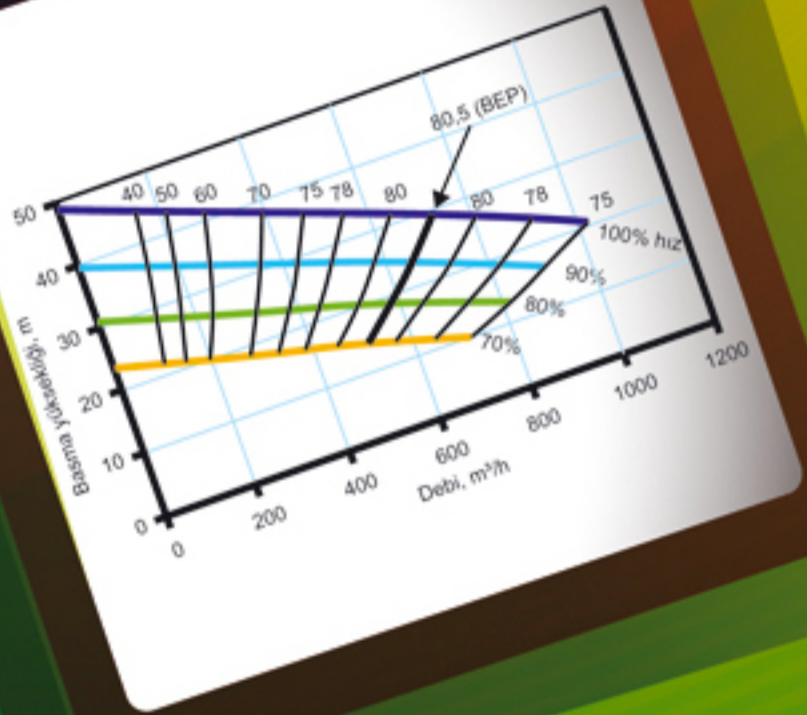
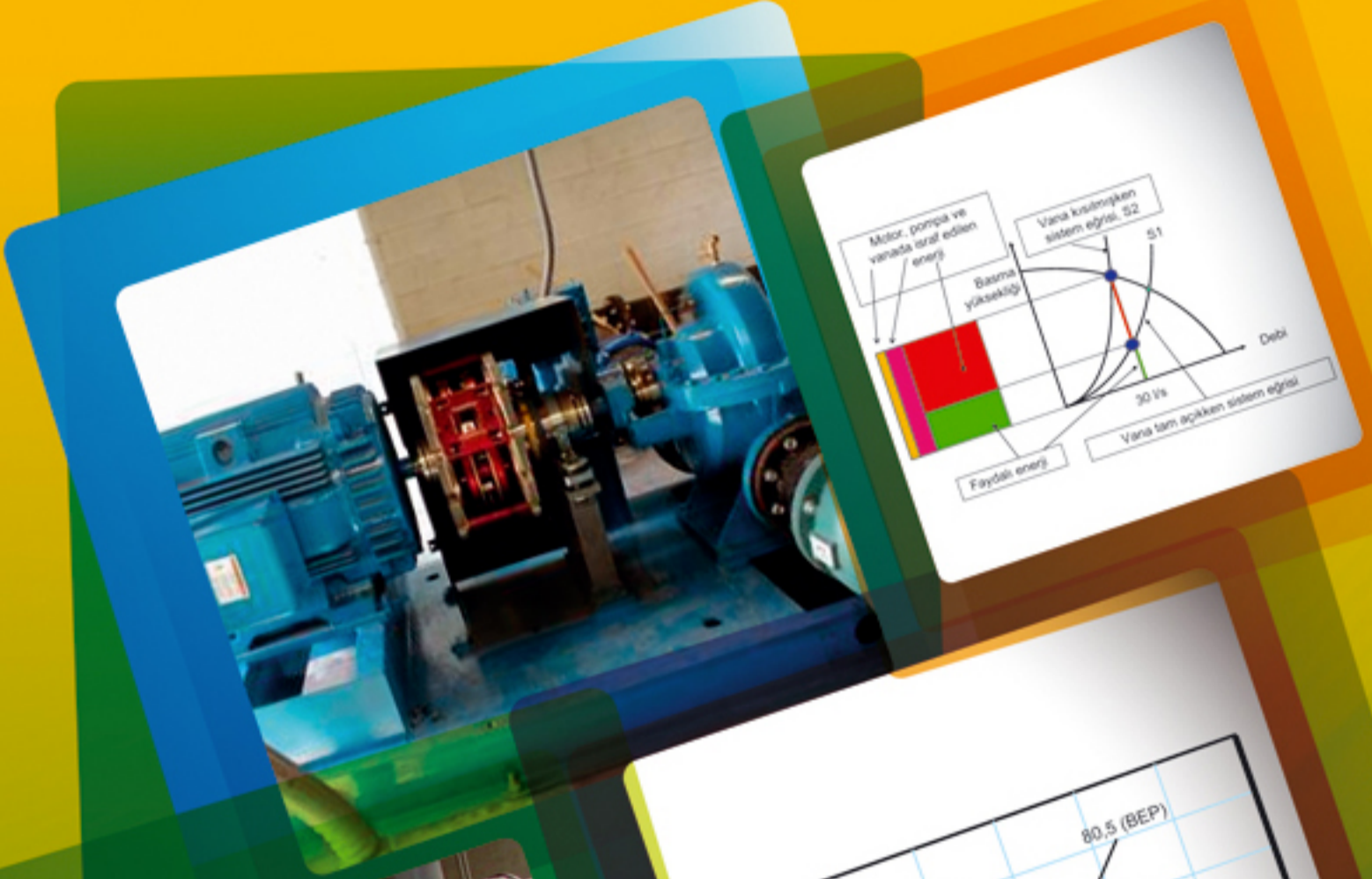


# Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon



## Pompa Sistemleri

T.C.  
ENERJİ VE  
TABİİ KAYNAKLAR  
BAKANLIĞI



YENİLENEBİLİR ENERJİ  
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



# Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon

## Pompa Sistemleri

Ocak 2017

Bu doküman UNIDO (Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı) Endüstriyel Enerji Verimliliği Programı kapsamında hazırlanmıştır.

UNIDO, projeye katkıları nedeniyle, aşağıdaki kişilere teşekkür eder:

- Aimee McKane, Lawrence Berkeley National Laboratory [Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı]
- Vestal Tutterow, Alliance to Save Energy [Enerji Tasarruf İttifakı]

Aşağıdaki kişiler ve kuruluşlar, bu kitapta kullanılan materyali sağlamışlardır:

- US Department of Energy [ABD Enerji Bakanlığı]
- Oak Ridge National Laboratory [Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı]
- Hydraulic Institute [Hidrolik Enstitüsü]
- Pumps and Pumping [Pompalar ve Pompalama], Skeet Arasmith, ACR Publications
- Centrifugal Pumps [Santrifüj Pompalar], Karassik & McGuire, Kluwer Academic Publishers
- Gunnar Hovstadius, Gunnar Hovstadius Consulting, LLC
- Steven Bolles, Process Energy Services, LLC

UNIDO tarafından oluşturulmuş notlara dayanan bu kitap, Türkiye'deki sanayi ve enerji verimliliği literatürü de dikkate alınarak, "Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi" kapsamında geliştirilmiş ve uyarlanmıştır. Metinlerin çevirisi ve edisyonu Proje Yönetim Birimi tarafından koordine edilmiştir:

Ulusal Proje Direktörü  
**Erdal Çalikoğlu**

Proje Koordinatörü  
**Dr. Kubilay Kavak**

Editörler  
**Prof. Dr. Atilla Bıyıkoğlu**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. İsmail Coşkun**, Gazi Üniversitesi

Çeviri  
**Adnan Bıçaksız**, AngloTurca Çeviri Hizmetleri

© Her hakkı saklıdır. Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı (UNIDO), Nisan 2012.

Bu dokümanın yayın hakları, "Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi" kapsamında UNIDO tarafından YEGM'e devredilmiştir.

## YEGM HAKKINDA

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının ana hizmet birimlerinden biri olarak, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve enerji teknolojileri ve bilgi yönetimi eksenlerinde çalışmalar yapmak üzere, 02/11/2011 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 11/10/2011 tarihli ve 662 sayılı "Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Hükmünde Kararname" ile kurulmuştur. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili politika ve stratejilerin genel çerçevesinin belirlenmesinde ve diğer kurum ve kuruluşlarca yürütülen faaliyetlerin koordine edilmesinde önemli rol ve sorumluluklara sahiptir. Bu kapsamda, enerji kaynaklarının ve enerjinin üretiminden tüketimine her safhasında ülke yararına, etkin ve verimli kullanımı ile ilgili çalışmalar yapmak, enerji verimliliği ile ilgili politika ve stratejiler geliştirmek, başka kuruluşlar tarafından yürütülen çalışmalarda koordine edici ve yönlendirici bir rol oynamak, enerji verimliliği ile ilgili ulusal ve sektörel hedeflerin belirlenmesine katkıda bulunmak, kamu kuruluşlarına ve yerel yönetimlere danışmanlık hizmetleri sunmak kuruluşun başlıca görevleridir.

## UNIDO HAKKINDA

Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı (UNIDO), Birleşmiş Milletler'in uzmanlaşmış bir kuruluşudur. Görevi kalkınmakta olan ülkelerde ve geçiş ekonomilerinde sürdürülebilir endüstriyel kalkınmayı destekleyip hızlandırmak ve birleşik küresel kaynaklarını ve uzmanlığını kullanarak dünyanın en yoksul ülkelerindeki yaşam şartlarını iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmaktır. UNIDO son yıllarda faaliyetlerini yoksulluğun azaltılması, kapsayıcı küreselleşme ve çevresel sürdürülebilirlik üzerinde yoğunlaştırarak, küresel kalkınma gündeminde genişletilmiş bir rol üstlenmiştir. UNIDO'nun hizmetleri iki çekirdek işleve dayanmaktadır: UNIDO; küresel bir forum olarak, sanayiyle ilgili bilgi üretmekte ve yaymaktadır; teknik bir işbirliği kurumu olarak, teknik destek sağlamakta ve projeler uygulamaktadır. UNIDO, uzun vadeli etki sağlamayı amaçladığı üç ana tematik alan üzerine odaklanmaktadır: i) Üretim faaliyetleri aracılığıyla yoksulluğun azaltılması, ii) Ticari kapasitenin artırılması, iii) Enerji ve çevre.

## UNDP HAKKINDA

Birleşmiş Milletler'in küresel kalkınma ağı olan BM Kalkınma Programı (UNDP); insanlara bilgi, deneyim ve daha iyi bir yaşam kurmaları için kaynak ulaştıran ve değişimi savunan bir kuruluştur. UNDP, krizlere dayanıklı ve herkesin yaşam kalitesini geliştiren türde bir büyümeyi sağlayan ve sürdüren toplumlar inşa edilmesine destek vermek için toplumun her kesiminden insanlarla ortaklıklar kurmaktadır. UNDP, 177 ülke ve bölgede, çeşitli ortakları ile birlikte, toplumlara kendi buldukları çözümlerde yardımcı olarak, onların ulusal ve küresel kalkınma çabalarına destek vermektedir. UNDP, güçlü bireyler ve güçlü toplumlar için küresel bir perspektif ve yerel bir anlayış sunmaktadır. UNDP Türkiye, ulusal kalkınma planı ile ortaya konulan Türkiye'nin kalkınma hedef ve önceliklerine cevap verecek şekilde ve üç temel alanda çalışmaktadır: Kapsayıcı ve sürdürülebilir kalkınma; kapsayıcı ve demokratik yönetim; iklim değişikliği ve çevre. Ayrıca, stratejik ortaklıklarla hem yurtiçinde hem de yurtdışında Türkiye'nin kalkınma çabalarını desteklemektedir.



# İçindekiler

|  |       |
|--|-------|
| İçindekiler .....  | v     |
| Şekillerin Listesi .....                                 | x     |
| Tabloların Listesi .....                                 | xiv   |
| Denklemlerin Listesi .....                               | xv    |
| Kısaltmalar .....  | xvi   |
| Birimler .....   | xviii |
| Öğrenme Hedefleri .....                                  | xix   |
| <br>   |       |
| 1. POMPALAMA SİSTEMLERİ OPTİMİZASYONU VE ÖN SEÇİMİ ..... | 1     |
| 1.1. Genel .....   | 1     |
| 1.2. Ömür Boyu Maliyet .....                             | 2     |
| 1.3. Ön Seçim .....                                      | 4     |
| <br>   |       |
| 2. POMPALAMA SİSTEMLERİ VE PROSES TALEPLERİ .....        | 7     |
| 2.1. Genel .....   | 7     |
| 2.2. Sistem Sınırları .....                              | 8     |
| 2.3. Proses Talebi .....                                 | 9     |
| 2.3.1. Sabit debi ihtiyaçları .....                      | 9     |
| 2.3.2. Değişken debi ihtiyaçları .....                   | 9     |
| 2.4. Zaman Diyagramları .....                            | 10    |
| <br>   |       |
| 3. POMPA TİPLERİ .....                                   | 13    |
| 3.1. Genel .....   | 13    |
| 3.2. Rotodinamik Pompalar .....                          | 14    |
| 3.2.1. Rotodinamik pompa tipleri .....                   | 15    |
| 3.2.2. Rotodinamik pompaların özellikleri .....          | 16    |
| 3.3. Pozitif Deplasmanlı Pompalar .....                  | 17    |
| 3.3.1. Pozitif deplasmanlı pompa tipleri .....           | 17    |
| 3.3.2. Pozitif deplasmanlı pompaların özellikleri .....  | 18    |
| <br>   |       |
| 4. TEMEL HİDROLİK .....                                  | 19    |
| 4.1. Temel İlişkiler .....                               | 19    |
| 4.2. Akışkan Akışı .....                                 | 20    |
| 4.3. Basma Yüksekliği .....                              | 20    |
| 4.3.1. Statik basma yüksekliği .....                     | 21    |
| 4.3.2. Hız basma yüksekliği .....                        | 21    |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.3. Sürtünme basma yüksekliği .....                                   | 22 |
| 4.3.4. Basma yüksekliği üzerindeki diğer etkiler.....                    | 26 |
| 4.4. Sistem Eğrileri.....  | 27 |
| Alıştırma .....  | 29 |
| Çözüm .....  | 29 |
| 5. POMPA PERFORMANSININ KAVRANMASI.....                                  | 31 |
| 5.1. Genel .....   | 31 |
| 5.2. Pompa Eğrileri.....   | 31 |
| 5.3. Benzerlik Kanunları.....  | 32 |
| 5.4. Değişken Hız Eğrileri.....  | 33 |
| 5.5. Çark Boyutlandırma .....  | 34 |
| 5.6. Pompa Çalışma Noktası.....  | 35 |
| 5.7. Paralel Bağlı Pompalar.....   | 35 |
| 5.8. Seri Bağlı Pompalar .....   | 36 |
| 5.9. Kavitasyon.....   | 37 |
| Alıştırmalar .....   | 39 |
| Çözüm .....  | 39 |
| Çözüm .....  | 40 |
| 6. POMPA BAKIMI VE GÜVENİLİRLİĞİ .....                                   | 43 |
| 6.1. Genel .....   | 43 |
| 6.2. Güvenilirliği Etkileyen Faktörler .....                             | 44 |
| 6.2.1. Pompa tipleri ve servis .....                                     | 44 |
| 6.2.2. Kurulum: dolgulama, hizalama ve nozul yükleri .....               | 44 |
| 6.2.3. Uygunsuz boru tesisatı ve giriş koşulları .....                   | 45 |
| 6.2.4. NPSH.....   | 46 |
| 6.2.5. Sürüklenen hava .....   | 46 |
| 6.2.6. Kuru çalıştırma.....  | 46 |
| 6.2.7. İzin verilen çalışma aralığı .....                                | 47 |
| 6.2.8. Conta ve yataklar .....   | 48 |
| 6.2.9. "Korsan" parça kullanımı ve uygunsuz tamir .....                  | 48 |
| 6.2.10. Uygunsuz dengeleme.....  | 48 |
| 6.2.11. BEP dışında çalıştırmanın bakıma etkisi.....                     | 49 |
| 6.2.12. BEP'ten uzaklığa göre bakım maliyeti.....                        | 49 |
| 6.2.13. Pompa yıpranmasının pompa karakteristikleri üzerine etkisi ..... | 50 |
| 6.3. Pompalama Sisteminin İzlenmesi.....                                 | 52 |
| 6.3.1. Varlık yönetimi.....  | 54 |
| 6.3.2. İzleme sistemleri .....   | 54 |
| 6.3.3. Entegre izleme ve kontrol sistemleri.....                         | 54 |

