



## BİR ENDÜSTRİYEL İŞLETMEDE ELEKTRİK ENERJİSİNİN İZLENMESİ

Ramazan BAYINDIR, Şevki DEMİRBAŞ, Aşkın BEKTAŞ, İlhami ÇOLAK\*

*Gazi Elektrik Makinaları ve Enerji Kontrol Grubu (GEMEC),*

*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, Ankara*

### ÖZET

Bu çalışmada, bir işletmenin enerji dağıtım sistemini izlemek amacıyla kurulmuş olan enerji otomasyonu gerçekleştirilmiştir. Enerji izleme sistemi işletme içi kritik noktadaki analizör ile ölçülen enerji parametrelerinin takibi, arşivlenmesi ve grafik ortama aktarılmasından ibarettir. Güç analizörü, verilerini RS485 protokolü ile bilgisayara iletir. Bilgisayar tarafından alınan veriler veritabanına kaydedilir. İşletmenin anlık enerji durumlarının izlenmesi, ekipmanların performansını artırmaya, dolayısıyla daha az enerji tüketerek daha kaliteli ürün elde etmeye büyük ölçüde yardımcı olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji izleme; Güç analizörü; Enerji verimliliği.

### OBSERVATION OF ELECTRIC ENERGY AT AN INDUSTRIAL PLANT

#### ABSTRACT

In this study, energy automation has been realized to observe energy distribution system in an industrial plant. Energy observation system constitutes following, archiving and transferring graphical platform of measured energy parameter by means of energy analyzer connected to critical point in the plant. Data obtained by power analyzer are transmitted to computer using RS 485 protocol and they are saved in database. Observation of energy as instant helps to increase performance of equipment and decrease energy consumption which result production of quality products.

**Keywords:** Energy observation; Power analyzer; Energy efficiency.

\*E- posta: [icolak@gazi.edu.tr](mailto:icolak@gazi.edu.tr)

## 1.GİRİŞ

Endüstriyel işletmelerde enerji tüketim maliyetlerini hesaplamada enerji izleme sistemleri hızla yaygınlaşmaktadır. Enerji kalitesini izlemek için gerilim dalgalanmaları, enerji tüketimleri, güç faktörü, frekans ve akımdaki değişimler işletmeler için zorunlu hale gelmiştir. Gün içinde farklı enerji tüketim değerleri, işletme için üretim ve tüketim maliyetlerini hesaplamada önemli bir etken teşkil etmektedir.

Literatür taraması yapıldığında, ihtiyaca göre çok farklı talepler karşısında farklı enerji izleme çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Livshitz ve ark. [1] çalışmalarında güç sistemlerinde enerji altında çalışan kesici ve ayırıcı gibi elemanların sıcaklıklarını kablosuz olarak kurdukları bir enerji sistemi ile takip etmekte, elemanlar arasındaki koordinasyonu sağlamakta, elemanların kontak durumları ve üzerinde oluşabilecek bir arızayı tespit etmektedirler. Yapılan çalışma ile enerji tesisinin yönetilmesi kesici ve ayırıcıların durumlarının gözlenmesi, bir arızaya sebebiyet vermeden tesis için daha güçlü bir enerji yönetimi olanağı sağlanmıştır. Diğer bir çalışmada Dash ve ark. [2] şebekedeki harmonik bozulmaları ve şebeke güç kalitesi tahmininde yapay sinir ağları tabanlı adaptif bir yaklaşım sunmuşlardır. Laboratuvar test sonuçları geliştirilen algoritmanın başarılı olduğunu göstermiştir. Jenkins ve ark. Tarafından [3] buhar türbinli generatörün anlık çalışma koşullarının iki ayrı PC üzerinden izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Dorhofer ve ark. [4] çalışmalarında bir işletmedeki verimliliği artırmak için veri toplama ve anlık verileri değerlendirme sistemi kurmuşlardır. Böylece elde edilen veriler incelenerek enerji yönetim ve ileriye yönelik yatırımlarda kullanılacak bilgiler elde edilmiştir. Elektrik dağıtım şirketleri işletmelerin düşük güç faktörleri için değişik oranlarda tarifeler ve cezalar uygulamaktadır. Bu nedenle işletmeler ödenen reaktif güç bedelini azaltmak ve cezalardan sakınmak için elektriğin verimli bir şekilde kullanılmasına önem vermektedirler. Yao ve ark. [5] elektrik sistemlerinin izlenmesi ve kontrolünü otomatik olarak sağlayan ve elektrik santrallerinde kaybı en aza indirip, verimliliği artıracak uygun değerlerde güç katsayısı elde eden PC ve açık modüler kontrollü, uygun maliyetli bir sistem tasarlamıştır. Son yıllarda bir çok endüstriyel işletmede, binalarda, okullarda, mağazalarda ve alışveriş merkezlerinde enerji izleme sistemleri kullanılmaktadır. Enerji izleme sistemleri evlerde de kullanılmaya başlanmıştır [6]. Elektrik enerjisi, temel enerji kaynaklarından ve ülkelerin sosyal ve ekonomik düzeyini etkileyen faktörler arasındadır. Elektrik enerjisinin üretilmesi, taşınması, kullanımı enerjinin izlenmesini gerekli kılmaktadır [7].

