

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ
TÜKETİMİNİN PLC VE SCADA TABANLI İZLENMESİ VE
OPTİMİZASYONU**

MEHMET ALİ ÖNER

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİŞİM SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE
ENERJİ TÜKETİMİNİN PLC VE SCADA TABANLI
İZLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

MEHMET ALİ ÖNER

Doç. Dr. Serdar SOLAK
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Hikmet Bilgehan UÇAR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR
Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

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

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

beyan ederim.

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

Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

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

(İmza)

Mehmet Ali ÖNER

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

(İmza)

Mehmet Ali ÖNER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik ve sosyal anlamda bana örnek olan ve doğru yolu gösteren arkadaş gibi yaklaşan akademik danışman hocam Doç. Dr. Serdar Solak'a çok teşekkür ederim.

Tez savunmamda bulunan değerli yorumları ile destek olan jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Hikmet Bilgehan UÇAR ve Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR hocalarıma çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda oldukları ve destekledikleri için Eşim Şenay, kızlarım Beyza, Azra, Zeyneb Hafsa ve oğlum Muhammed Hamza'ya, Babam ve Anneme ayrı ayrı teşekkür ederim.

Ocak-2022

Mehmet Ali ÖNER

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Çalışmanın Amacı	6
2.2. Literatür Taraması	6
3. OTOMASYON, PLC, HMI ve SCADA SİSTEMLERİ	13
3.1. Otomasyon.....	13
3.2. PLC	14
3.3. HMI.....	16
3.4. SCADA.....	19
4. MALZEME VE YÖNTEM	21
4.1. Sistemde Kullanılan Donanımsal Ekipmanlar	21
4.1.1. Elimko E-RHT-10 Sıcaklık ve Nem Sensörü	21
4.1.2. Rockwell Automation/Allen-Bradley ControlLogix PLC	23
4.1.3. POINT I/O Modüller	24
4.1.4. PowerFlex 525 AC Drives	25
4.1.5. Stratix 5700 Industrial Managed Ethernet Switches	27
4.1.6. Rockwell Automation 2715 PanelView 5500 SCADA/HMI	28
4.2. Enerji İzleme Sistemi Tasarımı Ve Uygulaması	30
4.3. Yazılım	35
4.4. HVAC Sistemleri.....	44
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	47
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	56
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Elektrik tüketiminin tüketici grupları bazında dağılımı.....	2
Şekil 1.2.	2019 ve 2020 elektrik tüketim karşılaştırması.....	3
Şekil 1.3.	Sanayi elektrik tüketimi (GWh) 2019 – 2020.....	3
Şekil 2.1	İzleme ve kontrol işlemlerinin fonksiyonel şeması	9
Şekil 2.2.	Önerilen çoklu ajan sistem mimarisi	10
Şekil 2.3	Enerji tasarrufu politikaları ile aylık enerji tasarrufu	12
Şekil 3.1.	PLC genel yapısı ve bileşenleri	15
Şekil 3.2.	Tarama döngüsüne ait akış diyagramı	16
Şekil 3.3.	Allen-Bradley 2711P panelview™ Plus 7 grafik terminali.....	17
Şekil 3.4.	PanelView 5000 HMI cihaz düzeyinde örnek ağ yapılandırması	18
Şekil 3.5.	Örnek bir SCADA uygulaması.....	20
Şekil 4.1.	Elimko E-RHT-10 nem ve sıcaklık transmitteri	22
Şekil 4.2.	1734-IE4C analog kart konfigürasyonu.....	22
Şekil 4.3.	Elimko E-RHT-10 bağlantı şeması.....	23
Şekil 4.4.	Rockwell automation 1756-173 controllogix PLC.....	23
Şekil 4.5.	POINT I/O modüller.....	24
Şekil 4.6.	PowerFlex 525 AC drives.....	25
Şekil 4.7	Powerflex sürücü hız referans diogramı	27
Şekil 4.8.	Stratix 5700 industrial managed ethernet switches	27
Şekil 4.9.	2715 PanelView 5500 SCADA/HMI	29
Şekil 4.10.	MPR-47SE enerji analizörü genel görünümü.....	30
Şekil 4.11.	MPR-47SE ait bağlantı şeması	32
Şekil 4.12.	MPR-47SE enerji analizörünün bağlantı şeması	33
Şekil 4.13.	Sistemin haberleşme ağ yapısının akış şeması	34
Şekil 4.14.	Enerji analizörlerin sistemle haberleşme şeması	35
Şekil 4.15.	Rockwell PLC studio 5000 enerji analizörü yazılımı.....	36
Şekil 4.16.	Enerji analizörleri SCADA ekranı.....	36
Şekil 4.17.	Operatör kontrol akış şeması	37
Şekil 4.18	SCADA HVAC kontrol ekranı	38
Şekil 4.19.	PLC Programı akış diyagramı	38
Şekil 4.20.	Optimizasyon sonrası program akış şeması.....	40
Şekil 4.21	HVAC sürücü logic fonksiyon bloğu	41
Şekil 4.22	SCADA ekran logic fonksiyon bloğu.....	42
Şekil 4.23.	FactoryTalk historian.....	43
Şekil 4.24.	SCADA orta gerilim tek hat şeması	44
Şekil 4.25.	Tez kapsamında kullanılan HVAC sistemleri	45
Şekil 4.26.	HVAC kontaktörlü bağlantı şeması.....	46
Şekil 4.27.	HVAC enerji analizörü sürücülü bağlantı şeması	46
Şekil 5.1.	HVAC motorun %100 güç ile 5 dakikada çektiği akım	47
Şekil 5.2.	Son 24 saatteki harcanan enerji	48
Şekil 5.3.	HVAC sistemi haftalık enerji tüketim grafiği	49
Şekil 5.4.	HVAC sisteminin aylara göre tükettiği enerji	50

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Endüstriyel otomasyon sistemlerinin kullanıldığı alanlar	14
Tablo 5.1. Sisteminin günlük tükettiği enerji.....	48
Tablo 5.2. HVAC sisteminin 7 günlük tükettiği enerji.....	49
Tablo 5.3. Aylara göre enerji tüketimi	50
Tablo 5.4. Dönüşüm tablosu	51
Tablo 5.5. 2022 elektrik tarife tablosu	52
Tablo 5.6. Toplam elektrik tüketimi (TL/Ay).....	53
Tablo 5.7. Malzeme fiyat listesi.....	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ADR	: Auto Device Replacement (Otomatik Cihaz Değişirme)
CPU	: Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
DCS	: Distributed Control Systems (Dağıtılmış Kontrol Sistemleri)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory (Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek)
FPS	: Frame Per Second (Saniyede İşlenen Çerçeve Sayısı)
GPU	: Graphical Processor Unit (Grafik İşlem Ünitesi)
GWH	: Gigawattsaat (1 GWh = 103 MWh = 106 KWh = 109 Wh)
GM	: General Motors
HMI	: Human-Machine Interface (İnsan-Makine Arayüzü)
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Soğutma ve Havalandırma)
KWH	: Kilowatt saat
LCD	: Liquid-Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
MS	: Mili Saniye
MTU	: Master Terminal Units (Ana Terminal Biriminden)
PIC	: Peripheral Interface Controller (Çevresel Arabirim Kontrol Cihazı)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
RMSE	: Root Mean Squared Error (Ortalama Hata Kare Kökü)
RTU	: Remote Terminal Units (Uzak Terminal Birimini)
RIUP	: Removal and Insertion Under Power (Güç Altında Çıkarma ve Yerleştirme)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Kapsamlı ve entegre bir Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi)
TCP/IP	: Transmission Control Protocol/Internet Protokol (Ethernet İletim Denetimi Protokolü / Internet Protokolü)
TEK	: Türk Elektrik Kurumu
TFT	: Thin-Film-Transistor (Renkli İnce Tabakalı Transistör)
THDI	: Total Harmonic Distortion (Toplam Harmonik Bozulma)
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
VNC	: Virtual Network Computing (Sanal Ağ Sistemi)
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ENDÜSTRİYEL İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN PLC VE SCADA TABANLI İZLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Günümüzde enerjinin verimli ve etkin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Enerji verimliliği ve enerjinin analizi son yıllarda mühendislik alanlarının en fazla odaklandığı konuların başında gelmektedir. Özellikle sanayi kuruluşlarının yaygın olarak bulunduğu ülkemizde, elektrik enerji tüketimini azaltmak ülke ekonomisi açısından önemlidir. Sanayi sektörü Türkiye'deki elektrik enerjisinin %47 sini kullanmaktadır. Enerjinin izlenmesi, görüntülenmesi, görüntülenen enerjinin analiz edip yorumlanması elektrik enerjisi kalitesinin artırılmasına yardımcı olur. Eğer herhangi bir enerji kaynağı ölçülmez ise o enerji kaynağının kontrol edilmesi de güçleşir. Kontrol edilmesi güç olan enerji kaynaklarının yönetilip idare edilmesi de o denli zorlaşmaktadır. Bu kapsamda, endüstriyel firmalarda kullanılan çeşitli makinaların enerji tüketimlerini izlemek, makinaların çalışma performansı maksimum seviyede tutulurken elektrik enerjisi tüketimini minimum seviyeye indirmek maliyet ve verimlilik açısından çalışılması gereken konuların başında gelmektedir. Endüstrilerde kullanılan Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme (Heating Ventilating and Air Conditioning-HVAC) sistemleri, enerji analizörleri aracılığıyla izlenmekte ve elde edilen bilgiler program ara yüzü sayesinde anlık, saatlik ve günlük olarak saklanmakta ve takip edilmektedir. Bu çalışmada araç lastik üretim sanayi tesisinde makinaların giriş güç hattına özellikle HVAC sistemlerine enerji analizörleri bağlanmıştır. Bu sayede makinaların çektiği akım, frekans ve gücü izlenebilmektedir. Enerji analizörüne bağlı olan Ethernet İletim Denetimi Protokolü / İnternet Protokolü (Transmission Control Protocol/İnternet Protokol-TCP/IP) haberleşme protokolü üzerinden veriler Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic Controller-PLC) aracılığı ile okunmaktadır. Okunan bu veriler Rockwell firmasının Historian arayüz programı sayesinde veri tabanında kayıt altına alınmaktadır. Kullanıcı istediği zaman verileri anlık, günlük, haftalık veya aylık olarak trendini görebilmektedir. Ayrıca bu veriler İnsan-Makine Arayüzü (Human-Machine Interface -HMI) operatör ekranına aktarılıp kullanıcının görsel olarak da okuyabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede enerji tüketimi analiz edilip enerji tasarrufu için gerekli aksiyon alınması sağlanmıştır. Bu işletmede ilk etapta HVAC sistemlerinde çalışan motorları sürücü ile sürerek ayrıca SCADA ve HMI operatör ekranından otomatik veya manuel olarak kontrol edilerek enerji tasarrufu ortalama %50 civarında sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Analizörü, Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme, İnsan-Makine Arayüzü, Kapsamlı ve Entegre Bir Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi, Programlanabilir Mantıksal Denetleyici.

PLC AND SCADA BASED MONITORING AND OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN INDUSTRIAL AIR CONDITIONING SYSTEMS

ABSTRACT

Today, efficient and effective use of energy is of great importance. Energy efficiency and energy analysis are among the most focused topics in engineering fields in recent years. Especially in our country where industrial establishments are widespread, reducing electricity energy consumption is important for the country's economy. The industrial sector uses 47% of the electrical energy in Turkey. Monitoring, displaying energy, analyzing and interpreting the displayed energy helps to increase the quality of electrical energy. It has been acted on the principle that you cannot control anything that you cannot measure, you cannot manage anything that you cannot control. In this context, monitoring the energy consumption of various machines used in industrial companies, minimizing the electrical energy consumption while keeping the working performance of the machines at the maximum level is one of the issues that need to be studied in terms of cost and efficiency. The electrical energy used in the industries is monitored through the energy analyzer and the information obtained is stored and monitored instantaneously, hourly and daily through the program interface. In this study, an energy analyzer was connected to the input power line of the machines in the global industrial facility of vehicle tire production. In this way, the current, frequency and power drawn by the machines can be monitored. Data is read by Programmable Logic Controller (PLC) over Ethernet- Transmission Control Protocol (TCP / IP) communication protocol connected to the energy analyzer. These read data are recorded in the database through the Historian interface program. The user can see the trend of the data instantly, daily, weekly or monthly whenever he wants. This distinctive data is transferred to the Human-Machine Interface (HMI) operator screen and the user can read it visually. In this way, energy consumption was analyzed and necessary action was taken to save energy. In this facility, in the first place, by driving the motors in the Heating, Cooling and Ventilation (HVAC) systems with the driver, and also by controlling the HMI operator screen automatically or manually, energy savings of around 40-50% has been achieved.

Keywords: Energy Analyzer, Heating Cooling and Ventilation, Human-Machine Interface, Supervisory Control and Data Acquisition, Programmable Logic Controller.

1. GİRİŞ

Ülkelerin daha fazla ve kaliteli ürün ve hizmet üretebilmeleri, hayat standartlarını yükseltip kaliteli ve refah yaşamaları enerji kullanımı ile gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, insan nüfusunun hızla artması ile birlikte aynı orantıda enerji tüketimi de sürekli artmaktadır. İnsanların doğal fosil yakıtları ve kaynakları hızla tüketmesi bununla birlikte çevre kirliliğinin artması ve enerji maliyetlerinin yüksek olması gibi faktörler dikkate alındığında; tüketilen enerjinin her sektörde verimli, etkin ve iktisatlı tüketilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır. Dünya ekonomisinin gelecek yıllarda şimdikininkinin 4 kat daha fazla büyüyebileceği düşünülmektedir. Böylece şimdiki zamandan %80 daha fazla oranda enerji tüketebileceği anlamına gelmektedir. Bu da enerjiyi verimli kullanmak ve optimize etmek için çalışmalar yapılması gerekliliğinin önemini göstermektedir (Duman ve Sağbaş, 2020).

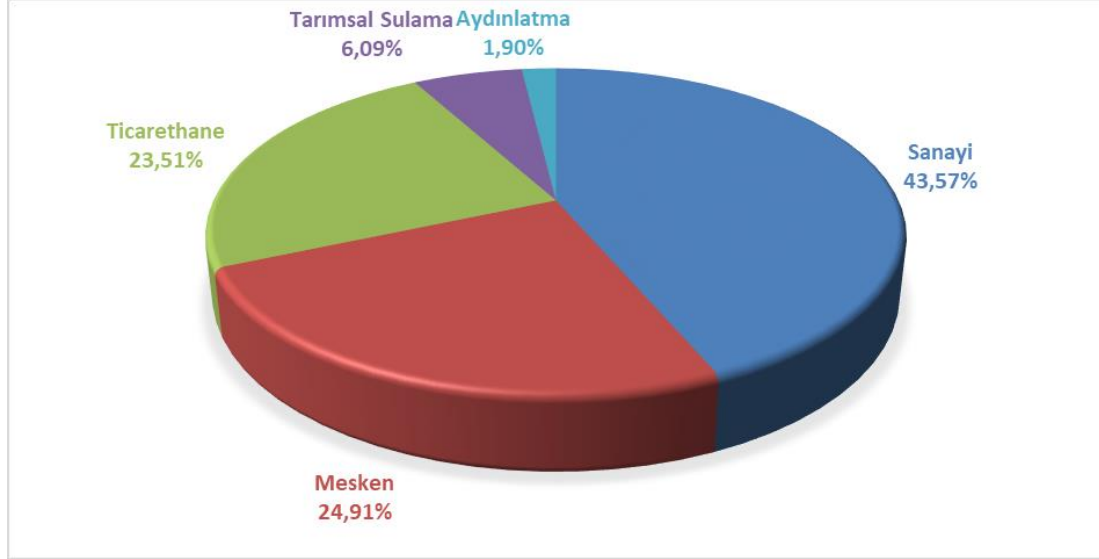
Ülkemizde yakın zamanda teknolojinin ilerlemesine paralel olarak nüfusun da artmasıyla enerji tüketimi de sürekli artmaktadır. Sürdürülebilir enerjiye olan ihtiyaç ve ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığını en düşük seviyelere indirmek için birçok çalışmalar yapılmaktadır (Bekmez ve Manga, 2017).

Sanayinin ve teknolojinin gelişmesine ve ilerlemesine paralel olarak enerjiye ve özellikle elektrik enerjisine ihtiyaç giderek artmaktadır. Sanayi endüstrilerinde enerji tüketimi ve bunun işletmeye olan maliyetini izleme ve optimize etmek çok büyük bir önem taşımaktadır (Bilgiç, 2018).

Çeşitli enerji kaynaklarından farklı metotlarla elde edilen ikincil enerji kaynağı olan elektrik, saklama olanağı olmadığından üretildiği gibi tüketildiğinden ekonomik yönden çok büyük bir önem teşkil etmektedir. Bu yüzden elektriği verimli kullanmak lüzumsuz kullanmamak başka enerji kaynakların elektrik üretmek için harcanmasını azaltmaya yardımcı olacaktır (Haliloğlu ve Tuttu, 2018). Ayrıca enerji alanında yeterli derece yatırımların ve teşviklerin yapılamaması elektrik enerjisinin tüketiminin her geçen gün artması ileride enerji talebini karşılamada sorunları ortaya çıkaracaktır (Nişancı, 2005).

Şekil 1.1'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)'nın çıkardığı rapora göre elektrik enerjisi kullanımının grafiği verilmiştir. Sanayi sektörünün kullanımı %43,57'lik

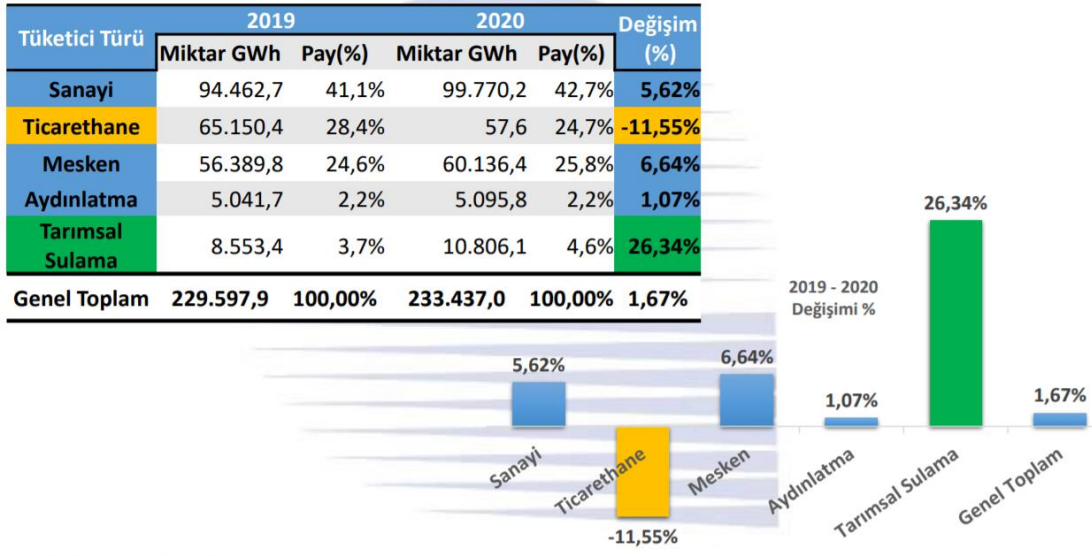
oranı ile liderliğini korumaktadır. Sanayi sektöründen sonra mesken (%24,91), ticarethane (%23,51), tarımsal sulama (%6,09) ve aydınlatma (%1,90) tüketimlerinin takip ettiği görülmektedir (EPDK, 2020).



Şekil 1.1. Elektrik tüketiminin tüketici grupları bazında dağılımı

Enerjinin bu denli çok tüketildiği ülkemizde enerjiyi tasarruflu kullanmak için çeşitli yöntemler geliştirilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Enerjiyi iktisatlı kullanmak ve optimize etmek ne kadar sanayi sektöründe önemli ise de günlük hayatımızda da bu denli önemlidir. Enerjiyi günlük yaşam standartlarından taviz vermeden teknolojiyi de kullanarak etkili ve düşük maliyetle kullanmak enerjiyi optimize etmek demektir. Maliyeti düşük enerjiyi sağlamak için ilk başta enerjiyi tasarruflu kullanmak önem arz eder. Ülkemiz 'de özellikle sanayi sektöründe yıllık 3,7 milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) enerji tüketimi mevcuttur. Yapılan araştırmalar neticesinde, ülkemiz sanayi sektöründe tüketilen enerjinin %30'unun tasarruf edilebileceği görülmektedir (Kanoğlu, 2010).