|  |           |
|--|-----------|
| Alıştırmalar .....   | 54        |
| Çözüm .....  | 55        |
| <b>7. POMPALAMA SİSTEMİNİN ENERJİ KULLANIMI .....</b>                      | <b>57</b> |
| 7.1. Güç Denklemleri.....  | 57        |
| 7.2. Güç Denklemlerinin Kullanılması .....                                 | 58        |
| 7.3. Özgül Enerji.....   | 59        |
| 7.3.1. Akışkan gücü.....   | 60        |
| 7.3.2. Özgül enerji hesapları .....  | 60        |
| 7.3.3. Akış kontrolü.....  | 63        |
| 7.3.4. Kısmi yoluyla akış regülasyonu .....                                | 63        |
| 7.3.5. Değişken hız sürücüleri kullanılarak akış regülasyonu .....         | 65        |
| 7.3.6. Temel performans göstergesi (KPI) olarak özgül enerji .....         | 66        |
| 7.4. Elektrik Tarifeleri .....   | 67        |
| 7.4.1. Enerji tüketimi .....   | 67        |
| 7.4.2. Talep bedelleri .....   | 68        |
| 7.4.3. Güç faktörü.....  | 69        |
| 7.4.4. Elektrik şirketiyle iletişim .....                                  | 69        |
| <b>8. MOTORLAR.....</b>  | <b>71</b> |
| 8.1. Genel .....   | 71        |
| 8.2. Asenkron Endüksiyon Motorları .....                                   | 71        |
| 8.2.1. Kalkış karakteristikleri .....                                      | 72        |
| 8.2.2. Çalışma karakteristikleri.....                                      | 73        |
| 8.2.3. Motor verimi.....   | 74        |
| 8.2.4. Motorlarda ayarlanabilir hız sürücülerinin (ASD) kullanılması ..... | 75        |
| 8.2.5. Servis faktörü .....  | 75        |
| 8.2.6. Sıcaklık artışı .....   | 75        |
| 8.2.7. Maksimum kalkış sayısı.....   | 76        |
| 8.2.8. Motor değiştirmenin etkileri .....                                  | 76        |
| <b>9. POMPALAMA SİSTEMİ KONTROL YÖNTEMLERİ.....</b>                        | <b>79</b> |
| 9.1. Genel Bakış .....   | 79        |
| 9.1.1. Pompalama sistemi kontrol stratejileri.....                         | 79        |
| 9.1.2. Pompa kontrolü için kullanılan proses parametreleri.....            | 80        |
| 9.2. Pompa Kontrol Stratejileri .....                                      | 80        |
| 9.2.1. Aç/kapa kontrolü.....   | 80        |
| 9.2.2. Pompa çıkışını kısmak için kontrol vanası kullanılması.....         | 80        |
| 9.2.3. Pompalama sistemi kısılmasının enerji gösterimi.....                | 81        |



|   |     |
|---|-----|
| 9.2.4. Baypas sistemi kullanılarak akış devridaimi.....         | 82  |
| 9.2.5. Değişken hız sürücüsü kullanılması.....                  | 83  |
| 9.3. Sistem İhtiyaçları.....                                    | 84  |
| 9.3.1. Seviye kontrolü.....                                     | 84  |
| 9.3.2. Basınç kontrolü.....                                     | 85  |
| 9.3.3. Akış kontrolleri.....                                    | 86  |
| 9.4. Değişken Hız Sürücüleri.....                               | 87  |
| 9.4.1. Sürücü tipleri.....                                      | 87  |
| 9.4.2. Hız regülasyonunun işletim koşulları üzerine etkisi..... | 88  |
| 9.4.3. Düşük hız pompa eğrileri.....                            | 88  |
| 9.4.4. Değişken hız sürücülü pompanın enerji gösterimi.....     | 90  |
| 9.4.5. Statik basma yüksekliğinin önemi.....                    | 91  |
| 9.4.6. VFD verimi.....  | 92  |
| 9.4.7. VFD'lerin faydaları ve sorunları.....                    | 93  |
| Alıştırma.....  | 94  |
| Çözüm.....  | 94  |
| 10. PSAT PROGRAMINA GİRİŞ.....                                  | 95  |
| 10.1. PSAT Programına Genel Bakış.....                          | 95  |
| 10.2. PSAT'ın Özellikleri.....                                  | 96  |
| 10.3. PSAT Başarı Öyküleri.....                                 | 97  |
| 11. ASME POMPA STANDARDI: TEMEL BİLGİLER.....                   | 99  |
| 11.1. ASME Pompa Standardına Genel Bakış.....                   | 99  |
| 11.1.1. Standardın hedefleri.....                               | 100 |
| 11.1.2. ASME Standardı Bölüm-4.....                             | 100 |
| 11.1.3. ASME Standardı Bölüm-5.....                             | 102 |
| 12. SAHA DENETİMİ VE VERİ TOPLAMA.....                          | 105 |
| 12.1. Hazırlık.....   | 105 |
| 12.2. Saha Testinden Önce Veri Toplama.....                     | 105 |
| 12.3. Saha Verilerinin Toplanması.....                          | 106 |
| 12.3.1. Etiket verileri.....                                    | 106 |
| 12.3.2. Test ekipmanı.....                                      | 106 |
| 12.3.3. Temel bilgilerin gözden geçirilmesi.....                | 107 |
| 12.3.4. Süreklilik Kanunu.....                                  | 107 |
| 12.3.5. Basınç ve yüksekliğe ilişkin temel bilgiler.....        | 108 |
| 12.3.6. Bernoulli denklemi.....                                 | 110 |
| 12.3.7. Veri toplama süreci.....                                | 111 |

|   |     |
|---|-----|
| 12.3.8. Toplam pompa basma yüksekliğini belirlemek için basıncın ölçülmesi .....  | 112 |
| 12.3.9. Basınç ölçümleri .....  | 114 |
| 12.3.10. Debi ölçümleri .....   | 118 |
| 12.3.11. Elektriksel ölçümler .....   | 121 |
| 12.3.12. Devir sayısının kontrolü .....   | 124 |
| 12.3.13. Veri kütükleme .....   | 125 |
| 13. VERİLERİN İŞLENMESİ .....   | 127 |
| 13.1. Genel Bakış .....   | 127 |
| 13.2. Sistem Eğrisinin Geliştirilmesi .....   | 128 |
| 14. ÖRNEK PROBLEM .....   | 131 |
| 14.1. Sorunlu Kontrol Vanası Olan Sistem .....  | 131 |
| EKLER .....   | 135 |
| Ek-A: Sözlükçe .....  | 135 |
| Ek-B: Ön Seçim Formu .....  | 144 |
| Ek-C: PSAT Kılavuzu .....   | 145 |
| C.1. Kılavuz Hakkında .....   | 145 |
| C.2. PSAT Ana Ekranına Genel Bakış .....  | 147 |
| C.3. Pump, Fluid [Pompa, Akışkan] Bölümü .....  | 150 |
| C.4. Motor Data [Motor Verileri] Bölümü .....   | 153 |
| C.5. Duty, Unit Cost [Görev, Birim Maliyet] Bölümü .....  | 156 |
| C.6. Field Data [Saha Verileri] Bölümü .....  | 157 |
| C.7. Common Controls Area [Ortak Kontroller Alanı] .....  | 159 |
| C.8. Results [Sonuçlar] Bölümü .....  | 161 |
| C.9. Log File Controls [Kütük Dosyası Kontrolleri] ve Summary<br>File Controls [Özet Dosyası Kontrolleri] Bölümü .....      | 165 |
| C.10. Documentation [Dokümantasyon] Bölümü .....  | 167 |
| C.11. Pump Head Calculation [Pompa Basma Yüksekliği Hesaplama] Ekranı:<br>Giriş ve Çıkış Basınç Ölçerleri İle .....         | 168 |
| C.12. Pump Head Calculation [Pompa Basma Yüksekliği Hesaplama] Ekranı:<br>Giriş Tankı Yüksekliği ve Çıkış Basıncı İle ..... | 169 |
| C.13. Type of Measurement Configuration [Ölçüm Konfigürasyonu Tipi] .....   | 170 |
| C.14. Pump Head [Pompa Basma Yüksekliği Hesaplama] Ekranı Input<br>Data [Giriş Verileri] Bölümü .....                       | 172 |
| C.15. System Curve [Sistem Eğrisi] Ekranı .....   | 176 |
| C.16. Sistem Eğrisi Elemanlarına İlişkin Tanımlar .....   | 177 |

## Şekillerin Listesi

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 1.1.  | Sistem bileşenleri.....  | 1  |
| Şekil 1.2.  | Otomobil LCC özeti.....  | 2  |
| Şekil 1.3.  | Pompa LCC özeti (7.000 saat).....  | 3  |
| Şekil 1.4.  | Pompa LCC özeti (4.380 saat).....  | 4  |
| Şekil 1.5.  | Ön seçim akış diyagramı.....   | 5  |
| Şekil 2.1.  | Sistem bileşenleri.....  | 8  |
| Şekil 2.2.  | Basit bir sistem için muhtemel üç farklı sistem sınırları tanımlaması.....           | 8  |
| Şekil 2.3.  | Akış talebinin yıl boyunca değişmesine örnek.....                                    | 9  |
| Şekil 2.4.  | Akış talebinin gün boyunca değişmesine örnek.....                                    | 10 |
| Şekil 2.5.  | Bir atık su sistemi için tipik yıllık çalışma süresi eğrisi.....                     | 10 |
| Şekil 2.6.  | Büyük bir atık su pompası için debi-zaman diyagramı.....                             | 11 |
| Şekil 2.7.  | Biri büyük diğeri küçük iki pompa kullanılarak debi-zaman diyagramı.....             | 11 |
| Şekil 3.1.  | Sanayide kullanılan pompa tipleri.....   | 13 |
| Şekil 3.2.  | Pompaların sınıflandırılması.....  | 14 |
| Şekil 3.3.  | Tipik uçtan emişli pompa.....  | 15 |
| Şekil 3.4.  | Gövdeye monteli ve akuple pompalar.....  | 15 |
| Şekil 3.5.  | Santrifüj pompa akış örüntüleri (radyal, karışık ve eksenel).....                    | 16 |
| Şekil 3.6.  | Dikey ve yatay çok kademeli pompalar.....  | 16 |
| Şekil 3.7.  | Çark tipleri (yarı açık, açık ve kapalı).....  | 17 |
| Şekil 3.8.  | Dönel loblu pompa, borulu ve vidalı pompa örnekleri.....                             | 17 |
| Şekil 4.1.  | Boru kayıpları için Moody diyagramı.....   | 23 |
| Şekil 4.2.  | Önemli ölçüde tortu oluşan su dağıtım borusu.....                                    | 24 |
| Şekil 4.3.  | Sistem eğrisi bileşenleri.....   | 27 |
| Şekil 4.4.  | Statik basma yüksekliğindeki değişikliklerin sistem eğrisine etkisi.....             | 28 |
| Şekil 4.5.  | Sürtünme basma yüksekliğindeki değişikliklerin sistem eğrisine etkisi.....           | 28 |
| Şekil 5.1.  | Santrifüj pompa basma yüksekliği kapasite eğrisi.....                                | 32 |
| Şekil 5.2.  | Temel pompa eğrisinin güç eğrisi eklenmiş hali.....                                  | 32 |
| Şekil 5.3.  | Farklı hızlar için pompa eğrileri.....   | 34 |
| Şekil 5.4.  | Çeşitli çark çapları için pompa eğrileri ve eşverim çizgileri.....                   | 34 |
| Şekil 5.5.  | Sistem eğrisi, pompa eğrisi ve çalışma noktası.....                                  | 35 |
| Şekil 5.6.  | Paralel bağlı pompalar için bileşke pompa eğrisi.....                                | 36 |
| Şekil 5.7.  | Üç farklı sistem için paralel çalışan iki eşdeğer pompa ile elde edilen debiler..... | 36 |
| Şekil 5.8.  | Seri bağlı iki ve üç eşdeğer pompa ile elde edilen pompa eğrileri.....               | 37 |
| Şekil 5.9.  | Kavitasyonla bağlantılı olarak hasar verici mikro jetlerin oluşması.....             | 37 |
| Şekil 5.10. | Çark üzerinde kavitasyon hasarı.....   | 38 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 5.9.  | Paralel bağlı iki eşdeğer pompanın bileşke pompa eğrisi.....   | 40 |
| Şekil 6.1.  | Giriş borusunun uygun biçimde kurulması.....   | 45 |
| Şekil 6.2.  | Pompanın her iki tarafında vanaların kapalı olması nedeniyle patlama .....   | 46 |
| Şekil 6.3.  | Radyal kuvvetler nedeniyle tipik mil sehimi.....   | 47 |
| Şekil 6.4.  | Normalize edilmiş debi fonksiyonu olarak tipik bilyalı yatak ömrü.....   | 48 |
| Şekil 6.5.  | BEP'ten uzaklığın fonksiyonu olarak güvenilirlik .....   | 49 |
| Şekil 6.6.  | Pompa yıpranmasının pompa karakteristikleri üzerine etkisi.....  | 51 |
| Şekil 6.7.  | Dikey türbin pompa için hareket boşluğu .....  | 51 |
| Şekil 7.1.  | Enerji denkleminin bileşenlerine ayrılması.....  | 58 |
| Şekil 7.2.  | Farklı toplam verimler ( = $\eta_{\text{sürücü}} * \eta_{\text{motor}} * \eta_{\text{pompa}}$ ) için basma<br>yüksekliğinin fonksiyonu olarak özgül enerji ..... | 62 |
| Şekil 7.3.  | Farklı sürücülere bağlandığında bileşke motor/sürücü verimi (ABD-EB).....  | 63 |
| Şekil 7.4.  | Akışın kısılma vanası kullanılarak regüle edilmesi.....  | 64 |
| Şekil 7.5.  | Üç işletme noktalı özgül enerji diyagramı.....   | 65 |
| Şekil 7.6.  | Değişken hız sürücüsü olduğunda sistem eğrisi.....   | 66 |
| Şekil 7.7.  | VSD'li sistem için tipik özgül enerji eğrisi.....  | 67 |
| Şekil 7.8.  | Örnek talep grafiği .....  | 68 |
| Şekil 8.1.  | Tipik motor etiketi.....   | 72 |
| Şekil 8.2.  | Üç fazlı AC endüksiyon motoru için tipik tork-hız eğrisi.....  | 73 |
| Şekil 8.3.  | 60Hz, 75 kW motorların tipik verimleri .....   | 74 |
| Şekil 9.1.  | Kontrol vanası ve VSD sistemleri.....  | 80 |
| Şekil 9.2.  | Santrifüj pompanın kısılması.....  | 81 |
| Şekil 9.3.  | Pompalama sistemi enerji gösterimi.....  | 81 |
| Şekil 9.4.  | Farklı çalışma noktalarında kullanılan enerji-1 .....  | 82 |
| Şekil 9.5.  | Farklı çalışma noktalarında kullanılan enerji-2.....   | 82 |
| Şekil 9.6.  | Akış devridaimi.....   | 83 |
| Şekil 9.7.  | Sistem eğrileriyle pompa hızı değişikliklerinin etkisi-1.....  | 83 |
| Şekil 9.8.  | Sistem eğrileriyle pompa hızı değişikliklerinin etkisi-2.....  | 84 |
| Şekil 9.9.  | Aç/kapa seviye kontrolü .....  | 84 |
| Şekil 9.10. | VSD takılı pompa kullanılarak seviye kontrolü .....  | 85 |
| Şekil 9.11. | Aç/kapa basınç kontrolleri.....  | 85 |
| Şekil 9.12. | VSD takılı pompalı basınç kontrolü-1.....  | 86 |
| Şekil 9.13. | VSD takılı pompalı basınç kontrolü-2.....  | 86 |
| Şekil 9.14. | Ayarlanabilir kayışlı sürücü .....   | 87 |
| Şekil 9.15. | Eddy akımlı manyetik kavramalı sürücü .....  | 87 |
| Şekil 9.16. | PWM ve manyetik değişken hız sürücüleri .....  | 88 |
| Şekil 9.17. | Hız değişiminin etkilerini göstermede kullanılan üç sistem .....   | 88 |
| Şekil 9.18. | 800 m <sup>3</sup> /h debide aynı tam hız çalışma noktasından geçen üç farklı sistem eğrisi ..   | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 9.19. Tümüyle sürtünmeli sistem için hız değişimi.....                                | 89  |
| Şekil 9.20. Karışık statik/sürtünmeli sistemde hız değişimi.....                            | 90  |
| Şekil 9.21. Tümüyle statik basma yüksekliğine sahip sistemde hız değişimi.....              | 90  |
| Şekil 9.22. Değişken hız sürücüsüyle kısma kayıplarının ve diğer kayıpların önlenmesi.....  | 91  |
| Şekil 9.23. Hız ve torkun fonksiyonu olarak VSD verimi.....                                 | 92  |
| Şekil 9.24. Farklı sürücülere bağlandığında bileşke motor/sürücü verimi.....                | 93  |
| Şekil 10.1. PSAT ana ekranı .....   | 96  |
| Şekil 12.1. Motor ve pompa etiket verileri .....  | 106 |
| Şekil 12.2. Süreklilik Kanunu-1 .....   | 108 |
| Şekil 12.3. Süreklilik Kanunu-2.....  | 108 |
| Şekil 12.4. Yüksekliğin fonksiyonu olarak atmosfer basıncı .....                            | 109 |
| Şekil 12.5. Yüksekliğe göre basınç .....  | 109 |
| Şekil 12.6. Gösterge basıncının zaman ile değişimi.....                                     | 110 |
| Şekil 12.7. Amerikan birim sisteminde Bernoulli Denklemi.....                               | 110 |
| Şekil 12.8. Statik basma yüksekliği ile sürtünme basma yüksekliğinin bileşkesi.....         | 111 |
| Şekil 12.9. Kapalı giriş borusunda pompa basma yüksekliğinin hesaplanması .....             | 112 |
| Şekil 12.10. Açık giriş ve uzakta çıkış ölçüm yeri .....                                    | 113 |
| Şekil 12.11. Bileşen kayıp hesaplayıcılı pompa basma yüksekliği hesaplayıcısı .....         | 113 |
| Şekil 12.12. Bourdon tipi basınç ölçer.....   | 114 |
| Şekil 12.13. Doğru olmayan basınç ölçer ve PV-350 basınç ölçer.....                         | 114 |
| Şekil 12.14. Fluke basınç transdüseri.....  | 115 |
| Şekil 12.15. Gerinim ölçen basınç transdüserleri üzerinde ısıl ve zamana bağlı etkiler..... | 115 |
| Şekil 12.16. Giriş ve çıkış basıncı ölçüm muslukları-1 .....                                | 116 |
| Şekil 12.17. Giriş ve çıkış basıncı ölçüm muslukları-2 .....                                | 116 |
| Şekil 12.18. Genel kayıp katsayıları.....   | 117 |
| Şekil 12.19. Kayıp katsayılarının basma yüksekliği hesaplarına etkisinin kontrolü.....      | 117 |
| Şekil 12.20. Bernoulli Denklemi .....   | 118 |
| Şekil 12.21. Çok girişli pitot tüpü ile akış ölçümü .....                                   | 119 |
| Şekil 12.22. Geçiş süresi tabanlı ultrasonik debimetre .....                                | 120 |
| Şekil 12.23. Tek ve çift geçişli yöntemler .....  | 120 |
| Şekil 12.24. Tank hacminden debinin bulunması.....  | 121 |
| Şekil 12.25. Normal ve buharlaştırılmış test ucu .....                                      | 122 |
| Şekil 12.26. Dalga biçimlerinin sıfır geçişleri arasındaki süre .....                       | 122 |
| Şekil 12.27. Okunan gerilim değerleri .....   | 123 |
| Şekil 12.28. Üç fazın izlenmesi.....  | 123 |
| Şekil 12.29. Her fazda akım şiddeti ölçümü.....   | 123 |
| Şekil 12.30. Devir sayısı ölçümlerinin yapılması .....                                      | 125 |
| Şekil 12.31. Aç/kapa kütükleyicisi ve veri çıktıları .....                                  | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 12.32. Genel amaçlı veri kütükleyiciler.....   | 126 |
| Şekil 13.1. Örnek sistem diyagramı.....  | 128 |
| Şekil 13.2. Statik basma yüksekliğinin hesaplanması .....  | 128 |
| Şekil 13.3. Sürtünme basma yüksekliğinin hesaplanması.....   | 129 |
| Şekil 13.4. Sistem eğrisinin geliştirilmesi .....  | 129 |
| Şekil 14.1. Kontrol vanasının arıza yaptığı bir pompalama sistemi krokisi .....  | 132 |
| Şekil 14.2. Pompa ve sistem eğrileri .....   | 133 |
| Şekil 14.3. Çark boyutlandırması için pompa ve sistem eğrileri,<br>değişken hızda işletim ve farklı sistem eğrileri..... | 133 |
| Şekil Ek-1. PSAT ana ekran düzeni .....  | 146 |
| Şekil Ek-2. PSAT giriş ekranı.....   | 147 |
| Şekil Ek-3. PSAT sonuçlar bölümü.....  | 147 |
| Şekil Ek-4. Log file controls [Kütük dosyası kontrolleri] bölümü.....  | 148 |
| Şekil Ek-5. Summary file controls [Özet dosyası kontrolleri] bölümü.....   | 148 |
| Şekil Ek-6. Documentation [Dokümantasyon] bölümü.....  | 148 |
| Şekil Ek-7. Retrieve defaults [Varsayılanları getir],<br>Set defaults [Varsayılanları belirle] düğmeleri.....            | 148 |
| Şekil Ek-8. Koşulları kopyalama düğmeleri.....   | 148 |
| Şekil Ek-9. Background information [Arka plan bilgileri] düğmesi .....   | 149 |
| Şekil Ek-10. System curve tool [Sistem eğrisi aracı] seçim menü çubuğu.....  | 149 |
| Şekil Ek-11. STOP [DURDUR] düğmesi.....  | 149 |
| Şekil Ek-12. Calculation updating off [Hesaplama güncellemesi kapalı] uyarı kutusu.....                                  | 149 |