Doğru ve zamana bağlı verilerin toplanması, işlenmesi ve yönetime sunulması, işletmenin karar verici mekanizmalarına çok önemli bir destek sağlamaktadır ki, bu bir enformasyon sistemi için olmazsa olmaz

bir unsurdur. Burada enerji izleme sistemi kurulurken bu izleme sistemi işletmeden gelen talebe göre çok farklı şekillerde ve sadece izleme değil, elde edilen bilgiler ile farklı sistemlerin kontrolü amacıyla da kullanılabilir. Bu nedenle izleme sistemleri işletmenin istekleri doğrultusunda kurulduğu için, izleme sistemlerinde kontrol teknikleri, kullanılan malzeme, izleme sistemindeki hassasiyet ve işlevsellik işletmelerin isteklerine göre farklılık gösterecektir.

Yukarıda verilen literatür incelendiğinde özetle aşağıdaki hususlara ağırlık verildiği görülmektedir.

- Kesici ve ayırıcıların koordinasyonu kontak durumları ve üzerinde oluşabilecek arızaların kablosuz takibi
- Harmonik ve güç kalitesi izlenmesi ve yapay sinir ağları ile tahmini
- İşletmedeki anlık çalışma koşullarının bilgisayar üzerinden izlenmesi
- Elektrik sistemlerinin izlenmesi ve otomatik kontrolü, kayıplarının azaltılması, veriminin yükseltilmesi ve uygun güç katsayısını temini

Yapılan çalışmada ise, literatürdeki çalışmalardan, arızaların kablosuz takibi yerine kablolu takip yapılarak, diğer tüm çalışmaların tamamı sağlanmış olmakla birlikte farklı olarak sistemde hassasiyet, işlevsellik ve görsellik ön planda tutulmuştur. Bu nedenle diğer çalışmalarda kullanılmayan Merlin Gerin PM710 model enerji analizörü kullanılmıştır. Ayrıca ekran tasarımından görsel bir programlama dili olan DELPHI programlama dili kullanılarak özgün bir enerji izleme ekranı tasarlanmıştır. Analizörden alınan değerler ekrana 200 ms aralıklarla ekrana yansıtılmakta, veri tabanına ise 1 dakikalık zaman aralıklarla kaydedilmektedir. Raporlama sistemi sayesinde kullanıcı bilgisayar başında bulunmadığı zamanların enerji değerlerini kolayca inceleyebilme olanağına sahip olmaktadır.

