

Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde bulunan 7 tesise ait enerji izleme otomasyonu sisteminin Plc ve Scada ile tasarımı

Mehmet Fatih VANLI^{1,*}, Davut AKDAŞ²

¹Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış kampüsü, Balıkesir.

²Balıkesir Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Elektrik Elektronik Müh. Böl. Çağış kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 22.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.10.2023

Öz

Bu çalışma Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde bulunan birbirinden uzak konumlardaki 7 üretim tesisine ait enerji tüketim verilerinin takibinin manuel yöntemlerle yapılması, yanlış okumalardan kaynaklı hatalı verilerin işlenmesi ve karşılaşılan cezai durumların öncesindeki değerlerin takibinin yapılamaması ve farklı birimlerdeki enerji yöneticilerinin enerji merkezlerine uzak olmaları problemlerine bir çözüm üretmek amacıyla yapılmıştır. Dünyada endüstriyel tesislerde enerji yönetim sistemleri bu çalışmaya benzer metotlarla IBM-SPSS veya PLS-SEM gibi veri analiz yazılımları ile modellenmekte ve tek bir merkezden yönetilebilmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntem ise bir SCADA sisteminde toplanan verilerin PLC (Programmable Logic Controller) ünitesine aktarılması ve bu sistemde takibinin yapılması şeklindedir. Veriler enerji analizörleri vasıtasıyla MODBUS RS485 haberleşme protokolü kullanılarak merkezi bir SCADA sisteminde toplanmıştır. Bir sonraki aşamada enerji analizöründeki bilgiler PLC (Programmable Logic Controller) ünitesine aktarılmıştır. Sistem sayesinde tesislerin şebekeden çektiği aktif güç için detaylı grafikler oluşturularak aktif güç analizinin yapılması sağlanmıştır. Böylelikle konum olarak birbirinden uzak ve ulaşımı zor tesislerin elektrik enerjisi verileri tek bir merkezde toplanmış ve enerji süreçleri yönetilebilir hale getirilmiştir. Uygulama sonrası manuel okumalardan kaynaklı sorunlar ortadan kalkmış, tüketilen elektrik enerjisine ait kritik veriler tek merkezden kontrol edilebilir hale getirilmiş ve farklı konumlardaki enerji yöneticilerinin enerji izleme sistemine kolay bir şekilde erişebilmesi sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji izleme, enerji verimliliği, scada, modbus.

*Mehmet Fatih VANLI, mfvanli@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4354-2649>

Davut AKDAŞ, akdas@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2492-5046>

Designing the energy monitoring automation with PLC and Scada of 7 facilities in Eti Maden Bigadic Boron Operations Directorate

Abstract

In this study is a solution to the problems of following up the energy consumption data of 7 production facilities in remote locations in Eti Maden Bigadiç Boron Operations Directorate with manual methods, processing erroneous data due to incorrect readings, not being able to follow up the values before the penal cases encountered, and the energy managers in different departments being far from the energy centers. Energy management systems in industrial facilities around the world are modeled with data analysis software such as IBM-SPSS or PLS-SEM with methods similar to this study and can be managed from a single center. The method applied in this study is to transfer the data collected in a SCADA system to the PLC (Programmable Logic Controller) unit and follow up in this system. Data were collected in a central SCADA system using the MODBUS RS485 communication protocol by means of energy analyzers. In the next step, the information in the energy analyzer is transferred to the PLC (Programmable Logic Controller) unit. Thanks to the system, detailed graphics were made for the active power drawn by the facilities from the grid, and active power analysis was provided. Thus, the electrical energy data of the facilities that are far from each other and difficult to access in terms of location have been collected in a single center and energy processes have been made manageable. After the application, the problems caused by manual readings were eliminated, the critical data of the consumed electrical energy was made controllable from a single center and energy managers in different locations were able to access the energy monitoring system easily.

Keywords: Energy monitoring, energy efficiency, scada, modbus..

1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisi üretebilmek için birçok kaynak ve yöntem bulunmakta birçok farklı uygulama karşımıza çıkmaktadır. Azalan kaynaklar, kaynağa ulaşmakta yaşanan zorluklar ve üretimin çevreye olan etkisi gibi sebepler daha elektrik enerjisi üretirken bile ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Kayar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ülkemizin 1960-2019 yılları arasında elektrik enerjisi tüketiminin sürekli olarak artış gösterdiği ve küresel elektrik enerjisi talebinin 2035 yılına kadar en az üçte bir oranında yükseleceği belirtilmiştir[1]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2019 yılında yayınlanan raporuna göre, 2019-2039 döneminde Türkiye elektrik enerjisi talep beklenti sonuçlarının yıllık bazda talep ve değişim oranları tablosuna göre 2030 yılında Türkiye'nin elektrik enerjisi talebi üç farklı senaryoda tahmin edilmiş ve Senaryo 1'e göre 453 TWh, Senaryo 2'ye göre 481.7 TWh, Senaryo 3'e göre 515,4 TWh olarak öngörülmüştür [2]. Ülkemizin 2021 yılı Ekim ayında Paris Anlaşması çerçevesinde alınan 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefine ilişkin kararı bile enerjiyi üretirken ülkemizi yenilenebilir kaynaklara yöneltmiş ve yatırımlarını bu kaynaklara ayırmaya zorlamıştır. Üretimi bu kadar stratejik ve meşakkatli olan elektrik enerjisini tüketirken en verimli yöntemleri kullanmak çok önemli hale gelmiştir. Elektrik enerjisi tüketimini ve buna dayalı olarak ortaya çıkan maliyetleri en aza indirebilmek için en etkin

yöntem enerji yönetim ve izleme sistemlerinin mevcut işletmelere uyumlu hale getirilmesi olacaktır.