## Tabloların Listesi

|   |     |
|---|-----|
| Tablo 4.3. Boru sistemi bileşenleri K değerleri .....   | 25  |
| Tablo 4.4. Su sıcaklığının ve özgül ağırlığın/yoğunluğun güç üzerine etkileri .....                 | 27  |
| Tablo 6.1. Bakım maliyetinin BEP'ten uzaklığa göre nasıl değişebileceğine ilişkin örnek .....       | 50  |
| Tablo 6.2. Bakım olgunluk matrisi.....  | 53  |
| Tablo 8.1. 60 Hz motorların farklı kutup sayılarına göre hızları .....                              | 74  |
| Tablo 8.2. Ortalama sargı sıcaklığı artışı .....  | 75  |
| Tablo 8.3. Saatte maksimum kalkış sayısı/minimum durma süresi .....                                 | 76  |
| Tablo 9.1. Üç farklı sistemde hız regülasyonu etkilerinin özeti.....                                | 91  |
| Tablo 9.2. Debiye karşılık gelen basınç düşüşü ve enerji kaybı (tam açık 300 mm'lik vana için)..... | 94  |
| Tablo 11.1. ASME Pompa Standardı ile Rehber Doküman arasındaki farklar .....                        | 99  |
| Tablo 11.2. Örnek ön seçim şablonu .....  | 101 |
| Tablo 12.1. Tavsiye edilen ekipman listesi.....   | 107 |
| Tablo 13.1. Veri toplama tablosu .....  | 130 |
| Tablo 14.1. Kontrol vanası arıza yapan sistemde A-D seçenekleri için maliyet karşılaştırması.....   | 134 |

## Denklemlerin Listesi

|   |     |
|---|-----|
| Denklem 4.1. Akışkan gücü denklemleri .....   | 19  |
| Denklem 4.2. Bernoulli denklemi .....   | 20  |
| Denklem 4.3. Basınç dönüşümleri .....   | 20  |
| Denklem 4.4. Hız basma yüksekliği .....   | 21  |
| Denklem 4.5. Debi ve boru kesitinden hızın hesaplanması .....                         | 21  |
| Denklem 4.6. Darcy-Weisbach's denklemi .....  | 22  |
| Denklem 4.7. Hazen-Williams denklemi .....  | 23  |
| Denklem 4.8. Vana karakteristik denklemi .....  | 25  |
| Denklem 4.9. Boru bileşeni sürtünme kayıpları için Darcy-Weisbach denklemi .....      | 25  |
| Denklem 4.10. Bileşen kayıplarının boru eşdeğer uzunluğu cinsinden hesaplanması ..... | 26  |
| Denklem 5.1. Benzerlik Kanunları .....  | 33  |
| Denklem 5.2. Benzerlik Kanunları'nın alternatif biçimi .....                          | 33  |
| Denklem 7.1. Elektriksel güç denklemleri .....  | 58  |
| Denklem 7.2. Akışkan gücü bağıntısı .....   | 60  |
| Denklem 7.3. Özgül enerjinin anlık değeri .....                                       | 61  |
| Denklem 7.4. Giriş gücü .....   | 61  |
| Denklem 7.5. Özgül enerji .....   | 61  |
| Denklem 8.1. Motor hızı .....   | 73  |
| Denklem 12.1. SI birim sisteminde Bernoulli Denklemi .....                            | 111 |



## Kısaltmalar

| Kısaltma | Orjinal Açıklaması                            | Açık Hali / Açıklaması                      |
|----------|---|---|
| ABD      | (United States of America) USA                | Amerika Birleşik Devletleri                 |
| ABD-EB   | U.S. DOE (United States Department of Energy) | ABD-EB (ABD Enerji Bakanlığı)               |
| AC       | Alternative Current                           | Alternatif Akım                             |
| API      | American Petroleum Institute                  | Amerikan Petrol Enstitüsü                   |
| ASD      | Adjustable Speed Drive                        | Ayarlanabilir Hız Sürücüsü                  |
| ASME     | American Society of Mechanical Engineers      | Amerikan Makine Mühendisleri Derneği        |
| BES      | Best Efficiency Point                         | En İyi Verim Noktası                        |
| CSI      | Current Source Inverter                       | Akım Kaynağı Eviricisi                      |
| CT       | Cooling Tower                                 | Soğutma Kulesi                              |
| CTr      | Current Transformer                           | Akım Trafosu                                |
| DC       | Direct Current                                | Doğru Akım                                  |
| DIN      | German Institute for Standardization          | Alman Ulusal Standardı                      |
| ECMs     | Energy Conservation Measures                  | Enerji Tasarruf Önlemleri                   |
| ESA      | Energy Saving Assessment                      | Enerji Tasarruf Değerlendirmesi             |
| ESMs     | Energy Supply Measures                        | Enerji Arz Önlemleri                        |
| FLA      | Full-Load Amps                                | Tam Yük Akım Şiddeti                        |
| FLC      | Full-Load Current                             | Tam Yük Akımı                               |
| FLE      | Full-Load Efficiency                          | Tam Yük Verimi                              |
| FLT      | Full-Load Torque                              | Tam Yük Torku                               |
| HI       | Hydraulic Institute                           | Hidrolik Enstitüsü                          |
| HP       | Horse Power                                   | Beygir Gücü                                 |
| IEC      | International Electrotechnical Commission     | Uluslararası Elektroteknik Komisyonu        |
| ISO      | International Standards Organization          | Uluslararası Standardizasyon Teşkilâtı      |
| KPI      | Key Performance Indicator                     | Temel Performans Göstergesi                 |
| LCC      | Life Cycle Cost                               | Ömür Boyu Maliyet                           |
| LRC      | Locked Rotor Current                          | Kilitli Rotor Akımı                         |
| LRT      | Locked Rotor Torque                           | Kilitli Rotor Torku                         |
| M&V Plan | Measurement and Verification Plan             | Ölçme ve Doğrulama Planı                    |
| MTBF     | Mean Time Between Failures                    | Arızalar Arası Ortalama Süre                |
| MWP      | Maximum Working Pressure                      | Maksimum Çalışma Basıncı                    |
| NDT      | Non-destructive Testing                       | Tahribatsız Muayene                         |
| NEC      | National Electrical Code                      | Ulusal Elektrik Kodu                        |
| NEMA     | National Electrical Manufacturers Association | Ulusal Elektrikli Cihaz Üreticileri Birliği |
| NFPA     | National Fire Protection Association          | Ulusal Yangın Koruma Birliği                |

|            |  |  |
|------------|--|--|
| NPSH       | Net Positive Suction Head                          | Net Pozitif Emme Yüksekliği                  |
| NPSHA      | Net Positive Suction Head Available                | Mevcut Net Pozitif Emme Yüksekliği           |
| NPSHR      | Net Positive Suction Head Required                 | Gereken Net Pozitif Emme Yüksekliği          |
| O&M Manual | Operation and Maintenance Manual                   | İşletim ve Bakım Kılavuzu                    |
| ODP Motor  | Open Drip Proof Motor                              | Su Geçirmez Açık Motor                       |
| OEM        | Original Equipment Manufacturer                    | Orijinal Ekipman Üreticisi                   |
| OMs        | Operational Measures                               | İşletimsel Önlemler                          |
| OSHA       | Occupational Safety and Health Administration      | İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi              |
| OSHA       | Occupational Safety and Health Agency              | İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı               |
| P&ID       | Process and Instrumentation Diagram                | Proses ve Enstrümantasyon Diyagramı          |
| PD         | Positive Displacement                              | Pozitif Deplasman                            |
| PM         | Permanent Magnet                                   | Kalıcı Mıknatıs                              |
| PRV        | Pressure Relief Valve                              | Basınç Emniyet Vanası                        |
| PSAT       | Pumping System Assessment Tool                     | Pompalama Sistemi Değerlendirme Aracı        |
| PSO        | Pump(ing) Systems Optimization                     | Pompalama Sistemleri Optimizasyonu           |
| PWM        | Pulse Width Modulation                             | Darbe Genişliği Modülasyonu                  |
| ROI        | Return on Investment                               | Yatırım Getirisi                             |
| TEFC Motor | Totally Enclosed Fan Cooled Motor                  | Tam Kapalı Fan Soğutmalı Motor               |
| TOF        | Time-of-Flight                                     | Uçuş Süresi                                  |
| TS         | Türk Standardı                                     | Türk Standardı                               |
| TSE        | Türk Standartları Enstitüsü                        | Türk Standartları Enstitüsü                  |
| UNDP       | United Nations Development Programme               | Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı        |
| UNIDO      | United Nations Industrial Development Organization | Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı |
| VFD        | Variable Frequency Drive                           | Değişken Frekanslı Sürücü                    |
| VSD        | Variable Speed Drive                               | Değişken Hız Sürücüsü                        |
| VVI        | Variable Voltage Inverter                          | Değişken Gerilim Eviricisi                   |
| YEGM       | Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü               | Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü         |

## Birimler

| Ölçü Birimi               | Açıklaması                  |
|---------------------------|-----------------------------|
| \$                        | ABD Doları                  |
| °C                        | derece Santigrad            |
| °F                        | derece Fahrenheit           |
| A; amp                    | amper                       |
| AC; DC                    | alternatif akım; doğru akım |
| acfm                      | gerçek ft <sup>3</sup> /dk  |
| atm                       | atmosfer                    |
| bar                       | bar                         |
| barg                      | bar (gösterge)              |
| bhp                       | fren beygirgücü             |
| Btu                       | İngiliz ısı birimi          |
| cfm = ft <sup>3</sup> /dk | fitküp/dakika               |
| cm                        | santimetre                  |
| ft                        | fit                         |
| g/m <sup>3</sup>          | gram/metreküp               |
| gal                       | galon                       |
| gpm                       | galon/dakika                |
| h                         | saat                        |
| hp                        | beygirgücü                  |
| Hz                        | Hertz                       |
| inch                      | inç                         |
| K                         | Kelvin                      |
| kg/m <sup>3</sup>         | kilogram/metreküp           |
| kN                        | kilo Newton                 |
| kPa                       | kilo Pascal                 |
| kTon/ay                   | ayda kilo ton               |
| kW                        | kilowatt                    |
| kWh                       | kilowatt-saat               |
| l/s                       | litre/saniye                |
| lb                        | libre, paund                |
| m                         | metre                       |
| m <sup>3</sup> /dk        | metreküp/dakika             |
| m <sup>3</sup> /h         | metreküp/saat               |
| mA                        | miliamper                   |
| mg/m <sup>3</sup>         | miligram/metreküp           |

| Ölçü Birimi         | Açıklaması                       |
|---------------------|----------------------------------|
| milibar             | milibar                          |
| mm                  | milimetre                        |
| mmHg                | milimetre cıva                   |
| mV                  | milivolt                         |
| MWh                 | megawatt-saat                    |
| N                   | Newton                           |
| Nm <sup>3</sup> /dk | normal metreküp/dakika           |
| psi                 | inç kare başına libre            |
| psia                | inç kare başına libre (mutlak)   |
| psig                | inç kare başına libre (gösterge) |
| r/min               | dev/dk                           |
| s                   | saniye                           |
| SCFM                | standart ft <sup>3</sup> /dk     |
| SSU                 | Üniversal Saybolt Saniye (SSU)   |
| t                   | ton                              |
| Ton/ay              | ayda ton                         |
| V; volt             | volt                             |
| y                   | yıl                              |

# Öğrenme Hedefleri

## Pompalama Sistemleri Genel Öğrenme Hedefleri

Bu çalışmanın amacı, katılımcıların aşağıda sayılanları başarıyla yapabilmesini sağlayacak biçimde pompalama sistemlerine ilişkin genel elemanları kavramalarını sağlamaktır:

1. Ömür boyu maliyetin önemini anlamak,
2. Pompalama sistemi ön seçiminde nelere dikkat edileceğini bilmek,
3. Pompalama sistemlerini değerlendirmede sistem yaklaşımını kavramak,
4. Sistem ihtiyaçlarını tanımlamak,
5. Tasarım parametreleri ile gerçek işletim koşulları arasındaki farkı değerlendirmek,
6. Farklı pompa tiplerine ilişkin temel kavrayışa sahip olmak,
7. Temel hidroliği anlamak,
8. Sürtünme basma yüksekliği kaybı (boru tesisatı ve bileşenler için), statik basma yüksekliği ve hız basma yüksekliğinin nasıl belirleneceğini anlamak,
9. Sistem eğrilerini geliştirmek,
10. Pompa eğrileri, verim eğrileri, güç eğrileri ve Benzerlik Kanunları'nı anlamak,
11. Pompaların paralel ve seri nasıl çalıştıklarını ayırt etmek,
12. Temel elektrik fatura ücretlerini ve pompa iyileştirmesinden doğacak tasarrufların nasıl hesaplanacağını ortaya koymak,
13. Motor hızının pompa performansını nasıl etkilediğinin farkına varmak,
14. Yüksek dinamik basma yüksekliğine sahip sistemler ve tümüyle sürtünmeli sistemler için, farklı pompa hızlarında pompa veriminin nasıl etkilendiğinin farkına varmak,
15. Saha ölçümleri için hazırlık yapmak,
16. Pompa ve motor etiket verilerini toplamak,
17. Verilerin nasıl organize edileceğini belirlemek ve pompa optimizasyon iyileştirmelerini değerlendirmeye başlamak,
18. Basınç ve debi ölçümlerinden sistem eğrisi oluşturmak,
19. ABD Enerji Bakanlığı Pompalama Sistemi Değerlendirme Aracı (PSAT) yazılımını tanıtmak ve birkaç örnek vermek.

