

# DEĞİŞKEN DEVİRLİ POMPALAR

A. Özden ERTÖZ

## ÖZET

Bir pompaj sisteminde debiyi pompa karakteristiği ile sistem karakteristiğinin kesim noktası tayin eder. Değişik debi elde edebilmek için pompa karakteristiği sabit ise sistem karakteristiğini, sistem karakteristiği sabit ise pompa karakteristiğini değiştirmek gerekir.

Pompa devrinin sabit tutulup sistem karakteristiğinin değiştirilmesi yolu ile debi kontrolü, basma hattı üzerindeki kontrol vanası kısılarak yapılır. Sistem karakteristiğini değiştirmeden pompa devrinin değişimi ile pompa karakteristiğini değiştirerek debi kontrolü son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Kontrol vanaları kısılarak yaratılan basınç kaybı ile debi kontrolünde debiyi arttırmak mümkün değildir. Bu sebepten pompa seçiminde ilerideki ihtiyaçları da göz önüne almak için pompa debisinin %25, basma yüksekliğinin %10 büyük olarak sipariş edilmesi yaygın bir uygulamadır. Frekans değiştiricilerin (FD) yakın zamanlarda güç elektroniğindeki gelişmelerle enerji kayıpları azaltılıp fiyatları izafi olarak ucuzladığı için pompaların değişken devirli olarak kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Böylece, sistem karakteristiği değiştirilmeden frekans değiştirici yardımıyla dönme sayısı ayarlanan elektrik motoru yardımıyla pompa karakteristiğinin istenen debiyi sağlayacak şekilde ayarlanması mümkün olmuştur. Bu bildiride değişken devirli pompa seçiminin teknik ve ekonomik yönleri incelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** değişken devirli pompalar, değişken debi

## ABSTRACT

In a pumping system capacity is dictated by the intersection of pump curve and system curve. If the pump curve is fixed, capacity can only be changed by changing the system curve by throttling the discharge valve. If the system curve is kept fixed for the sake of efficiency than pump curve has to be changed by regulating the pump running speed.

**Key Words:** variable speed pump,

## 1. GİRİŞ

Değişken devirli pompa ihtiyacı değişken debi sağlanması için veya teknolojik mecburiyettendir. Debi değişken değil ise teknolojik mecburiyet olmadıkça en iyi çözüm sisteme uygun sabit devirli bir pompadır.

### Teknolojik mecburiyetler:

1. Jeotermal kuyu içi pompalarının çalıştırma ve durdurulmalarında darbeyi önlemek ve homojen ısınmayı sağlamak için.
2. Yatay milli santrifüj pompalarda basma yüksekliği, çark çapını torna ederek düşük verimle çalışmak yerine çark çapını tornalamadan daha düşük devirde yüksek verimle çalışmak için.

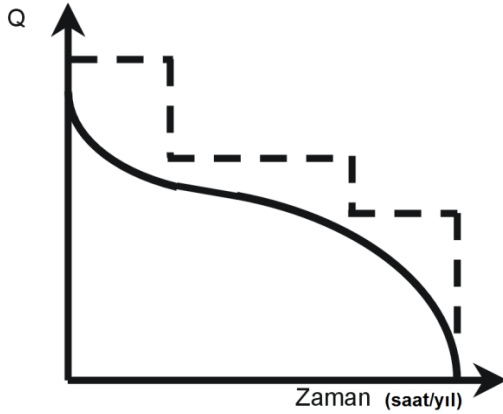
3. Mevcut sistemde debisi veya basma yüksekliği az gelen pompayı motor gücü uygunsa veya yeni bir motorla biraz daha yüksek devirde çalıştırarak mevcut pompayı değiştirmeden kullanmak için. Frekans değiştiriciler (FD) kullanılır.