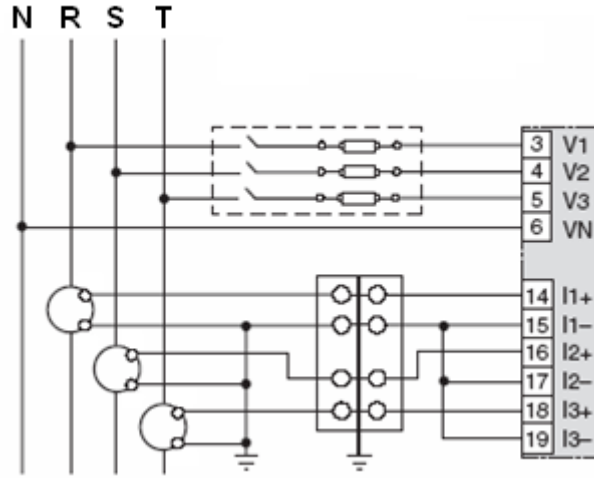
Bunlara ilaveten, bir endüstriyel işletmede akım, gerilim, güç, frekans,  $\cos\phi$  ve enerji değerleri izlenerek kayıt altına alınmış, geçmişe yönelik raporlama ve analiz yapılmıştır. Enerjinin ölçülebilmesi için sisteme bağlanan enerji analizöründen değerler RS485/RS232 çevirici kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Alınan değerler bilgisayarda DELPHI programlama dili ile oluşturulan arayüz programında ekrana aktarılmış, akım ve gerilimlerin grafiksel gösterimi yapılmıştır. Ayrıca ölçülen değerler 1 dakikalık periyotlarla veri tabanına aktarılmıştır. Çalışma, işletme enerji verilerini gerçek zamanlı ve kronolojik olarak bilgisayarda depolayan izleme sistemi yazılımının çalışma prensibi, genel özellikleri ve bileşenleri

kapsamaktadır. Elde edilen bilgiler seri üretim yapan işletmede gelir-gider analizi yapmak için kullanılarak, ürün maliyeti hesabı çıkarılabilmektedir. Aynı zamanda alınan bilgiler saatlik, günlük ve aylık bazda değerlendirip gerekli tasarrufların nerelerde yapılacağına karar verilebilmektedir. Maliyet analizlerine ek olarak, enerji analizörü işletmenin ana giriş şalterini de kontrol edebilme kabiliyetine sahiptir. Çalışmada işletmenin istekleri doğrultusunda özellikle verilerin her an ekrana yansması ve özellikle raporlamalara önem verilmesi istenilmiştir. Bu amaçla raporlar kullanıcının isteği doğrultusunda dakikalık, saatlik, günlük ya da aylık olarak alınabilmektedir. Daha açık ifade edilecek olursa, örneğin 2 aylık bir rapor dakika, saat, gün veya ay bazında sorgulanabilmektedir. Böylece ay bazında sorgulama yapıldığında 2 ay için sadece 2 veri, gün bazı için 60 veri, saat için 1440 veri, dakika için 86400 veri ekrana yansıtılır.

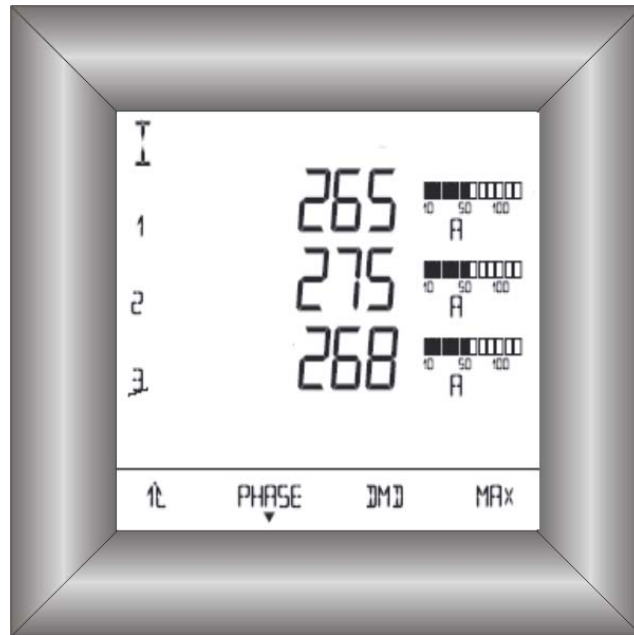
## 2. ENERJİ İZLEME SİSTEMİ TASARIM VE UYGULAMASI

