

JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNDE OTOMATİK KONTROL

A. Caner ŞENER
Gülden G. GÜNERHAN

ÖZET

Pek çok konutu içeren bölgesel ısıtma sistemlerinin manual kontrolü oldukça zordur. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde kuyulardan başlayarak son kullanıcıya kadar sistemin bir bütün olarak ele alınıp kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekir. Bu, jeotermal akışkanın enerjisinin optimum kullanımına ve sistemin tüm parametrelerinin sürekli gözlemlenebilmesine olanak vererek daha emniyetli ve daha ekonomik bir kullanım sağlar. Otomatik kontrol sistemi ve ölçülen verilerin depolanması, sistemin ve jeotermal sahanın sürekli gözlemlenmesi ile gerekli olduğunda hızlı müdahale ve saha yönetimine de olanak tanır. Önemli bir başka faktör ise daha az insan gücüne ihtiyaç duyulmasıdır. Otomatik kontrol sistemi tarafından toplanan sinyaller, alarmlar bir merkeze iletilerek gerekli olduğunda müdahale etmek üzere sadece burada eleman istihdam edilmesine olanak verir.

Kontrol sistemi, istenen çıktıyı verecek şekilde sistemin ölçülen değişkenlere bağlı olarak başlatılması, durdurulması ya da düzenlenmesini sağlar. Bu sistem, PLC (programmable logic controller) mikrokontrollara dayanan, ve bu kontrol sistemi ile verinin değerlendirilip depolandığı bilgisayarı kullanacak kişi arasında arayüz oluşturacak, veri alıp depolama, sisteme komut gönderme işlevlerini yerine getirecek bir software'dan oluşur. Bunlardan yaygın olarak kullanılan veri toplama ve kontrol sistemi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)'dir.

1. GİRİŞ

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde binalara verilen ısı enerjisinin miktarı, ısı değiştirgeçlerinden geçirilen jeotermal suyun debisi değiştirilerek ayarlanır. Isıtma sistemlerinde ısı yükü dış hava sıcaklığının bir fonksiyonu olup zamana göre değişkendir. Değişen dış hava şartlarına göre jeotermal akışkanın debisi artırılır veya azaltılır. Otomatik kontrolün uygulanmadığı sistemlerde jeotermal akışkanın debisini ayarlamak için her kuyunun başındaki pompaya bizzat gitmek gerekir. Birden fazla jeotermal kuyudan yararlanan ve kuyularla ısıtma bölgesel arasındaki mesafe büyük olan ısıtma sistemlerinde, sistemin ısı yükü değişikliklerine anında ve doğru cevap vermek oldukça zor ve zahmetli bir işlemdir. Ayrıca günün 24 saati hazır ve sisteme anında müdahale edebilecek personele ihtiyaç duyulur. Sistemin acil olarak durdurulması ve bütün jeotermal pompaların kapatılması durumunda ise yine büyük zorluklar başgösterebilir.

Yukarıda bahsedilen sistemin ısı ihtiyacının karşılanmasında çıkan zorlukların yanısıra jeotermal kuyuların güvenli bir şekilde işletilebilmesi, pompalarda ve frekans konvertörlerinde olan değişikliklere anında müdahale edilebilmesi için sistemin ana merkezde görüntülenmesi gerekir. Aksi takdirde üretim ve reenjeksiyon kuyularının sık aralıklarla ziyaret edilmesi gerekir.

Değişen ısı yüküne ve sistem arızalarına anında ve en iyi biçimde müdahale edebilen dinamik bir sistem ile, birbirinden uzak noktalarda bulunan gece gündüz aralıksız sorunlara müdahale etmeye çalışan operatörlerin işlettiği bir sistemi karşılaştırıldığında otomatik kontrolün kullanıldığı bir jeotermal ısıtma sisteminin, otomatik kontrolün kullanılmadığı bir sisteme göre çok daha verimli, ekonomik ve güvenli çalışacağı açıktır. Ayrıca sistem performansının değerlendirilebilmesi için gerekli olan verilerin en sağlıklı biçimde toplanabilmesi yine otomatik kontrol sistemleri sayesinde mümkün olabilmektedir.

Jeotermal elektrik santralleri kuyuların merkezden uzakta yer alması, merkezi ısıtma sistemleri ise hem kuyuların uzakta yer alabilmesi hem de kullanıcı dağıtım sistemi nedeni ile geniş alanlara yayılmışlardır. Bu tür geniş alanlara yayılmış sistemlerde merkez, bilgisayar destekli kontrol sistemleri kullanılır.

2. MERKEZİ BİLGİSAYAR DESTEKLİ KONTROL SİSTEMLERİ

Konvansiyonel kontrol ve bilgi iletişim sistemlerinin yetersiz kaldığı çok geniş sahaya yayılmış tesislerle, kayıt/kontrol döngüsü çok miktarda olan işletmeler için tasarlanmıştır.

Bilgisayar destekli bu sistem ağının başında kontrol odasında bulunan merkezi anabilgisayar ile onun emrinde çalışan çeşitli sayıda ara bilgisayarlar bulunmaktadır. Saha enstrümanlarından (transmitterler, çeviriciler vs.) alınan analog sinyaller ara bilgisayarlara gelmeden sayısal bilgi haline çevrilmekte, ana bilgisayarda değerlendirilmekte ve aynı yoldan yine sahaya fakat bu kez nihai kontrol elemanlarına (vana, klape, pompa vs) yollanmaktadır. Tüm bu bilgi iletimi fiber-optik ve/veya gelişmiş sinyalizasyon teknolojisi ile değerlendirilmektedir [1].

Jeotermal sistemlerde yaygın olarak kullanılan merkezi bilgisayar destekli kontrol sistemi SCADA'dır.

2.1. SCADA Nedir ?

SCADA, uzakta bulunan bir ya da birden fazla tesisten veri toplayan ve/veya kontrol komutları göndermeyi sağlayan sistemdir. SCADA, operatörün uzak mesafelerdeki tesisi ziyaret etmesi ya da tesiste istihdam edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırır.

SCADA, “**Supervisory Control And Data Acquisition**” kelimelerinin baş harflerinden oluşur. Türkçe'ye “**Denetimsel Kontrol Ve Veri Toplama**” olarak çevrilir [2,3,4].

2.2. SCADA Nerelerde Kullanılır?

SCADA sistemi; petrol ya da doğal gaz sahası, boru hattı, hidroelektrik santraller gibi çok geniş bir alana yayılmış proseslerde, merkezde duran operatöre bütün sistemi görme ve “set point” değişiklikleri yapma, vanaları ya da düğmeleri açıp kapama, alarmları gözleme ve ölçüm bilgilerini derleme gibi işlemleri merkezi bir noktadan yaparak sistemi kontrol altında tutma olanağı verir. SCADA sisteminin yararlılığı, sistemin büyüklüğü ve sistem elemanlarının birbirinden uzaklığı ile doğru orantılı olarak artar. Çünkü sistem büyüdükçe ve elemanlar birbirinden uzaklaştıkça sistemi kontrol etmek için daha çok iş gücü ve daha çok yol katetmek gerekir.

Bir diğer nokta, sistemin daha ekonomik ve daha emniyetli işletilmesinin garanti edilmesidir. Gözleme sistemi aracılığı ile prosesin durumu sürekli olarak gözlenir ve bu nedenle arıza ve acil durumlara müdahale çok hızlıdır.

Uzak mesafelerden toplanan tipik sinyaller; alarmlar, durum göstergeleri, analog değerlerdir. Bu sınırlı sayıdaki sinyal çeşidi ile sistem hakkında önemli ölçüde bilgi toplanabilir. Benzer şekilde, merkezden

uzaktaki sistem elemanlarına gönderilen sinyaller de, gönderilen ekipmandaki ayrık ikili bit (discrete binary bit) değişimleri ya da analog değerlerle sınırlıdır. Bir ayrık ikili bit değişimine örnek, bir motoru durdurmak için gönderilen bir komuttur. Analog değere bir örnek ise bir vanayı %70 oranında kapayan bir komut olabilir [2,4].

3. SCADA, GENEL BİLGİLER

Bölgesel ısıtma sistemlerinde otomatik kontrol uygulaması, sisteme sensörler ve kontrol cihazları yerleştirilmesi ve bunları bir programlanabilir kontrolcüye (PLC, Programmable Logic Controller) bağlanması ile gerçekleştirilebilir.

İşletmenin bir PLC'ye bağlanması ile işletmede otomatik kontrole geçilir fakat PLC'nin, komut alacağı ve işletmenin durumunun kolayca anlaşılabilir bir formda sergilendiği ekrandan takip eden operatörlere bağlanmış olması gerekir. Bu MMI (insan-makina arayüzü, man-machine interface) olarak adlandırılır. MMI, kullanıcı dostu grafik bir arayüz olmalı ve operatörün görevini verimli bir şekilde yapmasını sağlamalıdır. Şekil 1'de bir jeotermal bölgesel ısıtma sistemi otomatik kontrol sistemi şematik olarak verilmiştir [2,3].

3.1. Arıza Gözleme ve Sistem Bileşenlerinin Korunumu

Bir işletmede PLC kullanmanın pek çok avantajı vardır. Bir PLC, operatörün dikkatini bir alarm durumuna ya da bir arızaya çeker. Çoğu endüstriyel ekipmanlar ya belli bir işletme zamanı sonunda ya da belli sayıdaki operasyon sonunda periyodik bakım gerektirir. Bu nedenle PLC, bakım analizi takibi için bir olay/alarm logu geliştirilmesini gerektirir. Konvansiyonel kayıt metodları pahalıdır ve işletmesi zordur.

Bir diğer problem, herhangi bir arızanın, insanların sakatlanmasına, ekipman hasarına ya da çevresel etkiye yol açmasıdır. Bunu önlemek için de prosesin koruyucu bir sistemle donatılması gerekir. Koruyucu enstrümanlar direkt ekipmana bağlıdır ve eğer PLC'de bir arıza varsa manual ya da otomatik olarak devreye geçebilirler.

3.2. SCADA MMI İle Veri Toplama

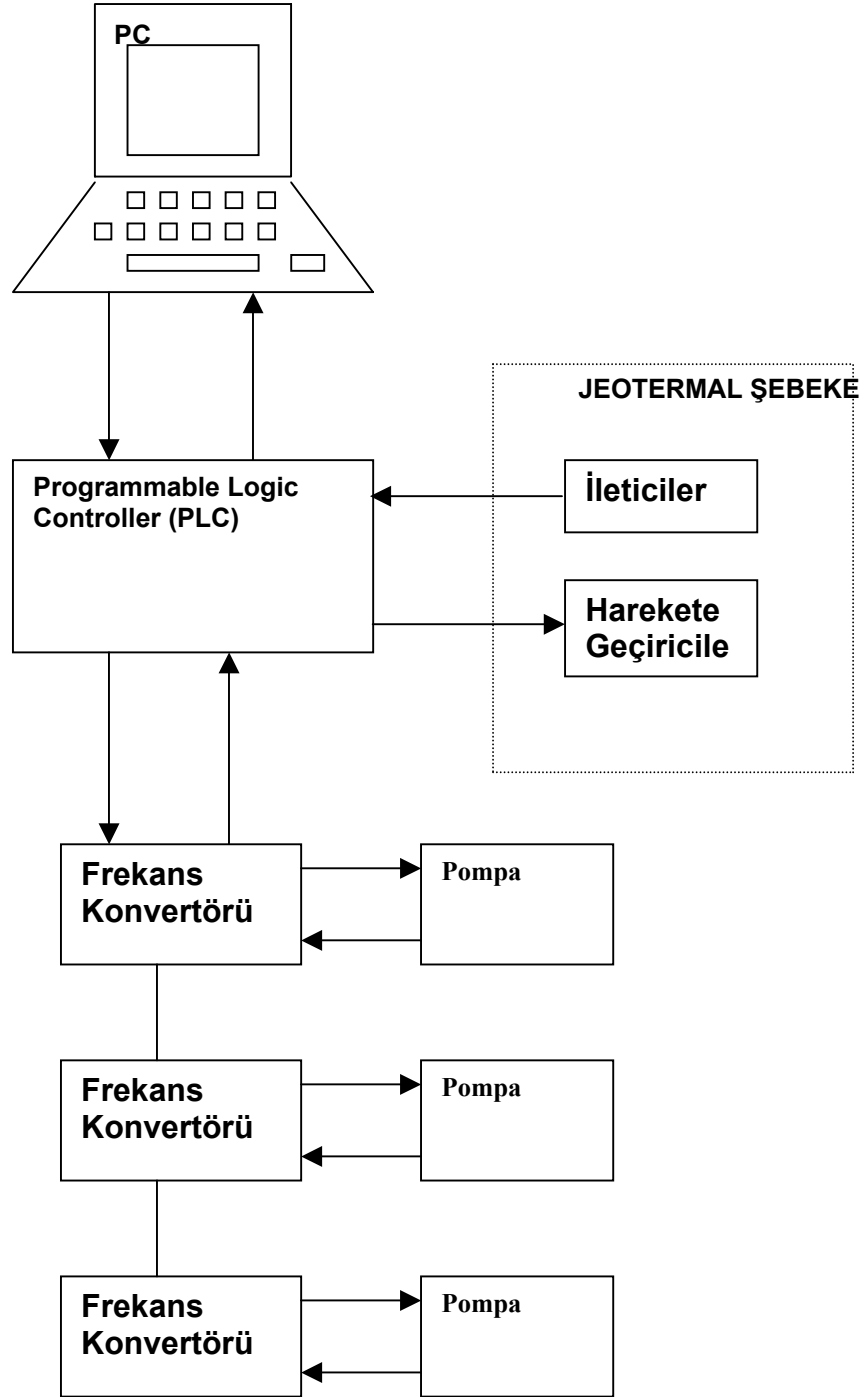
SCADA, bir kullanıcının bir ya da birden fazla uzak tesisten veri toplaması ve bu tesislere kontrol komutları göndermesini sağlayan bir teknolojidir. Bunun anlamı SCADA'nın iki yönlü bir sistem olduğudur. Sistemi sadece gözlemek değil, kontrol etmek de mümkündür.

MMI, SCADA sisteminden operatöre, operatörden SCADA'ya giden bilgi transferinde bir kesişme noktasıdır. Alarmlar, durumlar, grafikler ve trendler gibi aynı anda gözlenmesi gereken pek çok parametre mevcuttur. Ekranda görülebilecek resim çok kompleks olamayacağından dolayı fonksiyonlarına bağlı olarak gruplandırılırlar.

Kontrol değişim ekranları genellikle çok basittir. Kontrol fonksiyonları bir mouse aracılığı ile hareket ettirilen kursör yardımıyla değiştirilebilir. Hız, seviye, debi gibi düzenlemeler uygun değer girilmesi ile gerçekleştirilir.