Enerjinin verimli kullanılmasında çok önemli bir kavram olarak enerji yoğunluğu kavramı karşımıza çıkmaktadır. Enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir. Bir ülkenin enerji yoğunluğu ne kadar düşükse o ülkede birim hasıla üretmek için harcanan enerji de o kadar düşük demektir ki, bu da enerjinin verimli kullanıldığına işaret etmektedir [3]. Türkiye'nin 2020 yılı birincil enerji yoğunluğu 0.145 tep/bin 2015\$, nihai enerji yoğunluğu ise 0.112 tep/bin 2015\$ olarak hesaplanmıştır. 2000 yılına göre bir kıyas yapıldığında birincil enerji yoğunluğunda %24,5, nihai enerji yoğunluğunda ise %24,8 oranında iyileşme söz konusudur [4]. Enerji yoğunluğu ve enerji verimliliği gibi kritik kavramların ülkemiz adına daha iyi hale gelebilmesi için enerji yönetim ve izleme sistemleri çok önemlidir. Siddique ve arkadaşları Bangladeş'te kâğıt endüstrisinde üretim yapan bir işletmede yaptıkları çalışmada enerji yönetim sistemlerinin enerji verimliliğini %4-5 oranında artırabileceğini ortaya koymuşlardır [5]. Tıpkı kâğıt endüstrisinde olduğu gibi bu çalışmanın yapıldığı işletmenin faaliyet alanı olan madencilik endüstrisinde de enerji yoğunluğu oldukça yüksek noktadadır. Bu çalışmaya benzer metotla Songur ve arkadaşları su dağıtım şebekelerindeki kayıpların önlenmesi için bir SCADA sistemi tasarlamışlar ve olumlu sonuçlar almışlardır [6]. Aurilio ve arkadaşları elektrik güç şebekesini uzaktan yönetebilmek için farklı bir yaklaşımla Raspberry Pi ile çalışan bir yazılımla elektrik güç şebekesini izlemişlerdir [7]. Günümüzde işletmeler enerji verimliliği konusunu gündemlerine almış olsalar da bu konuya halen gereken önem verilmemektedir. Önümüzdeki yıllarda organize sanayi bölgeleri gibi yoğun elektrik enerjisi tüketimi olan alanlarda enerji izleme sistemlerinin kurulumu yasal bir zorunluluk haline gelecek ve tüm işletmeler kendi enerji izleme sistemlerini kuracaklardır.

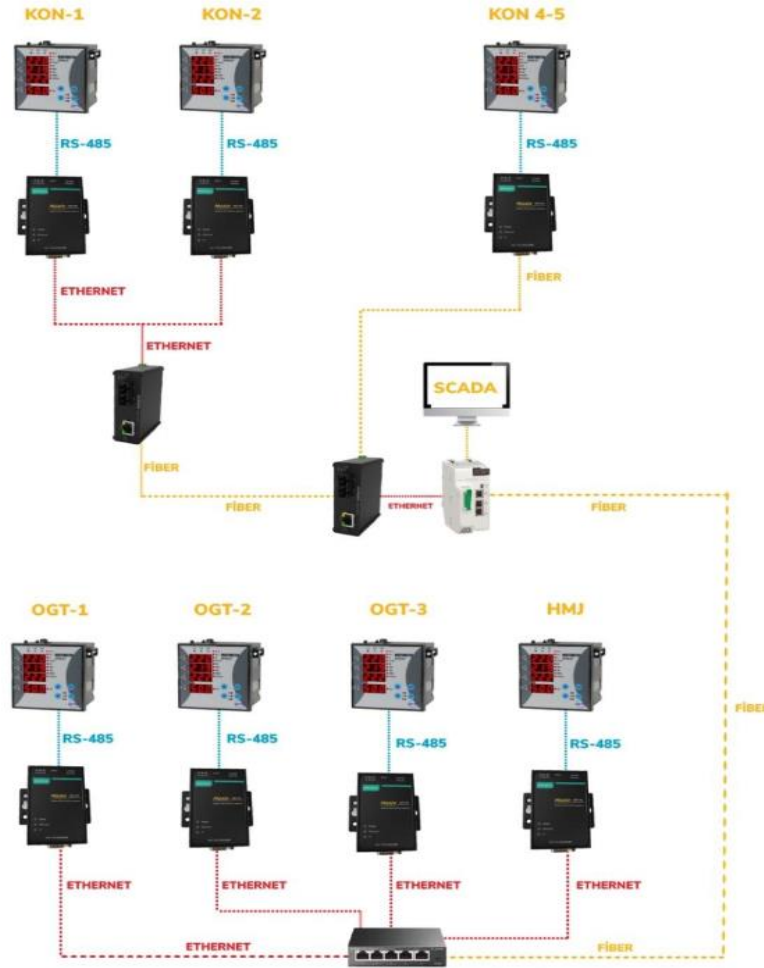
Bu çalışmanın yapıldığı Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünde tüm tesislerin elektrik enerjisi verileri manuel yöntemlerle takip edilmektedir. Üretim tesisleri konumları birbirinden uzak ve dağınık bir yapıdadır. Bu sebepten dolayı enerji tüketim verileri ancak aylık bazda alınmaktadır. Her ay sonunda okuma yapılan andaki endeks ile önceki döneme ait endeks arasındaki fark bir forma kaydedilmekte ve ilgili aydaki tüketim miktarı bu forma göre takip edilmektedir. Aylık bazda yapılan bu okuma yöntemi aydan aya bir değer sunabildiği için verimsiz ve analizi zor bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca mevcut yapıda insana dayalı manuel bir sistemden dolayı zaman zaman hatalı veriler alınabilmekte, bu durum zincirleme birçok soruna yol açabilmekte ve cezai durumlara sebebiyet verebilmektedir. Bu problemlere çözüm olabilecek sistemin tek bir merkezden gerçek zamanlı izlemeye olanak verebilecek; saatlik, günlük, haftalık gibi farklı zaman aralıklarında rapor verebilecek, ayrıntılı analiz kabiliyeti ve geleceğe dair öngörü sunabilecek bir sistem olması gerekmektedir.