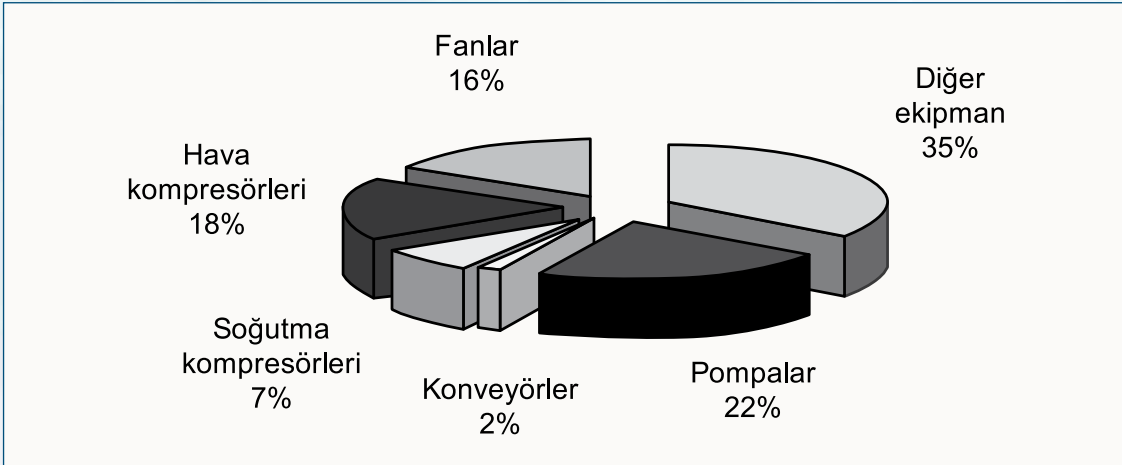


## Pompalama Sistemleri Optimizasyonu ve Ön Seçimi

### 1.1. Genel

Avrupa Komisyonu tarafından yapılan araştırmalarda, dünyadaki elektrikli motor enerji talebinin yaklaşık %22'sinin pompalama sistemlerinden kaynaklandığı ortaya konulmuştur (bkz. Şekil 1.1).

Şekil 1.1. Sistem bileşenleri



Pompalama için kullanılan büyük miktardaki enerji, pompalama sistemlerini enerji tasarrufu için başlıca aday haline getirir. Pompalamada harcanan enerjinin yaklaşık %75'i santrifüj pompalar, kalan %25'i ise pozitif deplasmanlı pompalar için kullanılır.

Optimize edilmiş tasarımlar ve iyileştirilmiş imalat teknikleriyle, pompa performansı zamanla iyileştirilmiştir; ancak santrifüj pompanın verimi, pompa eğrisi üzerinde hangi noktada işletil-

diğine çok duyarlıdır. Pompa, sistem ihtiyaçlarıyla uyumlu hale getirilmemişse, pompalama sistemi optimize edilerek önemli tasarruflar elde edilebilir.

## 1.2. Ömür Boyu Maliyet

Pompalama sistemi optimizasyonu, ekipmanın ömrü boyunca pompalamanın gerçek maliyetini değerlendirmek amacıyla, tüm pompalama sisteminin ayrıntılı incelemesiyle başlar. Bir pompanın ilk satın alma fiyatı; pompanın bakım, kurulum, devre dışı kalma süresi ve enerji maliyetini kapsayan toplam ömür boyu maliyetinin (LCC) küçük bir kısmını oluşturur.

Pompalama ömür boyu maliyetinin, bir otomobilin maliyetiyle karşılaştırılmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

### Örnek 1:

#### Otomobil Ömür Boyu Maliyeti

10 yıl boyunca yılda 32.000 km çalıştırılacak bir araba için, aşağıdaki maliyetler varsayılmıştır:

İlk yıl yakıt fiyatı = 0,43 \$/litre

İlk yıl bakım ve sigorta = 1.221 \$

İlk yıl muhtelif maliyet = 61 \$

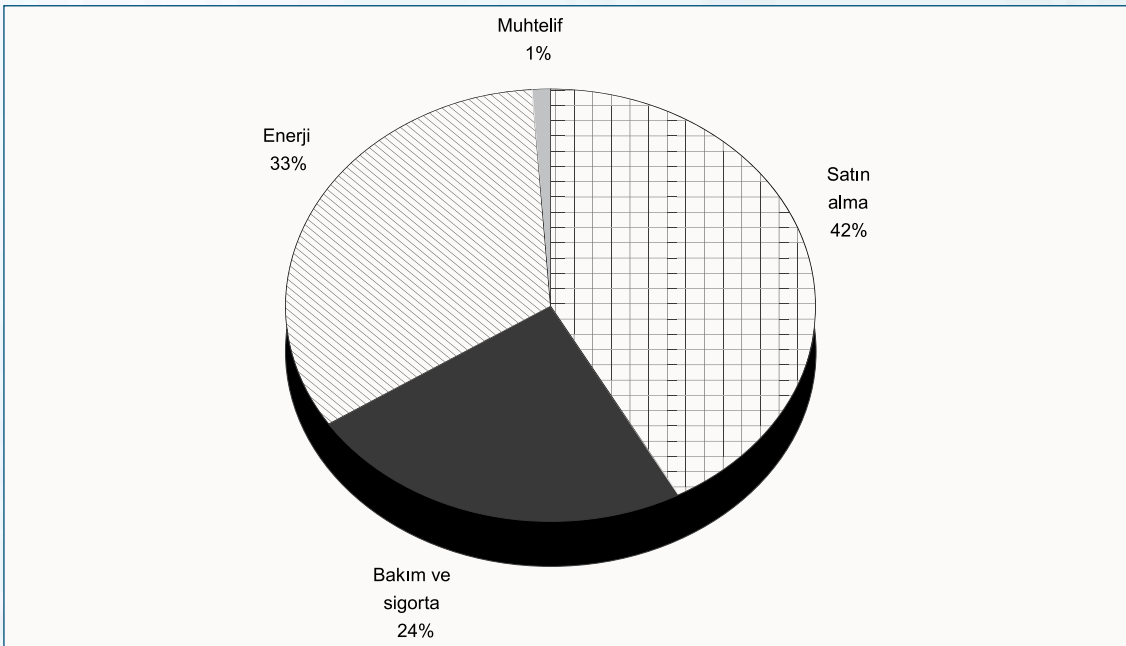
İskonto oranı = %8

Enerji maliyeti artış oranı = %10

Diğer maliyet artış oranları = %4

Maliyetler Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

Şekil 1.2. Otomobil LCC özeti



Bu verilere dayanarak, otomobile sahip olmanın toplam ömür boyu maliyeti bugünkü fiyatlarla 32.968 \$ olur.

Şimdi aynı yaklaşımla, bir pompalama sistemini ele alalım.

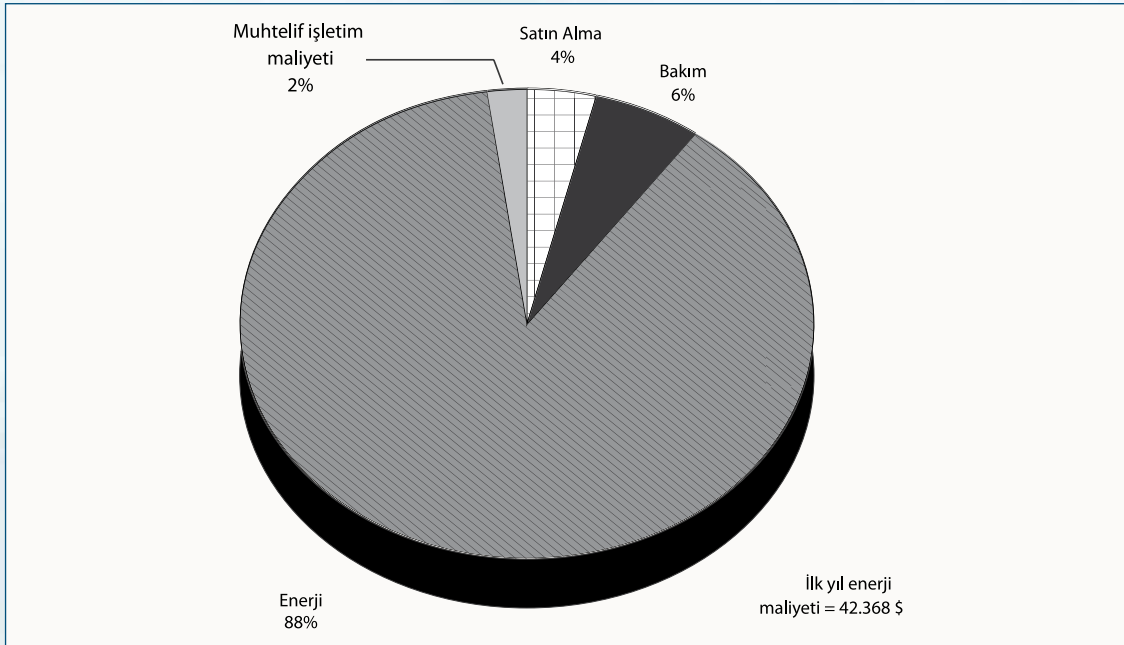
#### Pompalama Sisteminin Ömür Boyu Maliyeti

200 kW'lık bir pompalama sistemi için, aşağıdaki işletim maliyetini varsayıyoruz:

- Pompa 10 yıl boyunca yılda 7.000 saat çalıştırılacak olsun
- İlk yıl elektrik fiyatı = 35 c/kWh
- İlk yıl bakım ve sigorta = 12.210 \$
- İlk yıl muhtelif maliyet = 1.221 \$
- İskonto oranı = %8
- Enerji maliyeti artış oranı = %5
- Diğer maliyet artış oranları = %4

Toplam maliyet Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

**Şekil 1.3. Pompa LCC özeti (7.000 saat)**



Pompalama sistemine sahip olmanın toplam ömür boyu maliyeti, bugünkü fiyatlarla 494.526 \$ olur (yakıt fiyatı ihtiyaten düşük tutulmuş, elektrik artış oranı, benzindeki artış oranının yarısı olarak kabul edilmiştir).

Örneği değiştirip, pompanın yıllık işletim süresini 7.000 saat yerine 4.380 saat olarak alırsak; aşağıdaki varsayımlar kabul edilebilir:

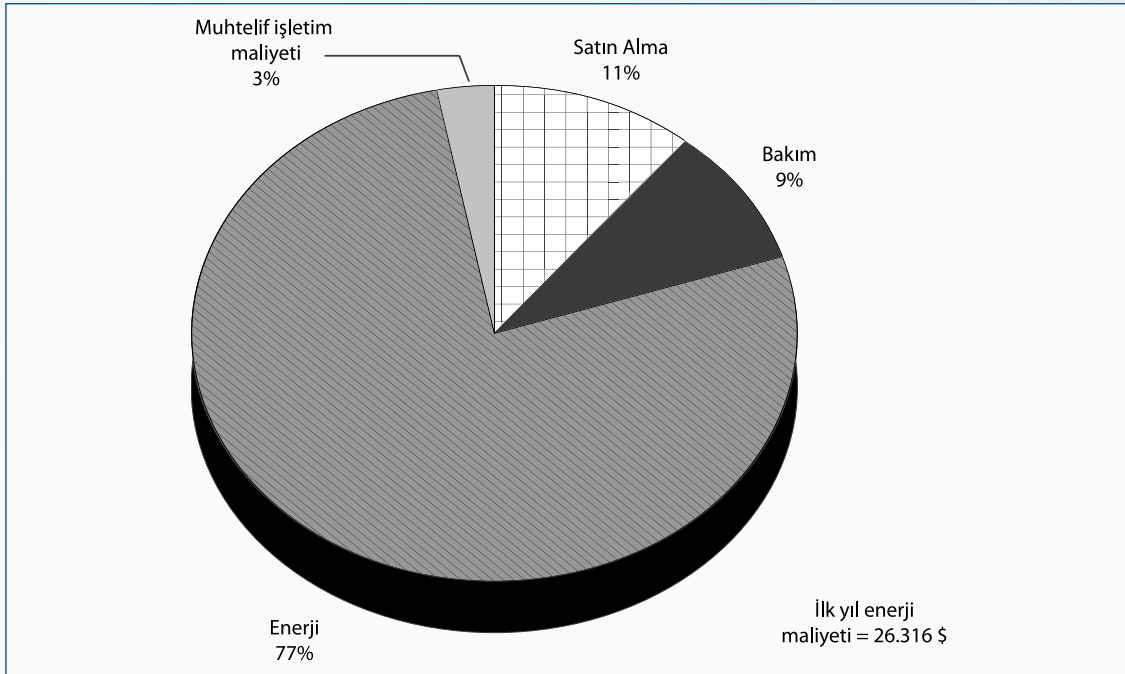
- Pompa 10 yıl boyunca yılda 4.380 saat çalıştırılacak olsun
- İlk yıl elektrik fiyatı = 35 c/kWh
- İlk yıl bakım ve sigorta = 3.052 \$



- İlk yıl muhtelif maliyet = 1.221 \$
- İskonto oranı = %8
- Enerji maliyeti artış oranı = %5
- Diğer maliyet artış oranları = %4
- Sahip olmanın toplam ömür boyu maliyeti bugünkü fiyatlarla 298.547 \$.

Bu maliyetler Şekil 1.4'te gösterilmiştir.

Şekil 1.4. Pompa LCC özeti (4.380 saat)



Daha kısa çalışma süreleri kullanıldığında dahi, pompalama sistemi enerji maliyeti, pompanın ömür boyu maliyetinin en büyük kısmını oluşturur.

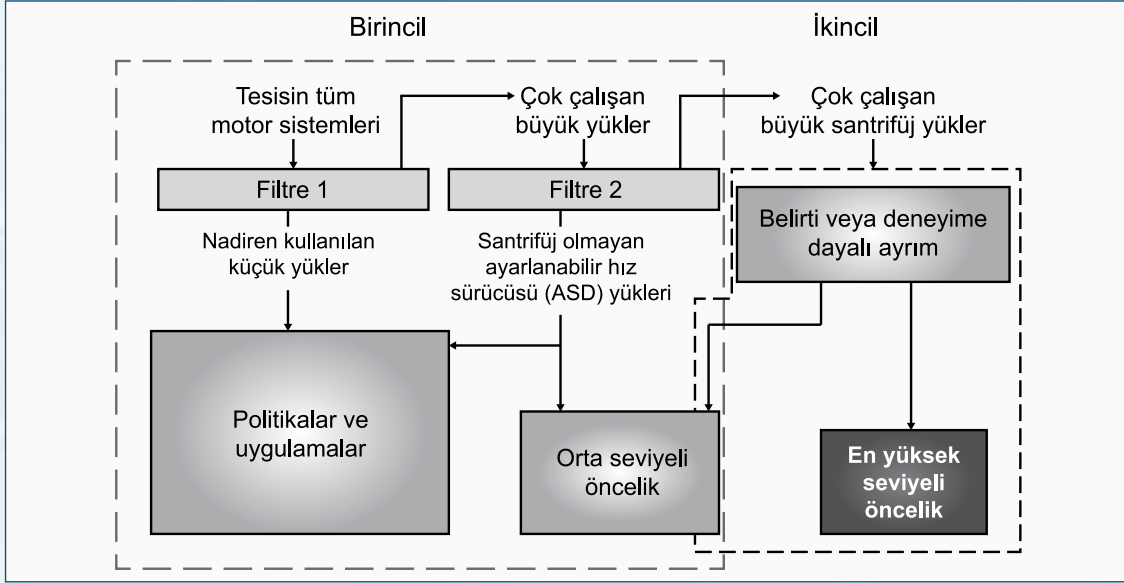
### 1.3. Ön Seçim

ABD Enerji Bakanlığı (ABD-EB) En İyi Uygulamalar Programı, aşağıdakileri içeren üç aşamalı bir ön seçim ve değerlendirme yaklaşımı önermektedir:

- Büyüklük, çalışma süresi ve pompa tipine dayanan ön seçim,
- Önemli düzeyde enerji tasarrufu fırsatlarının daha muhtemel olacağı sistemlere odaklanacak şekilde ikincil ön seçim,
- Fırsatlara ilişkin değerlendirme yapılması ve muhtemel tasarrufların miktarının belirlenmesi.

