

POMPALAR VE POMPAJ SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

A. Özden ERTÖZ

ÖZET

Dünyayı tehdit eden iklim değişikliklerinin 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 pompa 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 pompa sistemi verim iyileştirmelerinin pompaların uygun kullanımı, borulardaki basınç kayıplarının optimuma getirilmesi, değişken debili sistemlerin ve otomasyonda kullanılan dizayn sistemlerinin iyileştirilmesi yolu ile elde edilecek enerji tasarrufunun %30 civarında olacağı hesaplanmıştır [1]. Bildiride pompa ve pompa sistemlerinde enerji tasarrufu yöntemleri konusunda bilgi aktarılmaya çalışılacaktır.

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

ABSTRACT

Energy efficiency of pumps and pumping systems are studied covering the selection of pumps, use of variable speed drivers, piping system economy and pipe size selection, rehabilitation of existing systems, principals of life cycle costing.

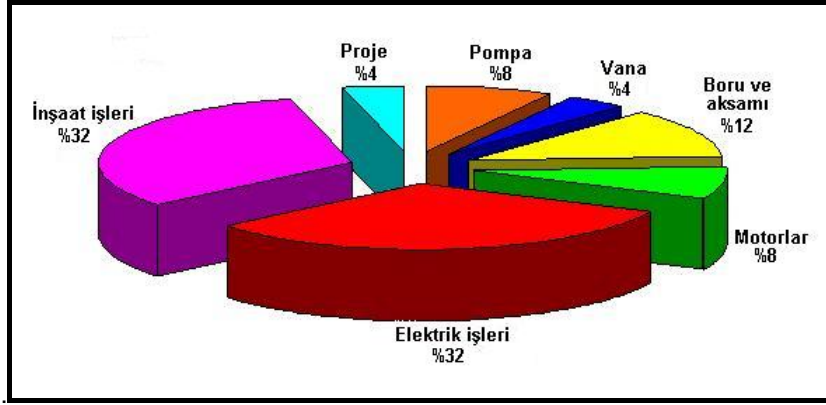
Keywords : Energy efficiency, performance optimization.

GİRİŞ

Pompa sistemleri, inşaat, elektrik, boru sistemleri, pompalar, vanalar, motorlardan meydana gelmektedir. Bir pompa sistemi içinde pompalar yapım maliyetinin %8 ini fakat, işletme maliyetinin %60 ını oluşturmaktadır [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 bir hızla sürmektedir. Zaten üst sınıra yaklaşmış olan pompa verimleri ancak birkaç puan daha artırılabilir. Enerji verimliliği yüksek pompa sistemleri için dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 1. Pompaj sistemi yapım maliyet kalemleri

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

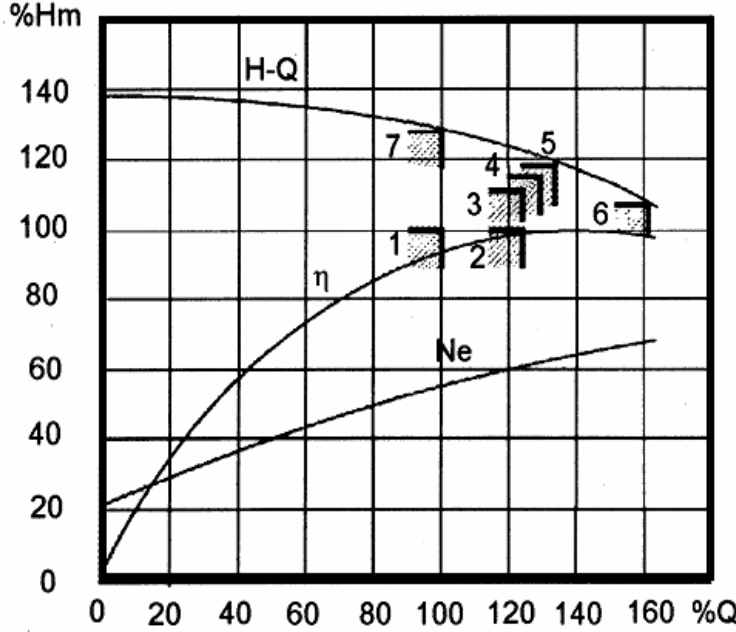
Pek çok uygulamada pompaların gereğinden çok büyük seçildiği gözlenmektedir. Örneğin bir projede hesaplamalar sonunda $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$ $H_m=100 \text{ mss}$ olan bir pompa gereksinim şekli. (1) Pompa sipariş edilirken ilerideki ihtiyaçlar için debiye %25 zam yapılıyor (2). Basma yüksekliği az gelirse diye H_m de %10 artırılıp pompa sipariş 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 kısılarak getirildiğinde, basma yüksekliğini 130 mss dan 100 mss a düşürürken vanada yok ettiğimiz enerji %30 olmaktadır. Bu sebepten pompaların büyük seçilmemesi 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 frekansı değiştirip pompayı istenen debi ve basma yüksekliğini sağlayacak devirde döndürmek.



