

# PIC TABANLI RS485 ÖLÇME VE KONTROL SİSTEMİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI

Seyit Ahmet İNAN  
Seyfettin ÇAKMAK

## ÖZET

PIC MIKROCHIP tarafından geniş uygulama alanlarına yönelik olarak üretilen mikrodenetleyici çiplerdir. Muhtelif hafıza ve özellikle birleşik devre şeklinde piyasada bol miktarda bulunmaktadır. Çalışmamızda PIC mikrodenetleyici kullanarak, endüstriyel amaçlara yönelik ölçme ve kontrol sistemi tasarlandı ve kontrol kartları yapıldı. Yapımı gerçekleştirilen her bir kontrol kartında 4 adet ADC “1mv ölçüm yapabilen Analog dijital Dönüştürücü”, 2 adet röle çıkışı “220 volt”, 2 adet optik yalıtımlı giriş ve LCD ekran bulunur. Bu kartların kendi aralarında ve PC ile haberleşmelerini gerçekleştirmek için RS485 MODBUS iletişim protokolü denilen haberleşme protokolü kullanıldı. Amaç doğrultusunda Mikrokontrolcü ve bilgisayar yazılımları yazıldı. Sistem 2 km ye kadar 3 telli izoleli kablo yardımıyla geniş arazide 4 adet node ile test edilerek denendi. Sisteme ait PC programları Visual basic 6 programlama dili kullanılarak kodlanarak yazıldı. Sistem ile uzun mesafedeki endüstriyel amaçlı ölçme ve kontrol işlemleri yapılır. Modüler olması sayesinde yeni eklentiler yapmak mümkündür. Ayrıca maliyetinin ülke şartlarında düşük ve üretilebilir olması açısından önemlidir. Özellikle sıcaklık nem basınç, ışık vb. gibi fiziksel değerlerin ölçülmesi ve kontrolü bu kartlar ile amaçlanmıştır.

## 1. GİRİŞ

Ölçme tekniği, evrende var olan olayları kontrol altına almanın ve yönetebilmenin temel bilimidir. Karşılaştırma yöntemlerine dayanır, fiziksel büyüklükleri temel alır. Fiziksel büyüklüklerin matematik ile tanımlanıp, kontrol edilmelerine imkân verir. Herkes öğrenimi esnasında veya hayatta sürekli ölçüm cihazları ile karşılaşır[1].

Otomatik Kontrol Sistemleri, ait olduğu sistemi insan müdahalesi gerektirmeksizin arzu edilen değerlerde tutmayı amaçlayan sistemlerdir. Oda sıcaklığını, ayarladığımız değerde sabit tutan klimalar otomatik kontrol sistemlerine örnek olarak gösterilebilir. Otomatik kontrol sistemleri mekanik prensiplere göre çalışabilecekleri gibi (örneğin araçlarda bulunan karbüratörler), programlanmış bir mikroişlemci tarafından da yönetilebilirler.

### Kontrol Tazına Göre Otomatik Kontrol Sistemleri

**Açık Çevrim Kontrol:** Bu çeşit kontrol sistemlerinde, sistemin mevcut durumuyla alakalı herhangi bir bilgi denetleyiciye gelmemektedir. Bunu, kadranı olmayan bir arabada, hızını saatte yüz kilometreye sabitlemek isteyen bir sürücüye benzetebiliriz. Sürücü, pedala belirli bir miktarda bastığında yüz kilometre hıza geleceğini tahmin etmektedir, lâkin aracın gerçek hızına dair kesin bir veriye sahip değildir.

**Kapalı Çevrim (Geri beslemeli) Kontrol:** Bu çeşit kontrol sistemlerinde denetleyiciye sensörler aracılığı ile sistemin mevcut durumu hakkında bilgi gönderilmekte (geri besleme) ve denetleyici çıkıştaki hataya bağlı olarak girişi düzeltmektedir. Yukarıdaki araba örneğine bir kadrân eklersek kapalı çevrim elde

ederiz. Sürücü kadrana bakarak hızı saatte yüz kilometrenin altına indiğinde gaza basabilir veya üzerine çıktığında gazdan ayağını çekebilir. Bu örnekte kadrana otomatik kontrol sistemlerindeki sensörlere karşılık gelmektedir[2].

Algılayıcılar ("duyurga" da denmektedir) fiziksel ortam ile endüstriyel amaçlı elektrik/elektronik cihazları birbirine bağlayan bir köprü görevi görürler. Bu cihazlar endüstriyel proses sürecinde kontrol, koruma ve görüntüleme gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler...

