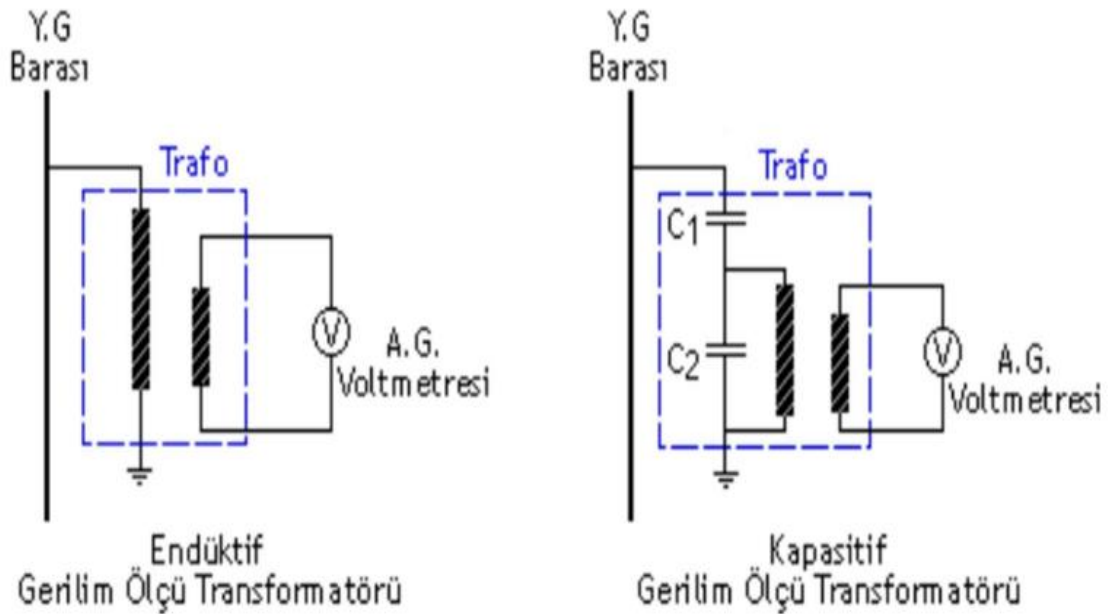
2.5. Yüksek Gerilim ve Alçak Gerilim Ölçüm Teknikleri

SCADA kurulan dağıtım merkezleri gibi yerlerde tüm elemanların sağlıklı çalışabilmesi için doğru değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğru değerler içinde bazı ölçü tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan en önemlileri gerilim seviyelerine göre kullanılan ara elemanlardır.

Alçak gerilim (AG) seviyesi 0-1000 volt arası, yüksek gerilim (YG) ise; 1000 volt ve üstü gerilimlerdir. YG ve AG sistemlerinin ölçülmesindeki en büyük sıkıntı

ölçülmek istenen gerilim seviyesinin çok büyük olmasıdır. Alçak gerilim seviyelerinde gerilimi ölçmek kolaydır. Bu seviyede ölçü cihazları gelişmiş ve teknikleri fazladır. Ancak yüksek gerilim seviyelerindeki bir gerilimi hiçbir işlem görmeden bir yarı iletken devresi ile işlenmesi ve dolayısıyla ölçülebilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenden dolayı bu gerilimin sağlıklı ölçülebilmesi ancak yardımcı elemanlar sayesinde olabilir. Bunun için uygun cihazlar kullanılması diğer bir önemli konudur. Gerilimi ölçmek için bölünme işlemi ne kadar doğru olursa olsun kullanılacak devre uygun olmazsa alınan ölçümünde sağlıklı olması beklenmez. Yüksek alternatif akım gerilimlerini; Gerilim Transformatörleri, Tepe Değer voltmetreleri, Elektrot Yardımı ile Ölçme ve Elektrostatik Voltmetre devre elemanlarıyla ölçebiliriz. SCADA beslemeleri ve gerekli olan ölçüm değerleri genel olarak gerilim transformatörleri üzerinden yapılmaktadır [18].

Gerilim ölçümü için iki çeşit transformatör tipi kullanılmaktadır. Bunlardan biri kapasitif gerilim transformatörü diğeri ise; endüktif gerilim transformatörü'dür. Gerilim transformatörleri çalışma prensibi, girişlerinden uygulanan yüksek gerilimi istenen gerilim doğrultusunda belirli bir çevirme oranına göre çıkışlarına uygun olan gerilimi verirler. Bunun sayesinde ölçüm devresinin ölçebildiği seviyede gerilim elde etmiş olurlar. Endüktif gerilim ölçü transformatörleri düşük gerilim bobini ve yüksek gerilim bobininden oluşmaktadır. Şekil 2.9'da gerilim transformatörleri ile ilgili tek hat şeması çizilmiştir.



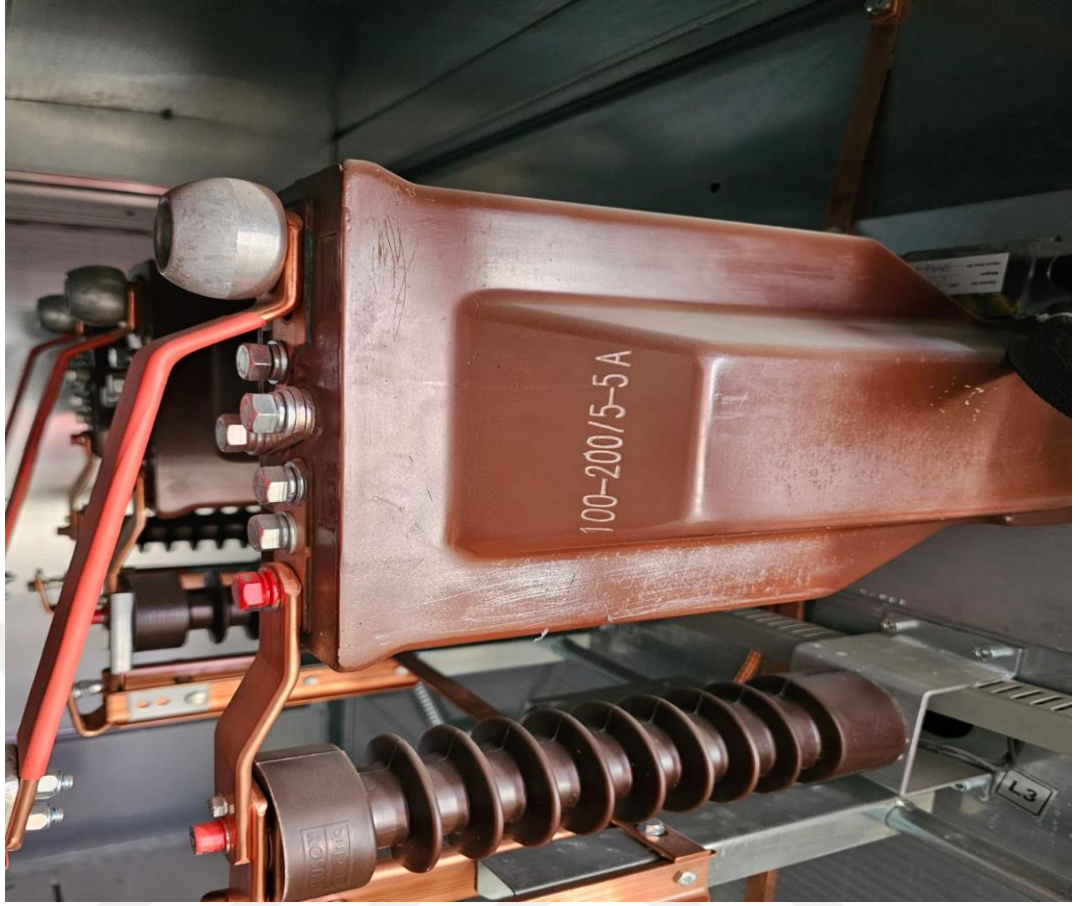
Şekil 2.9. Gerilim ölçü transformatörleri tek hat şeması

Bu tasarım sayesinde gerilim dönüşüm oranı oldukça yüksektir. Bahsi geçen bu transformatörler yağlı ve kuru olmak üzere iki tipte imal edilirler. Bir diğer ölçüm transformatör çeşidi olan kapasitif transformatörler ise girişinde yüksek gerilim bobini ve iki kondansatör bulunurken, çıkışında da bir düşük gerilim bobini bulunmaktadır. Bu tasarım sayesinde yüksek gerilim iki kademeli olarak düşürülerek ölçülmesi için işlenebilir hale getirilir. Girişten uygulanan yüksek voltaj C_2 ve C_1 kapasitörleri üzerine uygun oranda bölünür. Daha sonra C_2 kapasitörün üzerine düşen gerilim transformatör sayesinde düşürülerek ölçülebilir hale getirilir [18].

Gerilim trafoları devreye paralel bağlanmaktadır. Gerekli olan DC ile ölçü cihazlarının beslemelerini ve ölçülmesi gereken gerilim bilgilerinin doğru verilerini sağlamaktadır. Gerilim trafolarının seçimi ihtiyaca göre belirlenmektedir. Ölçü cihazlarının gerilim değerlerine göre belirlenir. DC besleme için faz-nötr 220 volt, yanında da sayaç ya da analizör verileri için faz-nötr 58 volt seçilebilir. Gücü ise merkezde bulunan cihaz güçlerine göre belirlenmektedir.

Alternatif akımlarda kullanılan akım ölçü cihazlarının daha geniş yerlerde ölçüm alınabilmesi için akım transformatörleri kullanılmaktadır. Akım transformatörleri seri bağlandıkları devreden geçmekte olan akımı imalat sırasında belirlenen çevrim oranında küçültürerek, sekonder uçlarına aktarır ve böylece cihazların ölçüm yapmasını sağlar. Akım Transformatörleri ölçü sistemlerini yüksek gerilimden izole ederek işletme güvenliği sağlamaktadırlar [19].

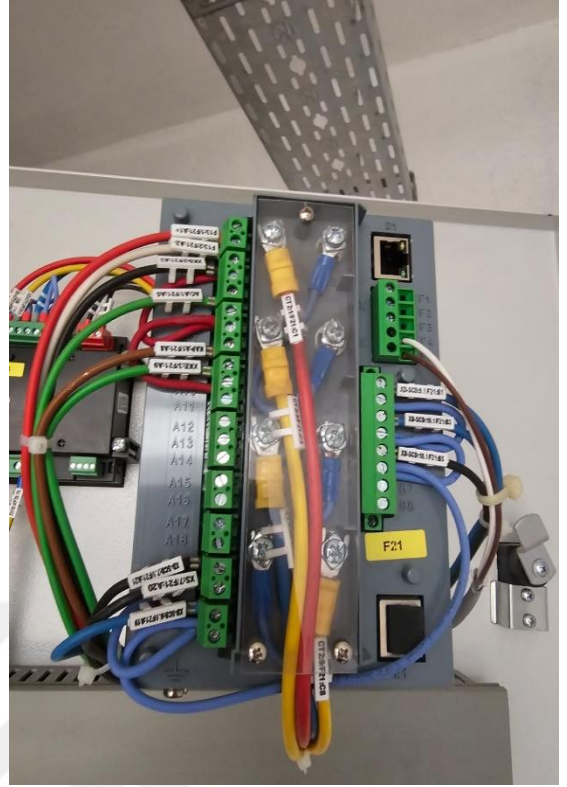
Akım transformatör seçimleri genel olarak yük durumuna göre seçilmektedir. Çünkü devreye seri bağlanmaktadır. Primer tarafından geçen akım faktörü seçimi etkilemektedir. Akım trafo gücünü ise; bağlanacak olan ölçü cihazlarının toplam gücü belirlemektedir. Akım trafoları SCADA ile bağlantılı olan koruma rölelerine ölçü ve akım bilgilerini iletmektedir. Bu da akım trafolarının güç ve arıza yönünden önemini ortaya koymaktadır. Yüksek gerilim seviyesinde halka ya da mesnet tipi akım trafoları kullanılmaktadır. Halka tipi olan içinden geçen manyetik alan ile ölçü almakta, Mesnet tipi ise; üzerinden geçen akım ile çalışmaktadır. Mesnet tipi akım trafosu Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. YG seviyesinde ölçümde kullanılan mesnet tipi akım transformatörü

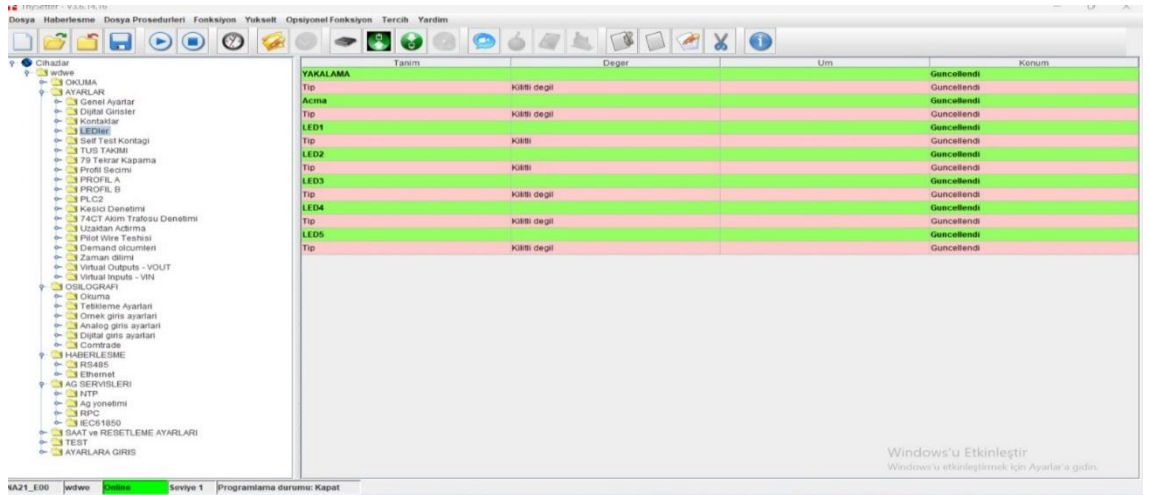
2.6. Aşırı Akım Koruma Röleleri

Elektrik dağıtım şebekelerinde genel olarak koruma amaçlı ve abonelerin kesintisiz enerji ihtiyacını karşılamak amaçlı yardımcı elemanlar şebekeye montaj edilir. Bu elemanların her birinin görevi ayrıdır. Bunlardan biride Elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan aşırı akım koruma röleleridir. Yüksek gerilim tarafında oluşan herhangi bir kısa devre arızası veya aşırı yükten açması bu rölelerle yapılmaktadır. Arızalı bölümlerin ayırıp, sağlam olan kısımların enerji sürekliliğini sağlamak için seçicilik önemlidir. Bu seçicilik bu röleler yardımıyla yapılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı aşırı akım koruma röleleri dağıtım şebekeleri için kaçınılmaz hale gelmiştir. Teknolojik olarak her gün gelişmekte olan yeni tasarım ve fonksiyonlar üretilmektedir. VEDAŞ SCADA sistemlerinde kullanılan aşırı akım koruma rölesi ön ve arka görüntüsü Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Aşırı Akım Koruma rölesinin ön ve arka görünümü

Aynı zamanda aşırı akım korum röleleri SCADA ile haberleşme sayesinde hem ölçme hem de kontrol etme mekanizmasına sahip bir elemandır. Aşırı akım koruma rölesi ayar menüsü Şekil 2.12’de görüntü halinde verilmiştir.