- 1- Hesaplanan debi ve Basma yüksekliği
- 2- Debi için %25 emniyet
- 3- %10 emniyetli Hm
- 4- Pompacının emniyeti %5
- 5- Elektrik motoru hızlı
- 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

- Pompayı ihtiyaç olunca çalıştırmak yaygın olarak 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 tarifesine göre çalıştırmak ta düşünülmelidir.
- Sistemi depodan besleyerek depoyu enerji tarifesinin uygun olduğu zamanlarda doldurup gün boyunca kullanmak ta 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 kısma yaparak debiyi kontrol etmek hiç arzu edilmeyen bir çözümdür. Onun yerine frekans değiştiricili bir pompa kullanılmalıdır.
- 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 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.

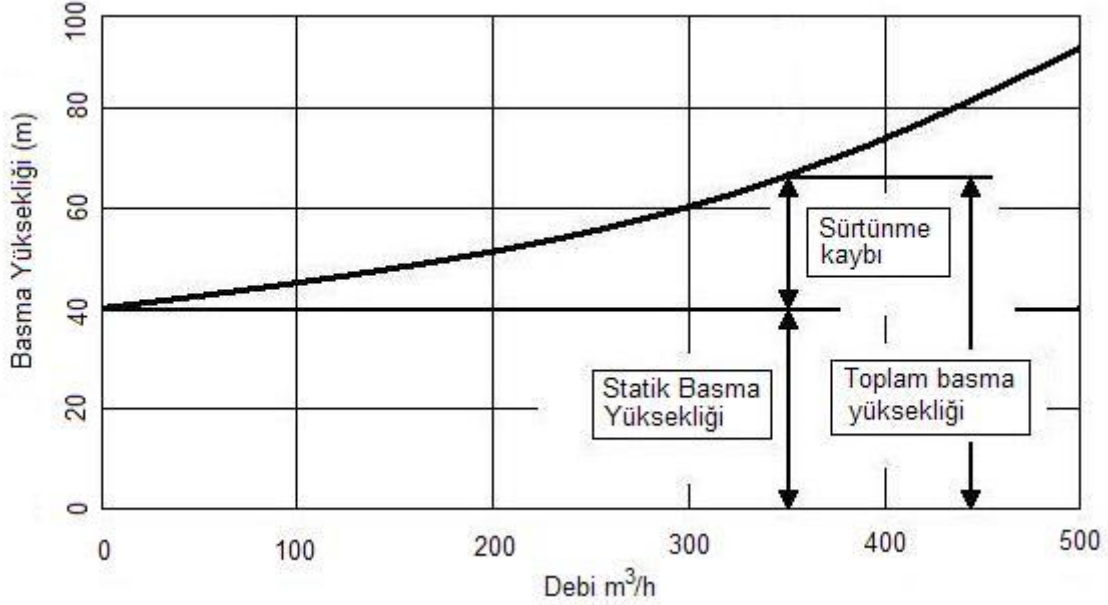
Bir hidrolik sistemde pompaj sonunda elde edilen hidrolik enerjinin, bu pompajı yapmak için harcanan enerjiye oranına sistem verimi diyoruz. Geometrik basma yüksekliğinin Toplam basma yüksekliğine oranına da S_k sistem katsayısı diyelim.

$$\eta_{sistem} = \frac{\rho \times Q \times g \times H_{statik}}{\left[\frac{\rho \times Q \times g \times (H_{statik} + k \times Q^2)}{\eta_{pompa} \times \eta_{motor} \times \eta_{F/C}} \right]}$$

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

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

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.