## 2. DEĞİŞKEN DEBİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

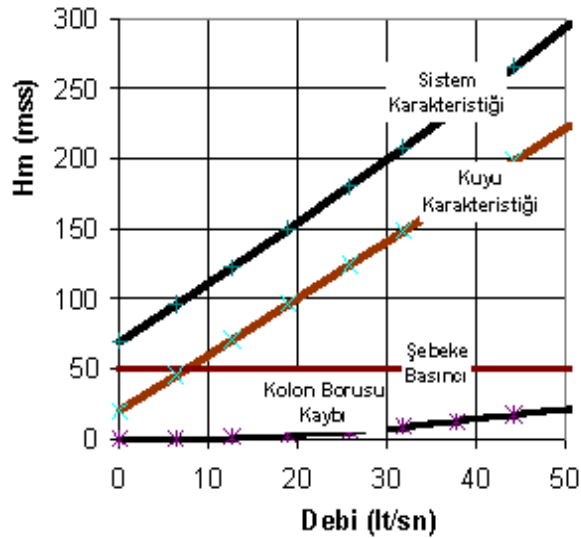
1. Pompayı ihtiyaca göre çalıştırmak
2. Yüksekteki bir depoyu doldurarak ihtiyaca göre kullanmak.
3. Çalışan pompa sayısını değiştirmek
4. Pompayı devamlı yüksek debide çalıştırarak akışkanın bir kısmını depoya geri döndürmek.
5. Pompa çıkışındaki debi kontrol vanası ile sistem karakteristiğini değiştirerek debiyi ayarlamak.
6. Sabit devirli elektrik motoru ile pompa arasına hidrolik veya elektrikli kavrama koyarak pompa devrini ihtiyaca göre ayarlamak.
7. Elektrik motoruna uygulanan gerilim ve frekansı değiştirerek pompayı gereken hızda döndürmek.

## 3. DEĞİŞKEN DEBİNİN SAPTANMASI

Değişken devirli pompanın belirlenmesi için yıl bazında hangi debide kaç saat çalışılacağı Şekil 1 deki gibi veya benzeri bir diyagramla belirtilmelidir. Derin kuyu pompalarında ise çalışma programı ile birlikte debi-düşüm ilişkisi de verilmelidir. Bilhassa jeotermal pompaların seçiminde kuyudaki debi-düşüm ilişkisini bilerek seçim yapmak çok önemlidir. Aksi halde tüm sistemin işletme masrafı ekonomik olamaz. Aslında sadece jeotermal pompalarda değil tüm Derinkuyu pompalarında debiye bağlı olarak kuyu içindeki su seviyesini bilmek, sulamada enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Ülkemizde yeraltı suyu pompajında, kuyu karakteristiğini bilerek satın alınan pompa sayısı son derecede azdır.



Şekil 1. Debi Değişiminin Yıllık Dağılımı (Süreklilik Eğrisi)



Şekil 2. Artezyen Kuyularda Debi-Düşüm İlişkisi

#### 4. SİSTEM KARAKTERİSTİKLERİ

Sistem karakteristiği, bir sistemde basma yüksekliği ile debi arasındaki ilişkidir. Basma yüksekliğinin bir bölümü debi ile değişmez, diğer bölümü ise dinamik karakterde olup, debinin karesi ile orantılıdır. Aynı zamanda boru geometrisi, pürüzlülük, akışkanın viskozitesi gibi birtakım başka faktörler de basma yüksekliğine etki eder. Pek çok endüstriyel uygulamada basma yüksekliği tamamen sürtünme kayıplarından oluşur (kapalı devre sirkülasyon sistemleri). Sürtünme kayıplarına ( $H_k$ ) diyelim.  $H_k$  debinin karesi ile doğru orantılı olduğundan

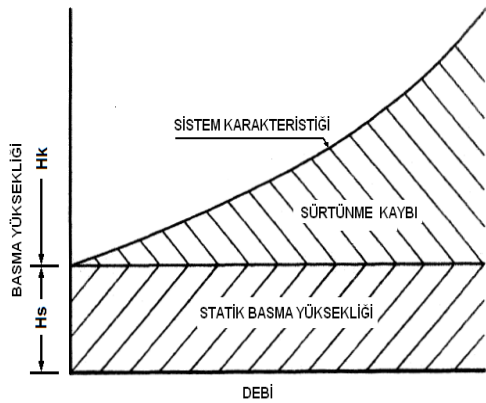
$$H_k = K \times Q^2$$

Şeklinde gösterilebilir. Burada  $K$  sistem sabitidir. Statik basma yüksekliği ( $H_s$ ) debiye bağlı değildir. Sistemin toplam basma yüksekliği, statik basma yüksekliği ( $H_s$ ) ile sürtünme kayıpları ( $H_k$ ) toplamıdır