Bu çalışma toplam gücü 500 kW, 50 makinaya sahip olan bir işletmede, Merlin Gerin PM710 model enerji analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. [8]. Kullanılan analizör akım, gerilim,  $\cos\phi$ , aktif güç, görünür güç, reaktif güç, enerji tüketimi, gerilimdeki toplam harmonik bozulma (Gerilim THD), akımdaki toplam bozulma (Akım THD) değerlerini ölçebilme, RS 485 Modbus haberleşme, dijital giriş ve çıkış kartı bağlanabilme özelliğine sahiptir. Şekil.1’de PM710’a ait enerji analizörün 3 faz 4 telli bağlantısı ve Şekil.2’de ise analizöre ait dış görünüş verilmiştir [9]. Şekil.1’de verilen bağlantı aynı zamanda uygulamada kullanılan bağlantıdır. Analizörün gerilim uçları 400V’a kadar gerilim transformatörüne ihtiyaç duyulmadan analizöre bağlanabilmektedir. 400V’un üstündeki gerilim değerlerinde gerilim transformatörü kullanılarak analizöre bağlanılabilmektedir. Analizörün akım uçları en fazla 5A göre dizayn edildiğinden dolayı uygulamada 800/5A dönüştürme oranına sahip akım transformatörü kullanılmıştır.

Enerji analizörü; faz akımları, nötr akımı, akım ortalaması, faz-faz gerilimi, faz-nötr gerilimi, ortalama faz-faz gerilimi, ortalama faz-nötr gerilimi, fazlar arası aktif, reaktif, görünür güç, toplam aktif, reaktif, görünür güç, frekans,  $\cos\phi$ , aktif, görünür, reaktif enerji tüketimi, gerilim toplam harmoniği, akım toplam harmoniği ölçme kabiliyetine sahiptir [8]. Analizör, akım ve gerilim bağlantıları yapıldıktan sonra analizörün beslemesi şebekedeki elektrik kesintisinden etkilenmemesi için kesintisiz güç kaynağından yapılmıştır.



Şekil 1. PM710'a ait bağlantı şeması.



Şekil 2. Analizör genel görünümü.

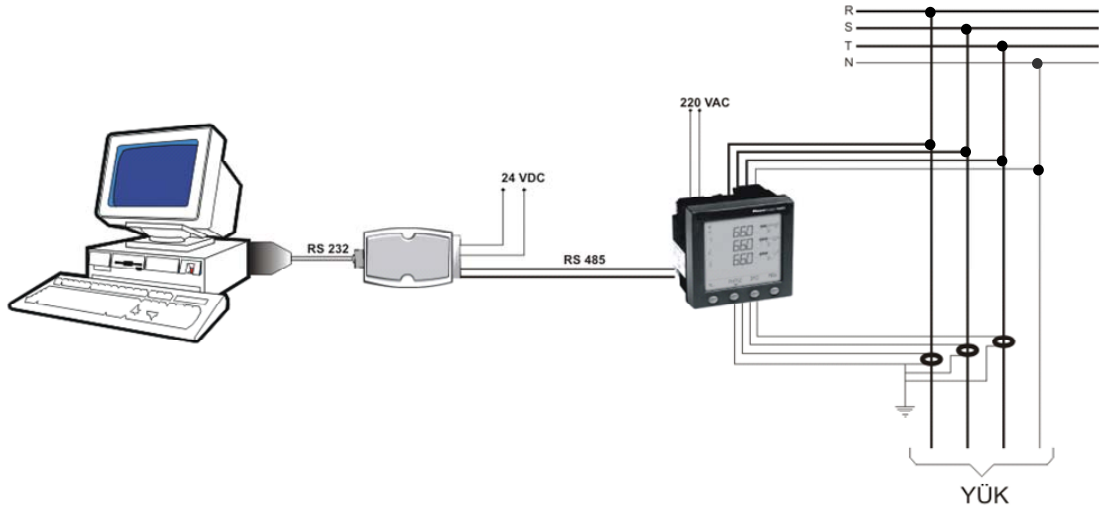
Şekil.3'de sistemin elektrik ve data bağlantı şeması verilmiştir. Analizörün bilgisayar ile veri iletişimi sağlayabilmesi için analizör ile RS485/RS232 çevirici arasındaki data kablo bağlantıları yapılmış ve Delta marka IFD8520 model RS485/RS232 çevirici kullanılmıştır. Analizör ile bilgisayar arasındaki haberleşme bilgisayarın seri portu aracılığı ile sağlandığı için bu çeviriciye ihtiyaç duyulmuştur. RS485/RS232 çeviricinin çıkışı bilgisayarın seri portuna bağlanarak iletişim hattı oluşturulmuştur. RS