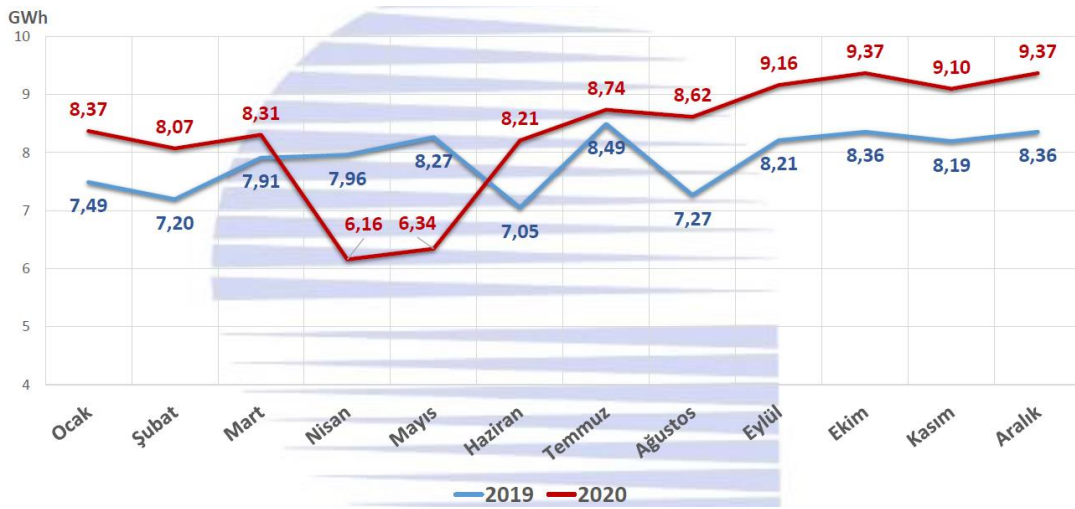
Şekil 1.2 de Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) nın çıkarmış olduğu rapora göre elektrik tüketiminin abone gruplarına göre dağılımı verilmiştir. Sanayi sektöründe 2019 yılında 94.462,7 Gigawattsaat (GWh) olan elektrik tüketimi 2020 yılında %5,62 artışla 99.770,2 GWh ulaşmıştır.



Şekil 1.2. 2019 ve 2020 elektrik tüketim karşılaştırması

Şekil 1.3 de EMO nın çıkarmış olduğu rapora göre sanayi sektörünün 2019 ve 2020 yıllarında aylık elektrik tüketimi GWh cinsinden verilmiştir. Salgın hastalık zamanında elektrik tüketiminde olan değişime bakıldığında, Elektrik abonelerinin tükettiği elektrik 2019 yılına göre %1,67 oranında arttığı görülmektedir.

Salgın hastalık zamanında kapanma koşulları göz önüne alındığında, sanayi sektöründe yılın ikinci çeyreğinde üretimin azalmasına bağlı olarak tüketim de düşüş meydana gelmiştir. Yılın üçüncü çeyreğinden itibaren sanayi sektöründe üretimin artmasına paralel olarak yıl genelinde elektrik tüketiminde %5,62 artış olmuştur (EMO, 2021).



Şekil 1.3. Sanayi elektrik tüketimi (GWh) 2019 – 2020

Endüstriyel işletmelerde enerjiyi tasarruf etmekteki amaç, ürün başına harcanan enerjinin minimum dereceye inmesidir. Enerji optimizasyonu, enerjinin gereğinden fazla kullanım alanlarını tespit etmek ve kullanılan enerjiyi en düşük düzeye indirmek için yapılan olumlu aksiyonları içermektedir. Böylece, endüstriyel işletmeler birim miktardaki ürün veya hizmetlerini aynı kalitede ve daha düşük maliyet ile üreterek, uluslararası arenada rekabet güçlerini arttırabilmektedirler.

Yapılan bu tez çalışmasında uluslararası bir sanayi kuruluşunda tüketilen enerjiyi tasarruf etmek için çalışmalar yapılmıştır. İlk etapta fabrikanın 13 farklı bölgelerinde kullanılan Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (Heating Ventilating and Air Conditioning - HVAC) sistemlerinin tükettiği elektrik enerjisini enerji analizörleri yardımıyla izlenip kayıt altına alınmıştır. Alınan bu kayıtlar anlık, saatlik, günlük, haftalık ve aylık olarak tükettiği gücün trendleri alınıp yorumlanmıştır. Yapılan yorumlara göre HVAC sistemlerinin motorlarının 7/24 %100 performansla maksimum güç tükettiği ve enerji israfına sebep olduğu görülmüştür. Enerjiyi tasarruflu kullanmak için; HVAC sistemlerinin motorlarına sürücü ekleyerek uzaktan kontrollü bir şekilde otomatik veya manuel çalışması sağlanmıştır. Ayrıca HVAC sistemlerinin bulunduğu 13 bölgeye sıcaklık ve nem sensörleri konulmuştur. Sensörlerden gelen bilgiler sayesinde İnsan-Makine Arayüzü (Human-Machine Interface-HMI) üzerinden set edilen sıcaklık ve neme bilgisine göre Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic Controller-PLC) otomatik olarak sistemi devreye sokup çıkarmaktadır. Operatör bu HMI üzerinden bütün bölgelerdeki çalışan sistemleri kontrol edip izleyebilmektedir. Sistemlerde meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda ekranda alarm mesajı olarak görüp müdahale etmesi sağlanmıştır. Böylelikle enerji tüketimi Enerji analizörleriyle izlenip PLC ve Kapsamlı ve entegre bir Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition SCADA) sistemleri ile kontrol edilerek optimizasyonu sağlanmıştır. Tasarlanan bu otomasyon sistemi sayesinde enerji tüketiminde yüksek oranda tasarruf sağlanmıştır. İşletmelerin enerji optimizasyonu ile ilgili projeleri ülke kalkınmasında çok büyük faydası olduğundan Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) bu tarz projeleri teşvik etmektedir. Literatürde enerji optimizasyonu ile ilgili birçok tez ve makale bulunmaktadır ama endüstri ve sanayi gibi büyük şirketlerde bu yöntemle enerjiyi daha verimli kullanmak için yapılan çalışmaların yapıldığı görülmemektedir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın, literatüre katkıları aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır,

- Çalışmanın ilk aşamasında literatür taraması yapılmış olup, Türkiye ve dünya genelinde enerji tüketimi, ülkemizde tüketilen enerji oranları, genel olarak işletmelerde ve sanayi şirketlerinde enerji optimizasyonu, PLC, SCADA ve otomasyon sistemleri incelenmiştir.
- Literatürde yapılan çalışmalara ek olarak, büyük sanayi işletmelerinde kullanılan HVAC sistemlerinin de enerji optimizasyonu yapılabilirliği ispatlanmıştır.
- Literatürde yapılan projelere ek olarak çalışan sistemdeki enerji tüketimi izlenip kayıt alınmıştır. Ayrıca büyük sanayi işletmesinde üretimde kayıp olmadan sistemin enerji tüketimi minimum düzeye indirilmesi bu proje sayesinde sağlanmıştır.
- Tez çalışması kapsamında yapılan bu çalışmada, ülke ekonomisine katkıda bulunup çok değerli olan elektrik enerjisini daha verimli kullanılması sağlanmıştır. Bu da elektrik üretim şirketleri açısından büyük bir önem arz etmektedir.
- Önerilen sistem sayesinde çeşitli endüstriyel firmalarda elektrik enerjisi tüketim maliyeti minimize edilerek ürün maliyetlerinde düşüş sağlanmaktadır.

Yapılan tez çalışması 6 ana başlıktan oluşmaktadır.

Birinci bölümde Dünya ve Türkiye genelinde enerji tüketimi, enerji kaynakları ve sektörlere göre enerji dağılımı grafikler ve tablolar halinde incelenmiştir. Ayrıca tezin amacını ve literatüre katkılarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde ise literatür taraması yapılmıştır. Dünya ve Türkiye genelinde PLC, SCADA, HMI ve otomasyon sistemleri kullanılarak yapılan enerji optimizasyonları araştırılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde ise PLC, SCADA, HMI otomasyon sistemleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde tez kapsamında enerji optimizasyonu için önerilen sistem detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Tezin beşinci bölümünde materyal, yöntem ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tezin altıncı bölümünde ise sonuçlar yer almaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde tez çalışmasının genel amacı ile ilgili temel bilgiler ve yapılan çalışmalar kaynak gösterilerek açıklanmaktadır. Ayrıca hazırlanan bu tezin literatürde yapılmış benzer çalışmalarına değinilmiştir.

2.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez deki amaç, sanayi sektöründe tüketilen enerjiyi özellikle elektrik enerjisini tasarruflu kullanarak üretimi ve kaliteyi düşürmeden imalatın devamını sağlamak. Endüstriyel işletmelerde enerji optimizasyonu ile ilgili literatürde birçok örneği bulunan çalışmalardan farklı bir metot kullanılarak enerjiyi optimize ederek daha düşük maliyetle kaliteli ürün çıktılarını almak olmuştur. Buradaki amaç değerli olan enerjiyi özellikle elektrik enerjisini daha verimli ve iktisatlı kullanmaktır. Böylece Ülkenin ekonomik kalkınmasına yardımcı olarak dışarıya olan bağımlılığı en aza indirmek olmuştur.

2.2. Literatür Taraması

2001 yılında Banvit üretim tesisin de meydana gelen elektrik kesintilerinden mütevellit üretim kayıplarını en aza indirmek için enerji otomasyon sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu proje PLC ve SCADA tabanlıdır. Tesisin OG ve AG dağıtım merkezlerine bağlı analizörler sayesinde tesisin akım ve gerilim gibi verileri okunup kayıt altına alınmaktadır. PLC aracılığı ile anlık tüketilen enerji sayısal değerleri SCADA ekranına aktarılıp izlenmektedir (Canigür, 2001).

Yapılan bu projede, endüstriyel bir tesisin elektrik enerji dağıtım sistemini izlemek amacıyla enerji optimizasyon projesi gerçekleştirilmiştir. Bu işletme için enerji analizörü aracılığı ile enerji izleme otomasyonu yazılımı ve donanımı ile birlikte yapılmıştır. Yapılan proje sayesinde işletmenin çektiği akım, gerilim, frekans değerleri anlık olarak izlenip veri tabanına kaydedilmiştir.

Ayrıca raporlama yapılarak operatör bilgisayarın başında olmadığı zaman bile geriye dönük kayıtları inceleyebilmektedir. İşletme bu sayede ekipmanların performansını artırarak daha az enerji tüketerek daha kaliteli ürün üretmesine fayda sağlamıştır (Bayındır ve diğ., 2008).

Bu çalışmada Enerji analizörleri için Delphi tabanlı bir ara yüz programı yazılmıştır. Geliştirilen bu enerji izleme yazılımı sanayi sektöründe veya enerji dağıtım şirketlerinde enerjiyi izleme ve takip etmek ve kayıt altına almak için kullanılabilir. Enerji analizörleri aracılığıyla bağlı olduğu güç ünitelerinden okunan verileri veri tabanına kaydedip bunları grafikler ve tablolar halinde gösterilmesi mümkündür. Yazılım modbus protokolünü kullanan tüm enerji analizörü cihazlarıyla birlikte çalışmaktadır. Yazılım 256 cihaz arasında haberleşme ve izleme imkânı tanımaktadır (Yılmaz ve Görmemiş, 2006).

Bu çalışmada güç sistemlerinde gerçek zamanlı akım, gerilim ve harmoniklerin ölçümü yapılmıştır. Enerji analizörlerine alternatif olarak bir veri toplama kartı yardımıyla akım ve gerilim değerleri ölçüm trafolarıyla okunup bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayar aktarılan bu üç faz akım gerilim ve frekans verileri LabVIEW programı aracılığıyla analiz edilip grafik olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Gerçekleştirilen bu ölçüm düzeneğinin kullanışlı, ölçüm doğruluk oranı iyi ve az bir maliyet ile yapılan bir sistem olduğu görülmektedir. Böylece yapılan bu proje ile başka bir donanıma ihtiyaç olmadan sadece yazılımda yapılacak bazı değişiklikler ile sanayi sektöründe ve elektrik üretim tesislerinde diğer enerji kalitesi değerlerini doğru bir şekilde ölçmek için kullanmak mümkün olacaktır (Demirbaş ve Bayhan, 2009).

Bu çalışmada bir enerji analizörü kullanılarak internet destekli enerji kalitesi izleme programı prototipi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemde güç analizörün okuduğu değerler merkezi bir bilgisayarda çalışan program sayesinde veri tabanına kaydedilmektedir. İnternet erişimi olana başka bir yerdeki bilgisayara kurulan program sayesinde bu veri tabanındaki veriler okunup izlenmekte ve yorumlanmaktadır. Bu sayede güç kalitesi harmonik ve reaktif güçler izlenip istenen parametreler için gerekli alarm durumları tasarlanabilmektedir. Bu geliştirilen küçük ve orta ölçekli işletmeler için düşük maliyetli ve var olan sisteme kolay entegre edilebildiğinden tercih edilebilmektedir (Tan ve diğ., 2017).

Bu çalışmada enerji analizörlerinden alınan bilgiler Matlab sunucu sayfaları kullanılarak enerji kalitesi uzaktan izlenilmektedir. Enerji analizörün ölçüm sonrasındaki analiz sonuçlarını internet üzerinden ulaşılarak Matlab tabanlı yorumlama yapılabilmektedir.

Enerji analizöründen okunan veriler bir veri tabanına kaydedilir. Kaydedilen bu veriler işlem merkezine gönderilip analiz edilmektedir. Analiz edilen veriler standart değerlerle karşılaştırılıp güç kalitesindeki problemler tespit edilebilmektedir. Bu sayede Internet üzerinden, ölçüm cihazındaki analiz sonuçlarına ulaşılabilen ve izlemenin yapıldığı işletmede bu sonuçları yorumlayacak sürekli bir kişiye de ihtiyaç duyulmamaktadır (Çağlar ve diğ., 2004).

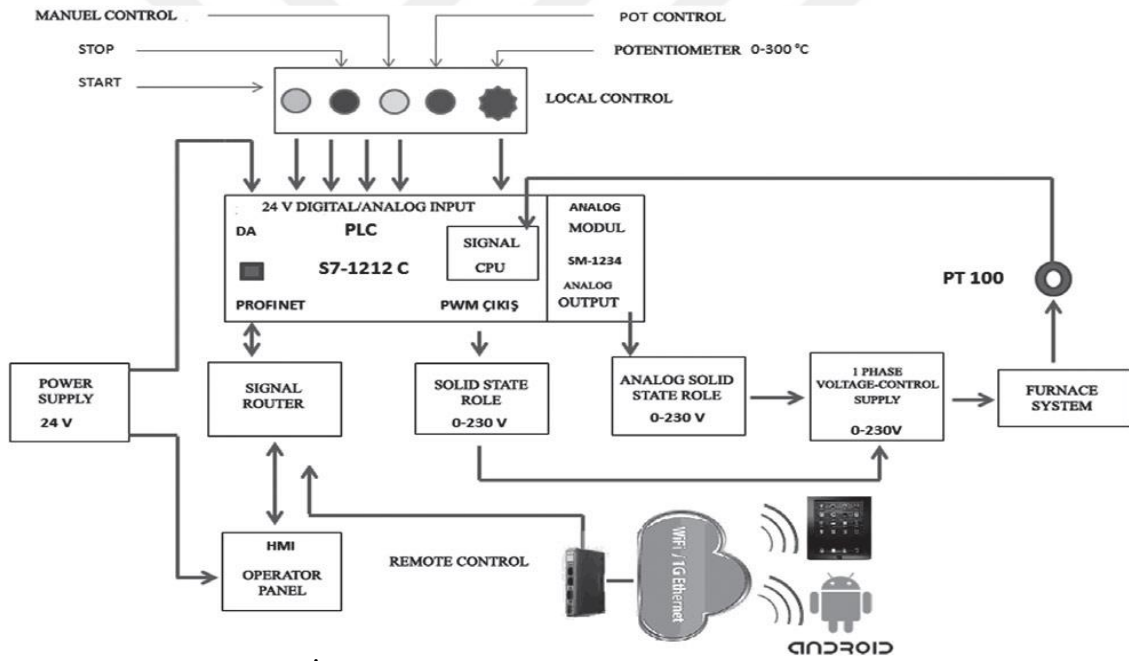
Bu çalışmada sanayi sektöründe faaliyetleri bulunan bir gıda fabrikasında enerji verimliliği ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Bu gıda işletmesinin gofret üretim hattında enerji analizörleri aracılığı ile detaylı enerji tüketimi ölçümleri yapılmış ve enerji verimliliği ile ilgili potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda yalıtım sistemleri uygulaması sonucuna varılmış ve bu uygulama sonucu ile 0.25 yıl bir geri ödeme süresi ile %89 ısı kaybının azaltılabileceği belirlenmiştir. Kazan sistemlerinde yapılan brülör ayarlaması ile verimin %5,2 artırılabilceği ve ısı kayıp ve kaçakların önlenmesi ile 3391.9 \$ kazanç sağlanacağı belirlenmiştir (Rüşen ve Çevik, 2020).

2008 Yılında yapılan yüksek lisans tezinde endüstriyel işletmelerde enerji izleme sistemlerinin gerekliliklerinden bahsedilerek işletmede enerji izleme sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamada enerji analizörü şebekeye bağlanarak akım, gerilim, frekans, aktif güç, reaktif güç, harmonik gibi değerler ölçülmüş ve alınan bu veriler PLC ye aktarılmıştır. Geliştirilen arayüz programı ile PLC ye yazılan veriler kullanıcı Bilgisayarına aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan veriler ekranda grafikler veya tablolar halinde görüntülenmiş ve belli aralıklarda veri tabanına kaydedilmiştir. Veri tabanına gönderilen bu bilgiler istenildiği zaman grafikler halinde raporlanabilmektedir. Bu sayede işletmeye ait enerji değerleri, frekans ve güç faktörleri harmonik ölçümleri yorumlanarak işletmenin kullandığı enerjinin kalitesi hakkında bilgi sahibi olunmuştur (Bektaş, 2008).

Bu çalışmada otomotiv sanayinde kullanılan plastik enjeksiyon makinesi incelenmiştir. Bu fabrikada otomobil yedek parçası üretiminde harcanan basınç ve debi verileri alınmıştır. Standart aynı basınç değeri üreten pompa motoru kullanan bu sistemde harcanan gücün zaman grafik trendi incelenmiştir. Hidrolik pompa düzeneği %22 performansta çalışmaktadır. Bir sonraki etapta sistemin standart basınçlı çalışan pompa

sistemi kaldırılmıştır. Bunun yerine motordan tahrik alan ve hızı kontrol edilebilen bir hidrolik pompa sisteminin çalıştırılmasına karar verilmiştir. Sisteme uygun enerji tasarrufu sağlayan pompa seçilerek enerji kazancı %70 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere pompa debi basıncının ve motor dönüş devrinin değiştirilerek önemli oranda enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür (Kocacı ve diğ., 2011).

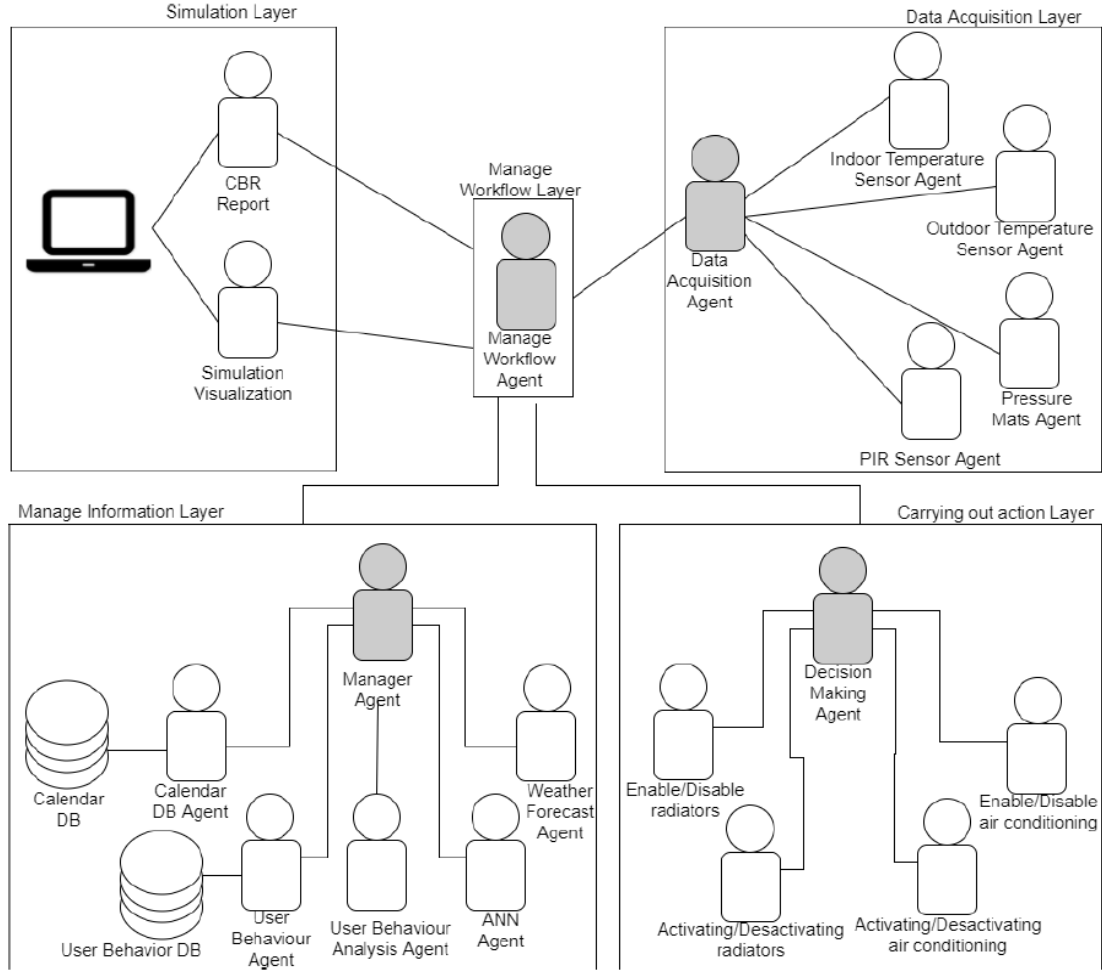
Şekil 2.1 de izleme ve kontrol işlemlerinin fonksiyonel şeması verilmiştir. Bu uygulamada ise, Programlanabilir Mantık Denetleyici (PLC) ve Denetleyici Kontrol Veri Toplama Birimi (SCADA) teknolojisine dayalı güneş paneli, küçük hidroelektrik ve merdiven tırmanma güç sistemleri aracılığıyla yenilenebilir enerjinin tasarımı ve uygulanması ile ilgili çalışma yapılmıştır.



