



bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Sulu Sistemlerin Tasarımı

AHMET ARISOY

İ.T.Ü.
Makina Fakültesi

SULU SİSTEMLERİN TASARIMI

Ahmet ARISOY

ÖZET

Genel olarak sulu sistemler kapalı devre çevrimlerdir. Dolaşan su bir generatörde ısıtılır veya soğutulur. Buradan elde edilen sıcak veya soğuk su kullanıcı elemanlara gönderilir. Burada çevreye ısı vererek veya çevreden ısı alarak soğuyan veya ısınan su tekrar kazana veya su soğutucuya döndürülür.

Sulu sistemler başlangıçta tek boru üzerine seri olarak dizilmiş kullanıcı elemanlardan oluşan basit devrelerdi. Basit akış biçimi, kontrol elemanlarının olmayışı ve genellikle doğal dolaşımli oluşları bu sistemlerin karakteristiği olmuştur. Ancak zamanla sulu sistemlerin boyutları çok büyümüş, iki borulu sistemlere geçilmiştir. Burada kullanıcılar devreye paralel bağlanmakta ve akış kontrol elemanları kullanılabilir. Yüz yılı aşkın süredir kullanılan iki borulu sistemlerde, bu uzun tecrübeye rağmen, hala taşınan akışkanın ve dolayısı ile ısı enerjisinin kullanıcılara en uygun bir biçimde dağıtımını problem olmakta ve bu konuda hatalar yapılmaktadır.

Bu bildiride temel prensipler üzerinde durulacak ve çeşitli sulu sistem çözümleri anlatılarak tartışılacaktır. Bu çerçevede içinde sulu sistemlerde basınç dağılımı birinci bölümü oluşturacaktır. İkinci bölümde pompaların yerleşimi; seri, paralel ve değişken debili pompalama üzerinde durulacaktır. Üçüncü bölüm dağıtım sistemlerine ayrılmıştır. Bu bölümde paralel çift borulu ve Tischelman sistemleri; sabit ve değişken debili pompalama sistemleri; primer-sekonder devre dağıtım sistemleri üzerinde durulacaktır.

GİRİŞ

Sulu sistemler tesisat mühendisliğinin temel çözümlerinden biridir. Gerek ısınma ve soğutma, gerekse sıhhi tesisatta sulu sistemler hemen her tesisat mühendisi tarafından kullanılsa da; uygulamada ve projelerde karşılaşılan yanlışlıklar, konunun temel bilgilerinde çoğu kişide eksiklikler olduğu kanaatini doğurmaktadır. Bu bildiride sulu sistemlerde uygulamaya dönük bazı temel kavramlar tartışılacaktır.

Herşeyden önce sulu sistemlerin boyutlandırılmasında esas olan ana kriterler ve sistemin tasarımında esas olan prensipler üzerinde durulmalıdır. Sulu sistemlerin boyutlandırılmasında ana kriter ekonomidir. Eğer boru çapları büyük seçilirse ilk yatırım maliyetleri artar. Buna karşılık basınç kayıpları azaldığından suyun dolaşımı için gerekli pompalama gücü azalır. Dolayısı ile işletme maliyetleri azalır. Optimum çözüm toplam maliyeti minimum yapan boyuttur. Optimum çözümler çoğu zaman standartlar tarafından empoze edilirler. Bu optimum çözümlerle beraber başka kriterlerin de sağlandığının belirlenmesi gerekir. En önemli sınırlayıcı iki kriter ses ve boru aşınması ile ilgilidir. Boru içinde su akışı eğer su içinde hava veya buhar kabarcığı yoksa çok sessizdir. Örneğin içindeki hava iyice alınan kaynar su sistemlerinde 4,5-5 m/s hızlara kadar rahatlıkla çıkılabilir veya soğutulmuş su sistemlerinde hızlar ses problemi olmaksızın yüksek olabilir. Ses aynı zamanda erozyonla da iç içedir. Sistemde hava varsa, yüksek hızlarda bu aynı zamanda erozyon problemi de yaratacaktır.

Tasarımda esas olan prensip ise sistemde dirençlerin dengelenmesidir. Sistemde paralel olarak oluşturulan kolların herbirinde bütün çalışma şartlarında başlangıçta belirlenen debiler geçmelidir. Pratik sistemlerin başarısı bu temel prensibe ne kadar yaklaşıldığına bağlıdır. Bu temel sorunun yanında sistemden havanın tahliyesi, basınç darbeleri, korozyon ve işletme ekonomisi gibi pek çok diğer problemin de alınacak önlemlerle çözülmesi gerekir.

SULU SİSTEMLERDE BASINÇ DAĞILIMI

Bu bildiri çerçevesinde sadece kapalı su devreleri üzerinde durulacaktır. Su devresi atmosfere açık veya kapalı olabilir. Ancak su alt bir seviyeden, yuksekteki bir seviyeye basılmamaktadır. Sadece devrede dolaştırılmaktadır. Dolayısı ile bu sistemde kullanılan pompalara dolaşım veya sirkülasyon pompası adı verilmektedir. Dolaşım pompası sadece devrede suyun dolaşması sırasında ortaya çıkan sürtünme kaybı, yerel kayıp gibi dinamik yükleri karşılar. Su hareketi azaldıkça bu yük te azalır. Kapalı devrelerde pompa için gözönüne alınması gerekli statik yük sadece sıcaklık farkı dolayısı ile ortaya çıkan yoğunluk farkından kaynaklanır. Bu değer kayıp veya kazanç yönünde etkili olabilir ve çoğu zaman pompalı devrelerde ihmal edilir.

Sulu sistemlerdeki basınç ilişkisi Bernoulli denklemi ile verilir ki aslında bu enerjinin korunumu denklemdir. Bernoulli denklemi

$$P_1 + \rho_1 \frac{V_1^2}{2} + \rho_1 g z_1 = P_2 + \rho_2 \frac{V_2^2}{2} + \rho_2 g z_2 = H$$

olarak verilir. Burada,

- P= Basınç (Pa)
- ρ = Yoğunluk (kg/m³)
- V= Akışkan hızı (m/s)
- g= Yerçekimi ivmesi (m/s²)
- z= yükseklik (m)
- H= Toplam basınç (Pa)

1 ve 2 noktaları arasında akışkanın akışı sırasında bir enerji dönüşümü (basınç düşümü) meydana gelir. Bu düşüm,

$$\Delta P = H_1 - H_2$$

olarak ifade edilebilir. Kapalı bir sistemde basınç düşümü

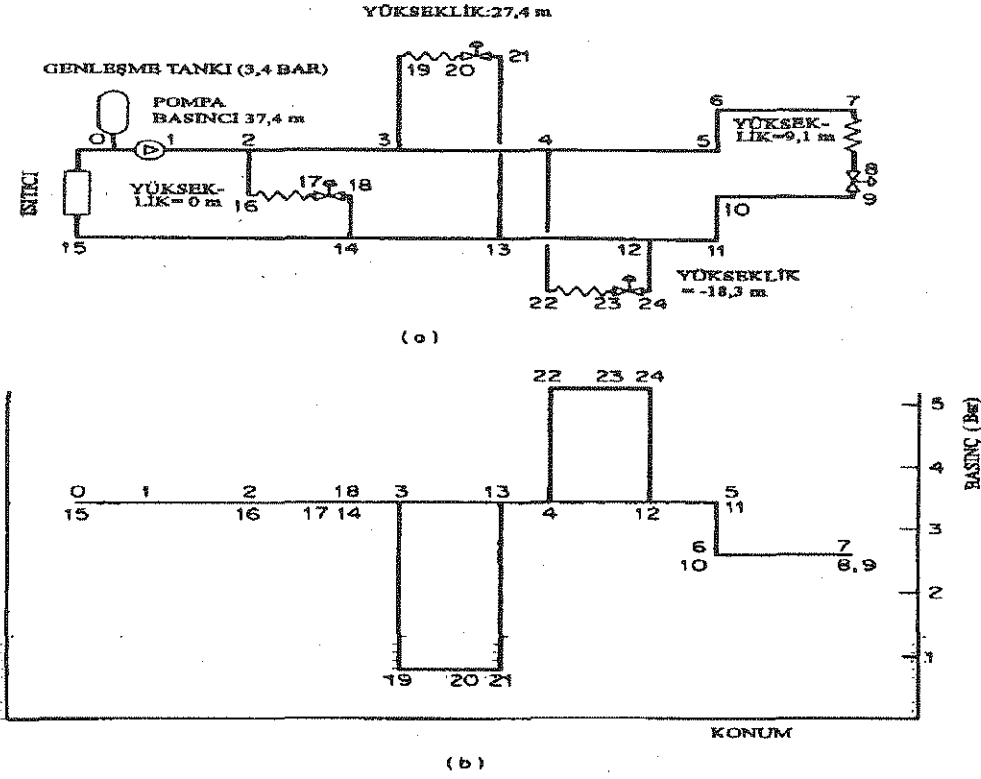
$$\Delta P = f \frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2} + K \rho \frac{V^2}{2} + \Delta z (\rho_1 - \rho_2) g$$

ile gösterilebilir. Burada ilk terim sürtünme kaybını, ikinci terim yerel kayıpları ve son terim düşey doğrultuda yoğunluk farkının doğurduğu kaldırma kuvvetini ifade etmektedir.