485 veri iletişim hattı ile veri taşıma mesafesi RS 232'ye göre daha fazla olduğu için RS485/RS232 çeviricisi bilgisayarın yanına monte edilmiştir.

Enerji analizörü ile bilgisayar arasında Modbus protokolü kullanılmıştır. Bu protokolde;

Slave Address : 1  
Baud Rate : 9600  
Parity : None  
Stop Bit : 1

olarak belirlenmiştir.

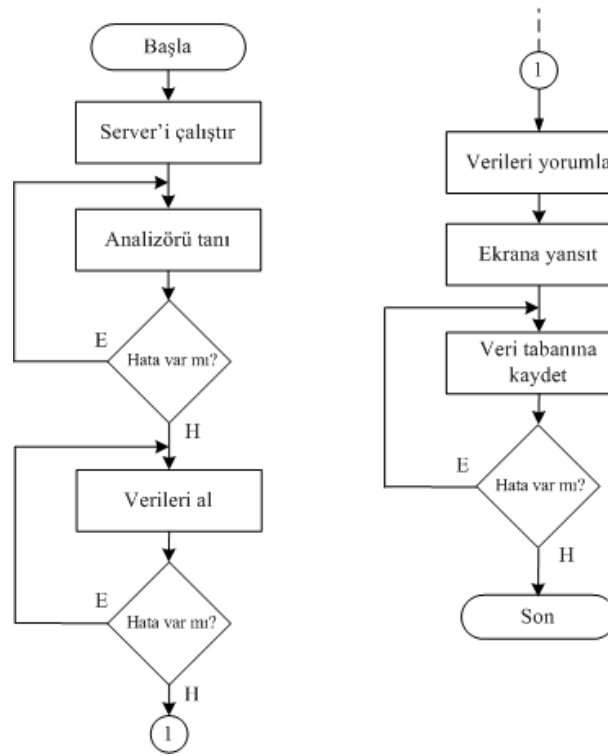


Şekil 3. Sistemin elektrik ve data bağlantı şeması.

### 3. YAZILIM

Şekil.4'de yazılıma ait akış diyagramı verilmiştir. Bilgisayardan arayüz programı açıldığında ilk olarak bilgisayar ile enerji analizörünün haberleşmesini sağlayan modbus server çalıştırılır. Modbus server parametreleri otomatik olarak tanımlanarak analizöre bilgi gönderilmekte ve analizör test edilmektedir. Eğer analizör veri hattına bağlı değilse server pasif geçer.

Analizörün veri hattına bağlı olduğu kontrol edildikten sonra arayüz programı analizörden veri sorgulama işlemine başlar. Analizörden veri paketi alındıktan sonra hata raporu incelenerek verinin analizörden doğru alındığı test edilir. Eğer veri doğru alınmamışsa istek tekrarlanır.