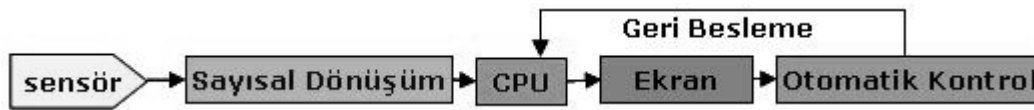
Günümüzde üretilmiş yüzlerce tip algılayıcıdan söz edilebilir. Mikro elektronik teknolojisindeki inanılmaz hızlı gelişmeler bu konuda her gün yeni bir buluş ya da yeni bir uygulama tipi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Teknik terminolojide Sensor ve Transducer terimleri birbirlerinin yerine sık sık kullanılan terimlerdir. Transducer genel olarak enerji dönüştürücü olarak tanımlanır. Sensor ise çeşitli enerji biçimlerini elektriksel enerjiye dönüştüren cihazlardır. Ancak 1969 yılında ISA (Instrument Society of America) bu iki terimi eş anlamlı olarak kabul etmiş ve "ölçülen fiziksel özellik, miktar ve koşulların kullanılabilir elektriksel miktara dönüştüren bir araç" olarak tanımlamıştır.

Algılayıcılarla ölçülen büyüklükler 6 gruba ayrılabilir. Bunlar;

- 1.Mekanik: Uzunluk, alan, miktar, kütsel akış, kuvvet, tork (moment), Basınç, Hız, İvme, Pozisyon, Ses dalgaboyu ve yoğunluğu
- 2.Termal: Sıcaklık, ısı akışı
- 3.Elektriksel: Voltaj, akım, sarj, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans
- 4.Manyetik: Alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik
- 5.Işıma: Yoğunluk, dalgaboyu, polarizasyon, faz, yansıtma, gönderme
- 6.Kimyasal: Yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı

Ölçme ve kontrol işlemlerinde sensörlerden alınan volt veya akım bilgisi ADC adı verilen analog dijital dönüştürücüden geçerek sayısal bir değere dönüştürülür. Sayısal değer Mikrodenetleyici tarafından bir değışkene aktarılarak ekranda gösterilir. Belirlenen mantıksal işlemler yapılarak gerekli olan ünite veya cihazların çalıştırılması gerçekleştirilir. Otomatik kontrol işlemi anında geri besleme yapılarak işlemlerin doğru ve hatasız şekilde kontrolü yapılır Şekil [1].



Şekil 1. Otomatik Kontrol

## 2. RS485 VE MODBUS İLETİŞİM PROTOKOLÜ

RS485: Standart 422A protokolü genişletilerek oluşturulmuş bir protokoldür. Bu protokol ile birlikte çalışabilen 32 adet alıcı vericinin tek bir kabloyla veri iletişimi sağlanabilir. RS485 protokolü kablodaki iletişim problemlerini ortadan kaldırmaktadır.

Modbus, programlanabilir mantık kontrolörleri (PLC) ile birlikte kullanmak için 1979 yılında Modicon tarafından yayınlanan bir seri iletişimler protokolüdür. Endüstride fiilen uygulanan bir standart iletişimler protokolü haline gelmiştir ve şimdi, bağlantı endüstriyel elektronik cihazlarının da çok

mümkün olmasına vesile olmuştur. Modbus'un, diğer iletişim protokollerinden daha fazla yaygın olarak kullanılmasının ana nedenleri şöyledir:

1. Açık bir şekilde yayınlanmış ve telif hakkı yoktur
2. Uygulama açısından nispeten kolay endüstriyel network

Modbus, aynı networke bağlı birçok cihaz arasında iletişime izin verir. Örneğin sıcaklık ve nemi ölçen ve sonuçları bir bilgisayara ileten bir sistem. Modbus daha çok, denetleyici bir bilgisayar ile denetleyici kontrol ve veri kazanım (SCADA, LabVIEW) sistemlerindeki bir uzak terminal ünitesi (RTU) sağlar.

Modbus protokolün sürümleri, seri port, Ethernet ve internet protokol suiti destekleyen diğer networkler için bulunur. Seri bağlantılar için, nümerik veri ve biraz farklı protokol ayrıntılarının farklı temsilleriyle iki değişik tür bulunur. Modbus RTU; verilerin kompakt ve çift olan bir temsilidir. Modbus ASCII, insanın okuyabileceği türdür ve daha ayrıntılıdır. Bu iki değişik tür de, seri iletişim kullanır. RTU formatı, bir çevrimsel fazlalık kontrolü sağlamasına sahip komutu/veriyi takip ederken ASCII formatı, bir uzunlamasına fazlalık kontrolü sağlaması kullanır. RTU değişkeni için yapılandırılan nodlar, ASCII için kurulan nodlarla, veya tersi, iletişim kurmayacaktır.