Şekil 2.1 İzleme ve kontrol işlemlerinin fonksiyonel şeması

Şekil 2.1 de görüldüğü üzere PLC teknolojisi kullanılarak, Şebeke üzerinden veya şebeke dışından gelen enerji ile tasarlanan hibrit sistemin proses parametrelerini ilişkilendirilir. Bu yenilenebilir enerji sisteminden elde edilen test sonuçlarından, bireysel güç ünitesi ile karşılaştırıldığında regülasyondaki yüksek doğruluk ve güvenilir olduğu ispatlanmıştır. Bu yenilenebilir enerji olan Hibrit Güç Üretim Sistemi (HPGS) gerçek zamanlı olarak incelenip sanayi sektöründe ve ayrıca ev uygulamaları için de çok yönlü ve etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Deneysel sonuçlar, kapalı devre hibrit kontrol sisteminin, bağımsız

güç ünitesinden sağlanan enerjiye kıyasla daha doğru ve yüksek verimli enerji sağladığını göstermektedir. Önerilen bu hibrit güç modülünden üretilen toplam güç 600W civarında ölçülmüştür. Gelecekte, yüksek verimli bir güneş paneli ile birlikte yüksek verimli bir PMAC senkron motor uygulandığında, güç üretiminin büyük ölçüde artırılacağı tahmin edilmektedir. Böylece şebekeden gelen güç kaynağına bağlı olmaksızın, evsel ve ticari amaçlarla da kullanılabilir (Yılmaz ve diğ., 2018).



Şekil 2.2. Önerilen çoklu ajan sistem mimarisi

Binalarda Isıtma, Havalandırma ve Klima Ventilation and Air Conditioning (HVAC) sistemleri en yüksek tüketim oranlarına sahiptir. HVAC sistemlerinin verimsiz kullanımının neden olduğu enerji tüketiminin optimizasyonu için yeni birçok etmenli yaklaşım sunulmuştur. Bu çalışmada, bir iş merkezinde enerji tasarrufu sağlamak için bir Bulut ortamında kablosuz sensör ağı Wireless Sensor Network (WSN) ile dağıtılan Şekil 2.2 de görüldüğü üzere Çoklu Ajan mimarisinin Multi-Agent System (MAS) sağladığı

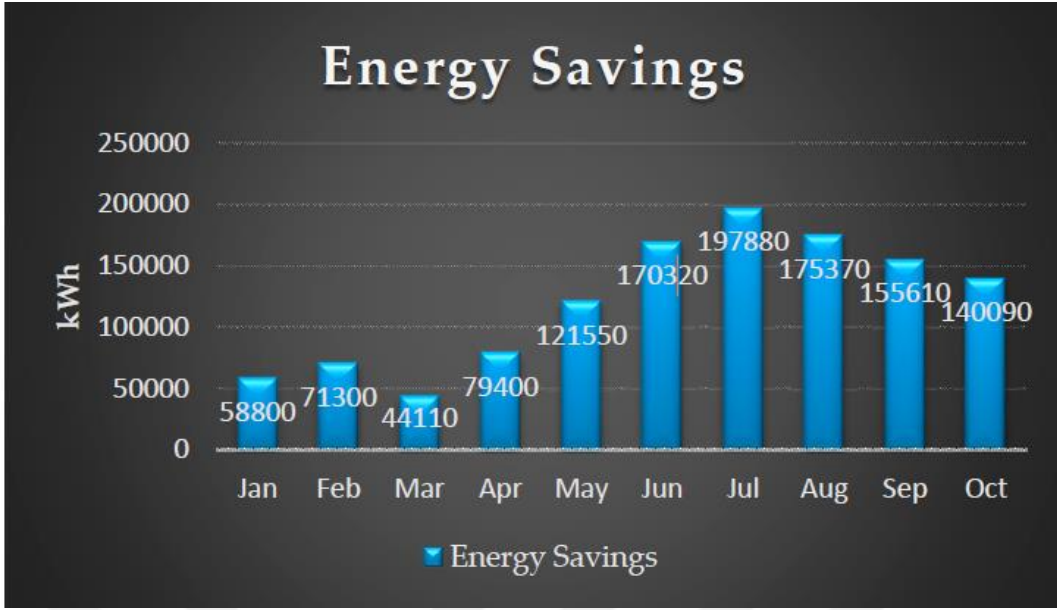
avantajlarından yararlanan bir ajan yaklaşımını sunmaktadır. Binanın iç ve dış iklim koşullarının yanı sıra ofis doluluğunu anlamak için, çok ajanlı sistem ofislere konumlandırılmış sensörlerden gelen verileri kullanır.

Çoklu ajan sistemi, radyatörlerin ve klimanın sıcaklığını doğru programlayarak, vardiya değişimlerinde devreye girme ve çıkma zamanlarını ayarlayarak ofis binasında enerji tasarrufu sağlamamıza yardımcı olmuştur. MAS ajanları, verilerin toplanması ve yapay sinir ağı artificial neural network (ANN) kullanımı sayesinde sosyal davranışı öğrenirler. Önerilen sistem sayesinde, deney grubu olan ofislerinde ortalama%41 enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir (González-Briones ve diğ., 2018).

Bu çalışmada, Pakistan'da bir otomobil fabrikasında enerji izleme sisteminin yazılım ve donanımı tasarlanmış ve başarıyla uygulanmıştır. Güç kalitesi verilerini de içeren enerji tüketim verileri, enerji analizörleri yardımıyla toplanmış ve veri kaydı izleme amacıyla merkezi bir denetleyici kontrol ve veri toplama birimine (SCADA) iletilmiştir. Analizörden ölçülen tüm veriler, 100 ms zaman aralıklarında Modbus iletişimi yoluyla ana sunucuya aktarılmıştır. Bu sistem aynı zamanda 11 farklı departmanın günlük enerji tüketim limitlerini yerel olarak kurulan ekranlarda göstererek çalışanların enerjinin verimli kullanımına yönelik davranışlarını da iyileştirmiştir.

Tüketici, bu sistem sayesinde fabrika içindeki enerji israfını tespit edebilmiş ve bu sorunu doğru bir şekilde çözebilmiştir. Yıllık enerji denetimi raporuna göre tüketici, enerji izleme sistemi aracılığıyla enerji tasarrufu politikaları uygulayarak yıllık enerji maliyetinden yaklaşık%7,75 oranında tasarruf sağlamıştır. Bu sistem iki yıldan fazla bir süredir çalışmaktadır ve tüketici hala enerji tüketimi kalitesini iyileştirmeye devam etmektedir.

Enerji tasarrufu politikaları ile aylık enerji tasarrufu şekil 2.3 de gösterilmiştir. Tüm sonuçlar, bu tür endüstriyel enerji izleme sisteminin, sanayi sektörünün enerji verimliliğini artırarak gelişmekte olan ülkelerdeki enerji krizlerini azaltmada yardımcı olabileceğini göstermektedir (Akhtar ve diğ., 2020).



Şekil 2.3 Enerji tasarrufu politikaları ile aylık enerji tasarrufu

Bu çalışmada, Android / IOS tabanlı akıllı telefonlar kullanılarak endüstriyel bir fırının gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolü için SCADA tabanlı bir ölçek modeli geliştirilmiştir. Fırında istenilen sıcaklığa ulaşmak ve enerji tasarrufunu sabit tutmak için PLC tabanlı bir SCADA sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde, fırın sıcaklığı sensörler ile sürekli ölçülmekte ve istenilen sıcaklığa en kısa sürede ulaşmak için fırın voltajı analog olarak ayarlanmaktadır. Bu amaca ulaşmak için farklı oransal-integral-türev (proportional integral derivative-PID) parametreleri kullanılır. Böylece, ürün kalitesi artırılarak enerji verimliliği sağlanmaktadır. Analog çıkışı kullanan kontrol sistemi, fırın sıcaklığı düşük derecelerdeyken darbe genişlik modülasyonu (pulse-width modulation-PWM) çıkışını kullanan sistemden (3–7 kat) daha kısa sürede ayarlanan sıcaklığa ulaşmıştır. Analog çıkışın kullanılması zamandan ve elektrik enerjisinden tasarruf sağlar ve üretkenliği artırır. Ek olarak, sistemin tüm giriş ve çıkış bileşenleri daha az zamanda aynı ayar sıcaklığında çalıştığı için, PWM çıkışına dayalı sisteme göre malzeme ömrü uzar. 200 ° C ve üzeri ayar sıcaklıklarında yapılan deneylerde, PID_compact_3 bloğunun ve bu bloğa ait parametrelerin etkinleştirilebilmesi için hem analog işlem hem de PWM işlemi aynı periyotta sonuçlanmaktadır (Işık ve diğ., 2018).

3. OTOMASYON, PLC, HMI VE SCADA SİSTEMLERİ

Günümüz teknolojisinde endüstriyel işletmeler genellikle bilgisayar destekli otomasyon sistemlerini kullanmaktadır. PLC ve SCADA kontrol sistemleri endüstriyel otomasyon sistemleri içinde en çok tercih edilen ve kullanılan otomasyon sistemleridir. Genellikle endüstriyel işletmeler bilgisayar destekli otomasyon sistemlerini tercih etmelerindeki en büyük neden hızlı ve kaliteli üretim yapabilmeleri olmuştur. PLC ve SCADA sistemlerini kullanan sanayi endüstrilerinde hata ve kaza oranları çok düşük olduğu için de bu otomasyon sistemleri daha çok tercih edilmektedir (Çilek, 2005).

PLC ve SCADA sistemlerinin kullanımı özellikle endüstriyel otomasyon sistemlerinin hızlı bir oranda gelişmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Endüstriyel otomasyon sistemleri küçük endüstriyel sistemlerden tutun daha büyük çaplı üretim sistemlerine kadar amaçlarına uygun bir şekilde çalışmalarına ve üretim yapmalarını sağlamaktadır. Böylelikle endüstriyel üretim sistemleri arasındaki veri alışverişi için gerekli veri tabanının oluşumu ve kayıt altında tutulmasını da otomasyon sistemleri büyük ölçüde sağlamaktadır. (Çilek, 2005).

Sanayi sektöründe endüstriyel otomasyon sistemlerindeki hızlı gelişmeler ve değişimler, işletmelerdeki çalışan sistemlerin uzaktan takip edilmelerini sağlamaktadır. Böylece işletmelerdeki çalışan otomasyon sistemlerinin hızlı ve etkin şekilde kontrol edilmeleri gerektirdiğinden verimli ve güvenilir hale getirilmeleri önem kazanmaktadır. Endüstriyel otomasyon sistemleri arasında verinin güvenli ve hızlı bir şekilde akışını gerçekleştiren yazılım ve donanım sistemleri günümüzde kullanılmaktadır. Bu kullanılan sistemler verinin uzatan güvenli ve hızlı iletimi amaç doğrultusunda genel kullanım alanına sahip SCADA sistemlerinin yazılımlarından faydalanmaktadırlar. SCADA sistemleri, otomasyon kontrol sistemlerinin var olduğu günden beri kullanılmaktadırlar (Özer, 2016).

3.1. Otomasyon

Günümüzde teknolojinin de ilerlemesiyle firmalar birbirleriyle rekabet edebilmeleri için ürettikleri ürünleri hatasız, hızlı ve kaliteli çıkarmak istemektedirler. Bundan dolayı işletmeler insan gücünden daha çok makine ve otomasyon gücüne geçmek zorunda

kalmaktadırlar. Bu zorunluluk daha çok fabrikaları otomasyon sistemlerini daha çok tercih edilir ve kullanır duruma getirmektedir. Otomasyon kelimesi İngilizce ‘Automation’ (kendi kendine hareket eden) anlamına gelmektedir (Güneş, 2021).

İlk etaplarda otomasyon sistemlerinin kontrolü elle veya otomatik kumanda elemanlarıyla yapılmaktaydı, bu da zaman ve enerji kaybının oluşmasına sebebiyet vermekteydi. Fakat günümüzde bu etkileri teknoloji ve bilimin ilerlemesiyle azaltabilecek yeni günümüz teknolojilerine uygun otomasyon sistemleri geliştirilmiştir. Endüstriyel işletmelerde ve fabrikalarda imalatın yönetimine kadar olan her yerde insan faktörünü en aza indirerek tamamen yarı otomatik veya otomatik olan imalat sürecine otomasyon denilmektedir (Kaloyan, 2018).

Tablo 3.1 Endüstriyel otomasyon sistemlerinin kullanıldığı alanlar

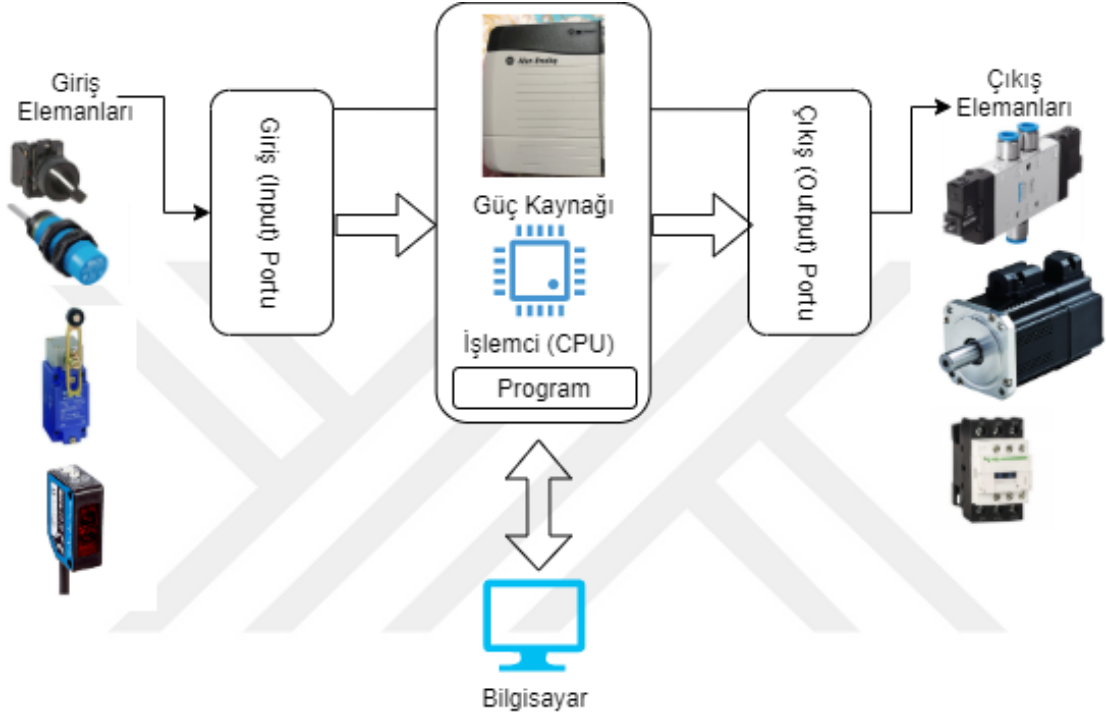
Üretim sektörü	Üretim ve imalat sistemleri
İnşaat sektörü	Akıllı binalar ve deprem otomasyon sistemleri
Elektrik sektörü	Akıllı sayaçlar ve aydınlatma sistemleri
Geri dönüşüm sektörü	Su arıtma ve geri dönüşüm otomasyon sistemleri
Tekstil sektörü	Kumaş dikme ve boyama sistemleri
Enerji sektörü	Enerji üretim, denetim, dağıtım ve faturalandırma sistemleri
Elektronik sektörü	Devre tasarım, üretim, bilişim, telekomünikasyon, ofis yönetim sistemleri

3.2. PLC

PLC, içerisinde Çevresel Arabirim Kontrol Cihazı (Peripheral Interface Controller-PIC) işlemciler ve aynı zamanda Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek (Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory -EEPROM) programlayıcılar barındıran ve günümüz teknolojisinde önemli yere sahip olan kontrol ve kumanda elemanlarıdır. Cihazlara Programlanabilir Lojik Kontrolör isminin verilme nedeni lojik temelli röle sistemlerine seçenек olarak tasarlanmalarıdır (Eminoğlu, 2016).

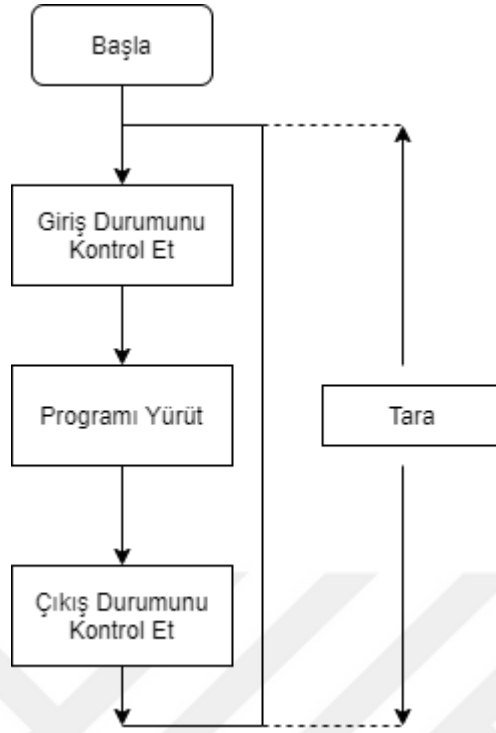
Eskiden otomasyon sistemlerinde kullanılan rölelerin ve sayıcılar gibi kumanda elemanları kullanılmaktaydı. Bunların yerine mikroişlemci tabanlı olan PLC otomasyon

sistemleri kullanılmaya başlanılmıştır. PLC'ler 1968 yılında rölelerin kullanıldığı eski ve pahalı otomasyon sistemlerinin yerine kullanılmak üzere icat edilmiştir. İlk PLC otomasyon fikrini ortaya atan otomobil üretim şirketi General Motors (GM) firmasında çalışan Bill Stone, Westinghouse konferansında dile getirmiştir. Bu fikre ilk yanıt olarak Digital DEC , Allen-Bradley ve Bedford gibi firmalar vermiştir (Erdoğan, 2019).



Şekil 3.1. PLC genel yapısı ve bileşenleri

Bir PLC çalışma prensibi olarak giriş elemanlarından aldığı verileri, bünyesinde yazılmış olan programa göre işleyerek çıkış elemanlarına aktaran mikroişlemci tabanlı bir cihazdır. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi giriş elemanları genellikle sensörler, anahtarlar, butonlar ve fotoseller gibi ekipmanlardan oluşmaktadır (Öner, 2020). Çıkış elemanları ise genellikle lambalar, valfler, kont aktörler, sürücüler ve motorlar gibi birimlerden oluşmaktadır. Bir PLC, giriş/çıkış birimleri, Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit – CPU) gibi bölümleri olan elektronik bir sistem olarak da tanımlanmaktadır. Zamanlama, sayma ve sıralama gibi birçok temel mantıksal işlemler bu cihazlar tarafından gerçekleştirilir. Öte yandan, hareket kontrolü, süreç kontrolü ve veri denetimi gibi birçok işlevde bu cihazlar tarafından kullanılmaktadır. Haberleşme, işlemci gücü ve bellek yönetiminin her dönem ilerlemesi, yeni dönem PLC'lerin daha kompakt, daha hızlı, daha küçük ve aynı zamanda daha çok belleğe sahip olacak şekilde geliştirilmesini sağlamıştır (Konuk, 2020).



Şekil 3.2. Tarama döngüsüne ait akış diyagramı

PLC Programının çalışma mantığı şu şekilde gerçekleşmektedir;

PLC lerin içinde bulunan CPU yazılmış olan programı genellikle yukarıdan aşağı taramaktadır. PLC ler ilk etapta çalışmaya başlamadan önce güvenlik amaçlı çıkış birimini sıfırlar. Sonrasında CPU giriş birimindeki verileri okur ve hafızasına kaydeder. Yazılan programın mantığına göre çıkış birimini enerji ilendirir. CPU'daki programın tarama döngüsü çalışma mantığı bu şekilde gerçekleşir. CPU nun programın çalışmasının tarama döngüsü PLC bekleme veya durma durumuna alınana kadar bu şekilde devam eder. Bu döngünün çevrim süresi programın uzunluğuna, PLC nin yapısına ve modeline göre değişim gösterir. Normal şartlarda döngünün çevrim süresi 3 mili saniye (ms) ile 10 ms. arasında değişim göstermektedir. Tarama döngüsüne ait akış şeması, Şekil 3.3'de görüldüğü üzere yukarıdan aşağıya doğru çalışmaktadır (Öner, 2020).

3.3. HMI

Endüstriyel otomasyon sistemleri teknolojik gelişmelerle beraber yeni teknolojilere uyum sağlamak için yeni içerikler üretmeye çalışmaktadırlar HMI otomasyon sistemleri de imalat aşamalarının vaz geçilmez unsurları haline gelmiştir. HMI İngilizce açılımı

“Human-Machine Interface” olarak bilinmektedir. HMI ın Türkçe açılımı ise, “İnsan-Makine Arayüzü” anlamına gelmektedir (Bayram ve Oralhan, 2020).

