

Pompalar ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Verimliliği

A. Özden ERTÖZ*

Özet

Dünyayı tehdit eden iklim değişikliğinin yavaşlatılması hatta önlenmesi için atmosfere atılan CO₂ ve SO₂ gibi gaz emisyonlarının kontrolü ve gereken önlemler Kyoto protokolu gibi uluslararası anlaşmalarla koordine edilmeye çalışılmaktadır. Bugün için alınabilecek en etkili önlem fosil yakıtları en geniş çapta kullanan enerji santrallerine olan ihtiyacın azaltılmasıdır. Diğer bir deyişle enerji tüketen proseslerin verimlerinin artırılması yolu ile konfor ve gelişmenin daha az enerji tüketerek sürdürülmesidir. Elektrik tüketen makineler arasında yapılan bir araştırmada pompalar %20 ile başta geldiği için pompaların uygun kullanımı ve pompaj sistemlerinin enerji verimliliği önemle ele alınan bir konu olmuştur. Konuya biraz daha yakından bakıldığında pompa verimlerinin üst sınırına yaklaşıldığı, yapılacak iyileştirmelerin birkaç puandan fazla olamayacağı görülmekte ise de pompaj sistemi verim iyileştirmelerinin pompaların uygun kullanımı, borulardaki basınç kayıplarının ortadın getirilmesi, değişken debili sistemlerin ve otomasyonda kullanılan dizayn sistemlerinin iyileştirilmesi yolu ile elde edilecek enerji tasarrufunun %30 civarında olacağı hesaplanmıştır [1]. Bildiride pompa ve pompaj sistemlerinde enerji tasarrufu yöntemleri konusunda bilgi aktarılmaya çalışılacaktır.

Anahtar Sözcükler: Pompa, pompa deneyi, enerji verimliliği, değişken devirli pompa, pompaj verimliliği, performans optimizasyonu

GİRİŞ

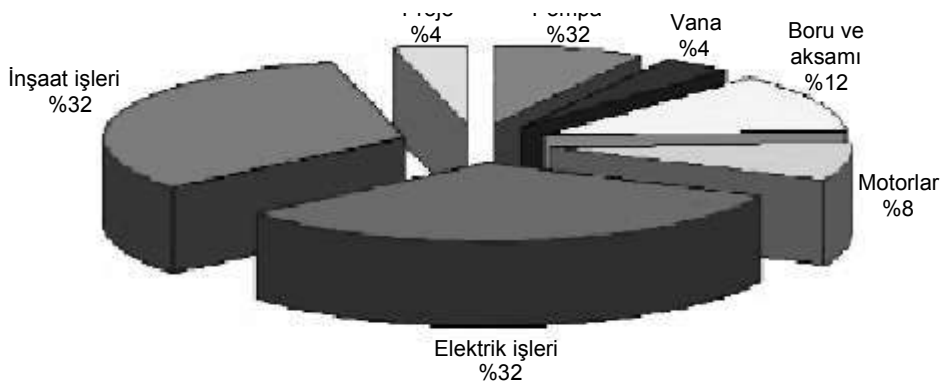
Pompaj sistemleri, inşaat, elektrik, boru sistemleri, pompalar, vanalar, motorlardan meydana gelmektedir. Bir pompaj sistemimde pompalar yapım maliyetinin %8 ini fakat, işletme maliyetinin %60 ını oluşturur [2].

İnşaat ve elektrik tesisat işlerinin işletme maliyetine yansımaları pek fazla olmadığından asıl tasarruf yapılacak olan alan pompalar ve borulama sistemlerini inceleyeceğiz.

Yüksek verimli pompa üretimi için çalışmalar hesaplamalı akışkanlar dinamiğinden de yararlanılarak büyük yük bir hızla sürmektedir. Zaten üst sınıra yaklaşmış olan pompa verimleri ancak birkaç puan daha arttırılabilecektir. Enerji verimliliği yüksek pompaj sistemleri için dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Pompa karakteristiği çalışacağı sisteme uygun mu?
- Debi değişken mi?
- Değişken ise pompa ve sistem değişken devirli

* Öğr. Gör., Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü.



Şekil 1. Pompaj sistemi yapım maliyet kalemleri

pompaj kriterlerine uygun mu?