TCP/IP (örneğin Ethernet) üzerinden bağlantılar için, daha yakın zamanda ortaya çıkan Modbus/TCP mevcuttur, bir sağlama hesabına gerek duymaz.

Veri modeli ve fonksiyon çağrıları, 3 iletişim protokolü için de özdeştir; sadece kapsüllemesi farklıdır. Genişletilmiş bir sürüm, Modbus Plus (Modbus+ veya MB+) da ayrıca mevcuttur. Ama Modicon'a tescillidir. Hızlı HDLC'ye hakim olmak için adanmış bir yardımcı işlemciye gereksinimi vardır. 1Mbit/s'de çift kullanır ve her bir nodda trafo izolasyonu içerir. Nod, voltaj/seviye tetiklemesinden ziyade geçiş/kenar tetiklemesi sağlar. Özel ara yüzler, Modbus Plus'un bir bilgisayara bağlanmasını gerektirir, genellikle ISA (SA85), PCI veya PCMCIA için hazırlanmış bir kart. İletişim ve cihazlar

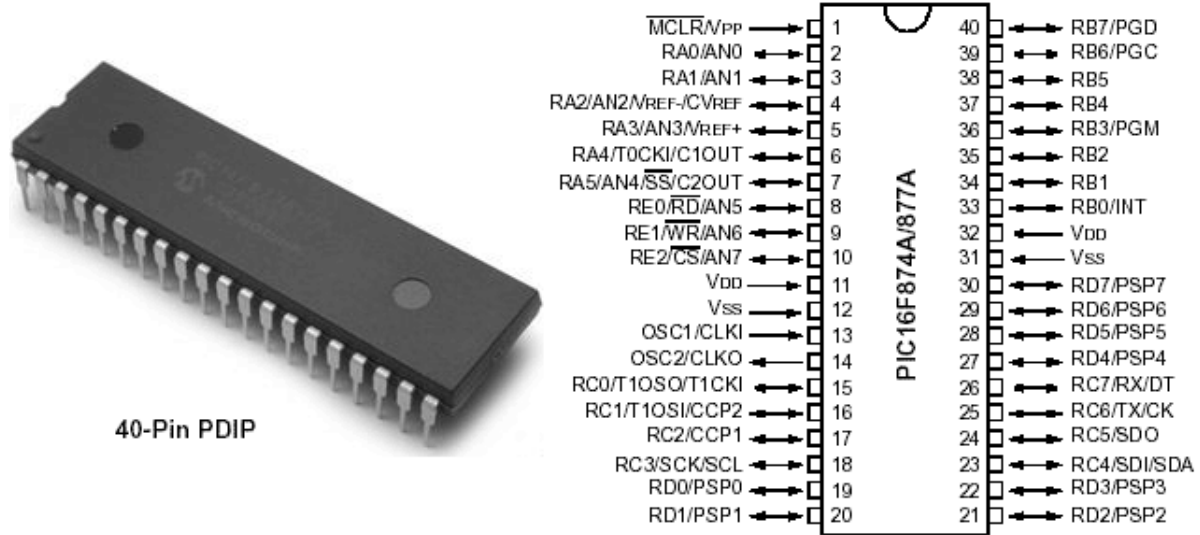
Modbus kullanarak iletişim kurmak için tasarlanan her bir cihaza, tek bir adres verilir. Seri ve MB+ networklerde nod atanır. Master, bir komutu başlatır. Ama ethernetette, herhangi bir cihaz, genellikle sadece bir master cihaz bunu yapmasına rağmen bir Modbus komutu gönderebilir. Bir Modbus komutu, onun için tasarlandığı cihazın Modbus adresini içerir. Diğer cihazların alabilmesine rağmen sadece tasarlanmış cihaz, komut üzerinde etkindir. Bütün Modbus komutları, bir komutun zarar görmediğini sağlamak için kontrol bilgisini içerir. Temel Modbus komutları, kayıtlarındaki bir veya birden fazla değeri geri göndermek için cihaza komut verebileceği gibi kayıtlardan birinde bir değer değişikliği, bir I/O port okuması veya kontrolü için bir RTU'ya talimat verebilir. Modbus'u destekleyen bir çok modem ve ağ geçidi vardır. Çok basit bir protokoldür ve sıkça kopyalanır. Onlardan bazıları, bu protokol için özellikle tasarlanmıştır. Farklı uygulamalar, kablolu, kablosuz iletişim ve hatta SMS veya GPRS de kullanır. Tasarımcının üstesinden gelmek zorunda olduğu genel sorunlar, yüksek dönme süresi ve zamanlama problemlerini içerir.