Bu seçim yaklaşımı Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Büyük santrifüj yükler ve uzun işletim süreleri, en büyük tasarruf fırsatlarını sağlar.

Şekil 1.5. Ön seçim akış diyagramı



Pompalama sistemi performansının optimum değer altında olmasının dört yaygın nedeni vardır:

- Kurulu bileşenler, tipik işletim koşullarında verimsizdir.
- Pompalama sistemi bileşenlerinin verimi düşmüştür.
- Sistemin ihtiyaç duyduğundan daha fazla debi veya daha fazla basma yüksekliği sağlanmaktadır.
- Pompa, sistem ihtiyaç duymadığı zaman çalıştırılmaktadır.

Bu koşulların varolduğu aşağıdaki belirtilerden anlaşılabilir; bu belirtiler aynı zamanda, pompalama sistemi için iyileştirme fırsatlarının varolduğuna işaret eder:

- Debiyi kontrol etmek için vanalar kısılmaktadır.
- Baypas hattı (devridaim hattı) normal olarak açıktır.
- Aynı sayıda pompaya sahip çoklu paralel pompalama sistemleri aynı anda çalışmaktadır.
- Kesikli bir proseste (dahi) pompa sürekli çalıştırılmaktadır.
- Kaviteasyon gürültüsü (pompa veya sistemde başka bir yerde) vardır.
- Sistem bakımı çok sık yapılmaktadır.
- İşlevi değişikliğe uğramış sistemler.

Örnek bir ön seçim çalışma sayfası Ek A'da verilmiştir.

### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Pompalama sistemi optimizasyonu, ömür boyu maliyetin önemini tanımakla başlar.
- 2) Ön seçim, en büyük tasarruf fırsatlarını sağlayan pompalama sistemlerine odaklanmaya yönelik faydalı bir araçtır.





## Bölüm 2

# Pompalama Sistemleri ve Proses Talepleri

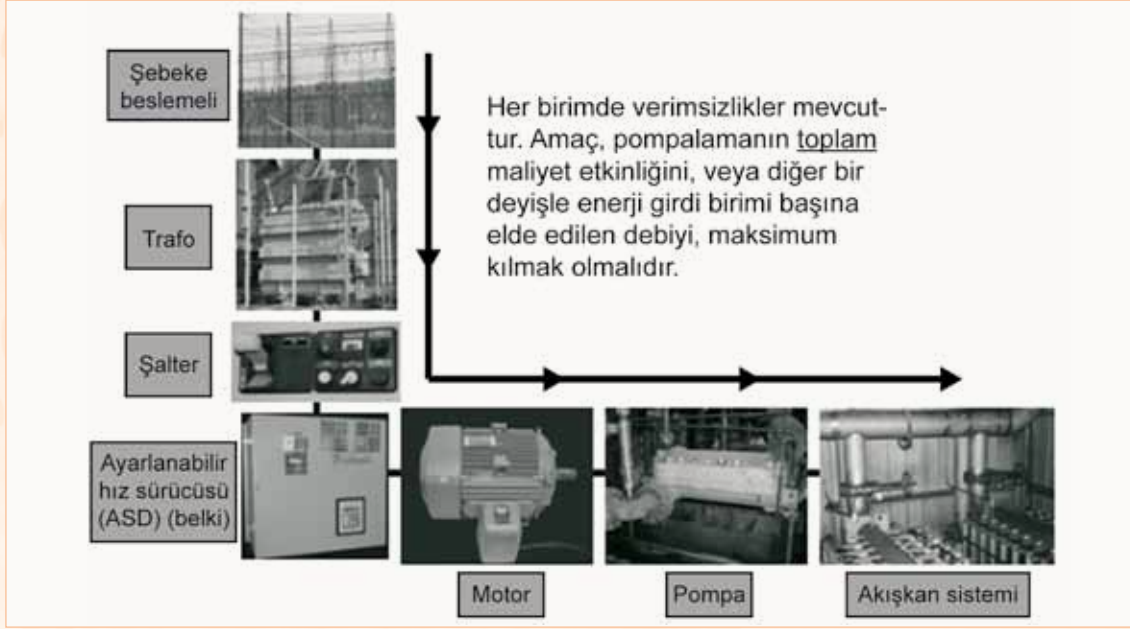
## 2.1. Genel

Pompalama sisteminde, pompaya bağlı olan ve pompa ile etkileşim halinde olan tüm farklı bileşenlerin hepsi iyi anlaşılmalıdır. Bunların arasında, pompa kontrolleri ve sürücülerinin yanı sıra, akışkanın geçtiği boru tesisatının tamamı, vanalar ve ısı değiştiriciler gibi diğer bileşenler vardır.

Bir pompalama sisteminin çeşitli bileşenlerin tümünün birbirlerini etkilediklerini anlamak önemlidir. Bu nedenle, bir sistemin bir bileşeninde yapılan değişiklikler, sistemdeki diğer bileşenleri de etkiler; dolayısıyla, hiçbir bileşen bireysel olarak ele alınmaz.

Karmaşık sistemlerde, sistemin diyagramını çizmek ve sistem incelenirken tüm parçalarının incelemeye dâhil edilmesini sağlamak gereklidir (bkz. Şekil 2.1).

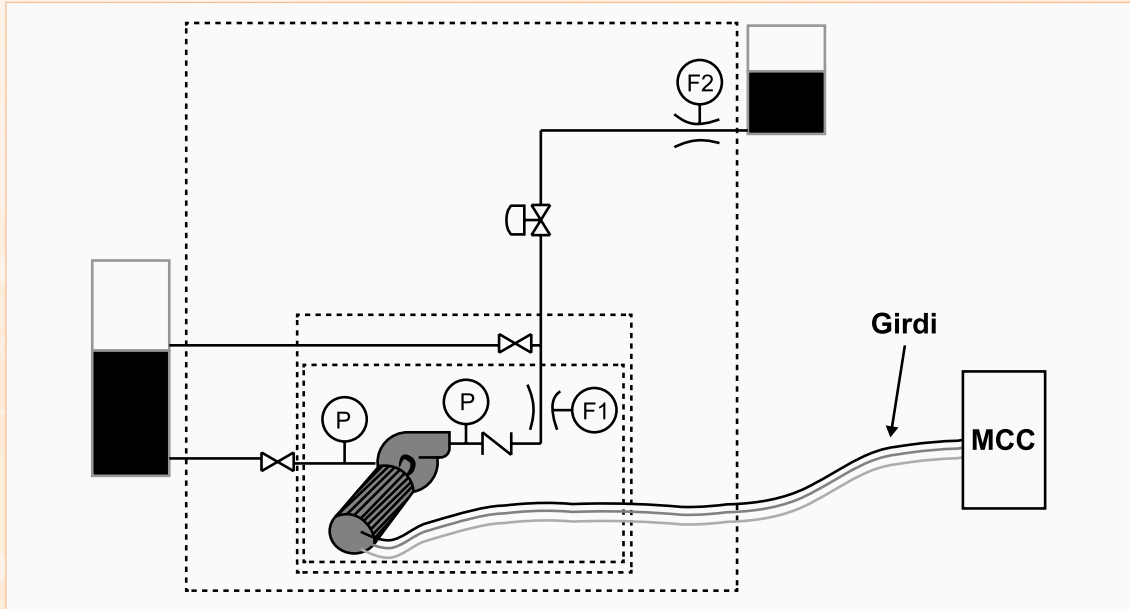
Şekil 2.1. Sistem bileşenleri



## 2.2. Sistem Sınırları

Sistemin sınırlarını doğru çizmenin önemi Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu şekil, bir depodan daha yüksekteki başka bir depoya basit bir pompalamayı göstermektedir. Sistem sınırlarının nasıl tanımlandığına bağlı olarak, sistem verimi büyük ölçüde değişir. Bu durumda, en büyük kutunun sistem olarak tanımlanması daha uygun olur.

Şekil 2.2. Basit bir sistem için muhtemel üç farklı sistem sınırları tanımlaması



## 2.3. Proses Talebi

Debi ihtiyacının zamanla nasıl değiştiğini anlamak, akışkan sistemlerini optimize etmede kritik bir unsurdur. Pompalama sistemlerinin gerekenden daha büyük tasarlanması çok yaygındır; yani, pompalama sistemi, prosesin gerçekten ihtiyaç duyduğundan daha fazla debi veya basma yüksekliği sağlayabilecek şekilde tasarlanır. Bunun nedenleri değişmekle birlikte, yaygın nedenler arasında “gelecekteki ihtiyaçlar”, yani gelecekte debi ihtiyacında artış beklenmesi, veya sırf mühendisin “emniyetli davranmak” istemesi olabilir. Pompalama sistemlerinin abartılı biçimde tasarlanması, aşırı kayıplara ve güç tüketimine yol açar ve bu nedenle bundan kaçınılmalıdır.

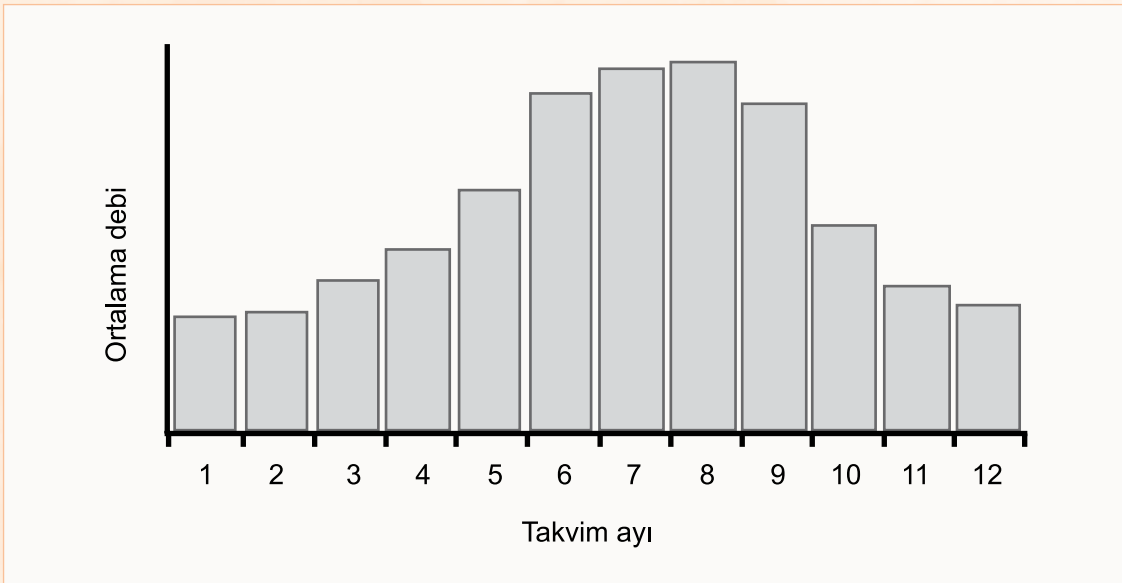
### 2.3.1. Sabit debi ihtiyaçları

Debi ihtiyaçları sabit veya değişken olabilir. Sabit debi ihtiyaçları olan sistemler için, bu sorunları çözmek nispeten kolaydır. Pompalama sistemi, gereken miktarı pompalayacak şekilde tasarlanmalıdır. Gelecekte daha büyük sisteme ihtiyaç duyulduğunda, yani daha fazla debi gerektiğinde, örneğin daha büyük bir çark eklemek iyi bir çözümdür.

### 2.3.2. Değişken debi ihtiyaçları

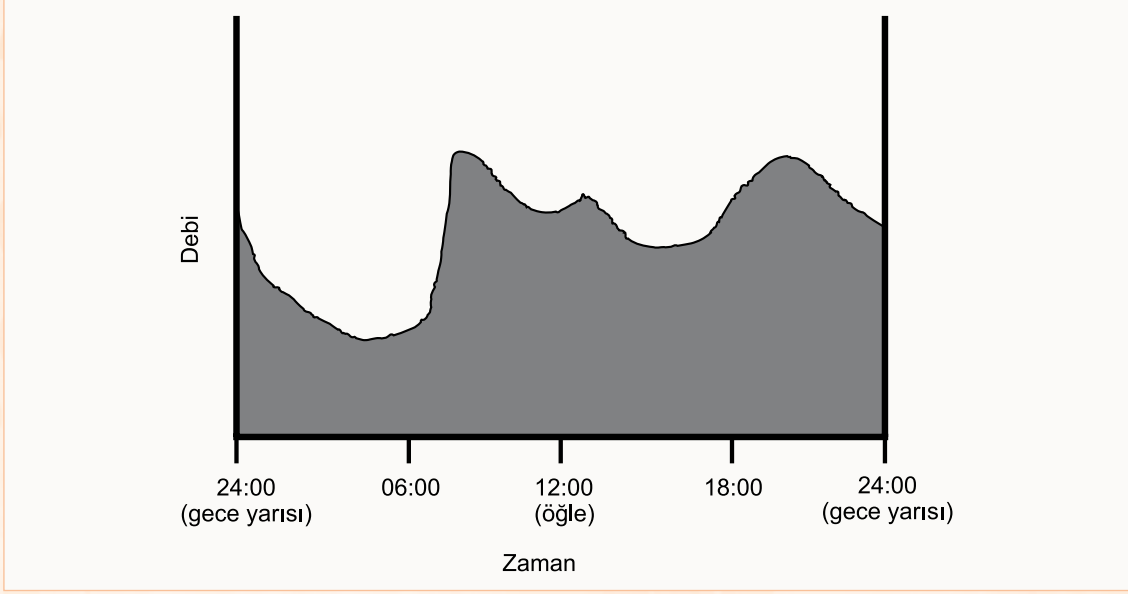
Değişken proses ihtiyaçları olan sistemleri düzenlemek daha karmaşıktır. Değişken debi talepleri olan sistem örnekleri olarak, mevsimsel yükler (soğutulmuş su, ilgili kule suyu vs.), değişken miktarlarda ürün çıkaran endüstriyel prosesler, içme suyu ve atık su sistemleri sayılabilir. Bu durum Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Şekil 2.3. Akış talebinin yıl boyunca değişmesine örnek



İlk görev, ne düzeyde değişimin beklendiği hakkında fikir edinmek veya mevcut sistemde belirli bir dönemde değişimi ölçmektir. Talebi gösterme biçimi, Şekil 2.3 ve 2.4'te ortaya konulmuştur.

**Şekil 2.4. Akış talebinin gün boyunca değişmesine örnek**



## 2.4. Zaman Diyagramları

Şekil 2.3 ve 2.4'teki bilgiler, bir "zaman eğrisi" olacak şekilde düzenlenebilir; zaman eğrisi bir yıl boyunca debi ihtiyaçlarındaki değişimi basit biçimde gösterir. Şekil 2.5'teki debi-zaman diyagramı bir yıl içinde kaç saat boyunca debi ihtiyacının belirli bir düzeyi aştığını göstermektedir. İhtiyaç duyulan tepe debi, Y eksenini ile kesişim noktasıdır. Bu diyagramın yararı, hem maksimum debi hem ortalama debi hem de değişimler bakımından, sistemden olan talepleri açıkça göstermesidir.

Sistemlerin maksimum debiler için optimize edilmesi oldukça yaygındır. Tabii ki sistemin yeterli bir verimde maksimum gerekli debiyi temin etmesi önemlidir. Ancak, ekonomik bakış açısından, sistemlerin zamanın çoğunda işletileceği debiler için optimize edilmesi daha da önemlidir.