Hem makine otomasyonu hem de proses otomasyonu uygulamalarında, makinenin ya da prosesin işleyişini izlemek, uyarı ve alarm mesajlarını görebilmek için PLC’den sonra en çok kullanılan cihazlardan biri de HMI cihazlarıdır. HMI cihazlar makinenin ya da prosesin anlık izlenmesi ve PLC programına bilgi girişi yapmak için kullanılmaktadır (Kayar ve diğ., 2018).

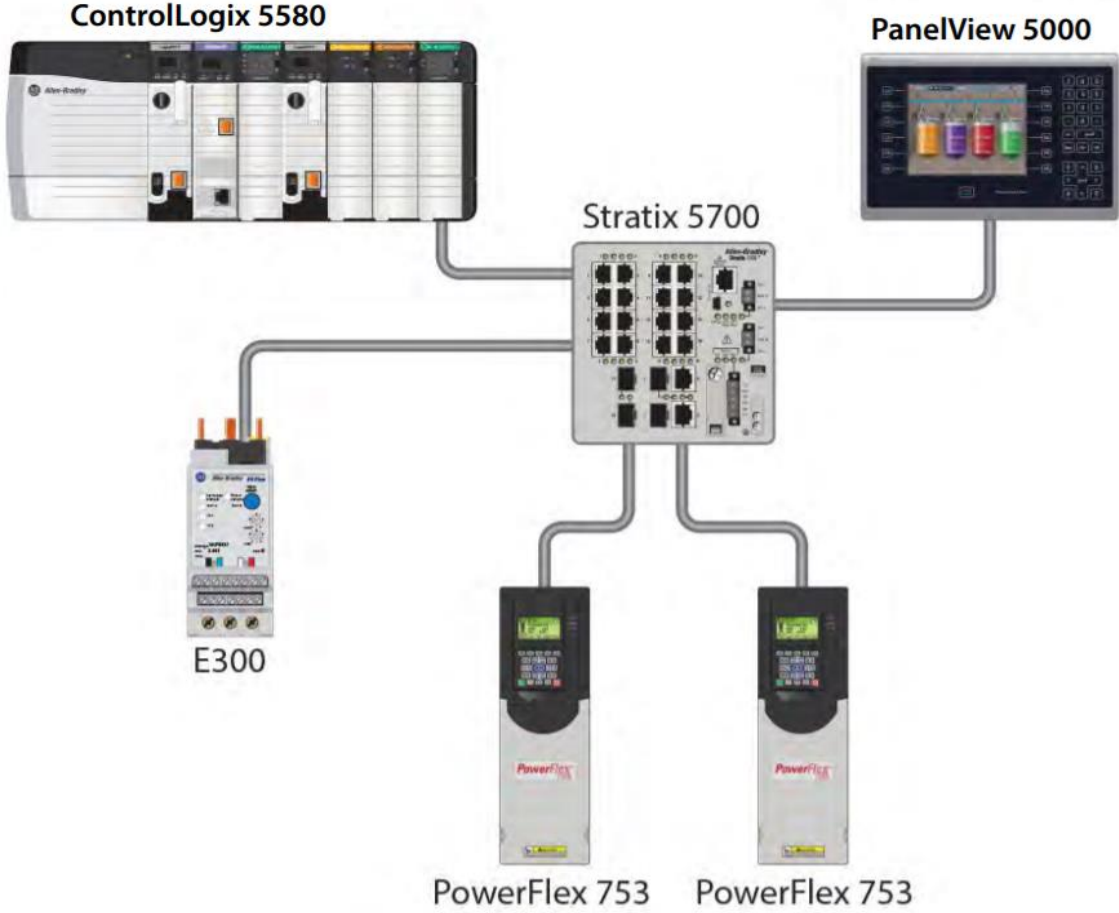


Şekil 3.3. Allen-Bradley 2711P panelview™ Plus 7 grafik terminali

Şekil 3.3’teki HMI ekran özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Allen-Bradley, 2021),

- Windows CE 6.0 standart özelliklerini ve Renkli İnce Tabakalı Transistör (Thin-Film-Transistor -TFT) Sıvı Kristal Ekran (Liquid-Crystal Display -LCD), 18 bit renkli grafikleri kullanır.
- Sanal Ağ Sistemi (Virtual Network Computing-VNC) bağlantısıyla uygulamaları uzak bir konumdan izler. Yani bir ağ servis sağlayıcısına bağlı olarak çalışan HMI, başka bir servis sağlayıcısı ağ üzerindeki bağlı bilgisayarlardan erişerek bu uygulamaların kullanılabilmesini ve yönetilebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede istemci bilgisayara uzak masaüstü bağlantısı yapılmış olur.

- Operatör arayüzünü hızlı bir şekilde kopyalamak ve geri yüklemek için bir SD kart kullanır.
- E-posta ve mesajlaşma bildirim özelliklerini içerir.
- 512 MB RAM ve 512 MB kalıcı bellek içerir (yaklaşık 80 MB boş kullanıcı belleği).



Şekil 3.4. PanelView 5000 HMI cihaz düzeyinde örnek ağ yapılandırması

Şekil 3.4 de görüldüğü üzere Entegre Mimari Sınıfı sistemleri, uygulama boyutu veya karmaşıklığından bağımsız olarak tek bir yerden kontrol edilebilen ve iyileştirme isteyen sistemler için üreticiler tarafından tercih edilir. Ayrıca kullanıcılar tarafından tercih edilen ölçeklenebilir, bütünleşmiş güvenlik, hareket kontrolü ve görselleştirme yetenekleri sunması bakımından benzersizdir. Büyük kontrol sistemleri, tüm kontrol disiplinlerini toplu proses, ayrı sürücüler, güvenlik ve hareketli tüm otomasyon disiplinleri için ortak bir tasarım ortamı kullanan, bağlantılı ve bölümlere ayrılmış, tesis çapında tek bir altyapıya entegre ederler (Allen-Bradley, 2020).

Tipik Konfigürasyonlar;

Aşağıdaki konfigürasyonlar genellikle entegre mimari sınıfında kullanılır:

- Yıldız konfigürasyonu
- Doğrusal konfigürasyon
- Cihaz Düzeyinde Ağ yapılandırması

3.4. SCADA

SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition'ın cümlesinin kısaltmasıdır. Türkçe karşılığı olarak Merkezi Denetim ve Veri Toplama anlamına gelmektedir. SCADA ağları, elektrik ve doğal gaz hizmetleri, su ve kanalizasyon hizmetleri, demiryolları ve diğer kritik altyapı kuruluşları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara genellikle Dağıtılmış Kontrol Sistemleri (Distributed Control Systems- DCS) denilmektedir (Bailey ve Wright, 2003).

SCADA, bir fabrika, tesis veya diğer uzak konumlardaki çeşitli sensörlerden veri toplayan ve bu verileri merkezi bir bilgisayara gönderen ve ardından verileri yöneten ve kontrol eden bir sistemdir. Bir SCADA ağı, operatörlerin çok sayıda Uzak Terminal Birimini (Remote Terminal Units-RTU) izlemek ve kontrol etmek için kullandığı birden fazla Ana Terminal Biriminden (Master Terminal Units-MTU) oluşur. Anahtarlar ve kapak kontrolörleri gibi SCADA ekipmanları, gerçek zamanlı izleme ve kontrol sağlamak için bağlanabilmektedir. Haberleşmesi bir Yerel Alan Ağı olan (Local Area Network-LAN) üzerinden hızlı ve güvenli şekilde sağlanmaktadır. Bir SCADA sistemi, bir boru hattındaki sızıntının nerede olduğu gibi bilgileri toplar, bilgileri merkezi bir veri toplama sistemine geri aktarır, ana istasyonu sızıntı olduğu konusunda uyarır, sızıntının olup olmadığını belirlemek gibi gerekli analiz ve kontrolleri yapar. Sonrasında bilgileri istenildiği gibi tablo veya grafikler gibi sunabilmektedir (Tech-Faq, 2011).

Şekil 3.5 de görüldüğü üzere SCADA sistemleri fabrikalar, akıllı tesis binaları, havaalanları, kara ve deniz taşımacılığı, uzay fırlatma ve kontrol istasyonları, kamu kurum ve kuruluşlar, özel şirket ve tesisleri kapsamaktadır. Ayrıca HVAC sistemlerine erişim, tüketilen enerjinin kontrolü ve sahadan gelen verileri izleme alanlarında da kullanılmaktadır. SCADA'nın sayısız faydaları, güvenli, etkin ve kullanıcı dostu

kullanımı bakımından endüstriyel işletmelerin ve fabrikaların birçok ihtiyaçlarını karşılamaya devam edecektir (Vikipedi, 2021).



Şekil 3.5. Örnek bir SCADA uygulaması

4. MALZEME VE YÖNTEM

Literatürde enerjiyi optimize etmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Bizim kullandığımız yöntem şu şekildedir, ilk önce tüketilen enerjiyi analizör sayesinde izleyip veriler kaydedilmektedir. Kaydettiğimiz verilerin trendleri alınıp yorumlanmakta ve tüketilen enerji sürücüler vasıtasıyla kontrol altına alınmaktadır. Bu sayede enerji optimize edilmektedir.

Endüstriyel işletmelerde enerji tüketim maliyetlerini izlemek bir zorunluluk haline gelmiştir. Enerji kalitesini izlemek için enerji tüketimleri, gerilim dalgalanmaları ve güç faktörleri analizörler yardımıyla değişimlerini izleyebilmek işletme açısından çok büyük bir önem gerektirmektedir. Günlük olarak enerji tüketimlerini izleyip kayıt altına almak üretim ve tüketim maliyetlerini hesaplamada gereklilik arz etmektedir.

Bu çalışma üretim fabrikasında güç dağıtım ünitelerinden enerji analizörleri aracılığı ile 3 fazdan akım, gerilim frekans gibi değerleri gerçek zamanlı anlık olarak okunmaktadır. Okunan bu 3 fazdan akım, gerilim ve frekans değerleri PLC aracılığı ile SCADA ekranında görüntülenmektedir.

Ayrıca bu veriler Rockwell Automation ait FactoryTalk® Historian programı sayesinde saklanıp anlık, saatlik günlük, haftalık, aylık, olarak grafiğe dökülüp analiz edilebilecektir. Bu sayede makine bazında enerji tüketimi izlenip yorumlanarak enerji daha verimli kullanılarak daha kaliteli ürün elde edilmesi sağlanmıştır.

4.1. Sistemde Kullanılan Donanımsal Ekipmanlar

4.1.1. Elimko E-RHT-10 Sıcaklık ve Nem Sensörü

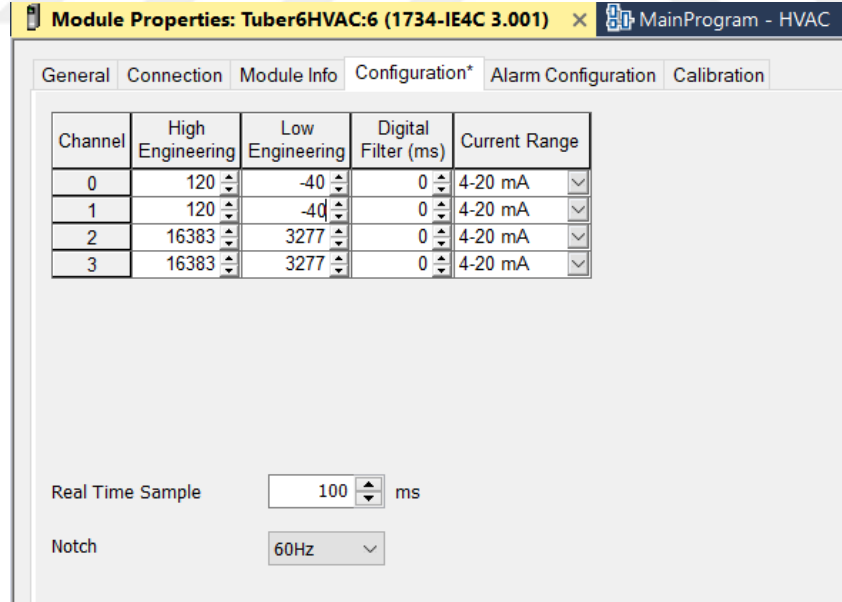
Şekil 4.1 de görüldüğü üzere Tez çalışmasında HVAC sistemlerinde E-RHT-10 Serisi Bağıl Nem ve Sıcaklık Sensörü kullanılmıştır. Bu sensörün kullanılmasındaki amaç yerli üretim olması, servis ağı ve yedek parça temininin kolay olması ve maliyetin uygun olması sebebiyle tercih edilmiştir.



Şekil 4.1. Elimko E-RHT-10 nem ve sıcaklık transmitteri

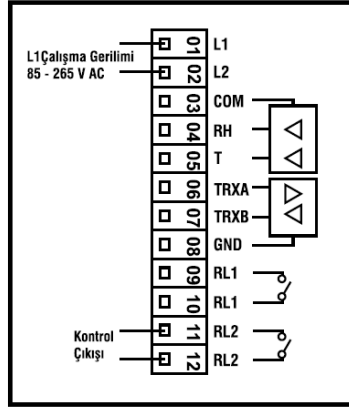
E-RHT-10 tek çekirdekli mikroişlemci tabanlı sıcaklık ve nem sensör modülü kullanan bir transmitterdir. Sensör sıcaklık ve nem bilgilerini 12 bit sayısal çıkış vererek okunmaktadır. Sıcaklık ve nem bilgileri için içerisinde iki adet kalibre edilmiş mikro sensör bulunmaktadır. Şekil 4.3 de Elimko sıcaklık ve nem sensörün bağlantı şeması verilmiştir (Elimko, 2021).

Tez kapsamında kullanılan şekil 4.1 de gözükten sıcaklık ve nem cihazının katalogunda belirtilen ölçüm aralığı (-40 / 120 °C) görülmektedir. Belirtilen bu ölçüm aralığındaki değerlerle PLC programında skalandırılmaktadır.



Şekil 4.2. 1734-IE4C analog kart konfigürasyonu

Şekil 4.2 de gözüktüğü üzere 1734-IE4C analog kart üzerinde sıcaklık ve nem cihazının 4 mA de -40 ve 20 mA de 120 derece olacak şekilde konfigürasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.3. Elimko E-RHT-10 bağlantı şeması

4.1.2. Rockwell Automation/Allen-Bradley ControlLogix PLC

Şekil 4.4 görüldüğü üzere çalışmanın yapıldığı fabrikada tez kapsamında sistemin otomasyon tarafında Rockwell ürünü PLC kullanılmıştır. Kullanılan PLC Şase üzerinde 1 adet CPU, 1 adet Modbus Haberleşme Modülü ve 3 adet Ethernet Modülü bulunmaktadır. Bu haberleşme modüllerine bağlı olarak sahada her HVAC bölgesinde de Noktasal Giriş ve Çıkışı Birimleri (Point I/O) lar bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Rockwell automation 1756-173 controllogix PLC

PLC nin özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Rockwell, 2020);

- EtherNet/IP™ üzerinde Integrated Motion, entegre Sercos™ hareketi ve analog hareketi destekler

- Tam denetleyici yeterliliğini ve Güç Altında iken kartı çıkartıp tekrar Yerleştirmeyi (RIUP) destekler
- EtherNet/IP, ControlNet™, DeviceNet™, Data Highway Plus™, Remote I/O, SynchLink ve üçüncü taraf proses ve cihaz ağları aracılığıyla iletişim kurar
- Röle merdiveni mantığı, yapılandırılmış metin, fonksiyon bloğu ve SFC dillerini kullanarak programlama yapmanızı sağlar
- Zorlu ortamlarda korumaya yardımcı olmak için katalog numarasında "K" bulunan ürünlerde koruyucu kaplama içerir
- B ve C serisi standardı için 1756 İnce Güç Kaynağı seçeneği ve alan sınırlı olduğunda genişlikte %29 azalma sağlayan 1756 XT Şasi içerir
- Standart, uyumlu kaplamalı ve aşırı sıcaklığa dayanıklı sürümlerinde 17 yuvaya kadar kasa sunar

4.1.3. POINT I/O Modüller

Sistemimizde kullandığımız POINT I/O lar genellikle sahada kurduğumuz HVAC otomasyon sistemiyle ana PLC arasında veri alışverişini için kullanılır. Kurulumu kolay, fazla yer kaplamaması, kompakt bir yapıya sahip olması ve maliyeti düşük olması sebebiyle tercih edilmektedir. Şekil 4.5'te sistemde kullandığımız POINT I/O unun bir kısmı görülmektedir.



Şekil 4.5. POINT I/O modüller

Kullanılan bu POINT I/O ların özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Allen-B, 2015),

- Modüler tasarım yapısı ile, I/O'ların sonlandırma stilini ve ağ arabirimini bağımsız olarak seçilebilmesine olanak tanır.
- Modüllere kolay kurulum ve bakım sökme takma işlemleri yapılabilmektedir.
- Çıkarılabilir kablolama sistemi, kurulum ve sorun giderme sırasında zamandan ve paradan tasarruf sağlar.
- Kapsamlı tanılama ve yapılandırılabilir özellikleri sayesinde, POINT I/O'nun kurulumu ve uygulanmasını kolaylaştırır.
- Güç Altında Çıkarma ve Yerleştirme (Removal and Insertion Under Power - RIUP), sistem çalışırken modüllerin değiştirilmesine olanak tanır.
- Derecelendirme gerektirmeden yatay veya dikey olarak monte edilmesine olanak tanır.
- Otomatik Cihaz Değiştirme (Auto Device Replacement - ADR), duruş süresini azaltır.
- Studio 5000 Logix Designer® uygulamasındaki Eklenti Profilleri, Entegre Mimari sistemlerine sorunsuz entegrasyon sağlar.

4.1.4. PowerFlex 525 AC Drives

Şekil 4.6 görüldüğü üzere çalışmanın yapıldığı tesiste tez kapsamında HVAC sisteminin otomasyon tarafında Rockwell Automation Powerflex 525 Sürücü kullanılmıştır.



Şekil 4.6. PowerFlex 525 AC drives

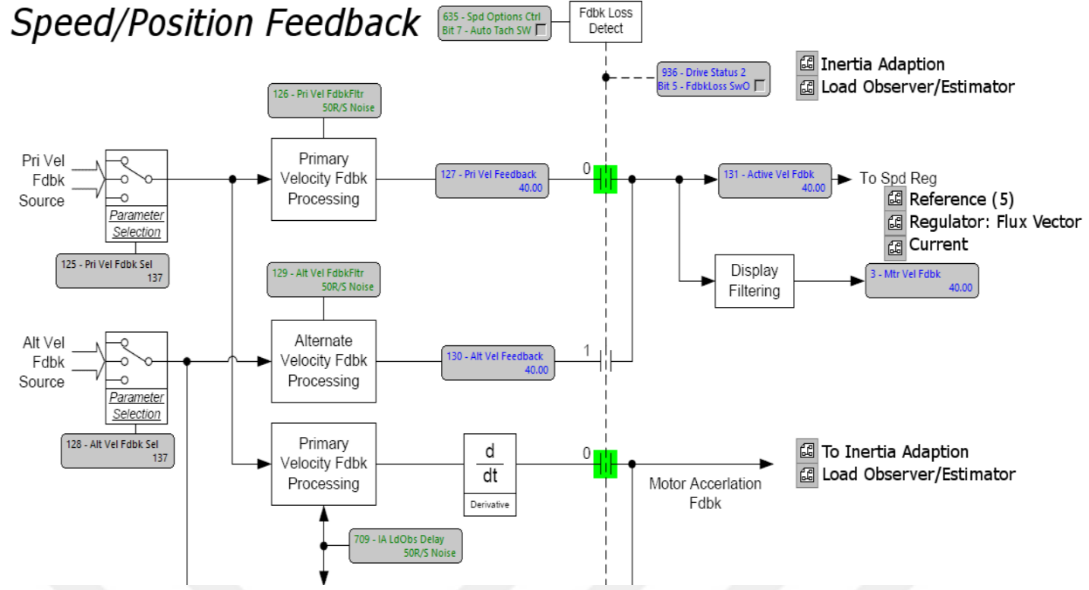
PowerFlex 525 AC sürücüler, Logix programlanabilme özelliğine sahip Otomasyon Kontrolörlerinin gerçek bir eklentisi olarak işlev görürler. Bu kapsamlı üst düzey sistem entegrasyonu, gelişmiş makinelerin çalışma performansı için motorların çalışma koordinasyonunu geliştirmeye yardımcı olmaktadır.

PowerFlex 525 AC sürücünün özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Rockwell, 2015);

- 100-600V şebeke gerilimlerinde ve 0,4-22 kW / 0,5-30 Hp güç değerlerinde çalışmaktadır.
- Eşzamanlı kurulum ve yazılım yapılandırmasına izin veren yenilikçi, çıkarılabilir bir kontrol çekirdeğine sahip modüler bir tasarıma sahiptir.
- Hertz başına volt, sensörsüz vektör kontrolü ve kapalı döngü hız vektör kontrolü dahil olmak üzere çok çeşitli motor kontrolü sunar.
- Dahili EtherNet/IP™ ile Logix ortamına ve EtherNet/IP haberleşme ağlarına sorunsuz bir şekilde bağlantıyı destekler.
- Mevcut güç kaybı ve kontrol modülü fan kiti ile 70 °C'ye kadar yüksek ortam sıcaklığında çalışır.
- Güç aralığına göre kompakt ayak izi ve 50 mm hava akışı boşluğu ile Zero Stacking™ montajı sunar,
- Enerji verimliliğini artırmaya ve ilgili maliyetleri azaltmaya yardımcı olmak için kalıcı mıknatıslı motor kontrolü sağlar.
- PLd/SIL2 Cat 3'te onaylanan Güvenli Tork Kapatma Özelliği Güvenlik sisteminden gelen bir talepten sonra daha hızlı başlatma için sürücüdeki gücü kesmeden motora giden dönüş gücünü keser.