2. Yöntem

Enerji izleme ve raporlama sistemleri birçok yaklaşımla tasarlanabilecektir. Tüketilen elektrik enerjisine ait tüm verilerin tek bir merkezde toplanabilmesi için en uç noktalara ulaşabilen tek bir ağa ihtiyaç vardır. Bu ağın hızlı bir şekilde verileri merkeze aktarabilmesi gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı uygulama Ethernet ağı kullanılarak tasarlanmıştır. Ethernet, en yaygın kullanılan LAN(Local Area Network- Yerel Alan Ağı) protokolü olup IEEE.802.2 ve IEEE.802.3 standartları ile tanımlanmıştır. Ethernet, OSI

(Open System Interconnection-Açık Sistemler Ara Bağlantısı) referans modelinin veri bağlantısı ve fiziksel katmanlarında çalışmaktadır [8]. Yapılan testler sonucu CAT6 (Category 6) bir kablo ile Ethernet ağında veri iletişimi 100 metre mesafeden sonra ciddi veri kayıplara sebep olmaktadır. Bu yüzden uzak mesafeler arası haberleşmenin sağlıklı olabilmesi için dağıtık konumlardaki tesisler arasında işletmede bulunan mevcut fiber optik altyapının avantajından faydalanılmıştır. Fiber optik altyapı sayesinde kilometrelerce uzak mesafedeki noktalar arasında veri haberleşmesi oldukça hızlı ve güvenli bir şekilde yapılabilmektedir. Çalışmada merkezi kontrolcü olan PLC (Programmable Logic Controller) dahil tüm cihazların bu ağa dahil edilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmaya esas olan yaklaşımda enerji tüketen her bir üniteye enerji analizörü bağlanır. Analizörler o üniteye ait her bir tüketim verisini ölçer ve MODBUS RS485 haberleşme protokolü ile veriyi dışarıya iletir. Burada RS485-Ethernet Converter dediğimiz bir dönüştürücü ile veri Ethernet verisi haline gelir. Ethernet verisi haline gelen paketin fiber optik altyapı boyunca iletilebilmesi için Ethernet-Fiber Converter adı verilen bir dönüştürücüye ihtiyaç vardır. Fiber optik altyapı sayesinde veri PLC' nin olduğu merkeze kadar gelir. Burada fiber-optik hattaki veri tekrar ethernet'e dönüştürülür ve veri merkeze iletilmiş olur. PLC deki veri, dahili haberleşme arayüzü ile SCADA ya aktarılır. SCADA'da her bir veri modbus adresine göre ayıklanarak görsel olarak ekrana yazdırılır. Sistem için tasarlanan fiziksel topoloji aşağıda gösterilmiştir.



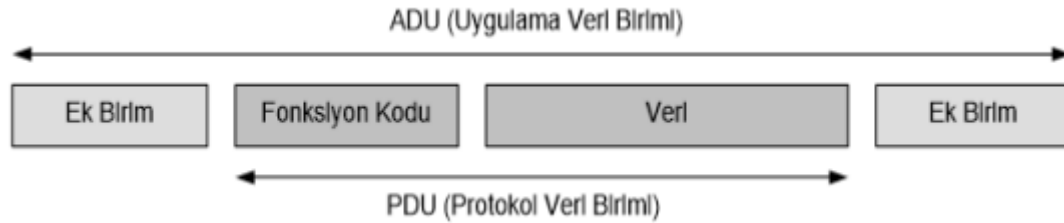
Şekil 1. Fiziksel topoloji.

Tablo 1. Enerji izlemesi yapılacak tesislerin merkeze uzaklıkları.

| TESİS ADI | MERKEZE UZAKLIĞI |
|------------------|------------------|
| KONSANTRATÖR 4-5 | 1150 metre |
| KONSANTRATÖR 2 | 1250 metre |
| KONSANTRATÖR 5 | 1250 metre |
| ÖĞÜTME 1 | 350 metre |
| ÖĞÜTME 2 | 350 metre |
| ÖĞÜTME 3 | 400 metre |
| HOMOJELENDİRME | 600 metre |

2.1. Modbus Haberleşme Protokolü

Modbus, PLC (*Programmable Logic Controller*) lerin kendi aralarında veya diğer cihazlarla haberleşebilmesi için tasarlanmış temel bir haberleşme protokolüdür. 1979 yılında Modicon firması tarafından geliştirilmiştir. Diğer haberleşme protokollerine göre birçok avantajı olan MODBUS protokolü uzun yıllardır kullanıldığı için artık hemen hemen tüm endüstriyel cihazlarda mevcuttur. Açık kaynak kodlu olduğu için erişimi kolaydır. Modbus protokolünde bir master ve bu master'e bağlı çalışan birçok slave ünite vardır. 1979'dan beri bu protokol birçok alt haberleşme dizaynlarını oluşturmuştur. Bunlardan en önemlileri Modbus RTU ve Modbus TCP'dir. Her iki protokolün ortak noktası alt katmanlardan bağımsız olarak çalışan protokol veri birimidir (Protokol Data Unit, PDU). Protokol, kullanıldığı alt protokollere göre uygulama veri birimi (Application Data Unit, ADU) içerisinde bir takım ek alanlar oluşturabilir. Bu ek alanlar Modbus RTU ve TCP protokollerinde farklılık gösterir [9].