- Boru ve pompaj sistemleri uygun mu seçilmiş?
- Pompa ISO, HI, EUROPUMP standartlarına uygun mu?
- Sistem Ömür boyu maliyet esaslarına uygun mu?

POMPA KARAKTERİSTİĞİ UYGUNLUĞU

Pek çok uygulamada pompaların gereğinden çok büyük yük seçildiği gözlenmektedir. Örneğin bir projede hesaplamalar sonunda $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$ $H_m=100 \text{ mss}$ olan bir pompa gereksinimi şekil1. (1) Pompa siparişi edildikten ilerdeki ihtiyaçlar için debiye %25 zam yapılıyor (2). Basma yüksekliği az gelirse diye H_m de %10 artırılıp pompa siparişi ediliyor (3). Siparişi alan pompacı da debi ve basma yüksekliğine %5 zam yaparak pompayı seçiyor (4). Elektrik motorları da tam yükte çalışmadığı için biraz hızlı döndüğünden çalışma noktası (5) e geliyor. Pompa yerine monte edilip çalıştırıldığında sistem karakteristiği (5) noktasında değil (6) noktasında olduğundan pompa debisi $160 \text{ m}^3/\text{h}$ oluyor. Hesapla bulunan $100 \text{ m}^3/\text{h}$ yerine $160 \text{ m}^3/\text{h}$ elde edilince debiyi dizayn debisine vana kısarak getirildiğinde, basma yüksekliğini 130 mss dan 100 mss a düşürürken vanada yok ettiğimiz enerji %30 olmaktadır. Bu sebepten pompaların büyük seçilmesi gerekir. İlerideki ihtiyaçlara göre seçim yapılacaksa pompayı biraz büyük motor ve en büyük çark çapından daha küçük bir çapta seçmek uygun olur. İleride tüm pompayı değiştireceğimize sadece yeni bir çark alarak lüzumsuz yere enerji harcamamış olacağız. [3]

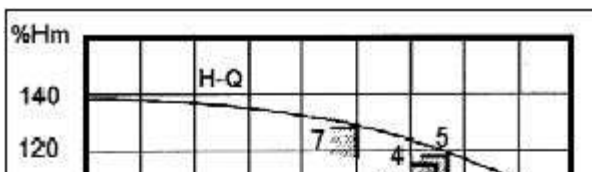
DEBİ DEĞİŞKENLİĞİ

Birçok uygulamada debi sabit değildir. Debiyi kısmak

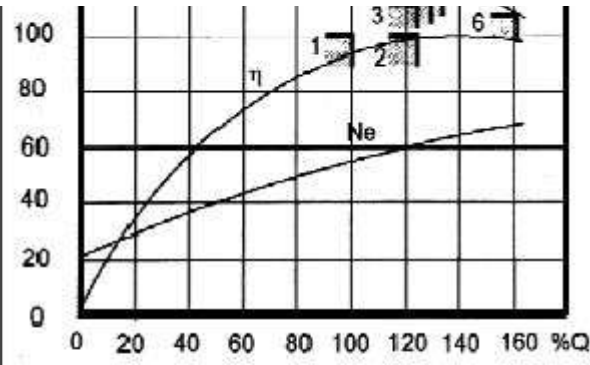
için vana kullanılırsa, basıncı yaratmak için pompaya aktardığımız enerjiyi vanayı kısarak yok etmiş olacağız. Bir uzman bu durumu otomobilin gazına sonuna kadar basıp aracın hızını frenle kontrol etmeye benzetmektedir. Petrol fiyatlarının 10 yıl öncesine göre 6-7 misli artıp 70\$ olduğu günümüzde enerjiyi çok daha dikkatli kullanmalıyız.