Bütün bu basınç ilişkilerinin görülebilmesi için kapalı bir devreye ait basınç dağılım diyagramı çizilebilir. Şekil 1'de böyle bir örnek kapalı devre basınç diyagramı verilmiştir. Şekil 1a'da devre şeması, b'de akış yokken statik basınç dağılımı, c'de ise pompa tam güçte çalışırken basınç dağılımı görülmektedir.

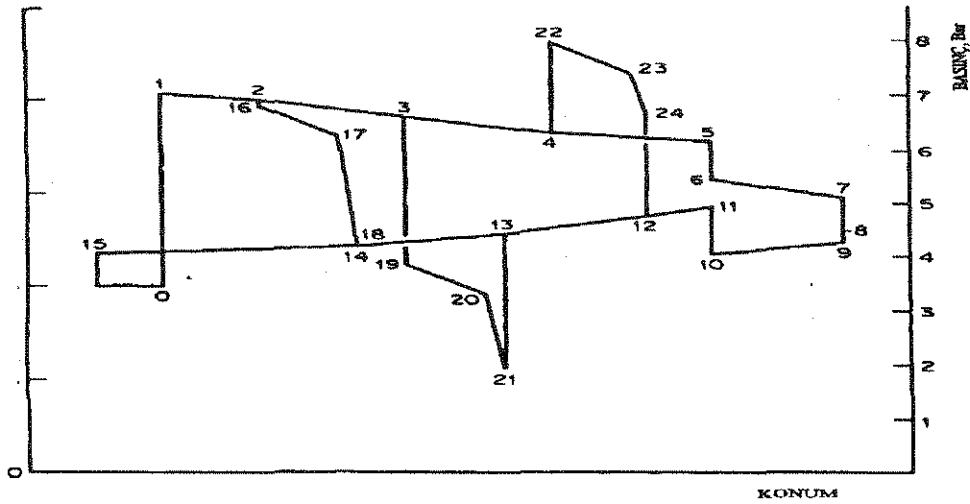
Sistemde kapalı genişleme tankı bulunmaktadır. İster kapalı, ister açık genişleme tankı olsun, bu tankın sisteme bağlandığı noktada uyguladığı basınç referans noktasıdır ve değişmez. Şekildeki sistemde bu kap tarafından uygulanan basınç 3,4 bar olup, pompa çalışmazken bu kapla aynı seviyede olan bütün noktalarda basınç aynı değerdedir. Şematik şekilde devre planda gösterilmiş

olup, farklı kotlardaki noktalar rakamla ve yazı ile ifade edilmiştir. Sistemde yüksekte olan 19,20,21 noktalarında ve 6,7,8,9,10 noktalarında daha düşük statik basınç ve alçakta olan 22,23,24 noktalarında daha yüksek statik basınç görülmektedir. Bu durumda akış sıfır olduğundan pompanın karşılaması gereken basınç düşümü yoktur.



Şekil 1. Idealize edilmiş bir sıcak su sistemi a) akış diyagramı b) sıfır akışta basınç dağılımı

Pompa çalıştığında 0 noktasından itibaren pompa çıkışı olan 1 noktasına kadar pompa basma yüksekliğine eşit miktarda (37,4 mss) basınç artışı olur. Bu pompa tarafından sağlanan basınç farkı, 1'den tekrar 0 noktasına kadar olan bütün devrede sürtünme ve yerel kayıplara kullanılmaktadır.

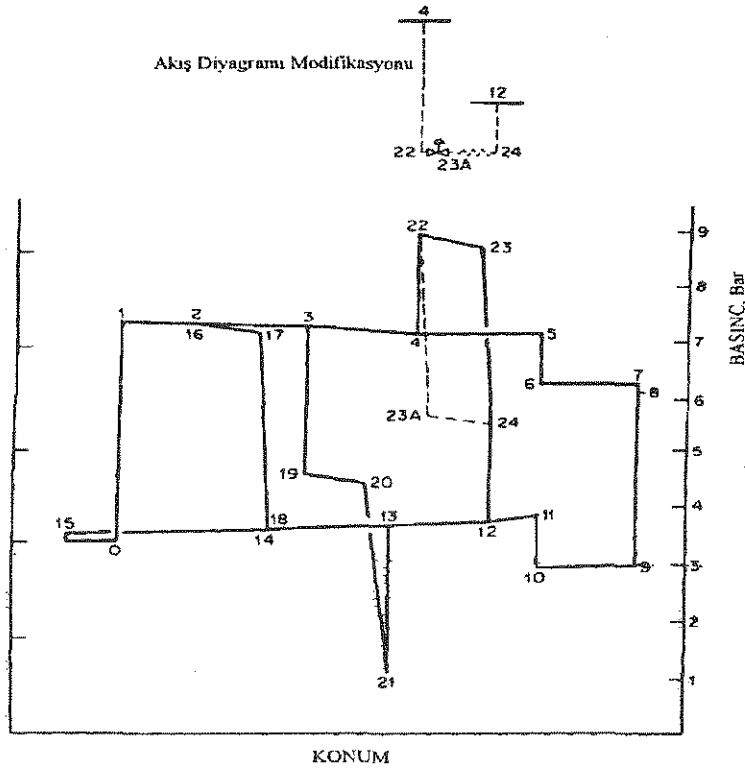


Şekil 1 c. Tam kapasitede akış halinde basınç dağılımı

Görüldüğü gibi aynı kotta olan ve pompa çalışmazken aynı statik basınçta olan 1,2,3,4,5 noktaları arasında, pompa çalışmaya başlayınca basınç farkları oluşmaktadır. pompanın sağladığı basınç, 1'den 5'e doğru boru hattında sürtünmelerle kaybedilmektedir. Sonuçta 1'den 0'a kadar devrede hep

azalan eğimle ilerlemekte ve 0'da kapanmaktadır. Ayrıca aynı noktalara bağlı paralel kollarda meydana gelen basınç düşümleri birbirine eşittir. Örneğin 4,22,23,24,12 hattı ile 4,5,6,7,8,9,10,11,12 hattında eşit basınç düşümü vardır. Bu kendiliğinden oluşan bir dengedir. Bu dengenin oluşumu için her iki koldaki su debileri kendilerini ayarlar. Dolayısı ile bu kollardan herhangi birinde olacak direnç değişimi diğer kollardaki debilerin değişmesine neden olur. İşte sulu sistem tasarımında en önemli problem bu debi değişimlerinin kontrolüdür.

Şekil 2'de aynı sistemin 2 yollu kontrol vanalarının kısılması suretiyle debisinin yarıya inmesi durumunda basınç diyagramı verilmiştir. Bu durumda sabit devirli pompada debi azalırken, basma yüksekliği biraz artmakta, buna karşılık kullanım yerlerinde basınç düşümü esas 2 yollu kontrol vanalarında meydana gelmektedir. Debi düşmesi nedeniyle borudaki ve ısıtıcılardaki basınç kayıpları azalmıştır,



Şekil 2. %50 kısmi kapasitede basınç dağılımı

POMPALAR VE SULU SİSTEMLER

Pompalar sulu sistemlerin kalbidir. Dolayısı ile sistem dizaynının en önemli bir bölümünü pompaların seçimi ve yerleşimi oluşturur. Herşeyden önce günümüzde pompanın yeri kazanlardan veya soğutma gruplarından sonra olmalıdır. Genleşme kabı kazan veya soğutma grubu dönüş hattında olduğundan bu durumda bütün boru sistemi basınç altındadır. Bu özellikle sıcak sulu ısıtma devrelerinde önem kazanır.

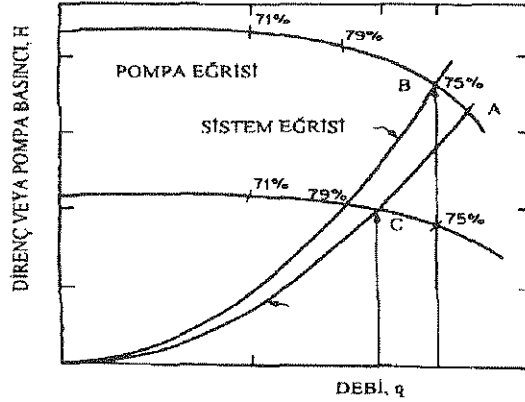
Santrfüj dolaşım pompalarında bilinmesi gereken aşağıdaki genel özellikler geçerlidir:

- Pompa debisi pompa devir sayısı ile orantılıdır.
- Pompa basma yüksekliği pompa devir sayısının karesi ile orantılıdır.
- Pompanın çektiği güç pompa devir sayısının kübü ile orantılıdır.

Örneğin bir pompanın devir sayısı %50 azaltılırsa, pompaladığı su % 50 oranında azalırken, basma yüksekliği orijinal değerinin %25'ine, güç ihtiyacı ise orijinal değerinin %12,5'üne iner.