Şekil 4.7'den anlaşılacağı üzere tez kapsamında kullanılan sürücünün çalışma mantığından bahsetmek gerekirse, PLC programından gelen analog referansa göre sürücü çıkış voltajını artırır veya düşürür.

Yani sürücü analog giriş referansına göre çıkış frekansı Hertz (Hz) cinsinden yükseltir veya düşürür. Böylece sürücüye bağlı olan motorun dönüş hızı artar veya azalır.



Şekil 4.7 Powerflex sürücü hız referans diagramı

4.1.5. Stratix 5700 Industrial Managed Ethernet Switches

Şekil 4.8 de görüldüğü üzere Tez kapsamında sistemin kendi arasındaki haberleşmeyi sağlamak için Rockwell Automation marka Stratix 5700 Endüstriyel Yönetimli Ethernet Anahtarları kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Stratix 5700 industrial managed ethernet switches

Stratix® 5700 Yönetilen Endüstriyel Ethernet Anahtarlarımız, mevcut Cisco® Catalyst® anahtar mimarisini ve özellik setini kullanır. Daha küçük uygulamalardan tesis genelindeki altyapı ile IT'ye hazır entegrasyona kadar anahtarlama yeteneği ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere tasarlanmıştır. Yapılandırma ve izleme araçları, kurumsal ağa güvenli entegrasyon sağlar ve Integrated Architecture® sistemimizle kolay kurulum ve tanılamaya olanak tanır. Özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Allen-B, 2016);

- Ağ mimarisini optimize etmeye yardımcı olan entegre Device Level Ring (DLR) bağlantısı içerir.
- Yerel, makine düzeyindeki IP adreslerinden daha geniş tesis ağına IP adresi eşlemesi sunan Ağ Adresi Çevirisi (NAT) özellikleri sağlar.
- Minimum kablolama ile ethernet ile aynı kablo üzerinden güç dağıtımını sağlamak için Ethernet Üzerinden Güç (PoE) sürümleri sunar.
- Yalnızca yetkili cihazların, kullanıcıların ve trafiğin ağa erişmesini sağlamaya yardımcı olan erişim kontrol listeleri gibi güvenlik özelliklerini içerir.
- Basitleştirilmiş cihaz değişimi sağlayan isteğe bağlı Secure Digital (SD) kart desteği sunar.

4.1.6. Rockwell Automation 2715 PanelView 5500 SCADA/HMI

Şekil 4.9 da görüldüğü üzere Tez kapsamında sistemin uzaktan kontrolünde Rockwell marka 2715 PanelView 5500 SCADA/HMI cihazlar kullanılmıştır. Tasarlanan bu SCADA/HMI sistemi sayesinde kullanıcı uzaktan bütün kontrollerini yapabilmekte ve verileri izleyebilmektedir.

PanelView™ 5000 Grafik Terminallerimiz sezgisel, modern bir tasarım sunar ve Studio 5000 View Designer™ yazılımını kullanan gelişmiş Logix entegrasyonu sağlar. Bu entegrasyon, mühendislerin konfigürasyon bilgilerini bir kez girmesine ve tüm otomasyon tasarımı için kullanmasına olanak tanır. Ayrıca, koşu uygulamaları için yüksek hızlı HMI düğmeleri, ölçeklenebilir vektör grafikleri ve tanılama bilgileri sağlayan önceden yapılandırılmış bir sistem başlığı ile modern uygulamalar oluşturmanıza yardımcı olur.



Şekil 4.9. 2715 PanelView 5500 SCADA/HMI

Ürünün özelliklerinden bahsetmek gerekirse (Rockwell, 2021);

- Ek yapılandırma ihtiyacını ortadan kaldırmak için Logix tabanlı alarmlar içerir.
- Yüksek hızlı HMI düğmesiyle makine joglama uygulamaları için <100 ms yanıt elde eder.
- Daha zengin bağlam geliştirmeye yardımcı olmak için Logix etiketi genişletilmiş özellik desteği sağlar.
- Uygulamalarınızı daha verimli bir şekilde oluşturmak için özel, yeniden kullanılabilir ek grafikler oluşturma olanağı sağlar.
- Studio 5000 View Designer™ ortamını kullanarak etiketleri, alarmları ve diğer verileri otomatik olarak paylaşır.
- Fiziksel bir terminale indirmeden bir projeyi test etmek için emülatör sunar.
- Uzaktan izleme ve sorun gidermek için uzak bir VNC istemcisini desteklemek için yerleşik bir VNC sunucusu kullanır.

4.2. Enerji İzleme Sistemi Tasarımı Ve Uygulaması

Bu tez kapsamında toplamda 26 adet enerji analizörleri fabrikanın çeşitli noktalarına makinelerin güç ana dağıtım şalterlerine bağlantısı yapılmıştır. İlk etapta 4 adet enerji analizörü devreye alınmıştır. Bu projede Entes MPR-47SE Serisi şebeke analizörü kullanılmıştır. Yerli üretim olduğundan maliyeti diğer markalara nazaran daha düşüktür. Şekil 4.10'da MPR-47SE analizöre ait dış görünüş verilmiştir.



Şekil 4.10. MPR-47SE enerji analizörü genel görünümü

Şekil 4.10'daki enerji analizörün ekranındaki değerlerin ne anlama geldiğinden bahsetmek gerekirse (Entes, 2019)

1. Şebekenin hangi çeyrekte (quadrant) çalıştığını gösterir.
2. Bağlantı hatası olup olmadığını belirtir.
3. Ölçümün endüktif veya kapasitif olduğunu gösterir.
4. Toplam ekranını belirtir. (Örn. ΣTHD)

5. Her faz için ölçülen aktif güç değerini gösterir.
6. Her faz için ölçülen reaktif güç değerini gösterir.
7. Her faz için ölçülen görünür güç değerini gösterir.
8. Enerji değerinin birimini gösterir.

MPR -4 yeni nesil şebeke analizörleri, bir elektrik şebekesinde mevcut tüm verileri ölçmek, harcanan elektrik enerjisini hesaplamaktadır. Ayrıca bu mikroişlemci tabanlı cihaz okuduğu verileri dijital ekranda da görüntülemektedir. Okunan veriler cihaz üzerinde bulunan saat çipi ve flash hafızasına anlık olarak bilgileri kaydetmektedir. Kaydedilen bu veriler RS-485 hattı üzerinden Modbus RTU protokolü ile, Ethernet li modellerde Ethernet arayüzü üzerinden Modbus TCP protokolüyle uzaktan okunup takip edilebilir.

Kullandığımız enerji analizörünün genel özellikleri, Akım, Gerilim, Enerji, Güç, Akımdaki Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion THDI) ve Gerilimdeki Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion THDV), Güç faktörü ve $\cos \phi$ ölçebilmektedir. Ayrıca RS-485, Ethernet ve Modbus TCP haberleşebilmekte ve 2 adet dijital giriş, 2 adet dijital çıkış, 2 adet röle çıkışı, 2 adet analog çıkışı sahip olmaktadır. Akım ve gerilim trafosu primer ve sekonder değerlerini değiştirebilme özelliklerine sahiptir (Entes, 2019).

Gerilimdeki ve Akımdaki Toplam Harmonik Bozulma denklem (4.1) ve denklem (4.2) de verilmiştir.

$$THDV = U_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1) incelendiğinde;

THDV (THBV): Gerilimin toplam harmonik bozunumu,

V_n : Devreye uygulanan gerilimin n'inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri,

V_1 : Devreye uygulanan gerilimin temel frekanstaki etkin değeri, (Kürker ve Taşaltın, 2016)

$$THD_I = I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (4.2)$$

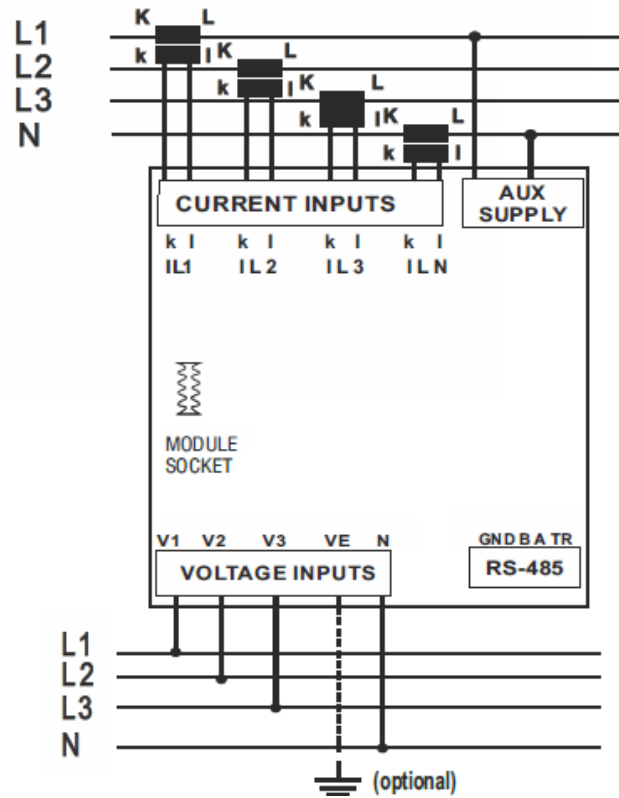
Denklem (4.2) incelendiğinde;

THDI (THBI): Akımın toplam harmonik bozunumu,

In: Devreden geçen akımın n'inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri,

I₁: Devreden geçen akımın temel frekanstaki etkin değerini göstermektedir, (Kürker ve Taşaltın, 2016)

Şekil 4.11 de MPR-47SE enerji analizörün bağlantı şeması verilmiştir. Analizör sistemin ana besleme şalterlerinin girişine bu şekilde bağlanmıştır.



Şekil 4.11. MPR-47SE ait bağlantı şeması

Cihaz 5 farklı tip bağlantı şekli bulunmaktadır. Biz Şekil 4.9'daki gibi nötr hattıyla beraber 4 adet akım ve 4 adet gerilim bağlantısı yapılmıştır. Bu diyagram yalnızca alçak gerilim kaynakları için geçerlidir. Gerilim ölçüm girişlerine nominal gerilimin en az %20 uygulanmaktadır. Akım ölçüm girişlerine ise nominal akımın %10'u uygulanmaktadır.

Bu iki Akım ve gerilim girişleri arasındaki açı farkı 30 dereceden daha az olmalıdır (Cos ϕ değeri endüktif 0,87 ile kapasitif 0,87 arasında olmalıdır) (Entes, 2019).

Şekil 4.12 de Projede kullandığımız Enerji Analizörünün sistemdeki bağlantı şeması görülmektedir. Enerji analizörleri 25 adet ana besleme şalterlerine bu şekilde bağlantısı yapılmıştır. MPR -4 yeni nesil şebeke analizörleri, bir elektrik şebekesinde mevcut tüm verileri ölçmek, harcanan elektrik enerjisini hesaplamaktadır. Ayrıca bu mikroişlemci tabanlı cihazlar okunan verileri dijital ekranda görüntülemektedir. Okunan veriler cihaz üzerinde bulunan saat çipi ve flash hafızasına anlık olarak kaydetmektedir. Kaydedilen bu veriler, RS-485 hattı üzerinden Modbus RTU protokolü ile, Ethernetli modellerde Ethernet arayüzü üzerinden Modbus TCP protokolüyle uzaktan okunup takip edilebilmektedir.

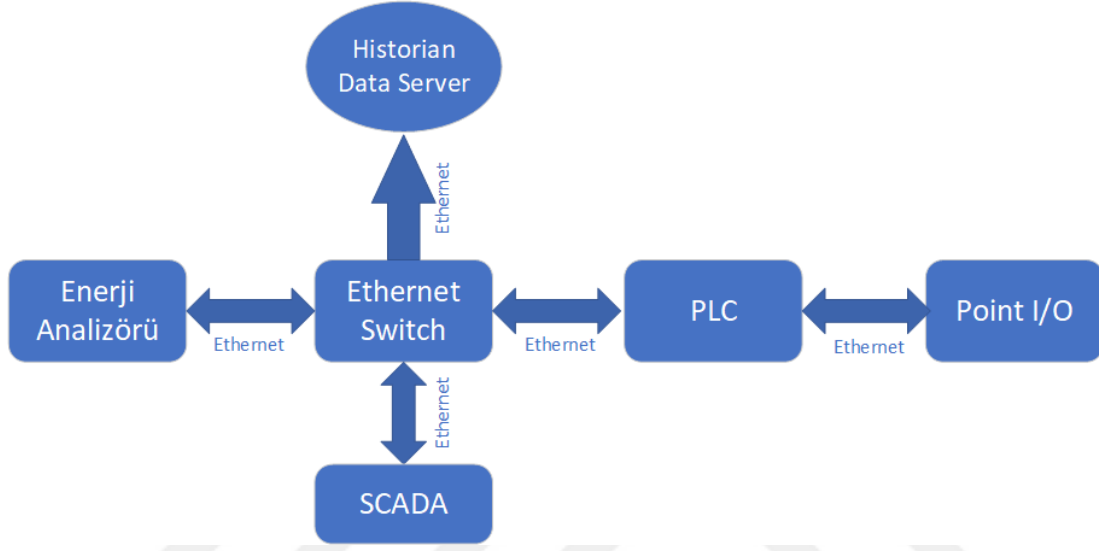


Şekil 4.12. MPR-47SE enerji analizörünün bağlantı şeması

Bu enerji analizörleri; faz akımları, nötr akımı, akım ortalaması, faz-faz gerilimi, faz-nötr gerilimi gibi değerleri ölçmektedir. Ayrıca ortalama faz-faz gerilimi, ortalama faz-nötr gerilimi ve fazlar arası aktif, reaktif güçleri de okuyabilmektedir. Bunlara ek olarak görünür güç, toplam aktif, reaktif, görünür güç, frekans, cos ϕ , reaktif enerji tüketimini ve

gerilimlerin toplam harmoniyi, akımın toplam harmoniyi de ölçme kabiliyetine sahiptirler.

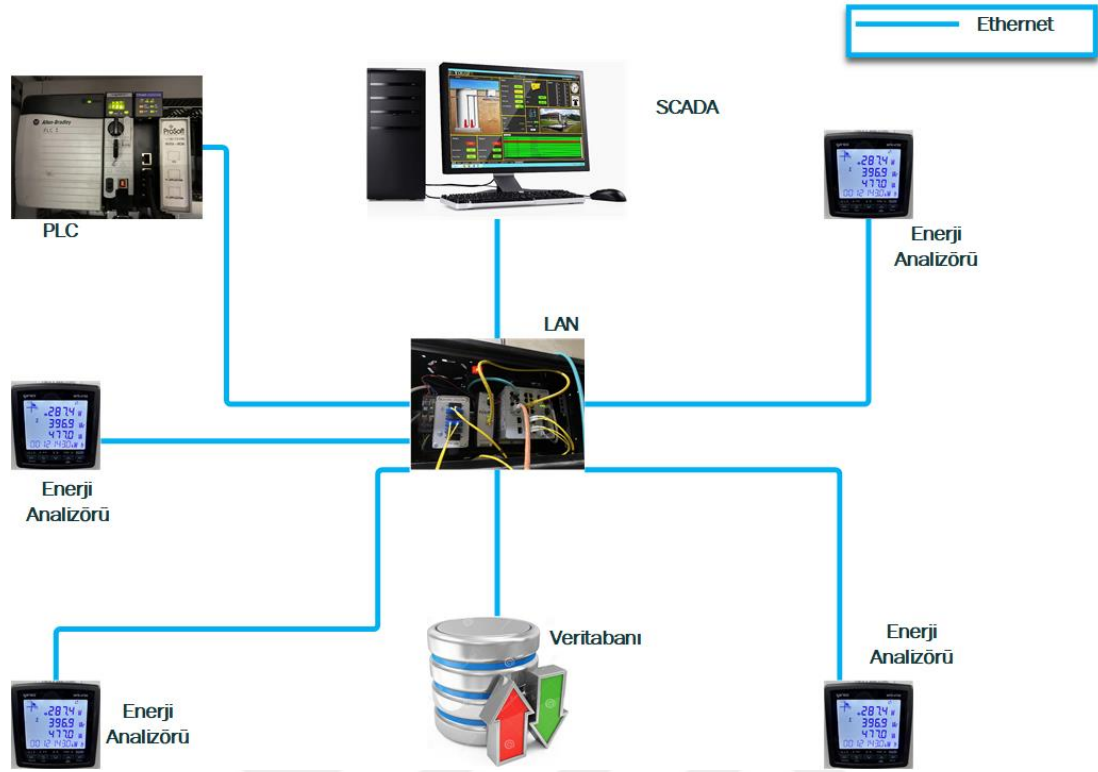
Şekil 4.13 de tasarlanan otomasyon sisteminin PLC ile birlikte haberleşme ağ yapısının akış şeması verilmiştir. Sahada kurulan bütün POINT I/O lar PLC ile bu şekilde haberleşip okunan bütün veriler data server üzerinde toplanmaktadır.



Şekil 4.13. Sistemin haberleşme ağ yapısının akış şeması

Enerji analizörleri fabrikanın farklı sahalarında bulunan makinaların besleme şalterlerine bağlıdır. Fabrikanın kapalı sahası çok büyük olduğundan enerji analizörü PLC ile Modbus TCP haberleşmesi üzerinden haberleşmektedir. Fabrikanın farklı sahalarında olan enerji analizörleri Ethernet kablo ile bir Ethernet Anahtarında toplanıp oradan PLC ye oradan da SCADA ile ve veri tabanına kaydedilir.

Şekil 4.14 de sahada kurulu olan sistemlere bağlı bütün enerji analizörlerin PLC, SCADA ve HMI otomasyonu ile haberleşme şeması verilmiştir. Buna göre sistem Ethernet ağ yapısı üzerinden haberleşip Ethernet akıllı anahtarlama sisteminde toplanmaktadır. PLC, SCADA ve HMI otomasyon sistemleri bu akıllı Ethernet anahtarlama üzerinden birbirleriyle konuşmaktadır. PLC üzerindeki CPU birimi bu bağlı ekipmanları tasarlanan senaryoya göre yazılmış program aracılığıyla yönetmektedir. Akıllı Ethernet anahtarlama sisteminden toplanan veriler merkezi veri tabanına anlık olarak kayıt altına alınmaktadır.

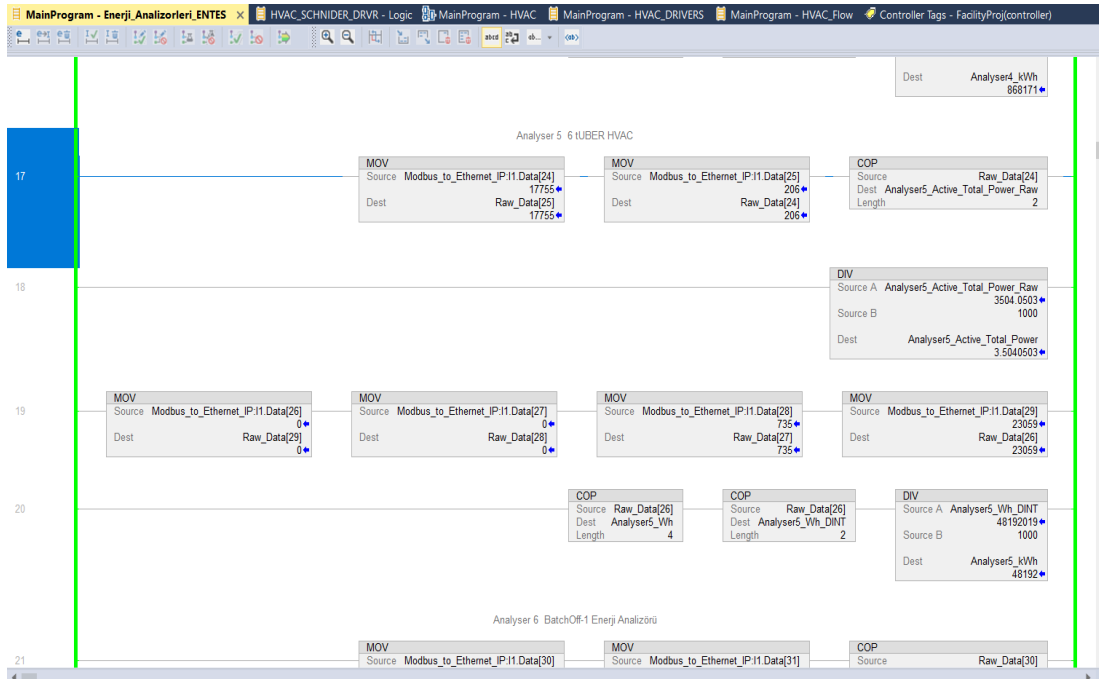


Şekil 4.14. Enerji analizörlerinin sistemle haberleşme şeması

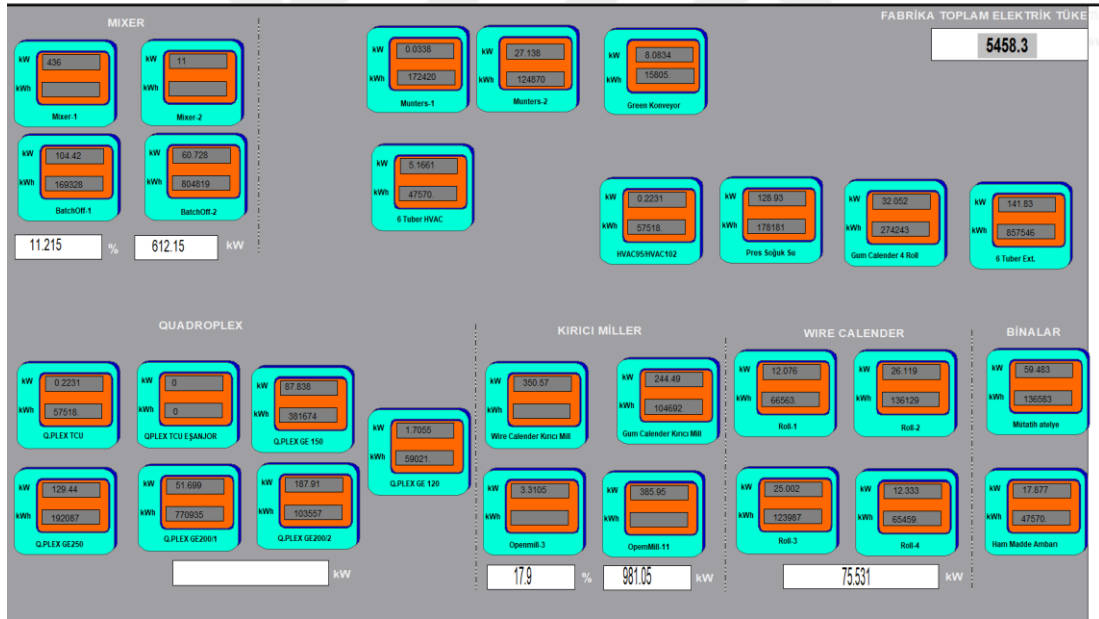
4.3. Yazılım

Tez kapsamında yapılan bu projede Rockwell ürünü PLC kullanılmıştır. Güç analizöründen okunan 3 faz gerilim; akım, frekans gibi değerler modbus Ethernet üzerinden analog kartımızı (4-20 Ma). Olarak gelmektedir. Analog kartımızın okuduğu analog input (4-20 Ma.) değerler PLC programının içerisindeki senaryoya göre matematiksel hesaplamalar yapıp SCADA ve HMI ekrana gönderilir. Logic Programı sahadaki analog sıcaklık ve nem sensörlerinden aldığı verilere göre sürücüye hız referansı gönderir. Sürücü PLC den gelen hız referansına göre motorun dönüş hızını lineer bir şekilde artırır veya yavaşlatır. Böylece sahada bulunan HVAC sistemler ortamın sıcaklık ve nemini set edilen değerlerde en iyi performansta tutar.