### 3. PIC MİKRODENETLEYİCİ

Ucuz ve tek bir çip'ten oluşan bilgisayara mikrodenetleyici denir. Tek çip bilgisayar, bir bilgisayar sisteminin içerisinde bulunan tüm chip'leri barındıran tümleşik devre chip'i (integrated circuit chip) demektir. Mikrodenetleyici içerisine yerleştirilen silikon parçalarının özellikleri bizim kullandığımız standart kişisel bilgisayarlardakine oldukça benzerdir. Mikrodenetleyici hakkında söylenebilecek en önemli şey, bir programı içerisinde depolayabilme ve daha sonra da çalıştırabilme yeteneğinin oluşudur. İşte bu yeteneği onu mikroşlemcilerden ayıran en önemli özelliğidir. Mikrodenetleyici içerisinde, bir CPU (central Processin Unit), RAM (Random Access Memory), ROM (Read Only Memory), IO (Input/Output) A/D (Analog to Digital) gibi konvertörler bulunur.

Oysa mikroişlemcili sistemde (Standart Pc'de olduğu gibi..) tüm bu yukarıda saydığımız parçalar ayrı chip'ler halinde anakart dediğimiz baskılı devre üzerine serpiştirilmiş şekilde bulunur. [5]

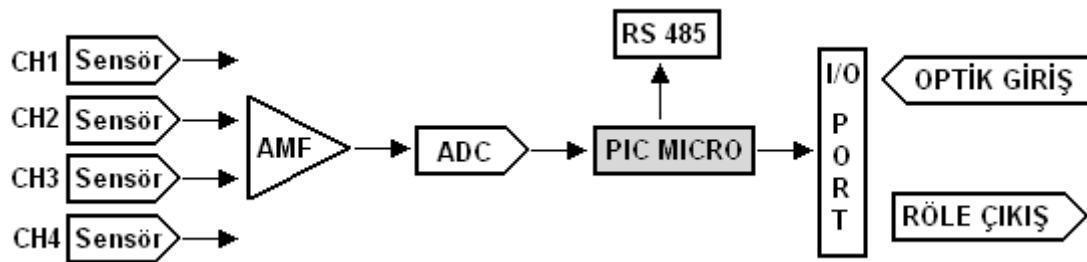
Ölçme ve kontrol sisteminin beynini oluşturan mikrodenetleyici; PIC 16F84A, 16F877A, 18FXX gibi isimlerde piyasada bulunan birleşik bir entegredir. Programlanabilir özelliği vardır. Şekil[2]



Şekil 2. PIC Mikrodenetleyici

Pic tabanlı ölçme ve kontrol sistemi donanım ve yazılım olmak üzere iki bölümde incelenir.

Ölçme ve kontrol işlemlerini gerçekleştirecek olan elektronik kart ve ölçüm sensörleri donanımı oluşturur. Ölçme ve kontrole yönelik kartın blok diyagramları; sensörler, amplifikatör "ön yükselteçler", ADC analog sayısal dönüştürücü, pic mikro RS485 iletişimi, optik giriş, röle çıkışı ve ek I/O portlarından oluşur Şekil [3].