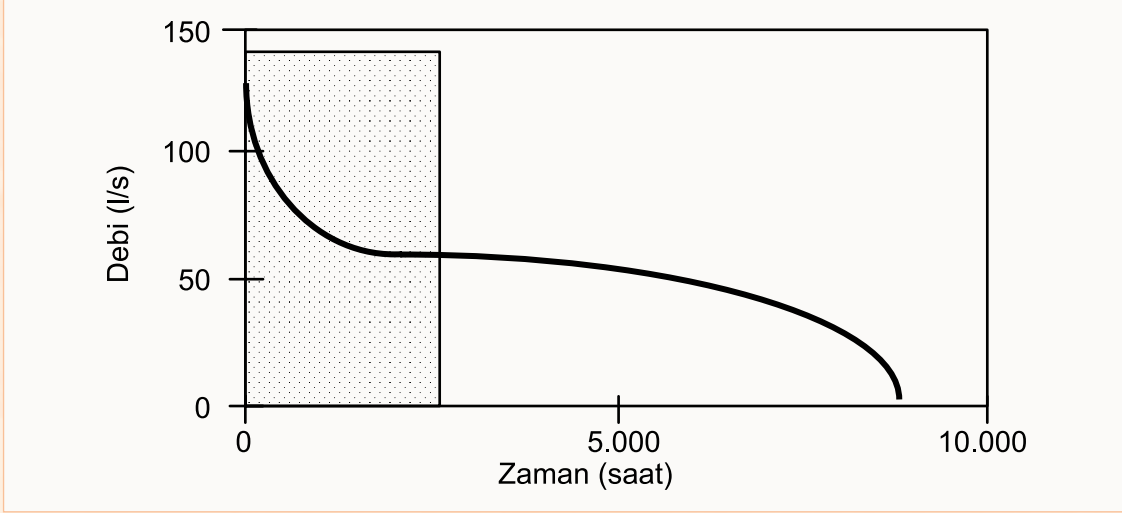
Örneğin, bir pompanın maksimum debileri karşılamak ve bir diğerinin de ortalama debileri karşılamak üzere ayarlanması ömür boyu maliyet açısından daha ucuza gelebilir.

**Şekil 2.5. Bir atık su sistemi için tipik yıllık çalışma süresi eğrisi**

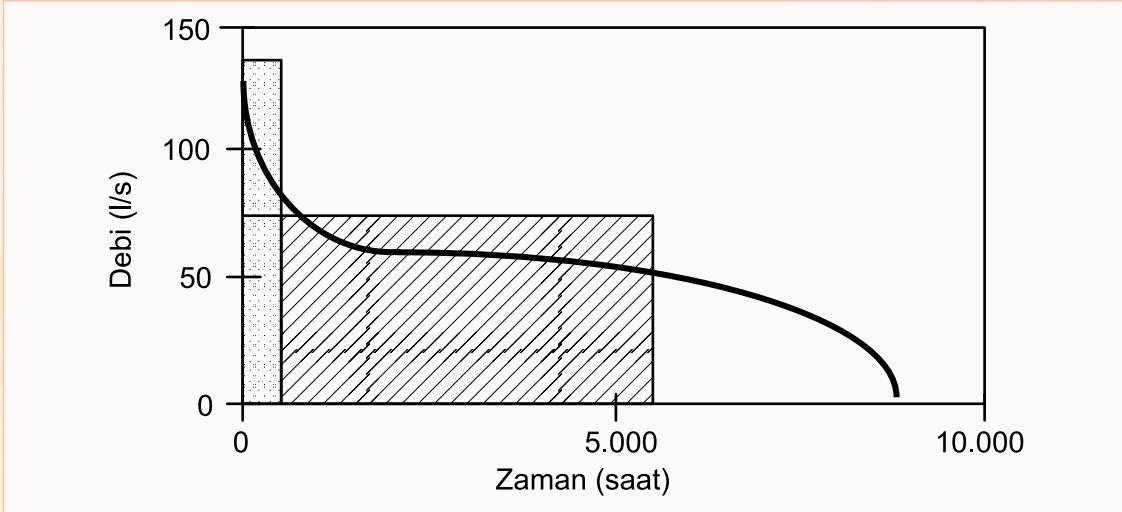


X eksenini zaman boyutunu ve Y eksenini de debiyi gösterdiğinden, eğrinin altında kalan alan, bir yıl boyunca pompalama yapılan hacme eşittir. Şekil 2.6, büyük bir atık su pompasının yıllık gereken debiyi basmak için çalışmak zorunda olduğu yıllık saat miktarını göstermektedir (eğriler altındaki alana eşittir). Pompanın, tepe debide yılda 2.500 saatten az çalıştığı görülmektedir.

**Şekil 2.6. Büyük bir atık su pompası için debi-zaman diyagramı**



**Şekil 2.7. Biri büyük diğeri küçük iki pompa kullanılarak debi-zaman diyagramı**



Şekil 2.7'de sisteme küçük bir pompa eklenmiştir. Büyük pompanın yılda sadece 200 saatin altında çalışıyor olması halinde, küçük pompa, düşük debilerde 5.000 saatten biraz fazla çalışır. Bu düzenlemenin yararı akışın daha düzenli olması; akış hızları daha düşük olduğundan, kayıpların da daha küçük olmasıdır.



### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Pompalama sisteminin işleyişini değerlendirmeden önce, sistemin tanımlanması gerekir.
- 2) Proses talepleri zaman içinde sabit veya büyük ölçüde değişken olabilir. Bu değişimler saatlik, günlük veya aylık olabilir.
- 3) Zaman eğrisi, bir pompanın farklı debilerde çalışma saati sayısını değerlendirmeye yardımcı olur ve sistemin debi ihtiyaçlarını karşılayacak en iyi pompa kombinasyonunu belirlemeye yarar.

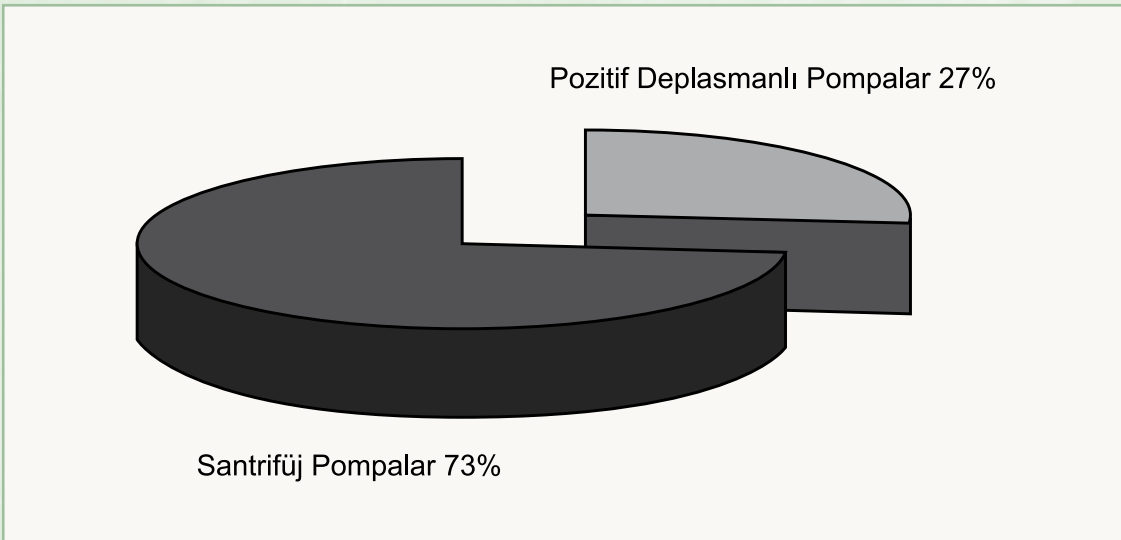
## Bölüm 3

### Pompa Tipleri

#### 3.1. Genel

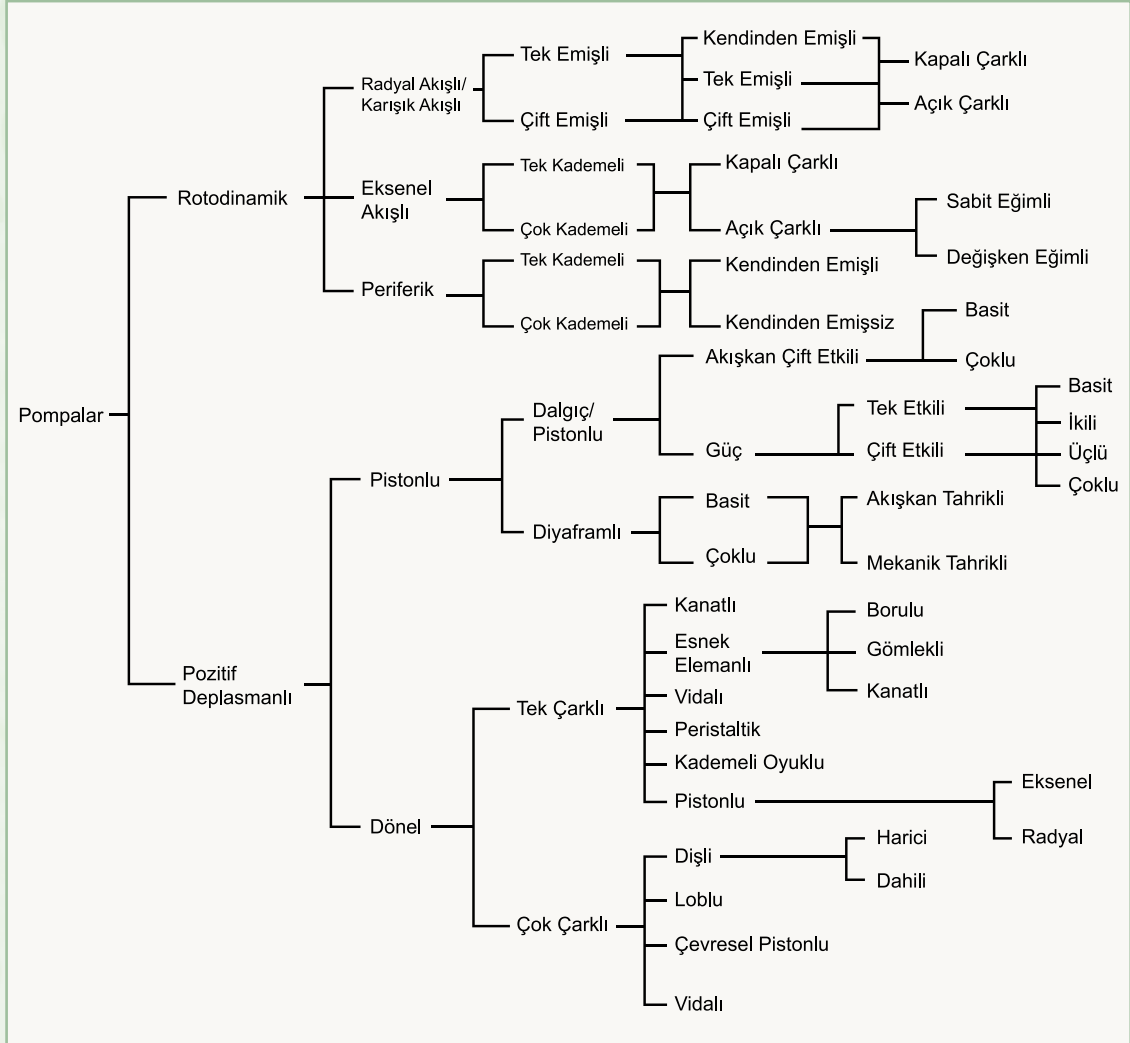
Pompalar, rotodinamik pompalar ve pozitif deplasmanlı pompalar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Adları, pompaların enerjiyi basılan maddeye nasıl aktardığına göre verilir; örneğin döner çarklı pompa, dinamik hareket yoluyla veya deplasman ile akışkanı hareket ettirmek suretiyle enerjiyi aktarır. Şekil 3.1'te görüldüğü üzere, endüstride kullanılan pompaların çoğunluğu rotodinamik veya santrifüj tipi pompalardır.

Şekil 3.1. Sanayide kullanılan pompa tipleri



Şekil 3.2, günümüzde piyasada bulunan farklı pompa tiplerini göstermektedir. Bu ana gruplar alt gruplara ayrılır; alt gruplar ise, pompanın mekanik işleyişini daha spesifik biçimde gösterir. Her pompa tipinin, proses taleplerini mümkün olan en iyi biçimde karşıladığı, tercih edilen kullanım alanı vardır.

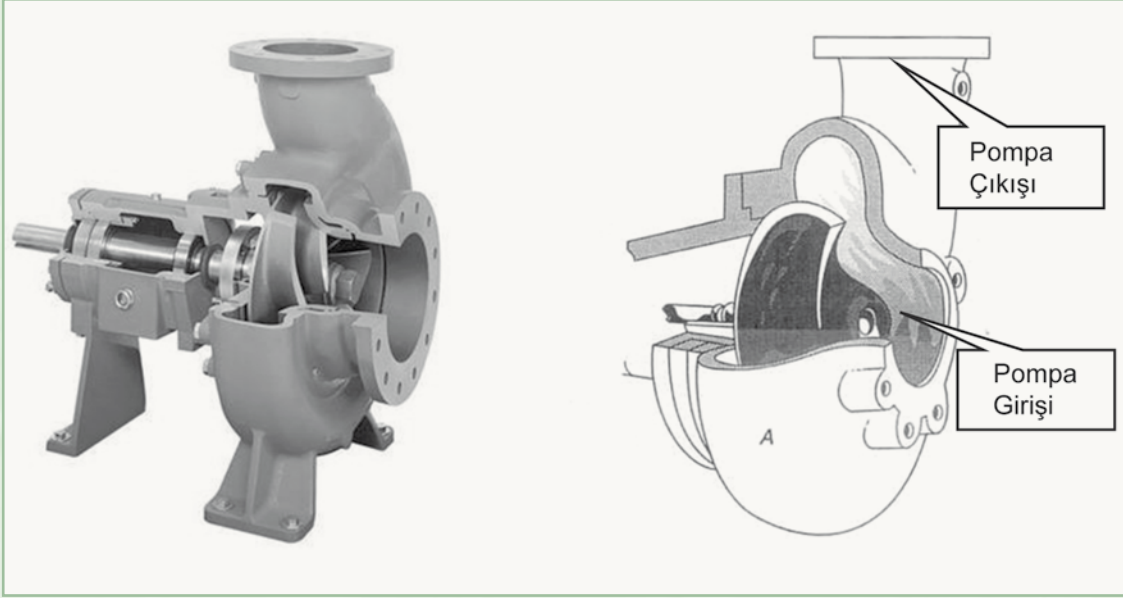
**Şekil 3.2. Pompaların sınıflandırılması**



## 3.2. Rotodinamik Pompalar

Rotodinamik (santrifüj) pompa, döner çark kullanarak akışkana enerji aktarır. Akışkan, pompanın emişiyle çarkın gözüne girer, yüksek hızla kavuşturulur, ardından bir difüzörden geçerek hız basma yüksekliğini basınç basma yüksekliğine dönüştürür ve sonra da Şekil 3.3'te görüldüğü gibi pompa çıkışından dışarıya atılır.

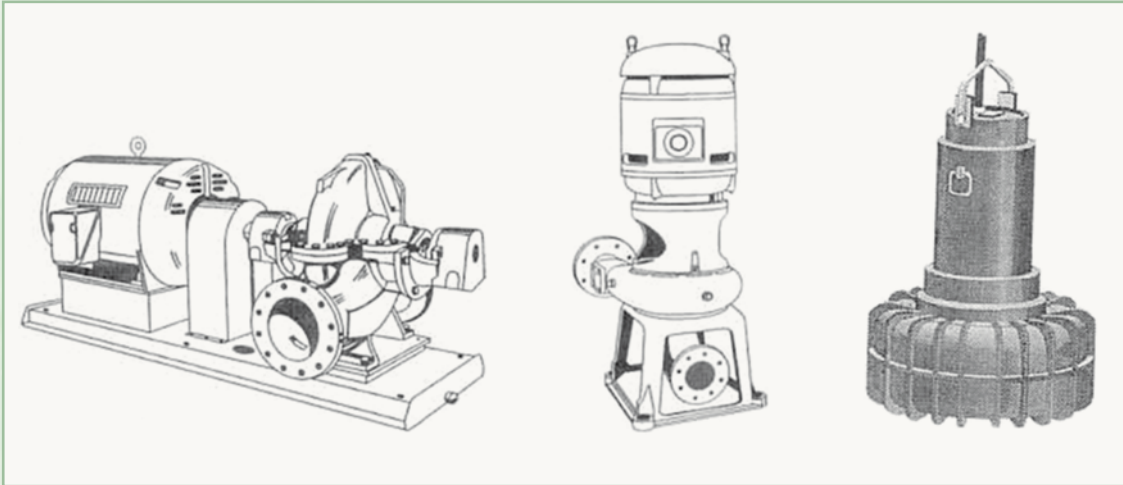
Şekil 3.3. Tipik uçtan emişli pompa



### 3.2.1. Rotodinamik pompa tipleri

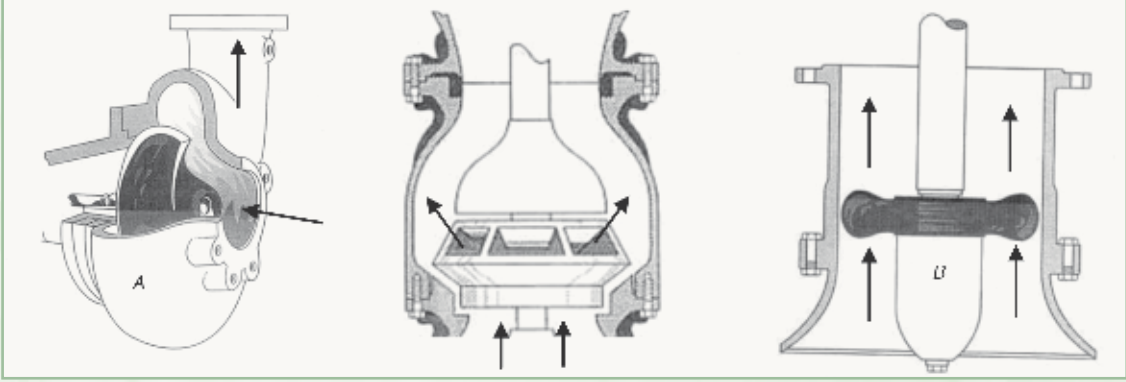
Santrifüj pompalar, yatay veya dikey düzenlenebilir ve Şekil 3.4'te görüldüğü gibi gövdeye monteli veya akuple olabilirler.