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

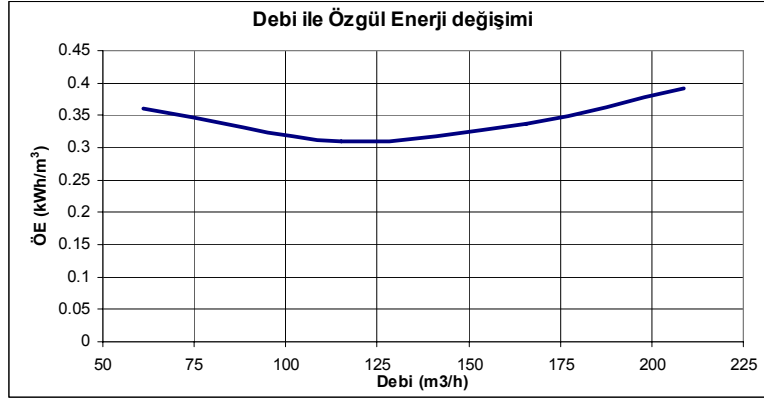
Pompanan akışkanın pompajı için harcadığımız enerjiye **ölgül enerji** (ÖE) diyelim.

$$\text{ÖE} = \frac{kWh}{m^3}$$

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

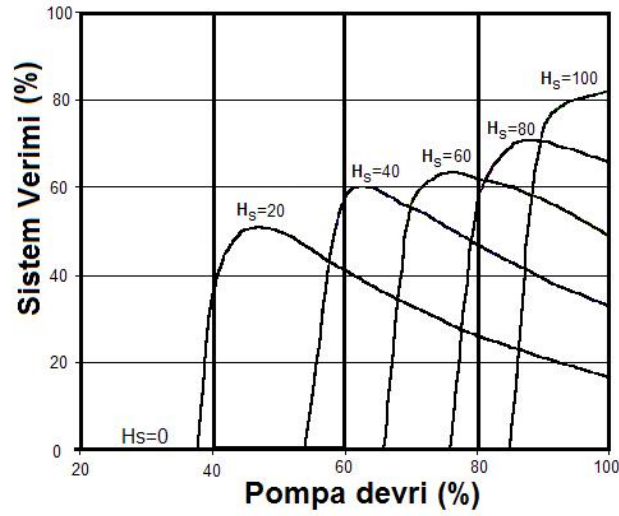
$$\text{ÖE} = \frac{kWh}{m^3} \times \frac{TL}{kWh} = \frac{TL}{m^3}$$

Burada şebekeden çekilen güç, (kWh) hat kayıplarını, sürücü kayıplarını, motor kayıplarını ve pompa kayıplarını ihtiva etmelidir. Pompanın devir sayısı, debisi, basma yüksekliği değıştikçe ölgül enerjisi de değışecektir. Değişken devirli pompalarda sistem karakteristiği ile değışik devirlerdeki pompa karakteristiklerinin kesim noktaları için ölgül enerji hesaplanarak o sistem için debiye bağılı olarak ölgül enerji değışim grafiği çizilmelidir şekil 4.



Şekil 4. Bir dalgıç pompada debi ile özgül enerji değişimi. Bu kuyuda en ekonomik debi $125 \text{ m}^3/\text{h}$ olmaktadır