Debiyi değiştirmek gerekli mi? sorusuna verilecek cevaplar sistem dizaynını etkileyecektir. Seçilen debi değiştirme yönteminin sistemin enerji verimliliğine etkisi vardır. Debi değiştirme yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

- Pompayı ihtiyaç olunca çalıştırmak. (Kesintili Çalıştırma)
- Sistemi bir depodan besleyerek pompayı depo seviyesine göre kesintili çalıştırmak.
- Çalışan pompa sayısını değiştirmek. (paralel pompalar)
- Pompayı devamlı çalıştırarak akışkanın bir bölümünü depoya geri döndürmek.(by-pass)
- Pompa çıkışındaki debi kontrol vanası ile sistem karakteristiğini değiştirerek debiyi ayarlamak.
- Sabit devirli elektrik motoru ile pompa arasına hidrolik veya elektrikli kavrama koyarak pompa devrini debi veya basınç ihtiyacına göre ayarlamak.
- Elektrik motoruna frekans değiştirici yardımı ile uygulanan gerilim ve frekansını değiştirip pompayı istenen debi ve basma yüksekliğini sağlayacak devirde döndürmek.
- Pompayı ihtiyaç olunca çalıştırmak yaygın olarak



- Pompa devrini frekansı değiştirmeden mekanik veya elektrikli yollarla değiştirmek geçmişte kalan uygulamalardır. Hem pahalı hem de bakımı zor olduğundan artık kullanılmamaktadır.
- Enerji verimliliği bakımından Pek çok uygulamada



- 1- Hesaplanan debi ve Basma yüksekliği
- 2- Debi için %25 emniyet
- 3- %10 emniyetli Hm
- 4- Pompacının emniyeti %5
- 5- Elektrik motoru hızı
- 6- Pompa %60 daha fazla debi veriyor
- 7- Vana kısılarak istenen debi elde ediliyor ama %30 fazla enerji tüketerek

Şekil 2. Emniyet faktörlerinin pompa seçimine etkisi

kullanılmaktadır. Örneğin bir fabrikanın su ihtiyacını dalgıç pompalarla temin ettiğini varsayalım. Dalgıç pompa 24 saatlik su ihtiyacını sağlayan depoyu 6 saat yerine 12 saatte doldurursa, kuyudaki seviye daha yukarıda olacağı için enerji tüketimi daha az olacaktır. Pompaları büyük seçmek hem satınalma hem de kullanım maliyetini arttıracaktır. Burada uygun enerji tarifesi süresince çalıştırmak ta düşünülmelidir.

- Sistemi depodan besleyerek depoyu enerji tarifesinin uygun olduğu zamanlarda doldurup gün boyunca kullanmak da uygun bir çözümdür.
- Çalışan pompa sayısını değiştirerek debiyi ayarlamak bilhassa basma yüksekliği büyük, sürtünme kaybı az olan sistemlerde yegane debi kontrol metodudur.
- Pompayı devamlı çalıştırıp akışkanın bir bölümünü depoya geri döndürmek (by-pass) veya vana ile kısarak debiyi kontrol etmek hiç arzu edilmeyen bir çözümdür. Onun yerine frekans değiştirili bir pompa kullanılmalıdır.

frekans değiştiricisi kullanmak en uygun çözüm olarak sunulmaktadır. **Debi değişken değil ise en iyi çözüm daima en iyi verim noktasında çalışan sabit devirli bir pompadır.**

- Bir pompaj sisteminde debi değişken olduğunda elde edilecek kazanç, düşük debilerde sürtünme kayıplarının azalmasıyla pompayı daha yavaş döndürerek elde edilir. Frekans konvertörü (F/C) veriminin %95 civarında olduğu göz önüne alınırsa, sürtünme kayıplarının azalması ile elde edilecek kazancın F/C kullanımından dolayı kaybedilenden daha fazla olması gerekir. Sürtünme kaybının toplam basma yüksekliğine göre az olduğu sistemlerde F/C yerine paralel pompalar kullanılmalıdır.

Bir hidrolik sistemde pompaj sonunda elde edilen hidrolik enerjinin, bu pompajı yapmak için harcanan enerjiye oranına sistem verimi diyoruz. Geometrik basma yüksekliğinin Toplam basma yüksekliğine oranına da S_k sistem katsayısı diyelim.

$$h_{\text{sistem}} = \frac{r \times Q \times g \times H_{\text{statik}}}{r \times Q \times g \times (H_{\text{statik}} + k \times Q^2)}$$