Şekil 2.12. Röle programı atama işlemleri

İnceleme yaptığım DM merkezinde kullanılan rölelerin sahip olduğu RS-485 portu üzerinden IEC 61850, IEC 60870-5-103 ve Modbus protokollerini kullanarak iletişim yapabilmektedir. Ancak bu DM’de sadece IEC 60870-5-103 protokolü

kullanılmıştır. Her merkezde sadece bir tane haberleşme protokolü kullanılmaktadır. Bu protokole göre Röle seçimi yapılmaktadır. Her rölenin haberleşme protokolü farklı olabilir. RS-232 portu Rölenin ön yüzünde mevcuttur. Bu RS-232 portu yardımıyla rölenin yazılımına bağlanılabilir ve röle ayarları yapılabilir. Rölenin yazılımıyla, düzenleme, programlama ve arıza-açma-kapama kaydını sınırlı sayıda yapabilir. Ayarlamaları ise kaybolmama hafızasına sahiptir.

Bu sayede kullanıcı, duruma göre kendi ayarlarını yapabilir, örneğin kırsal alan için farklı ayarlar talep edilirken; merkezi lokasyonlar için farklı ayarlar talep edilir. Ayrıca kullanıcı daha önce yapılan ayarlar üzerinden yorum yaparak açma kapama eğrisi vb durumlar hakkında bilgi sahibi olarak bu duruma göre çalışmasını tamamlar.



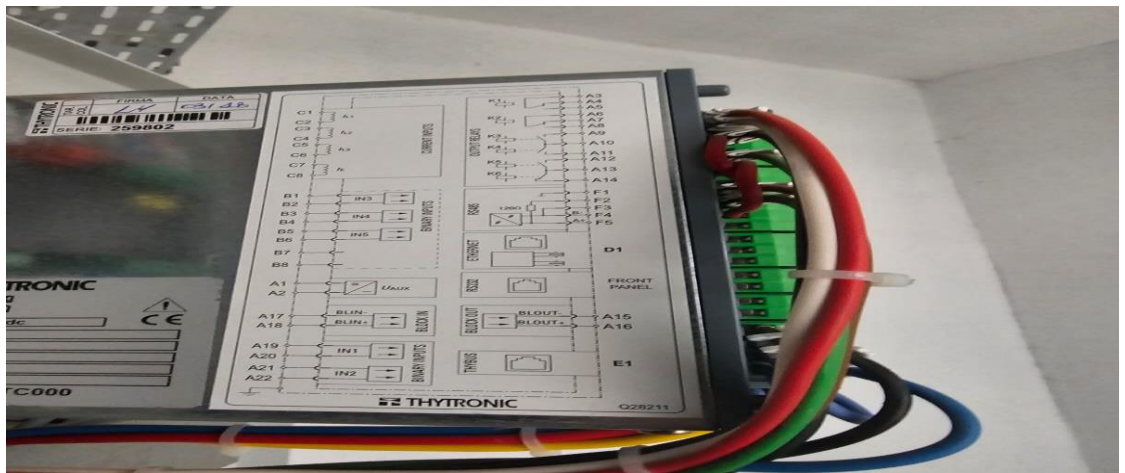
Şekil 2.13. Aşırı akım koruma Rölesinin Montaj yeri

Aşırı akım koruma rölesi hücre üzerinde son montaj hali Şekil 2.13'te, ışık yayan diyot (LED, Light Emitting Diode) durumları da Şekil 2.14'te ve montaj durumunu belirten tek hat şeması da Şekil 2.15'te verilmiştir. Elektrik dağıtım şebekelerinde genel olarak rölelerde bazı ayarlar yapılmaktadır. Bu ayarlar; faz-faz, faz-toprak, aşırı yük koruma arızaları ve otomatik tekrar koruma yapabilmektedir. Aynı zamanda bu DM'de kullanılmayan düşük gerilim, diferansiyel koruma, yönlü koruma gibi korumalar da yapabilmektedir.



Şekil 2.14. Röle üzerinde bulunan led görünümü

ANSI ve IEC standartlarına göre; 27/59/59N düşük/aşırı gerilim düşümlerine karşı devreleri ve düşük şebeke gerilimlerine karşı gerilimi algılayıp otomatik olarak devreyi servis dışı edebilir. Aşırı dağıtım şebeke gerilimini saptamak için yeterli gerilimi kontrol etmek devreyi devre dışı eder ve devreye almak için kullanılır. 50/50N kodu ani aşırı akımlara karşı koruma sağlar. 51/51N zaman aşırı akımları belirlemek ve bunlara karşı korunmak amacıyla kullanılmaktadır. 67/67N yönlü zaman aşırı akım koruma ise faz-nötr veya faz-faz arasında oluşabilecek kısa devrelere karşı koruma yapar. Seçicilik yaparak arıza yönünü tespiti ile birlikte gelen kısa devre arızalarına karşı koruma yapar. Otomatik tekrar kapama için 79 kodu kullanılmaktadır [20].



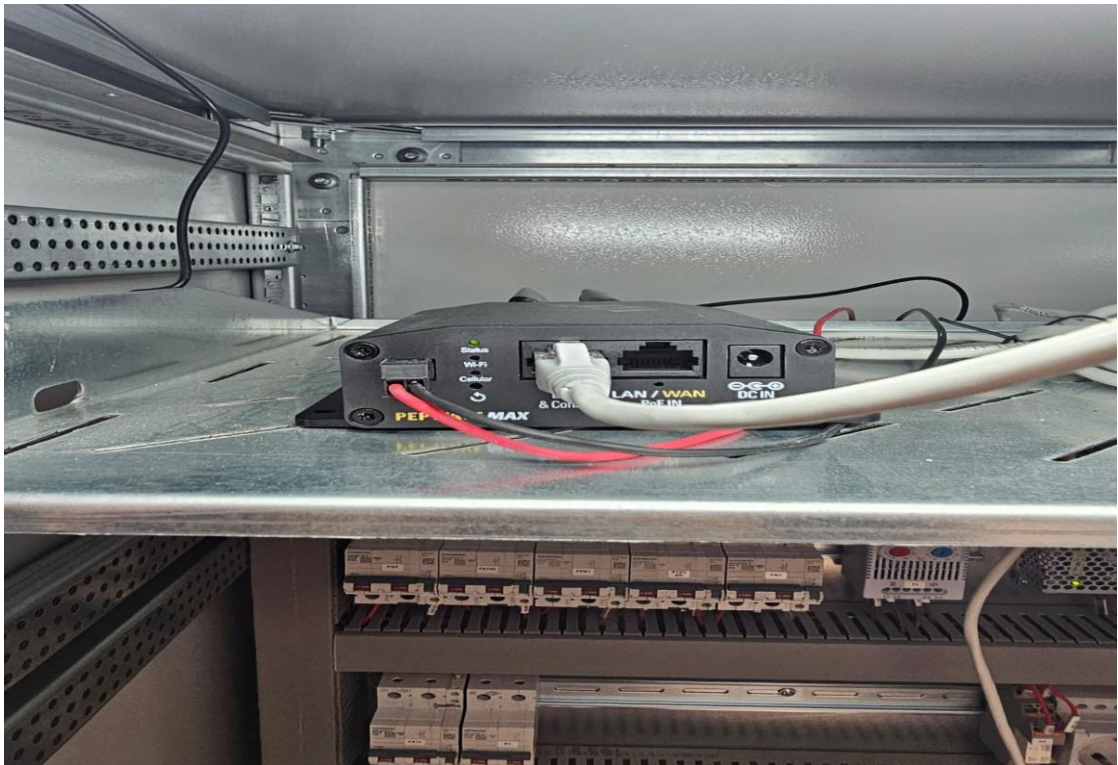
Şekil 2.15. THYTRONIC NA11 serisi Rölesine ait iç görünüm şeması

Bu röleler arıza kaydını belli bir sayıda hafızalarına kaydetmeye sahiptirler. Bazı röleler 20 arıza kaydı yapar bazıları ise 200 kayıt alabilir. Röle seçimi yapılırken kesinlikle ne istediğini bilip öyle röle tedarik etmek gerekiyor. Aşırı akım koruma röleleri ters zaman ve sabit zamanda çalıştırılabilir.

Bu ise arızanın giderilip giderilmediği; genel arıza durumu hakkında çok fazla done vermektedir. Son 10 arızanın sebebinin aynı olması kullanıcıya arızanın tekrara girdiğini ve giderilemediğini açıkça bildirir. Bu durumlar kullanıcı için oldukça önemlidir.

2.7. Modem

Bu çalışmamda sahada karşılaştığımız GSM (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem, Global System for Mobile Communications) ile çalışan ve DM ile SCADA merkezinin haberleşmesine çalışan modemler kullanılmaktadır. Modemin Ethernet portu ile RTU’da bulunan Ethernet portu haberleştirilerek gerekli veri akışı sağlanır. GSM haberleşme yardımıyla genel kontrol ve izleme işlemleri bu modem ile sağlanmaktadır. Haberleşme portu olarak RS-485 bulunmaktadır. Elektrik dağıtım sektöründe sık olarak pepwave max marka modem kullanılmaktadır. VEDAŞ SCADA panosu içerisinde montaj yapılan bir modem görüntüsü Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16. RTU içerisinde bulunan modem görünümü

2.8. Redresörler(Aküler)

Redresörler DC beslemeler için ihtiyaç olan devre elemanlardır. Hem röle, kesici, ayırıcı, DC aydınlatma RTU pano kısacası DC ile çalışan tüm beslemeleri redresörler sayesinde yapılmaktadır. Redresörler içerisinde alternatif akım doğru akıma çeviren devre bulunmaktadır bu doğrultucu ile doğru akım çevrilen gerilim ihtiyaç karşılanmış oluyor. 220 Volt Alternatif akım ihtiyacı ise dağıtım merkezinde bulunan dağıtım trafosu ya da hücre içerisinde bulunan gerilim trafolarıyla sağlanmaktadır.



Şekil 2.17. DM içerisinde bulunan Redresör

2.9. Hücreler

Hücreler kompakt bir şekilde tesis edilmektedir. Hücrelerin içerisinde kesici, ayırıcı, röle, akım trafosu, gerilim trafosu ve baralar bulunmaktadır. Hücreler kullanım yerlerine göre; akım-gerilim ölçü, yük ayırıcılı giriş-çıkış, sigortalı trafo koruma ve kesicili çıkış hücreleri bulunmaktadır. Son yıllarda bu metal muhafazalı modüler hücreler her yerde kullanılmaktadır. 12 kV (Kilo Volt), 20 kV ve 36 kV olarak orta gerilim seviyeleri için can ve mal güvenliği yönünden gerekli korumayı sağlamaktadır. VEDAŞ Bitlis il bölgesinde kurumu daha önce yapılan dağıtım merkezlerinden örnek bir KÖK binasından hücrelerin görünümü Şekilde 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. Modüler hücreler (MMM)

2.10. Ölçüm ve Kontrol Amaçlı Olarak Kullanılan Algılayıcılar

Olay yerinde oluşan bazı hareket, sıcaklık güç ve basınç gibi fiziksel nesnelerin büyüklüklerini algılayıp merkeze analog data yardımıyla elektriksel olarak birimlere dönüşmesini sağlayan devre elemanlarıdır. Bu sistemde dağıtım merkezlerinde bulunan elemanlar [5] ;

Yangın dedektörü; Olay yerinden oluşan duman içerikli herhangi bir olayda SCADA kontrol merkezine bildirim sağlamaktadır.



Şekil 2.19. Transformatör tavan kısmında bulunan yangın dedektörü

Pır dedektörü; Dağıtım merkezinde yabancı cisim veya bir hareketlilik durumunda bu sensör sayesinde SCADA kontrol merkezi bildirim almaktadır. Bu da kontrol merkezinin can ve mal güvenliği yönünden daha güvenli hale getirmektedir.



Şekil 2.20. DM kapı girişinde bulunan pır dedektörü

Manyetik kapı switchi; dağıtım merkezlerinde bulunan tüm kapıların açılıp-kapanması halinde SCADA merkezini haberdar eder. Girişi çıkışlar bu sayede kontrol edilebilmektedir.



Şekil 2.21. DM giriş kapısında bulunan kapı switchi

Enerji analizörü; bu analizör sayesinde yük durumu anlık olarak ölçülebilmektedir. Aşırı yük durumları, kaçak durum analizi yapılmaktadır. Canlı olarak yük analizi yapıp devre elemanları korunabilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

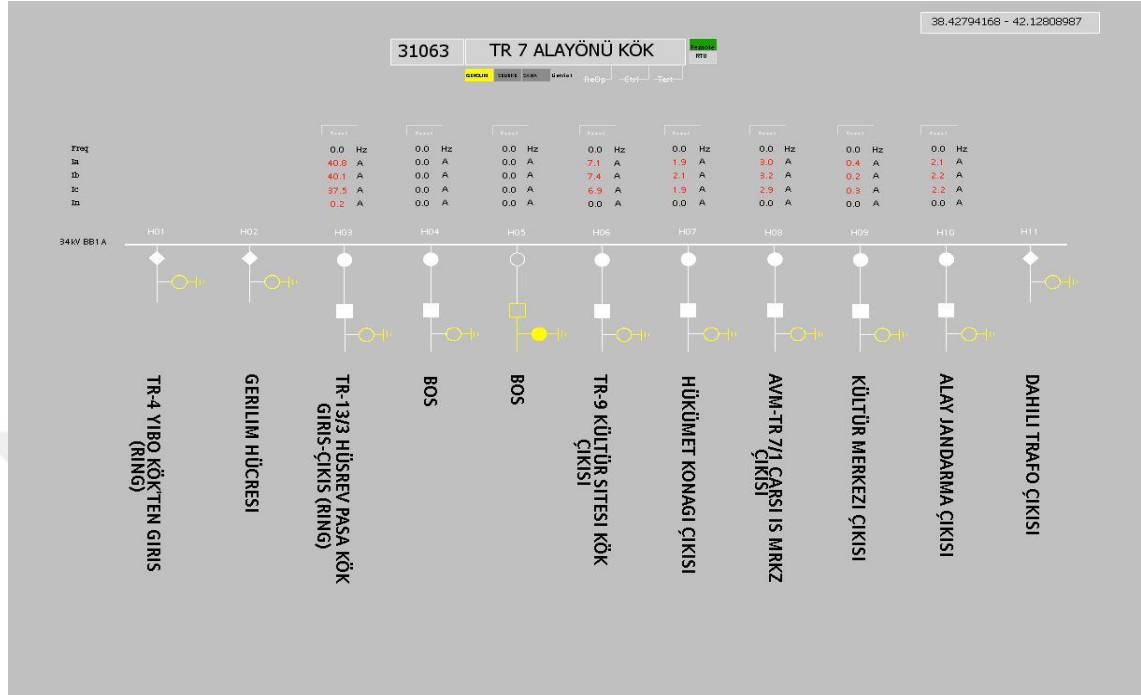
VEDAŞ'ın SCADA merkezi şirket müdürlüğü olan Van ilinde bulunmaktadır. VEDAŞ'ın Van, Bitlis, Hakkâri ve Muş olmak üzere toplamda dört il sorumluluk sahası içerisinde. Şirket müdürlüğü il binasının içerisinde SCADA koordinasyon merkezi ayrı bir birim olarak görevini sürdürmektedir. Dört ilin SCADA/DMS kontrol merkezi bu birim üzerinden yapılmaktadır. VEDAŞ bölge geneli SCADA kurulan merkezler Şekil 3.1'de ana ekran görüntüsü görülmektedir.