Pompa karakteristiği denilen kapasiteye karşılık pompa basıncının değişimi, sirkülasyon pompalarında geniş bir aralıkta meydana gelir. Dolayısı ile bir dolaşım pompası çok geniş bir aralıkta çalışabilir. Şekil 3'te örnek bir pompa karakteristiği verilmiştir. Bu eğri üzerinde pompa verim değerleri

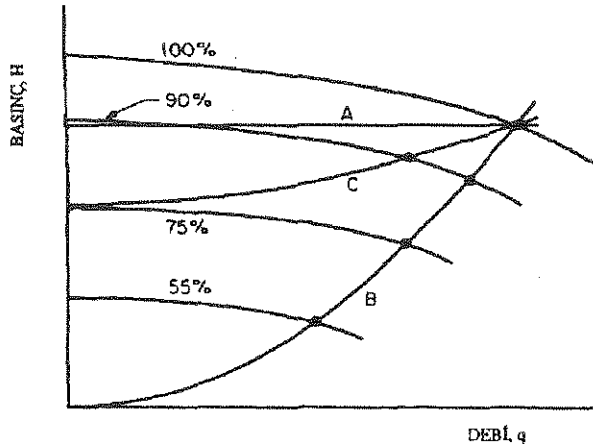
de işaretlenmiştir. Sıcak sulu ısıtma sistemi devresi için aynı eksen takımında sistemin karakteristiği çizildiğinde yine Şekil 3'teki sistem eğrisine benzer bir eğri elde edilir. Bu iki eğrinin kesim noktası, (A) çalışma noktasıdır. Sistem karakterinin değişmesi (örneğin bir motorlu vananın kısılması) veya pompa karakterinin değişmesi (örneğin pompa devir sayısının azalması) halinde çalışma noktası da (sırası ile B ve C noktaları) değişecektir. Pompalar çalışma noktaları pompa eğrisinin maksimum verim bölgesinde olacak şekilde seçilmelidir.



Şekil 3. Pompa ve sistem karakteristikleri

DEĞİŞKEN DEVİRLİ POMPALAR

Şekil 4'te değişken devirli bir pompanın %100, %90, %75 ve %55 hızdaki karakteristik eğrileri verilmiştir. Aynı şekilde sıcak sulu ısıtma yapılan kampus tipi bir uygulamada primer devre sistem eğrisi de görülmektedir. Isıtma ihtiyacı dış sıcaklığa bağlı olarak azaldıkça 2 yollu kontrol vanaları kısılarak debiyi azaltmakta, buna bağlı olarak pompanın devri de azalarak gerekli olan kadar debi sağlamaktadır. Devir azaldıkça çalışma noktası sistem eğrisi boyunca aşağı kaymakta, kapasite azalırken paralel olarak çekilen güç de azalmaktadır. Bu durumda değişken devirli pompa sistem eğrisine mükemmel uymakta ve sabit devirli bir pompaya göre büyük enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Halbuki klasik sabit devirli sulu sistemlerde 3 yollu vanalarla ısıtma kontrolü yapılır. Primer devrede debi sürekli sabit kalırken, ısıtıcılardan dolaştırılan akışkanın sıcaklığı değiştirilir. Her iki sistemde de ısıtma aynı mükemmelikte kontrol edilirken, değişken debili sistemde aynı zamanda pompalama gücünden tasarruf sağlanmaktadır. Özellikle son yıllarda değişken devirli pompa fiyatları hızla düşerek makul değerlere gelirken, enerji maliyetlerinin yükselmesi bu pompaların daha fazla kullanılmasına yol açmıştır. Eğilim önümüzdeki yıllarda bu pompaların daha yaygın kullanılması yönündedir. Örneğin Almanya'da 50 kW gücün üstünde domestik ısıtma sistemlerinde bile sabit devirli veya elle ayarlanabilen kademeli devirli pompaların kullanımı önümüzdeki yıldan itibaren (1.1.1996) yasaklanmaktadır. Hiç olmazsa 3 kademeli otomatik devir ayarlı pompa kullanımı istenmektedir. Yine Almanya için verilen rakamlara göre sabit devirli dolaşım pompalarının değişken



Şekil 4. Değişken devirli pompa karakteristiği

devirli hale getirilmesi durumunda yıllık 2,5 milyar kWh elektrik enerjisi tasarrufu yapılabilecektir. Sabit devirli bir pompa aslında ömrünün sadece %2-5'inde tam kapasitede çalışmak zorundadır. Geri kalan zamanlarda hep düşük kapasite talebi vardır.

Ancak burada değişken devirli pompaların kullanımında sistem karakteristiğinin büyük önemi vardır. Şekil 4'te C eğrisi ile başka bir sistem karakteristiği verilmiştir. Bu bir soğutulmuş su devresi sistem karakteristiğidir. Burada dış sıcaklık yükün değişiminde çok az rol oynamaktadır. Önemli olan güneş yükleri ve iç yüklerdir. Bazı zonlar tam yükte iken, bazıları minimum olabilir. Ayrıca soğutma grubu devresinde sabit miktarda su dolaşımı gerekir. Soğutma gruplarında suyun dolaşımı aynı primer devre pompası ile gerçekleştiğinden, grubun direnci her kapasitede sürekli var olacaktır. Sonuç olarak değişken debi karakteristiği sadece ana dağıtım devresi için geçerlidir ve bu devrede toplam devre direncinin ancak yarısına eşit olduğundan kapasite değişimi ile pompanın karşıladığı dirençte değişim azdır ve kapasite azaldıkça sifıra gitmez. Bu durumda görüldüğü gibi değişken debili pompa çok fazla karlı değildir. Sistem karakteristiği nedeniyle pompa devir hızı belirli bir değerin altına inemez.

Soğutulmuş su sistemlerinde değişken debili pompalar ancak çok büyük kampüs tipi uygulamalarda primer ana dağıtım devrelerinde kullanılabilir veya primer-sekonder devreli sistemlerde sekonder dağıtım devresinde kullanılabilir.

Sonuç olarak değişken debili sistemlerin uygulanmasında sistem karakteristiği mutlaka gözönüne alınmalı ve karakteristik uygunsa kullanılmalıdır. Aksi halde yatırım boşa gitmiş olacaktır.

Değişken devirli pompaların ekonomik yararları yanında iki önemli faydası bulunmaktadır: 1. Tesisattaki kontrol karakteristiğine bağlı olmakla birlikte, yüke bağlı olarak debi düştükçe ses ve titreşim problemleri de hızla azalır. Sistem daha yüksek bir konfora ulaşır. 2. Hidrolik devredeki dengenin (kapasite kontrolü cinsine bağlı olmakla birlikte) yük değişimini en aza indirilmiştir.

Değişken devirli pompalarda kademesiz hız ayarı günümüzde daha çok frekans konvertörleri ile yapılmaktadır. Devir ayarı için gerekli kumanda farklı büyüklüklerden alınabilir. Hissedilebilen büyüklükler

- Gidiş veya dönüş suyu sıcaklıkları
- Gidiş-dönüş suyu sıcaklık farkı
- Gidiş veya dönüş suyu basınçları
- Gidiş-dönüş suyu basınç farkı
- Çevre sıcaklığı
- Zaman

olabilir. Dolayısı ile sistem; kontrol edilecek büyüklüğe uygun bir sıcaklık veya basınç sensörü, frekans konvertörü ve pompa-motor grubundan oluşmaktadır. Kuru rotorlu santrifüj pompalarda genellikle devir hızı ayarında kullanılan sensör ve konvertörler ayrı birimler halindedir. Yeni nesil ıslak rotorlu dolaşım pompalarında ise bütün sistem pompaya entegre vaziyettedir.

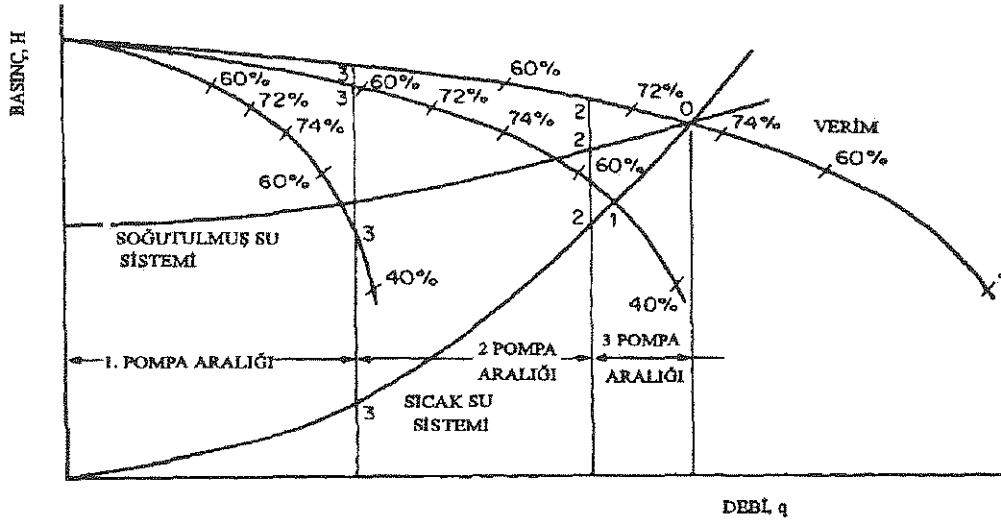
Kullanılan kontrol cihazları isteğe bağlı olarak birden fazla pompaya kumanda edebilmekte, bunları sıra ile devreye alabilmekte ve çalışma noktasını serbest olarak belirleyebilmektedirler.

Değişken devirli pompalarda kapasite hiç bir zaman %0'a kadar indirilemez. Pratikte değişken devirli pompalarda kapasite %100-%40 arasında değişebilmektedir.