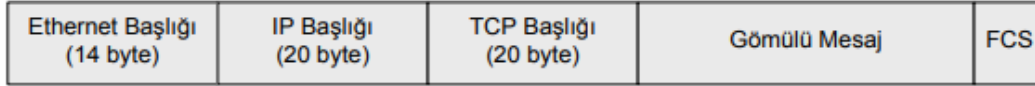
Şekil 2: Modbus genel veri yapısı.

Şekil 1'de en genel şekli ile Modbus veri yapısı gösterilmiştir. Modbus protokol veri birimi içerisinde yer alan fonksiyon kod alanı 1 byte veri içerir ve bağımlı cihazların ne tür işlem yapacaklarını ya da yaptıklarını tanımlar. Veri alanı içerisinde ise ana cihazın ya da bağımlı cihazın talep ya da cevap parametreleri yer alır. Ana cihaz tarafından talep edilen uygulama veri biriminde bir hata yoksa bağımlı cihaz istenilen işlemi gerçekleştirir ve ana cihazın talebine karşılık bir cevap gönderir. Fakat bir hata oluşursa bağımlı cihaz ana cihaza ilgili hata ile ilgili bir hata mesajı göndererek sistemin çalışmasının devam etmesini sağlar [9].

MODBUS RTU, verilerin binary olarak alınıp gönderildiği ve bu verilerin güvenilirliğini artırmak için çevrimsel artıklık denetimi (CRC – Cyclic Redundancy Check) doğrulama verisi ile birlikte gönderildiği haberleşme protokolüdür. Bu eklenen CRC verisi gönderilecek olan verinin içeriğine göre hesaplanır ve gönderilen veriye eklenir. Alıcı taraf da aynı şekilde gelen veriye göre bir CRC kodu hesaplar ve onu gelen CRC verisiyle kıyaslar ve bu şekilde gelen verinin doğruluğu kontrol edilmiş olur. Seri kanal

haberleşmede en çok tercih edilen ve destek verilen haberleşme standardıdır. Mesajın gideceği hedef MODBUS TCP/IP de birim no'su (Unit ID) olarak mesaj paketine eklenirken, MODBUS RTU da 8 bitlik hedef adresi eklenir[10].

MODBUS TCP/IP de ise temel fark, CRC gibi doğrulama verisi ve hedef istasyon TCP paketine göre tanımlanır ve gönderilir. MODBUS RTU'da CRC'nin yaptığı işlemi burada işlem tanımlayıcı (Transaction Identifier) yapar ve gelen giden veri kontrol edilmiş ve senkronizasyon sağlanmış olur [10].



Şekil 3: Modbus TCP veri yapısı.

TCP, bağlantı yönelimli bir protokol olduğu için Modbus mesajı gönderilmeden önce TCP bağlantısının kurulması gerekir. Modbus TCP/IP bağlantıları iki cihaz arasında yapılan haberleşme bağlantıları olduğundan her yön için kaynak adresine, hedef adresine ve bağlantı kimliğine ihtiyaç duyar. Bu nedenle Modbus TCP/IP haberleşmesi sadece yayın modunda yapılır. Modbus uygulamaları için özel olarak 502 numaralı port ayrılmıştır. Modbus sunucusu haberleşme için bu portu dinler. İstemci sunucuya bir talep göndermek istediği zaman, sunucu cihazın 502 numaralı portu ile bağlantı kurar. Modbus TCP protokolünün uygulama veri birimi bölümünde RTU'da olduğu gibi adres birimi ve hata kontrol birimi yer almaz [9]. Bu çalışmada MODBUS TCP/IP protokolü kullanılmıştır. Uzak istasyonlar arasında fiber optik hattın olması ve fiber optik hattın TCP/IP protokolüne çevirmenin kolay ve güvenilir olması MODBUS TCP/IP protokolünü tercih sebebi yapmıştır.

2.2. Enerji Analizörü

Enerji analizörü temel olarak elektrik enerjisine konu çoğu elektriksel parametreyi ölçebilen cihazlardır. Bu cihazlar çok düşük hata paylarıyla ölçüm yapabilmekte ve veriyi başka bir platforma iletebilecek altyapıya sahiptirler. Şebeke analizörü de denilen bu cihazlar artık klasik elektriksel parametrelerin yanında akım ve gerilime ait harmonik bozulmalar gibi farklı parametreleri de ölçebilmekte ve kayıt altına alabilmektedir. Son tüketiciye ulaştırılan elektrik enerjisi enerji analizörü tarafından izlenerek, ileride faturalandırma veya ceza olarak karşılaşılabilecek verimsiz kullanımların önüne geçilmesini sağlar. Enerji analizörü ayrıca elektrik şebekesinde oluşabilen ve özellikle elektronik cihazların ve tüm ekipmanlardaki elektronik kartların arızalanmasına neden olan; anlık yükselme (sag), anlık düşme (swell) değerlerini ölçer ve hafızasına kaydeder. Bu sayede şebekenin kalitesi çözümlenebilir ve gerekli müdahalelerle arızalar meydana gelmeden engellenebilir [11]. Bu avantajlarından dolayı çalışmada enerji analizörleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan enerji analizörü.