Durum ekranları, süregelen kontrol komutları ile ilgili durum değişikliklerini, ölçülen değerleri ve kontrol edilen tüm ekipmanların durumunu gözlemek için kullanılır. Seri halinde iyi dizayn edilmiş durum ekranları, operatörün tesiste bir elektronik gezinti yapmasını ve bilgi edinmesini sağlar. Şekil 2'de

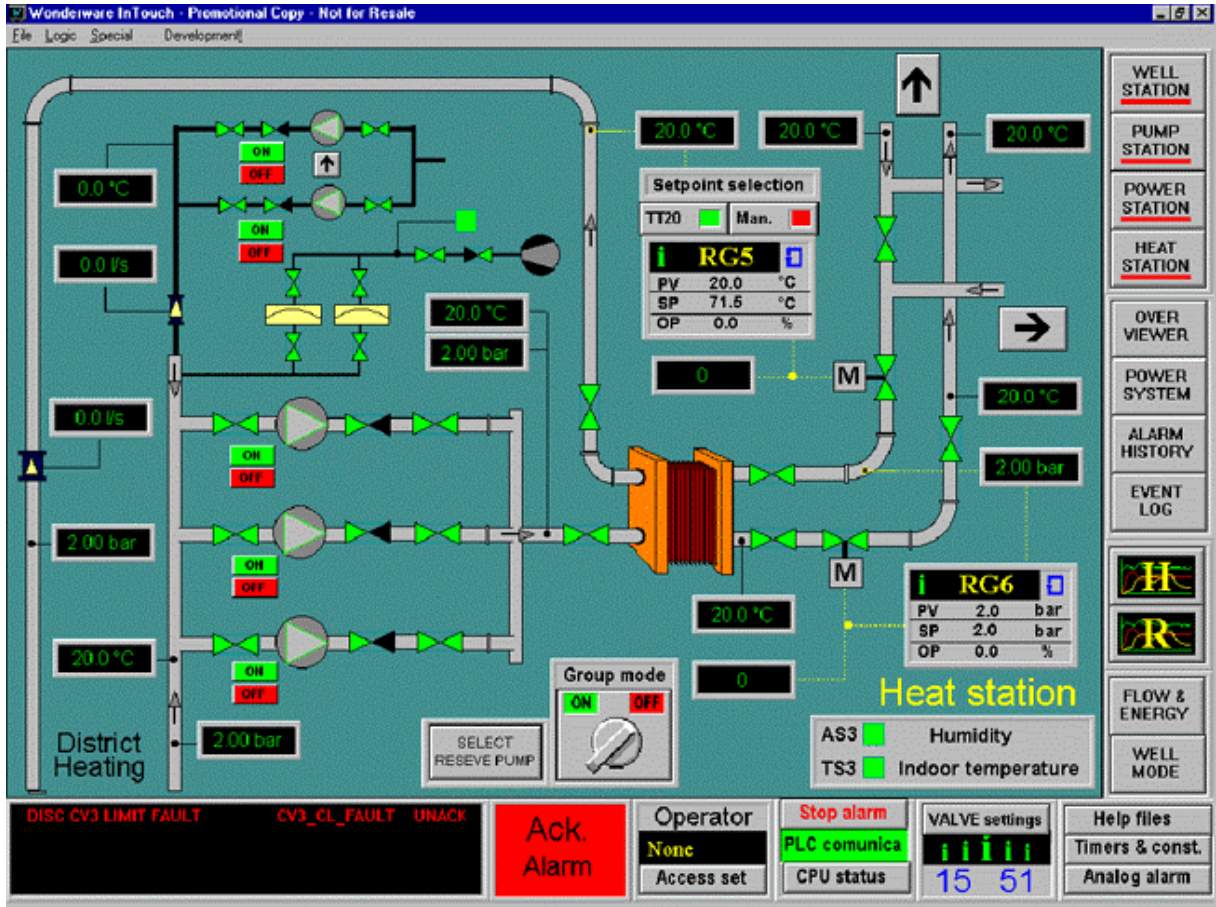
Oradea Üniversitesi, Romanya Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi ısıtma merkezine ait SCADA ekranı, Şekil 3'de ise Tanggu, Çin Bölgesel Isıtma Sistemi pompa istasyonu ekranı verilmiştir [5].



Şekil 1. Bir jeotermal bölgesel ısıtma sistemi için merkezi otomatik kontrol sistemi, şematik.

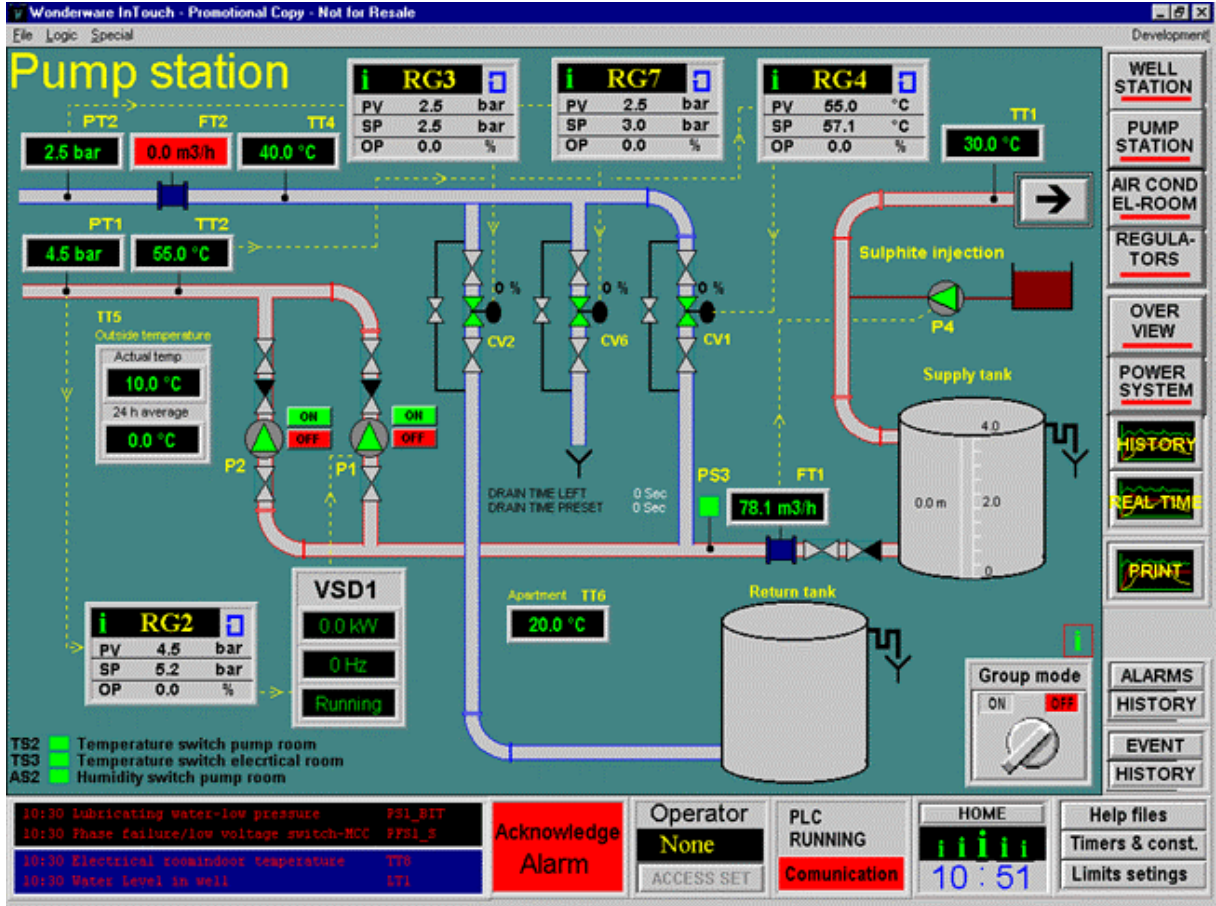
SCADA MMI, prostedeki önemli grafikleri ve trendleri sağlar ki bunlar herhangi bir sunum yönteminden daha etkilidir. Bunun yanısıra SCADA, alarm logu, iletişim raporları gibi çeşitli raporlar da sağlar. Bunlardan bazıları belirli zamanlarda otomatik olarak (günlük iletişim raporları, proses bakım ihtiyaçları detay raporları), diğerleri sadece istendiğinde (özel alarm raporu, son operasyon) print edilir. Bir printer sadece alarm loglarını print etmeye ayrılmıştır.

İşletmenin sürekliliğini sağlamak ve durduğunda hızla işletmeye almak, PLC ve SCADA sistemlerinin kurulmasını gerektiren iki önemli nedendir. Kazara olabilecek değişiklikler ve müdahaleler için SCADA; password, koşullu erişim gibi emniyet tedbirleri getirir ve sadece yetkili kişilerin değişiklik yapmasına izin verilir [2].



Screen picture from the SCADA system

Şekil 2. Oradea Üniversitesi, Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi ısı merkezi SCADA ekranı, Romanya [5].



Şekil 3. Tanggu Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi, pompa istasyonu SCADA ekranı, Çin [5].

3.3. Sistemin Uygulanması

Kontrol sisteminin yapısı temel olarak şu parçalardan oluşur: sensörler, kontrol cihazları, PLC'ler ve SCADA kullanıcı arayüzü. SCADA sistemi PLC'nin hafızasında depolanan veriler temelinde çalışır. Bu nedenle, sistemi kurmada yapılacak ilk iş verileri PLC içinde hazırlamak, yani SCADA tarafından kullanılan her bir veri için PLC hafızasında yer ayrılmasıdır.

SCADA'nın aynı zamanda PLC ile iletişim içerisinde olması gerekir. Böylece PLC hafızasına/hafızasından veri okumak/yazmak mümkün olur. Bu da, seri iletişime olanak sağlayacak ve iletişim protokolünü kontrol edecek sürücünün kurulması ile mümkün olabilir.

Daha sonra bir picture editor kullanılarak SCADA ekranları gerçekleştirilir. Bunlar sistemin şematik çizimleridir ve ilgilenilen bütün girdi ve çıktı referanslarını içerir. Alarm ekranı için alarm metinleri belirlenir. Tüm trend eğrileri ve tarihsel diyagramlar da burada gerçekleştirilir.

SCADA sistemi birkaç temel ekrandan oluşur: Kuyu istasyonunun genel bir görünümü, pompa istasyonunun genel bir görünümü, ısı merkezinin genel bir görünümü, tüm alarmların durumunu (on/off), uyarıları ve tüm analog değerlerin trend eğrilerini gösteren ekranlar [2,3].

4. OTOMATİK KONTROL FORMLARI

Bu bölümde otomatik kontrol ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

Otomatik kontrol döngüsünde kontrol edici blok yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı set değeri etrafında çalışması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir. Prosesin gerektirdiği hassasiyetle çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol formları vardır.

Bunlar;

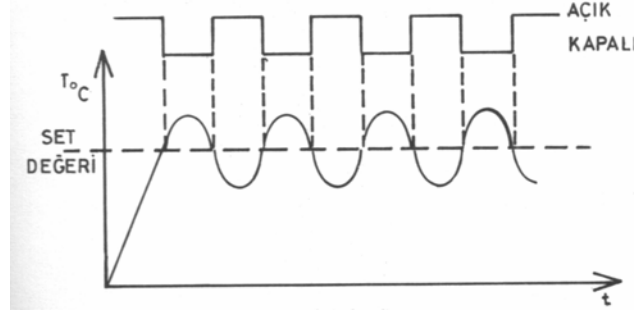
1. Açık-kapalı (on-off) kontrol
2. Oransal kontrol (P)
3. Oransal+İntegral kontrol (P+I)
4. Oransal+Türevsel kontrol (P+D)
5. Oransal+İntegral+Türevsel kontrol (P+I+D)
6. Zaman oransal (time proportioning)

kontrol formlarıdır.

4.1. Açık-Kapalı Kontrol (on-off)

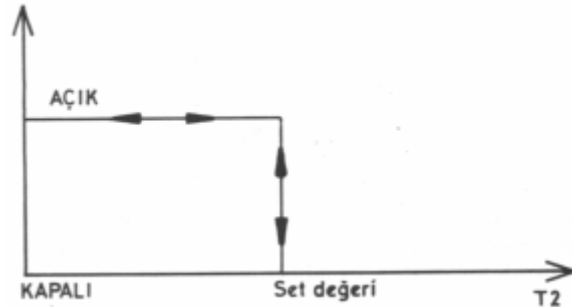
Açık-kapalı kontrol cihazı set değeri üstünde veya altında ayar değişkenini açar veya kapar. Kontrol cihazının çıkışı iki konumludur; ya tamamen açık, ya da tamamen kapalıdır.

Açık-kapalı kontrolde, kontrol altında tutulan değişken örneğin sıcaklık, sürekli salınım halindedir. Set değerinin etrafında salınır. Bu salınım tepeden tepeye değişim ve salınım sıklığı proses karakteristiklerine bağlıdır. Şekil 4'de açık-kapalı kontrol cihazı ile kontrol edilen bir sistemin sıcaklık-zaman eğrisi görülmektedir.



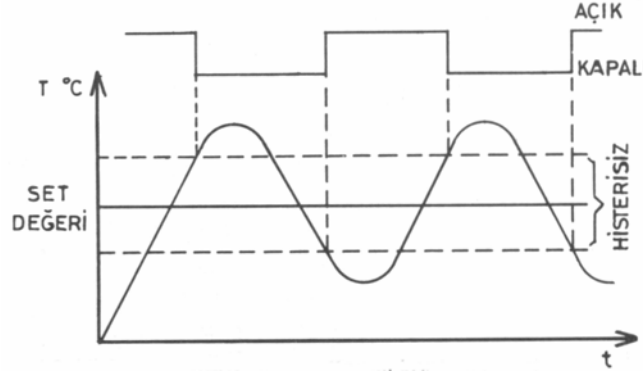
Şekil 4. Açık-kapalı kontrol (ideal).

Bu tip bir kontrolün ideal transfer eğrisi Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. İdeal açık-kapalı kontrol transfer eğrisi.

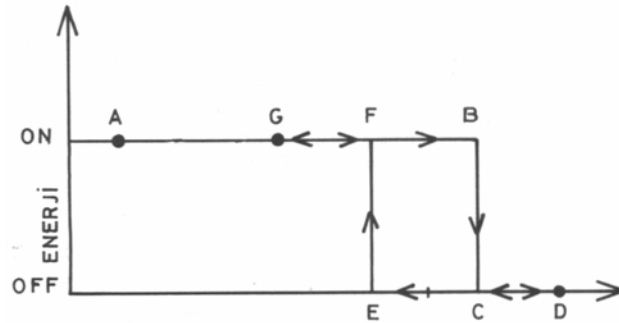
Ancak pratikte, endüstriyel sistemlerde bu tip ideal bir açık-kapalı kontrol sistemi kullanılmaz. Prosesteki bozucu faktörler ve elektriksel gürültü nedeniyle, set değeri geçişleri bu şekilde tek noktada olacak olursa sistem osilasyona geçer ve devamlı set değeri etrafında sık aralıklı açma kapama yapar. Özellikle bu durum son kontrol elemanlarının çok kısa sürede tahrip olmasına neden olur. Bu durumu önlemek için set değeri geçişlerinde "histerisiz" ya da sabit bant oluşturulur. Şekil 6'de histerisizli ya da sabit bantlı açık-kapalı kontrol eğrisi görülmektedir.