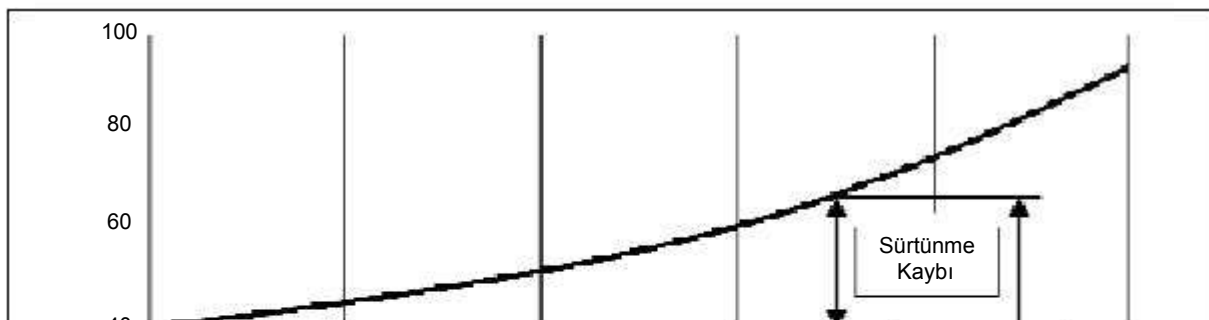
$$h_{\text{pompa}} \times h_{\text{motor}} \times h_{F/C}$$

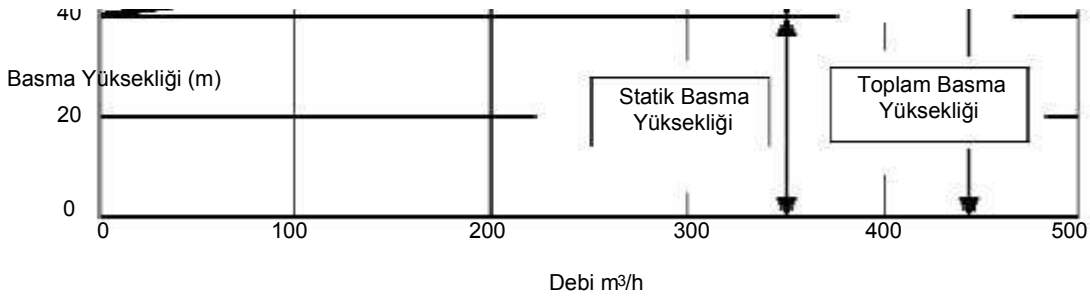
$$S_k = \frac{H_{\text{statik}}}{H_{\text{statik}} + k \times Q^2}$$

$$h_{\text{sistem}} = S_k \times h_{\text{pompa}} \times h_{\text{motor}} \times h_{F/C}$$

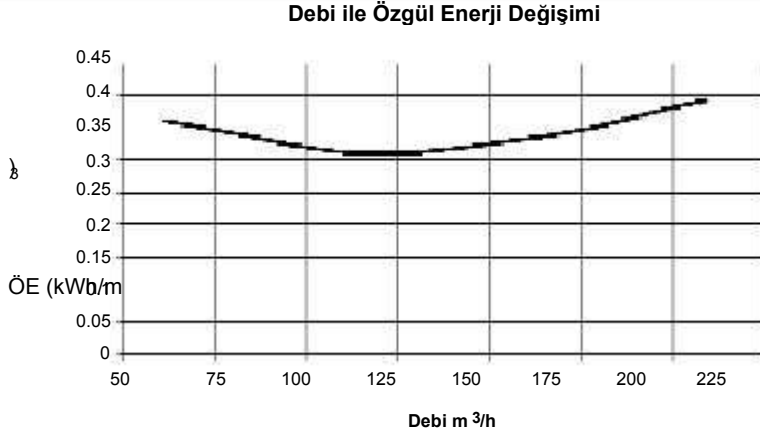
Sistem veriminin iyi olması için Yüksek verimli pompalar, yüksek verimli elektrik motorları ve frekans değiştiriciler kullanılmalı ve sistem katsayısının yüksek olması için ise geometrik basma yüksekliğine göre sürtünme kayıpları az olmalıdır.

Pompalanan akışkanın pompajı için harcadığımız enerjiye **özgül enerji** (ÖE) diyelim.