Bu çalışmada Entes firmasına ait MPR-53S serisi enerji analizörleri kullanılmıştır. Modbus RS485 haberleşme protokolü çıkışı olması ve ekonomik olması sebebiyle bu cihaz seçilmiştir. Her enerji analizörünün modbus register tablosu vardır. Adreslerine göre izlenecek veriler ham haliyle alınır ve tablodaki uygun çarpan oranları ile çarpılarak sağlıklı veri haline getirilir. Aşağıda çalışmada kullanılan enerji analizörüne ait modbus register tablosu bulunmaktadır. Örneğin faz-nötr arası gerilimin 0000H adresinden okunabileceğini bu tablo göstermektedir. Burada adresin hexadecimal bir adres olduğuna dikkat edilmesi gerekir. Bu verinin PLC ye aktarılması için adres decimal karşılığına çevirilmeli ve PLC deki adresleme yapısı buna uygun tasarlanmalıdır. Veri alındıktan sonra tabloda verilen çarpan oranlarına dikkat edilir. Faz-nötr arası gerilim verisinin volt cinsinden okumasının yapılabilmesi için verinin gerilim trafosu oranı ve akım trafosu oranı ile çarpılması gerekir.

Tablo 2. Enerji analizörü modbus register tablosu[11].

| ADRES | AÇIKLAMA | BOYUT (16 bit) | ÇARPAN | ARALIK | BİRİM |
|-------|-----------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------|
| 0000H | Gerilim LN1 | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 0001H | Gerilim LN2 | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 0002H | Gerilim LN3 | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 0003H | Akım LN1 | Word | Data x AT x 0.001 | 0 .. Imax | A |
| 0004H | Akım LN2 | Word | Data x AT x 0.001 | 0 .. Imax | A |
| 0005H | Akım LN3 | Word | Data x AT x 0.001 | 0 .. Imax | A |
| 0006H | Toplam Akım | Word | Data x AT x 0.001 | 0 .. Imax | A |
| 0007H | Aktif Güç L1 | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Pmax | W |
| 0008H | Aktif Güç L2 | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Pmax | W |
| 0009H | Aktif Güç L3 | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Pmax | W |
| 000AH | Reaktif Güç L1 | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Qmax | VAr |
| 000BH | Reaktif Güç L2 | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Qmax | VAr |
| 000CH | Reaktif Güç L3 | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Qmax | VAr |
| 000DH | Görünür Güç L1 | Word | Data x GT x AT | 0 .. Smax | VA |
| 000EH | Görünür Güç L2 | Word | Data x GT x AT | 0 .. Smax | VA |
| 000FH | Görünür Güç L3 | Word | Data x GT x AT | 0 .. Smax | VA |
| 0010H | Güç Faktörü L1 | Signed Int | Data x 0.001 | -1.000 .. 1.000 | - |
| 0011H | Güç Faktörü L2 | Signed Int | Data x 0.001 | -1.000 .. 1.000 | - |
| 0012H | Güç Faktörü L3 | Signed Int | Data x 0.001 | -1.000 .. 1.000 | - |
| 0013H | Cos L1 | Signed Int | Data x 0.001 | -1.000 .. 1.000 | - |
| 0014H | Cos L2 | Signed Int | Data x 0.001 | -1.000 .. 1.000 | - |
| 0015H | Cos L3 | Signed Int | Data x 0.001 | -1.000 .. 1.000 | - |
| 0016H | Gerilim L12 | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 0017H | Gerilim L23 | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 0018H | Gerilim L31 | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 0019H | Gerilim LN (Ortalama) | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 001AH | Gerilim LL (Ortalama) | Word | Data x GT x 0.1 | 0 .. Vmax | V |
| 001BH | Frekans | Word | Data x 0.01 | 45.00 .. 65.00 | Hz |
| 001CH | Toplam Aktif Güç | Signed Int | Data x GT x AT | 0 .. ±Pt max | W |

2.3. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistemi

SCADA temel olarak bir sürece ait tüm verilerin görsel objelerle takip edilmesini sağlayan görsel bir arayüzdür. Supervisory Control And Data Acquisition ifadesinin kısaltmasıdır. SCADA kavramı ilk olarak 1960'lerde Bonneville Power Administration

tarafından ortaya atılmıştır. Terim olarak ise Power Industry Computer Applications konferansında yayınlanmıştır [12]. Mevcutta SCADA sistemleri endüstriyel işletmelerde daha çok proses otomasyonu amacıyla kullanılmaktaysa da özel amaçlar için de kullanılabilir. Aynı alanda olmayan birçok ekipmanın belli bir mantığa göre çalışabilmesini sağlar. Günümüzde çok uzak mesafelerdeki ekipmanların aynı SCADA ile takibi yapılabilmektedir. SCADA kontrol, kumanda ve değerlendirme için tüm verileri toplar bu verileri karar birimine gönderir. Bu veriler operatör istasyonlarındaki ekranlara iletilir. Böylelikle operatör vasıtasıyla kontrol ve kumanda yapılabilir [13]. Genel olarak bir SCADA yazılımının fonksiyonelliği şöyledir;

- Erişim Kontrolü (Access Control)
- Çoklu Arayüz (Multimedia Interface)
- Grafikleme (Trending)
- Alarm Yönetimi (Alarm Handling)
- Loglama/Arşivleme (Logging/Archiving)
- Rapor Oluşturma (Report Generation) [14]