Şekil 6. Histerisizli açık-kapalı kontrol eğrisi.

Bu eğriden de anlaşılacağı üzere sıcaklık yükselirken, set değerini geçtiği anda enerji kesilmez, belli bir değer kadar yükselir ve o sabit değerden sonra kapanır. Sıcaklık düşmeye başlar, set değerine geldiği anda enerji açılmaz, set değerinin etrafında sabit bir sıcaklık bandı vardır. Bu bandın genişliği ya da darlığı tamamen prosesin gerektirdiği kadar olmalıdır.

Şekil 7 ise histerisizli açık-kapalı kontrol formu transfer eğrisini göstermektedir.

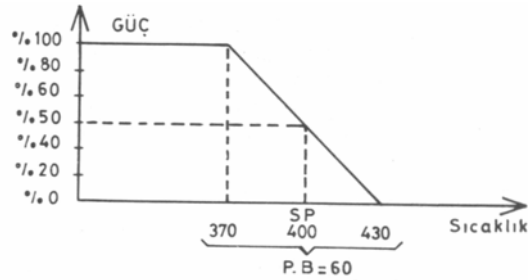


Şekil 7. Histerisizli açık-kapalı kontrol transfer eğrisi.

Isıtıcıya enerji verilmesini takiben sıcaklık yükselmeye başlar. G, F ve set değerinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Sıcaklık B noktasına geldiğinde ısıtıcının enerjisi kesilecektir. C noktasından, D noktasına kadar sıcaklık kendi kendine bir miktar yükselip tekrar düşecek, C noktasında ve set değerinde ısıtıcı kapalı, ancak E noktasının altına düştüğü anda ısıtıcının enerjisi verilecektir. F noktasından G noktasına kadar sıcaklık, ısıtıcı açık olmasına rağmen kendi kendine düşüşe devam edip, G noktasından sonra tekrar bir önceki şekilde kontrol fonksiyonuna devam edecektir. Burada sabit band F ve B veya E ve C arasındaki sıcaklık fark değeridir. Her ne kadar açık-kapalı kontrol formu sıcaklık değişkeni ile incelendiyse de, sıcaklık değişkeni yerine basınç, seviye, debi gibi değişkenler de düşünülebilir. Sistemlerde en yaygın olarak açık-kapalı kontrol kullanılmasına rağmen bu kontrol formunun yeterli olmadığı proseslerde bir üst kontrol formu olan oransal kontrole geçilir.

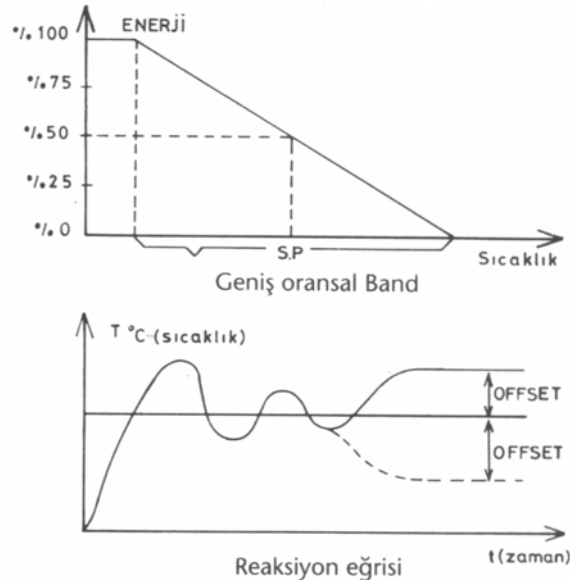
4.2. Oransal Kontrol (P)

Oransal kontrolde kontrol cihazı prosesin talep ettiği enerjiyi sürekli olarak ayar değişkenini ayarlayarak verir. Gereklinin duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge vardır. Elektrik enerjisi kullanılarak ısıtma yapılan bir proseste, oransal kontrol cihazı ısıtıcının elektrik enerjisini, prosesin sıcaklığını set edilen değerde tutabilecek kadar, prosesin gereksinim duyduğu kadar verir. Enerjisinin %0'dan %100'e kadar ayarlanabildiği, oransal kontrol yapılabilen sıcaklık aralığına oransal band denir. Genel olarak oransal band cihazın tam skala (span) değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır. Örneğin 1200°C'lik skalası olan bir cihazda %5'lik bir oransal band demek $0.05 \times 1200^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$ bir sıcaklık aralığı demektir. Bu 60°C'lik aralığın 30°C'si set değerin üzerinde 30°C'si set değerinin altında yer alır ve bu kontrol cihazı 60°C'lik aralıkta oransal kontrol yapar. Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi.

Set değeri 400°C'ye ayarlanan, %5 oransal band verilen bir oransal kontrol cihazında 370°C ve 430°C'ler bandın uç noktalarıdır. Kontrol cihazı düşük sıcaklıklardan başlamak üzere 370°C'ye gelinceye kadar ısıtıcılara %100 enerji verilir, yani enerji tamamen açıktır. 370°C'den itibaren set değeri olan 400°C'ye kadar sıcaklık yükselirken ısıtıcıya verilen enerji yavaş yavaş kısılır. Set değerinde sisteme %50 enerji verilir. Eğer sıcaklık set değerini geçip yükselmeye devam edecek olursa 430°C'ye kadar enerji giderek kısılır ve 430°C'nin üzerine geçtiği takdirde artık enerji tamamen kapatılır. Yani sisteme %0 enerji verilir. Sıcaklık düşüşünde ise anlatılanların tam tersi olacaktır. Oransal band örneğin %2'ye düşürüldüğü takdirde; $0.02 \times 1200^\circ\text{C} = 24^\circ\text{C}$, alt ve üst değerler 412°C ve 388°C olacaktır. Değişik proseslerde ve değişik şartlarda duruma en uygun oransal band seçilerek oransal kontrol yapılır. Aynı sistemde geniş ve dar, iki farklı oransal banda örnek alalım. Şekil 9'da geniş oransal band seçilmiştir. Bu seçilen banda göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmiştir.



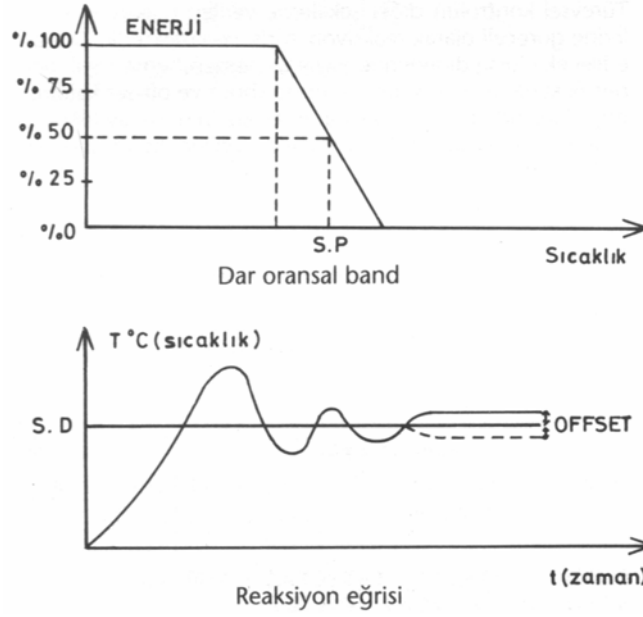
Şekil 9. Geniş oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Geniş seçilmiş bandda, küçük oranda enerji artışı büyük sıcaklık artışına sebep olur veya, küçük oranda enerji düşüşü büyük bir sıcaklık düşüşüne sebep olur. Şekil 10'da seçilen dar oransal bandda ise küçük bir sıcaklık artışı veya düşüşü sağlamak için büyük oranda enerji artışı veya düşüşü yapmak gerekir. Bu bandı giderek daraltıp sıfırlayacak olursak, bu takdirde oransal kontrol cihazı açık-kapalı kontrol cihazı gibi çalışacaktır. "Oransal band" birçok proseste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde "kazanç" tanımı kullanılmaktadır.

Oransal band ve kontrol cihazı kazancı arasındaki bağlantı aşağıdaki gibidir.

$$\text{Kazanç} = \%100 / \% \text{ Oransal Band}$$

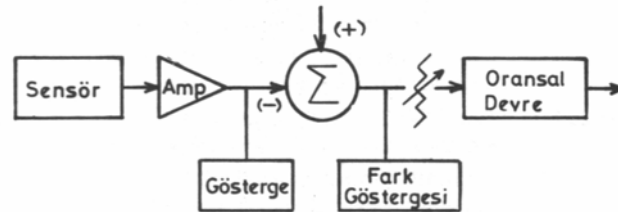
Böylece, görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır.



Şekil 10. Dar oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Oransal kontrolü blok şemalar ile açıklayacak olursak,

Şekil 11'de görüldüğü üzere, sensör yardımıyla algılanan sıcaklık sinyali ortam sıcaklık kompensasyonu yapıldıktan sonra yükseltici bir devreden geçerek set değeri ile karşılaştırılır. İki arasındaki fark alınarak hata değeri veya fark değeri bulunur. Eğer bu değer pozitif ise proses set değerinin altında, negatif ise proses set değerinin üzerindedir. Fark sıfır ise proses set değerindedir.



Şekil 11. Oransal kontrol blok şeması.

Fark değeri oransal kontrol devresinden geçerek uygun çıkış formuna gelir. Fark değeri sıfır olduğu anda oransal çıkış %50'dir. Yani set değerinde çalışıyor demektir. %50'lik çıkışı koruyup prosesi tam set değerinde tutmak zordur. Denge durumuna gelinceye kadar sıcaklık değişimi olması, hatta sıcaklık değeri ile set değeri arasında belli bir fark kalması oransal kontrolün en belirgin özelliğidir.

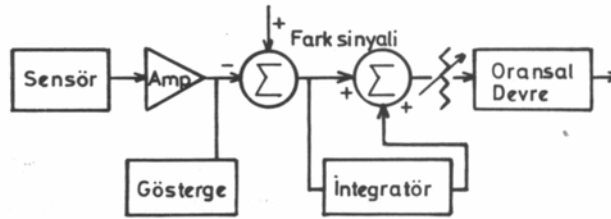
Set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı sıcaklık arasındaki farka off-set denir. Off-set'i azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi oransal band küçüldükçe, açık-kapalı kontrollerle yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir. Geniş oransal bandda off-set'in büyük olacağı düşünülerek prosese en uygun oransal bandın seçilmesi gerekir. Şekil 9 ve Şekil 10 geniş ve dar oransal bandın göreceli karşılaştırılmasıdır.

Sıcaklık yükselir, birkaç kere set değeri etrafında salınım yaptıktan sonra set değerinin üzerinde veya altında sabit bir sıcaklık farkı ile gelip oturur. Off-set artı veya eksi olabilir. Bir proseste tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra örneğin, artı oluşan off-set değeri proseste birkaç küçük değişiklik olması ile eksi değere gidebilir veya artı olarak yükselebilir.

4.3. Oransal+İntegral Kontrol (PI)

Oransal kontrolde oluşan off-set, manual veya otomatik olarak kaldırılabilir. Otomatik resetleme için kontrol cihazı, elektronik integratör devresi kullanılır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasında fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal band kaydırılmış olur. Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses sıcaklığı set değerine oturtulur. İntegratör devresi, gerekli enerji değişikliğine set değeri ile ölçülen değer arasında fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde bazı değişiklikler olup, sıcaklık değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkiyi gösterir. Şekil 12'de oransal+integral kontrol formu blok şema halinde verilmektedir. Ayrıca off-seti kalkmış reaksiyon eğrisi de verilmektedir.

Oransal+integral kontrolün en belirgin özelliği sistemin sıcaklığı ilk başlatmada set değerini geçer, önemli bir miktar yükselme yapar (overshoot). Set değeri etrafında bir-iki salınım yaptıktan sonra set değerine oturur.



Oransal + İntegral kontrol Blok şeması

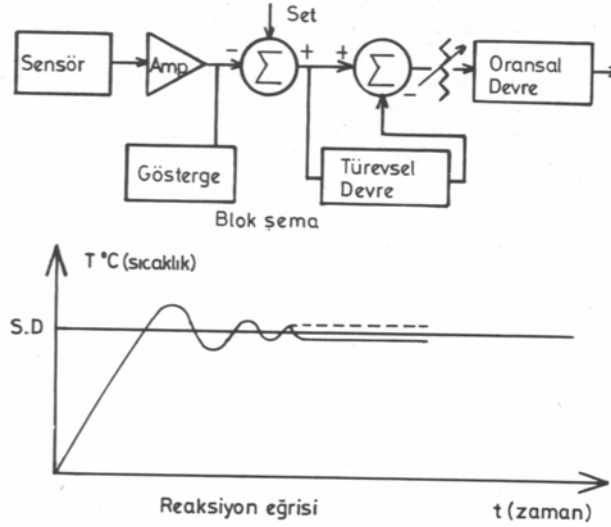


Şekil 12. Oransal+integral kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi.

4.4. Oransal+Türevsel Kontrol (PD)

Oransal kontrolde oluşan off-set, oransal+türevsel kontrol ile de kaldırılmaya çalışılabilir. Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu overshoot-undershoot'ları azaltmak içindir. Overshoot ve undershoot'lar azalırken bir miktar off-set kalabilir.

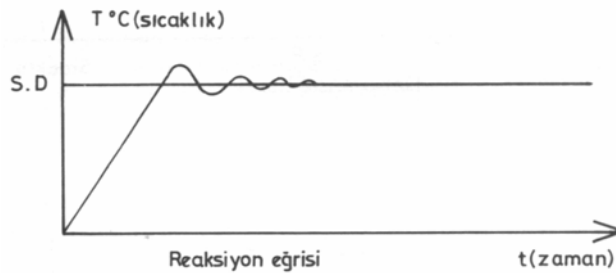
Oransal+türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyali elektronik türev devresine gider. Türevi alınan fark sinyali tekrar fark sinyali ile toplanır oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur. Şekil 13, blok şema halinde oransal+türevsel kontrolü göstermektedir. Ayrıca Şekil 12 ile göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. Görüldüğü gibi overshoot ve undershoot'lar daha azdır. Türevsel etki düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterir.