Şekil 4.15 de PLC program tarafının enerji analizörlerinin yazılım tarafı görülmektedir.

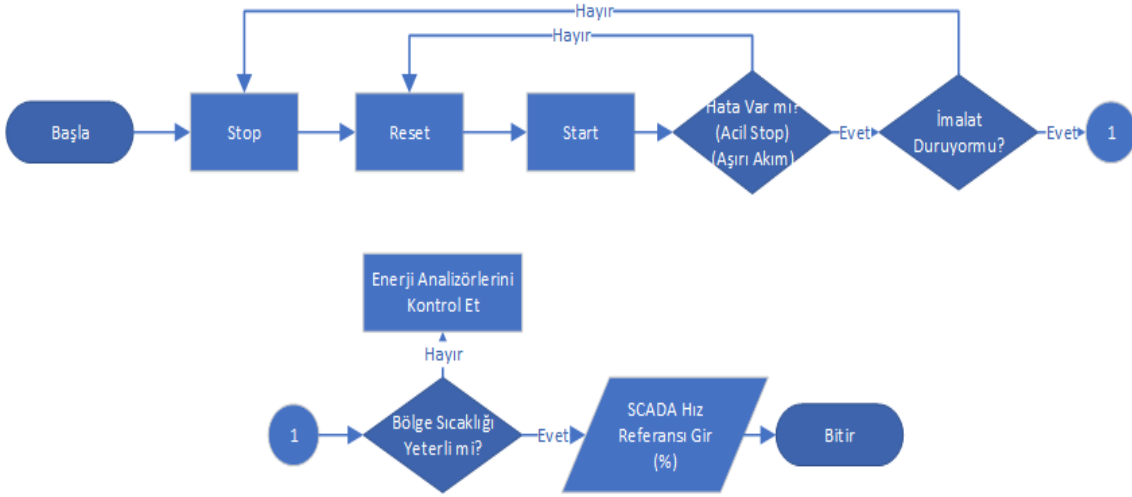


Şekil 4.15. Rockwell PLC studio 5000 enerji analizörü yazılımı



Şekil 4.16. Enerji analizörleri SCADA ekranı

Şekil 4.16 da tez kapsamında yapılan projedeki bağlı olan enerji analizörlerinin Scada ekranı görülmektedir. Burada he kısmın ayrı olarak enerji tüketimleri anlık ve saatlik olarak gösterilmektedir. Ayrıca fabrikanın toplam elektrik tüketimi de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Operatör kontrol akış şeması

Şekil 4.17 de İşletmenin enerji kontrol departmanında görevli operatörün HVAC sistemler için kontrol akış şeması verilmiştir.

Bu şemaya göre operatör vardiyayı teslim aldığı anda ilk önce ilgili bölgedeki HVAC sistemlerini kontrol edip resetler. Sonrasında sistemde hata var mı yani acil stop, aşırı akım veya sürücü hatası gibi alarmları kontrol eder. Eğer herhangi bir alarm uyarısı var ise sistemi SCADA üzerinden resetler.

Normal şartlarda start verdikten sonra sistem otomatik çalışır. Operatör ilgili bölgeye ait enerji analizörlerinden o bölgede imalat olup olmadığını kontrol eder. Eğer imalat yok ise sistemi durdurur. İmalat devam ediyorsa o bölgenin sıcaklıkları SCADA üzerinden kontrol edilir. Eğer çalışılan bölgedeki sıcaklık istenilen değerde değil ise SCADA üzerinden hız referansını % olarak değiştirir.

Şekil 4.18 de görüldüğü üzere operatör SCADA ekranından HVAC sistemlerini kontrol edip izleyebilmektedir. Tasarlan bu ekranda fabrikanın bütün sahasındaki konumlandırılmış HVAC, Fan, iç ve dış ortam sıcaklık ve nem verileri görüntülenmektedir. Ayrıca operatör izlemenin yanında sistemi otomatik manuel, yaz ve kış modu, fan start stop gibi kontrollerinde yapılabilmektedir.

Adım 1: Başla

Adım 2: Stop (Sistem kontrollü veya acil durdurma şartları oluştuğunda)

Adım 3: Yaz Modu veya Kış Modu Seç

Adım 4: Klapeyi Aç

Adım 5: Sistemde reset var mı yok mu kontrol et.

Adım 6: Ekrandan start ver

Adım 7: İstenilen sıcaklık set değerini gir (24). Sıcaklık Set = 24

Adım 8: Ortam Sıcaklık Nem Cihazından verileri oku. Sensor input oku.

Adım 9: Eğer sıcaklık 22 dereceden düşük ise sürücüye giden hız referansını arttır.

Adım 10: Eğer sıcaklık 24 dereceden fazla ise sürücüye giden hız referansını düşür.

Adım 11: Eğer bulunan bölgede çalışan yok ise ekrandan durdur.

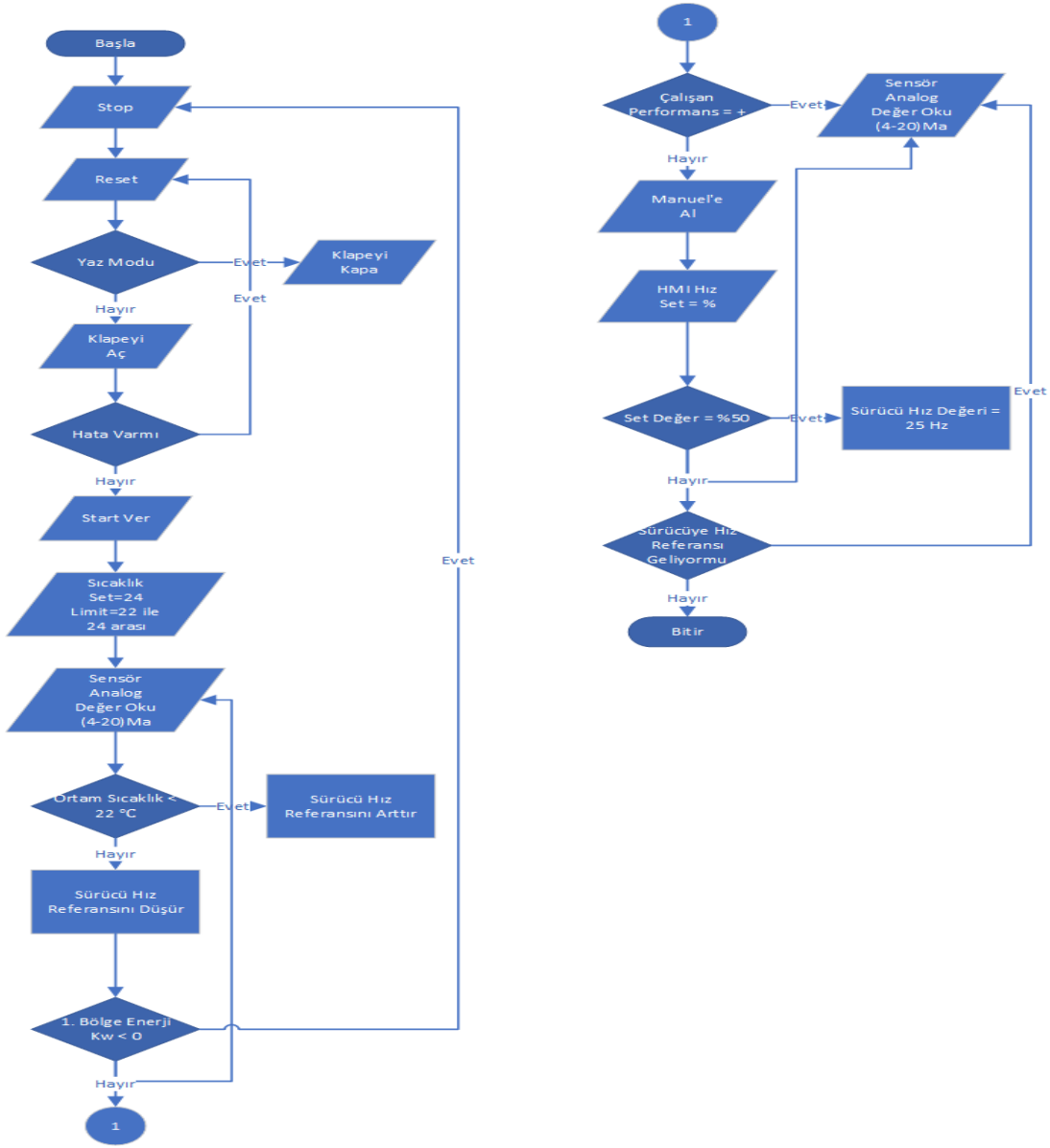
Adım 12: Eğer bölgede çalışanlardan şikâyet varsa sistemi manuel'e al.

Adım 13: Ekrandan istenilen değere göre sürücü hız referansını % olarak arttır veya azalt.

Adım 14: Eğer ekrandan %50 hız girildi ise sürücüye 25Hz hız referansı gönder.

Adım 15: Sürücüye hız frekans bilgisi geliyor mu? Geliyorsa adım8 e git

Adım 16: Bitir

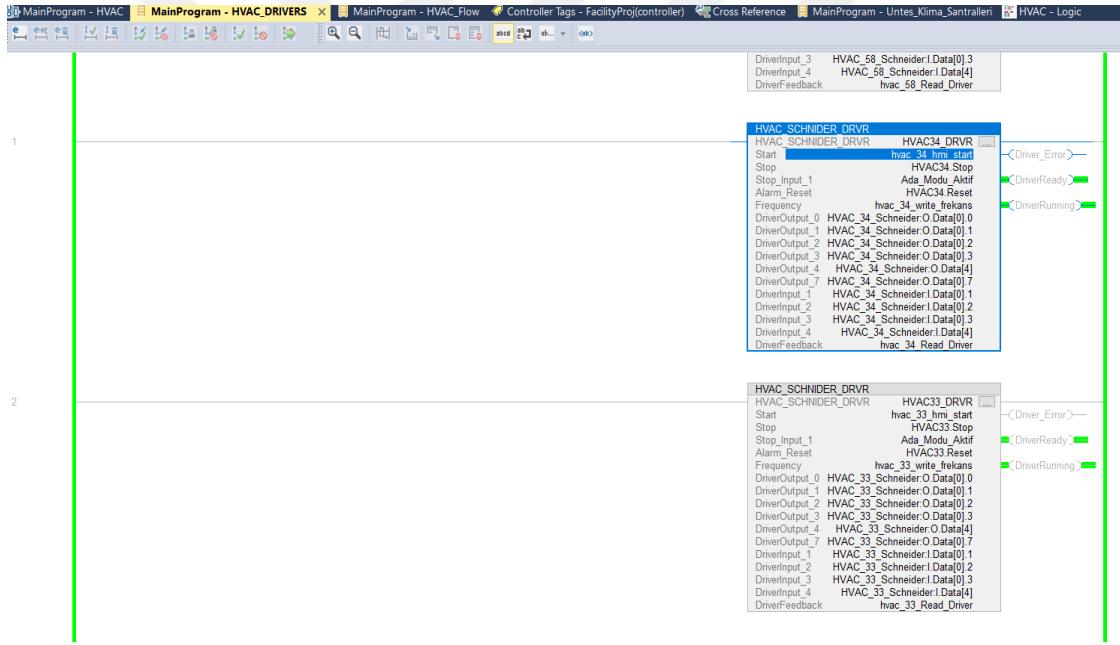


Şekil 4.20. Optimizasyon sonrası program akış şeması

Sistemin yazılım olarak çalışma mantığı şekil 4.20 deki program akış şeması üzerinden anlatmak gerekirse, sistem SCADA üzerinden start almadan önce yaz ve kış modu seçilmektedir. Örnek kış modu seçildikten sonra ısı kazanı buhar klapesini açan selenoid valfini enerjilendirir. Sistemde reset olup olmadığı yani acil stop, sürücü hata, motor aşırı akım gibi hatalar kontrol edilir. Eğer herhangi birinde problem var ise sorun giderilip sistem resetlenir. Ekrandan start verilip istenilen sıcaklık değeri set edilir. Sıcaklık ve nem cihazlarının 4-20 MA. analog çıkış sinyalleri logic tarafında skalandırılır. Logic tarafında girilen değere göre limit belirlenir. Sistem sahadaki algılayıcılar tarafından gelen analog referansı okur. Ekrandan girilen limit aralığında analog referans (4-20 MA.) sahadaki

algılayıcılardan gelen referansa göre sürücüye hız referansı gönderilmektedir. Set edilen sıcaklık referans aralığında sürücü motora giden çıkış voltajını ayarlamaktadır. Sistem otomatik olarak set edilen sıcaklık değerinde lineer olarak sürücüyü ve HVAC sistemini kontrol ederek çalışılan bölgeyi ısıtır veya soğutur. Eğer o bölgeden çalışanlar tarafından sıcaklık değerinde değişiklik istenir ise operatör SCADA ekranından % değer girerek sürücü çıkış hız referansını değiştirebilmektedir. Böylelikle sistemin enerji tüketimi optimize edilerek %50 ye varan tasarruf elde edilmiş olmaktadır.

Şekil 4.21 de ısıtma soğutma sisteminin sürücü tarafının Logic yazılım fonksiyon bloğu görülmektedir. Sürücünün çalışma mantığı yazılımı bu fonksiyon içinde koşturmaktadır. Plc yazılımında sürücünün çalışması, durması, manuel otomatik şartı, alarmlar hepsi bulunmaktadır.



Şekil 4.21. HVAC sürücü logic fonksiyon bloğu

SCADA ekran program yazılımı ve PLC Logic yazılımı arasındaki veri alışverişi şekil 4.22 de gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere Plc yazılımı tarafında operatörün kullandığı HMI ve SCADA verilerin okuyup yazması fonksiyon bloğu içinde koşturmaktadır. Ekrandan bütün bilgileri izleyip verileri girebilmesi ve sistemdeki bütün alarm mesajları bu fonksiyon bloğu içindeki yazılım tarafından gerçekleştirilmektedir. Aşağıda PLC tarafında yazılan fonksiyon bloğunun içindeki sözde kod yer almaktadır.

Adım 1: Başla

Adım 2: Reset

Adım 3: Eğer Fault Code = 1 ise

Adım 4: Ekran Yaz "Safety" Git Adım2

Adım5: Start

Adım 6: Motor Status = 1 ise

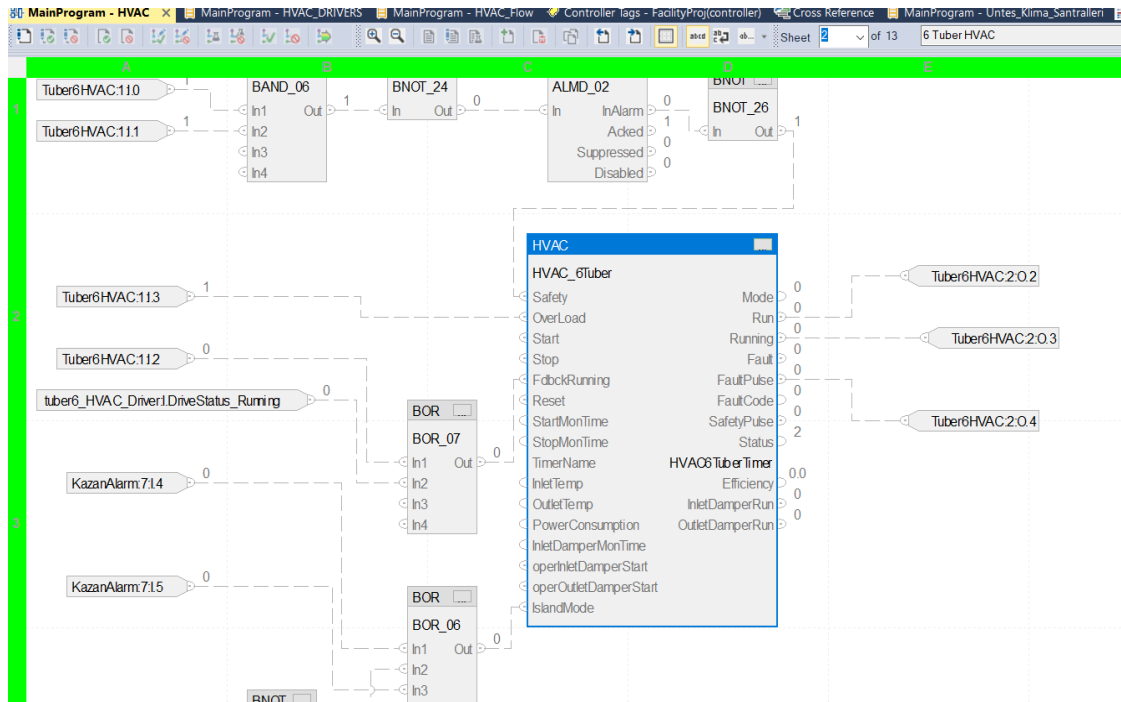
Adım 7: Ekran Yaz "Motor Çalışıyor"

Adım 8: Değilse Ekran Yaz "Motor Durdu" Git Adım5

Adım 9: Sürücü Status = 0 ise

Adım 10: Ekran Yaz "Sürücü Hata" Git Adım2

Adım 11: Bitir



Şekil 4.22. SCADA ekran logic fonksiyon bloğu

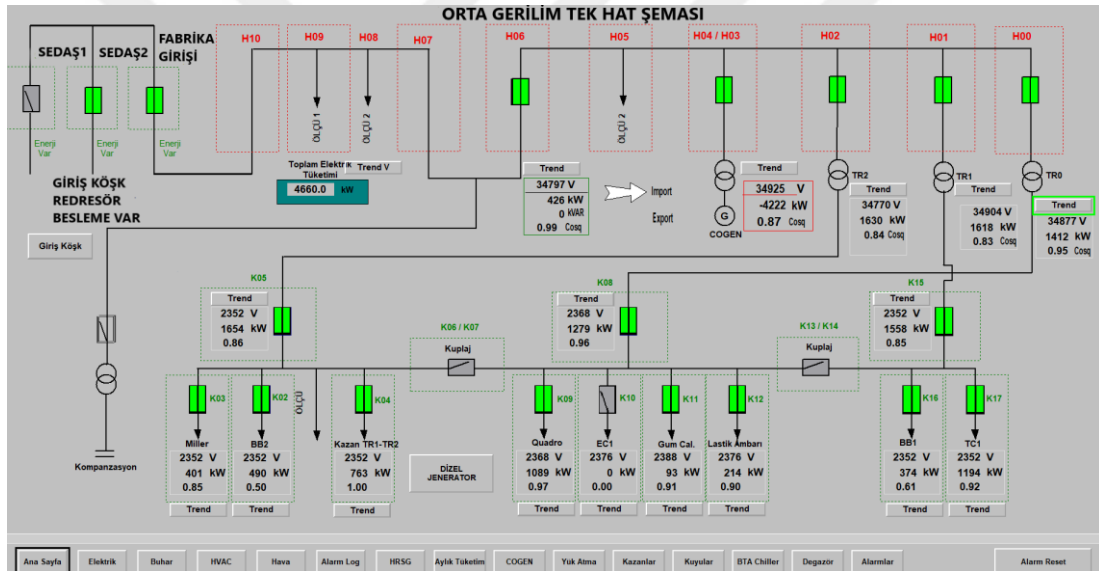
Tez kapsamında HVAC sistemlerinde gerçekleştirdiğimiz enerji optimizasyonunda verileri kayıt altına alıp geriye dönük trendlerini Rockwell ürünü Factory Talk Historian programıyla analiz edilmiştir. Programın özelliklerinden bahsetmek gerekirse;

FactoryTalk Historian, donanım yeterliliği ve Microsoft kümelemesinin üzerinde toplanması ve yüksek kullanılabilirlik için çeşitli katmanları ve yöntemleri destekler. Birinci düzey, yedekli arabirim düğümlerini kullanarak sunucuya veri toplar; ikinci seviye, sunucuları arayüz düğümlerinin hem birincil sunucunun hem de ikincil sunucunun “kolektiflerine” yerleştirir. FactoryTalk Historian optimize edilmiş veri deposuyla hem doğru arşivleme yapar hem de etiket ve geçmiş arşivlemeleri de kullanır. Bu yöntem, yalnızca kabul edilebilir bir değer aralığını aşan veri noktalarını kaydeder ve doğruluğu korurken gerekli miktarda saklanan veri noktası miktarını azaltır. Veri arşivi depolama ve alma, büyük miktarda veriyle (1 GB veya daha yüksek) bile performansı en üst düzeye çıkarmak için optimize edilmiştir. Sistem çapında aktarım güvenliği, gizliliği sağlamak ve mesajların bütünlük için imzalanmasını sağlamak üzere şifreleme için Windows SSPI'yi kullanır. Windows tabanlı aktarım güvenliği, simetrik anahtar şifreleme ve karma tabanlı mesaj doğrulama kodları kullanır (Automation, FactoryTalk Historian Site Edition Product Profile, 2021).