VAN			BITLIS			MUS			HAKKARI		
M1-DM	RTU	BASKALE 380 DM	RTU	YUKARI TOKI KOK	RTU	IM-1	RTU	HASKOY DM	RTU	KOPRULU KOK	RTU
M2-DM	RTU	DOPLUK DM	RTU	DALESTI KOK	RTU	IM-2	RTU	SARIDAVUT MOD	RTU	HAFKARI DM	RTU
M3-DM	RTU	BAITAR DM	RTU	NARLUCA KOK	RTU	AKPINAR	RTU	YARIMIS MOD	RTU	YUKSEKOVA DM	RTU
M4-DM	RTU	ENGIL 30 MYAGES	RTU	YASSITEPE KOK	RTU	MALAZGIRT DM	RTU	ORENSAR MOD	RTU	TEPE KOK	RTU
M5-DM	RTU	9 ETAP GIRIS	RTU	ORUCLU KOK	RTU	MURAT GOREN	RTU			KURUKOY DM	RTU
M6-DM	RTU	METROPOL KABIN	RTU	GUNGOREN KOK	RTU	NURETTIN KOK	RTU			CEZAEVI DM	RTU
M7-DM	RTU	DM 3 SARI KOK	RTU	UZUNYOL KOK	RTU	TEK 1 DM	RTU			KARAYOLLARI DM	RTU
M8-DM ORGANIZE	RTU	CEVIKKUVET KOK	RTU	DEMIRCI KOK	RTU	VARTO DM	RTU			GURDERE KOK	RTU
ALAKOY KOK	RTU	12 ETAP TEPE KOK	RTU	KAPIKOY KOK	RTU	KARAKUTUK MOD	RTU			ASAGIOCEK KOK	RTU
ARASTIRMA DM	RTU	SUFHAN KOK	RTU	CAYBAZI KOK	RTU	SUNGU DAP DM	RTU			UZUNLU KOK	RTU
ARISU KOK	RTU	HUSEYEVASA KOK	RTU	HATIPOVA KOK	RTU	BULANIK DM	RTU			ISKLI KOK	RTU
BRKETICILER DM	RTU	BANCESARAY GIRIS KOK	RTU	TR 1 KOK	RTU	KORKUT DM	RTU			HARLI KOK	RTU
CALIMLI KOK	RTU	KIRMIZI KOPRU KOK	RTU	ALBAYRAK KOK	RTU	KARAGACLI MOD	RTU			KAYAL KOK	RTU
CEZAEVI KOK	RTU	TR 6 KOK	RTU	KONUKSARAY KOK	RTU	ICBOGAZ KOK	RTU			BALIKLI KOK	RTU
DOGANLUN KOK	RTU	BOSTANCI TOKI KOK	RTU	ZEVE(BARDANCI) KOK	RTU	ALTINOVA MOD	RTU			ISIKLI KOK	RTU
ERIS DM	RTU	ATLAN KOK	RTU	YENI ALAKOY KOK	RTU	GOKYAZI KOK	RTU			KONURKOYU KOK	RTU
GEDIKBULAK KOK	RTU	KUSLUK KOK	RTU	PIRAZ KOK	RTU	ESMEPINAR KOK	RTU			TUTUNLU KOK	RTU
HANDERES KOK	RTU	YEMISLIK KOK	RTU	GULSUNLER KOK	RTU	BOSTANKENT KOK	RTU			MELIKTEPE KOK	RTU
KALE AYIRMA	RTU	MORCICEK KOK	RTU	TR 80 KOK	RTU	ELDIK KOK	RTU			SEMDINLI DM	RTU
KALECI TOKI KOK	RTU	HACIALI KOK	RTU	GOLLU KOK	RTU	OSB 1 DM	RTU			SEMDINLI YOLU DM	RTU
KARAGUNDUZ KOK	RTU	YUMUKLU KOK	RTU	ERCEK 477 KOK	RTU	30 TALELIF HATBAI KOK	RTU			DURANKAYA KOK	RTU
KARSTAKA DM	RTU	DURUKAS KOK	RTU	GEVAS DM	RTU	ERENTEPE MOD	RTU			KARAKOL KOK	RTU
KULTUR DM	RTU	KOZLUCA KOK	RTU	EJDER KOK	RTU	KARAGIL MOD	RTU			GECHIMLI KOK	RTU
ORTANCA KOK	RTU	YENIKOY KOK	RTU	ASAGI CITLI KOK	RTU	INONU TR1 MOD	RTU			ISIK KOK	RTU
OZALP 477 KOK	RTU	PAY KOK	RTU	TR 6 KOK	RTU	SULUCA MOD	RTU				
SAHGELDI KOK	RTU	KEKLIKOVA KOK	RTU	KURGECIT KOK	RTU	YEDIPINAR MOD	RTU				
TR 32 KOK	RTU	ULUPAMIR KOK	RTU	TRT KOK	RTU	TR 50 SIK MOD	RTU				
TR 41 HALK EGITIM	RTU	ILICA KOK	RTU	EKICILER KOK	RTU	CEZAEVI MOD	RTU				
TR 57 KOK	RTU	SAVATLI KOK	RTU	PINARLIK KOK	RTU	UCEYLER MOD	RTU				
TR 75 KOK	RTU	DORUTAY KOK	RTU	YAKITAS KOK	RTU	TUBA MOD	RTU				
TR 93 GOLPA KOK	RTU	KADIRASIKER KOK	RTU	CALDIRAN DM	RTU	HACIBEY MOD	RTU				
TR 116 KOK	RTU	TEKLERKARAKOL KOK	RTU	ERCI TR1 DM	RTU	CAYLAR HES MOD	RTU				
TR 125 KOK	RTU	ALPASLAN KOK	RTU	CATAK CAMI DM	RTU	TR 220 PIYADE MOD	RTU				
TR 96 KOK	RTU	BALAKLI KOK	RTU	MURADIYE DM	RTU	TR 11 SPORSAL MOD	RTU				
SARIMEHMET KOK	RTU	ARGIT KOK	RTU	MILLET PARKI DM	RTU	SUBAY LOJ. MOD	RTU				
GUZELSU (HOSAP) DM	RTU	UNDELI KOK	RTU	TR 243 KOK	RTU	OGULBALLI MOD	RTU				
KARPUZALAN KOK	RTU	KARADULDA KOK	RTU	TR 41/2 KOK	RTU	HASANPASA MOD	RTU				
CAKIRBEY KOK	RTU	KANDIL KOK	RTU	NIYAZI TURKIMEN (TR3)	RTU	ZIYARET MOD	RTU				
YENI ENGIL DM	RTU	BOLGE HASTANESI KOK	RTU	KULCUBABA KOK	RTU	HASKOY TR1 KOK	RTU				
SEVINDIK DM	RTU	ISKELE TR 30 KOK	RTU	GALERICILER KOK	RTU	SOKOM TEPE KOK	RTU				
DOLUCIKIN KOK	RTU	TR 11 KOK	RTU	ERCEK BEL KOK	RTU	ESKI HASTANE MOD	RTU				
SAFAK KOK	RTU	OZALP DM	RTU	ERCI ALAYDINI FM	RTU	GUZELTEPE KOK	RTU				

Şekil 3.1. VEDAŞ bölge geneli SCADA kurulan merkezler

Her bölgeye ait operatörler ve operatörlerin saha ile iletişimini sağlayan GSM haberleşme yöntemiyle telsizler üzerinden genel olarak kontrol mekanizması

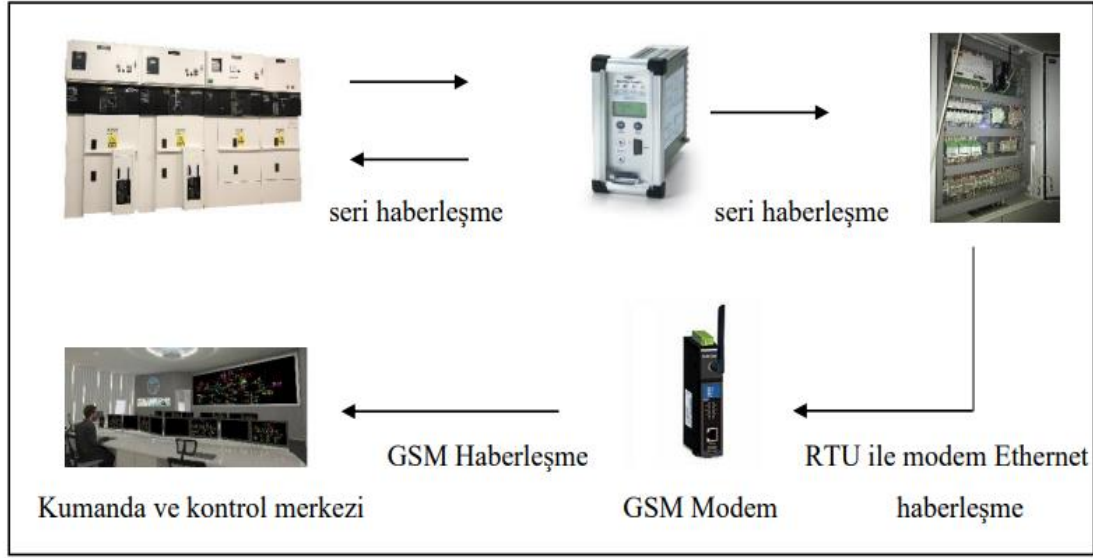
sağlanmaktadır. Dağıtım merkezlerinden her açan fidere ait tüm hareketleri SCADA komuta merkezi görüp, ekiplerle gerekli olan iletişimi sağlayarak kontrollü şekilde enerji akışını üstlenmektedir.



Şekil 3.2. VEDAŞ'a ait örnek tek hat şeması SCADA kontrol ve izleme diyagramı.

Bitlis il merkezinde bulunan bazı SCADA merkezlerinde genel olarak inceleme yapma fırsatımız oldu. Merkez binasının spectrum görüntüsü, Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu kök binasında bulunan materyaller incelenip haberleşme yöntemleriyle birlikte ele alınacaktır. Bu Binada 60850-5-103 protokolüne sahip olan RTU pano kullanılmıştır. Aynı zamanda bu protokole uyumlu THTRONİC NA11 tekrar kapamaya sahip aşırı akım ve toprak korum özelliği olan mikro işlemcili RS-485 haberleşme portu ile RTU ile gerekli hareketleri sağlamaktadır. Her hangi bir fider üzerinde oluşan kısa devre arızasında aşırı akım koruma rölemiz oluşan arızayı akım trafoları sayesinde algılayıp, fidere ait kesme elemanı ile arızalı olan bölgeyi servis harici etmektedir. Burada servis harici olan fiderlere ait kesici veya ayırıcı konum bilgisi, oluşan kısa devre arıza akımı RTU da bulunan girişi/çıkışlar ile SCADA merkezine anlık bilgi gider. Bu şekilde SCADA kontrol merkezi fiderlerin durumunu anlık merkezden takip edebilmektedir. Arıza SCADA operatörüne saha tarafından gelen talep üzerine, SCADA operatörü belli bir fideri devre dışı etmek isteyebilir. SCADA operatörü tarafından teyit alınarak, kesilecek fider belirlenip, uzaktan yani RTU üzerinden fider servis harici edilmek istenebilir. Bu tür durumlar genel olarak ring şebekelerinin devreye alınması veya dere

dışı edilmesi esnasında daha fazla talep edilmektedir. SCADA haberleşme şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. SCADA haberleşme şeması

3.1. Elektrik Dağıtım Şebekelerinde SCADA Kullanılan Merkezler

Tüm elektrik dağıtım şebekelerinde SCADA kurulan yerler en ağırlıklı olarak dağıtım merkezlerinde bulunmaktaydı. Ancak son teknolojik gelişmelerle birlikte elektrik şebekesinde ölçüm ve kontrol alanı her geçen gün artmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte uzaktan ölçüm, kontrol ve izleme alanı dağıtım merkezlerinin dışına taşınmış durumdadır.

Dağıtım merkezleri dışında direk tipi otomatik tekrar kapamalı kesiciler (Recloser), direk tipi otomatik yük ayırıcısı (Sectionalizer), havai hat arıza göstergeleri ve PLC ile çalışan açma kapamalı sayaçlarda bu kapsamda değerlendirilebilir. Bunlarda SCADA'da kullanılan haberleşme prensibiyle yapılabilir. Hemen bunlara ait haberleşme yöntemleri RTU panolardan GSM modemler ile veriyi algılayıp merkezlerine iletirler.

Son zamanlarda ülkemizde kaçak oranı yüksek olan bölgelerde PLC sayaçlar yardımıyla kontrol izleme ve ölçme yöntemi daha da genişlemiştir.

3.1.1. DM-KÖK-İM Merkezleri

Dağıtım şebekesinde en çok kullanılan alanlardır. RTU'da bulunan giriş çıkış sayısına göre fider kontrol altına alınabilir.

- Sınırsız sayıda fider RTU panoları üzerinden haberleştirilebilir.



Şekil 3.4. VEDAŞ Bitlis İlinden örnek Dağıtım merkezi

- Merkezde bulunan kesici, hücre, Trafo, Ayırıcı, Redresör, kapı hareketleri ve yangın gibi veriler SCADA üzerinden kontrol altına alınabilir.
- Çalışma alanları rahattır. Kullanımı yaygındır
- Ring şebekelerinin aktarmaları rahatlıkla yapılabilir

3.1.2. Otomatik Tekrar Kapamalı Kesiciler ve Otomatik Yük Ayırıcıları

Direk tipi otomatik tekrar kapamalı kesiciler (Recloser) ve otomatik yük ayırıcıları (Sectionalizer) yeni yeni kullanıma başlanmıştır. Yeni uygulamalara geçişte, Recloser sistemleri genellikle yüksek maliyetlerle ilişkilendirilmektedir çünkü çoğu zaman yalnızca bir fideri kontrol etmek için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bu sistemler çözüm odaklı bir yaklaşım sunduğundan, hızlı ve kolay bir entegrasyon sağlayabilirler. Özellikle arazi sorunlarının giderek arttığı günümüzde, şebeke genişletmeleri sırasında yer sorunlarıyla karşılaşmak yaygın bir durumdur. Bu tür zorlukların üstesinden gelmek için, mevcut bir elektrik şebekesine Recloser sisteminin montajı, hava koşullarından bağımsız olarak, hızlı ve sorunsuz bir şekilde

gerçekleştirilebilir. Bu, şebekenin daha etkin ve verimli bir biçimde yönetilmesini sağlar.