Şekil 13. Oransal+türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi.

4.5. Oransal+İntegral+Türevsel Kontrol (PID)

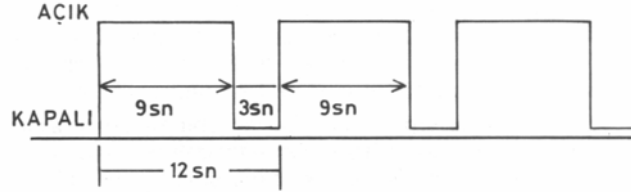
Kontrolü güç, karmaşık sistemlerde oransal kontrol, oransal+türevsel, oransal+integral kontrolün yeterli olmadığı proseslerde oransal+integral+türevsel kontrol tercih edilmelidir. Oransal kontrolde oluşan off-set, oransal+integral kontrol ile giderilir. Ancak, meydana gelen overshoot'lar bu kontrole türevsel etkinin de eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen kaldırılır. Şekil 14'de oransal+integral+türevsel kontrolün diğer şekillerde verile reaksiyon eğrilerine göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. Diğerlerine oranla hemen hemen yok denecek kadar az overshoot ve undershoot ve off-set kaldırılmış durumdadır. P, I, D parametrelerinin iyi ayarlanıp ayarlanmamasına bağlı olarak elde edilen kontrol eğrisi değişebilir.



Şekil 14. Oransal+integral+türevsel kontrol reaksiyon eğrisi.

4.6. Zaman Oransal Kontrol (time proportioning control)

Oransal kontrol formları içinde özellikle elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerde en yaygın kullanılan kontrol formlarından olan oransal kontrolde enerji yüke belli bir periyodun yüzdesi olarak verilir. Şekil 15'de görüldüğü gibi 12 saniyelik bir periyotta sisteme 9 saniye enerji veriliyor, 3 saniye kesiliyor. Bunun anlamı, sisteme 12 saniye'lik periyodun %75'inde enerji veriliyor, %25'inde kesiliyor demektir.



Şekil 15. Zaman oransal kontrol.

Bu tip çıkış en uygun biçimde, son kontrol elemanı kontaktör veya triak, tristör olan proseslerde görülür. Triak, tristör son kontrol elemanı olarak kullanıldığı zaman enerji kesip verme süreleri çok küçük aralıklara kadar indirilebilir.

4.7. PID Parametrelerinin Ayarlanması

Oransal kontrol cihazları içinde en gelişmiş olanı PID denetim parametrelerine sahip olanıdır. Esas amacı ayar değeri (set point) ile ölçü değeri arasındaki hatayı sıfıra indirmek ve bu sayede istenilen değerlere ulaşmak (kontrol değişkenleri) olan bu tür kontrol cihazları, P, I, D parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- minimum zamanda,
- minimum üst ve alt tepe değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar.

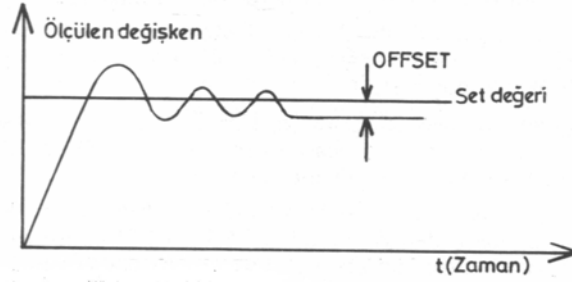
P, diğer adıyla oransal band parametresi kontrol cihazının içinde yer alan denetim mekanizmasının kazanç miktarı ile ters orantılı olan değeridir. $\%PB = 1/K \times 100$ eşitliğinde verildiği gibi, oransal bandı %20'ye ayarlanmış olan bir kontrol cihazının K (kazancı) 5'tir. Oransal bandın çok aza ayarlandığı cihazlarda kazanç çok büyük olacağından, bu cihazın kontrol ettiği prosesler dengesiz olacak, hatta miktarı artı ve eksi yönde gittikçe artan miktarda salınımına girecektir.

İntegral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tipi kontrol cihazları ile yapılan denetimlerde de dengeye ulaşmak mümkündür. Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer (ölçüm değeri) arasında sıfırdan farklı artı(+) veya eksi(-) değerde ve sıfıra indirilemeyen bir değer söz konusu olup bu değere otomatik kontrol terminolojisinde OFFSET adı verilmektedir (Şekil 16).

Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın (integral etkinin) ilavesi off-set'i ortadan kaldırmaya yöneliktir.

Diğer bir deyişle P+I türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında oturma sonuçlandıktan sonra off-set oluşması sözkonusu değildir.

Bununla beraber integral zamanının (I) çok kısa olması prosesin osilasyona girmesine neden olabilecektir. P+I denetim mekanizmasına D (türevsel) etkinin ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır [1].



Şekil 16. Reaksiyon eğrisi.

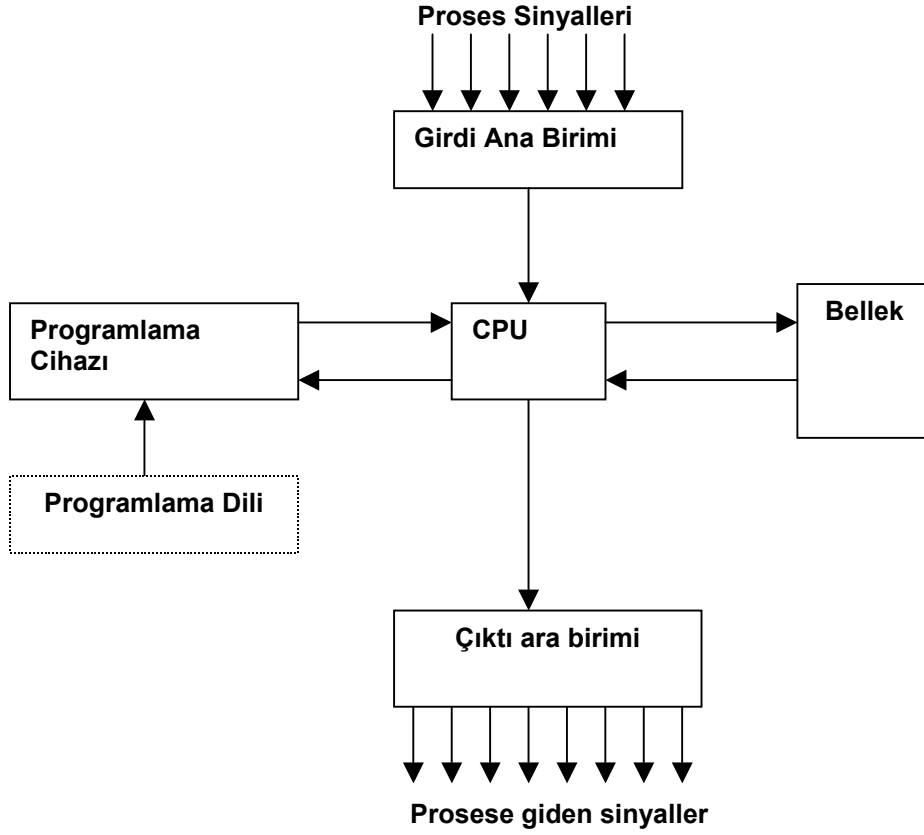
5. PROGRAMLANABİLİR KONTROLÇULAR (PLC)

Programlanabilir kontrolçular bilgisayar esaslı cihazlardır ve donanım teknolojileri açısından konvansiyonel bilgisayarlara benzemelerine rağmen endüstriyel kontrollere uygun spesifik özelliklere sahiptirler. Önemli bir karakteristikleri; farklı sıcaklıklar ve kir gibi endüstriyel ortamlarda çalışabilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Ayrıca kolayca yer değiştirebilecek ya da ilave giriş-çıkış üniteleri eklenebilecek modüler bir konstrüksiyona sahiptirler. Bir diğer önemli özellikleri ise kolay programlanabilmeleri ve sürekli değişim içinde olan bir tesiste yeniden programlanabilmeleridir. Ayrıca, çoğu endüstriyel prosesin ihtiyaç duyduğu gibi gerçek zamanda çalışmak için yeterince hızlı olmalarıdır.

İlk olarak 1969 yılında otomatik sanayiinde üretim bantlarının otomatik kontrolünde kullanılmıştır. Modern bir programlanabilen kontrolcü dört ana aksamaya sahiptir; mikro işlemci veya bilgisayar olarak isimlendirilen merkezi işlemci (processor), girdi/ çıktı (I/O) bölümleri ve enerji ikmal sistemi. Şekil 17'de bu dört ana aksam görülmektedir. Programlama paneli ana aksamlara dahil edilemez. Çünkü işlemciyi programladıktan sonra sökülerek yeni bir program hazırlamak veya başka bir işlemciyi programlamak için kullanılır.

PLC'lerin sağladıkları üstünlükler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

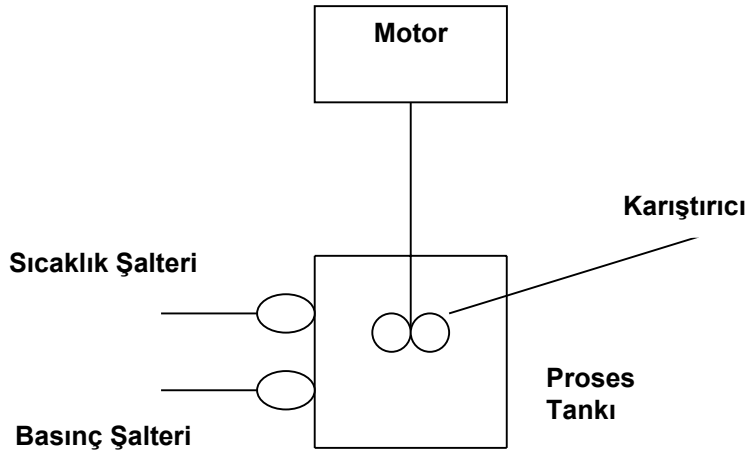
- En ağır çalışma şartlarında dahi son derece güvenilir cihazlardır. Her çeşit tesiste emniyetli olarak çalışırlar.
- Programlanabilmeleri çok kolaydır. Genellikle bilgisayar program dillerine aşina olmayı gerektirmez. Röle sistemine alışkın olanlar için programlama tekniğini öğrenmek çok basittir.
- Röle esasına dayalı ankestor sistemlerine göre ve büyük proses bilgisayarlarına göre çok daha ucuzdurlar.
- İşletme ve bakım personeli ile her türlü iletişimi sağlayan aksamlara sahip olabildiği gibi büyük tesislerinin dağıtılmış kontrol sistemlerine entegre olabilir ve bu sistemin parçası gibi çalışabilirler.



Şekil 17. PLC bileşenleri [6].

5.1. Programlanabilir Kontrolcülerin Çalışma Prensipleri

PLC'lerin nasıl çalıştığını anlayabilmek için Şekil 18'de görülen motor kontrol sistemi ele alınabilir. Elektrik motoru, sıcaklık ve basınç hedeflenen sınırlar içinde ise çalışmaktadır. Sisteme elle de müdahale edilebilmesi gereklidir. Prosesse bağlı olan sıcaklık ve basınç algılayıcıları şartlar uygun ise ilgili kontakları kapatmaktadır.



Şekil 18. Motor kontrol sistemi [6].

Bu uygulama için PLC kullanıldığı düşünülürse algılayıcılara ve elle kumanda düğmesine yine gerek olacaktır. PLC bir girdi ara birimi ile teçhiz edilecek ve bu ara birim üç farklı girdiye hizmet verecektir. PLC motoru çalıştıracak startera bir sinyal üretecektir. Proses sahası içinde bulunan tüm kablo sistemi PLC' nin girdi çıktı ara birimlerine bağlanacaktır. Program yapıldıktan sonra ise PLC çalışmaya hazır olacaktır.

PLC programı çalıştığı zaman aşağıdaki ardışıklıklar yerine getirilecektir;

Kontrolcu sıcaklık basınç ve el kumanda şalterlerine ait kontakların durumlarını kontrol eder.

Eğer bu kontaklar kapalı ise, PLC girdisinde bir 1 mantıklı sinyal, açıksa 0 mantıklı sinyal bulunur. (Bu sinyal kontak kapanmalarından ve bir dış gerilim kaynağından sağlanır).

PLC'nin yokladığı şartlar ve bütün girdiler kontrol cihazı belleğine kaydedilir (Kapalı kontak 1 olarak isimlendirilen sinyal ile açık kontak ise 0 olarak isimlendirilen sinyal ile kaydedilir. Böylece girdi şartlarını belirleyen ve 1,0 lardan oluşan bir model vardır. Aynı şekilde PLC üzerindeki bütün saha kablolarının durumları ile onların bellekteki temsilcilerinin depolandığı yerler arasında doğrudan bir ilişki vardır).

Girdi kayıtları alındıktan sonra PLC her girişi yoklayarak girdi şartlarına dayanan kararlar verir. (Buradaki sıra, program yazılırken tasarımcı tarafından tarif edilir. Örneğin, karar motor starterinin enerjilenmesi veya enerjilenmemesi olabilir. Bu hareket bellekte motor enerjilendiği zaman 1 ile enerjilenmediği zaman 0 ile saklanır. Yine PLC nin çıkış terminal bloğunda motor starteri lokasyonu ile bellek lokasyonu arasında doğrudan bir ilişki vardır).

Programa göre PLC bir çıktı set eder.

Son olarak PLC girdileri tekrar kontrol eder.

PLC tarafından bu ardışıklıkta tam bir çevrimin tamamlanması, "scan" olarak isimlendirilir. Tam bir çevrimin tamamlanması için geçen süre ise scan süresi olup PLC'nin tepki hızının ölçüsüdür [6].

Oradea Üniversitesi, Romanya Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi sensör bağlantıları ve PLC görüntüsü Şekil 19'da verilmiştir.