Şekil 4.23. FactoryTalk historian

Şekil 4.24 da sunulan SCADA Orta Gerilim Tek Hat şemasına göre, İşletmeye enerji Türk Elektrik Kurumu (TEK) tarafından kesici ve ayırıcıların bulunduğu Köşk dediğimiz yere 34500 V. gelir. H00, H01, H02, H04/H03 Tribün (COGEN) ve H06 Kesicilerinden geçerek trafolarla gelmektedir. Bu trafolardan 400 V. düşürülerek diğer şalterlerin girişine kadar gelir. Bu şalterleri 3 fazına Enerji analizörleri bağlanmaktadır. Ayrıca SCADA da TEK ten gelen ana giriş kesici şalterlerde açıp kapama ve hat değişikliği yapılabilmesi için SCADA ve HMI ekran programına eklemeler yapıлып devreye alınmıştır. Yapılan bu iyileştirme sayesinde yetkili elektrikçi fabrikanın bir ucunda olan ana giriş köşküne gitmeden kontrol odasından oturduğu yerden hat değişikliği yapabilmesi sağlanmıştır. Bunun birçok avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi iş kazası riskini sıfıra indirmek ve zamandan kazanmak olmuştur.



Şekil 4.24. SCADA orta gerilim tek hat şeması

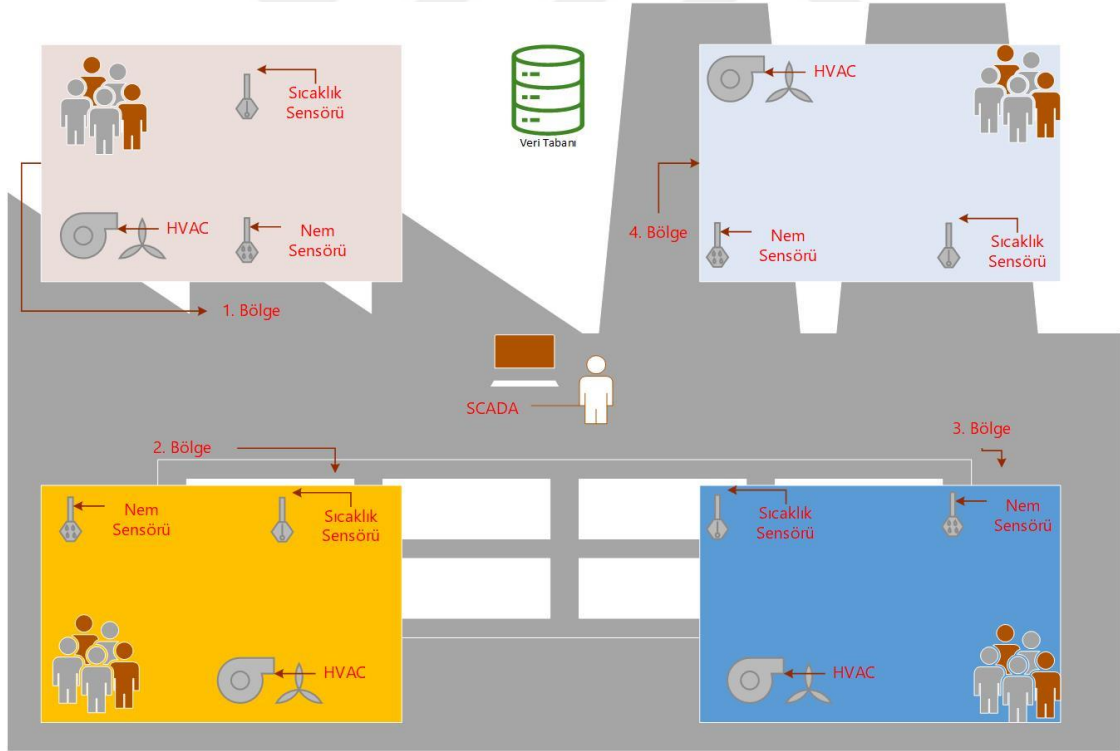
4.4. HVAC Sistemleri

Enerji tüketiminin hem ülke ekonomisi hem de çevre ve doğa üzerinde büyük etkileri vardır. Özellikle HVAC sistemleri ticari, sanayi, fabrikalar, işletmeler ve meskûn binalarda en fazla enerji tüketen sistemlerdir. HVAC İngilizce "Heating, Ventillation, Air Conditioning" Türkçe karşılığı olan ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerine verilen addır (POYRAZ, 2015).

HVAC kontrol sistemleri içinde bulunan ortamın konfor şartlarını sağlamak, fabrikadaki çalışanların verimliliğini arttırmak, üretimin kaliteli ve akıcı bir şekilde ilerlemesini

kolaylaştırmak, işletmede olası bir yangın durumunda duman kontrolü yapmak için dizayn edilirler. HVAC sistemlerinde kullanılan otomasyon yöntemleriyle, kontrol edilen bölgenin konfor şartlarında düşüş olmadan harcanan enerjinin optimizasyonu sağlanabilmektedir. HVAC sistemlerinde en uygun kontrol yöntemi tezde de uygulandığı gibi, sistemin sıcaklık, nem ve basınç değerlerini otomatik olarak ihtiyaca göre ayarlamak olmuştur. Ayrıca sistemin kullanılmayan bölgeleri ısıtma ve soğutma düzenini sağlayarak konfor şartlarını en iyi düzeyde tutarak enerji kullanımını en düşük seviyeye indirmek olmuştur (Koru, 2000).

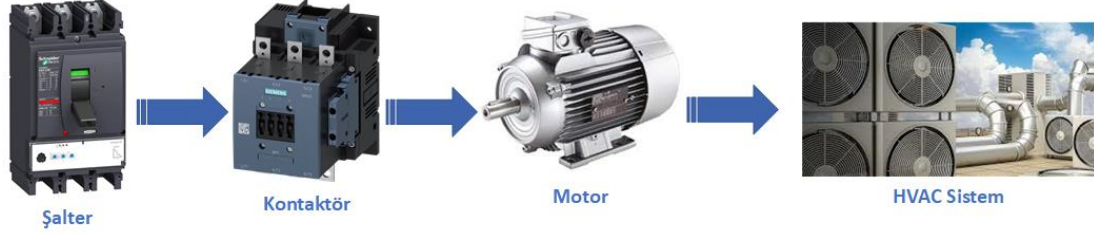
Şekil 4.25 de görüldüğü üzere tezin yapıldığı işletmenin çeşitli bölgelerinde kullanılan HVAC sistemlerinin şeması görülmektedir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın ilk etabında HVAC sistemlerine yönelik enerji optimizasyonunu sağlamak amacıyla uygulama tasarlanmıştır. 15 farklı bölgede bulunan HVAC sistemlerinden, 1 ve 2'nci 3 ve 4'üncü bölgede bulunan HVAC sistemlerinin enerji kontaktörüne



Şekil 4.25. Tez kapsamında kullanılan HVAC sistemleri

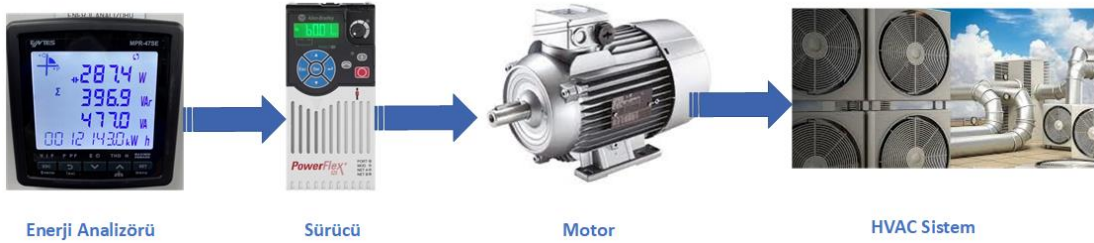
Şekil 4.26'daki gibi Enerji analizörü bağlantısı yapılmıştır. Buradaki amaç enerji analizörü sayesinde HVAC'ın bütün bölgelerdeki sistemin çektiği akım, anlık güç ve tüketimini Kilowatt saat (Kwh) ölçerek, analiz etmek olmuştur. Kilowatt saat, 1000 watt

saat veya 3.6 megajoule'e eşdeğer bir enerji birimidir. Wattaat ve Kilowatt saat gücün saat cinsinden zaman ile çarpımına eşittir. Kilowatt saat tüketilen elektrik enerjisini faturalamak için kullanılmaktadır (Ansiklopedi, 2020).



Şekil 4.26. HVAC kontaktörlü bağlantı şeması

HVAC sistemlerinin düz kontaktörlü çalışarak çok yüksek akım çektiği görülmüştür. Enerji analizörlerinden alınan bilgiler doğrultusunda sistemin optimize edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu yaptığımız analizlerin sonucunda 1 ve 2'nci, 3 ve 4'üncü bölgedeki HVAC sistemlerine sürücü eklenmesine karar verilmiştir. Şekil 4.27 deki gibi sürücü bağlantısı yapıp devreye alınmıştır. Sistem %30 performansla çalıştırılıp çektiği güç ve akım değerleri FactoryTalk Historian programından trendlerin kaydı alınmıştır.

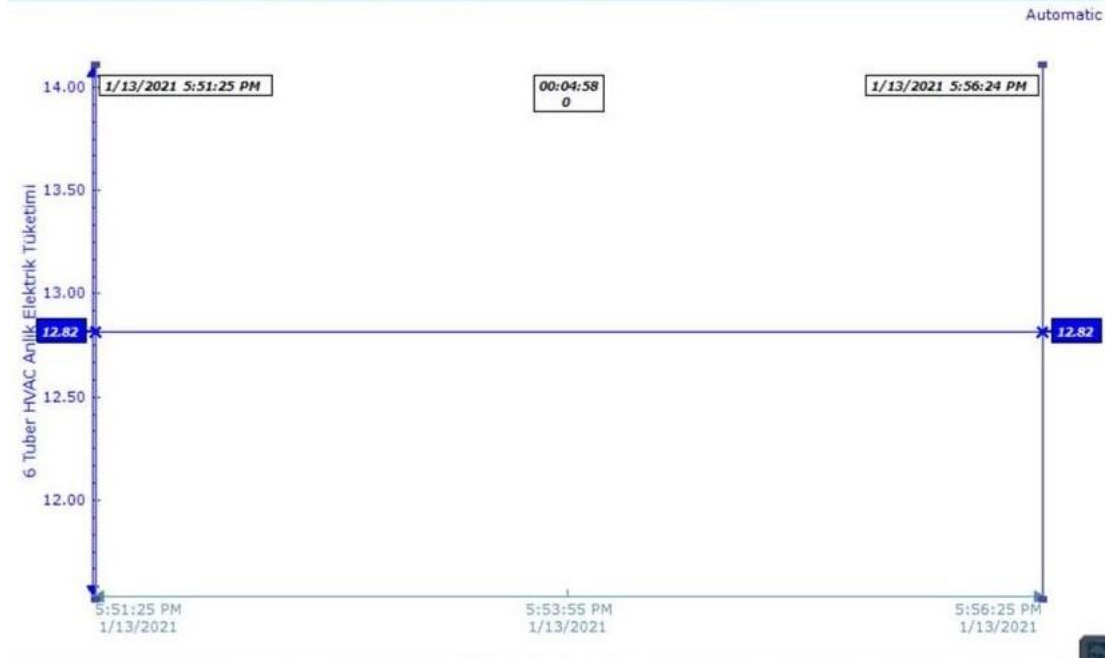


Şekil 4.27. HVAC enerji analizörü sürücülü bağlantı şeması

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

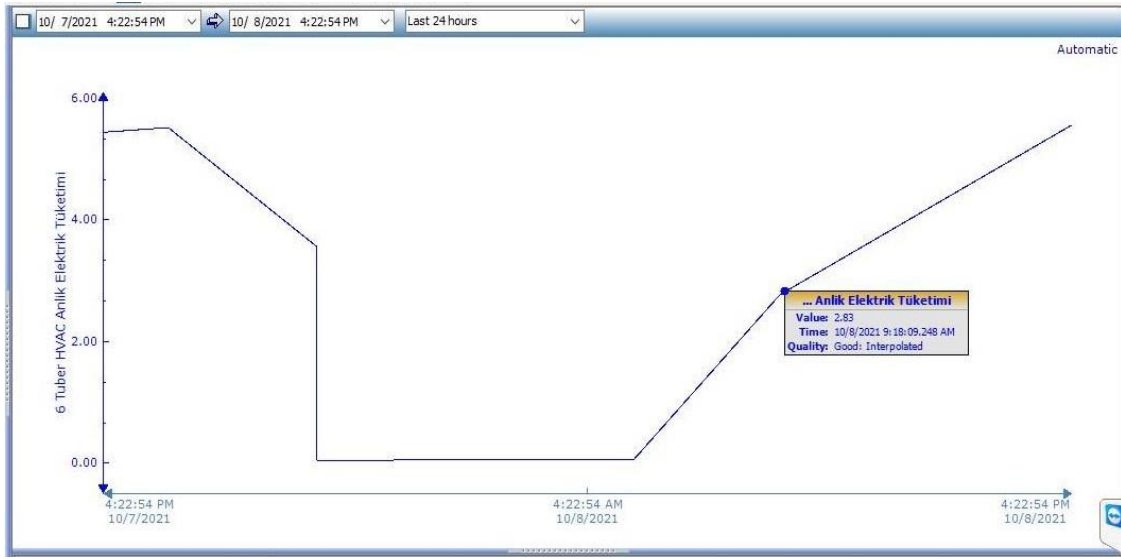
Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen HVAC sistemlerinde enerji optimizasyonunun deneysel çalışmaları yer almaktadır. İşletmedeki HVAC sistemlerine yapılan enerji optimizasyonu öncesi ve sonrasında alınan günlük, haftalık, aylık trendler ve veriler tablolar halinde sunulmuştur. Alınan bu verileri karşılaştırmaları yapıp KWh cinsinden kazanç hesaplamaları yapılmıştır.

Tez kapsamında HVAC sistemlerinde Şekil 5.1 de gözüktüğü gibi son 5 dakikada %100 performansta 18 Kw. Motorun çektiği akım 12,82 Kw. Olduğu FactoryTalk Historian programından aldığımız trend te analiz edilmektedir. Bu trend HVAC sisteminin Enerji Optimizasyonu öncesi alınmıştır.



Şekil 5.1. HVAC motorun %100 güç ile 5 dakikada çektiği akım

Şekil 5.2 de HVAC sisteminin son 24 saatte çektiği akımın grafiği görülmektedir. Bu grafiğe göre Ekim'in 7ve 8'inde işletmede 1 vardiya çalışmamış elektrik tüketimi sıfıra yakın gitmiş ama diğer 2 vardiyada sabah ve öğleden sonra elektrik tüketimi sistemde set edilen sıcaklığa göre yukarı doğru çıkmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Son 24 saatteki harcanan enerji

Tablo 5.1 de HVAC sisteminin tez kapsamında yapılan iyileştirme sonrası Ekim ayında toplam 3 vardiya olarak tükettiği elektrik enerjisi listelenmektedir. Tabloya göre sistem en düşük 3. vardiyada enerji tüketmiştir. 1. Ve 2. Vardiyalarda ise havanın durumuna göre otomatik olarak sistem set edilen sıcaklığa göre enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 5.1. Sisteminin günlük tükettiği enerji

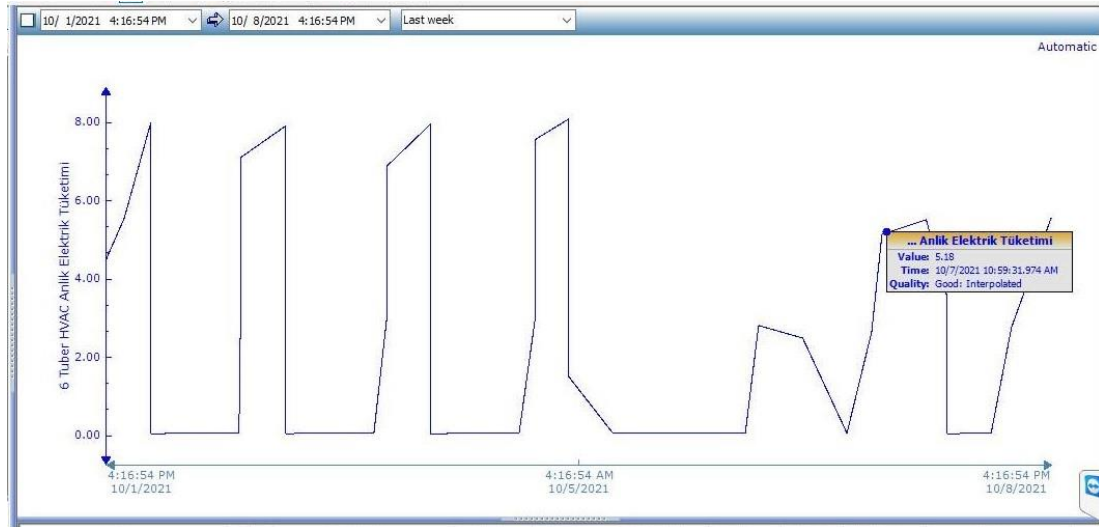
7 Ekim 2021		8 Ekim 2021	
Vardiya	Elektrik Tüketimi KWh	Vardiya	Elektrik Tüketimi KWh
1.	57	1.	60
2.	52	2.	58
3.	21	3.	23
Ortalama	%48,33 azalış		%44,80 azalış

Tablo 5.2 de gözüktüğü üzere HVAC sistemlerine bağlı Enerji Analizörlerinden alınan günlük tükettiği enerji KWh cinsindedir. Burada HVAC sistemlerinin Enerji Optimizasyonu öncesinde ve Optimizasyonu sonrasında tükettiği 1 haftalık enerji listelenmektedir.