Şekil 3. Blok Diyagram

#### 4. PIC TABANLI ÖLÇME VE KONTROL DEVRESİNİN TASARIMI

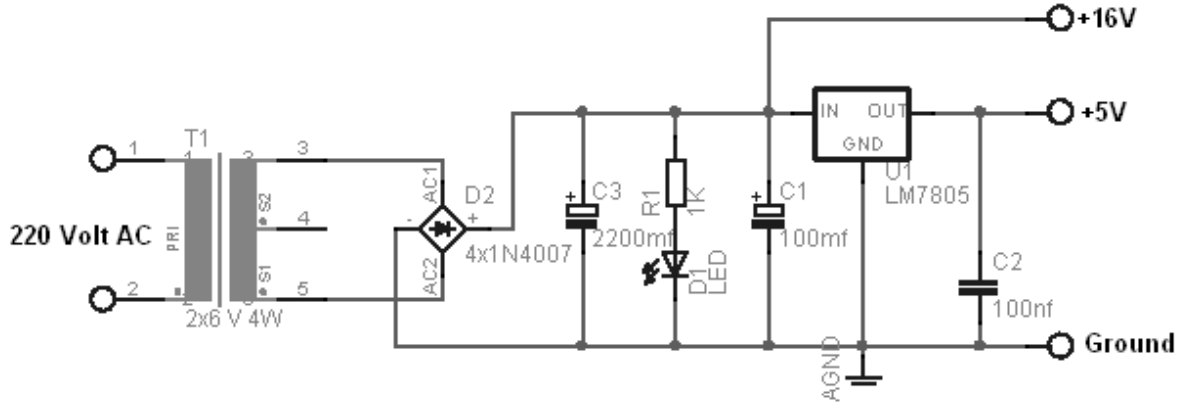
Ölçme ve kontrol sisteminde, ölçme işlemi sensörler aracılığı ile gerçekleştirilir. Sensörler; sıcaklık, nem, basınç, ivme, hız, hareket, vs gibi sensörler olabilir. Sistemde kullanılan pic mikrodenetleyicinin 10 bit olmasından dolayı 1mv hassasiyetine kadar ölçüm yapılabilir. Ölçüm hassasiyeti arttırılmak istenirse ilave ADC entegreleri kullanmak gereklidir. Ölçüm aralığı 0-1000 mv arasında sensörden

gelen analog sinyal bilgileri sistem tarafından güçlendirildikten “AMF” sonra sayısal değere dönüştürülerek ölçülür ve mikrodenetleyici hafızasında belirlenen değişkene aktarılır Şekil [4].



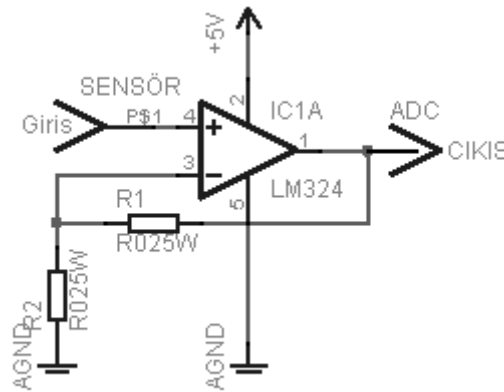
Şekil 4. Sıcaklık Sensörü

Pic mikrodenetleyicinin kararlı çalışabilmesi ve elektriksel gürültülerden etkilenmemesi için, kendisine ait güç kaynağı olmalıdır. Güç kaynağında kullanılacak olan transformatörün seçimi, sistem üzerindeki rölelerin ve elektronik devre elemanlarının çektiği güçlere göre yapılmalıdır. 2 Adet röle ve devre elemanları için 4W gücünde 2x6v luk bir trafo gerekir. Şekil [5].



Şekil 5. Güç Kaynağı Şeması

PIC mikrodenetleyicinin zayıf yönlerinden bir tanesi de bünyesinde bulundurduğu ADC nin “analog sayısal dönüştürücü” 10 bit gibi düşük hassasiyette olmasıdır. Çok hassas uygulamalar için harici 16 bit gibi ADC entegresi kullanmak gerekir. Pratik uygulamada 0.1 hassasiyetinde 0-100 derece arasındaki sıcaklık ölçümlerini yapmak mümkündür. Bunun için opamlardan oluşan basit bir ön kuvvetlendirici devresi yeterlidir. Devre giriş sinyalini 10 kat kuvvetlendirerek uygun 0-1000mv arasında hassasiyette ölçüm yapılmasını sağlar Şekil [6].

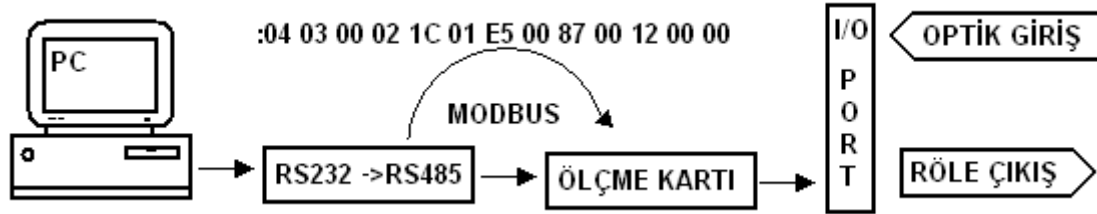


Şekil 6. AMF Ön Kuvvetlendirici

## 5. PC MODBUS HABERLEŞMESİ

Modbus iletişim protokolü ile gerekli olan set değerleri ve parametreleri RS485 kablolu iletişimi ile PC aracılığı ile aktarılır Şekil [7].