Birçok markaya ait çeşitli özellikleri barındıran SCADA yazılımları bulunmaktadır. Bu çalışmada yerli yazılım olan Wintr adlı SCADA yazılımı kullanılmıştır. Wintr adlı yazılımın diğer SCADA yazılımlarına göre tercih sebebi olmasının en önemli sebepleri; lisanslama maliyetinin olmaması, MODBUS verilerini doğrudan okunabilir yapıda olması ve ekonomik olmasıdır. Ayrıca birçok SCADA yazılımında objeler ile ilgili yapılabilecek fonksiyonlar sınırlı sayıdadır. Wintr adlı yazılımda bir objede 256 fonksiyon çalıştırılabilmektedir. Wintr SCADA yazılımında profinet haberleşme protokolü ile haberleşecek cihazlar için herhangi bir veri tabanı programı ya da OPC Server gibi başka bir yazılım kullanılmasına gerek yoktur. Veriler doğrudan SCADA tarafından okunabilmektedir. Enerji analizörlerinden PLC'ye aktarılan tüm veriler Profinet haberleşme protokolü ile SCADA sistemine aktarılmaktadır. SCADA sistemindeki verilerin sınıflarına göre uygun objeler tasarlanarak verinin anlaşılır bir hal alması sağlanır.



Şekil 5. Sistem ana ekran.

Herhangi bir PLC hazır konuma getirilip çalıştırıldığında sırayla şu işlemler yerine getirilir;

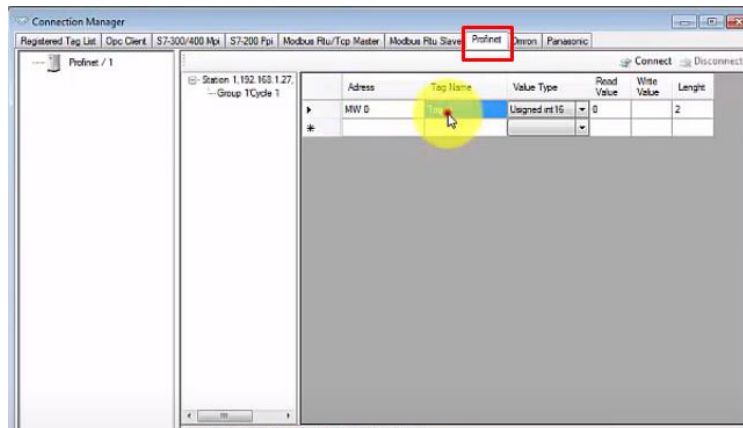
- Çevrim başlamadan önce girişteki veriler belleğe kaydedilir ve bu veriler sıradaki döngüye kadar değişmez
- Programlanan lojik komutlar sırasıyla icra edilir.
- Yazılan programa göre işlenen verilerin çıktıları çıkış birimine aktarılır ve tüm işlemler tamamlandıktan sonra ilk adıma tekrar gidilir [17].

Bu çalışmada SIEMENS marka S7-1200 model bir PLC kullanılmıştır. SCADA'daki verileri PLC gibi programlanabilen bir cihaza aktardığımızda artık bu veriler için birçok uygulama yapabilmekteyiz. Bu yüzden veriler PLC'ye aktarılmıştır.



Şekil 8. Çalışmada kullanılan PLC.

Aktarılan veriler PLC'de işlenebilmektedir. Enerji izleme sistemine dair maliyet analizi, raporlama, diğer kontrol sistemleri ile entegrasyon gibi birçok ihtiyaç bu sayede gerçekleştirilebilecektir. PLC ile profinet üzerinden haberleşilmiştir. Wintr SCADA'nın en büyük avantajlarından biri cihaza özel doğrudan haberleşme protokollerini destekleyebilmesidir. Bu çalışmada kullanılan S7-1200 PLC için profinet üzerinden doğrudan haberleşme arayüzü bulunmaktadır. Şekil 9'da görüldüğü gibi Wintr SCADA Connection Manager içinde bulunan Profinet sekmesine PLC'nin IP adresi doğru bir şekilde girildiği takdirde PLC'ye SCADA üzerinden doğrudan erişilebilmektedir.



Şekil 9. Wintr-S71200 PLC haberleşmesi.

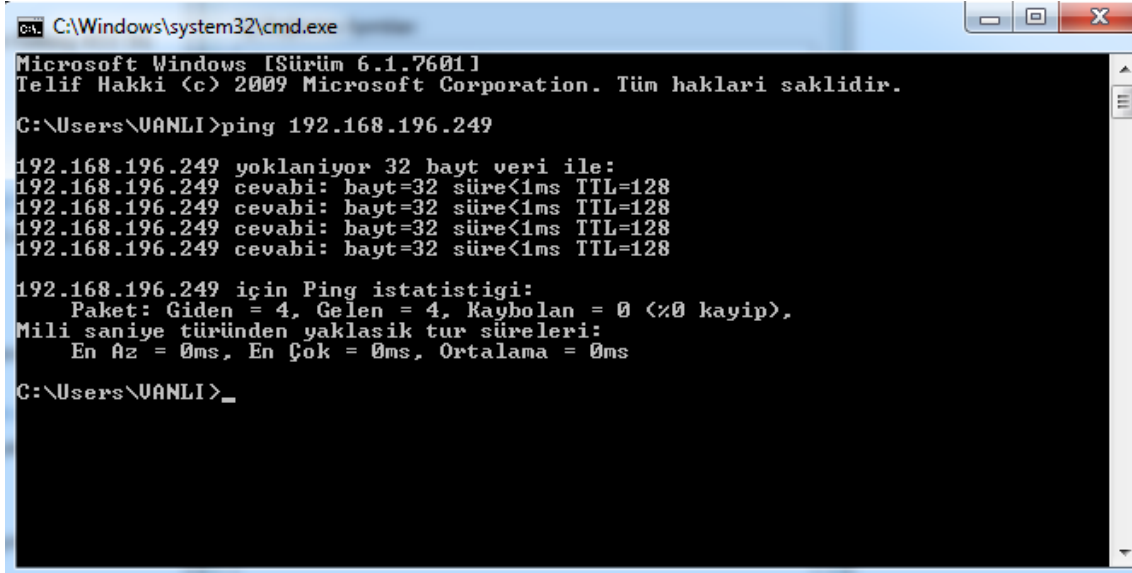
3. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmayı 3 aşamada değerlendirmenin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