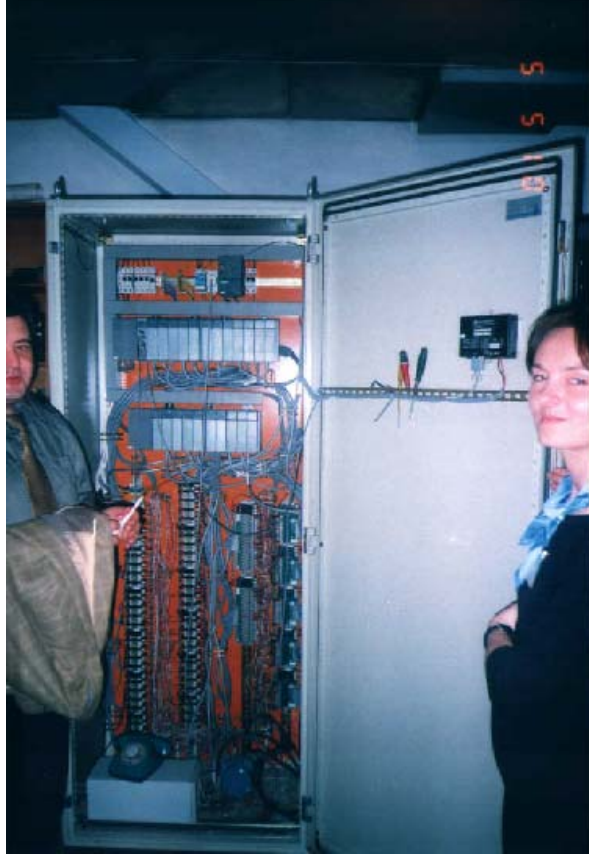
6. DEĞİŞKEN HIZ SÜRÜCÜSÜ (VSD)

Değişken hız kontrolünün temel işlevi şebekeden işleme, enerji akısının kontrolüdür. Enerji, çalışma ortamına motor şaftından temin edilir. Bu işlemin durumunu iki değer belirler: moment ve hız. Bu yüzden enerji akısını kontrol edebilmek için bu değerlerde belirleyici olunması gerekir.

Uygulamada her ikisi de kontrol edilebilir, moment veya hız kontrolü olarak adlandırılır. VSD moment kontrolü için çalışırken hız yüke göre belirlenir.

Başlangıçta karmaşık elektronik donanımlar gerektirmeden gerekli hız ve momenti sağlayabildikleri için DC motorlar VSD'lerin yaptığı işler için kullanılmakta idi.

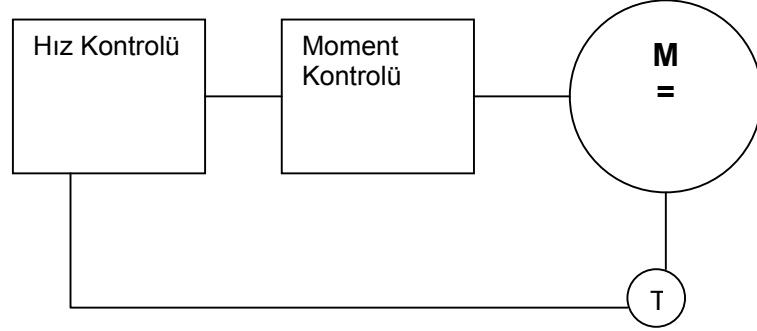
Bununla beraber AC değişken hız sürücüsü teknolojisi DC motorlarının hızlı moment tepkimesi ve hız verimi gibi özelliklerini amaç edinerek karmaşık, ucuz, bakım gerektirmeyen AC motorlarını kullanma isteğini yönlendirmiştir.



Şekil 19. Oradea Üniversitesi, Romanya Bölgesel Jeotermal Isıtma Sistemi sensör bağlantıları ve PLC.

6.1. DC Sürücüleri

Bir DC motorunda manyetik alan, akım tarafında statorde dönen alanla oluşturulur. Alan, her zaman dönen armatürün yarattığı alanla doğru açıdadır. Alan yönlenmesi denen bu durum maksimum momentin oluşturulması için gereklidir. Değiştirici fırça ilişkisi bu durumu rotorun durumundan bağımsız kabul eder (Şekil 20).



Şekil 20. DC sürücüleri.

Alan yönlenmesi sağlandıktan sonra, DC motorun momenti, armatürün akımı değiştirilerek ve manyetik alanı oluşturan akım sabit tutularak kolayca kontrol edilir.

DC sürücülerinin avantajı; kullanıcıyı en çok ilgilendiren iki faktörün, hız ve momentin doğrudan armatür akımıyla kontrol edilmesidir. Bu demektir ki, moment iç kontrol döngüsü, hız dış kontrol döngüsüdür.

Kısaca, DC sürücülerinin, değişken hız kontrolleri için kullanılmalarının sebebi kolayca etkili moment ve hız tepkimesi sağlayabilmeleridir.

Bir DC sürücünün sağlayacağı moment şu özellikleri taşır.

- **Doğrudan:** Motor momenti armatür akımı ile orantılıdır. Böylece moment doğrudan ve etkili olarak kontrol edilebilir.
- **Hızlı:** Moment kontrolü hızlıdır; sürücü sisteminin hız tepkimesi çok yüksek olabilir. Motor, uygun akım kaynağı ile beslendiğinde moment hızlı bir biçimde değiştirilebilir. Rotorun elektrik zaman sabitiyle bağlantılı olduğu için, bir gerilim beslemeli sürücü de hızlı tepkime sağlayabilir. (Rotorun elektrik zaman sabiti, armatür akımındaki toplam kabul ve geri çevirmedir).
- **Temel:** Alan yönlenmesi değiştirici-fırça ilişkisi diye açıklanabilecek basit bir düzenele sağlanır. Bu yüzden motoru kontrol etmek için pahalı karmaşık elektronik kontrol devrelerine gerek yoktur.

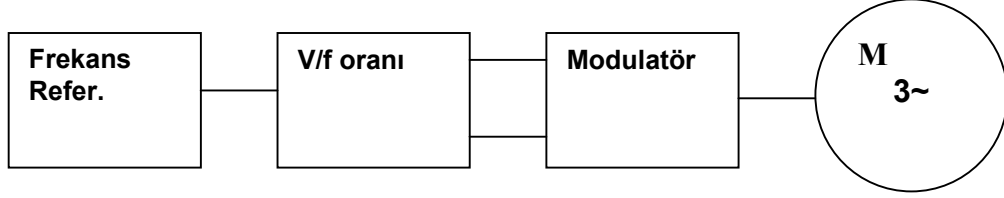
Bu tekniğin en büyük önemli dezavantajı, fırça ve değiştiricilerin zamanla aşınması ve düzenli bakım gerektirmeleridir. DC motorlar biraz pahalıya mal olurlar ve sonradan hız konumunu gözden geçirmek için enkoderlere gerek duyarlar.

Bir DC sürücüsü sıfır ile temel hız ve sonrası moment kontrolünü kolayca sağlarken, motorun mekanik aksamı karmaşıklaşır ve sürekli bakım gerektirir.

6.2. AC Sürücüleri

AC değişken hız sürücüsü teknolojisinin gelişimini, seri moment tepkisi, hız moment tepkisi, hız verimliliği vb. DC sürücüsü performanslarından yararlanırken AC motor avantajlarından yararlanma isteği yönlendirmiştir.

DC sürücüsünün aksine, AC sürücüsü frekans kontrol tekniği gerilim ve frekans gibi motor dışında oluşturulan etkili değişkenler kullanılır (Şekil 21).



Şekil 21. AC Sürücüleri, PWM ile frekans kontrolü.

Gerilim ve frekans referansı, AC sinüs eğrisini canlandıran ve bunu motor stator sargılarına aktaran bir modülatöre gider. Bu tekniğe Titreşim Genişliği Modülasyonu denir. Bu şebeke hattında bir diyot kontrolü olduğu gerçeğinden yola çıkar ve aradaki DC gerilimi sabit tutulur. Ters çevirici, motora gerilim ve frekansı vererek PWM titreşim sağlama ile kontrol eder.

Özetle, bu sistem motor şaftında hız ve konum ölçümü yapıp bu verileri kontrol döngüsüne iletecek bir sağlama düzeneğine sahip değildir. Bir sağlama düzeneğine sahip olmayan bu tip sistemlere açık döngülü sürücü denir.

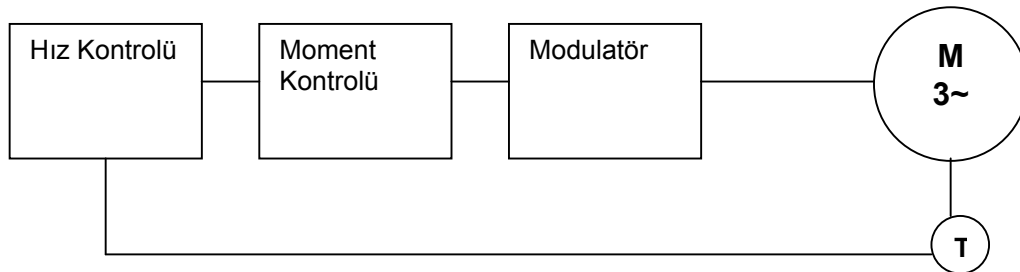
Sağlama düzeneği olmadığı için kontrol sistemi düşük maliyetlidir ve ekonomik AC endüksiyon motorunun kontrolü için basit bir çözüm sağlar. Bu tip bir sürücü, pompalar fanlar gibi tam kesinlik ve doğruluk gerektirmeyen uygulamalar için uygundur.

Skaler kontrol de denilen bu teknikte motorun alan yönlenmesinden yararlanılmaz. Bunun yerine gerilim ve frekans etken değişkenlerdir ve stator makrolarını etkilerler. Motorun durumu dikkate alınmaz. Bu demektir ki hız ve durumla ilgili sinyal yollanmaz.

Bu yüzden, moment hiçbir etkinlik derecesinde kontrol edilemez. Dahası, bu teknikte, gelen gerilim ve frekans sinyalleri ile motorun değişken sinyallere tepkisi için gereken bağlantıyı yavaşlatan bir modülatör kullanılır.

Bir DC motorunun alan yönlenmesini sağlayacak manyetik çalışma koşullarının oluşturulması için akı vektör sürücüsünün, AC endüksiyon motorundaki rotor akısının birikmiş açıl durumunu bilmesi gerekir.

Akı vektörü PWM sürücüleri ile, alan yönlenmesi, DC motorlarındaki gibi değiştirici-fırça ilişkisiyle değil elektronik işlemlerle sağlanır (Şekil 22).



Şekil 22 . AC sürücüleri, PWM ile akı vektör kontrolü.

İlk olarak, stator alana yakın rotor hız ve açısal durumu, bir titreşim enkoderi tarafından rotor durumu olarak hazırlanır. Hız enkoderi kullanan sürücülere kapalı-döngü sürücü denir.

Ayrıca motorun elektrik özellikleri bu bilgileri kullanan bir mikroişlemci tarafından matematiksel olarak ortaya konur.

Bir akı-vektör sürücüsünün elektronik denetçisi, gerilim, akım ve frekans gibi etkin değişkenlerden elektriksel değerler oluşturur ve bir modülatörden geçirip AC endüksiyon motoruna iletir. Böylece dolaylı moment kontrolü sağlanır.

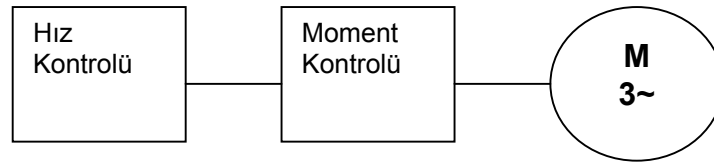
Akı vektör kontrolü, performansını bir DC sürücüsüne yaklaştıran sıfır hızda tam moment sağlar.

Yüksek düzeyde moment tepkisi ve etkin hız için bir sağlama düzeneği gerektirir. Bu fiyat artırır ve alışlagelmiş basit AC endüksiyon motorlarını karmaşıktırır.

Bunun yanında gelen gerilim ve frekans sinyalleri ile motorun bu değişken sinyallere tepkisi için gereken bağlantıyı yavaşlatan bir modülatör kullanılır. Motor mekanik olarak basit olmasına rağmen elektriksel olarak karmaşıktır.

DTC teknolojisi sayesinde alan yönlenmesi, gelişmiş motor teorisi ile doğrudan momenti hesaplanmadan ve modülasyon kullanılmadan gerçekleştirilir. Etkin değişkenler motorun manyetik akısı ve motor momentidir.

DTC kullanıldığında modülatöre gerek yoktur. Motor shaftının hız ve durumunu tespit edip saklayacak bir takometre veya durum enkoderine gerek duyulmaz (Şekil 23).



Şekil 23. AC sürücülerinde doğrudan moment kontrolü.

DTC, hızlı dijital sinyal işleyici donanımı ve matematiksel olarak bir motorun çalışma sistemini kullanır. Sonuç AC ve DC sürücülerinden 10 kat hızlı moment tepkimesi veren bir sürücüdür.

Şekillerde de görüldüğü üzere DC sürücüsünün kontrol sistemi ile DTC'nin kontrol sistemi benzerlik göstermektedir. Her iki sistem de motor verilerini momenti doğrudan kontrol etmede kullanır.

Tablo 1'de görüldüğü gibi DC sürücüler ve DTC sürücüler, gerçek motor verilerini moment ve hız kontrolü için kullanırlar. Bunun sonucunda dinamik performans hızlı ve kolaydır. Aynı zamanda DTC ile hemen hemen tüm uygulamalarda hız ve pozisyon sinyallerinin sağlanmasını yapacak takometre ve enkodere gerek kalmaz.

DTC'yi diğer AC sürücüler kontrol sistemleri ile karşılaştırdığımızda görülen en ayırıcı özellik DTC'nin modülatör gerektirmemesidir.

PWM AC sürücüler ile etken değişkenler olan gerilim ve frekans, motora uygulanmadan önce bazı aşamalardan geçer. Böylece PWM sürücüler ile motorun içinden değil elektronik kontrolörün içinden kontrol sağlanır [7].

Tablo 1. Sürücüler ve kontrol değişkenleri [7].

SÜRÜCÜ	KONTROL DEĞİŞKENLERİ
DC sürücüler	Armatür akımı, I_A Manyetikleştirici Akım, I_M
AC sürücüler (PWM)	Çıkış Gerilim, U Çıkış Frekansı, f
Doğrudan Moment Kontrolü	Motor Momenti, T Motorun Manyetikleştirici Akımı, Ψ

7. FREKANS KONVERTÖRLERİ

Frekans konvertörlerinin jeotermal sistemlerde kullanım amacı, sistemde kullanılan pompaların devirlerini ayarlamak buna bağlı olarak da sistemde dolaşan suyun debisini kontrol etmektir. Frekans konvertörlerinin çalışma mantığı kısaca; ana şebekeden gelen alternatif akımı kendi içinde doğru akıma çevirmek, daha sonra yine kendi içinde istenilen frekansta alternatif akım yaratarak motoru istenilen devirde sürme olarak açıklanır. Oradea üniversitesi, Romanya Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi frekans konvertörleri Şekil 24'de verilmiştir.

Frekans konvertörleri, programlama yolu ile kullanılacakları uygulamanın şartlarına uygun hale getirilebilirler. Programlama, frekans konvertörünün giriş bilgilerini içeren bir grup parametre aracılığı ile yapılır. Belirlenen parametre değerlerine göre farklı performanslar elde edilir.

Parametreler tek tek ayarlanabileceği gibi önceden programlanmış parametre düzeneği de seçilebilir. Önceden programlanmış parametre değerlerine Uygulama Makroları adı verilir.