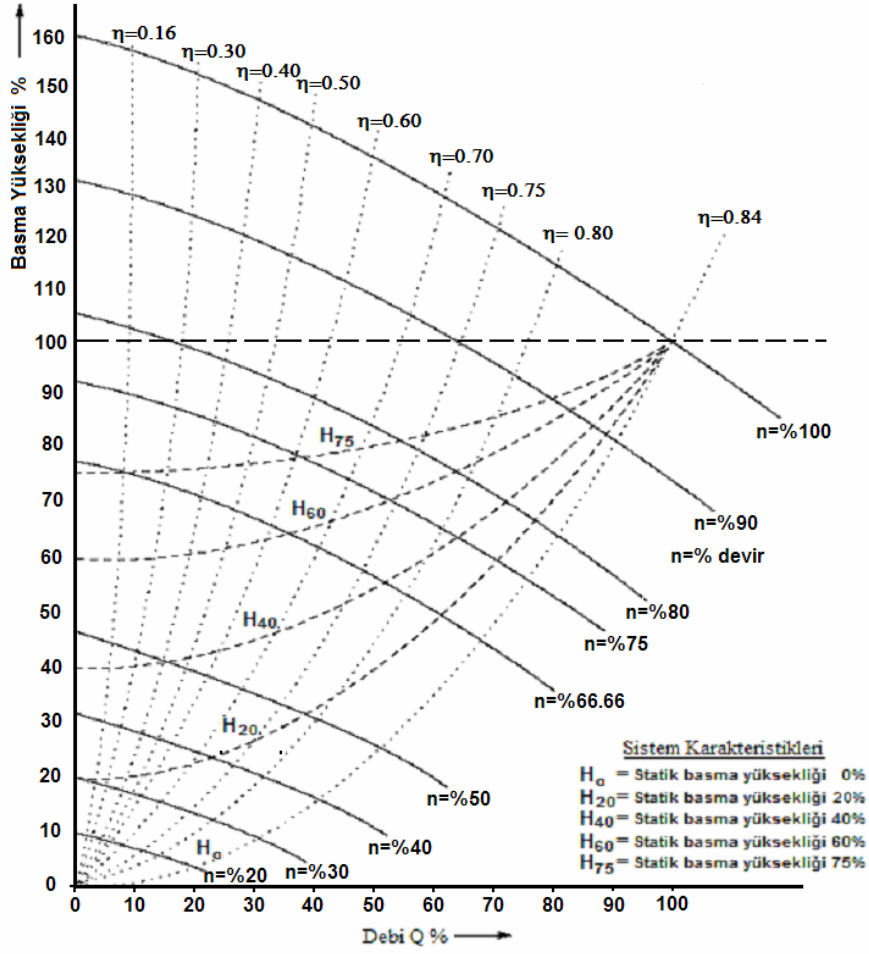
Frekans kontrollü bir sistemde debi azaldıkça sistem verimi artar şekil 5. Fakat bu artış belli bir noktadan sonra pompa, motor ve F/C verimlerinin azalmaya başlamasıyla dengelendikten sonra birden azalır. Sistem veriminin maksimum olduğu noktadan daha düşük devirlerde çalışılmamalıdır.



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

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 devrini %75 e düşürdüğümüzde Statik basma yüksekliği olmayan $H_s=0$ sistemde verim değişmezken, $H_s=75$ olan sistemde verim %60 olmaktadır. Görüldüğü gibi sistem katsayısı yüksek olan sistemlerde frekans kontrolü ile enerji tasarrufu yapmak mümkün değildir şekil 5.



Şekil 6. Değişken devirli pompalarda sistem karakteristiğinin verime etkisi

BORU SİSTEMLERİ

Boru sistemleri dizaynı ömür boyu maliyeti en az'a indirecek en önemli elemandır. Uygun bir tasarıma ulaşmak için pompa, motor, yol vericiler, boru tesisatı 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.

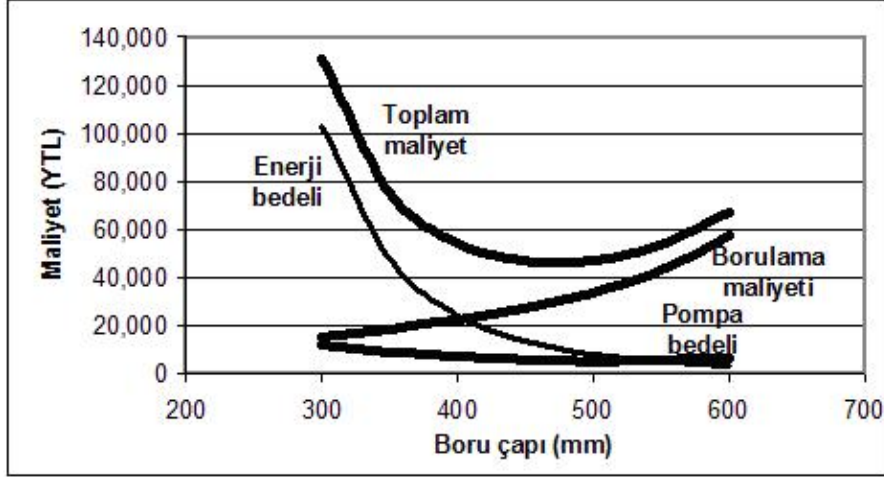
Ömür boyu maliyet hesabında hem satın alma maliyeti hem de işletme maliyetleri toplam maliyeti oluşturur. Satınalma ve işletme maliyetlerinin önemli bir kısmı boru çapı ve ona bağlı sistem elemanları ile ilgilidir. Basınç kayıplarının büyük bir bölümü vanalar ve bilhassa kısma ile kontrol eden kontrol vanalarında oluşur.