Kırsal alandan geçen enerji nakil hatlarının birçoğu çıplak bir şekilde gittiğinden dolayı bu hatların doğa şartlarından kaynaklı arızaya maruz kalma riski fazladır. Elektrik dağıtım şebekelerinde yapılan raporlamalara göre havai hatlarda gelen arızaların %70'ini geçici(kısa süreli) arızalar oluşturmaktadır. Bu geçici arızalar genel olarak aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi oluşur [28]. Şekil 3.5'te geçici arızaların oluşumuyla ilgili genel bir tablo oluşturulmuştur.

	• Kötü hava koşulları nedeniyle oluşan fırtınada iletkenlerin birbirine değmesiyle,
	• İletkenler üzerine büyük kanatlı kuşların konmasıyla,
	• Havai hat iletkenlerine yıldırım düşmesiyle, • v.b

Şekil 3.5. Geçici arızaların oluşma durumları

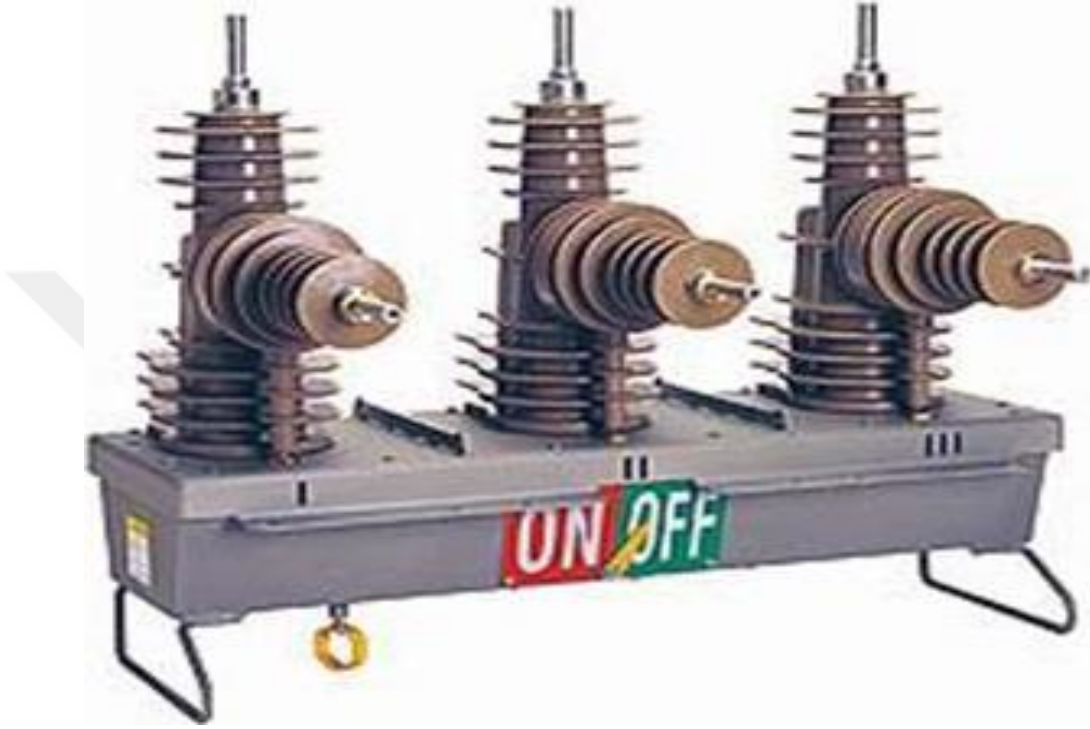
Geçici arızaların yanında bir de kalıcı arızalarda bulunmaktadır. Direk devrilmesi, iletken kopmaları, hattaki teçhizatın arızalanması, yabancı cisimler tarafından şebekede oluşan hasarlar nedeniyle kalıcı arızalar meydana gelebilir. Doğal olarak bu arızalardan kaynaklı kullanıcılar enerjisiz kalmaktadır [28].

Elektrik dağıtım sistemi için bu arızalar büyük sorun olduğundan dolayı, hızlı ve kısa ve kesintisiz enerji için Otomatik Tekrar Kapamalı Kesici ve Otomatik Yük Ayırıcılar tasarlanmıştır. Bu fider otomasyon sistemleriyle operatör müdahaleleri olmadan arızalı kısımlar ayrılarak, arıza olmayan bölgelere enerji verilebilir[28]. Söz konusu bu teçhizatlar için 2004 yılında TEDAŞ tarafından şartnamesi çıkarılmış, 2008 yılında da güncellenmiştir.

Otomatik Tekrar Kapamalı Kesiciler ve Otomatik Yük Ayırıcı Özellikleri;

- Kısa devre kesme akımı 16 kA'e kadar ve nominal çalışma gerilimi 38 kV'a kadar olan değere sahiptir.

- Anma normal akımı 200 A, 400 A, 630 A ve 800 A değerine kadar çalışabilirler.
- Tek faz, üç faz ve tek üçlü gibi tüm uygulamalar için aynı kontrol hücresi görünümü ve hissi verir.
- Akım ve gerilim bilgileri için akım ve gerilim trafoları kompakt bir şekilde dizayn edilmiştir.



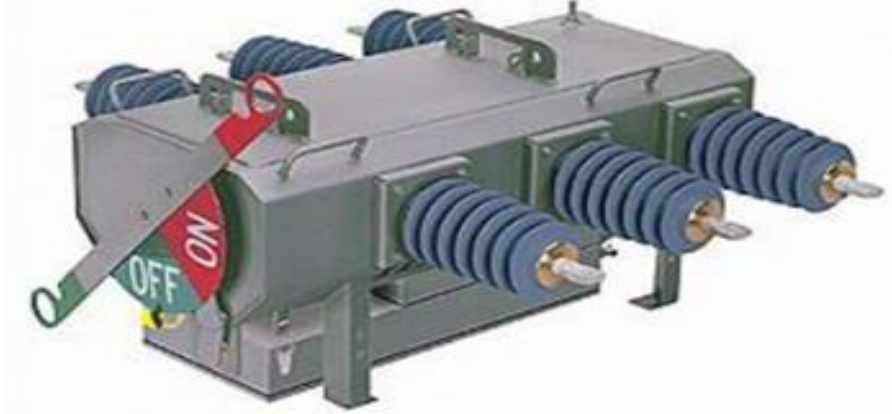
Şekil 3.6. Recloser (Otomatik Tekrar kapamalı Kesici)

- Ağır işletme şartlarında direk üzerinde çalışması için tasarlanmıştır.
- Kısa devre akımlarını kesebilir, kapama yapabilir. Anma akımları okunabilir.
- Aşırı akım röleleri yardımıyla programlanmış şekilde belli sürede bekleme-kapama yapabilir.
- Otomatik yük ayırıcıları ve Otomatik tekrar kapamalı kesiciler; bir anahtarlama teçhizatıdır. Üzerindeki anma akımını kesebilir. Anma akımına göre kapama yapabilir. Hatta oluşan kısa devre akımlarını taşıyabilir.
- Otomatik tekrar kapamalı kesiciler kısa devre akımlarını kesebilir. Ancak Otomatik yük ayırıcıları kısa devre akımlarını kesemezler.



Şekil 3.7. Van İli Gevaş ilçesinde montajı yapılan Direk Tipi Otomatik Tekrar Kapamalı Kesici

- SCADA sistemi ile açma kapama ve ölçme işlemlerini yapabilme
- 30.000'den fazla anahtarlama işlemi yapabilir.



Şekil 3.8. Otomatik Yük Ayırıcıları

- Kesici ve ayırıcıyı açtırmak için DM'lerde kullanılan herhangi bir aşırı akım koruma rölesi kullanılabilir.

Şekil 3.7 ve şekil 3.9’da verilen fotoğraflarda 2023 Ağustos ayı içerisinde Batel firması tarafından VEDAŞ şebekesine test amaçlı rescloser ve sectionalizer montajları yapılmıştır.



Şekil 3.9. Van Gevaş ilçesinde montajı yapılan otomatik yük ayırıcısı(Sectionalizer)

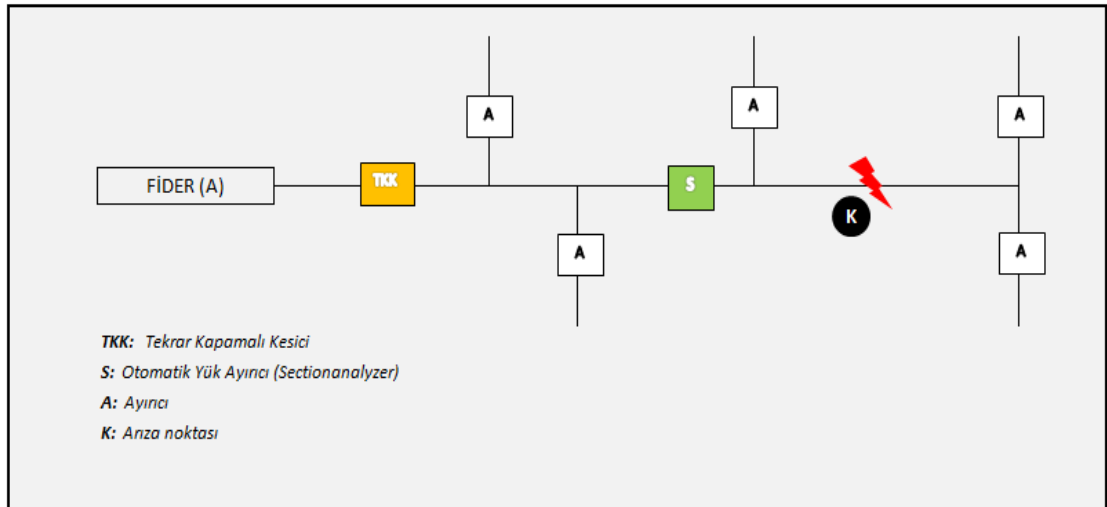
Kontrol ve Kumanda panosu;

- Tekrar Kapamalı Kesici direğine montaj edilir.
- Hatta bağlı gerilim Trafosundan Akü grubu beslenir.
- Koruma (Röle) ve kumanda fonksiyonları (Açma kapama butonları) için gerekli cihazlar pano içerisinde bulunur.
- Uzaktan İzleme, kontrol ve kumanda işlevi için SCADA RTU panosu ve modem konulabilir.



Şekil 3.10. Kumanda Kontrol Panosu

Şekil 3.11’de verilen Recloser ve Sectionalizer teçhizatların enerji nakil hatları üzerinde örnek bir çalışmasından bahsedilirse;



Şekil 3.11. Örnek bir enerji nakil hattının K noktasında oluşan kalıcı bir kısa devre arızası varsayım simülasyonu

Oluşan kısa devre akımı otomatik yük ayırıcısı (Sectionalizer, S) üzerinden geçtiği anda aynı akım otomatik tekrar kapamalı kesici (Recloser, TKK) hemen ayarlanan sürede devreyi keser. Tekrar kapama sayesinde Tekrar kapamalı aşırı akım rölesi bir süre bekler. Daha sonra rölede ayarlanan süre sonunda röle kesici üzerinden tekrar kapama yapabilir. Kalıcı bir arıza oluştuğu için Recloser (TKK) devreyi tekrar

keser. Aynı şekilde röle tekrar beklemeye geçer, bekleme süresinden sonra tekrar kapama devreye girerek, hattı besler ancak kalıcı arıza nedeniyle tekrar kapama başarısız olur. Bu iki tekrar açma ile birlikte aynı arızalar yük ayırıcı (sectionalizer, S) üzerinden geçtiği için tekrar kapamaları sayacaktır [28].

Yük ayırıcı üzerinden uygulanacak prensibe göre, TKK iki kez açma yaptıktan ya da arıza akımı iki kez geçtikten sonra TKK açsın ve kilitlemeye gitsin. Ardından arıza akımı iki kez üzerinden geçen yük ayırıcısını açtırsın. Prensibe göre yük ayırıcı S üzerinden iki kez arıza akımı geçtiği için ayırıcı arızalı bölgeyi açacaktır. Daha sonra tekrar kapamalı kesici yine devreye girerek diğer bölgeyi enerjilendirecektir. Bu sayede hem seçicilik hem de bir algoritma oluşmuş olacaktır. Bu sistemin daha iyi ve kontrollü yapılabilmesi adına SCADA ile operatör sayesinde izlemeli, kontrollü ve uzaktan kumanda ile işlemler yürütülebilir [28].

Bu sistemle oluşacak kazanımlar;

- Elektrik dağıtım şebekemiz daha güvenli hale gelmiş olur
- Daha az müşteri enerjisiz kalmış olacaktır. Bu durum kaliteyi artırmış olacaktır.
- Sistem geçici arızalardan arındırılmış olacaktır.
- Kesinti süre ve sayısı azalacaktır.
- Arıza tespiti için daha kısa mesafe taranacaktır.
- Arıza tespit ve onarım masrafları minimuma inecektir.
- Olaylar kayıt altına alınmış olacaktır.
- Sistemin SCADA ile GSM üzerinden modem ile haberleşmesi sağlanabilir.

Sonuç olarak ülkemizde SCADA alt yapısı gelişmektedir. Bu sistemlerin dâhil olmasıyla enerji kalitesi her gün daha da artacaktır. Ancak Recloser ve Sectionalizer ülkemizde üretimi az denecek seviyede olması nedeniyle maliyet bakımından yüksek olduğu için yaygınlaşmamıştır [28]. Son zamanlarda ülkemizde de üretimi birkaç tane firma tarafından yeni yapılmaya başlanmıştır. Bölgemiz olan Van ilinde de montajları yapılmış ve faydaları görülmüştür.

3.1.3. Havai Hat Arıza Gösterge Cihazları

Havai hat arıza gösterge cihazları, elektrik dağıtım sistemlerinde arızaların anında tespit edilmesi ve yönetilmesi için kullanılan önemli ekipmanlardır. Bu cihazlar, havai hatlar boyunca kurularak arıza durumlarını izler ve sistemde meydana gelen herhangi bir sorunu hızlı bir şekilde bildirir.

Bu cihazların sunduğu bazı temel özellikler şunlardır:

Akım ve Gerilim Kapasitesi: Havai hat arıza gösterge cihazları, 630 A'ya kadar normal akım ve 36 kV'a kadar nominal gerilim kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu geniş aralık, çeşitli güç ve gerilim seviyelerinde çalışma yeteneği sağlar.