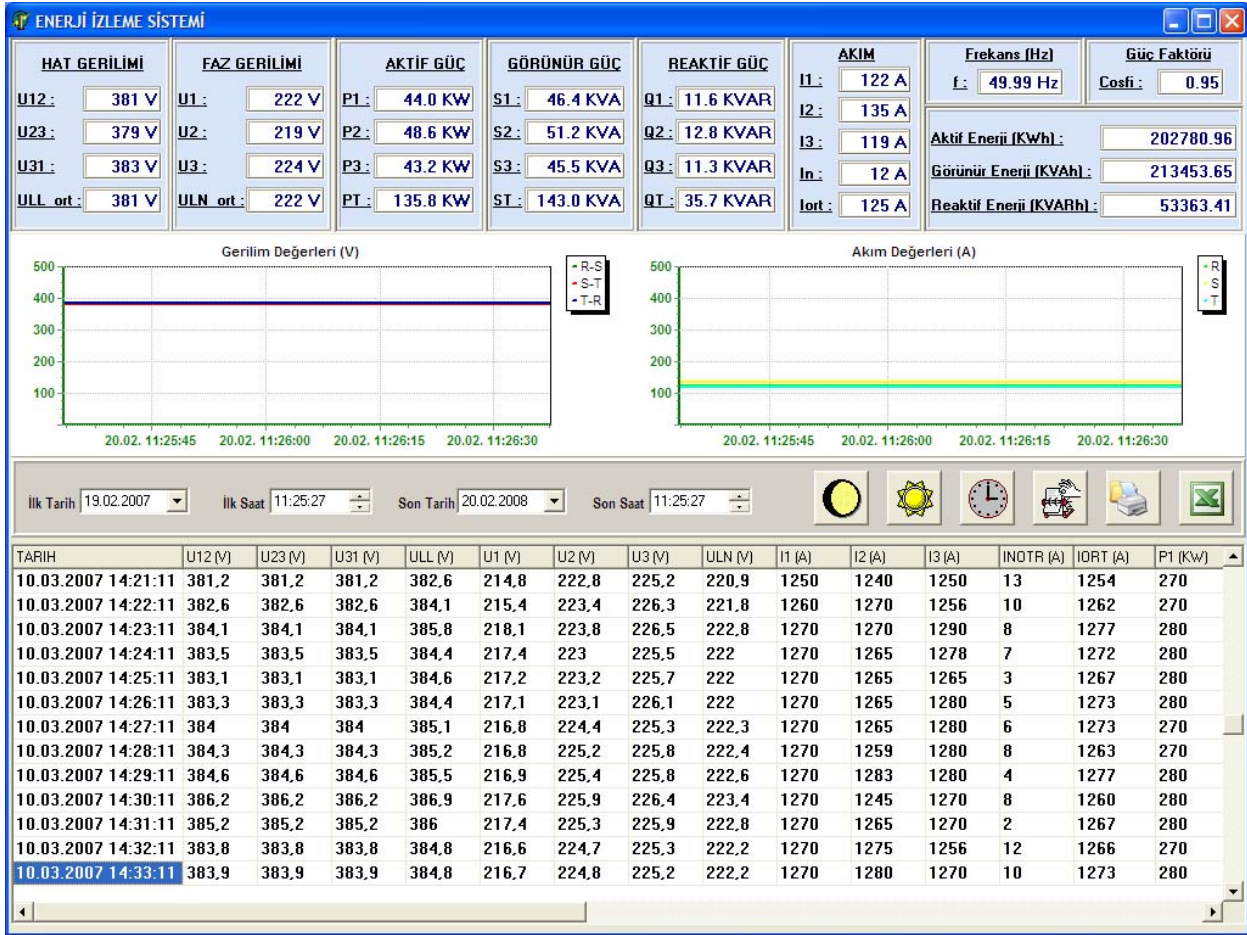


**Şekil 4.** Yazılıma ait akış diyagramı.

Analizörden alınan veriler yorumlandıktan sonra arayüz programında ekrana yansıtılmakta ve veri tabanına kaydedilmektedir. Analizörden alınan değerler ekrana 200ms aralıklarla yansıtılmakta, veri tabanına ise 1 dakikalık zaman aralıklarla kaydedilmektedir. Kayıt aşamasında veri tabanı sistemi çalışmıyor ise kayıt işlemi başarısız olur ve bir sonraki kayıt aşamasına kadar veri kaydedilmez.