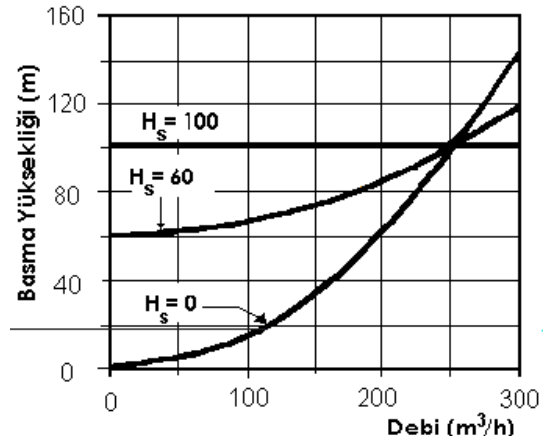
$$H = H_k + H_s$$

$$H = H_s + K \times Q^2$$

Şekil (4) te konunun açıklanmasına yardımcı olması amacıyla 250 m<sup>3</sup>/h debide basma yüksekliği 100 mss olan 3 adet sistem karakteristiği gösterilmiştir. Sistem karakteristilerinin statik basma yükseklikleri ( $H_s$ ) hepsinde değişik olup 0-60-100 m. dir. Sürtünme kayıpları da toplam basma yüksekliğini 100m. ye tamamlamak üzere 0 ile 100 m. arasında değişmektedir. Bu durumda  $H_s=0$  olan sistemin basınç kayıpları tümüyle sürtünme kayıplarından oluşmakta;  $H_s=100$  olan sistemde ise hiç basınç kaybı bulunmamaktadır.



Şekil 3. Sistem Karakteristiğinin Yapısı



Şekil 4. Statik Basma Yüksekliği Farklı 3 Sistem Karakteristiği

Pompa verimini hesaba katmazsak, akışkanı bir sisteme pompalamak için gereken güç ( $P$ ), debi ( $Q$ ), basma yüksekliği ( $H$ ) ve akışkanın yoğunluğu ( $\rho$ ) çarpımına eşittir. Burada debi (m<sup>3</sup>/s), Basma yüksekliği (m), Yoğunluk (Kg/m<sup>3</sup>), Güç ise ( $w$ ) olarak hesaba konulmalıdır.

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (7)$$

(6) nolu eşitlikten basma yüksekliğini alıp güç eşitliğine taşırsak:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot (KQ^2 + H_s) \quad (8)$$

Hidrolik güç statik basma yüksekliğinin olmadığı ( $H_s=0$ ) sisteminde debinin 3. kuvveti ile orantılı olduğu halde, sürtünme kayıplarının olmadığı ( $H_s=100$ ) durumunda hidrolik güç debi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Burada pompa, elektrik motoru, frekans değiştirici verimlerinin devir ve güç değişimlerine göre verim değişimlerini bilemediğimiz için güç hesaplarını genellemeyi daha ileriye götürmemek gerekir. Ekonomik hesaplar sistem ve ekipmanlar belli olduktan sonra detaylanmalıdır.

## 5. SİSTEM VERİMİ

Bir hidrolik sistemde pompaj sonunda elde edilen hidrolik enerjinin, bu pompajı yapmak için harcanan enerjiye oranına sistem verimi diyoruz.

$$\eta_{sistem} = \frac{\rho \times Q \times g \times H_{statik}}{\rho \times Q \times g \times (H_{statik} \times k \times Q^2)} \times \eta_{pompa} \times \eta_{motor} \times \eta_{frekans\ degistirici}$$

paydaki  $\rho \times g \times H_{statik} = a$  dersek paydadaki terim, telden-suya güç (wat) olduğundan

$$\eta_{sistem} = a \times \frac{Q}{P} \quad \left( a \times \frac{m^3}{W} \right) \text{ olur.}$$

Harcanan her birim enerji başına sisteme pompalanan akışkan miktarı sistem veriminin ölçüsüdür.

$$\eta_{sistem} = \frac{H_{statik} \times \eta_{pompa} \times \eta_{motor} \times \eta_{frekans\ degistirici}}{H_{statik} + k \times Q^2}$$

$$S_K = \frac{H_{statik}}{H_{statik} + k \times Q^2} = \text{Sistem katsayısı diyelim}$$

$$\eta_{sistem} = S_K \times [\eta_{pompa} \times \eta_{motor} \times \eta_{FD}]$$

Sistem verimi için şu sonuçları çıkarabiliriz.