POMPALARIN PARALEL BAĞLANMASI

Pompalar paralel bağlandığında toplam debi pompaların herbirinin aynı basma yüksekliğindeki debilerinin toplamına eşittir. Şekil 5 üç eşit pompanın paralel bağlanması halindeki tipik çalışmasını göstermektedir. Pompalar yükü kendi basınç-debi karakteristiklerine göre paylaşmaktadırlar. Kararlı bir çalışma için çalışma noktasının net olarak belirlenebilmesi gerekir. Bu nedenle pompa karakteristiklerinin orta derecede dik olması gerekir. Düz karakterli pompaların paralel çalışması

halinde yük paylaşım noktalarının kayması eğilimi ortaya çıkar. Çok dik karakterli pompalarda ise kararsızlık oluşabilir.

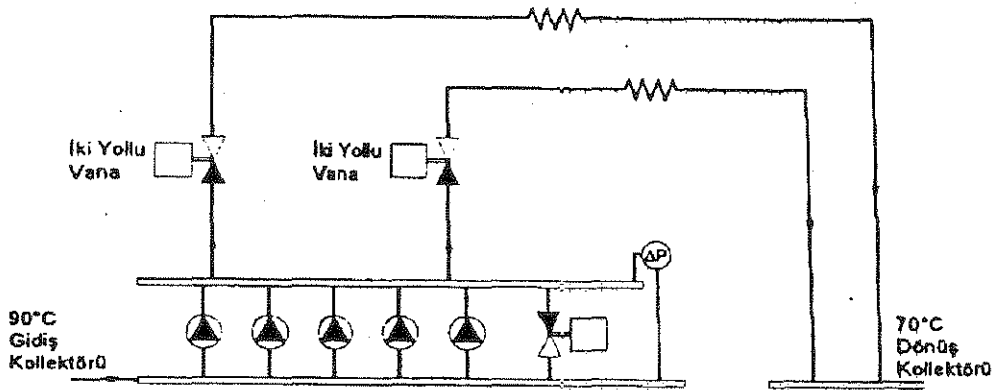


Şekil 5. Üç eşit pompanın paralel çalışması

Şekilde sistem karakteristiği üçlü paralel pompa karakteristiğini 0 noktasında, ikili pompa karakteristiğini 1 noktasında kesmekte ve tek pompayı kesmemektedir. Ancak sistemde bir vananın kısılması sureti ile basınç artırılırsa, tek pompa 3 noktasında sistem ihtiyacını karşılayabilir. İki pompa birlikte 1 noktasında tek pompa debisinin iki mislini sağlamaktadır. Ancak üçüncü pompanın ilavesi 0 noktasında debiyi %12 daha artırabilmektedir.

Pompa verimleri şekil üzerine işaretlenmiştir. Bunun incelenmesinden optimum çalışma aralıklarını belirlemek mümkündür. Tek pompa stabil çalışma noktası 3'e kadar kullanılmalıdır. İki pompalı çalışma 2 noktasına kadar devam edebilir. 2 noktası verimlerin eşit olduğu noktadır. Bu noktada çekilen güç farklı basma yüksekliğine rağmen eşittir.

Paralel çalışan çok sayıda pompa ile kademeli olarak değişken debili sistemler yaratılabilir. Bu şekilde geliştirilmiş ticari kontrol sistemleri mevcuttur. Böyle bir sıralı kontrol Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu sistemde gidiş-dönüş arasındaki basınç farkı ΔP sabit tutulmaktadır. Sistemi kontrol eden iki yönlü vanalar kısıldıkça kollektörler arasındaki bypass devresindeki iki yönlü motorlu vana açılmakta ve basınç farkını sabit tutmaktadır. Belirli bir noktada pompanın biri devreden çıkarken bypass vanası yeniden kısılmaktadır. Böylece pompalar sıra ile devreye sokulmakta ve çıkarılmaktadır.



Şekil 6. İki yönlü vana kullanılan sistemlerde kollektörler arası fark basıncına bağlı olarak pompaların sıralı kontrolü

Basit sistemler için tek ve düz karakterli pompa yerine paralel çok sayıda pompa kullanmak düşük debiler bölgesi dışında büyük bir kazanç sağlamaz. Ancak değişken devirli pompa örneğinde incelendiği gibi, primer-sekonder devreli bölge soğutması ağı dağıtım hatlarında ve benzeri uygulamalarda karşılaşılan düz karakterli sistemlerde paralel pompalar kullanmak büyük yarar sağlar.

PARALEL DEĞİŞKEN DEVİRLİ POMPA BAĞLANTISI

Kuru rotorlu pompalara bağlanan frekans konvertörleri pompadan bağımsızdır. Dolayısı ile bir sıra eşit pompadan herhangi birine kumanda edilebilir. Öte yandan değişken devir kabiliyetini doğuran frekans konvertörleri motor gücü ile giderek daha pahalı olmaktadır. Bu nedenle büyük debili sistemlerde paralel eşit güçte pompalar kullanarak ve bunlardan sadece bir tanesini değişken devirli yaparak maliyeti düşürmek mümkündür. Ticari olarak 6 pompaya kadar paralel bağlanmış değişken devirli pompa grupları hazır paket olarak piyasada mevcuttur. Burada sıra ile pompalar devreye girmekte veya çıkmakta aradaki bölgede ise değişken devirli pompa sürekli debi kontrolünü gerçekleştirmektedir. Bu sistem sıcaklık, basınç veya bunların farkından kumanda alabildiği gibi, yukarıda sözü edilen paralel pompa karakteristiğinin avantajlarını da taşımaktadır.

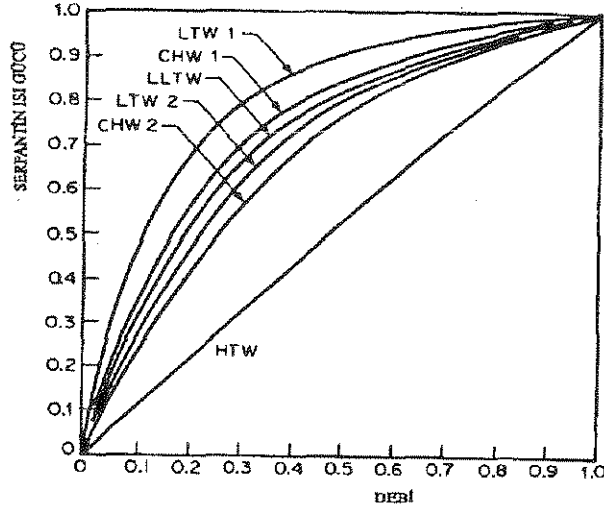
POMPALARLA İLGİLİ PRATİK ÖNERİLER

- Pompaların mekanik salmastralı veya fitil salmastralı olması iş sahibinin seçimine bırakılmalıdır. Eğer işletmede iyi bir bakım ekibi varsa normal salmastralar tercih edilmelidir. Mekanik salmastralar daha uzun ömürlü olmalarına ve bakım gerektirmemelerine karşılık, kırıldıklarında mevcut personelle tamir edilemezler. Mutlaka ilgili servis teşkilatına gereksinim vardır. Bu da pompanın bir süre devre dışı kalmasına neden olur.
- Mekanik salmastraların en büyük düşmanı kum ve ince yabancı maddelerdir. Bu nedenle özellikle sıcak sulu sistemlerde ilk 6 aylık mertebesinde bir dönemde normal salmastra kullanmak ve yabancı maddeler çökeliş filtrelendikten sonra mekanik salmastraların takılması tavsiye edilir.
- Gelecekteki büyük yük için seçilmiş pompalar, başlangıç döneminde uzun süre düşük yüklerde çalışacaksa; bu dönem için daha küçük çaplı bir çark ile çalıştırılabilir. Tam kapasite çarkı da gerekli zamanda kullanılmak üzere depoda saklanır. Çekilen güç çark çapının kübü ile orantılı olduğundan büyük tasarruf sağlanır.
- Sabit devirli pompalar tamamen kapalı veya kapalıya yakın bir konumda uzun süre çalıştırılmamalıdır. Aksi halde su aşırı ısınır. Sistemde pompaları soğutacak kadar minimum bir bypass debisinin dolaşma imkanı sağlanmalıdır.

ISITICI VEYA SOĞUTUCU SERPANTİN PERFORMANSI

Farklı su debilerindeki serpantin performansı ve bunun merkezi sisteme etkileri aşağıdaki tabloda verilen 6 tipik sulu sistem için Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu şekilde ısı değiştirgeci yüzeyi ve akışkan giriş sıcaklığı sabittir.