Şekil 3. Sistem karakteristiği iki öğeden oluşur, statik basma yüksekliği ve sürtünme kayıpları



Şekil 4. Bir dalgıç pompada debi ile özgül enerji değişimi. Bu kuyuda en ekonomik debi 125 m³/h olmaktadır

$$\text{ÖE} = \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

Çeşitli pompalar arasında seçim yapmak ve gereken pompaj enerjisi maliyetini bulmakta özgül enerji kolaylık sağlar.

$$\text{ÖE} = \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{TL}}{\text{kWh}} = \frac{\text{TL}}{\text{m}^3}$$

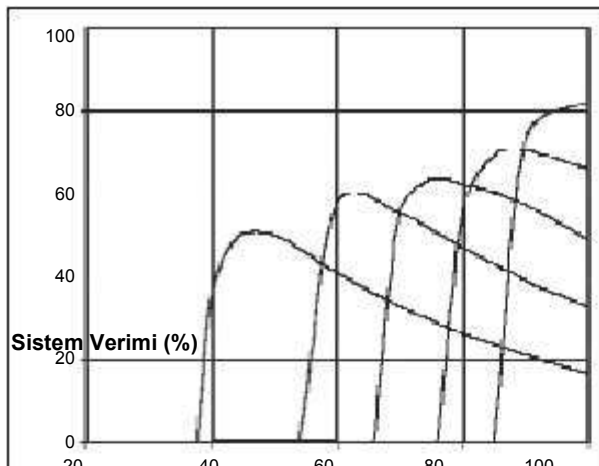
Burada şebekeden çekilen güç, (kWh) hat kayıpları, sürücü kayıplarını, motor kayıplarını ve pompa ka-

yıplarını ihtiva etmelidir. Pompanın devir sayısı, debisi, basma yüksekliği değiştiğinde özgül enerjisi de değişecektir. Değişken devirli pompalarda sistem karakteristiği ile değişik devirlerdeki pompa karakteristiklerinin kesim noktaları için özgül enerji hesaplanarak o sistem için debiye bağlı olarak özgül enerji değişim grafiği çizilmelidir (Şekil 4).

Frekans kontrollü bir sistemde debi azaldıkça sistem verimi artar Şekil 5. Fakat bu artış belli bir noktadan sonra pompa, motor ve F/C verimlerinin azalmaya başlamasıyla dengelendikten sonra birden azalır.

53
2006

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 6,



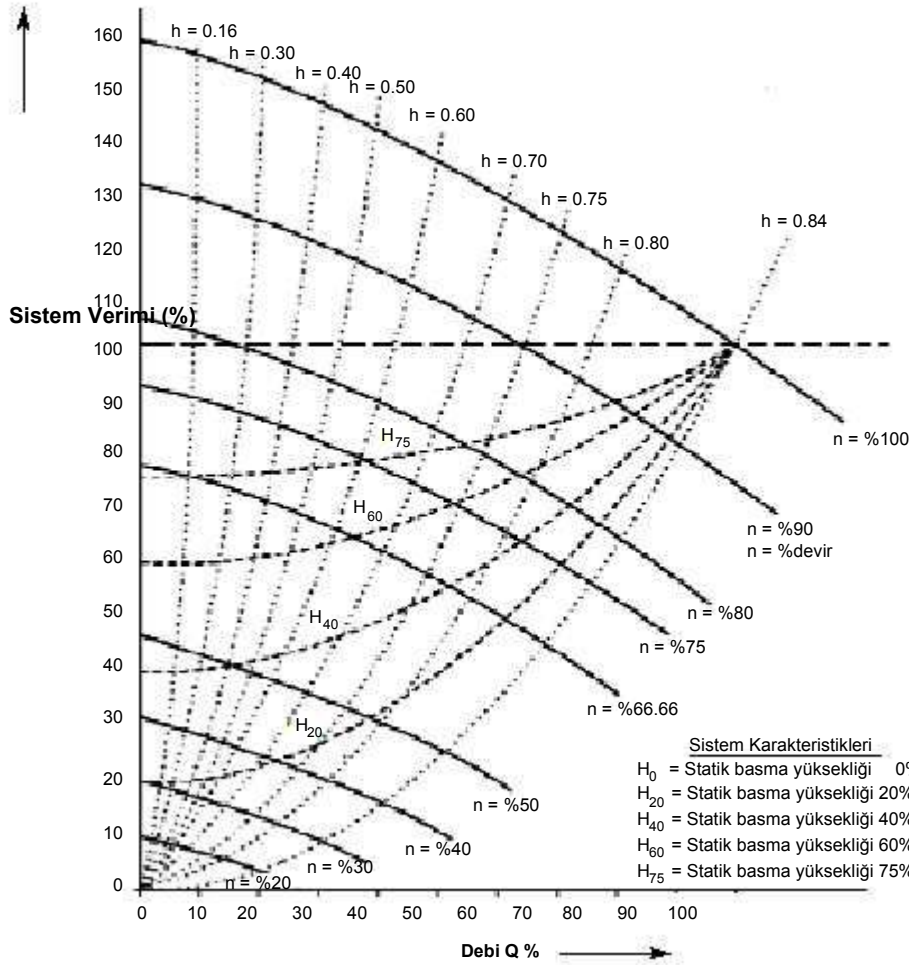
Sistem veriminin maksimum olduğu noktadan daha düşük devirlerde çalışılmamalıdır.