Şekil 3.4. Gövdeye monteli ve akuple pompalar



Santrifüj pompalarda üç akış kategorisi vardır. Radyal akışlı pompada, çıkış girişe göre  $90^\circ$  açığa sahiptir; karışık akışlı pompada, çıkış girişe göre  $90^\circ$  ilâ  $180^\circ$ 'lik bir açığa sahiptir; son olarak, aksenal akışlı pompalarda ise, akışkan girişin hemen karşısından doğrudan dışarıya basılır. Şekil 3.5'te akış konfigürasyonları gösterilmiştir.

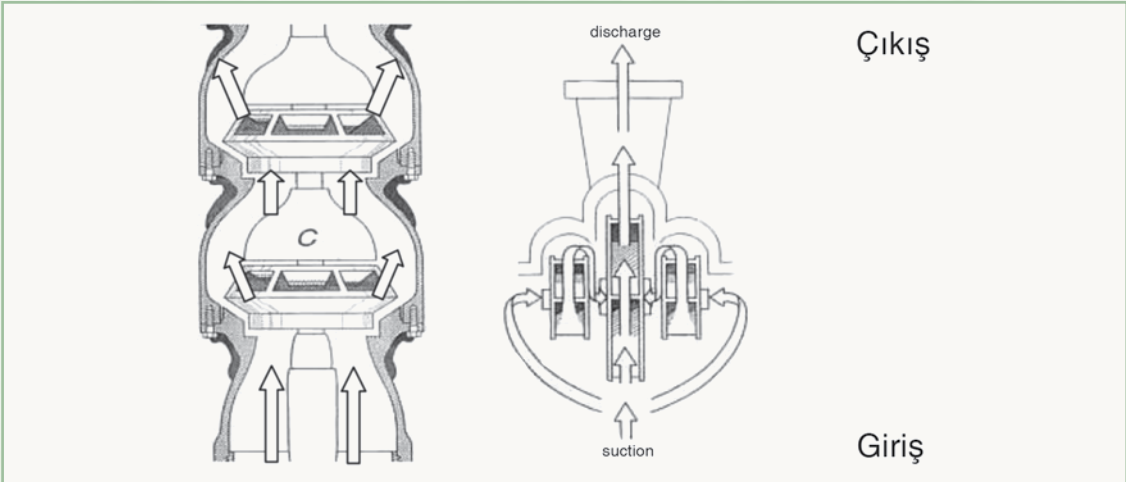
**Şekil 3.5. Santrifüj pompa akış örüntüleri (radyal, karışık ve aksel)**



Radyal ve karışık akışlı pompalar, piyasadaki en yaygın pompalardır. Genellikle vanaları kısarak kontrol edilirler ve enerji tasarrufu için iyi fırsatlar sunarlar. Çoğu zaman, debi kontrolü için vanaları kısarak yerine değişken hız sürücüler kolaylıkla kullanılabilir. Bunun ne zaman ve nasıl yapılacağı aşağıda açıklanmaktadır. Bu pompalar, yüksek veya düşük debi, yüksek veya düşük basma yüksekliği için özelleştirilmiş birçok uygulamada kullanılabilir.

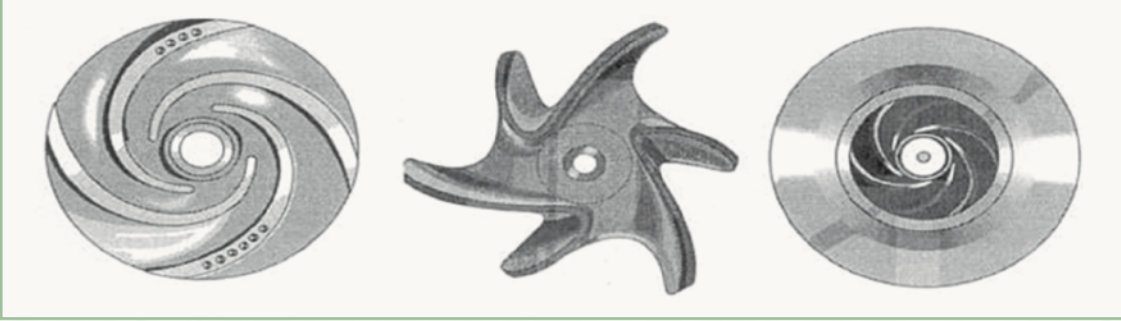
Belediye su şebekesi sistemi veya kazan besleme pompaları gibi yüksek basınçlı pompalama sistemleri için, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, akışı bir çarkın çıkışından hemen sonrakinin girişine yöneltmek suretiyle basıncı artıran çok kademeli pompalar kullanılır. Akış her çark kademesinden geçtikçe basınç artar. Bu kavram, Bölüm 4'te daha ayrıntılı biçimde anlatılmaktadır.

**Şekil 3.6. Dikey ve yatay çok kademeli pompalar**



### 3.2.2. Rotodinamik pompaların özellikleri

Çark konfigürasyonu ve sayısı, pompanın tipine göre değişir. Çarklar özgül hız, büyüklük ve tipe göre sınıflandırılır. Şekil 3.7'de yarı açık, açık ve kapalı çarklar gösterilmektedir.

**Şekil 3.7. Çark tipleri (yarı açık, açık ve kapalı)**

Yarı açık çarkın bir yanı bir mahfaza içinde kapalıdır; bu tip çarkların katı madde içeren akışkan basma yeteneği, açık çarklara göre daha düşüktür. Ancak bunlar; kimyasal maddeler, kâğıt, çamur pompalama ve diğer endüstriyel proses kullanımlarında verimlidir. Açık çark tasarımında mahfaza yoktur ve bunlar esas olarak büyük katı maddeleri içeren akışkanları basmada kullanılır. Düşük basınçlarda yüksek hacimleri pompalayan düşük verimli çarklar olarak kabul edilirler. Kapalı tip çark tasarımı ise çok verimlidir ve her iki akışkan yönü mahfaza ile kapalıdır. Bu çark, genellikle, temiz akışkanların pompalanmasında kullanılır.

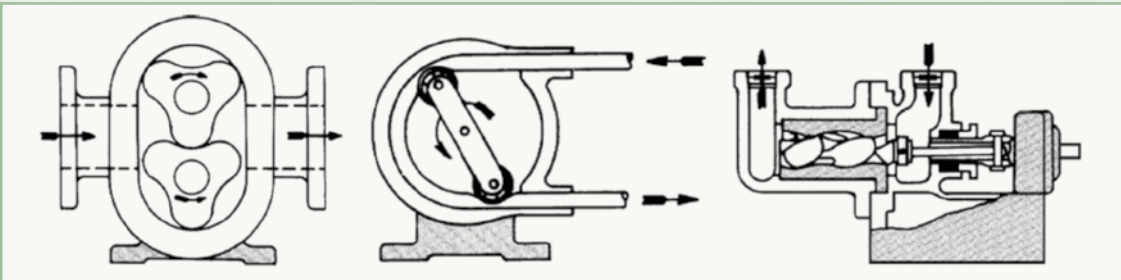
### 3.3. Pozitif Deplasmanlı Pompalar

Pozitif deplasmanlı pompa, giriş tarafında genişleyen oyuk ve çıkış tarafında da daralan oyuğa sahiptir. Giriş tarafı genişlettikçe, akışkan, pompanın içine doğru akar ve oyuk daraldıkça çıkış tarafından dışarı doğru akar. Pozitif deplasmanlı pompa (PD pompa da denir) teoride, çıkış basıncına bakmaksızın, belirli bir hız veya devir/dakika'da aynı debiyi sağlar. Gerçekte ise, motor torku ve iç sızıntılar, yani boru iç cidarı ile akışkan arasındaki "kayma", basıncı sınırlar. Yine de basınç tehlikeli düzeylere ulaşabilir ve bu nedenle, sistemin hasar görmemesi için çıkış tarafına normal olarak bir basınç emniyet vanası takılmalıdır. Bu vana dışta veya içte olabilir.

Pozitif deplasmanlı pompalar "sabit debili makine"lerdir. Debi genellikle pompa hızıyla orantılıdır; böylece bu pompalar değişken hız vasıtasıyla akış kontrolü için idealdir. Yüksek basınçlar ve viskoz akışkanlar için kullanılırlar.

#### 3.3.1. Pozitif deplasmanlı pompa tipleri

PD pompalar, pistonlu pompalar ve döner pompalar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bu ana grupların birçok alt grubu Şekil 3.2'de görülmektedir. Pozitif deplasmanlı pompalara ilişkin birkaç örnek Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

**Şekil 3.8. Dönel loblu pompa, borulu ve vidalı pompa örnekleri***(Şekiller Hidrolik Enstitüsü'nün izniyle kullanılmıştır)*

Dönel PD pompalar genellikle 3.500 kPa'a kadar olan basınçlarda çalışır. Sağlam bir gövdenin içinde işleyen döner rotorlar, vidalar, loblar, dişliler, rulmanlar vs.nin hareketleri vasıtasıyla, akışkanı giriş tarafından çıkış tarafına aktarır.

Pistonlu PD pompalar ise 50.000 kPa'a kadar olan basınçlarda çalışır. Örneğin, bir silindir içinde, pistonun hareketi vasıtasıyla, iç hacmi değiştirmek suretiyle akışkanı aktarır. Normal olarak pompanın hem giriş hem de çıkış tarafında kontrol vanaları takılıdır.

### 3.3.2. Pozitif deplasmanlı pompaların özellikleri

Dönel PD pompada "kayma", basılan maddenin viskozitesi ile çıkış basıncının bir fonksiyonudur. Viskozite arttıkça kayma azalır.

Oyuk doldukça ve boşaldıkça basınçta büyük salınımlar meydana geldiği için, pistonlu bir PD pompanın çıkışı darbelidir. Taleplerin doğru ölçülmesi ve birleştirilmesini sağlamak, pompa ve proses ekipmanının mekanik bütünlüğünü korumak için, bu basınç değişikliklerinin kontrol edilmesi kritik önem taşır. Bu nedenle, darbe sönümleyiciler takılması veya pompanın iki veya üç silindirle işletilmesi yaygındır. Silindir sayısı arttıkça, akış daha dengeli olur.

#### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Pompaların iki ana tipi, rotodinamik (veya santrifüj) pompalar ve pozitif deplasmanlı (PD) pompalardır.
- 2) Ana grupların altındaki alt gruplar, mekanik tasarım özelliklerine göre adlandırılır.
- 3) Santrifüj pompalar, gövdeye monteli veya akuple düzende olabilir.
- 4) Santrifüj pompaların akış konfigürasyonları radyal, karışık ve eksenel olarak sınıflandırılır.
- 5) Santrifüj pompalarda bir veya daha fazla çark bulunabilir. Santrifüj pompaların üç ana çarklı tipi açık, yarı açık ve kapalı tiplerdir.
- 6) PD pompalar, tehlikeli düzeyde basınçlar üretebilen sabit debili makinelerdir; bu nedenle, sistemi korumak için basınç emniyet vanaları ve darbe sönümleyiciler takılmalıdır.
- 7) PD pompalar esas olarak viskoz akışkanları basmada ve çok yüksek basınçlar gerektiğinde kullanılır.



## Bölüm 4

### Temel Hidrolik

Bu bölüm, akışkan karakteristiklerinin pompalama sisteminin işleyişini nasıl etkilediğini anlamak için gereken temel bilgileri vermektedir.

#### 4.1. Temel İlişkiler

Pompalama sistemleri için akışkan gücü, debi, basınç (basma yüksekliği) ve akışkanın özgül ağırlığı arasındaki ilişkiler aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

##### **Denklem 4.1. Akışkan gücü denklemleri**

(ABD'de pompanın sağladığı güç "fren beygirgücü" bhp cinsinden ölçülür)

##### Amerikan birimleri kullanılarak

$$\text{Akışkan Gücü (bhp)} = \frac{\text{Basma yüksekliği (ft)} * \text{Debi (gpm)} * \text{özgül ağırlık (birimsiz)}}{3.960}$$

##### Metrik (SI) Birimler kullanılarak

$$\text{Akışkan Gücü (kW)} = \text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (m}^3/\text{h)} * \text{yoğunluk (kg/m}^3) * 9,8 \text{ (m/s}^2)$$

$$\text{Akışkan Gücü (kW)} = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (m}^3/\text{h)} * \text{yoğunluk (kg/m}^3)}{367}$$

$$\text{Akışkan Gücü (kW)} = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (l/s)} * \text{yoğunluk (kg/m}^3)}{102}$$



## 4.2. Akışkan Akışı

Akışkanların akışına ilişkin temel kanunlardan birisi Bernoulli Kanunu'dur. En basit haliyle, sürtünmesiz bir akışkan için basınç ile akışkan hızı arasındaki ilişkiyi açıklar. Bernoulli Kanunu'na göre "Sürtünmesiz akış hattı boyunca toplam enerji sabittir." Bu ilişki karmaşık görünebilir, ancak, temelde basit çocuk salıncaklarındaki potansiyel enerji ile kinetik enerji arasındaki ilişkiye benzerdir; salıncaktaki toplam enerji potansiyel enerji ile kinetik enerji arasında değişir (basıncı potansiyel enerji, akışkan hızını da kinetik enerji olarak düşünün). İki nokta farklı yükseklikte konumlanmışsa, bunun dikkate alınması gerekir. "Denklem 4.2" bunu en basit biçimde göstermektedir.

### Denklem 4.2. Bernoulli denklemi

$$P_a + \frac{1}{2} \rho v_a^2 + \rho g h_a = P_b + \frac{1}{2} \rho v_b^2 + \rho g h_b$$

$a$  = Boru boyunca ilk nokta  
 $b$  = Boru boyunca ikinci nokta  
 $P$  = Statik basınç, kPa (psi)  
 $\rho$  = Yoğunluk, kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>)  
 $v$  = Hız, m/s (ft/s)  
 $g$  = Yerçekimi ivmesi, 9,81 m/s<sup>2</sup>  
 (32,2 ft/s<sup>2</sup>)  
 $h$  = Yükseklik, m (ft)

Yukarıdaki denklem yalnız sürtünmesiz akış için geçerlidir. Sürtünme varsa, enerjinin bir kısmı ısı olarak kaybedilir ve o miktarda enerjinin denklemin sağ tarafına eklenmesi gerekir; bu kayıp, basınç ve/veya hız bileşenini küçültür. Yukarıdaki denklemde yer alan her terimi yoğunluk ve yerçekimi sabitine bölmek yaygın bir uygulamadır. Böylece, farklı birimler metre (veya fit) cinsinden ölçülebilir.

Hacimsel debi, genellikle, Amerikan birimleriyle galon/dakika (gpm) olarak; metrik sistemi kullanan tüm diğer ülkelerde ise metre<sup>3</sup>/saat (m<sup>3</sup>/h) veya litre/saniye (l/s) olarak ifade edilir.

## 4.3. Basma Yüksekliği

Pompalama sistemleri düşünüldüğünde, basma yüksekliği, belirli işletim hızında ve kapasitesinde, akışkana aktarılan toplam enerjinin ölçüsü olarak nitelenebilir. Basma yüksekliği, genellikle, metre veya fit cinsinden tanımlanır.

Basma yüksekliğini belirlemek için basınç ölçer kullanıldığında, su (özgül ağırlık 1,0) için aşağıdaki dönüşüm işlemleri yapılabilir:

### Denklem 4.3. Basınç dönüşümleri

| <u>Amerikan Birimleri ile</u>                         | <u>Metrik (SI) Birimler ile</u>                      |
|---|--|
| $Basma\ yüksekliği\ (ft) = 2,31 \times Basınç\ (psi)$ | $Basma\ yüksekliği\ (m) = Basınç\ (kPa) / 9,8$       |
|   | $Basma\ yüksekliği\ (m) = 10,2 \times Basınç\ (bar)$ |

Amerikan birimlerinde basınç, mutlak basınç birimi (psia) veya efektif basınç birimi (psig) cinsinden ifade edilebilir. Metrik sistemde basınç genellikle kPa veya bar cinsinden ölçülür ve aksi belirtilmedikçe efektif basınçtır. Ölçerden okunan değerler efektif basıncı gösterir ve atmosfer basıncını içermektedir. Mutlak basınç ise, bunun aksine, atmosferik basıncı içermez. Efektif basınç, atmosferik basınç ile mutlak basıncın toplamını temsil eder.