İşareti	Giriş sic. C	Dönüş sic. C	OT
HTW	204	121	83
LTW1	82	71	11
LTW2	82	60	22
LLTW	40,6	35	5,6
CHW1	7,2	11,7	4,4
CHW2	5,6	14,4	8,9

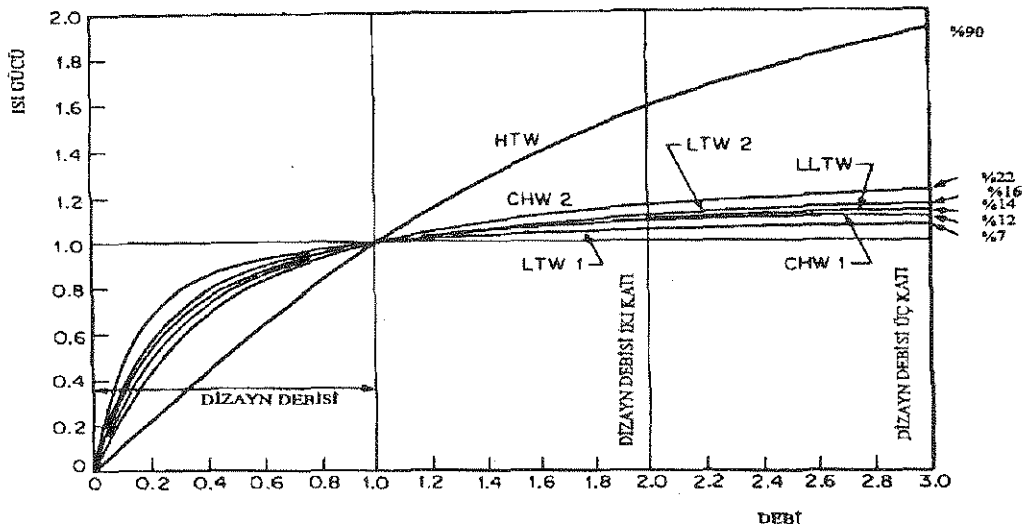


Şekil 7. Akış cinsine göre serpantin performansı

Tipik sulu sistemler kızgın su (HTW), sıcak su (LTW) ve soğutulmuş su (CHW) olarak seçilmiştir. Şekil 7'ye göre kızgın su halinde (HTW) kapasite ile debi arasında lineere yakın bir ilişki vardır. Böylece bu hal kapasitenin debi ile en kolay kontrol edilebileceği durum olarak gözükmektedir. Tam tersine LTW1 ise debi değişimine karşılık kapasite değişim cevabının en zayıf olduğu hale karşı gelmektedir. Debi tam yükün yarısına düşürüldüğünde (%50), kapasite ancak tam yükün %90'ına indirilebilmektedir. Kapasiteyi yarıya indirmek için debiyi %12'ye kadar düşürmek gerekmektedir.

Buradan görülüyor ki ısı değiştirgeçerlerin kontrol performansını etkileyen en önemli parametre ΔT sıcaklık farkı olmaktadır. Bu farkın işlemin müsadesi nispetinde en geniş yapılması gerekir. Doğal olarak eşanjör (veya serpantin) performansı, kontrol meselesinin bir yüzüdür. Olayın diğer yüzünde ise kontrol vanalarının karakteristiği bulunmaktadır.

Şekil 8'de ise aynı sulu sistemlerin karakteristiklerinin dizayn değerinin ötesindeki durumu verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi kızgın suda (HTW) debiyi %12 artırıncaya kapasitede %10 luk bir artış elde edilmektedir. Halbuki LTW1 sisteminde debiyi iki misli artırmak, kapasiteyi ancak %5 oranında artırmaktadır.



Şekil 8. Aşırı besleme halinde serpantin performansları

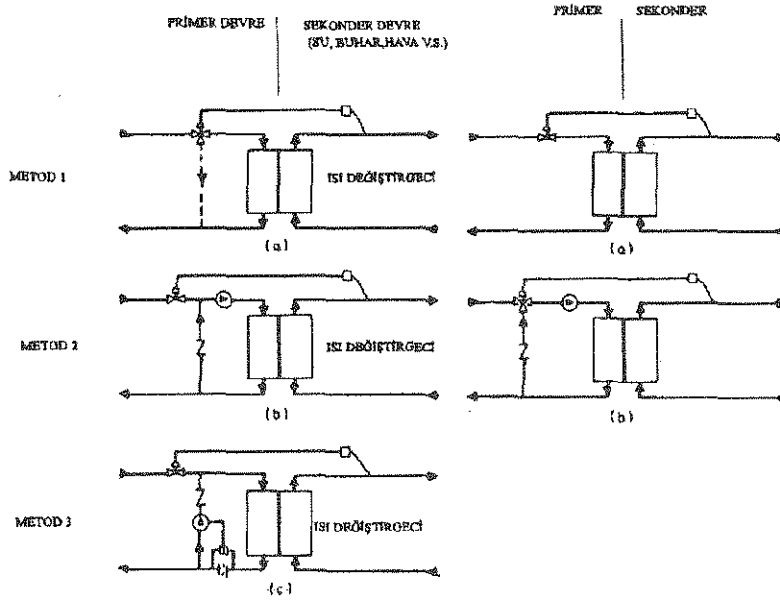
Buradan varılan sonuç ise, HTW sisteminde serpantin seçimindeki hataların ve eksikliklerin debi değişimi ile kompanse edilebileceği ve dizayn değeri etrafında kapasitenin debi ile kolayca kontrol

edilebileceğidir. Halbuki bu esneklik sıcak su (LTW) ve soğutulmuş su (CHW) sistemlerinde yoktur. Dolayısı ile mümkünse bu sistemlerde yüzeyler biraz daha emniyetli seçilmeli ve kapasite kontrolü debi değişiminden çok, sıcaklık değişimine dayanmalıdır.

Buradan çıkan bir diğer sonuç da sabit debili sulu sistemlerin reglajının çok zor olmasıdır. Böyle bir sistemi serpantin (veya eşanjör) gücüne bakarak dengelemek yukarıdaki açıklamalara göre çok zordur. Bu sistemlerin reglajı hesaplanan basınç düşümlerine göre yapılmalıdır. Bu nedenle sabit debili sulu sistem tasarımında devrelere otomatik debi kontrol elemanları tesis edilmelidir.

KAPASİTE KONTROL YÖNTEMLERİ VE SERPANTİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Bir ısı değiştirgeci (veya serpantin) gücü kontrolü için üç temel yöntem vardır. Bu kontrol primer devreye uygulanır. Gücün sekonder devre üzerinde kontrolü daha az uygulandığından üzerinde durulmayacaktır. Bu yöntemler Şekil 9'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 9. Serpantin (eşanjör) güç kontrol yöntemleri

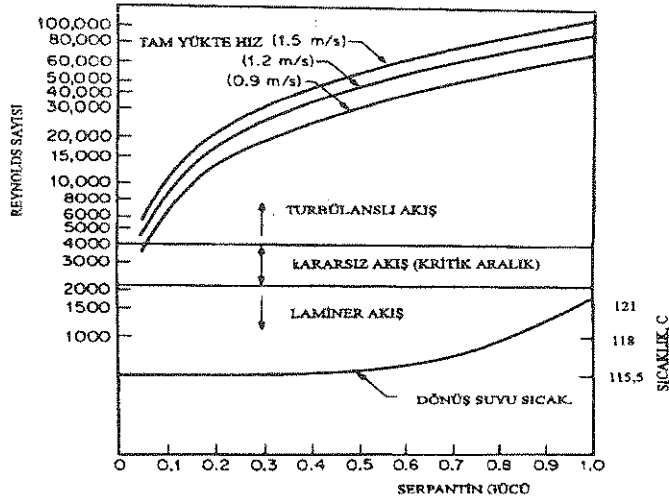
1. yöntemde serpantine beslenen primer devre akışkanının sıcaklığı sabit kalırken debisi değişmektedir. Serpantinden istenen güce göre primer devre akışkan debisi ayarlanmaktadır. Bu amaçla Şekil 9 a'da görüldüğü gibi üç yollu bir ayırma vanası veya iki yollu motorlu bir kısma vanası kullanılabilir.

2. yöntemde serpantinden geçen debi sabit kalmakta ve sadece primer devre besleme akışkanının sıcaklığı değişmektedir. Bu sistem bir pompayı gerektirmektedir. Pompa vasıtası ile primer devredeki akışkana dönüş devresinden istenen miktarda akışkan karıştırılarak sıcaklık ayarlanmaktadır.

3. Yöntem ilk ikisinin karışımı olup, daha az kullanılmaktadır. Burada besleme sıcaklığı sabit kalırken debi minimum bir değere kadar düşürülebilmektedir. Daha sonra debi bu minimum değerde tutularak dönüş akışkanı karıştırılmak suretiyle sıcaklık değiştirilmeye başlanmaktadır. Bu sistemde bypass devresindeki değişken devirli dolaşım pompası, dönüş hattındaki debiden kontrol olarak belirli minimum bir değerde çalışmaya başlamakta ve dönüş hattı debisini sabit tutacak biçimde giderek debisi artmaktadır.