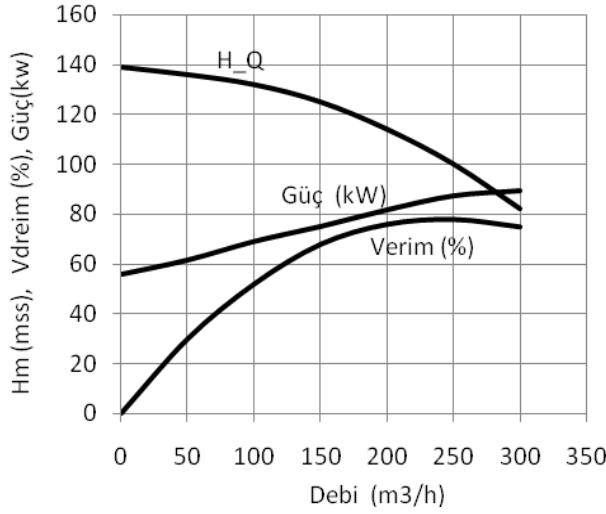
1. Sistem veriminin yüksek olması için verimi yüksek pompalar, motorlar, frekans değiştiriciler kullanılmalıdır.
2. Bir sistemde debi azaldıkça sistem verimi artar. Fakat bu artış belli bir noktadan sonra pompa, motor ve FD verimlerinin azalmaya başlamasıyla dengelendikten sonra birden azalır Şekil....
3. Statik basma yüksekliğine oranla sürtünme kayıplarının az olduğu sistemlerin verimleri yüksektir.
4. Statik basma yüksekliğinin az olduğu sistemlerin verimleri düşüktür.
5. Verimi düşük olan değişken debili sistemlerde FD kullanılarak debi azalınca enerji ekonomisi sağlamak mümkündür.

## 6. POMPA KARAKTERİSTİKLERİ

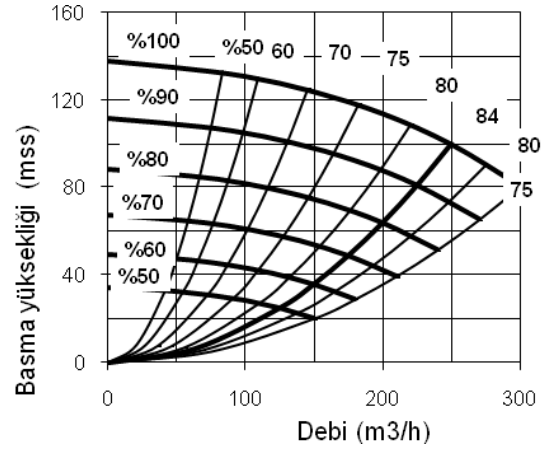
Pompa seçiminde pompa karakteristiğinin bilinmesi kadar sistem karakteristiğinin de bilinmesi gerekir. (Şekil 5) te sabit devirli tipik bir pompa karakteristiği görülmektedir. Farklı pompalar için karakteristik değişik olsa bile genel olarak pompa karakteristiklerinde debinin artışı ile basma yüksekliği azalır. Pompa karakteristikleri sabit devir için çizilmiştir. Değişken devirli pompa karakteristikleri; pompanın her devri için ayrı karakteristikler çizilerek belirtilir.

(Şekil 5) te sabit devirli bir pompa karakteristiği gösterilmiştir. Bu pompanın dönme sayısının azaltılıp artırılması ile karakteristikte olacak değişimler benzeşim kuralları gereğince olur. Benzeşim kuralları  $\pm \%10$  Aralığında yaklaşık sonuç verirler. Daha geniş aralıklarda karar verebilmek için değişken devirli deney sonuçları kullanılmalıdır. Bu bildiride anlatımı karmaşıklıktan kurtarmak amacıyla benzeşim kurallarının tüm devirler için geçerli olduğu kabul edilecektir. (şekil 6) da bir pompanın değişik

devirlerdeki karakteristiği görülmektedir. Bu karakteristikte sabit verim eğrileri yaptığımız kabule uygun olarak başlangıçtan geçen paraboller olarak gösterilmektedir



Şekil 5. Sabit Devirli Pompa Karakteristiği



Şekil 6. Değişken Devirli Pompa Karakteristiği

Pompaların değişik devirli karakteristikleri genellikle bulunmadığından sabit devirli pompa performans eğrilerinden benzeşim kurallarına göre değişken devir performanslarını üretmemiz gerekir. Şekil 5 te türetilen bir değişik devir pompa karakteristiği görülmektedir.