Statik basma yüksekliği az olan sistemlerin verimleri düşüktür. Bu sistemlerde frekans değiştiriciler (F/C) kullanılarak düşük debili çalışmalarda enerji ekonomisi sağlamak mümkündür. [5]

Değişken devirli pompalarda sistem karakteristiğinde statik basma yüksekliğinin toplam basma yüksekliğine oranı önemlidir. Örneğin Şekil 6'da pompanın çalışma noktası her türlü sistem için %84 verimlidir. Pompanın devirini %75'e düşürdüğümüzde Statik basma

Şekil 5. Değişken devirli pompalarda sistem katsayısı ve devir sayısına bağlı olarak sistem verimlerinin değişimi

parım devrinin 70% e düşürdüğümüzde statik basma yüksekliği olmayan $H_s=0$ sistemde verim değişmez -
ken, $H_s=75$ olan sistemde verim %60 olmaktadır. Gö -
rüldüğü gibi sistem katsayısı yüksek olan sistemlerde



Şekil 6. Değişken devirli pompalarda sistem karakteristiğinin verime etkisi

frekans kontrolü ile enerji tasarrufu yapmak mümkün değildir Ş ekil 5.

BORU SİSTEMLERİ

Boru sistemleri dizaynı ömür boyu maliyeti en az'a in direcek en önemli elemandır. Uygun bir tasarıma ulaşmak için pompa, motor, yol vericiler, boru tesisi ve kontrol elemanları teker teker ele alınıp analiz edilmelidir. Pompa ile sistemin diğer elemanlarının etkileşimi iyice hesaplanarak çalışma noktaları saptanmalıdır. Pompanın belirlenebilmesi için evvela boru sisteminin hesaplanması gerekir. Bu basit veya karmaşık her sistem için gerekir.

Ömür boyu maliyet hesabında hem satın alma maliyeti hem de işletme maliyetleri toplam maliyeti oluşturur. Satın alma ve işletme maliyetlerinin önemli bir

Boru çapının düşürülmesi ile boru, aksesuarlar ve montaj maliyeti azalır, pompa satın alma ve montaj maliyeti artar, daha büyük güçlü elektrik motoru ve şalt malzemesi gerekir. Sürtünme kayıpları artacağı için daha fazla enerji harcanacağından işletme maliyetleri artar.

Boru çaplarının artması ile bazı maliyetler azalır, bazı maliyetler artar. Optimum boru çapı, tesisin ömür boyu maliyetini minimum yapacak şekilde seçilmelidir. Bunun için sistemin çeşitli çaplarda borulama maliyeti, her çap için boru kayıplarını karşılayacak pompanın enerji maliyetleri ile pompaların satın alma maliyetleri saptanarak bir grafik haline getirilmeli ve maliyet ve kazançlar net bugünkü değer hesabı ile toplanarak en uygun sistem maliyetini veren boru çapı bu

turur. Sahnarına ve işletme maliyetlerinin önemini bir kısmı boru çapı ve ona bağlı sistem elemanları ile ilgilidir. Basınç kayıplarının büyük bir bölümü vanalar ve bilhassa kısma ile kontrol eden kontrol vanalarında oluşur.