Programlamayı basitleştirmek için frekans konvertörlerinin parametreleri guruplara ayrılmıştır. Devreye alma parametreleri frekans konvertörünün motora adapte olması için gereken temel ayarları ve gösterge dilini belirler. Bu gurupta ayrıca bir grup uygulama makrosu da mevcuttur. Devreye alma zamanında ayarlanan bu parametre değerlerinin daha sonra değiştirilmesi gerekmemelidir. Devreye alma parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 . Devreye alma parametreleri [7].

Parametre	Aralık/Birim	Tanım
1 Language	Hafızadaki Diller	Gösterge Dilini Seçer
2 Application Macro	Hafızadaki Makrolar	Uygulama Makrosunu Seçer
3 Applic Restore	No, Yes	Parametreleri Fabrika Çıkış Değerlerine Ayarlar
4 Motor CTRL Mode	DTC, SCALAR	Motor Kontrol Konumunu Seçer
5 Motor Nom Voltage	1/2 of U_N of ACS 600	Motorun plaka gerilimi
6 Motor Nom Current	1/8*I_{hd} of ACS 600	ACS 600 ü motor anma akımına adapte eder
7 Motor Nom Freq	8...300 Hz	Motor Plaka Frekansı
8 Motor Nom Speed	1-20000 rpm	Motor Plaka Hızı
9 Motor Nom Power	0...9000 kW	Motor Plaka Gücü
10 Motor ID Run	No, Standart, Reduced	Motorun Test Çalışmasını Başlatır

Uygulama Makroları: Frekans konvertörünü belirli bir uygulamaya göre hazırlayacak olan uygulama makrosunu seçmek amacı ile kullanılır. Uygulama makroları ile ilgili bilgi daha sonra verilecektir.

Applic Restore: Uygulamaya göre değiştirilmiş tüm parametre değerlerini kullanılan makronun orjinal parametre değerlerine çevirir.

Motor CTRL Mode: Motor kontrol konumunu belirler.

DTC: DTC (Direct Torque Control-Doğrudan Moment Kontrolü) konumu çoğu uygulamada kullanılabilir.

SCALAR: Skaler kontrol konumu frekans konvertörüne değişken sayıda motor bağlanan uygulamalarda kullanılır. Skaler kumanda ayrıca motor anma akımının, evirici anma akımından 1/6 oranında küçük olduğu ya da eviricinin test amaçlı olarak motorsuz çalıştırıldığı durumlarda kullanılır.

Motor Nom Voltage: Frekans konvertörünü motorun plaka gerilimine adapte eder.

Motor Nom Current: Frekans konvertörünü motorun plaka akımına adapte eder.

Motor Nom Frequency: Frekans konvertörünü motorun plaka frekansına adapte eder.

Motor Nom Speed: Frekans konvertörünü motorun plaka hızına adapte eder.

Motor Nom Power: Frekans konvertörünü motorun plaka gücüne adapte eder.

Motor ID Run: Motor test çalışmasını başlatmak için kullanılır. Bu test sırasında frekans konvertörü, motorun optimum kumandası için motorun karakteristik özelliklerini tanır.

7.1. Gerçek İşaretler

Gerçek işaretler, frekans konvertörünün fonksiyonlarını izler ancak performansını etkilemezler. Gerçek işaret değerleri sürücü tarafından ölçülürler ve kullanıcı tarafından ayarlanamazlar. Gerçek işaretlerin sayısı, seçilen uygulama makrosuna göre değişir.

Tablo 3'de gerçek işaretler belirlenen ya da izlenen değerleri ve fonksiyonları verilmiştir.

Process Speed: Frekans konvertörü tarafından hesaplanan motor hızının ölçeklenmiş değerini gösterir.

Speed: Frekans konvertörü tarafından hesaplanan gerçek motor hızını gösterir.

Frequency: Frekans konvertörünün motora uyguladığı frekans (Hz), frekans konvertörü tarafından hesaplandığı değeri ile gösterilir.

Current: Frekans konvertörü tarafından hesaplanan motor akımını gösterir

Torque: Motor momentini frekans konvertörü tarafından hesaplandığı değeri ile motor anma momentinin yüzdesi olarak gösterir

Power: Motor gücünü motor anma gücünün yüzdesi olarak gösterir

DC Bus Voltage: Frekans konvertörü tarafından hesaplanan DC veriyolu gerilimini gösterir. Birimi VDC'dir.

Mains Voltage: Frekans konvertörü tarafından hesaplanan şebeke gerilimini gösterir.

Output Voltage: Frekans konvertörü tarafından hesaplanan motor gerilimini gösterir.

Tablo 3. Gerçek işaretler [8].

Gerçek İşaret	Kısaltma	Aralık Birim	Tanım
1 Process Speed	P Speed	Kullanıcı Birimleri	Motor maks. Hızda 100%
2 Speed	Speed	rpm	Motorun d/d olarak hesaplanan hızı
3 Frequency	Freq	Hz	Motora uygulanan frekans
4 Current	Current	A	Motor Akımı
5 Torque	Torque	%	Hesaplanan motor momenti. 100, motorun anma momentidir
6 Power	Power	%	Motor gücü. 100, motorun anma gücüdür
7 DC Bus Voltage	DC Bus Voltage	V	Aradevre gerilimi (VDC)
8 Mains Voltage	Mains V	V	Hesaplanan kaynak gerilimi
9 Output Voltage	Out Volt	V	Hesaplanan motor gerilimi
10 ACS 600 Temp	ACS Temp	C	Soğutma Dolabının Sıcaklığı
11 External Ref 1	EXT REF1	Rpm, Hz	Harici Referans 1. Skaler motor kontrolünde birim Hz dir
12 External Ref 2	EXT REF2	%	Harici Referans 2
13 CTRL Location	CTRL Loc	Local, Ext1,Ext2	Etkin kumanda yeri
14 OP Hour Counter	OP Hours	h	Zaman Saati
15 Kilowatt Hours	kW Hours	kWh	Güç Saati
16 Appl Block Output	Appl Out	%	Uygulama Bloğu Çıkış İşareti
17 DI6-1 Status	DI6-1		Dijital Girişlerin Durumu
18 AI1 (V)	AI1 (V)	V	Analog giriş 1 in değeri
19 AI2 (mA)	AI2 (mA)	mA	Analog giriş 2 nin değeri
20 AI3 (mA)	AI3 (mA)	mA	Analog giriş 3 ün değeri
21 RO3-1 STATUS	DI6-1		Dijital Girişlerin Durumu
22 AO1 (mA)	AO1 (mA)	mA	Analog çıkış 1 in değeri
23 AO2 (mA)	AO2 (mA)	mA	Analog çıkış 2 nin değeri
24 Actual Value 1	Act Val 1	%	PID kontrolörü için geribesleme işareti
25 Actual Value 2	Act Val 2	%	PID kontrolörü için geribesleme işareti
26 Control Deviation	Cont Dev	%	PID kontrolörünün sapması

7.2. Standart Uygulama Makro Programları

Uygulama makroları önceden programlanmış parametre değerleridir ve Tablo 4'de verilmiştir. Bu makroların kullanımı frekans konvertörünü devreye almayı kolaylaştıracak ve hızlandıracaktır.

Uygulama makrolarının fabrika çıkış değerleri tipik bir uygulamanın ortalama değerlerini temsil edecek şekilde hazırlanmıştır.

Bu uygulama makrolarına ek olarak iki kullanıcı makrosu da mevcuttur. Bu makrolar kullanıcıya, düzenlediği parametre değerlerini saklayarak ileride onlardan tekrar yararlanma fırsatı verir [8].



Şekil 24. Oradea Üniversitesi Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi, frekans konvertörleri.

8. JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNDE DAĞITIM SİSTEMLERİNİN KONTROLU

Bir jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kontrol edilmesi gereken parametreler aşağıda verilmiştir.

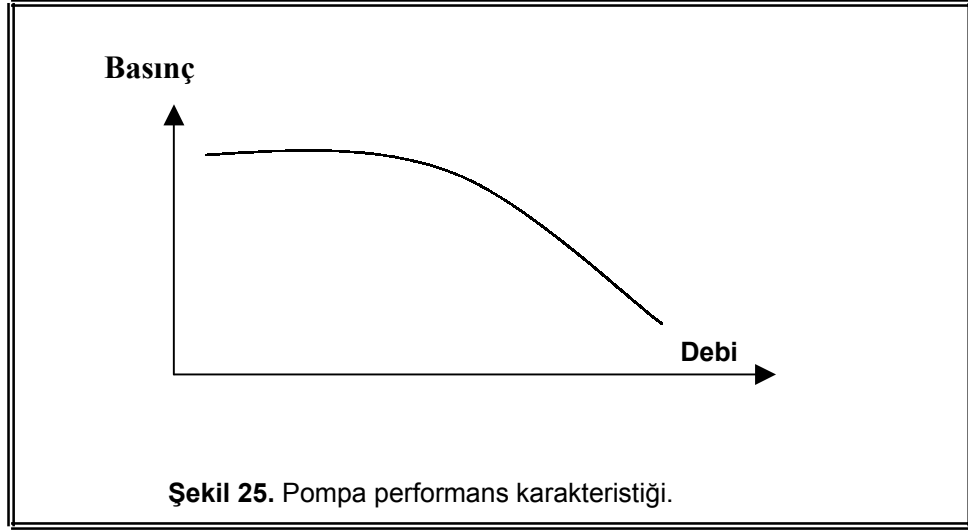
1. Kontrol vanalarındaki basınç düşümü kontrol edilmeli ve gerekli düzeyde tutulmalıdır.
2. Isı kaynağından geçen suyun debisi kontrol edilmeli ve gerekli seviyede tutulmalıdır.
3. Isıtma terminallerindeki su sıcaklığı kontrol edilmeli ve istenilen su sıcaklığı sağlanmalıdır.
4. Çalışan pompalardan geçmesi gereken minimum debi miktarı göz önüne alınarak debi kontrol edilmelidir. Pompa giriş basıncının çok düşmesi durumunda kavitasyon meydana gelebilir.
5. Sistemde birden fazla pompa çalışması durumunda pompaların yukarıda verilen gereksinimleri sağlayacak biçimde ve en verimli şekilde çalışması sağlanmalıdır.

8.1. Santrifuj Pompalar

Pompalar su dağıtım sistemlerinin kilit elemanlarıdır. Dağıtım sistemlerinin tasarımını yapabilmek için pompa karakteristiklerini anlamak gereklidir. Pompaların performansı karakteristik eğrilerle ifade edilir (Şekil 25). Grafikte basınç, metre su sütunu olarak ifade edilir. Bu basınç pompalama işlemini, su sıcaklığı ve su yoğunluğundan bağımsız olarak gösterir. Isıtma, soğutma ve boru sistemlerinde basınç her zaman metre su sütunu olarak hesaplanır.

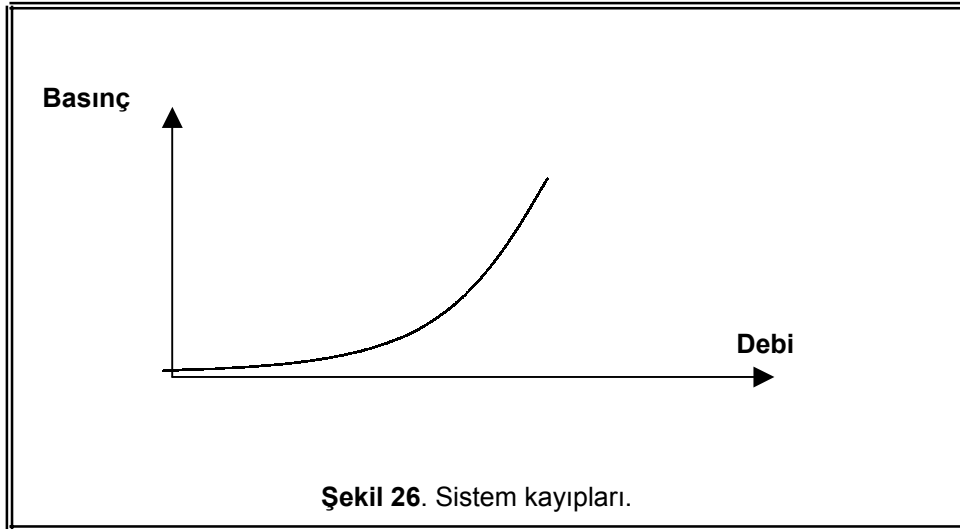
Tablo 4. Uygulama makroları [8].

Makro	Kullanım Alanı	Kumandalar	Seçenek
Fabrika Çıkışı	-Taşıyıcı bantlar ve diğer endüstriyel sabit moment uygulamaları -Motorun anma hızından farklı bir sabit hızda uzun süre çalışmasını gerektiren uygulamalar -Vibrasyon motorlarının değişken hızlarının kullanıldığı vibrasyon dayanıklılık testleri -Geleneksel harici kumandaları gerektiren tüm uygulamalar	Tuştablosu, Harici	Factory
Manuel/Oto	Motor hız kontrolünün otomatik olarak PLC veya bir işlem otomasyon cihazı ile ve manuel olarak bir harici kontrol paneli ile yapılmasını gerektiren işlemler Referans değeri ve START/STOP kumandası ile bir veya iki harici kumanda yeri olan hız kontrolleri. Etkin referans seçimi dijital giriş ile yapılır.	EXT1, EXT2	HAND/AUTO
PID Kontrolü	Basınç kontrolü, seviye kontrolü ve akış kontrolü gibi farklı kapalı çevrim sistemleri ile kullanılmak amacı ile tasarlanmıştır. Örnek olarak: -Şehir suyu sistemlerinde kullanılan pompalar. -Su depolarının otomatik seviye kontrolü -Bölgesel ısıtma sistemlerinde kullanılan pompalar -Malzeme akışının düzenli olmasını gerektiren uygulamalarda hız kontrolü	EXT1, EXT2	PID CTRL
Moment Kontrolü	Moment kontrolü gerektiren uygulamalar (örn. Karıştırıcılar). Moment referansı bir PLC ya da diğer bir işlem otomasyon sisteminden ya da kontrol panelinden verilir. Manuel referans hız referansıdır	EXT1, EXT2	T CTRL
Ardışık Kontrol	1-15 arası sabit hız ve/veya iki farklı hızlanma /yavaşlama süresi ile ayarlanabilen hıza ek olarak motor hızının kontrolünü gerektiren uygulamalar. Kontrol PLC ya da diğer bir otomasyon sistemi ile ya da normal hız seçimi anahtarları ile yapılır.	Düzenlenen Sabit Hız	SQ CTRL

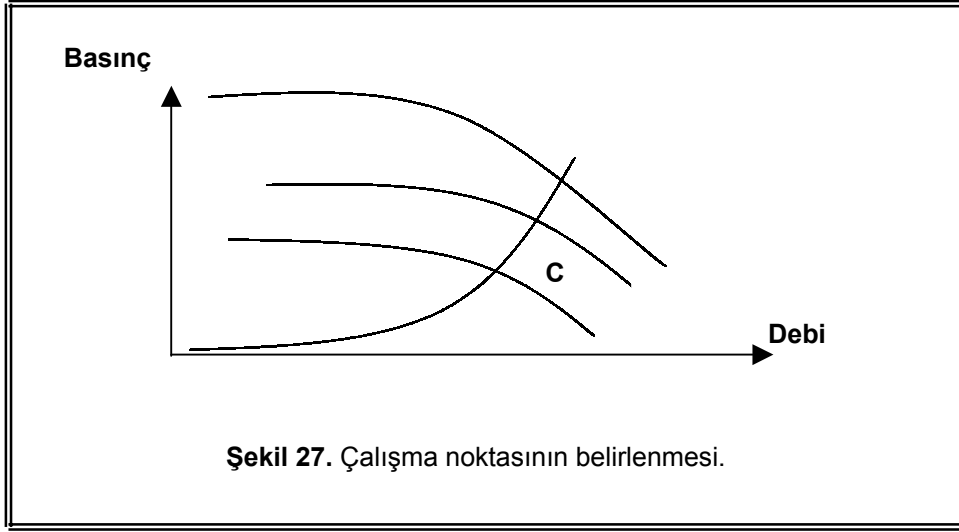


Pompanın gücü; $P = \rho \times g \times Q \times h$ formülü ile hesaplanabilir. Burada ρ :su yoğunluğu, g :yerçekimi ivmesi, $\rho \times g$ çarpımı sabittir. Dolayısı ile pompa gücü $Q \times h$ (debi x basınç) çarpımına bağlıdır.