## 7. POMPA VE SİSTEM KARAKTERİSTİKLERİ

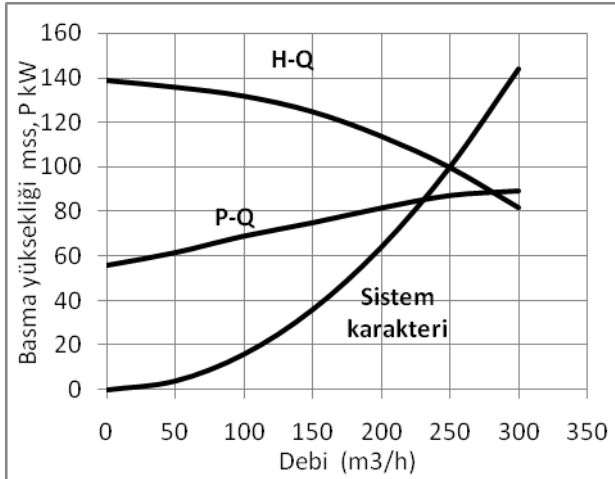
Bir pompanın çalışma noktası pompa karakteristiği ile sistem karakteristiğinin kesişme noktasıdır. Şekil 6 da Statik basma yüksekliği bulunmayan ( $H_s=0$ ) sistemde Şekil 4 teki pompanın karakteristiği birlikte çizilmiştir. Bu iki eğri  $Q=250 \text{ m}^3/\text{h}$  ve  $H_m=100 \text{ m}$  noktasında kesişmektedir.

## 8. SİSTEM DEBİSİNİN ÖZELLİĞİ

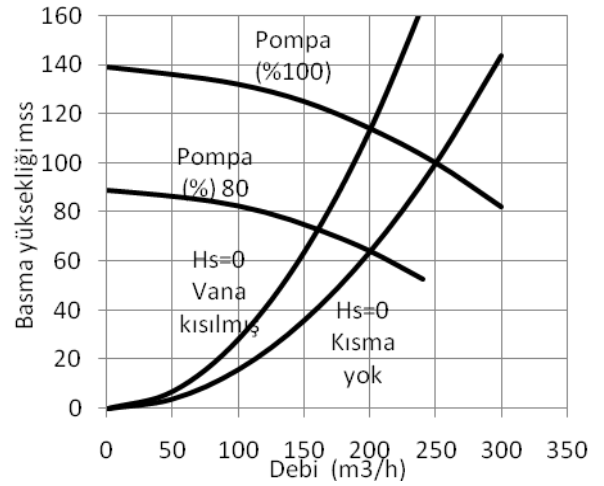
Sistem gereksinimleri çok çeşitli olabilmektedir. Örneğin, bir sistem sabit ve devamlı bir debi isterken, bir diğeri iki sınır değer arasında devamlı değişen bir debi veya başka bir sistem sabit veya değişken debili ve kesintili bir işletme isteyebilir. Bu sistemlerin kombinasyonları da söz konusu olabilir. Her bir sistem kendi içinde değerlendirilmeli ve ona göre çözüm aranmalıdır. Bir sistem için uygun olan çözüm bir başkası için uygun olmayabilir.

Debi kontrolünün en çok kullanılan yöntemi vana ile kısma yapıp sürtünme kayıplarını artırarak sistem karakteristiğini değiştirmek suretiyle istenen debiyi sağlamaktır. Şekil (8)

Diğer bir yol ise pompanın devrini azaltarak benzeşim kuralları gereğince pompa karakteristiğini değiştirerek sistem karakteristiği ile kesim noktasını ayarlamaktır Şekil (8). Pompa %80 hızda çalıştırıldığında karakteristiğinin kesim noktası sistem eğrisini  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  ve  $H_m=64 \text{ m}$  noktasında keser.