Kullanım şekilleri: Bu cihazlar haberleşmeli ve haberleşmesiz olarak iki ana kategoride bulunur. Haberleşmeli modeller, arıza bilgilerini uzaktan kontrol sistemlerine ileterek merkezi izleme ve analiz yapma olanağı sunar. Haberleşmesiz cihazlar ise daha basit bir gösterge işlevi görerek arızaları yerel olarak tespit eder ve bildirir.

Bu cihazların en büyük avantajlarından biri, hava koşullarından bağımsız olarak çalışabilme yetenekleridir. Ayrıca, sistemlerin bakım ve arıza yönetimini daha etkin hale getirir, enerji kayıplarını azaltır ve genel sistem güvenilirliğini artırır. Havai hat arıza gösterge cihazları, elektrik şebekelerinin güvenliğini ve verimliliğini sağlamak için kritik bir rol oynar [56]. Haberleşmesi olmayan kısa devre akımı geçtiği anda LED'leri yanık durumda kalan bir havai hat arıza gösterge cihazı Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Havai hat arıza gösterge cihazı

- Havai hatta oluşan arıza akımını algılayarak ışıklı ikaz ve haberleşme(modülü varsa) ile birlikte SCADA merkezlerini bilgilendirir.

- Arıza bulma süresini yüzde 50 oranında azaltırlar.
- Kompakt, hafif yapı kurulumu kolaylaştırır.
- Güçlü, basit kenetleme mekanizmaları, çeşitli iletken boyutlarına uyar ve hızlı ve güvenilir kurulum sağlar.



Şekil 3.13. Bitlis ili Hizan fiderinden bransman alan ve çıkışına takılan haberleşmeli arıza gösterge cihazının sahadaki montajı

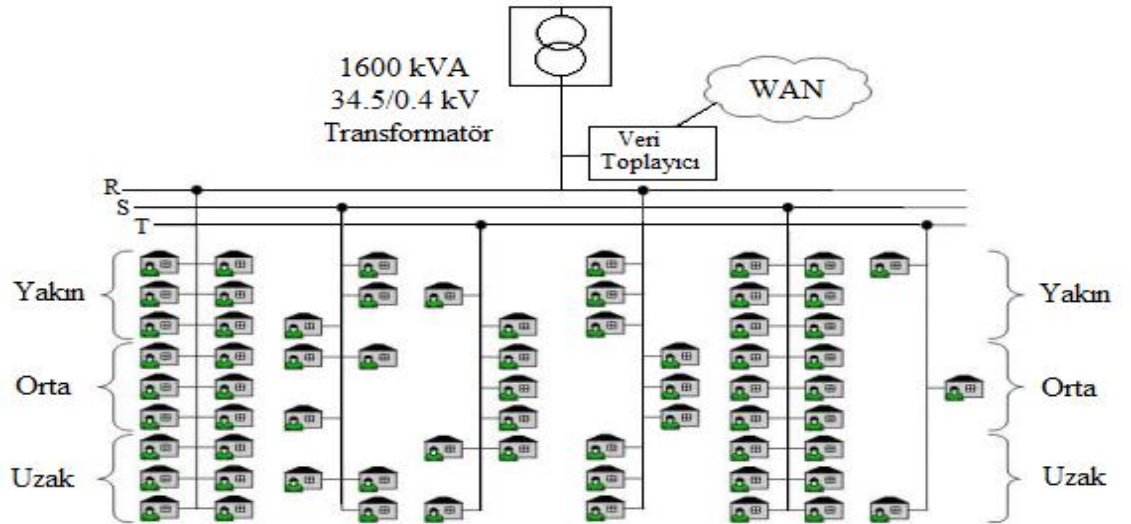
- SCADA Haberleşme için; modem, RTU panosu, gerilim trafosu ve montaj için sehpa ihtiyacı duyulmaktadır. Bakımları yok denecek seviyededir.

3.1.4. PLC Sayaçların SCADA ile Kontrol Altına Alınması

PLC modeli ile sayaç kontrol yönteminde, elektrik dağıtım hatlarının üzerinden, yüksek frekansta bilgi modüle edilerek, yüksek frekansta taşınması mantığına dayanmaktadır [21,22]. Bu dağıtım ve iletim hatlarında Frekans düşük olduğu için üzerinden taşınmakta olan bu frekansı yüksek verilerle merkezlerine ulaştırmaktadır. Bu yöntem birçok yerde uygulanmış model olan bir sistemdir. Özellikle Amerika ve Avrupa'nın batı kesimlerinde yaygın olarak kullanılmış durumdadır. Mevcutta bulunan

iletim ve dağıtım hatlarının üzerinden haberleşme sağlandığından PLC yönteminin kullanılması son derece daha uyumlu olacaktır. Çünkü iletim ve dağıtım hatları var olan tüm abonelere hatta en son noktaya ulaşmaktadır. Bu sayede dağıtım şebekelerine ait hatlarla haberleşme ağı ortaya çıkmış olacaktır [23,24]. Bu sistemin kullanılması mantıklı olduğu kadar olumsuz durumları da vardır. En belirgin ve göze çarpan dezavantajı maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Üretimi yapılan elektrik ilk olarak indirici merkezlere oradan da dağıtım merkezlerine ve daha sonra tüketim noktalarına güvenli bir halde ulaştırılması için iletim ve dağıtım hatları kullanılmaktadır. İletim ve dağıtım yapılırken güvenli bir şekilde sürekliliği sağlamak için, belli bir haberleşme frekansı kullanılmaktadır. Bu frekans 20-200 kHz aralığında olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir [25]. Bu haberleşme yeni bir alt yapıya ihtiyaç duyulmamıştır. Elektrik şebekesinde bulunan dağıtım hatlarının tüm abonelere yani son kullanıcılara ulaşması sayesinde haberleşme alt yapısına gerek duyulmamıştır. PLC ile çalışan sayaçlar ile birlikte adeta bir akıllı şebeke ortaya çıkmıştır. Şebekede kullanılan PLC sayaçlarla ilgili genel görüntü Şekil 3.14’te verilmiştir.



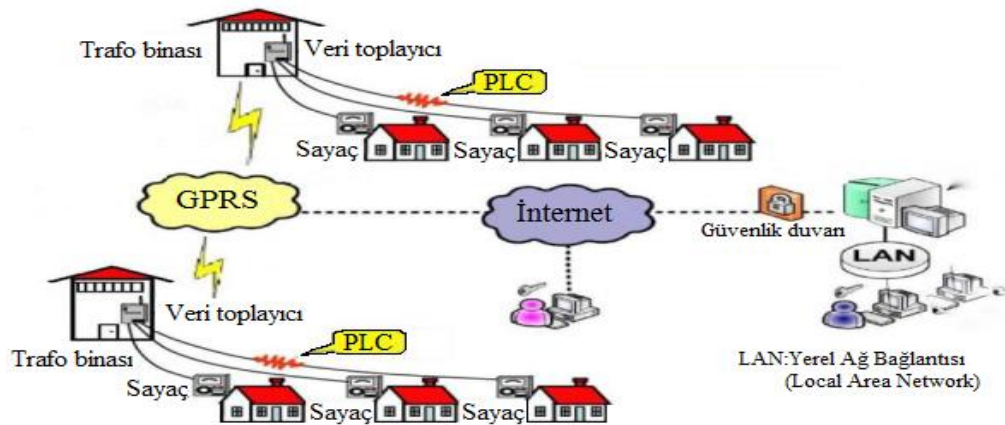
Şekil 3.14. PLC sayaçlarla haberleşme argümanları

Bu haberleşme sisteminde bazı dezavantajlar olabilir. Bu da gürültünün oluşmasıyla sinyallerde zayıflık meydana getirir. Gürültü iletişimin kalitesine bağlı, ilk olarak arka planda darbe gürültüsü oluşmaktadır. Darbe gürültüsü modelini yapılan ölçümler sonucunda David Middleton tarafından ortaya konulmuştur. Ölçümler

sonucunda olmayan yani gözlemler sonucu ve hattın performans durumunu etkileyen gürültüler arka plan gürültüsüdür [26].

PLC sistemi ile çalışan sayaçlar havai hat şebekeler üzerinden haberleştiği zaman elektromanyetik alandan etkilenirler. Havada bu alana maruz kalan havai hattaki bilginin gürültüden kaynaklı bozulma etkisi görülür. Havai hatlı şebekenin diğer bir alternatifi olan yer altı şebekeleriyle bu problemler minimize edilir. Yeraltı şebekeleri havi hatlara göre daha az manyetik alandan etkilenir. Havai olan iletim hatlarında kullanılması büyük derecede sorunlar yaşatmaktadır. Havada elektromanyetik alana maruz kalmalarından dolayı bilginin gürültüden kaynaklı bozulma etkisi görülür. Ülkemizde özellikle çarpık şehirleşmenin plansız yapılmasından dolayı gürültünün yaşanması dağıtım şebekelerinde fazlasıyla ortaya çıkmaktadır [26,27].

PLC sistemi aynı zamanda otomatik sayaç okuma sistemi dediğimiz OSOS'un bir alt dalıdır. Ancak OSOS (Otomatik Sayaç Okuma Sistemi) okuma ve izleme gibi faktörler için kullanılır. PLC sistemi hem açma-kesme hem de Şebekede oluşan tüm olayları gözlemleyip kontrol mekanizmasıyla bir akıllı şebeke ortaya koymaktadır. Bu da sistemin daha akıllı ve daha kontrol etmek amaçlı SCADA sistemiyle benzer bir algoritma ortaya koyuyor. PLC ile çalışan sayaçlarda, Kesme, açma, gerilim değerleri, akım değerleri, sayaç müdahale durumu, gerilim değerleri anlık izlenebilmektedir. Günlük kaç kez enerji kesintisi meydana geldiği raporlanabilmektedir. Şekil 3.15'te PLC haberleşme alt yapısı şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.15. PLC haberleşme alt yapısı şeması

PLC sayaç ve veri merkezinin sahadaki montajları; PLC altyapısıyla tasarlanan sayaçlar, elektrik dağıtım şebekesi üzerinde kurulan bir örgüsel ağı oluşturur. Bu sayaçlar, elektrik dağıtım hattındaki tüm abone sayaçlarıyla ve dağıtım trafosunun

bulunduğu pano arasındaki iletişimi sağlar. Böylece, yeni hat çekmeye gerek kalmadan mevcut altyapı üzerinden veri iletimi gerçekleştirilir, bu da ek maliyetlerin ortaya çıkmasını önler. PLC tabanlı sayaçlar, topladıkları verileri doğrudan trafoda bulunan veri toplama nitesine (DCU) taşır. Bu yöntem, verilerin hızlı ve etkili bir biçimde toplanmasını sağlar, sistemin verimliliğini artırır ve operasyonel maliyetleri düşürür [53-55].



şekil 3.16. Ana dağıtım panosunda bulunan veri toplama nitesi

Bu sayaca aynı zamanda, dışarıdan müdahalelere karşı herhangi bir müdahale durumunda veri toplama merkezine uyarı verebilmektedir. Bu sayaçlar üç fazlı (trifaze) ve tek fazlı (monofaze) şeklinde üretimleri vardır. PLC sayaçlar faz üzerinden ölçüm yapabildiği gibi nötr üzerinden de ölçüm yapabilmektedir [26]. şekil 3.16’da pano içerisinde kullanılan bir DCU (Veri Kontrol nitesi, Data Concentrator Unit) görüntüsüdür.



Şekil 3.18. Binalarda yatay elektrik panosuna sayaç montajı

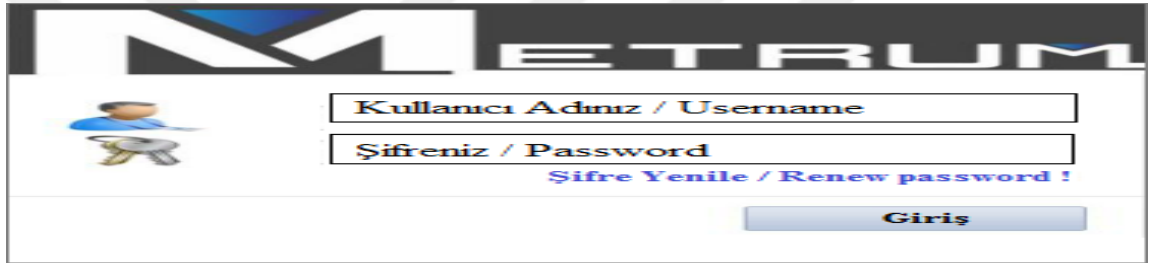
Sonuç olarak bu uygulamaların hem kontrol kumanda yönünden hem de usulsüz enerji kullanımının önüne geçilmesi için faydası gün geçtikçe artmıştır. İlk başta bu uygulama usulsüz enerji kullanımı için yapılmıştır. Ancak arıza yönetim merkezi ile entegre edilmesiyle birlikte operatör yardımıyla akıllı bir şebeke gibi kullanılmaya başlanmıştır. SDK içinde yapılan montaj şekilleri Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Box panoya sayaç montajı

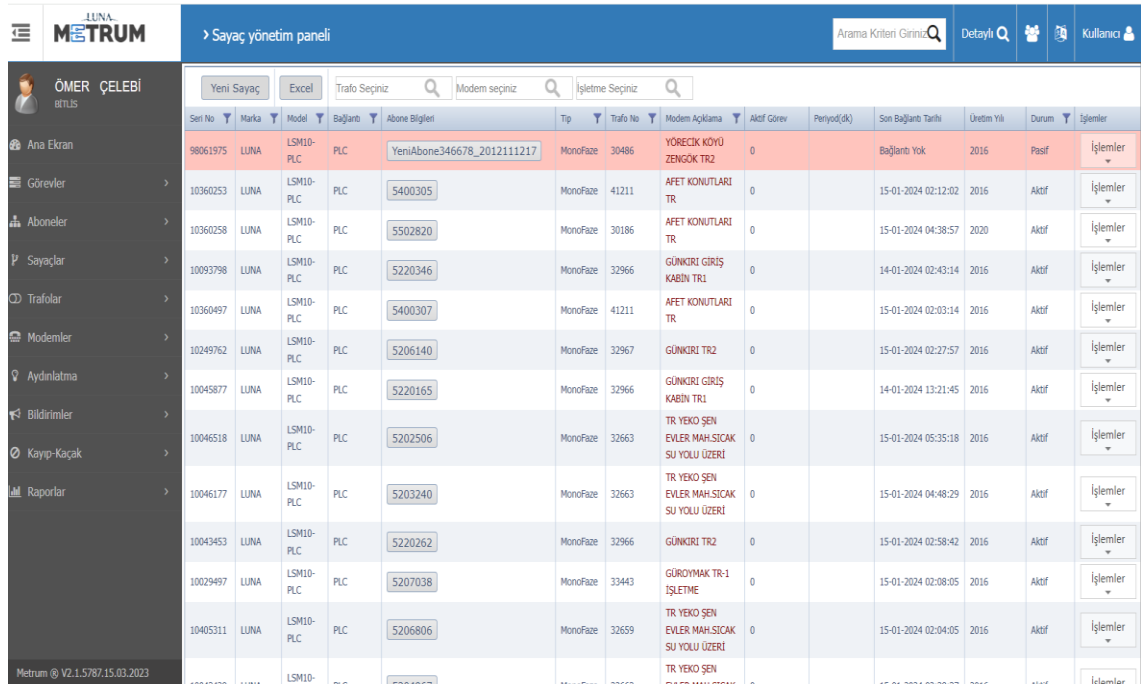
PLC Sayaçların Veri Toplama Merkezi;

Luna Metrum Web tabanlı veri toplama merkezi, SCADA sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi için kritik bir rol oynar. Bu sistem, saha ekipmanlarından ve sayaçlardan elde edilen tüm verileri toplar ve bunları dağıtım şirketlerinin sunucularında saklar. Bu verilerin doğru ve güvenli bir şekilde toplanması, operasyonel verimliliği artırır ve sistem performansını iyileştirir. Kullanıcı adı ve şifre ile giriş gereksinimi, sistem güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynar ve yetkisiz erişimleri önler. Bu sayede, veri bütünlüğü korunur ve sistemin güvenilirliği artırılır. Bu tür güvenlik önlemleri, veri kaybı veya yetkisiz erişim risklerini minimize eder, böylece veri güvenliği ve sistem bütünlüğü sağlanmış olur [50-52]. Luna Metrum sisteminin ana ekran girişi Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de verilmiştir.