Şekil.5’de DELPHI 6 programlama dili ile geliştirilen arayüz programı görülmektedir [9, 10]. Program çalıştırıldığında hiç bir ayara gerek duyulmadan arayüz programı analizörden alınan değerleri ekranda gösterilmektedir. Analizörün ekranında gösterilen değerler aynı anda arayüz programında görüntülenmekte, grafiği çizdirilmekte ve her 1 dakikada veri tabanına kaydedilmektedir.

Şekil.5’de görüldüğü gibi ekranın üst tarafında sistemdeki anlık enerji değerleri izlenebilmektedir. Bu anlık değerlerin gösterilmesine ait kısım Şekil.6’da verilmiştir.



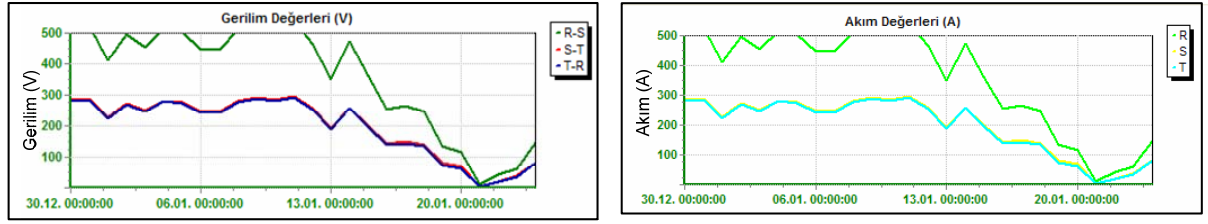
Şekil 5. Bilgisayarda hazırlanan arayüz programı.



Şekil 6. Anlık değerlerin gösterilmesi.

Şekil.7’de akım ve gerilim değerlerinin zaman bağlı grafiği çizdirilmektedir. 1. grafik ekranında 3 fazın fazlar arası gerilimi gösterilmektedir. 2. grafik ekranda ise 3 faza ait akım değerleri gösterilmektedir.

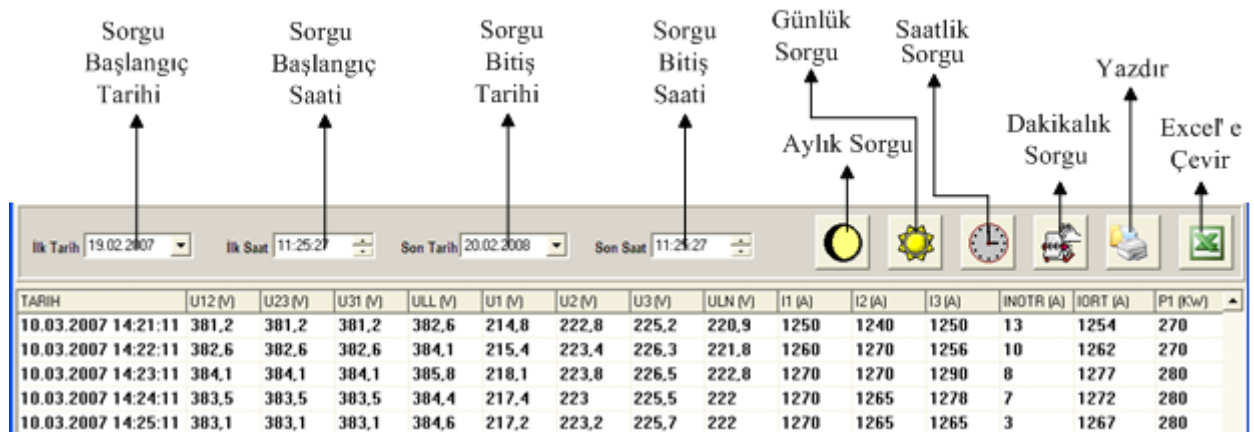




Şekil 7. Grafik ekran.