**Şekil 7.** Sabit Devirde Pompa Sistem ve Güç Karakteristiği Kısılması



**Şekil 8.** 200 m³/h Debi İçin Vana Ve Devir Değişimi Mukayesesi

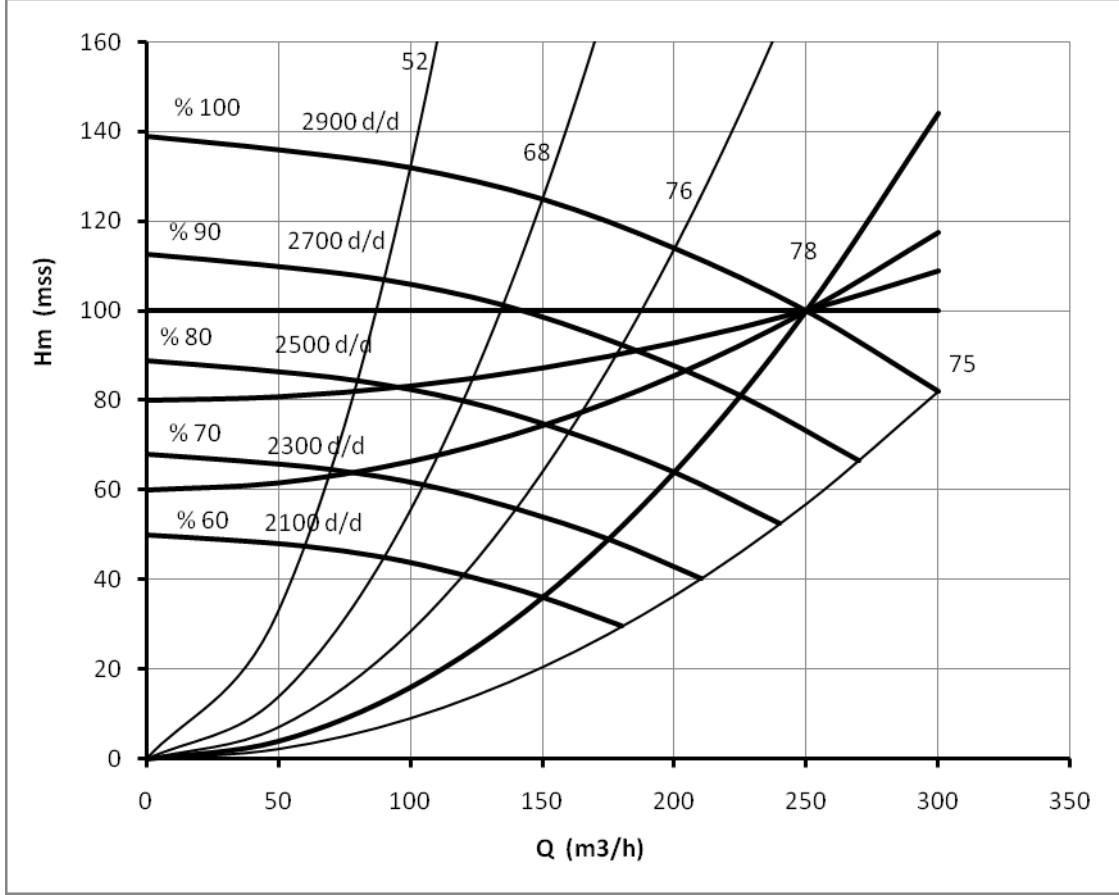
Sabit devirli pompanın 250 ve 200 m<sup>3</sup>/h te çıktıkları güçler 82,87 ve 76,3 kW tır şekil (7). Elektrik motorunun verimini %92 olarak Kabul edersek şebekeden çekilen güç 90,07 ve 82,93 kW olacaktır.

Hâlbuki devir düşürülerek yapılan ayar sonucu 200 m<sup>3</sup>/h debide mil gücü belirgin bir biçimde azalacaktır( 43,35 kW) . (Şekil 7). % 80 hızda motor ve sürücünün veriminin %88 olduğunu göz önüne alarak Tüketilen enerji 82,93 kW tan 48,22 kW düşecektir ki bu vana ile kısma göre % 41,85 Azalmaya tekabül etmektedir.

İşler maalesef her zaman bu kadar basit değildir. Frekans değişimi ile debi kontrolü, basma yüksekliğinin tamamen sürtünmelerden oluştuğu sistemlerde başarı ile kullanıldığı halde statik basma yüksekliği payının artmasıyla olay daha karmaşık hale gelmektedir.

## 9. STATİK BASMA YÜKSEKLİĞİ DEĞİŞİMİNİN HIZ KONTROLUNA ETKİLERİ

Statik basma yüksekliğinin hız kontrolüne etkisini değerlendirebilmek için aynı pompanın üç değişik sistemde Statik basma yüksekliğinin 0-60-100 m. olarak değiştirerek aynı debi ve basma yüksekliğinde (Q=250 m<sup>3</sup>/h Hm=100 m.) çalışmakta olduğunu varsayalım. Diğer bir deyişle statik basma yüksekliği, toplam basma yüksekliğinin % 0 ile %100 arasında değişsin. Bu sistemlerin başlangıç noktası tam hızda çalışma olursa bazı önemli özelliklerin ortaya konulması kolaylaşacaktır.