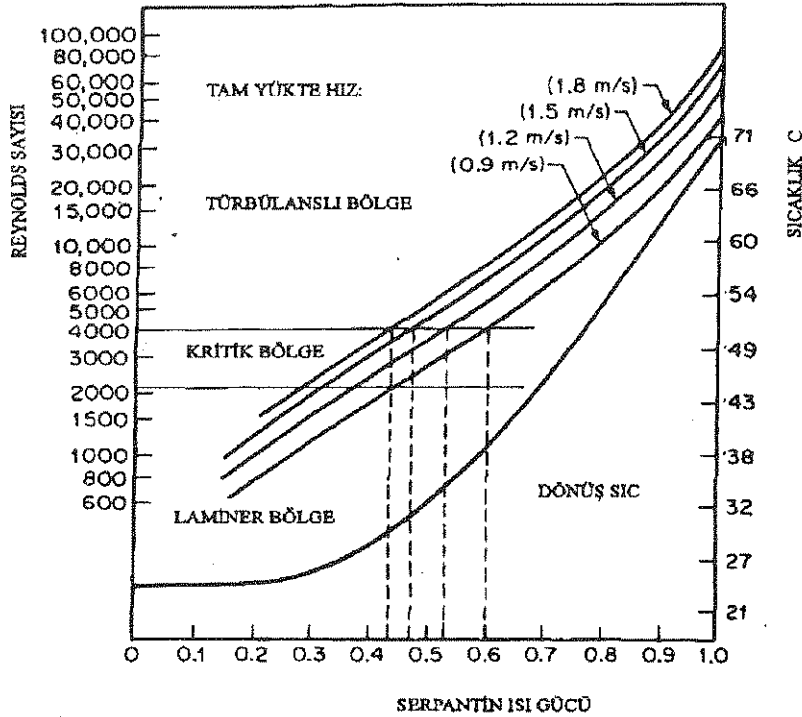
Şekil 10'da kısmi yükte kızgın su (HTW) sisteminin 1. yöntemine göre kontrolü verilmiştir. Burada serpantin boru içindeki su akışında ısı geçişinin kararlı ve istenen düzeyde olması için akışkanın türbülanslı rejimde olması gerekir. Şekilde türbülanslı rejim işaretlenmiştir. Görüldüğü gibi HTW için

1. yöntemle kapasite kontrolü mümkündür. Bütün pratik kapasite aralığında akış türbülanslı rejimdedir.



Şekil 10. Kızgın sulu sistem (HTW) kısmi yükte 1.yönteme göre kontrol performansı

Halbuki Şekil 11'de ise CHW2 (soğutulmuş sulu sistem) için 1. yöntemle göre kontrol karakteristiği verilmiştir. Burada tam yükte serpantin boruları içinde su hızı 0,9 m/s seçilirse, kapasiteyi %62'ye indirdiğimizde türbülanslı bölgeden kararsız kritik bölgeye geçildiği görülmektedir. Buna göre kapasitenin debi düşürülerek daha fazla azaltılması doğru değildir. Bu noktadan sonra kapasite ancak giriş sıcaklığının değişimi ile azaltılmalıdır.



Şekil 11. Sıcak sulu sistem (LTW2) kısmi yükte 1. yöntemle göre kontrol performansı

Görüldüğü gibi kontrol edilecek tipik sisteme göre kontrol yöntemleri de uygun olarak seçilmelidir. Debi değiştirerek kontrol daha basit ve ucuz bir yöntemdir. Ancak bu yöntem bazı durumlarda yetersizdir. Sıcaklık değişimine dayanan sabit debili kontrol daha uygundur. Bu ayrıca düşük debilerde soğuk havalarda dış havayı şartlandıran serpantinlerin donma problemini de elimine eder. Ama ısı geçiş yüzeylerinin artırılmasını ve ilave bir pompayı gerektirdiğinden bu düzenleme daha pahalıdır.

Sonuç olarak sulu sistemler mümkün olan en geniş ΔT ile çalışacak şekilde ve dönüş suyu sıcaklığı sekonder akışkan sıcaklığına mümkün olduğunca yaklaşacak şekilde dizayn edilmelidir. Kullanıcı cihaz sadece tam yük için değil, kısmi yüklerdeki performansı dikkate alınarak seçilmelidir. Serpantinlerde büyük akışkan hızları tavsiye edilir. Akışkanın sıcaklığa bağlı genişmesi gözardı edilmemelidir. Özellikle sabit debili sistemlerde genişlemenin dağıtım sistemi üzerinde normal çalışmada büyük etkileri vardır.

DAĞITIM SİSTEMİ

Burada sadece kapalı devre sulu sistemler üzerinde durulacaktır. Kapalı devre dağıtım sistemleri çeşitli şekillerde gruplara ayrılabilir. Bu grupları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

1. Tek borulu sistemler- çift borulu sistemler

Tek borulu sistemler günümüzde kat kaloriferi gibi küçük uygulamalar hariç kullanılmamaktadır. Bu sistemde kullanıcılar devreye seri olarak bağlıdır. Dolayısı ile her kullanıcıda giderek soğuyan veya ısınan su nedeniyle sistemin tasarımı ve dengelenmesi zordur. Buna karşılık ucuzdur. Bu sistemler üzerinde durulmayacaktır.

2. Düz geri dönüşlü iki borulu-ters geri dönüşlü (Tischelman) iki borulu sistemler Ters dönüşlü sistemlerde herbir kullanıcıya geliş ve dönüş borularının toplam boyu yaklaşık eşittir. Böylece sistemde daha dengeli bir direnç dağılımı temin edilmiş olur. Ancak bu sistem pahalıdır ve karmaşık sistemlere uygulama imkanı kısıtlıdır.

3. Tek devreli sistemler- çift devreli (primer sekonder) sistemler

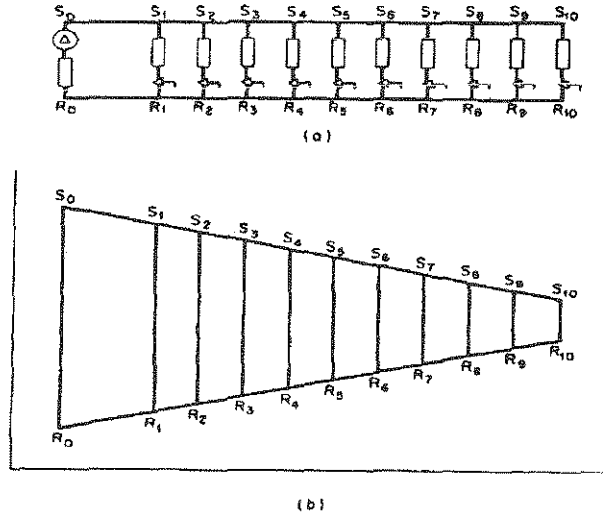
Tek devreli sistemlerde primer devre akışkanı doğrudan kullanıcılarda dolaştırılır. Burada sadece ana pompadan yararlanılabileceği gibi, devrede ilave takviye (booster) pompaları da bulunabilir. Primer-sekonder devreli sistemler ise hidrolik ayrımlı veya ayrımsız (integre) olabilir.

İki borulu sistemlerin dizaynında iki ana prensip söz konusudur. Bunlar sabit debili sistemler ve değişken debili sistemler olarak ifade edilebilir. Bu iki sistemde kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Ancak herşeyden önce aynı sistemde bu iki prensibi birlikte uygulamamalıdır. Bu iki dizayn prensibi arasındaki en fark ettirici özellik yükün diversitesini ele alışlarında kendini göstermektedir. Diversite faktörünü maksimum ani yükün, tek tek pik yüklerin toplamına oranı olarak tarif etmek mümkündür. Tipik büyük bir üniversite kampüs uygulamasında ana dağıtımda diversite ısıtma halinde %80, soğutma halinde %65 değerinde belirlenmiştir. Sabit debili bir sistem debisi, diversiteyi dikkate almaksızın, pik yüklerin toplamına göre boyutlandırılacaktır. Sabit debili sistemde generatörün seçiminde ve dağıtımda sadece ısı yük için diversite kullanılabilir. Fakat debi için kullanılamaz. Halbuki değişken debili sistemde dizaynı hem yük, hem de debi için dağılımı hale göre (Diversite gözönüne alınarak) yapmak mümkündür. Dolayısı ile boru çaplarındaki küçülme ile değişken debili sistem işletme maliyetinde olduğu gibi, ilk yatırım maliyetlerinde de avantaj sağlanmaktadır. Bu örnekte soğutulmuş su sistemi sabit debili dizayn edilse idi debi 189 l/s, ana boru çapı 350 mm ve pompa gücü 110 kW olacakken; değişken debi prensibine göre dizayn edildiğinde 91 l/s debi, 250 mm ana boru çapı ve 56 kW pompa gücü çıkmaktadır. Bunun dışında sabit debide 110 kW sürekli kullanılırken, değişken debilide 56 kW sadece pik yüklerde kullanılmaktadır.