- Uzak konumlar arası cihazların haberleşmesi
- Okuma yapacak olan enerji analizörlerinin akım trafoları ile beraber montajı ve devreye alınması
- Verilerin merkezi bir noktada toplanarak SCADA tasarımının yapılması ve PLC'ye entegrasyonu

3.1. Uzak Konumlar Arası Cihazların Haberleşmesi

Uzak konumlar arası 24 core single mode fiber optik kablolar kullanılmış ve istasyonlarda sonlandırılmıştır. Sonlandırılan fiber uçlar ethernet verisi haline gelebilmesi için Ethernet-fiber dönüştürücü ile dönüştürülmüştür. Bu şekilde yıldız topoloji oluşturulmuş, hızlı ve kayıpsız bir haberleşme hattı başarılı bir şekilde kurulmuştur. Başarıya ulaşan bu sistemin birçok sistemde kullanılabilecek bir haberleşme altyapısı sunabileceği görülmüştür. Şekil 10' da iki konum arası ping ekranı görseli verilmiştir. 1 milisaniyenin altında haberleşme olduğu görülmektedir.



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Sürüm 6.1.7601]
Telif Hakkı (c) 2009 Microsoft Corporation. Tüm hakları saklıdır.

C:\Users\UANLI>ping 192.168.196.249

192.168.196.249 yoklanıyor 32 bayt veri ile:
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128
192.168.196.249 cevabi: bayt=32 süre<1ms TTL=128

192.168.196.249 için Ping istatistigi:
    Paket: Giden = 4, Gelen = 4, Kaybolan = 0 (%0 kayıp),
    Mili saniye türünden yaklaşık tur süreleri:
        En Az = 0ms, En Çok = 0ms, Ortalama = 0ms