The login screen for the Luna Metrum system. It features the Metrum logo at the top. Below the logo, there are two input fields: 'Kullanıcı Adınız / Username' and 'Şifreniz / Password'. A link 'Şifre Yenile / Renew password !' is located below the password field. A 'Giriş' (Login) button is at the bottom right.

Şekil 3.20. Giriş ekranı (Metrum, 2024)

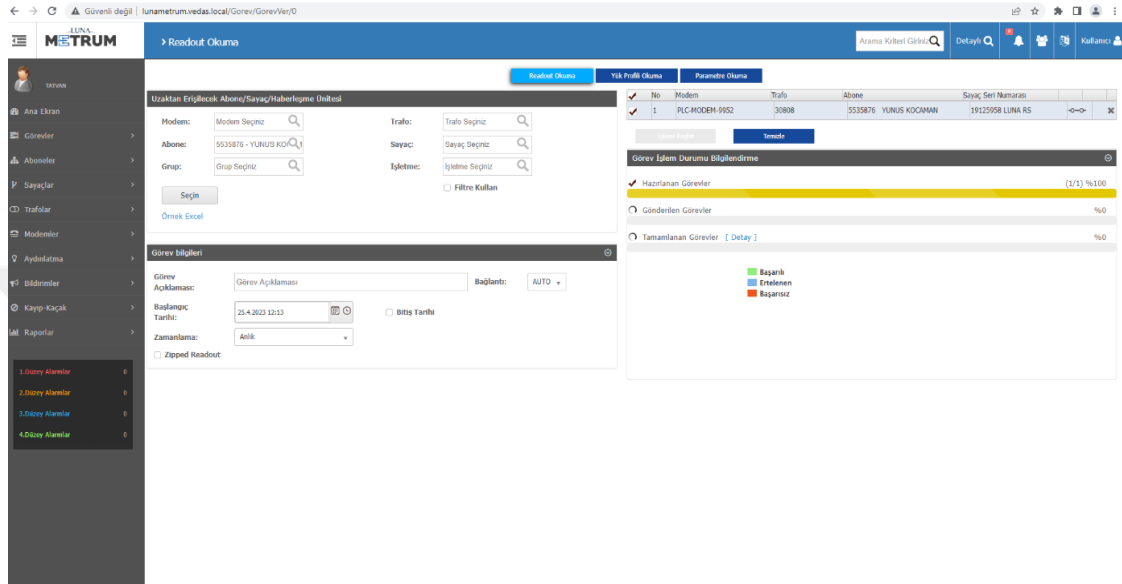


The main dashboard of the Luna Metrum system. It includes a sidebar with navigation options: Ana Ekran, Görevler, Aboneler, Sayaçlar, Trafolar, Modemler, Aydınlatma, Bildirimler, Kayıp-Kaçak, and Raporlar. The main area displays a table of meter data. The table has columns for Seri No, Marka, Model, Bağıntı, Abone Bilgisi, Tip, Trafo No, Modem Açıklama, Akıf Görev, Periyot (dk), Son Bağlantı Tarihi, Üretim Yılı, Durum, and İşlemler. The data is filtered by 'Yeni Sayaç' (New Meter).

Seri No	Marka	Model	Bağıntı	Abone Bilgisi	Tip	Trafo No	Modem Açıklama	Akıf Görev	Periyot (dk)	Son Bağlantı Tarihi	Üretim Yılı	Durum	İşlemler
98061975	LUNA	LSM10-PLC	PLC	YeniAbone346678_2012111217	MonoFaze	30486	YORECİK KÖYÜ ZENGÖK TR2	0		Bağıntı Yok	2016	Pasif	İşlemler
10360253	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5400305	MonoFaze	41211	AFET KONUTLARI TR	0		15-01-2024 02:12:02	2016	Aktif	İşlemler
10360258	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5502820	MonoFaze	30186	AFET KONUTLARI TR	0		15-01-2024 04:38:57	2020	Aktif	İşlemler
10093798	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5220346	MonoFaze	32966	GÜNKİRİ GİRİŞ KABİN TR1	0		14-01-2024 02:43:14	2016	Aktif	İşlemler
10360497	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5400307	MonoFaze	41211	AFET KONUTLARI TR	0		15-01-2024 02:03:14	2016	Aktif	İşlemler
10245762	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5206140	MonoFaze	32967	GÜNKİRİ TR2	0		15-01-2024 02:27:57	2016	Aktif	İşlemler
10045877	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5220165	MonoFaze	32966	GÜNKİRİ GİRİŞ KABİN TR1	0		14-01-2024 13:21:45	2016	Aktif	İşlemler
10046518	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5202506	MonoFaze	32663	TR YEKO ŞEN EVLER MAH.SICAK SU YOLU ÜZERİ	0		15-01-2024 05:35:18	2016	Aktif	İşlemler
10046177	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5203240	MonoFaze	32663	TR YEKO ŞEN EVLER MAH.SICAK SU YOLU ÜZERİ	0		15-01-2024 04:48:29	2016	Aktif	İşlemler
10043453	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5220262	MonoFaze	32966	GÜNKİRİ TR2	0		15-01-2024 02:58:42	2016	Aktif	İşlemler
10029497	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5207038	MonoFaze	33443	GÜROYMAK TR-1 İŞLETME	0		15-01-2024 02:08:05	2016	Aktif	İşlemler
10405311	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5206806	MonoFaze	32659	TR YEKO ŞEN EVLER MAH.SICAK SU YOLU ÜZERİ	0		15-01-2024 02:04:05	2016	Aktif	İşlemler
10043453	LUNA	LSM10-PLC	PLC	5206806	MonoFaze	32659	TR YEKO ŞEN EVLER MAH.SICAK SU YOLU ÜZERİ	0		15-01-2024 02:04:05	2016	Aktif	İşlemler

Şekil 3.21. Luna Metrum ana sayfa görünümü (Metrum, 2024).

Bu panel üzerinden, sayaçların enerjisini uzaktan kesme ve açma işlemleri yapabiliriz. WEB görev servisi gerekli kontak bilgisini merkeze bildirmektedir. Görevler paneli üzerinde bulunan Readout okuma ile abonenin, tesisat, sayaç seri, modem, trafo numaraları ile sayaca okuma atılıp, anlık olarak yapılan tüketim bilgileri, çekilen gücü, akım değerleri ve gerilim değerlerini vermektedir [26]. Görev okuma paneli Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Luna Metrum görev paneli okuma ekranı (Metrum, 2024)

Luna Metrum abone paneli kısımlarında sayaç numarası veya tesisat numarası üzerinden arama motoru yapılarak sayaç üzerindeki tüm veriler detaylı raporlanabilir. Raporlamalar saatlik olarak dijital ortama aktarılabilir. Akım-gerilim gibi değerleri grafik şeklinde de anlık raporlanabilir.

3.2. Dağıtım Şebekelerinde SCADA Sisteminin Arıza Çözümü Noktasındaki Analizi

Günümüz rekabetçi ortamında SCADA sistemi ile kontrol altında tutulan ve izlenen bir elektrik dağıtım sisteminin tüketiciye sağladığı avantajlar hedeflenmektedir.

Teknik kalite, tedarik sürekliliği ve bunların iyileştirilmesi yönündeki faktörlerden biri olan arıza sürelerinin düşürülmesi ve arıza kestirimi yapılması ilk hedeflerdendir. Arıza sürelerinin her yıl düşmesinde planlı bakım programlarının hayata geçirilmesi, gereceğe yakın arıza senaryolarının oluşturulması, operasyon personelinin arıza giderme çalışmalarında doğru yöntemi planlı bir biçimde uygulayabilmesi, arıza yerlerinin hızla belirlenebilmesi ve zamanın daha iyi yönetilebilmesi için en önemli

emareleridir. Sistemin iyi işleyebilmesi için alt yapının da hazır olması gerekmektedir. Öncelikle coğrafi bilgi sistemi(CBS) denilen alt yapının hazır ve güncel olarak tutulması gerekiyor. Yani CBS alt yapısıyla canlı bir şebekenin üzerinde bulunan tüm kullanıcılar (aboneler), trafolar, direkler, havai hatlar, abone bilgileri, adreslemeler, dağıtım merkezleri, ayırıcılar ve kesiciler gibi şebeke ekipmanlarının doğru bir şekilde konumlandırılmalıdır. Şebeke ekipmanlarının arızalanma olasılıkları, Ciddi bir veri olan kesinti yönetim sistemi(OMS) veri tabanında bulunan ekipman bilgisi, yani hangi dağıtım merkezi ve hangi fiderden kesildiğine dair önceki arızaların nedenleri, farklı farklı gerilim seviyeleri ile iklimsel veriler, coğrafi bilgiler, ekipmanların imal yılları veya tesis yılları gibi verilerin makine dili algoritmalarıyla harmanlanarak ileriye dönük günlük-haftalık-aylık-yıllık bazda her şebeke teçhizatı için gerçekleştirebilecek arızaların yüzdesel olarak raporlarının oluşturulmasıdır. Raporlanması gerçekleştirilen arızaların önüne geçmek için uygulanabilecek bakım ve yenileme planlarının yapılması, olası arızaların meydana gelmesinin önüne geçilecektir. Aynı zamanda yıllık yüklenme verisi belli olan çıkışlarda veya ikincil durumlarda sebep olacağı, kesinti süreleri, kesinti süresi ile kesinti sayısından (SAIDI-SAIFI) etkilenecek tüketici sayısı gibi parametreler ele alınarak yatırım ve bakım Planlarının önceliklendirme üzerinde bir sistemin oluşturulmasına yönelik ön ayak olur [29].

Dağıtım şirketlerinde bütün arıza kayıtları yönetmelik gereği tablo-1 dediğimiz veri tablosunda kaydedilmek zorunludur. Bu tablo da otomatik dijital ortamdan alınıp raporlanabilmektedir. Arıza analizi yapabilmemiz için bu tabloların doğruluk payının %100 seviyelerinde olması gerekmektedir. Bu verilerin olduğu ortam OMS dediğimiz Kesinti Yönetim Sistemidir. Kesinti yönetim sisteminde SCADA verileriyle tek yönetilmez, birçok yerden veriler gelip harmanlanarak tablo oluşturulmaktadır. SCADA, OSOS, 186 çağrı merkezi, PLC sistemi gibi akıllı şebeke verilerinden gelen anlık kesintiler, kesinti yönetim sistemine tek formatta aktarılıyor.

Kesinti yönetim sistemi son zamanlarda gelişen teknolojiye birlikte daha gerçekçi ve daha çözümücü bir sisteme dönüşmüştür. VEDAŞ dağıtım bölgesinde 2015 yılından sonra kesinti yönetim sistemi otomatik bir şekilde oluşturulmaya başlanılmıştır. Daha öncesinde bir Excel tablosunda tablo-1 oluşturuluyordu. Bu sistem sadece çağrı merkezi kanalıyla gelen arıza verileri manuel olarak Tablo-1'e giriliyordu. Bu sistemde reel bir veri olmaktan çıkıyordu. 2015 yılından sonra öncelikle CRM (Müşteri İlişkileri Yönetimi, Customer Relationship Management) kesinti yönetim sistemi üzerinden çağrı

← → Güvenli değil crm.vedas.local:5555/VEDAS/main.aspx#932113995

Dynamics 365 Çağrı Merkezi Arıza İş Emirleri 241002801064

ETKİNLİŞTİRİ ATA PAVLAŞ GÜVENLİ ALANLARI PAVLAŞ E-POSTA İLE BAĞLANTI G... İŞ AKIŞINI ÇALIŞTIR İLETİŞİM KUTUSUNU BAŞ...

ARIZA İŞ EMİRİ : BİLGİ
241002801064

İş Emri No: 241002801064 Oluşturma Tarihi: 1.1.2024 20:49

• Çağrı Bilgileri

Çağrı Bilgileri

Kapanmasına Kalan Süre

İş Emri Açıklaması: Müşteri:TesisatNoYok, Arayan:ERSAN ŞENGÜL, Açıklama:Müşterimiz bulunduğu bölgede sokak aydınlatmalarının yanmadığını belirtti. Konuyla ilgili destek beklemektedir. Adres:BITLİS, TATVAN, NO:3 MV, ÇALIDÜZÜ KÖYÜ KÖY İÇİNDE, Gelen Tlf:05389232026, İrtibat Tlf:05389232026, Tesisat:

Adres Bilgileri

Adres: ÇALIDÜZÜ, KÜÇÜKSU, TATVAN, BITLİS
Adres Açıklaması: NO:3 MV, ÇALIDÜZÜ KÖYÜ KÖY İÇİNDE

İl: BITLİS
Bölge: TATVAN
Bucak: KÜÇÜKSU
Köy: ÇALIDÜZÜ
Mahalle: --
CSBM: --
CBS Resmi: --
Mobil Güncelleme Tar: 1.1.2024 21:29

Çağrı: 2417033978-76 Abone: TesisatNoYok
Sahip: TATVANTKMS TKM Konu: Genel Aydınlatmalar Yanmıyor
Ana İş Emri: -- Konu Çözüm Süresi: 24
Arayan: ERSAN ŞENGÜL Trafo No: --
İrtibat Tlf: 05389232026 Kritiklik Durumu: NORMAL
Erilem: 38.434231
Sahaya Gönderildi: ☐ Boylam: 42.266948
İş Emri Tipi: Diğer Şirket: VEDAS
İş Emri Kaynağı: -- Özelleştirilmiş Konu: Genel Aydınlatmalar Yanmıyor
İlgili Kesinti: --

Şekil 3.24. CRM Çağrı merkezi kanalıyla gelen çağrı

CRM kesinti yönetim sistemi alt yapısında; CBS, SCADA, OSOS, PLC ve 186 çağrı merkezi yardımıyla oluşan tüm arızalar bir tablo formatında otomatik bir biçimde raporlanabilmektedir. Bu oluşan arıza verileri anlık olarak saha operasyon ekiplerine iş görev emri şeklinde veriler kaybolmadan dijital ortamda veriliyor. Saha operasyon ekipleri bu verilerde konum bulunduğu için arıza noktasında kaç abone enerjisiz kaldığı, tüm abone bilgilerini, enerjisiz kalma süresi ve şebeke yapısını görebilir. Sahada müdahale edilen arıza yerinde kapatılarak sistem üzerinden kapatıldı otomatik verisi kesinti yönetim sistemine gitmektedir.