Şekil.8’de yazılıma ait raporlama ekranı verilmiştir. Veri tabanına kaydedilen değerler raporlama sistemi aracılığı ile görüntülenebilmektedir. Raporlanması istenen tarih ve saat aralığı seçildikten sonra “sorgula” tuşuna basıldığında istenilen tarih ve saat aralığındaki veriler ekrana gelmektedir. Veri tabanına değerler her 1 dakikada kaydedilmektedir. Eğer istenirse raporlar saatlik, günlük ve aylık olarak alınabilmektedir. Alınan raporlar istenirse Excel formatında kaydedilebilmekte veya yazıcıdan çıktı alınabilmektedir. Raporlama sistemi sayesinde kullanıcı bilgisayar başında bulunmadığı zamanların enerji değerlerini kolayca inceleyebilme olanağına sahip olacaktır. Sistemdeki enerji kesintisi süreleri hesaplanabilmektedir.

Veri tabanına kayıt ve sorgulama işlemlerinde SQL dili kullanılmıştır. Ayrıca veri tabanı dosyalarına bilgisayarın bağlı bulunduğu ağ sistemindeki farklı bir bilgisayardan ODBC ile ulaşılabilme olanağına sahiptir.



Şekil 8. Raporlama sistemi.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, bir işletme için enerji izleme sistemi donanımı ve yazılımı tasarlanmış, uygulaması gerçekleştirilmiştir. Enerji izleme sistemi işletme içi kritik noktadaki analizör ile ölçülen enerji parametrelerinin takibi, arşivlenmesi ve grafik ortama aktarılmasından ibarettir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak gerçekleştirilen bu sistemde hassasiyet, işlevsellik ve görsellik ön planda tutularak, Merlin Gerin PM710 model enerji analizörü kullanılmıştır. Ekran tasarımı DELPHI programlama dili kullanılarak özgün bir şekilde yapılmıştır. Raporlama sistemi olarak da işletmenin özel isteklerini karşılayabilen veri tabanına sahip bir izleme sistemi geliştirilmiştir.

Yapılan çalışma ile işletme akım, gerilim,  $\cos\phi$ , güç ve frekans değerlerindeki değişimler ve harmonikler izlenebilmektedir. Enerji analizöründen alınan veriler bilgisayarda veri tabanına aktarılmış ve kullanıcı enerji analizöründen alınan verileri saatlik, günlük aylık, yıllık gibi istediği tarih-saat aralığında görebilmektedir. Verilerin seri port üzerinden bilgisayara gönderilmesi her 100 ms'de bir gerçekleştirilmektedir. Bilgisayarın ekranı ise bu verileri 200 ms'de aralıklarla güncellemektedir. Yazılım ve donanımda yapılacak olan gerekli düzenlemelerle istenilen büyüklükte işletmenin enerjisinin izlenmesi mümkündür.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar 07/2007-01 kod numarası ile bu çalışmaya maddi destek veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

1. A. Livshitz, B. H. Chudnovsky, B. Bukengolts, B. A. Chudnovsky, Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference Denver, USA, (2005) 223.
2. P. K. Dash, S. K. Panda, A. C. Liew, B. Mishra, R. K. Jena, Electric Power Systems Research, 46 (1998) 11.
3. M. P. Jenkins The Institution of Electrical Engineers, IEE, London, (1995) 1.
4. F. J. Dorhofer, W.M. Heffington W.M, Electrical Energy Monitoring In an Industrial Plant, 16th Annual Industrial Energy Technology Conference, Texas, 1994.

5. W. L. Yao, C.H. Ku, *Electric Power Systems Research* , 64 (2003) 129.
6. J. G. Dorsey, D.P. Siewiorek, *Proceedings of the 6th International Symposium on Wearable Computers, USA, (2002)* 137.
7. T. Nagata, *IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, Canada, (2006)* 1.
8. Schneider Electric, *Merlin Gerin PM710 model energy analyzer data sheet, (2007)*.
9. M. Çömlekçi. *DELPHI 6 Uygulama ve Geliştirme Kılavuzu Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, (2002)*.
10. Y. Daşdemir, *Veritabanları & SQL :(Delphi 6 ile veritabanı uygulamaları geliştirme), (2002)*.