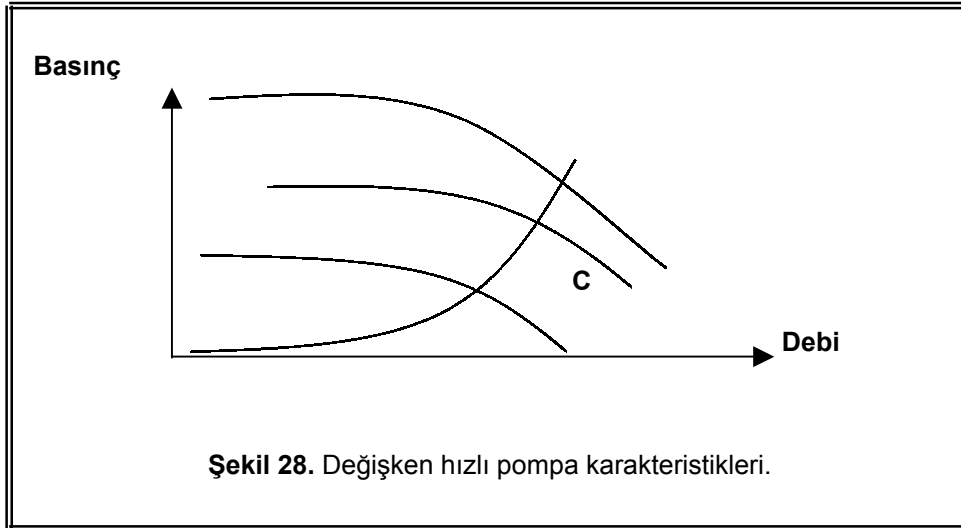
Sistem eğrisi; sistemde sürtünmeden, dirseklerden, yükseklik kayıplarından ve sisteme ait diğer tüm kayıplardan oluşan basınç kayıplarını gösterir ve Şekil 26'da verilmiştir.



Pompa ve sistem eğrileri aynı grafik üstünde çizilir (Şekil 27) ve çalışma noktası bulunur. Çalışma noktası, sistem ve pompa karakteristik eğrilerinin kesiştiği noktadır. Şekil 27'de A,B,C eğrileri pompanın çeşitli rotor çapları için oluşan performans eğrileridir. Sabit devirli pompalarda istenilen çalışma noktasına ulaşmak için pompaların rotor çaplarından en uygun olanı seçilir.

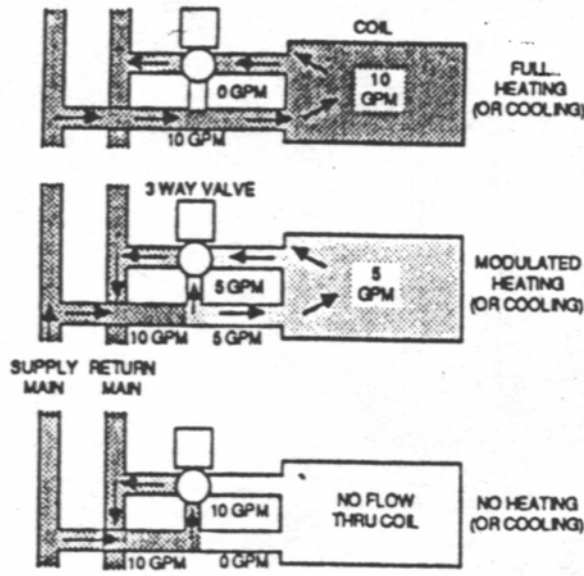


Sistemde dolaşan suyun debisinde değişikliğin gerekli olduğu durumlarda değişken hızlı pompalar kullanılırlar. Bir ısıtma sisteminde günlük değişken ısı yüküne göre sistemden geçen suyun miktarını ayarlamak gereklidir. Bu durumda istenilen debiye ulaşmak için pompanın devri değiştirilir. Pompa gücü değişimi, pompanın hızının kübünün değişimi ile orantılıdır. $(P1/P2) = (N1/N2)^3$. Isıtma sistemlerinde gereksinim duyulan çok farklı debilerde çalışma ihtiyacının en verimli şekilde karşılanması için değişken hızlı pompalara ihtiyaç duyulur. Şekil 28’de farklı pompa devirleri için pompa karakteristiklerinin değişimi gösterilmiştir. A,B,C eğrileri pompanın farklı devirleri için performans eğrileridir. Pompanın devri değiştirilerek istenilen debide en ekonomik çalışma sağlanır.



8.2. Üç Yollu Kontrol Vanaları ile Isı Değiştirgeci (HEX) Kontrolü

Isı değiştirgeçlerinde bypass kontrolü için üç yollu vanalar kullanılır. Şekil 29’da görülebileceği gibi sistemin ısı yükü ihtiyacı düştüğünde sıcak su akışı dönüş hattına yönlendirilir.



Şekil 29. 3-yollu vana ile ısı değiştirgeci kontrolü.

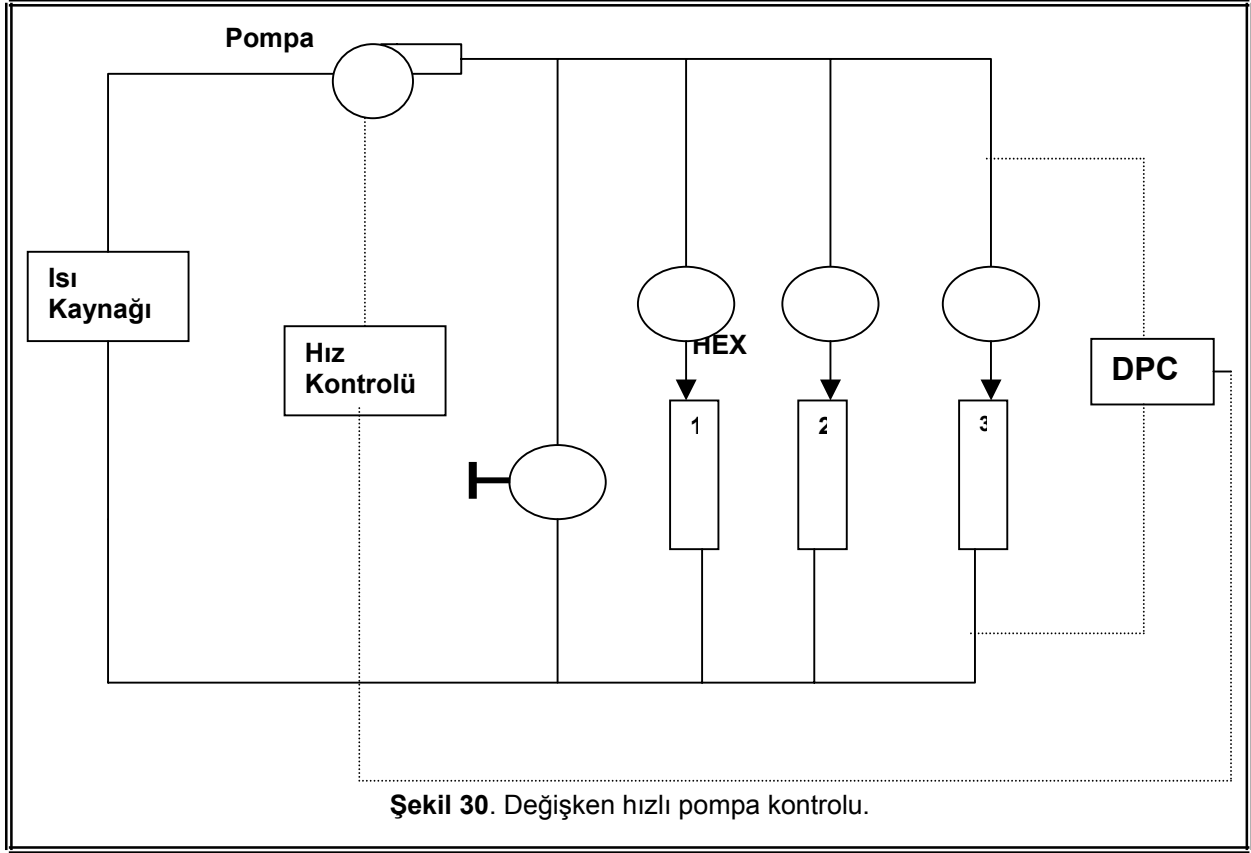
Üç yollu kontrol vanalarının kullanımında řu faktörler göz önüne alınmalıdır:

- **Akış Kontrolü:** Üç yollu kontrol vanaları, ısı değiştirgeci çıkış debisini kontrol ederler.
- **Tesisat Giderleri:** Özellikle borular için kısıtlı yer söz konusu olduğunda üç yollu vanaların kullanımı iki yollu vanalardan daha masraflıdır. Ayrıca by-pass borularına denge vanaları konulmalıdır.
- **Üç Yollu Vana Giderleri:** Yönlendirici (Diverting) vanaların fiyatı karıştırmaya vanalarından daha fazladır. Karıştırmaya vanaları ısı değiştirgeci çıkışına monte edilirler ve yönlendirici vanalarla aynı tip kontrol sağlarlar.
- **Akış Özellikleri:** Üç yollu kontrol vanaları lineer akış özelliklerine sahiptir. İyi kontrol için sıcak su değerleri iyi ayarlanmalıdır.
- **Şebekede Sabit Debi:** Sabit debi sayesinde, ısı değiştirgeci ve vana sisteminin giriş ve çıkışında sabit basınç farkı oluşur.
- **Pompalama Masrafı:** Üç yollu vana sistemi düşük yüklerde bile tam pompa kapasitesi kullanır.

8.3. Değişken Hızlı Pompa Kontrolü

Değişken hızlı pompa kontrolünde pompanın devri değiştirilerek istenilen basınç ve debiye ulaşılır (Şekil 30). Değişken hızlı pompa kontrolü sayesinde pompalama masrafı düşer. Pompa basıncı, pompa hızının karesi ile doğru orantılıdır. $(h_2/h_1) = (rpm_2/rpm_1)^2$.

Şekil 30'da görüldüğü gibi, hız kontrollü pompalarda pompanın hızı dolayısı ile debi gidiş ve dönüş hatlarındaki basınç farkı baz alınarak ayarlanır. Şekilde DPC diferensiyel basınç farkı kontrolörü (DPC) sayesinde iki devre arasındaki basınç farkı ölçülür. V4 vanası pompanın az debiden dolayı zarar görmesini önler.



8.4. Kısmi Vanalı Kontrol (Throttling Valve Control)

Bu tip sistemlerde, şebekenin basınç düşümü değiştirilerek kontrol sağlanır (Şekil 31). DPC şebekedeki basınç farkı değişimini kontrol eder ve değişim algıladığında V7 vanasına haber gönderir. V7 vanası da duruma göre sistemi tekrar istenilen basınç farkına göre düzenler. V8 ve V9 vanaları sistem debisinin azalması durumunda pompaların zarar görmesini önler.

Şekil 32'de ise DPC basınç farkında bir yükselme algıladığında V7 vanasının kapandığı buna bağlı olarak sistem karakteristik eğrisinin değiştiği görülmektedir.