Çizelge 3.1'deki listelerde 2020 yılında kurulan SCADA alt yapılarıyla birlikte yıllık ortalama kesinti süresi süreleri verilmiştir. 2020 yılında verilerle bir rapor oluşturulmuş ve 2021 yılından sonra bu SCADA raporlarından alınan verilerle iyileştirmeler görülmüştür. 2022 yılından sonra da daha da iyileşmeler devam etmiştir.

Çizelge 3.1. SCADA kurulduktan sonra ortalama kesinti süreleri



SCADA yani akıllı şebeke yapısı sayesinde hem dağıtım şirketlerine hem de tüketicilere sağladığı avantajlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Personelden tasarruf: onlarca veya yüzlerce trafo ve dağıtım merkezinin işletmesini yapmak için yüzlerce kişiye ihtiyaç vardır. Hali hazırda bu merkezleri bir kaç personel ile SCADA ve akıllı şebeke sistemi ile rahatlıkla

işletilebilmektedir. Sistemin genişlemesi durumunda yeni personele gerek kalmayacak, mevcut SCADA ekranına sadece yeni sayfalar eklenecektir.



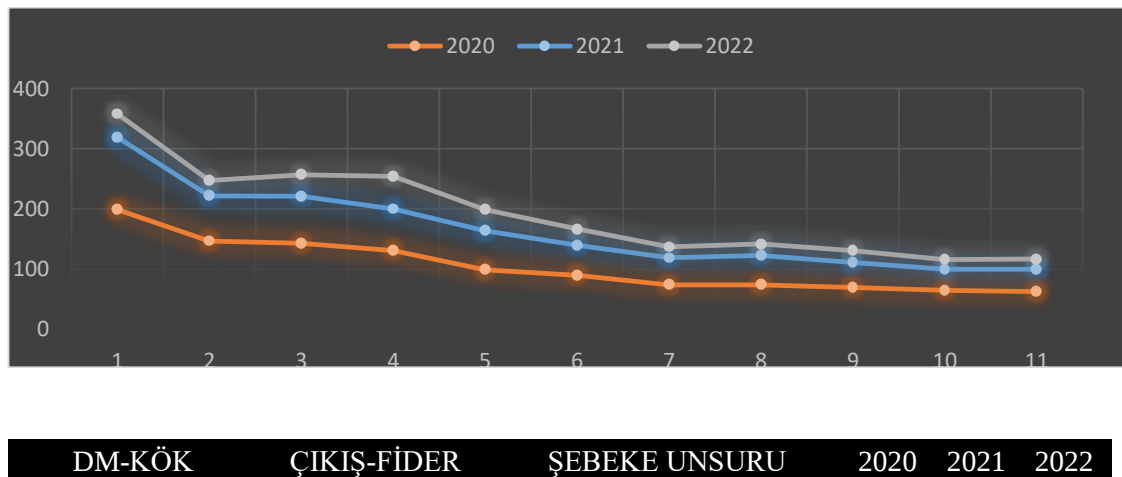
Şekil 3.25. VEDAŞ bölgesi SCADA enerji akış şeması(kırmızı noktalar enerjinin kesik olduğu bölgeleri göstermektedir).

2. Zamandan tasarruf: SCADA sistemleri, elektrik dağıtım şebekelerinde elektrik kesintileri sonrası normal işletme koşullarına dönme süresini büyük ölçüde azaltarak zamandan tasarruf sağlar. Geleneksel yöntemlerde, personelin hazırlanması ve yol durumu gibi faktörler nedeniyle bu süreç en az bir saat sürebilir. Ancak SCADA sistemi sayesinde, kesintinin ardından 5-10 dakika gibi kısa bir süre içinde gerekli manevralar yapılarak normal besleme durumuna dönmek mümkündür. Bu hızlı müdahale, hem operasyonel verimliliği artırır hem de müşteri memnuniyetini sağlar.
3. İnkıtaların önlenmesi: SCADA sistemleri, elektrik dağıtım sistemindeki parametrelerin sürekli izlenmesi ve kaydedilmesi sayesinde inkıtaların önlenmesine yardımcı olur. Sistem, belirlenen limit değerlerin aşılması durumunda operatörlere uyarılar gönderir. Bu erken uyarılar, operatörlerin sistemde oluşabilecek sorunları önceden tespit ederek gerekli tedbirleri almalarını sağlar. Böylece, potansiyel arızalar önlenir ve sistemin kesintisiz çalışması sağlanır, bu da hem güvenilirliği artırır hem de maliyetli kesinti sürelerini minimize eder.
4. Enerjiden tasarruf: SCADA sistemleri, talep tahminleri yaparak yük alma ve yük atma senaryolarını optimize eder. Böylece enerji tüketimi en uygun seviyede

tutulur. Optimum enerji seviyesi, sistemdeki ekipmanların ömrünü uzatarak bakım ve yenileme maliyetlerini azaltır. Enerji tasarrufu, sadece maliyetleri düşürmekle kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de artırır, böylece daha verimli ve uzun ömürlü bir enerji dağıtım ağı oluşturur.

5. İnsan hatalarının önlenmesi: Otomasyon sistemleri, saha ekipmanlarını hatasız bir şekilde kumanda ederek insan inisiyatifinde çalışan sistemlere kıyasla çok daha güvenli ve tehlikesiz bir işletim sağlar. Önceden oluşturulmuş senaryolar sayesinde, kumanda işlemlerinin doğru ve tutarlı bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkündür. Bu durumda, operatörün tüm işlemleri manuel olarak yapmasına gerek kalmaz; sadece ilgili senaryoyu başlatması yeterli olur. Bu, insan hatası riskini minimize eder ve operasyonlarda verimliliği artırır.
6. Kaliteli enerji: Tüm elektrik parametrelerinin sistem tarafından izlenmesi sayesinde insan müdahalesi en aza indirgenmektedir. Operatörler sadece karar verme anlarında devreye girerler. Kesintilerin ve arızaların asgari düzeye indirilmesi, gerekli trafo kademe ayarlarının zamanında yapılması gibi erken müdahalelerin, müşteriye sunulan elektrik enerjisinin kalitesine olumlu yansıtacağı kesindir. Bu durum, enerji arzında süreklilik ve güvenilirlik sağlar.
7. Şebekenin iyileştirilmesi için altyapı oluşturur: SCADA sistemi, tüm elektriksel verileri ölçüp kaydederek bu veriler üzerinden analizler yapılmasını sağlar. Bu analizler sayesinde şebekenin zayıf yönleri tespit edilerek yatırım yapılması gereken öncelikli noktalar belirlenir. Böylece şebekenin genel performansını ve güvenilirliğini artırmak için gerekli iyileştirmeler daha kolay ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir [6].

Çizelge 3.2. SCADA sistemlerinin fider açma sayıları üzerinde analizleri



SAGINLIKOK	DAYILAR DOKOKTAS CI	SAGINLIKOK / 34kV / H04	199	120	80
AYDINLARKOK	RADYOLIG CIKISI	AYDINLARKOK / 34kV / H06	147	95	55
AOLEKKOK	CELTIKLI CIKISI	AOLEKKOK / 34kV / H02	143	78	36
KOCYIGITKOK	CAYIR CIKISI	KOCYIGITKOK / 34kV / H04	131	69	54
MUESSESE	BASHAN EREN UNI CIK	MUESSESE / 34kV / H05	99	65	35
BITLIS TR8 DM	BAHCESARAY 3-0 FIDE	TR8DM / 34kV / H05	90	50	27
TR73KOK	NEMRUT CIKISI	TR73KOK / 34kV / H03	74	45	18
BITLIS TR8 DM	HOROZDERE CIKISI	TR8DM / 34kV / H06	74	49	19
AYDINLARKOK	KOMURLU KOK CIKISI	AYDINLARKOK / 34kV / H03	70	41	20
SOGUKSU	SOGUKSU KOY FIDERI	SOGUKSU / 34kV / H05	65	35	16
GUROYMAKDM	GOLBASI CIKISI	GUROYMAKDM / 34kV / H04	63	37	17

Çizelge 3.2’de analiz yapıldığı zaman 2020 yılında Bitlis İlinde kurulan ve kurulmaya başlayan SCADA ile birlikte açma sayıları üzerinde veri analizi yaparak bu sayıları sonraki planlamada minimum seviyelere kadar indirilmiştir. Örnek verilecek olursak; Sağınli kök dayılar döküktaş çıkışı 2020 yılında 199 kez açmıştır. Veri analizleri yapıldığından dolayı bakım veya yatırım kapsamında yıl içerisinde iyileştirmeler yapılmıştır. 2021 yılında açma sayısı veriler sayesinde % 40 azalmıştır. SCADA sayesinde yatırım ve bakım kapsamında yapılması gerekenler günlük, aylık ve yıllık şeklinde planlanabilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu talep artışı enerjinin verimli kullanılmasının önemini ortaya koymuştur. Bunun için elektrik enerjisinin takibinin daha iyi yapılabilmesi, tüketilen enerjinin ölçülebilmesi ve kontrol edilebilmesi gerekmektedir. Kullanılan enerjinin kontrol altına alınıp ölçülebilmesi için kesintilerin ile kayıpların minimum seviyelere inmesi gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi içinde akıllı şebekelere ve kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu Mekanizmada ancak SCADA yani uzaktan kontrol sistemleri ile gerçekleştirilebilir. Ülkemiz genelini ele aldığımızda artık trafo merkezlerinden tutup en son kullanıcının bağlantı yaptığı son noktaya kadar durumun kontrol altına alınması gerektiği aşikârdır. Bu yönleri ele alınarak ülkemiz genelinde yaygınlaşmasına katkı sunulması hedeflenmelidir. Bundan ötürü SCADA sistemlerine yönelimin zorunluluğu açıktır. Bu teknolojiye ayak uydurulmasından ziyade insani kontrolün en üst seviyede tutulması için çok önem arz eder. Özellikle çok tehlikeli iş grubuna giren elektrik dağıtım sektöründe, kontrolün en üst seviyede tutulması gayet elzemdir.

Orta Gerilim sistemlerinde arıza sayısını azaltmak için çok yönlü bir yaklaşım gereklidir. Bu yaklaşım, izleme ve analizden eğitim ve modernizasyona kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Gelişmiş teknolojilerin kullanımı, düzenli bakım ve eğitim, çevresel etmenlere karşı koruma ve risk yönetimi stratejileri, arıza riskini önemli ölçüde azaltabilir ve sistem güvenilirliğini artırabilir. Bu stratejilerle, enerji sistemlerinin performansını artırmak ve arıza sayısını azaltmak mümkündür.

SCADA sistemi elektrik dağıtım şebekesinde bulunan fider bazlı tek hat şeması ve dağıtım merkezlerinin tek şeması üzerinden enerji akışı çok kolayca izlenebilmesi, ayrıca yanlış manevra yapılmasının önüne geçilmesi ve iş kazalarının minimum seviyelere inmesi açısından önemlidir. Yatırım, bakım ve arıza durumlarında fiderlerin alternatif yerlerden beslenmesi yönünden de katkı sağlayacaktır.

VEDAŞ uhdesinde 2015 yılından itibaren dağıtım bölgesinde SCADA alt yapısı yavaş yavaş oluşturulmuştur. Ancak SCADA'ya tam anlamıyla 2017 yılında başlanılmıştır. 2017 yılında bölge geneli 100 noktada oluşturulan SCADA merkezleri sayesinde yeni bir vizyon kazandırılmıştır. SCADA merkezleri ile birlikte her açan fiderin açma sayısı belli olmuş, abone yoğunlukları tespit edilmiş ve aynı zamanda yeni

bir raporlama sistemi ortaya çıkmıştır. Bu raporlama sistemi dağıtım sektörün yatırım ile bakım ihtiyaçlarını ortaya çıkarmış ve yön vermiştir.

Bu yatırım ve bakım çalışmaları sayesinde dağıtım şebekeleri daha verimli hale geçerek, gerek kalite gerek ise süreklilik bakımından ciddi bir ilerleme sağlayacaktır. Ek olarak değinilmesi gerekir ki, yapılacak çalışmalar sayesinde olası kötü durum senaryoları giderilerek iş sağlığı ve güvenliği, can ve mal güvenliği kısmında önemler alınmasına zemin hazırlanacaktır.

Dağıtım bölgesi geneli 2023 yılı sonu itibariyle SCADA merkez sayısı 1250 noktadan sadece 400 noktada kurulmuştur. Bu oranın yeterli olmadığı, faydaları ele alındığında sisteme dâhil edilen tüm dağıtım merkezlerinde SCADA kurulması gerektiği öne sürmüştür.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), elektrik dağıtım şirketlerinden Tedarik Sürekliliği Kayıt Sistemi (TSKS) adı altında bir yapı kurmalarını istemektedir. Bu yapı, tüm dağıtım şirketlerinin AG ve OG şebekeleri üzerindeki kesintileri belirli kriterlere göre kaydetmelerini ve raporlamalarını zorunlu kılar. Kesintiler, kısa (1 saniye ile 3 dakika arası), uzun (3 dakikadan uzun) ve geçici (1 saniyeden kısa) olarak sınıflandırılmakta ve her bir tür kesinti ile etkilenen müşteriler detaylı şekilde kaydedilmektedir. Kısa ve geçici kesintilerin uzaktan izleme sistemleri aracılığıyla otomatik olarak kaydedilmesi gerekir. Bu bağlamda, SCADA/DMS sistemi, OG bazında geçici ve kısa kesinti kayıtlarının otomatik tutulmasını sağlayarak sistemlerin izlenebilirliğini ve yönetimini optimize etmektedir.

SCADA sistemlerine olan yönelim sayesinde, dağıtım şebekesi yakinen izlenerek anlık kararların alınması kolaylaşmıştır. Böylelikle yapılan hızlı planlamalar sayesinde, enerji dağıtımın kalitesi yükseltilmiştir. Hızlı gelişen dünya ve teknoloji bu alana yönelimin gerekliliğini bir kez daha kanıtlamıştır. Daha önceki süreçlerde takiplerin sadece saha gözleminin yapılarak sağlanması ile sağlanırken; şunda SCADA desteğiyle zaman kaybının önüne geçilmiştir. Enerji dağıtıcıları bundan sonraki süreçte nerelere odaklanacakları konusunda daha da tecrübelenmişlerdir.