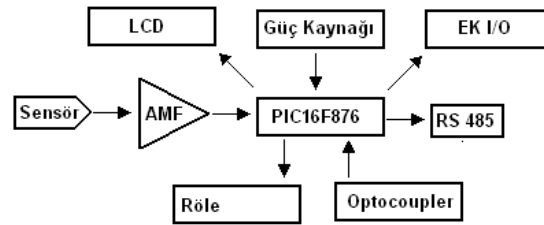
Modbus: 04 03 00 02 25 01 E7 00 81 00 13 00 00 şeklinde “:” ile başlayan sonrasında cihaz adresi, cihaz komutu, set deger adres ve parametrelerini içeren bir formattır.



Şekil 7. Blok Diyagram

Ölçüm sonuçlarının gözle görülebilmesi için sisteme LCD ekran takılmıştır. Bu sayede sistemin çalışması izlenir. Sistemde yüksek gerilimleri veya kontaktörleri sürebilmek amacıyla 2 adet 220 volt röle yerleştirilmiştir. Mikrodenetleyicide belirtilen mantıksal işlemlere bağlı olarak röleler açılıp kapanarak gerekli olan otomatik kontrolü gerçekleştirir.

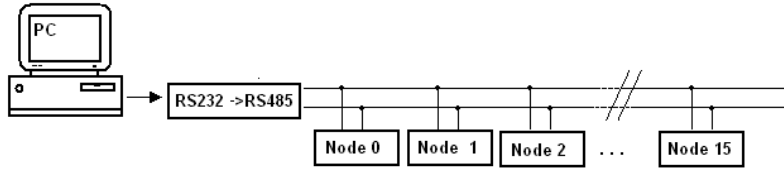
Örneğin sıcaklığın 50 °C olması istenen bir yerde, sisteme bağlanan sensörden gelen bilgiler doğrultusunda otomatik olarak bir ısıtıcı açılıp kapanabilir. Gerekli görüldüğü zaman RS485 iletişimi ile 50 derece olan set değeri istenen bir sıcaklık değeri ile değiştirilir Şekil [8].



Şekil 8. Ölçme ve Kontrol Sistemi Blok diyagramı

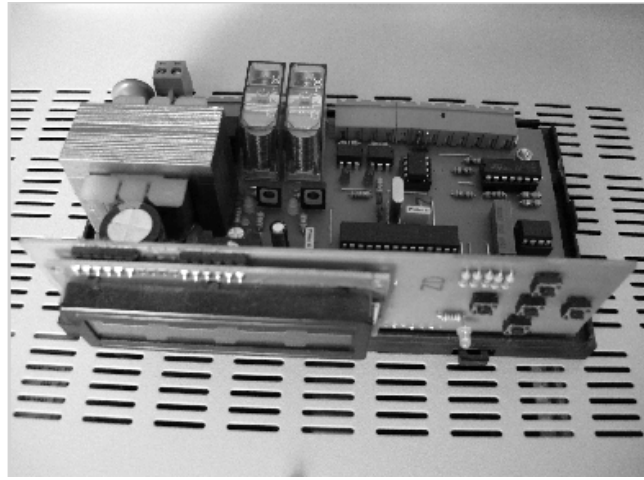
## 6. RS 485 NODLARI VE DEVRE KARTI ÖZELLİKLERİ

Ölçme ve kontrol kartı ilk çalıştırma anında 16 node adresini alır. Sisteme 16 adet 0-15 node adresleri ile 16 kart izoleli 3 telli kablo ile bağlanabilir. Sistemde bilgisayar tarafından gönderilen açma ve kapatma komutları yanında, geri besleme olarak optik giriş ve analog bilgilerde bilgisayara aktarılır. Kontrol kartlarından gelen digital ve analog bilgiler bilgisayarda incelenmek üzere veri tabanına kaydedilir Şekil [9].