C:\Users\UANLI>_

```

Şekil 10. Uzak istasyonlar arası haberleşme istatistikleri.

Bu çalışmada fiber optik hat yerine kablosuz bir network de kurulabilirdi. Kablosuz haberleşme sistemleri de günümüzde oldukça gelişmiş ve kullanım alanı oldukça artmıştır. Ancak kablosuz haberleşme sistemleri işletmenin koşulları açısından uygun değildir. Bor üretiminde bacadan filtre edilip atılan ürün işletme çevresinde bir tabaka oluşturmaktadır. Yarı metal özelliğe sahip borun yapısından kaynaklanan bu durum işletme içinde kablosuz tüm sistemleri etkilemektedir. Bu çalışmanın başında kablosuz haberleşme sistemleri denenmiş ve verimli bulunmamıştır. Ayrıca kablosuz haberleşme sistemlerinde her uç noktada alıcı kablosuz cihazlar kullanılacağından maliyet de yüksek olmaktadır.

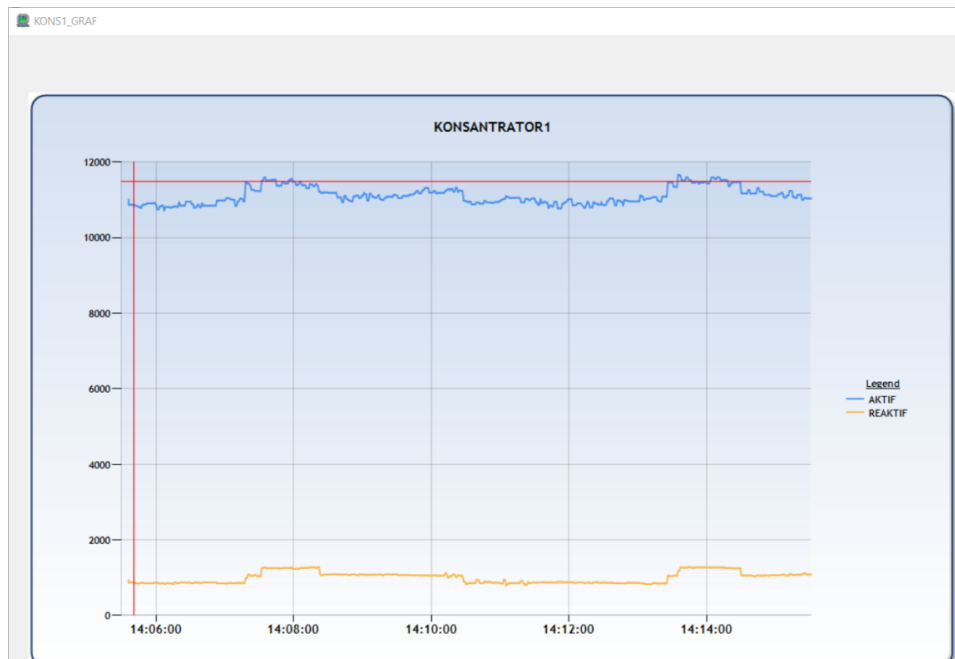
3.2. Enerji Analizörü ve Akım Trafosu Montajları

Enerji analizörleri her bir tesisin ana dağıtım panosuna monte edilmiştir. Akım trafosu seçerken baradan geçebilecek maksimum akım önemlidir. Seçim buna göre yapılır. Her

bir faza aynı akım trafosu bağlanır. Akım trafosunun sekonder uçları enerji analizörünün K ve L uçlarına her faz için ayrı ayrı bağlanır. Enerji analizörüne akım trafosu çarpanı girildikten sonra okuma yapmaya başlanabilir. Akım trafosu olmadan şebeke akımını enerji analizörüne aktarma yolu yoktur. Çalışmada kullanılan enerji analizörü RS485 çıkışlı bir cihazdır. Bu sayede değerleri dışarıya aktarabilmektedir. Eğer doğrudan fiber çıkışlı enerji analizörleri olsaydı çeviriciler kullanılmadan daha sade ve kolay bir topoloji kurulabilirdi.

3.3. Verilerin Tek Merkezde Toplanması ve Çıktılar

Veriler Wintr SCADA'da toplanmış ve aktif güçler ile ilgili grafiklendirmeler yapılmıştır. Tesis bazında anlık aktif ve reaktif güç grafikleri aşağıdaki görsellerdeki gibi gerçekleşmiştir. Her tesis bazında 1 saniyeden 24 saate kadar farklı zaman aralıklarında grafiklendirme yapılmaktadır. Bu çalışmada birçok SCADA yazılımı kullanılabilirdi. Çalışma önce SCHNEIDER firmasına ait Vijeo Citect SCADA yazılımı ile başlanmış ancak bu yazılımın lisans maliyetlerinin yüksek olması ve MODBUS haberleşme için ayrı bir yazılım kullanma zorunluluğundan dolayı vazgeçilmiştir. FULTEK firmasına ait Wintr SCADA yazılımı ile OPC server ihtiyacı olmadan farklı cihazlarla doğrudan haberleşilebilmektedir. Bu durum Wintr SCADA kullanımını bu çalışma için tercih sebebi yapmıştır. Ayrıca Wintr SCADA için geliştirme lisansı almanıza gerek yoktur. Bu çalışma için geliştirme programına hiçbir lisanslama yapılmamıştır. Muadil birçok yazılımda geliştirme için ayrı, runtime için ayrı lisans satın alınması gerekmektedir. Günümüzde kullanılmakta olan önemli çoğu haberleşme protokolünü destekliyor olması da gelecekte yapılabilecek iyileştirmeler için önemli bir noktadır. Örneğin PROFIBUS altyapıya sahip bir sistemin bu SCADA ile haberleşebilmesi için herhangi bir ara yüze ihtiyaç yoktur. Doğrudan hem PROFINET üzerinden hem de PROFIBUS üzerinden veri alışverişi yapılabilmektedir.



Şekil 10. Konsantratör 1 tesisi aktif ve reaktif güç değerleri grafiği.



Şekil 11. Konsantratör 4 tesisi 5 saniyelik periyotta aktif güç grafiği.

Kaynaklar

- [1] Kayar, E., Niyazi, İ.L. ve Carlak, H., Türkiye elektrik enerjisi görünümü ve - yenilenebilir enerjinin global ölçekte mevcut konumu, **EMO Bilimsel Dergi**, 11(Özel Sayı), 70-83, (2021).
- [2] Güllü, M., Kartal, Z., Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030 yılına kadar tahmini, **19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi**, 2, 288-313, (2021).
- [3] Kavak, K., Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği ve Türk sanayiinde enerji verimliliğinin incelenmesi, Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, (2005).
- [4] <https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/OVDegerlendirme/Belgeler/EYogunluklari/2020.pdf> (10 Nisan 2022).
- [5] Siddique, M. N. I., vd., Energy management practices, barriers, and drivers in Bangladesh: An exploratory insight from pulp and paper industry, **Energy for Sustainable Development**, 70, 115-132, (2022).
- [6] Songur, M., Dabanlı, A., Yılmazel, B., ve Kürkçüoğlu, M.A.Ş., Su dağıtım şebekelerindeki fiziki kayıpların önlenmesinde SCADA'nın önemi: ASKİ örneği, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 21, 6, 1424-1433, (2021).
- [7] Aurilio, G., Gallo, D., Landi, C., Luiso, M., Graditi, G., A low cost smart meter network for a smart utility, **In 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings**, 380-385, *Montevideo*, (2014).
- [8] Ataç, S., Tek çift Ethernet, **International Aegean Symposiums**, 89-101, İzmir, (2021).
- [9] Akkaya, Ş., FPGA tabanlı modbus ağ geçidi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2005).
- [10] Temiz, A., Kahraman, Ö., Şahin, C., ve Nadar, A., Akıllı Şebekeler İçin Haberleşme Çözümü, Tübitak Mam Enstitüsü, Ankara, (2013).
- [11] https://www.entec.com.tr/uploads/files/TR-A3917-MPR53_53S-Rev.6.pdf (14 Mayıs 2022).
- [12] Bentarzi, H., Tsebia, M., ve Abdelmoumene, A., **PMU based SCADA enhancement in smart power grid**, **In 2018 IEEE 12th International**

- Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering**, 1-6, Doha, (2018).
- [13] İşbilen, F., ve Konar, M., Uçak sistemlerinin SCADA ile modellenmesi, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 338-346, 18, (2020).
- [14] Daneels, A., ve Salter, W., What is SCADA, **International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems**, Trieste, (1999).
- [15] <https://www.fultek.com.tr/programlar/scada/>, (10 Haziran 2022).
- [16] Karayel, M., Mikrotip hidroelektrik santraller için PLC tabanlı SCADA sistem otomasyonu ve RTU/PLC ile frekans ve gerilim regülasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2013).
- [17] Özlük, F., Endüstriyel bir süreçte scada uygulaması ve verilerin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, (2010).