**Şekil 9.** Q=250 m<sup>3</sup>/h Hm=100 mss. Pompanın Farklı 3 Sistemde Çalışma Durumları

Pompa hızı azalmasının etkilerini görebilmek için pompa dönme hızları % 10 luk aralıklarla azaltılmış karakteristiklerle Şekil 9. da gösterilmiştir. Pompa hızının azaltılmasıyla üç değişik sistemdeki debiler artık çok farklıdır. Daha önce de belirtildiği gibi (Hs=0) sisteminde %80 devirde Q=200 m<sup>3</sup>/h idi. Fakat statik basma yüksekliği arttıkça pompa karakteristiği ile sistem karakteristiklerinin kesişme noktası sola doğru kaymaktadır. (Hs=100 m.) olan sistemde debi 0 olmakta, yani pompa kapalı vana durumunda çalışmaktadır. Hs=80 olan sistemde ise debi 250 m<sup>3</sup>/h ten 90 m<sup>3</sup>/h te düşmekte ve pompa verimi de % 78 den % 60 a düşmektedir.

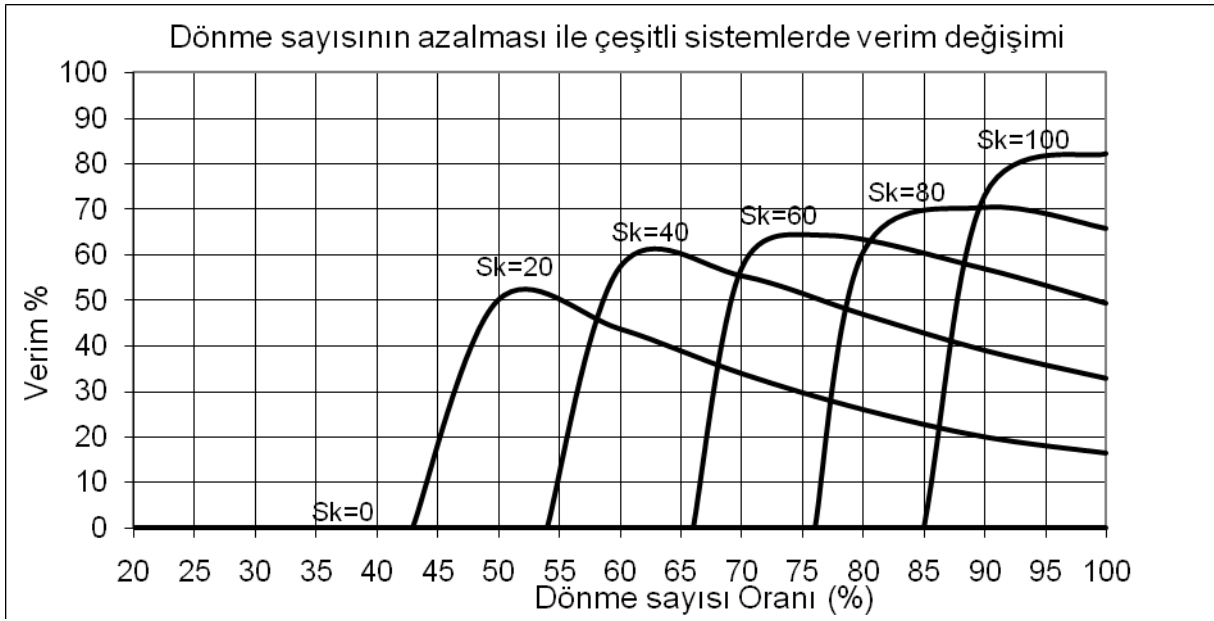
Değişken devirli pompalarda FD lerin tam yükteki ve 50 Hz. teki kayıpları %2-6 arasındadır. Frekans azalınca moment 'te azaldığı için verimleri daha da azalmaktadır. Elektrik motorlarının da verimlerinin dönme sayısına bağlı olarak gerilim ve mil güçleri azalınca verimlerinde olacak değişikliğin hesaba katılması gerekir. Değişken devirli pompaya karar vermeden önce aşağıdaki hususların hatırlanması yerinde olur.