İKİ BORULU SİSTEMLER

a. Düz Dönüşlü

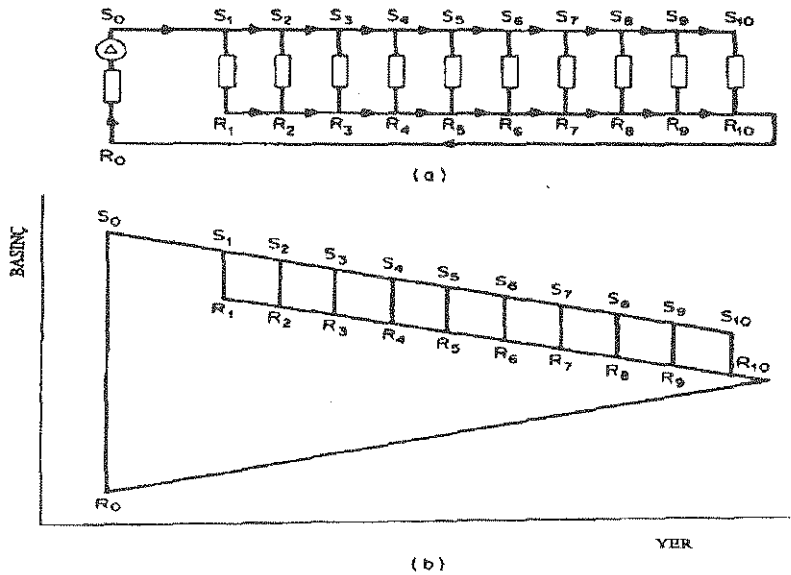
Şekil 12'de şematik olarak düz dönüşlü iki borulu sistem gösterilmiştir. Burada kullanıcılar olarak radyatörler, serpantinler, ısı değiştirgeçeri veya komple bir sekonder sistem düşünülebilir. Bu sistem basit ve en ucuz çözümdür. Ancak bu sistemin doğal problemi basınç dağılımıdır. Şekilde görüldüğü gibi besleme ve dönüş hatlarına bağlantı noktaları arasındaki basınç farkı her kullanıcıda farklıdır. İlk kullanıcı ile son kullanıcı arasında çok büyük fark görülmektedir. Eğer bu her iki kullanıcı paralel hattaki dirençler eşitse ilk devreden gereğinden çok fazla akışkan geçerken, son devreden gereğinden çok eksik akışkan geçecektir. Her bir paralel kolda eşit debi geçmesi isteniyorsa, bu kollara uygun dirençler ilave edilmelidir. Bu işleme reglaj adı verilir ve reglaj için her kolda ayar elemanları bulunmalıdır. Bu ayar elemanları orifisler, dengeleme valfleri, veya akış kontrol elemanları olabilir. Değişken debili sistemlerde otomatik (güç ayar) kontrol valfleri bu görevi yerine getirmektedirler.



Şekil 12. İki borulu düz geri dönüşlü sistem

b. Ters Dönüşlü (Tischelman)

Şekil 13'te görülen ters dönüşlü sistem eşit olmayan yol problemine çözüm getirir. Sonuç olarak bu devrede kullanılabilir basınçlar aynı mertebededir. Küçük sistemler hariç bütün devreyi ters geri dönüşlü yapmak çok nadiren mümkündür. Genellikle sistem birden çok paralel ters geri dönüşlü alt devrelerden oluşur. Aynı zamanda sistemde düz dönüşlü devreler de bulunabilir veya ana devre ters dönüşlü, alt devreler düz dönüşlü olabilir.



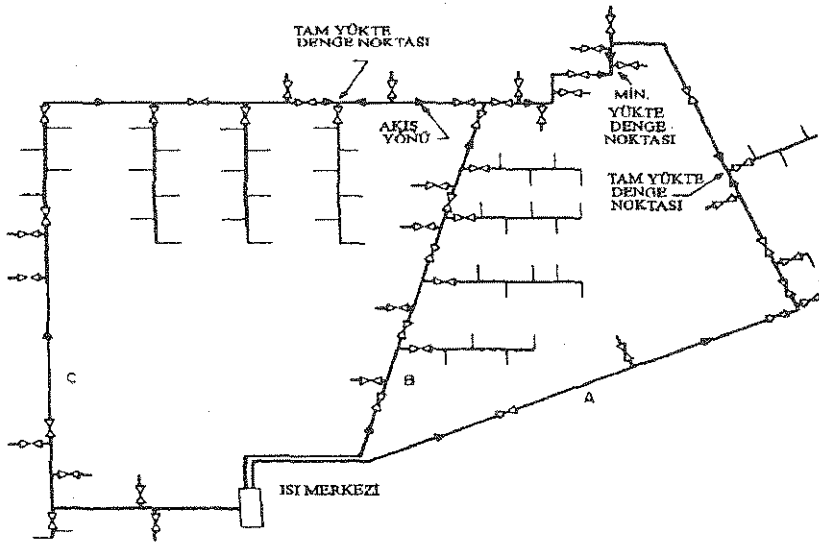
Şekil 13. Ters geri dönüşlü sistem

Değişken debili sistemlerde ters geri dönüş, büyük sistemlerde ticari kalitedeki kontrol valflerinin kullanımını mümkün kılar. Aksi takdirde basınç farkı kontrol valfinin kapama gücünü aşacaktır. Sabit debili sistemlerde de ters dönüş reglajın daha kolay yapılmasına imkan tanır. Ancak dönüş borusunun maliyeti ve yer ihtiyacı özellikle büyük sistemlerde çok fazladır.

c. Halkalı Sistemler (ring loop)

Halkalı sistemler gelecekteki ilaveler için esneklik gerektiğinde veya servis garantisi istendiğinde kullanılır. Bu sistemlerde bir noktaya birden fazla koldan ulaşılabilir. Dolayısı ile besleyen koldan biri kapansa bile, diğer koldan besleme devam eder. Bazan yerleşim, halkalı (loop) sistemin daha önce anlatılan radyal sistemden daha ucuz ve kolay olmasına da imkan verebilir.

Şekil 14'te halkalı sistem prensibi bir üniversite kampüsünde uygulanmış hali ile şematik olarak verilmiştir. Burada basitlik için sadece besleme hatları gösterilmiştir. Dönüş hatları da beslemeye paralel olarak mevcuttur. Burada iki tane halka (loop) görülmektedir.

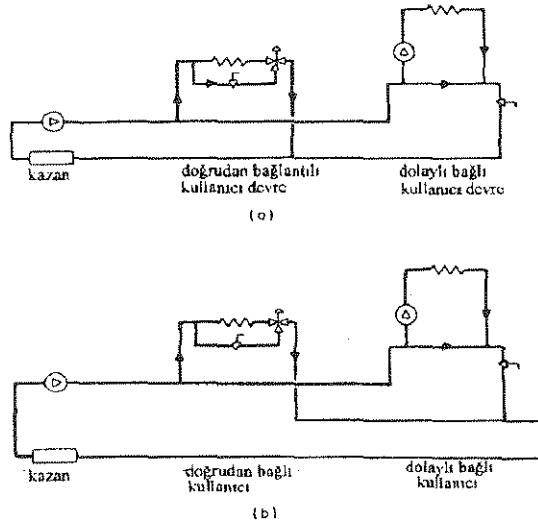


Şekil 14. Halkalı (ring loop) sistem örneği

Bu sistemlerde hesap deneme yanılma ile yapılır. Daha çok hazır kompüter programları kullanılır. Kapalı su devrelerinde, şehir temiz su şebekesinde olduğu gibi grid sistem kullanılmamalıdır. Bir veya birkaç loop yeterlidir. Halkalı sistemler değişken debili prensibine göre dizayn edilirler. Dolayısı ile bunların tek sabit akış şartlarına göre reglajını yapmak, sistemin amaçlarını yok eder.

SABİT DEBİLİ SİSTEMLER

Sabit debili sistemlerde kullanıcılar ana devreye tipik olarak 2 biçimde bağlanabilirler. Şekil 15'te görüldüğü gibi doğrudan bağlantıda su kullanıcılar ana pompa tarafından dolaştırılır. Dolaylı bağlantıda ise alt devrede suyun dolaşımı ayrı bir pompa ile gerçekleştirilirken, bu alt devre sabit debili veya değişken debili olabilir. Bu dolaylı bağlantı primer-sekonder devre çözümünü andırırsa da esasta farklılıklar vardır. Bu sistemde dönüş ve besleme hatları arası bypass edilmiştir ve bu bypass devresindeki akış bir dengeleme vanası ile sabit tutulmaktadır. Ancak bu bir otomatik kontrol vanası değildir. Alt devre bu bypassstan suyu alır ve buraya tekrar geri verir. Bu alış veriş noktalarında basınç aynıdır. Alt devredeki kullanıcılarıdaki giriş suyu sıcaklığı, ana besleme devresindeki sıcaklıkla aynıdır ve değiştirilemez.

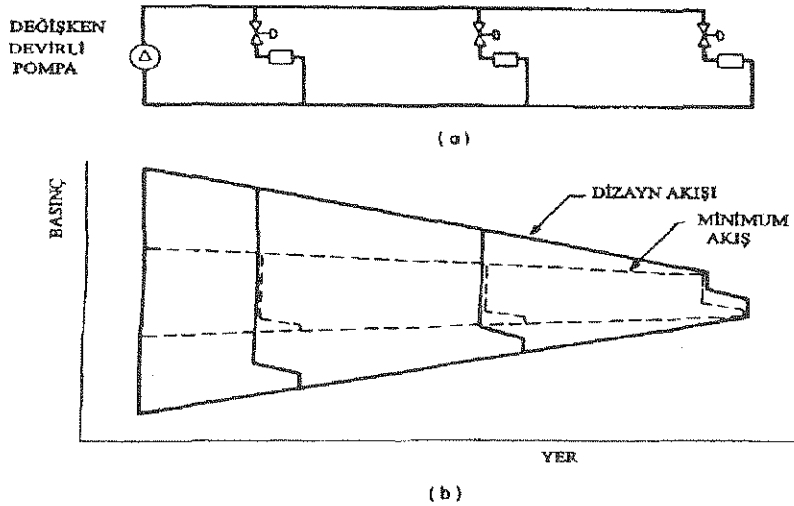


Şekil 15. Tipik sabit debili dağıtım yöntemleri a. düz geri dönüşlü b. ters geri dönüşlü

Bu sistem sabit debili ana devrelere, değişken debili alt devreler bağlanması imkanı yaratmaktadır. Ayrıca geniş ve daha büyük basınç isteyen alt devrelerden oluşan sistemin ana devre pompa basıncını artırmadan çalıştırılabilmesi olanağını getirmektedir. Alt sistem pompalarının ana sistem pompası ile ilişkisi olmadığından, alt sistemlerde aşırı pompalama v.s. gibi sorunlarla karşılaşmaz. Bu sistemin sakıncası ana devrede fazla akış gereksinimi olmasıdır.