SCADA verilerinin paylaşılması sayesinde enerji kalitesinin ve sürekliliğinin objektif olması, tüketicileri bilgilendirmiş, ve gelişen dünyaya ayak uydurmuştur. Yukarıda da bahsedildiği üzere, sistemin kabullenışı ile sektör yenilikleri aramaya

başlamış ve çeşitli emtialar ile şebekelerini desteklemiştir. Örnek olaak havai hat arıza göstergesi bunun için kullanılabilir.

Ayrıca sistemin tabanının elektroniğe dayanması ve kontrollerin mekanikten ziyade elektronik ile yapılması, iş sağlığı ve güvenliği bakımından önemli bir adım oluşturmuştur. Daha önceleri açık şalt tipleri kullanılırken günümüzde modüler hücre sistemlerinin kullanılması neredeyse zorunlu hale gelmiştir.

İleri düzey izleme ve analiz sistemleri gelişmiş izleme veri analitiği, arızaların önceden tahmin edilmesi ve önlenmesi için kritik öneme sahiptir. SCADA gerçek zamanlı verileri toplar ve analiz eder, böylece arıza belirtileri erken tespit edilir. Enerji dağıtım hatlarına yerleştirilen akıllı sensörler ve online izleme sistemleri kullanılarak, sistemdeki anormallikler hızla tespit edilebilir. Bu sayede potansiyel arızalar henüz oluşmadan müdahale edilebilir. Proaktif bakım, arızaların meydana gelmeden önce önlenmesini sağlar. Bunun için düzenli olarak yapılan testler, analizler ve bakım prosedürleri, sistemin güvenilirliğini artırabilir. Arıza öncesi bakım stratejileri geliştirilmelidir. Örneğin, ekipmanların termal görüntüleme veya ultrasonik testlerle düzenli olarak kontrol edilmesi, potansiyel arızaların önceden tespit edilmesine yardımcı olacaktır. Dağıtım ağının yapısal olarak yeniden tasarımı, arızaların etkilerini azaltabilir ve sistemin genel performansını iyileştirebilir.

Personelin eğitimi, arızaların doğru bir biçimde yönetilmesi ve hızlı bir şekilde çözülmesi için SCADA gereklidir. Eğitim programları, hem arıza yönetimini hem de genel sistem bakımını kapsamalıdır. SCADA raporlamalarıyla teknik personelin düzenli olarak eğitilmesi, arızaların etkin bir şekilde yönetilmesi ve bakım prosedürlerinin doğru uygulanması açısından büyük önem taşır.

SCADA çevresel koşullar ve mekanik etkenler yönünden de arıza riskini azaltabilir. Hava koşulları, toprak hareketleri ve diğer dış etmenler, dağıtım şebeke sistemlerini etkileyebilir. Çevresel etmenlere karşı koruyucu önlemler alınmalıdır. Örneğin, izoleli kablolar, koruyucu kaplamalar ve doğal afetler için dayanıklı yapılar kullanmak, arıza riskini azaltacaktır.

SCADA açısından yeni teknolojiler, arıza yönetimini ve sistem güvenilirliğini artırabilir. Bu teknolojiler arasında yapay zeka, makine öğrenimi ve veri analitiği yer almaktadır. Yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak arıza tahmin

modelleri geliştirilebilir. Bu teknolojiler, geçmiş verileri analiz ederek arıza risklerini belirlememize ve önleyici tedbirler almamıza yardımcı olacaktır.

Ekonomik ömrünü tamamlamış altyapı, arıza risklerini artırmaktadır. Yenileme yatırımları yapılarak altyapılar daha modernize edilebilir. Bu da arıza sıklığını her geçen gün azaltacaktır. SCADA ile birlikte altyapı yatırımlarını ve yenileme projelerini önceliklendirerek, eskiyen ekipmanları modern, dayanıklı ve yüksek performanslı ekipmanlarla değiştirme imkanı bizlere sunacaktır.

SCADA gerçek anlamda bizlere rıza risklerinin yönetimini ve acil durum planlarının hazırlanması için kolaylıklar sunmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] “SCADA sistemi nedir.” <https://www.hmi.com.tr/10-SCADA-sistemi-nedir> (erişim tarihi Haziran 11, 2024).
- [2] “SCADA denetleyici kontrol ve veri toplama yazılımı.” <https://www.aveva.com/en/solutions/operations/SCADA> (erişim tarihi Haziran 15, 2024).
- [3] N. Kul, “Trabzon İli 1500 kVA gücünde 6.3 kV çıkış gerilimli generatör grubu ve yüksek gerilim kesicilerin PLC-SCADA ile uzaktan izlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bil. Enst., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2009.
- [4] “SCADA nedir.” <https://www.ercanotomasyon.com.tr/SCADA-nedir> (erişim tarihi Temmuz 10, 2024).
- [5] M. Yurdabak, “Elektrik dağıtım şebekelerinde SCADA/DMS sistemlerinin incelenmesi ve uygunlanması,” Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., Kahramanmaraş, Türkiye, 2015.
- [6] M. Z. Gündüz ve R. Daş, “Akıllı Şebekeler: Siber Güvenlik Unsurları ile Veri İletimi,” *Bingöl Üniversitesi Teknik Bilim Dergisi*, c. 2, sy. 2, ss. 47–61, 2021.
- [7] “VEDAŞ el kitabı.” Van, Türkiye, 2024.
- [8] M. N. Lakhous, “Surveillance of pumps vibrations using a supervisory control and data acquisition system.” *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*. c. 12, sy. 2, ss. 7-9, 2010.
- [9] A.F. Mercados., “AKEDAŞ SCADA/DMS projesi tasarım raporu,” Ankara, Türkiye, 145s 2011.
- [10] A. Yücel, “elektrik dağıtım şebekeleri için scada sistemlerinin incelenmesi ve bir bölge uygulamasının bilgisayar ortamında yapılması,” Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [11] “SCADA Sistemlerinin Genel Yapısı.” <http://www.ozeldersin.com/SCADA-sistem-yazisi.html> (erişim tarihi Ocak 29, 2023).
- [12] Siemens AG, “SCADA&BASIDI design.” Nürnberg, Almanya, 50s. 2013
- [13] Siemens AG, “TM 1703 ACP system data sheet.” Nürnberg, Almanya, 74s. 2011

- [14] “TM 1703 EMIC system description.” <https://www.quad-industry.com.tr>. (erişim tarihi Ağustos 15, 2024)
- [15] “Siprotec lokal kontrollü çok fonksiyonlu koruma rölesi kullanım kılavuzu,” <https://support.industry.siemens.com.tr>. (erişim tarihi Ağustos 15, 2024)
- [16] M. B. Asubay, “SCADA sistemlerinin tanıtımı ve kullanılan haberleşme protokolleri,” Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye, 2018.
- [17] “Endüstriyel bilgisayarların enerji verimliliği, İşletmenizi daha akıllı ve sürdürülebilir hale getirin.” <https://www.artech-ipc.com.tr>. (erişim tarihi Haziran 9, 2024).
- [18] K. Gerehan, “SCADA uyumlu yeni bir yüksek gerilim algılayıcı geliştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Van Yüzüncü Yıl Üniv., Van, Türkiye, 2022.
- [19] H. Çınar, “ölçme esaslı akım transformatörlerinde çalışma bölgesi ve kararlılık analizi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Bilecik Şeyh Edebali Üniv., 2016.
- [20] “Koruma rölelerinin seçimi için uygulama kılavuzu.” <https://www.emo.org.tr/> (erişim tarihi Haziran 8, 2024).
- [21] A.R. Ndjongue and H.C. Ferreira, “Power line communications (PLC) technology: More than 20 years of intense research”, *Transactions on emerging telecommunications technologies*, vol.30, no.7, pp. 1-20, 2019.
- [22] S. Rinaldi, P.Ferrari, A.Flammini, M.Rizzi, E.Sisinni and A.Vezzoli, “Performance analysis of power line communication in industrial power distribution network,” *computer standards & interfaces*, vol. 42, no.1, pp. 9–16, 2015.
- [23] B. Kocaman, "Teknik olmayan enerji kayıplarının azaltılmasında PLC sayaçlarının önemi", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt. 7, sayı. 2, ss. 220-230, 2018,
- [24] K. Dhawad, S. S. Patil, J. Tamatta and D. Pukale, “Real time distribution line energy theft detection using power line communication,” *international journal of electronics, electrical and computational system*, vol.7, no.4, pp.64-68, 2018.

- [25] O. Kaynar, "AC güç hattı üzerinde veri iletimi," Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Erciyes Üniv., Kayseri, Türkiye, 1996.
- [26] Y. Kocaman, "Otomatik sayaç okuma sisteminin elektrik dağıtım şebekelerindeki teknik olmayan enerji kayıplarının azaltılmasına etkisi," Yüksek lisans tezi, Fen Bil. Ens., Bitlis Eren Üniv., Bitlis, Türkiye, 2023.
- [27] B. Güçlü, H. C. Bayrakçı ve A. A. Süzen , "Elektrik sayaçlarının uzaktan okunması ve enerji analizi", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, vol. 10, no. 3, pp. 27-39, 2019.
- [28] "Kırsal alanda fider otomasyonu." <https://www.elektriktesisatportali.com/kırsal-alanda-fider-otomasyonu.html> (erişim tarihi Haziran 6, 2024).
- [29] "OMS tabanlı arıza istatistikleri ve coğrafi bilgi kullanımı ile makine öğrenmesine dayalı haftalık bazda arıza tahmini ve öncelikli bakım öngörüsü oluşturma projesi." <https://argenerji.com> (erişim tarihi Haziran 1, 2024).
- [30] F.J. Houghton, "SCADA systems: Principles and applications," *Elsevier*, Hollanda, 2016.
- [31] R.L. Krutz, & R. Dean, "Industrial automation and control system security," *wiley*, Almanya, 2007.
- [32] N.S. Nise, *Control systems engineering*, John Wiley and Sons, Almanya, 2011.
- [33] T. Bartelt, "Automated production of individualized products for teaching I4. 0 concepts." *Procedia Manufacturing* 45 (2020): 337-342.
- [34] M. A. King, "Havadan Çok Spektralli Dijital Kamera ve Video Sensörleri: Sistem Tasarımları ve Uygulamalarının Kritik Bir İncelemesi," *Kanada Uzaktan Algılama Dergisi*, 21 (3), 245–273. 1995, doi.org/10.1080/07038992.1995.10874621.
- [35] R. Tawde, A. Nivangune ve M. Sankhe, "Akıllı şebeke SCADA otomasyon sistemlerinde siber güvenlik", *2015 Bilgi, Gömülü ve İletişim Sistemlerinde Yenilikler Uluslararası Konferansı (ICIIECS)* , Coimbatore, Hindistan, 2015,
- [36] "Artu100 Dijital Analog Uzaktan İzleme Kontrol Ünitesi." <https://www.acrel-electric.com.tr/product/artu100-digital-analog-remote-monitor-control-unit> (erişim tarihi Haziran 10, 2024).

- [37] E. Monmasson and N. M. Cirstea. "FPGA design methodology for industrial control systems A review." *IEEE transactions on industrial electronics* 54.4 (2007): 1824-1842.
- [38] "Endüstriyel Kontrol Sistemleri için FPGA Tasarım Metodolojisi," <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4267891> (erişim tarihi Temmuz 01, 2024).
- [39] D. Pliatsios, P. Sarigiannidis, T. Lagkas ve AG Sarigiannidis, "SCADA Sistemleri Üzerine Bir Araştırma: Güvenli Protokoller, Olaylar, Tehditler ve Taktikler", *IEEE İletişim Araştırmaları ve Eğitimleri'nde*, cilt 22, sayı 3, ss. 1942-1976, üçüncü çeyrek 2020, doi: 10.1109/COMST.2020.2987688.
- [40] "Genel Amaçlı MCU'lar Değerlendirme ve Geliştirme Panoları." <https://www.nxp.com/design/design-center/development-boards-and-designs/general-purpose> (erişim tarihi Temmuz 05, 2024).
- [41] H. Smith ve T. Modzelewski, "Gelişmiş RTU yetenekleriyle enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi", *IEEE Bilgisayar Uygulamaları Güç*, cilt 2, no. 4, s. 26-29, Ekim 1989, doi: 10.1109/67.39146.
- [42] "Uzak Uç Birimleri(RTU) Nedir." <https://www.cryotos.com/glossary/remote-terminal-units> (erişim tarihi Haziran 28, 2024).
- [43] D. Despa, S. Prasetyo, T. Septiana ve GF Nama, "Unila Mühendislik Fakültesinde Nesnelerin İnterneti Teknolojisiyle Entegre Akıllı Enerji Yönetim Sisteminin Tasarımı ve Uygulanması", *2021 Elektrik ve Bilgi Mühendisliğinde Yakınsak Teknoloji Uluslararası Konferansı (ICCTEIE)*, Bandar Lampung, Endonezya, 2021, s. 42-47, doi: 10.1109/ICCTEIE54047.2021.9650655.
- [44] Siemens AG, *Power system control and communication: IEC 60870-5 and IEC 61850 Standards*, Numberg, Almanya, 2023.
- [45] "Overview of IEC 60870-5 standards," *IEEE power & energy magazine*, Newyork, ABD, 2022.
- [46] B. C. Smith, "Modbus protocol and implementation." *Modbus organization*, 2008.
- [47] R. zurawski Hurst, *Industrial communication technology handbook*. Kanada, 2010.

- [48] J. Sanders, “Industrial automation and control systems automation World.” <https://www.automatinword.com> (erişim tarihi Temmuz 26, 2024).
- [49] “Elektrik şebeke yönetmeliği.” <https://www.epdk.gov.tr> (erişim tarihi Temmuz 26, 2024).
- [50] S. C. Bhattacharya, N. R. Pal, “Data acquisition systems: Theory and practice,” Academic Press, 2021.
- [51] G. P. Hanrahan, J. G. Luby, “Modern SCADA Systems Theory and Practice,” Elsevier, <https://www.sciencedirect.com/journal/simulation-modelling-practice-and-theory>, 2014
- [52] “Endüstriyel İletişim Sistemleri İçin Güvenlik” <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1435744> (erişim tarihi Ağustos 20, 2024).
- [53] W. Bolton, *Mekanik ve Elektrik Mühendisliğine Mekatronik Elektronik Kontrol Sistemleri 2. Baskı*. Prentice Hall, 1999.
- [54] “Olay odaklı enerji ölçümü: ilkeler ve uygulamalar” <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7875140>.(erişim tarihi Ağustos 15, 2024).
- [55] “Akıllı sayaç geliştirme yolları ve çevresel inovasyonun şekillendirilmesi” <https://www.sciencedirect.com> (erişim tarihi Ağustos 15, 2024).
- [56] “Havai hat arıza gösterge cihazları ile teknik özellikler ve kullanım alanları.” <https://www.tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/59dc7fec-9843-4dc0-b4f9-7f7bc601236c.pdf> (erişim tarihi Haziran 12, 2024).