Tablo 5.2. HVAC sisteminin 7 günlük tükettiği enerji

GÜNLER	2020	2021
Temmuz Ayı	OPTİMİZASYON ÖNCESİ	OPTİMİZASYON SONRASI
1	396 KWh	190 KWh
2	336 KWh	176 KWh
3	304 KWh	133 KWh
4	300 KWh	205 KWh
5	176 KWh	110 KWh
6	160 KWh	116 KWh
7	178 KWh	118 KWh
Toplam:	1850 KWh	1048 KWh
Tasarruf %	%43,35 azalış	

Şekil 5.3 de sistemin 1 haftada tükettiği enerji miktarının grafiği verilmektedir. Bu grafiği incelediğimizde 18 Kw lık HVAC motorun Enerji Optimizasyonu sonrası maksimum 8 Kw lık enerji çektiği görülmektedir. Bu da sistemin istenilen düzeyde stabil çalıştığı ve projenin başarılı olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 5.3. HVAC sistemi haftalık enerji tüketim grafiği

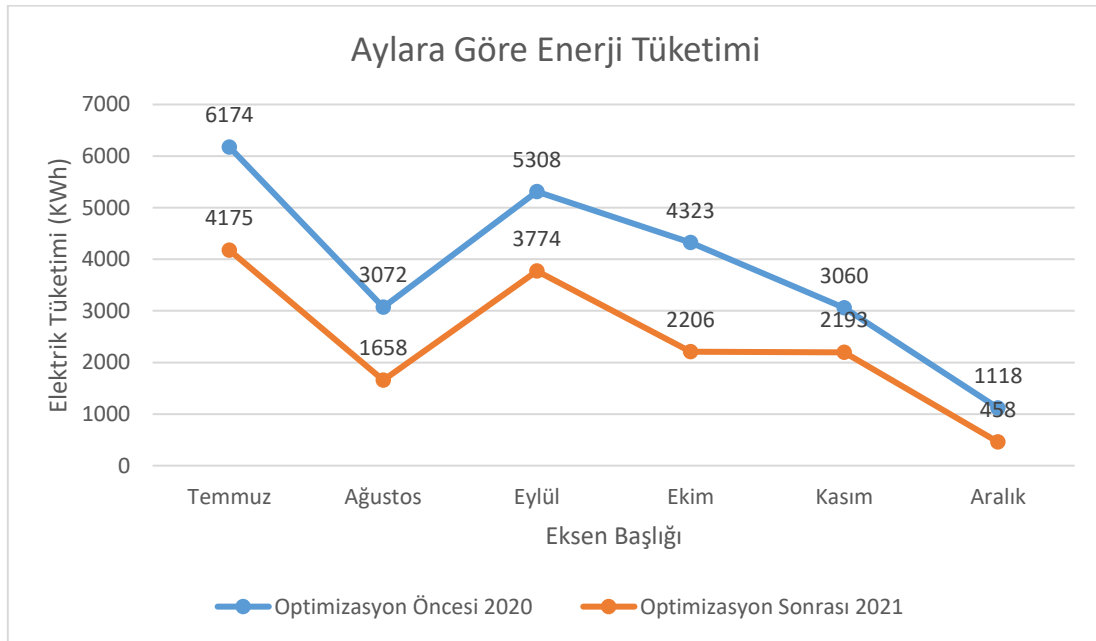
Tablo 5.3 de görüldüğü üzere tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada HVAC sistemlerinin aylara göre optimizasyon öncesi ve sonrası tükettiği elektrik enerjisi KWh

cinsinden verilmiştir. Tablodan da anlaşıldığı üzere sistemin optimizasyondan sonra büyük bir ölçüde enerji tasarrufu yaptığı görülmektedir.

Tablo 5.3. Aylara göre enerji tüketimi

Aylar	Optimizasyon Öncesi	Optimizasyon Sonrası
	2020	2021
Temmuz	6174 KWh	4175 KWh
Ağustos	3072 KWh	1658 KWh
Eylül	5308 KWh	3774 KWh
Ekim	4323 KWh	2206 KWh
Kasım	3060 KWh	2193 KWh
Aralık	1118 KWh	458 KWh
Toplam:	23055 KWh	14464 KWh
Tasarruf Oranı %	%37,26 azalış	

Şekil 5.4 HVAC sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrası aylara göre enerji tüketim grafiği KWh cinsinden verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere sisteme yapılan iyileştirmeden sonra önceki sistemle arasında büyük bir farkla enerji tasarrufu yapıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.4. HVAC sisteminin aylara göre tükettiği enerji

Kilowatt saat, 1000 watt saat veya 3.6 megajoule'e eşit bir enerji birimidir. Wattsaat, kilowatt cinsinden gücün saat cinsinden zaman ile çarpımına eşittir. Tablo 5.4 te Joule - watt saat dönüşüm tablosu verilmiştir (Wikipedia, 2020).

Tablo 5.4. Dönüşüm tablosu

	Joule	Watt Saat	Elektronvolt	Kalori
$1J = 1kg.m^2s^{-2} =$	1	$2,778 \times 10^{-4}$	$6,241 \times 10^{18}$	0,239
1 W·h =	3600	1	$2,247 \times 10^{22}$	859,8
1 eV =	$1,602 \times 10^{-19}$	$4,45 \times 10^{-23}$	1	$3,827 \times 10^{-20}$
1 cal =	4,1868	$1,163 \times 10^{-3}$	$2,613 \times 10^{19}$	1

Bir güç birimi olan Watt'ın bir saat içinde kullanımını ifade eden birim Wattsaat'tir. Bir kiloWatt ise 1000 Watt'a eşittir ve elektrikli aletlerin gücünün genellikle Watt ile ölçülebilecek birimden daha yüksek olması nedeni ile kiloWatt ve kiloWattsaat birimi daha çok kullanılır. KiloWatt ve KiloWattsaat aşağıdaki formüle göre hesaplanır (T.A.Ş, 2021).

$$kWh = \frac{Watt \times Zaman(Saat)}{1000} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1) KiloWattsaat formülü

kWh: 1000 Watt

Watt: Güç

Zaman (Saat): Sabit gücün kullanıldığı zaman

1000: Watt cinsinden formüle eklenen gücün kiloWattsaat tüketimini bulmak için 1000'e bölünür, sonuç Wh cinsinden bulunmuş olur.

KiloWattsaat hesaplaması yapmak için elektrikli aletin gücü (Watt cinsinden) ile kullanıldığı süre (saat cinsinden) çarpılır. Sonucun kiloWattsaat cinsinden çıkması için ise bu çarpım 1000'e bölünür. Eğer güç kiloWatt cinsinden yazılırsa çarpım 1000'e bölünmez ve sonuç kiloWattsaat cinsinden olur (T.A.Ş, 2021).

EPDK tarafından onaylanan ve 1 Ocak 2022 tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler Tablo 5.5 de listelenmektedir (Kurulu, 2021).

Tablo 5.5. 2022 elektrik tarife tablosu

Dağıtım Kullanıcıları	Sistemi Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli
Sanayi	191,7712
Ticarethane	222,7065
Mesken	112,4105
Tarımsal Sulama	167,5809

HVAC sistemlerinde yapılan tez kapsamında uygulanan enerji optimizasyonu için yapılan deneysel çalışmalarda sistemin tükettiği elektrik enerjisinin parasal değerini aşağıdaki örnek işlemde hesaplanmıştır.

Elektrik Fatura Hesaplama Formülü,

Tüketim tutarı (TL) =Aktif-tüketim (kWh) x Aktif-birim fiyat (TL/kWh)

Optimizasyon öncesi 1 nolu HVAC sisteminin günlük enerji tüketimi 304 KWh iken optimizasyon sonra 103 KWH e düşmüştür. Bunların günlük elektrik tüketim tutarı ne kadardır?

Tüketim tutarı (TL)=304 (kWh) x2,07 (TL/kWh)

Tüketim tutarı (TL)= 717.86 Optimizasyon öncesi günlük tüketim

Tüketim tutarı (TL)=103 (kWh) x2,07 (TL/kWh)

Tüketim tutarı (TL)= 243.22 Optimizasyon sonrası günlük tüketim

Olarak hesaplanmıştır. Buradan 717.86-243.22=474,64 günlük kazanç elde edilmiştir.

Tablo 5.6'da sistemin optimizasyon öncesi ve optimizasyon sonrası aylık tükettiği elektrik enerjisinin parasal değeri verilmiştir. Ayrıca tabloda aylık tasarruf miktarı %

olarak hesaplanmış ve çok yüksek oranlarda elektrik enerjisinin optimize edildiği görülmüştür.

Tablo 5.6. Toplam elektrik tüketimi (TL/Ay)

Çalışma Süresi (Ay)	Toplam Elektrik Tüketimi (TL/Ay)		Aylık Tasarruf Miktarı (%)
	Öncesi 2020	Sonrası 2021	
Temmuz	14579.16	9858.76	%32,37
Ağustos	7254.16	3915.17	%46,02
Eylül	12534.21	8911.85	%28,89
Ekim	10208.25	5209.21	%48,97
Kasım	7225.82	5178.51	%28,33
Aralık	2640.02	1081.51	%59,03
Toplam:	54441.63	34152.87	%50,27
	Tasarruf Oranı %		%37,26

Tablo 5.7 de tez kapsamında yapılan projede kullanılan malzeme fiyatları ortalama olarak verilmiştir. Bu listeye göre ortalama 14844 TL malzeme maliyeti olmuştur. Sistemde PLC, HMI ve SCADA daha önceden bulunduğu için listeye eklenmemiştir. Bu projede 6 ayda toplam 20289 TL EPDK tarafından onaylanan ve 1 Ocak 2022 tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler üzerinden hesaplama yapıp kar elde edilmiştir. Buna göre optimizasyon yapıldıktan sonra sistem maliyeti kendini 6 ayda amorti ettiği görülmektedir.

Tablo 5.7 malzeme fiyat listesi

1	1734 IB8	565 TL
2	1734-OB8	900 TL
3	1734-OE2C	829 TL
4	1734-IE4C	1.500 TL
5	Powerflex 525	6.800 TL
6	1734-AENT	1050 TL
7	Stratix 2000	900 TL
8	Elimko E-RHT-10	2300 TL
	Toplam:	14844 TL

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyadaki hızla büyüyen insan nüfusu ve teknolojinin de ilerlemesiyle enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Günümüz sanayi devriminde enerjinin özellikle elektrik enerjisinin etkin ve verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde çoğalmakta olan enerji ihtiyacını temin etmek için kısıtlı olan doğal kaynaklarımızı iktisatlı ve israf etmeden kullanma, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte enerji üretimini daha randımanlı hale getirme, kullanılan teknolojilerin verimliliğini artırma projelerine yönelik stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması önem teşkil etmektedir. Özellikle sanayi sektörünün yaygın olarak bulunduğu ülkemizde, elektrik enerji tüketimini optimize ederek azaltmak ve iktisatlı kullanmak ülke ekonomisi açısından önemlidir. Türkiye’de birincil enerjinin %24’ünü, elektriğin ise %47’sini sanayi sektörü kullandığından enerji optimizasyonu mühendislik alanlarının en fazla odaklandığı konuların başında gelmektedir.

Bu tez kapsamında PLC, SCADA ve otomasyon sistemlerini kullanarak endüstrilerde ve sanayi sektöründe kullanılan HVAC sistemlerinde enerji izlenmesi ve optimizasyonu ile ilgili çalışma yapılmıştır. Sanayi sektöründe enerji tüketimini belirlenen makinalara özellikle HVAC sistemlerine enerji analizörleri bağlanarak elektrik tüketimi izlenmiştir. Enerji analizörlerinden anlık alınan veriler PLC ve SCADA aracılığıyla Modbus Ethernet üzerinden Rockwell Historian programında kayıt altına alınmaktadır. Alınan bu veriler anlık, günlük, haftalık ve aylık olarak trendleri incelenmekte ve analizler sonucunda 15kWh lık bir motorun bağlı olduğu sistemde 24 saatte 15 kWh elektrik enerjisi tükettiği tespit edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda çalışan HVAC sistemlere sürücü bağlantıları yapıp SCADA ve HMI sistemlerinden kontrol edilecek düzeyde otomasyon tadilatı yapılmıştır. Böylece sistemin çalışması, izlenmesi ve kontrolü kullanıcı tarafından uzaktan otomatik veya manuel olarak sağlanmıştır. Rockwell Historian programında toplanan veriler tekrar analiz yapıldığında sadece bir sistemin aylık elektrik enerji tüketimi 6174 KWh den 4175 KWh e düştüğü görülmüştür. Böylece TEK in güncel elektrik tarifesine göre sadece 1 cihazdan aylık 4,721 TL lik enerji optimizasyonu elde edilmiştir. Bu da aylık sadece çalışan 1 sistemden %32,37 lik enerji optimizasyonu sağlanmıştır. Böylece hem şirkete hem de ülke ekonomisine kısıtlı olan enerji tüketimi konusunda katkıda bulunulmuştur. Bu tarz uygulamalar sanayi sektörü olsun büyük

şirketler olsun bu tarz çalışan sistemlere uyarlanabilir. Tez kapsamında deneysel çalışmaların yapıldığı bu sanayi şirketinde de diğer sistemlere uyarlanması planlanmıştır.

Ayrıca enerji optimizasyonuna ek olarak PLC, HMI ve SCADA sistemleri aracılığıyla faydalı bir proje hayata geçirilmiştir. İşletmenin bütün elektrik enerjisini besleyen SEDAŞ tarafından gönderilen 34,5kV elektrik enerjisini kesici ve ayırıcıların bulunduğu 2 ayrı hücre odası bulunmaktadır. Yetkili personel hat değişikliği yapmak için çok uzak mesafede bulunan bu hücre odalarından manevra yapması gerekmektedir. Yapılan bu proje sayesinde yetkili personel hat değişikliği yapmak için hücre odalarına gitmeden SCADA ve HMI üzerinden manevra yapması sağlanmıştır. Böylelikle zamandan tasarruf edilip imalatın elektrik manevralarından kaynaklı aksamasının önüne geçilmiştir. Ayrıca yetkili personelin manevra sırasında olası bir aksilik yaşaması durumunda iş kazası yaşama riski de azaltılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akhtar, T., Rehman, A. U., Jamil, M., Gilani, S. O. (2020). Impact of an Energy Monitoring System on the Energy Efficiency of an Automobile Factory: A Case Study. *Energies*, 13(10), 2577.
- Allen-B. (2015). 1734 POINT I/O In-Cabinet Modular I/O Platform, Rockwell Automation, 1-2.
- Allen-B. (2015). PowerFlex 520-Series AC Drives, Rockwell Automation, 1-24.
- Allen-B. (2016). Stratix 5700 Industrial Managed Ethernet Switch, Rockwell Automation, 1-4.
- Allen-B. (2020). 1756 ControlLogix and GuardLogix Controllers, Rockwell Automation, 1-56.
- Allen-B. (2020). PanelView Plus 7 Performance Terminals, Rockwell Automation, 1-170.
- Allen-B. (2020). PanelView Terminals (including ArmorView Plus 7 Terminals) and Industrial Computers, Monitors, and Thin Clients, Rockwell Automation, 1-96.
- Allen-B. (2021). FactoryTalk Historian Site Edition Product Profile, Historian SE, Rockwell Automation, 1-11.
- Allen-B. (2021). PanelView 5310 Terminals Specifications, Rockwell Automation, 1-10.
- Bailey, D., Wright, E. (2003). Practical Scada For Industry, <http://scada.atSPACE.com/> (Ziyaret Tarihi: 24 Kasım 2021).
- Bayındır, R., Demirbaş, Ş., Bektaş, A., Çolak, İ. (2008). Bir endüstriyel işletmede elektrik enerjisinin izlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 24(1), 154-164.
- Bayram, B., Oralhan, Z. (2020). Pet Şişe Şişirme Makinelerinde Fırın Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 494-504.
- Bekmez, S., Manga, M., (2011) Türkiye'nin elektrik tüketimine karşı olan bağımlılığı ve verimliliği: Esneklik ve var analizi. *Verimlilik Dergisi*, (3), 41-63.
- Bektaş, A., (2008). Endüstriyel İşletmelerde Enerjinin İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 233865.
- Bilgiç, S. K. (2018) Türkiye'de Elektrik Talebinin Belirleyicileri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir, 554004.
- By Tech-Faq. (2011). SCADA as a System, <https://www.tech-faq.com/scada.shtml> (Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2021).

- Canıgür, S. (2001). Banvit Bandırma Tesisi OG-AG Enerji Dağıtım ve İzleme Otomasyon Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 101360.
- Cazip Enerji T.A.Ş. (2020). kW Nedir, KiloWatt Saat (kWh) Nedir, <https://www.encazip.com/kw-kwh-nedir> (Ziyaret Tarihi: 27 Kasım 2021).
- Çağlar, Ö., Vural, B., Kızıl, A., Uzunoglu, M., Kocatepe, C., (2005). Matlab Sunucu Sayfaları İle Elektrik Enerjisi Kalitesinin Görüntülenmesi, 1-6.
- Çilek, A. (2005). PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol Cihazı) ve SCADA (Yönetmel Denetim ve Veri Toplama) ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 196624.
- Demirbaş, Ş., Bayhan, S. (2009). Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm Ve Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(3).
- Duman Altan, A., Sağbaş, A., (2020). Türkiye'nin Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği Performansı: Mevcut Durum ve Gelecek Projeksiyonu, *Verimlilik Dergisi*, (1), 7-26.
- Elimko, (2021). E-RHT-10 Serisi Bağlı Nem ve Sıcaklık Transmitteri, 1-2.
- Eminoğlu, Y. (2016). *PLC Programlama ve S7-300/400-2*. Birsen Basım Yayın Dağıtım Ltd.Şti, İstanbul, ISBN: 978-975-511-550-4, 10.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2021). EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Temmuz 2021 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler, 1-3.
- Entes E. (2020). MPR-4X, MPR-4X-OG/OGT, MPR-4X-PM Şebeke Analizörleri, ENTES Elektronik Cihazlar İmalat ve Ticaret A.Ş., 1-70.
- EPDK, (2020). *Elektrik Piyasası Sektör Raporu*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 1-58.
- Erdoğan, F. (2019). *Siemens S7-1200 İle Plc Programlama & Otomasyon*. Deniz Ofset Matbaacılık 4. , Zeytinburnu-İstanbul.
- González-Briones, A., Prieto, J., De La Prieta, F., Herrera-Viedma, E., Corchado, J. M. (2018). Energy optimization using a case-based reasoning strategy. *Sensors*, 18(3), 865.
- Güneş, O. (2019). Otomasyon Nedir? Shift Delete, <https://shiftdelete.net/otomasyon-nedir/>, (Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2021).
- Haliloğlu, E. Y., Tutu, B. E. (2018). Türkiye İçin Kısa Vadeli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini. *Journal of Yaşar University*, 13(51), 243-255.

- Işık, M. F., Haboğlu, M. R., Yılmaz, C., Yılmaz, E. N. (2018). Design and implementation of real time monitoring and control system for distributed robotic systems supported with IOS/android application. *Tehnički vjesnik*, 25(2), 423-428.
- Kaloyan,, K. (2018) Plc Programmable Logic Controller, <https://cyberx-labs.com/glossary/plc-programmable-logic-controller/>, (Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2021).
- Kanoğlu, M. (2010). Enerji Verimliliği Örnek Projeleri. Kitap, Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, 31.
- Kayar, A., Ayvaz, B., Öztürk, F. (2018). Akıllı Fabrikalar, Akıllı Üretim: Endüstri 4.0'a Genel Bakış. In International Eurasian Conference on Science, *Engineering and Technology (EurasianSciEnTech)* (pp. 22-23).
- Kocabıçak, Z. K., Topçu, E. E., Yüksel, İ. (2011). Bir plastik enjeksiyon makinesinin hidrolik sisteminde değişken hız denetimli motor kullanımının enerji verimi açısından kuramsal incelenmesi, *VI. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi*, 12-15.
- Konuk, O. (2020). S7-1200 PLC Ailesi İçin Yedekli ve Emniyetli Çalışma Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 634566.
- Koru M. (2000). HVAC Sistemlerinde Kontrol Yöntemleri, Modelleme ve Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 95124.
- Kürker F., Taştaltın R. (2016). Elektrik tesislerinde harmoniklerin meydana getirdiği kayıpların analizi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(5), 21-38.
- Nişancı, M., (2005). Türkiye'de elektrik enerjisi talebi ve elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 5(9), 107-1216.
- Öner, M. A., Solak, S. (2020). PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 101-110.
- Özer, A. (2016). Endüstriyel Sistemlerde PLC ve SCADA Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 441730.
- Poraz D. (2015). Bigdata Analytics Architectures Foo HVAC Energy Optimization Systems, Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 416578.
- Rüşen, S. E., Çevik, M. S., (2020) Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(3), 539-552.

- Tan, A., Şenses, M. O., Teke, A., Meral, M. E., Bayındır, K. Ç., Tümay, M. (2008). İnternet Tabanlı Elektrik Enerjisi ve Güç Kalitesi İzleme Sistemi, 1-5.
- TMMOB, (2020). Türkiye Elektrik Mühendisleri Odası, Türkiye Elektrik İstatistikleri, Elektrik Kurulu Güç ve Üretim Verileri, 1-24.
- Vikipedi, özgür ansiklopedi, (2021). Kilowatt saat, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kilowatt_saat (Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2021).
- Vikipedi, özgür ansiklopedi, (2021). SCADA, <https://tr.wikipedia.org/wiki/SCADA> (Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2021).
- Vikipedi, özgür ansiklopedi, (2021). Watt saat Çarpımları ve Faturalama Birimleri, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kilowatt_saat (Ziyaret Tarihi: 26 Kasım 2021).
- Yılmaz, A. S., Görmemiş, M. (2006). Enerji Analizörleri İçin Geliştirilen Delphi Tabanlı Bir Enerji İzleme Yazılımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 359-368.
- Yılmaz, C., Yılmaz, E. N., Işık, M. F., Usalan, M. A. S., Sönmez, Y., Özdemir, V. (2018). Design and implementation of real-time monitoring and control system supported with IOS/Android application for industrial furnaces. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 13(9), 1236-1244.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Öner, M. A.,Solak, S. (2020). PLC Tabanlı Uygulamalar: Mill Makinelerinde Oluşacak İş Kazalarının PLC Kullanılarak Önlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 101-110. DOI: 10.31590/ejosat.754688



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’nde tamamladı. 1998 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında Bilgisayar Mühendisi olarak mezun oldu. Ayrıca Anadolu Üniversitesi İşletme fakültesinden 2021 tarihinde mezun oldu. Ankara’da belli bir süre yazılım şirketinde web tasarımcısı olarak görev yaptı. 2003-2007 arası Ford Otasan şirketinde Robot Programcısı ve Ekip lideri olarak görev yaptı. Son olarak 2007 de işe başladığı Goodyear İzmit Fabrikasında Mühendislik kısmında Elektrik Elektronik Bakım bölümünde hala görev yapmaktadır. 2019 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