DEĞİŞKEN DEBİLİ SİSTEMLER

Değişken debili sistemlerde kullanıcıların güç ayarı girişte bulunan iki yönlü motorlu vanaların kısılması ile sağlanır. Değişken devirli pompa kullanılması halinde sistemin şematik gösterimi ve basınç dağılımı Şekil 16'da verilmiştir. Değişken debili sistemlerde en çok karşılaşılan hata sistem reglajı ile ilgilidir. Değişken debili sistemlerde dıştan dengeleme yapılamaz. Sistem tam yükte ve kısmi yüklerde kontrol vanalarının uygun seçimi ile içten dengeli olmalı ve her yükte denge kendiliğinden oluşmalıdır. Şekildeki basınç dağılımında görüldüğü gibi kontrol vanaları ve bağlantı hatları minimum hıza ve debiye göre boyutlandırılmalı ve valfler tam kapasitedeki maksimum basınç farkına karşı çalışabilecek güçte olmalıdır.



Şekil 16. Değişken debili sistem

PRİMER-SEKONDER DEVRELİ SİSTEMLER

Primer-sekonder devreler ayrı veya integral olabilir. Devrelerin ayrımı eğer basınçlar ve sıcaklıklar çok farklı ise veya her iki devredeki akışkanı karıştırmamak gerektiğinde kullanılır.

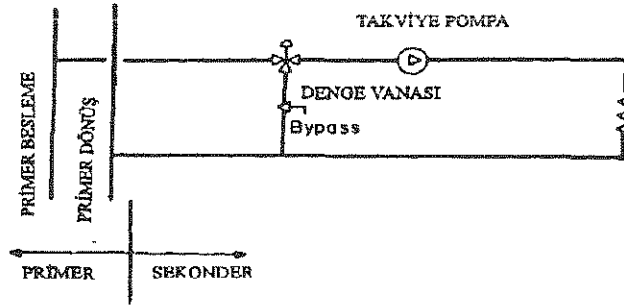
Isı Değiştirgeci Yöntemi (ayrık devreler)

Isı değiştirgeçleri (eşanjörler) iki ortamı fiziksel ve hidrolik olarak ayırmakta kullanılır. Örneğin kızgın sulu primer devre ile sıcak sulu sekonder devrenin ayrılmasında bir ısı değiştirgeci kullanılabilir. Burada primer devre için eşanjör kullanıcı, sekonder devre için de generatör (kazan veya soğutucu grubu) gibi rol oynamaktadır. Dolayısı ile burada daha önce anlatılan sistem ve prensipler geçerlidir.

Integral Primer-Sekonder Sistemler

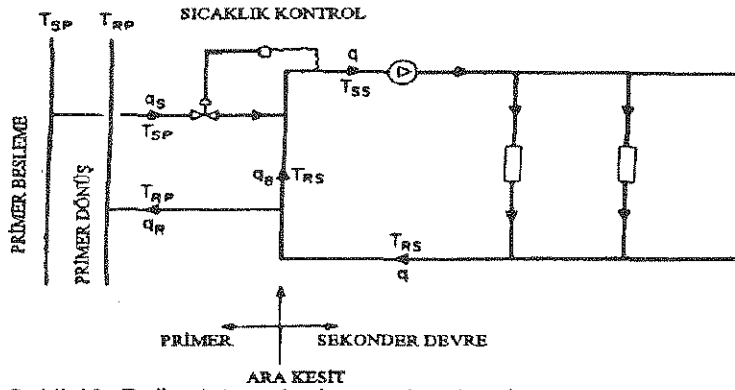
Şekil 17 popüler integral primer-sekonder sistem kavramını göstermektedir. Sekonder devre, primer devrenin uzantısıdır. Sekonder sistemin dolaşım pompası bir takviye (booster) pompa olarak düşünülebilir. Besleme ile dönüş arasındaki bağlantı, bypass olarak isimlendirilir. Genellikle bypass devresine basınç düşümü yaratacak bir dengeleme vanası konulur. Bu vana ile dönüşteki basınç, besleme basıncının üzerine çıkar. Böylece primer devrenin tam tersi bir basınç dağılımı elde edilir. Kontrol valfi olarak genellikle 3-yönlü tipte vana kullanılmaktadır. Bu vanalar ortaya çıkan bu basınç ters dönüşünün üstesinden gelecek şekilde kısma kabiliyetine sahip değillerdir. Bunun da ötesinde 3-

yollu vanalar biraz sonra açıklanacağı gibi bu tip uygulamalarda gerçek birer sorun kaynağıdır. Bu yanlış kavramlar kaçınılmaz olarak kötü dizayna ve kötü çalışan tesisata yol açarlar.



Şekil 17. Popüler integral primer-sekonder sistem çözümü

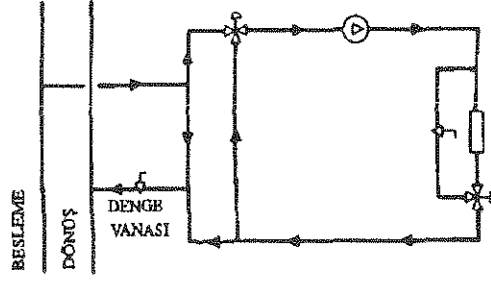
Şekil 18'de ise integral primer sekonder sistem prensibinin doğru biçimi görülmektedir. Sekonder devre primer devreye doğrudan bağlanmıştır. Fakat sekonder devre kendisi tam bir devre (loop) oluşturmaktadır. Sekonder devreye primer devre sıcaklığındaki akışkandan yeteri kadar karıştırılarak istenilen sıcaklıkta akışkan elde edilmektedir. Alınan kadar primer devre akışkanı dönüş sıcaklığında tekrar geri verilmektedir.



Şekil 18. Doğru integral primer-sekonder sistem

Bu sistemde köprü olarak isimlendirilen sekonder devrenin besleme ve dönüşünü birleştiren hatta hiç bir kısılma ve direnç bulunmamalıdır. Primer devre pompası köprüye kadar olan bağlantılardaki basınç düşümlerini karşılarken, sekonder devre pompası köprü dahil sadece sekonder devredeki dolaşım basınç düşümünü karşılar. Kontrol valfi dahil bağlantı boruları primer devreye aittir. Yine ayrıca köprü devresine kesinlikle direnç konulmamalıdır. Eğer böyle bir direnç konursa, bu dirence eşit miktarda primer devre pompası yükü, sekonder devre pompasına eklenir. Bu durumda bu iki pompa kısmen seri olarak çalışmaya başlar. Eğer kontrol vanası bu sekonder pompanın istenmeyen katkısını kısmayı başaramazsa, primer devreden sekonder devreye olan akış dizayn değerinin üzerine çıkar. Bu durumda diğer kullanıcı devreler veya alt devreler ise daha az beslenebileceklerdir. Hatta ekstrem durumda bu basınç ilavesi yeteri büyüklükte ise primer dağıtım devresindeki söz konusu noktadaki basınç farkı ters dönebilir ve yakın kullanıcılarda ters yönde akış başlayabilir.

Bu yanlış uygulama, yani köprüye direnç yerleştirilmesi, gereksiz yere bu noktaya dengeleme vanası konularak yapılabilir. Ancak esas yanlış uygulama (maalesef çok yaygındır) 2-yollu vana yerine, bu sistemde kesim noktasına (Şekil 17'de görüldüğü gibi) 3-yollu vana konulmasıdır. Bu noktadaki 3-yollu vana köprüde yarattığı kısma veya kapama ile sistem üzerinde yukarıda anlatılan etkileri meydana getirir.



Şekil 19. 3-yollu vana kullanarak integral primer-sekonder sistem çözümü

Ancak 3-yollu vana kullanmayı gerektiren bir primer -sekonder devre durumu da söz konusudur. Eğer sekonder devrede sıcaklık değiştiriliyorsa ve bazı zamanlarda tam primer devre sıcaklığını kullanmak gerekiyorsa, bu durumda köprüden dönüş akışkanı karıştırmayı tamamen durdurmak gerekir. Bu durumda sabit debili sistem için çözüm Şekil 19'daki gibi olmalıdır. Dönüş bağlantı hattındaki denge vanası toplam akışı sabit tutar. 3-yollu vana her iki girişindeki eşit basınçlar nedeniyle gayet güzel çalışır.

KAYNAKLAR

1. Erwin G. Hansen, Hydronic System Design and Operation, McGraw-Hill, 1985
2. Wilo katalogları
3. Necdet Dağdemir, Vana Uygulamaları, seminer notları, 1995

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi mezunudur. Doktora çalışmasını aynı yerde tamamlamış ve yine aynı yerde doçent ve daha sonra profesör ünvanı almıştır. 1972 yılından bu yana üniversitede asistan ve öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Tesisat konusunda çeşitli yayınları bulunmaktadır. MMO ve Tesisat Mühendisleri derneği üyesidir.