Sabit devirli pompalar en iyi verim noktalarından uzakta çalıştırıldığında verimi düşük olur. Eğer çalışma noktası en iyi verim noktasından uzakta değilse sistem veriminiz iyi olacak ve pompaj probleminiz ekonomik olarak sabit devirli pompalarla çözülmüş olacaktır. Sürtünme kayıplarının az olduğu sistemlerde, debisi Q olan bir pompa yerine Q/2 debili iki pompa size hem Q/2 de hem de Q debisinde maksimum verimde çalışma olanağı verecektir. Seçimde pompa sayısının çoğaltılması, kesintili çalışma, depolama yöntemleri de göz önüne alınmalıdır.

Değişken devirli pompalar, değişken debili kullanımda, az debi istendiği sürece, basma yüksekliğinde sürtünme kayıplarında azalma meydana geldiği için sistem katsayısı 60 tan az olduğunda sistem veriminde iyileşme sağlar. Şekil 10. Buna karşılık frekans dönüştürücüler pahalı ve bakımları zordur.

Seçim yapılırken daima “sabit devirli pompalarla bu problem çözülebilir mi?” sorusu göz önünde tutulmalıdır.

Toplam basma yüksekliğinde statik basma yüksekliği payının çok olduğu durumlarda verimli bir debi kontrolü paralel pompalar kullanarak sağlanır. Bir'den çok pompa kullanımı ile debi kontrolünde pompa sayısı kontrol edilmek istenen debiye bağlıdır. Her pompa ayrı ayrı istenen yüksekliğe akışkanı basacağından, devir sayısını değiştirmeye gerek kalmayacaktır. Şekil 10. da sistem katsayıları farklı sistemlerde, devir sayısının azalması ile sistem veriminin değişimi gösterilmektedir. Sistem katsayısı azalan sistemlerin verimleri kötüleşmektedir. Fakat kötü verimli sistemlerin, devir sayısı azaltıldığında verimde iyileşme fazla olmaktadır. Örneğin Şekil 10. Da  $Sk=20$  olan sistemde en yüksek devirde sistem verimi %17 iken, dönme sayısı %45 azaltıldığında sistem verimi %50 olmaktadır. Hâlbuki  $Sk=100$  olan sistemde devir sayısı azaltımı ile hiçbir şey kazanılamaz. Aksine verim kötüleşir.



Şekil 10. Değişken Devirli Pompalarda Sistem Katsayısının Fonksiyonu Olarak Verim Değişimi

## KAYNAKLAR

- [1] A. Özden ERTÖZ, Yeraltı Suları Pompaj Ekonomisi ve Pompa Seçimine Etki Eden Faktörler, 2 Pompa Kongresi ve Sergisi, 1996
- [2] Don Casada, Energy and reliability considerations for adjustable speed driven pumps, presented at the 1999 International Energy Technology Conference
- [3] James B. (Burt) Rishel, P.E. March, 2000, vol. 42, no. 3, 40 Years Of Fiddling With Pumps
- [4] A. Özden ERTÖZ, Değişken Devirli Pompaların Seçimi. 4. Pompa kongresi. 8 Kasım 2001.
- [5] Dennis ADAMS, Variable Speed Pump-Energy Saving?, 2001
- [6] A. Özden ERTÖZ, Balçova Jeotermal Pompaları Enerji Analizi Çalışmaları, 2001
- [7] A. Özden ERTÖZ. Jeotermal Pompa Performansının Gözlemlenmesi, Değerlendirilmesi ve Optimizasyonu, Teskon Jeotermal Semineri 2005.
- [8] POMSAD Yayınları No: 12, Pompalarda Ömür Boyu Maliyet: Pompalı Tesisler İçin ÖMB Analiz Rehberi 2008



## ÖZGEÇMİŞ

### A. Özden ERTÖZ

1934 yılında İzmir'de doğmuştur. 1960 yılında İTÜ den makine mühendisi olarak mezun olduktan sonra Finlandiyada Ahlström firması pompa bölümünde bir yıl araştırma asistanı olarak çalışmıştır. Memlekete döndükten sonra o zaman iki yıl olan askerlik hizmetini tamamladıktan sonra 1964 yılında kendi firmasını kurarak pompa üretimine başlamıştır. Halen pik döküm ve paslanmaz çelik dalgıç pompalar ve dalgıç pompalar için elektrik motorları üreten Vansan Makine Sanayi A.Ş. yönetim kurulu başkanı olup, 1995-2005 yılları arasında 5 yıl Dokuz Eylül üniversitesinde 5 yıl da Ege üniversitesinde hidrolik makinalar dersi öğretim görevlisi olarak çalışmıştır. Türk Pompa Sanayicileri Derneği (POMSAD) kurucu üyesidir.