Boru çapı seçiminde göz önüne alınacak hususlar:

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

Boru çapının düşürülmesi ile boru, aksesuarlar ve montaj maliyeti azalır, pompa satınalma 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 satınalma maliyetleri saptanarak bir grafik haline getirilmeli ve maliyet ve kazançlar net bugünkü değer hesabı ile toplanarak en ucuz sistem maliyetini veren boru çapı bulunmalıdır Şekil 7.



Şekil 7. Boru çapı optimizasyonu.

Uygulamada birden çok çalışma noktası belirlenmiş olabilir. Bunlardan en büyük debi veya basma yüksekliği belirleyici olacaktır. Bu durumda pompaların çalışma süreleri göz önüne alınarak dikkatli bir seçim yapılmalıdır.

MEVCUT POMPAJ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Aşırı derecede yüksek enflasyon döneminden geçen ülkemizde daha önce yapılan tesislerin fizibiliteleri hep o zamanki yüksek enflasyona göre değerlendirildiğinden daima en ekonomik çözüm en ucuz çözüm olmuştur. Enerji fiyatlarının arttığı bu günlerde eski tesislerin fizibilitelerini de gözden geçirmek yararlı olacaktır.

Mevcut pompaj sistemlerinin enerji verimliliğinin artırılması 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 azaltacak 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 matematik modeli oluşturularak optimizasyon için gerekenler saptanabilir.

ÖMÜR BOYU MALİYET (ÖBM)

Ömür boyu maliyet, herhangi bir ekipmanın satın alma, montaj, işletme, bakım ve ömür sonunda söküp atma 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 söküp atma 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.

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

SONUÇ

Yeni yapılacak sistemlerde fizibilite mevcut ekonomik şartlara uygun olarak yapılmalıdır. Enerji tasarrufu sağlayacak değişken devirli pompaj sistemlerinde debi frekans kontrollü pompalarla kolayca değiştirildiği halde düşük devirli çalışmada problem yaşamamak için sistemin dengesine dikkat edilmelidir. Devir sayısı 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 çalışmada para harcıyarak yarattığımız hidrolik enerjiyi yok ediyoruz. Pompa ve pompaj sistemlerinde enerji masrafları işletmelerin ekonomilerinde önemli bir gider kalemidir. Bir tesiste senelerdir problemsiz 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 sarımsı veya yüksek verimli bir motorla yenilenmesi alternatifi düşünülmelidir. Amerika ve avrupadaki pek çok işletmede pompaj sistemlerinin optimizasyonu ile ortalama %30 enerji tasarrufu sağlanabileceği Hidrolik Enstitü 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., DUYSMUŞ E "Değişken Devirli Pompaların Seçimi" 4. Pompa Kongresi İstanbul, 2001
- [5] EUROPUMP-HI "LCC manual"

ÖZGEÇMİŞ

A. Özden ERTÖZ

1934 yılında İzmir’de doğdu. 1960 yılında İ.T.Ü.’den Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 1960-1961 yıllarında Finlandiya’da pompa araştırma mühendisi olarak çalıştı. 1964 yılında Vansan Makina Sanayii’ni kurarak pompa imalatına başladı. 1964 yılından bugüne kadar çeşitli tipte pompaları üretti. Pompa Sanayicileri Derneği (POMSAD) kurucularındandır. Vansan Makina Sanayii adlı kendi firmasında derin kuyu pompaları, jeotermal pompalar, dalgıç pompalar, pis su pompaları ve çekvafler imal etmekte olup öğretim görevlisi olarak halen Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Hidrolik Makinalar dersini vermektedir.