Boru çapı seçiminde göz önüne alınacak hususlar: İşma süreleri göz önüne alınarak dikkatli bir seçim yapılmalıdır.

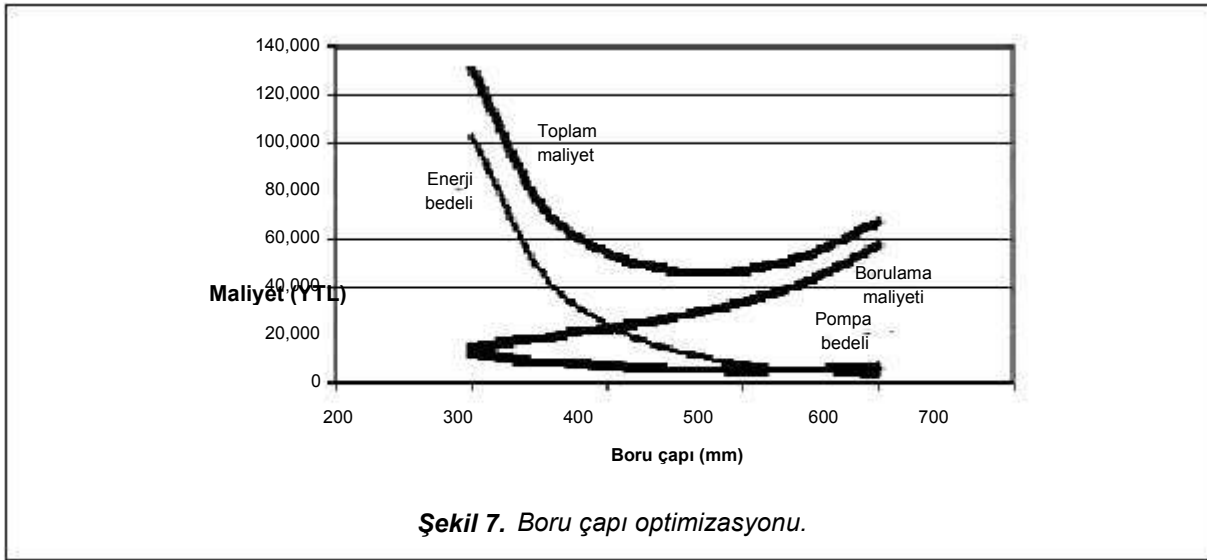
- Tüm sistemin ekonomisi (pompalar ve sistemin hepsi)
- Gereken minimum akışkan hızı (borularda çökme olmasın)
- Gereken minimum boru çapı (hidrolik transportta ka - tı madde çapı ile belirlenir)
- Erozyona sebep olmayacak maksimum akışkan hızı
- Tesisteki standart boru çaplarına uyum

arak en ucuz sistemi maliyetini veren boru çapı du - lunmalıdır (Ş ekil 7).

Uygulamada birden çok çalışma noktası belirlenmiş olabilir. Bunlardan en büyük debi veya basma yüksek - liği belirleyici olacaktır. Bu durumda pompaların ça -

MEVCUT POMPAJ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Aşırı derecede yüksek enflasyon döneminden geçen ülkemizde daha önce yapılan tesislerin fizibiliteleri hep o zamanki yüksek enflasyona göre değerlendiril - diğinden daima en ekonomik çözüm en ucuz çözüm



Şekil 7. Boru çapı optimizasyonu.

olmuştur. Enerji fiyatlarının arttığı bu günlerde eski tesislerin fizibilitelerini de gözden geçirmek yararlı ola - caktır.

Mevcut pompaj sistemlerinin enerji verimliliğinin arttı - rılması için :

- Pompaj sistemi ile ilgili tüm verileri toplayın.
- Her bir sistem yükü için debileri saptayın.
- Saptanan debiler için sistemi dengeleyin.
- Dengelemek için gereken sistem kayıplarını azalta - cak tedbirleri alın.
- Azalan kayıplara uygun olarak pompada gereken değişiklikleri yapın.
- Yüksek bakım maliyetli pompalara dikkat edin.