**Şekil 9.** kontrol Kartı Nodları ve PC Bağlantısı

Yapımı gerçekleştirilmiş olan lcd ekranlı Pic tabanlı ölçme ve kontrol devresi, elektrik panolarına kolay montaj için ray montaj plastiği üzerine yerleştirilmiştir. En son şekliyle 2 adet Röle, 2 adet optik giriş, 4 adet 1mv hassasiyetinde 4 analog giriş, 64Kbyte lik eeprom, ve 8bit I/O genişleme portuna sahiptir. Aynı karttan 4 adet yapılarak 1 ile 4 node adresleri ile 2km lik telefon kablosu üzerinde 1200 baud hızında denemeler yapıldı Şekil [10].



**Şekil 10.** Ölçme ve Kontrol Sistemi Devre Kartı

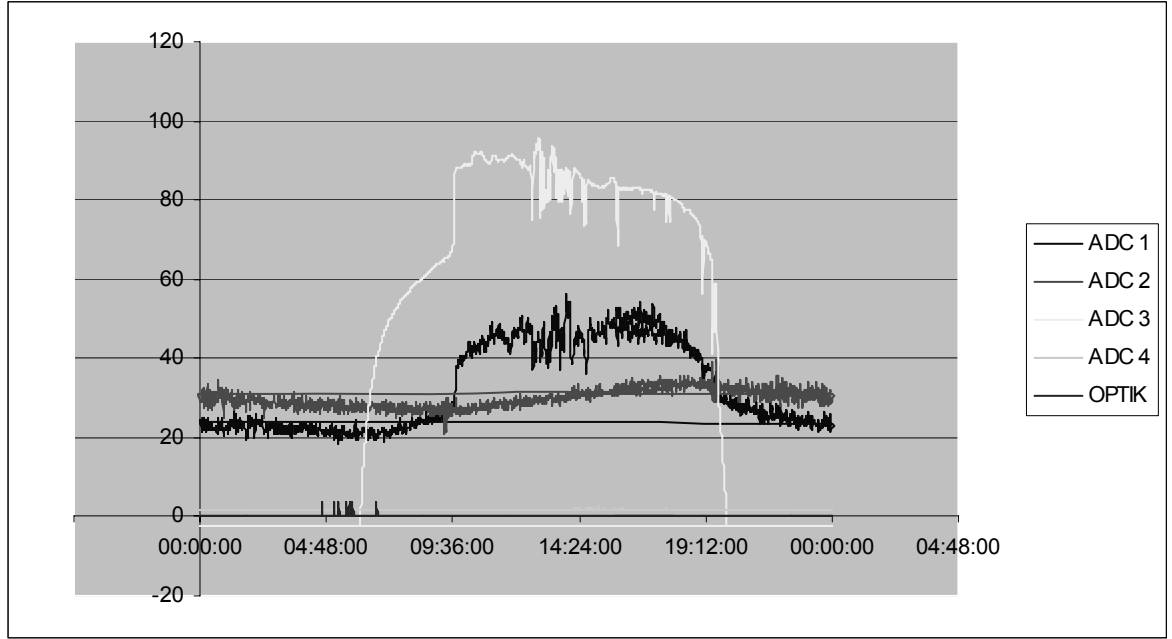
## 7. ÖLÇME SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

PC sabit diski üzerindeki veri Tabanına MS Excel hesap tablosu formatında sensör bilgileri kaydedilir. Bu sayede deneysel amaçlı veriler bilimsel açıdan incelenebilir. Örnekte ADC1 toprak üstü sıcaklığı, ADC2 30cm toprak altı sıcaklığı, ADC3 güneş aydınlık ve ADC4 piezzo basınç sensördür Şekil [11].

TARİH	SAAT	ADC 1	ADC 2	ADC 3	ADC 4	OPTİK
07.02.2008	15:45:01	47,8	33,3	15,5	2	0
07.02.2008	15:46:01	49,2	31,8	15,7	1,8	0
07.02.2008	15:47:00	49,8	33,1	15,9	1,8	0
07.02.2008	15:48:00	50,8	33,8	16,1	1,8	0
07.02.2008	15:49:00	52,7	32,5	16,3	1,8	0
07.02.2008	15:50:01	52,1	32	16,5	1,9	0

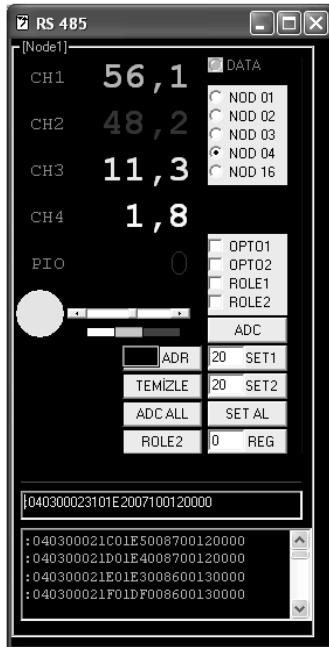
**Şekil 11.** Örnek veri Tabanı Görüntüsü

Sensörlerden gelen Veri tabanı dosyası grafik haline dönüştürüldüğü zaman, Toprak altı ve üstü sıcaklığı ile birlikte güneş aydınlatması arasındaki ilişki gözlemlenir Şekil [12].