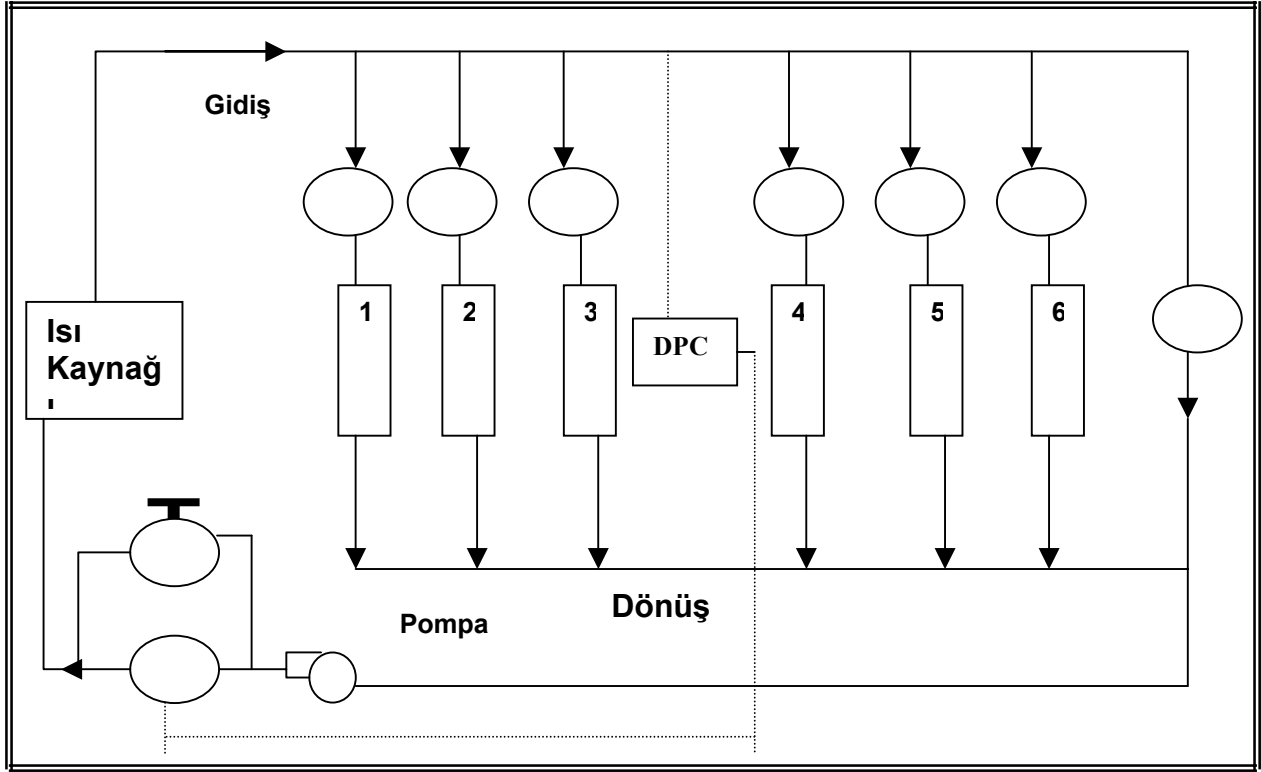
8.5. Sıcak Sulu Sistemlerin Kontrolü

Isıtma sistemlerinde, ısı kaynağının sisteme verdiği ısı enerjisinin miktarı;

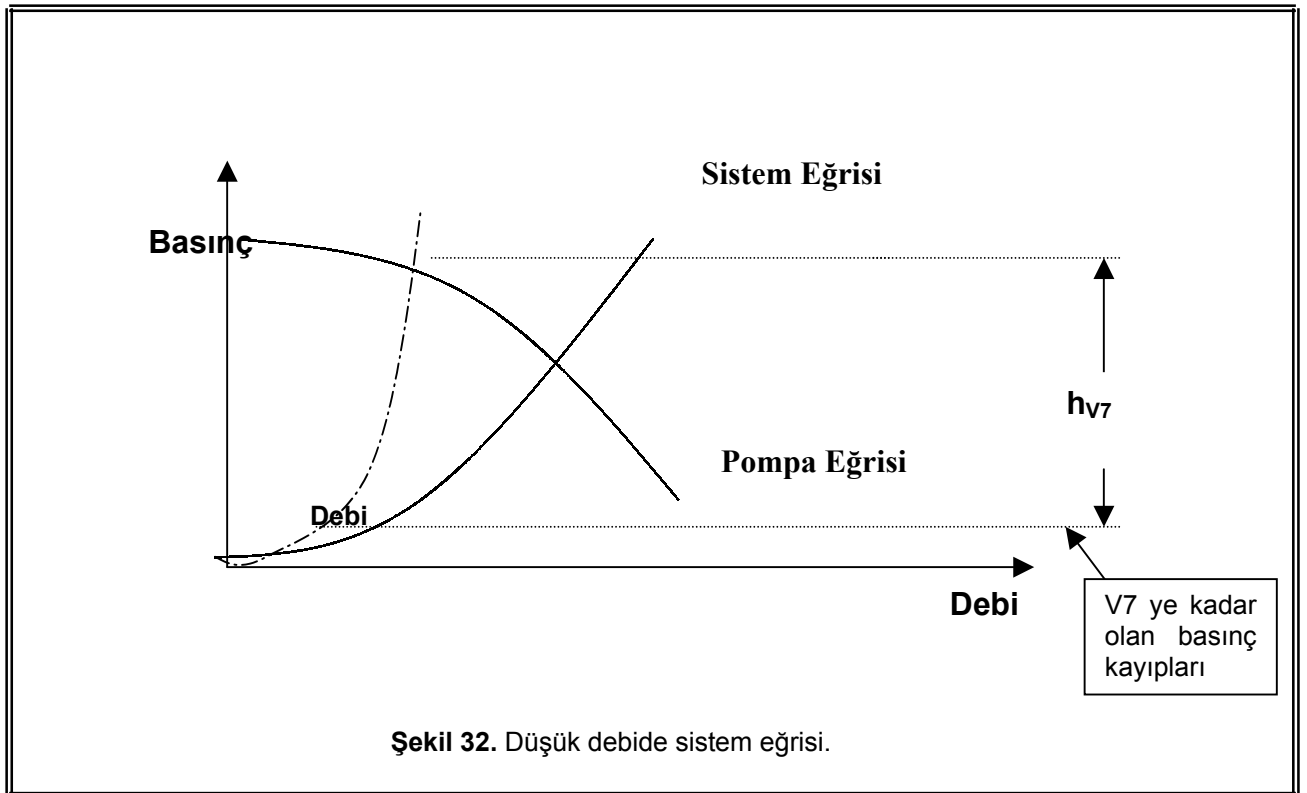
- Pompayı veya vanaları açıp kapama (on-off kontrol),
- Sıcak suyun debisini kontrol etme,
- Suyun sıcaklığını kontrol etme yöntemleri ile sağlanır.

8.5.1. Debi Kontrolü

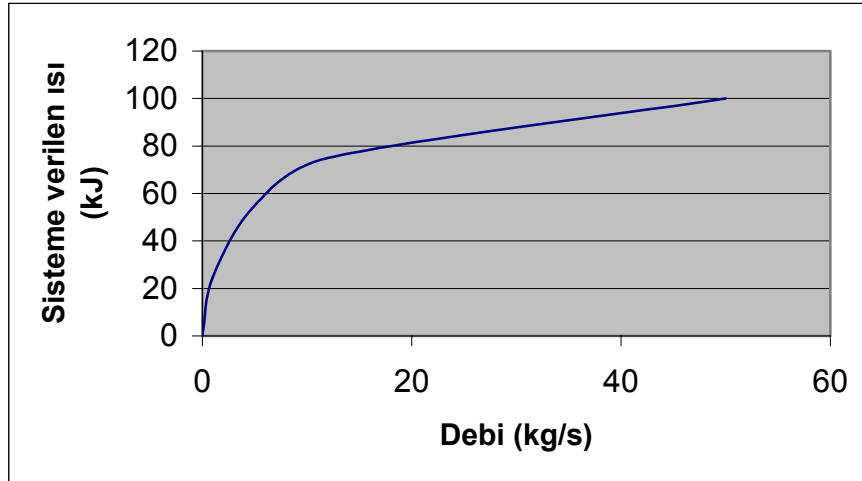
Değişken debili sistemlerde, sabit sıcaklıkta sıcak suyun sisteme verdiği enerjinin debi ile değişimi Şekil 33'de görülmektedir. Debideki %75 lik düşüş, sistemin ısı dağıtımında %30'luk bir düşüğe yol açar. Fakat sistemin düşük debide çalışması durumunda sistemin ısı dağıtımında çok keskin değişiklikler gözlenir. Bu sebeple düşük ısı yüklerinde sistemin değişken debi yöntemi ile kontrolü çok verimli olmaz.



Şekil 31. Kısmi vanalı kontrol.



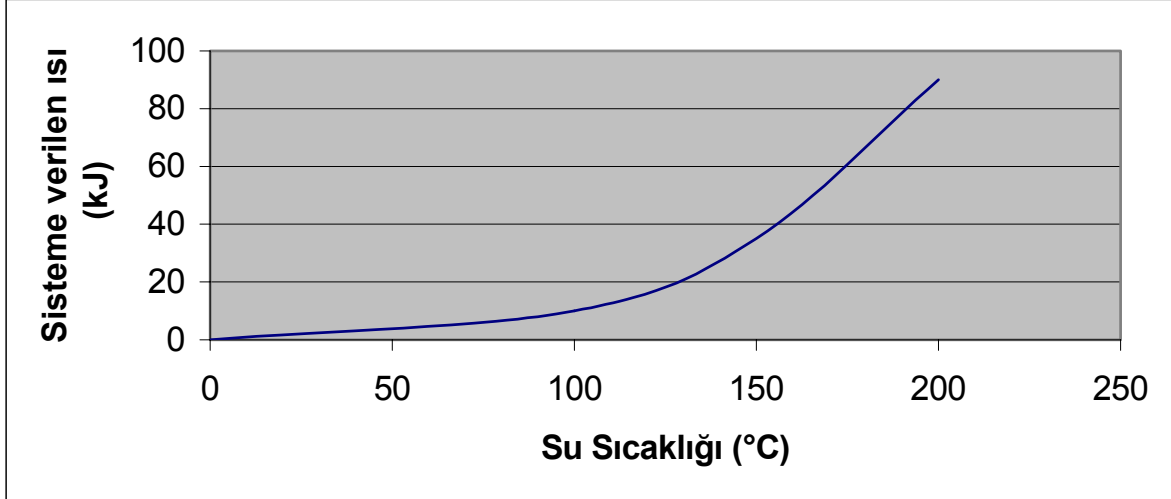
Şekil 32. Düşük debide sistem eğrisi.



Şekil 33. Sisteme verilen enerji-debi ilişkisi.

8.5.2. Sistem Su Sıcaklığı Kontrolü

Suyun sıcaklığının kontrolü durumunda, sisteme verilen ısının miktarı sıcaklıkla hemen hemen lineer olarak değişir. Suyun sıcaklığı kontrol edilebiliyorsa bu tip kontrol en ideal kontrol yöntemidir (Şekil 34).



Şekil 34. Sisteme verilen enerji-su sıcaklığı ilişkisi.

Su sıcaklığının kontrolü yöntemi özellikle ısı değiştirgecinin ve sekonder su pompasının kullanıldığı uygulamalar için uygundur. Debi kontrolü ise bireysel ısı terminallerinin kullanıldığı uygulamalar için uygundur [9].

SONUÇ

Günümüzde artan enerji maliyetleri ile doğru orantılı olarak enerjinin en verimli şekilde kullanılması ile ilgili çalışmalar da yoğunluk kazanmaktadır. Belirlenebilmiş petrol ve doğalgaz rezervleri çok kısıtlı olan ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın en zengin yedinci ülkesidir. Dolayısı ile ülkemizin jeotermal enerjiden en üst düzeyde yararlanması, enerjide dışa bağımlılığın önemli ölçüde azalmasına en azından daha da artmamasına büyük katkı sağlayacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi, jeotermal enerji sistemleri geniş alanlara yayılmıştır. Ayrıca kontrol parametreleri de, jeoloji, tesisat mühendisliği, meteoroloji, kimya gibi çeşitli alanlara dağılmışlardır. Böyle bir sistemin elle kontrolü, sistemden optimum verimi elde etmenin önünde büyük bir engel teşkil eder.

Yüksek sıcaklıktaki suyun dolaştığı ısıtma sistemlerinde kontrol sistemi seçilirken yüksek basınç ve sıcaklık gözönüne alınması gereken en önemli faktörlerdir. Kontrol sistemi seçilirken sistemin güvenlik faktörünün en üst düzeyde sağlanması esastır.

Kontrol, pnömatik veya elektrik ile sağlanabilir. Elektronik sıcaklık sensörleri (termocouple, resistance bulb), akışkan ile doldurulmuş (fluid filled) elemanlar veya bimetal elemanlara göre çok daha hızlı tepki verebilir. Fakat elektronik çalıştırıcılar yüksek sıcaklıklı sistemler için uygun değildir. Jeotermal sistemler için pnömatik çalıştırıcılar; hızlı tepki zamanları ve yüksek sıcaklığa dayanıklılıkları nedeni ile uygundur.

Seçilen kontrol sistemi;

1. Sıfırdan, ful yüke çalışabilmeli,
2. Kontrol sisteminde hata meydana geldiğinde vanaları kapamalıdır.

Kompleks jeotermal sistemler, PLC ve bir merkezi bilgisayar destekli otomatik kontrol sistemi kullanılarak daha verimli ve güvenli bir şekilde işletilebilirler. Bu bilgisayar sistemi, jeotermal kullanım için en uygun stratejiyi bulmaya yarayan güçlü bir araştırma aracıdır.

Otomatik kontrol bir sistemden optimum verimi elde etmenin en kolay yoludur. Otomatik kontrol sayesinde işletme maliyeti azalır ve sistem daha verimli çalışır. Ancak otomatik kontrolün ilk yatırım maliyeti çok fazladır. Bu nedenle bir sistemde kullanılacak olan otomatik kontrolün düzeyinin çok iyi ayarlanması gereklidir. Jeotermal rezervuarların farklı karakteristikte olmaları nedeniyle her jeotermal sistemin kendine has özelliklerinin olması, jeotermal enerji sistemlerinde standart bir otomatik kontrol uygulanmasına olanak vermez. Her sistem ayrı ayrı ele alınıp değerlendirilmeli ve uygun otomatik kontrol düzeyi ve tipi seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Katalog, ELIMKO
- [2] ANTAL, C., MAGHIAR, T., "Automatic Control and Data Acquisition (SCADA) for Geothermal Systems", European Summer School on Geothermal Energy Applications, pp.305-310, Ed. By M. Rosca, April 26th-May 5th, 2001, Romania
- [3] ZMARANDA, D., GABOR, G., "State of the Art of the Automatic Control and Monitoring Ssystem from the Geothermal Plant from the University of Oradea, Romania: Present and Perspectives", Proceedings World Geothermal Congress 2000, pp.40994104, May 28th-June 10th, 2000, Kyushu-Tohoku, Japan
- [4] BOYER, A. S., "SCADA Supervisory Control and Data Acquisition", Instrument Society of America, 1993

-
- [5] Rafhönunun web sayfası: <http://www.rafhonnun.is>
- [6] UĞUR, N., “KOSGEB Programlanabilir Kontrolcular (PLC) Temel Bilgi”, Yayın No: 15, Ankara Eğitim Merkezi, 1995
- [7] Teknik Kılavuz No: 1, Doğrudan Moment Kontrolü, ABB
- [8] Programlama Kılavuzu, ACS 600 Frekans Konvertörü 2, 2-315 kW ACS 600 Frekans Çeviricileri, ABB
- [9] Engineering Manual of Automatic Control, Honeywell Kataloğu

ÖZGEÇMİŞLER

A. Caner ŞENER

1977 yılı İzmir doğumludur. 2000 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı yıl içinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü'nde yüksek lisansa başlamıştır. Halen aynı Enstitü'de Araştırma Görevlisi olarak görev yapmakta ve “Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi'nin İşletme Optimizasyonu” isimli Yüksek Lisans Tezi'ni yürütmektedir.

Güliden G. GÜNERHAN

1968 yılı İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1992 yılında Yüksek Mühendis, 2000 yılındada Doktor ünvanı almıştır. 1991-2000 yılları arasında aynı Enstitü'de Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından beri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yard.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Jeotermal elektrik santrallerinde verim artırma yöntemleri, ısı eşanjörleri, jeotermal enerji kullanım yöntemleri ve jeotermal enerjinin çevresel etkileri konularında çalışmaktadır.