Mevcut pompaj sistemlerinin analizi gerçek işletme şartlarında ölçümler yapılarak veya sistemin mate - matik modeli oluşturularak optimizasyon için gere - kenler saptanabilir.

ÖMÜR BOYU MALİYET (ÖBM)

Pompaj sistemlerinin ömrü genellikle 15-20 yıldır. Ba - zı maliyet kalemleri başlangıçta, bazıları ise değişik zamanlarda kullanılacaktır. Onun için maliyetler net bugünkü maliyet hesabı yapılarak kullanılmalıdır.

SONUÇ

Yeni yapılacak sistemlerde fizibilite mevcut ekonik şartlara uygun olarak yapılmalıdır. Enerji tasarrufu sağlayacak değişken devirli pompaj sistemlerinde de - bi frekans kontrollü pompalarla kolayca değiştirildiği halde düşük devirli çalışmada problem yaşamamak için sistemin dengesine dikkat edilmelidir. Devir sayı - sı azaltılınca sistem dengesizliklerinin belirgin hale geldiği unutulmamalıdır. Yeraltı suyu pompajında büyük pompa kullanmaktan kaçınılmalıdır. Çünkü debi arttıkça daha derinden su çekeceğimiz, daha fazla enerji harcayacağımız bilinmelidir. Kısık vana çalış - mada para harcıyarak yarattığımız hidrolik enerjiyi yok ediyoruz. Pompa ve pompaj sistemlerinde enerji masrafları işletmelerin ekonomilerinde önemli bir gi - de kalemidir. Distansiyede çalıştırıldığında problemlerine sebep

Ömür boyu maliyet, herhangi bir ekipmanın satın alma, montaj, işletme, bakım ve ömür sonunda sökülme maliyetlerinin toplamıdır. Ömür boyu maliyeti hesaplamak için maliyet kalemlerinin teker teker belirlenmesi gerekir.

Ömür boyu maliyet hesabında kullanılan kalemler, satın alma masrafları, montaj ve işletmeye alma, enerji, işletme, tamir-bakım, devre dışı kalma masraflarıdır. Bunlara ilave olarak çevre ve sökülme maliyetlerini de ilave etmek gerekir [5].

$$\text{ÖBM} = M_{\text{ilk yatırım}} + M_{\text{montaj-çalıştırma}} + M_{\text{enerji}} + M_{\text{işletme}} + M_{\text{bakım-onarım}} + M_{\text{çalışmama}} + M_{\text{çevre}} + M_{\text{sökme}}$$

ÖBM analizinde proses değerlendirmesi yapılırken veya pompaları seçerken işletmenin gerçek durumunu ortaya koyan veriler kullanılmalıdır. ÖBM hesabı en ekonomik çözümün saptanması metodudur. Bize belli bir çözüm önermez ama değişik öneriler arasında ekonomik olanı bulmamıza yarar. Ömür boyu maliyet hesabında verilerin güvenilirliği sonucu etkileyeceğinden mukayesede aynı birimlerin kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Her bir tesiste sene boyunca sorunsuz olarak çalışan 22 kW 'lık bir pompa fazladan bir mühendis maaşı kadar enerji harcıyor olabilir. Memleketimizde elektrik motorlarının verimlerinin de artırılması gerekmektedir. Devamlı çalışacak orta güçteki elektrik motorlarının yüksek verimli olması en az %3 tasarruf sağlayacaktır. Yanan elektrik motorlarının sarımı veya yüksek verimli bir motorla yenilenmesi alternatifidir. Amerika ve avrupadaki pek çok işletmede pompaj sistemlerinin optimizasyonu ile ortalama %30 enerji tasarrufu sağlanabileceği Hidrolik Enerji ve Europump tarafından bildirilmektedir [1].

KAYNAKLAR

- [1] EUROPEAN COMMISSION "Study on Improving the energy efficiency of Pumps"
- [2] LAPRAY J. F. "pump and system optimisation" Chairman of Europump group
- [3] ERTÖZ A. Ö. "Pompalarda enerji verimliliği" 5. Pompa Kongresi İstanbul, 2003
- [4] ERTÖZ A.Ö, DUYSUĞU E "Değişken Devirli Pompaların Seçimi" 4. Pompa Kongresi İstanbul, 2001
- [5] EUROPUMP-HI "LCC manual"