Şekil 12. Örnek veri Tabanı Görüntüsü

## 8. ÖLÇME VE KONTROL SİSTEMİ PC YAZILIMI



Pic tabanlı ölçme ve kontrol sistemi PC olmadan belirtilen set değerleri ve parametreleri ile otomatik kontrolü gerçekleştirir. PC ile kumanda ve sensör verilerini görmek için, basic dili kullanılarak, sensör bilgilerinin RS232 seri port üzerinden alındığı bir program yazıldı. Kontrol kartlarından gelen bilgiler modbus iletişim protokolü ile PC ye aktarılır. Aktarma işlemi sırasında RS485/RS232 konvertör kullanılır. Sistemin çalışmasında manuel ve otomatik olmak üzere iki seçenek belirlenmiştir. Otomatik seçeneğinde kontrol kartları belirtilen set ve parametreler dahilinde çalışır. Manuel kontrol seçeneğinde istenilen cihazlar program aracılığı ile açılıp kapatılır. Şekil [13].

Şekil 13. Ölçme ve Kontrol Sistemi PC Kontrol Programı



## 9.SONUÇ

Ölçme ve kontrol günlük hayatta ve laboratuvarında kullandığımız çoğu cihazda mevcuttur. Özellikle deneysel dataların alınması amacıyla gerçekleştirilen bu sistemin modüler olması ve isteğe göre PLC türü programlanabilir olması önemlidir. Modbus iletişim protokolüyle diğer PLC cihazlarıyla haberleşmesi amaçlanmıştır. Üretimi Türkiye şartlarında mümkün olan kartın maliyetinin de düşük olması kullanım alanlarını arttırabilir. Özellikle sanayicinin ihtiyaç duyacağı temel düzeydeki ölçme ve kontrol işlemleri düşünülerek tasarlanmıştır. Uygulamada 2 km mesafede ve 1200 baud hızında geniş bir sahada bilgi alma ve kontrol amaçlı olarak kullanılabilir. Çalışmamızda test amaçlı olarak toprak altı ve üstü sıcaklığı ile güneş aydınlık miktarı deneysel olarak alınmış ve sistem 6 ay boyunca sürekli olarak çalıştırılarak denenmiştir. Daha ayrıntılı bilgi ve belgeler için <http://temagem.sdu.edu.tr> internet adresine bakınız.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96l%C3%A7me\\_tekni%C4%9Fi](http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96l%C3%A7me_tekni%C4%9Fi)
- [2] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Otomatik\\_Kontrol\\_Sistemleri](http://tr.wikipedia.org/wiki/Otomatik_Kontrol_Sistemleri)
- [3] <http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/sensorler/algilayici.htm>
- [4] <http://www.serihaberlesme.com/mod.html>
- [5] Pic Programlama, O.Altınbaşak,2002,s:12
- [6] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>

## ÖZGEÇMİŞLER

### Seyit Ahmet İNAN

1973 yılı Konya doğumludur. 1998 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2000 yılında Bilim Uzmanı ünvanını almıştır. 1998-2007 Yılları arasında SDÜ Bilgi İşlem merkezinde programcı olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri SDÜ Teknolojik Malzemeler Araştırma ve Uygulama Merkezinde Okutman olarak görev yapmaktadır. Endüstriyel elektronik, Bilgisayar programlama, Telemetri sistemleri, Uzaktan Kontrol ve sensör teknolojileri konularında çalışmalar yapmaktadır.

### Seyfettin ÇAKMAK

1961 yılı AYDIN doğumludur. 1983 yılında Fırat Üniversitesi. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1992 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1984-1994 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 1997 yılından beri SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katı Hal Fiziği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Şekil Hatırlamalı Alaşımlardaki Kristalografik Faz Dönüşümleri, Moleküler Dinamik Simulasyon, Gömülmüş Atom Yöntemi, Kane tipi yarıiletkenler, kuantum noktaları ve telleri, ferromagnetik şekil hafızalı alaşımlar konularında çalışmaktadır.