Pompanın karşı koyacağı toplam sistem basma yüksekliği, aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Statik basma yüksekliği
- Hız basma yüksekliği
- Sürtünme basma yüksekliği veya dinamik basma yüksekliği

### 4.3.1. Statik basma yüksekliği

Statik basma yüksekliği, pompanın giriş ve çıkış tarafındaki kaplardaki akışkan yüzeyleri arasındaki yükseklik farkıdır. Eğer pompa, atmosfer basıncından farklı basınca sahip kapalı bir sisteme pompalama yapıyorsa, bu basınç da dikkate alınmak zorundadır. Statik basınç, debiden bağımsızdır ve sistem eğrisi diyagramında düz bir çizgi olarak gösterilir. Statik basıncı aşmak için gereken enerji ise, basılan maddenin yükseklik ile yoğunluğunun bir fonksiyonudur ve bu nedenle debideki değişikliklerden etkilenmez.

### 4.3.2. Hız basma yüksekliği

Hız basma yüksekliği, akışkanı belirli bir hızda hareket ettirmek için gereken enerji miktarıdır ve Denklem 4.4 ile temsil edilir:

**Denklem 4.4. Hız basma yüksekliği**

|                        |   |
|------------------------|---|
| $h_v = \frac{V^2}{2g}$ | <p><math>h_v</math> = Hız basma yüksekliği, m (ft)</p> <p><math>V</math> = Akışkan hızı, m/s (ft/s)</p> <p><math>g</math> = Yerçekimi ivmesi 9,81 m/s<sup>2</sup> (32,2 ft/s<sup>2</sup>)</p> |
|------------------------|---|

Genellikle, hız basma yüksekliğinin belirlenebilmesi için önce "Denklem 4.5" kullanılarak hızın hesaplanması gerekir:

**Denklem 4.5. Debi ve boru kesitinden hızın hesaplanması**

|                   |  |
|-------------------|--|
| $V = \frac{Q}{A}$ | <p><math>Q</math> = Debi, m<sup>3</sup>/h (gpm * 0,00223)</p> <p><math>V</math> = Akışkan hızı, m/s (ft/s)</p> <p><math>A</math> = Boru kesiti (3,14 * r<sup>2</sup>), r, yarıçap m (ft)</p> |
|-------------------|--|

Basma yüksekliği yüksek olan birçok sistem için hız basma yüksekliği genellikle ihmal edilebilir düzeydedir (0,5 m veya 1 ft'ten az). Ancak, hız basma yüksekliği ihmal edilebilir olmadığına

da, bunun değeri hesaplanmalı (mümkünse pompanın hem giriş hem de çıkış tarafında) ve toplam basma yüksekliğini belirlerken basınç ölçer değerlerine eklenmelidir.

### 4.3.3. Sürtünme basma yüksekliği

Sürtünme basma yüksekliği, bir pompalama sisteminin boru tesisatı ve boru bileşenlerindeki sürtünme kayıplarını aşmak için gereken basma yüksekliğidir. Sürtünme basma yüksekliği, debi, boru tesisatı, boru bağlantıları ve vanaların özellikleri ile akışkan özelliklerine bağlı olarak değişir. Pompalama sistemine bağlı olarak, sürtünme kayıpları, giriş borusu ucundaki giriş kayıpları ile çıkış noktasındaki çıkış kayıplarını da içerebilir.

Sürtünme basma yüksekliği veya dinamik basma yüksekliği, debinin karesinin fonksiyonudur. Bu demektir ki, debi ikiye katlandığında, sürtünme kayıplarını aşmak için basıncın dört kat artırılması gerekir. Dolayısıyla, debinin azaltılması, akışın oluşması için gereken basınç ve güç üzerinde büyük etkiye sahiptir.

Sürtünme kaynakları; akışkanın geçtiği boru cidarları, vanalar, dirsekler, T dirsekleri, redüktörler/genleştiriciler, genişleme mafsalları, tank girişleri ve çıkışları gibi farklı bileşenlerin tamamıdır. Sürtünme kayıplarına ilişkin deney verileri yıllar boyunca toplanmıştır ve Moody diyagramı, Hidrolik Enstitüsü tabloları vs. gibi kaynaklarda verilmektedir.

#### Borularda sürtünme

Borular ve diğer bileşenlerdeki basınç düşüşünü metre (veya fit) cinsinden debinin fonksiyonu olarak ölçmek yaygın bir uygulamadır. Boru tesisatındaki sürtünme kayıpları genellikle, Darcy-Weisbach denklemi (Denklem 4.6) ve Hazen-Williams denklemi (Denklem 4.7) kullanılarak tahmin edilir.

Darcy-Weisbach denklemi, boru tesisatında hangi parametrelerin sürtünme kayıplarını etkilediğini anlamada çok faydalıdır.

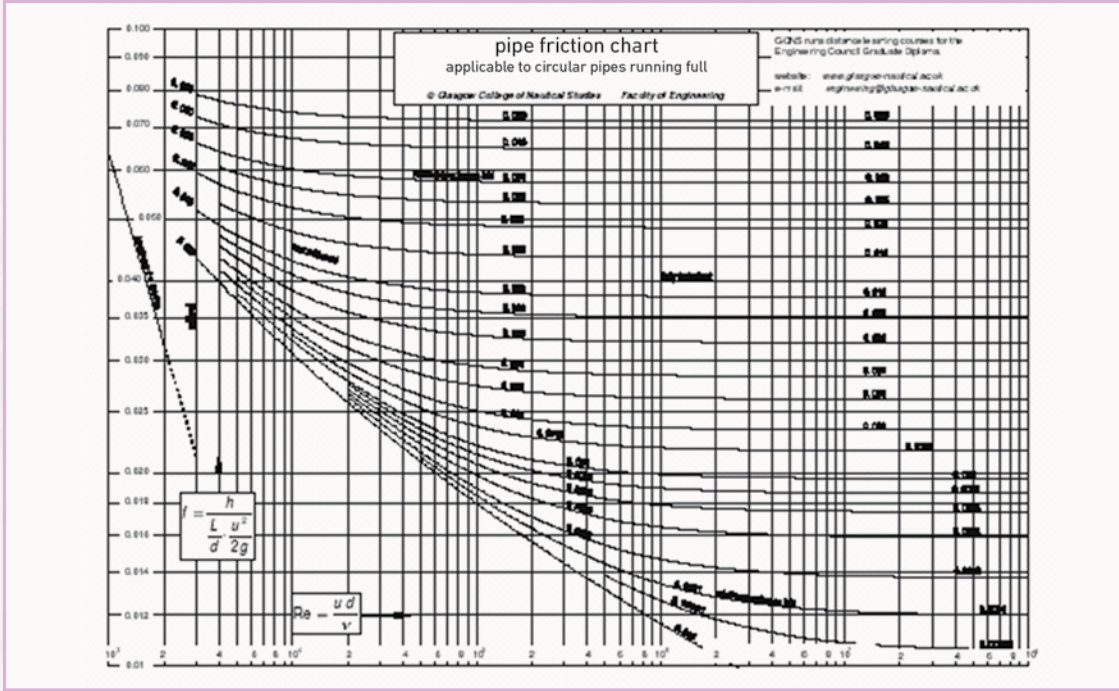
#### **Denklem 4.6. Darcy-Weisbach's denklemi**

|   |  |
|---|--|
| $\Delta h_f = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g}$ | $\Delta h_f$ = Sürtünme nedeniyle basınç düşüşü, m (ft)  |
|   | $f$ = Darcy sürtünme faktörü                             |
|   | $L$ = Boru uzunluğu (metre veya fit)                     |
|   | $D$ = Boru çapı (metre veya fit)                         |
|   | $\frac{V^2}{2g}$ = Hız basma yüksekliği (metre veya fit) |

Sürtünme faktörü,  $f$ , boru tesisatının pürüzlülüğü, basılan akışkanın viskozitesi, boru tesisatının büyüklüğü ve akışkanın hızından etkilenir.

Moody diyagramı (Şekil 4.1), sürtünme faktörünün grafiksel olarak hesaplanmasını sağlar.

Şekil 4.1. Boru kayıpları için Moody diyagramı



Hazen-Williams yöntemi de, boru tesisatı sürtünme kayıplarını hesaplar – ancak sadece türbülanslı koşullardaki su sistemleri için kullanılmalıdır. Hazen-Williams katsayısı C, boru pürüzlülüğünü dikkate almak için kullanılan bir faktördür. Yeni, pürüzsüz borulara normal olarak C değeri 140 atanır (gerçi bazen PVC gibi pürüzsüz borular için daha yüksek değerler kullanılır), eski borulara ise 100'ün altında C değeri atanır.

#### Denklem 4.7. Hazen-Williams denklemi

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Metrik (SI) Birimler ile | $\Delta h_f = \text{Sürtünme basma yüksekliği kaybı (m)}$<br>L = Uzunluk (m)<br>Q = Debi (m <sup>3</sup> /h)<br>D = Boru çapı (m)<br>C = Hazen-Williams katsayısı (60-160 arası)     |
| Metrik (SI) Birimler ile | $\Delta h_f = \text{Sürtünme basma yüksekliği kaybı (ft)}$<br>L = Uzunluk (ft)<br>Q = Debi (ft <sup>3</sup> /s)<br>D = Boru çapı (ft)<br>C = Hazen-Williams katsayısı (60-160 arası) |

Bazı boru sistemleri, zaman içinde, önemli miktarda korozyon, yabancı madde veya boru cidarlarında diğer birikintileri toplar. Darcy-Weisbach bağıntısından görüleceği üzere, boru çapında azalma (tabii ki pürüzlülükte artış ve bunun sürtünme faktörü üzerindeki etkisi bir yana) sürtünme kayıpları üzerinde büyük etki yaratabilir.

Şekil 4.2, su dağıtım sisteminden sökülmüş bir boru kesitini göstermektedir. Boru tesisatında, sistem sürtünme kayıpları üzerinde büyük etkiye sahip olan oldukça fazla tortu oluştuğu gözlenmektedir.

Sistemlerde, Şekil 4.2'deki gibi aşırı kirlilik veya birikinti olduğunda, sistemin akış dağıtma kapasitesi büyük ölçüde azalır. Arzu edilen debiyi muhafaza etmek için kullanılabilir iki yöntem vardır: Ya daha büyük bir pompa takılır ya da boru sistemi revize edilir. Daha büyük pompa takmak, hem kurulum hem de işletim açısından pahalıdır. Diğer alternatif ise, mümkünse boruyu temizlemektir. Şekil 4.2'deki boru, "boru temizleme cihazı" olarak anılan, sisteme takılarak akışkan basıncıyla itilen bir aygıt kullanılarak temizlenmiştir.

#### Şekil 4.2. Önemli ölçüde tortu oluşan su dağıtım borusu

(Diagnostic Solutions'ın izniyle)



#### Vanalarda sürtünme kayıpları ve vana karakteristikleri

Kontrol vanaları, sanayideki pompalama sistemlerinde akışı kontrol etmenin başlıca aracı olagelmıştır. Vanalar akışı tamamen durduracak şekilde kullanılabilir veya debiyi düzenlemek üzere ayarlanabilir. Debiyi düzenlemede kullanılan vanalara genellikle kontrol vanası denirken, akışı açmak veya kapamak üzere ya tamamen açılan ya da kapatılan vanalara da izolasyon vanası denir.

Sistemin sürtünme kaybı analizleri genellikle kayıp özelliklerine dayanır. Ancak vana tedarikçileri, genellikle, vananın akış karakteristiklerini tanımlamak için "Denklem 4.8"de gösterilen bağıntıyı kullanırlar.

**Denklem 4.8. Vana karakteristik denklemi**

|  |  |
|--|--|
| <p><u>Metrik (SI) Birimler ile</u></p> $Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{s.g}}$ | <p>Q = Debi (m<sup>3</sup>/h)<br/> K<sub>v</sub> = Akış katsayısı<br/> P = Basınç farkı (Pa)<br/> s.g. = Özgül ağırlık</p> |
| <p><u>Amerikan Birimleri ile</u></p> $Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{s.g}}$   | <p>Q = Debi (gpm)<br/> C<sub>v</sub> = Akış katsayısı<br/> P = Basınç farkı (psi)<br/> s.g. = Özgül ağırlık</p>            |

**Boru bileşenlerinde sürtünme**

Vana, dirsek ve T dirsekleri gibi boru bileşenlerinin sürtünme kayıpları esas olarak deneysel verilere dayalıdır ve çoğu kez küçük kayıplar olarak anılır. Ancak, birçok boru tesisat sisteminde bu küçük kayıplar, özellikle sistem akışını azaltmak için kontrol vanalarının kullanıldığı durumlarda, büyük miktarda sürtünme kayıplarına neden olabilirler. Boru bileşenleri için sürtünme kayıpları genellikle, "Denklem 4.9"da gösterilen hız basma yüksekliğine dayalı olarak hesaplanır:

**Denklem 4.9. Boru bileşeni sürtünme kayıpları için Darcy-Weisbach denklemi**

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| $\Delta h_f = K \cdot \frac{V^2}{2g}$ | <p><math>h_f</math> = Sürtünme basma yüksekliği kaybı, m (ft)<br/> K = Kayıp katsayısı<br/> V = Akışkan hızı, ft/s (m/s)<br/> g = Yerçekimi sabiti, ft/s<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)</p> |
|---------------------------------------|--|

K, boyutun ve vanalar için vana tipi ile vananın açıklık yüzdesinin fonksiyonu olan bir kayıp katsayısıdır. Standart bileşenler için boru tesisatı bileşeni kayıp katsayılarını veren çeşitli kaynaklar vardır. Tipik bazı K değerleri Tablo 4.3'te verilmektedir.

**Tablo 4.3. Boru sistemi bileşenleri K değerleri**

| Bileşen Tipi                 | K         |
|------------------------------|-----------|
| 90° dirsek, standart         | 0,2 - 0,3 |
| 90° dirsek, uzun yarıçaplı   | 0,1 - 0,2 |
| Kare ağızlı giriş (tanktan)  | 0,5       |
| Çan ağızlı giriş             | 0,05      |
| Tanka deşarj ağızı           | 1         |
| T dirseği (boru kolu akışı)  | 0,3 - 1   |
| Dönel kanatlı kontrol vanası | 2         |
| Sürgülü vana (tam açık)      | 0,03-0,2  |
| Küresel vana (tam açık)      | 3-10      |
| Kelebek vana (tam açık)      | 0,5-2     |
| Küresel vana (tam açık)      | 0,04-0,1  |

Yeni tesisat için iyi bir pratik yöntem, genel verilerin gerçek değerlerinin %10-15'i dâhilinde olduğunu varsaymaktır. Ekipman yaşlandıkça, genel ve gerçek durum arasındaki değişkenliğin artması muhtemeldir. Hat basınçları ve debilerinin iyi aletler kullanılarak ölçülmesi, gerçek kayıpların (ve gerçek pompa performansının) düzeyi hakkında daha gerçekçi bir resim elde edilmesini sağlar.

#### Eşdeğer boru uzunluğu yöntemi kullanılarak bileşen kayıplarının bulunması

Sistemlerin birçoğu, bir dizi borular ve bileşenlerinden oluşur. Bir dizi cihazda toplam kaybı değerlendirmek için, münferit kayıplar toplanır. Bir dizi boru ve bileşenlerindeki toplam sürtünme kaybını hesaplamada yaygın olarak kullanılan bir yöntem, bileşen kayıplarını eşdeğer boru uzunluğu olarak temsil etmektir.

Buna ilişkin yaklaşımlardan biri, münferit bileşen kayıp katsayılarını eşdeğer boru çapları sayısına dönüştürmek ve sonra gerçek sistem boru uzunluğuna eşdeğer boru uzunluklarını eklemektir. Bileşen kaybı verilerine ilişkin bazı kaynaklar, birçok boru bağlantıları için eşdeğer L/D oranlarını da dâhil etmektedir. Kullanıcılar, kayıp katsayısı verilerinden eşdeğer uzunlukları "Denklem 4.10"da gösterildiği şekilde hesaplayabilirler.

#### **Denklem 4.10. Bileşen kayıplarının boru eşdeğer uzunluğu cinsinden hesaplanması**

|   |   |
|---|---|
| $\frac{L}{D} \text{ (eşdeğer)} = \frac{K}{f}$ | $L/D = \text{Uzunluk/çap oranı}$<br>$K = \text{Bileşen kayıp katsayısı}$<br>$f = \text{Sürtünme faktörü}$ |
|---|---|

Bu hesap yaklaşımına ilişkin sorunlardan biri de, yukarıda belirtildiği üzere, sürtünme faktörünün debiyle değişmesidir. Bu sorunu aşmaya yönelik makul bir çözüm, beklenen en yüksek debi için geçerli sürtünme faktörünü kullanmaktır. Çünkü, basma yüksekliği ihtiyaçları hemen hemen her zaman en yüksek debi koşullarına (sürtünme kayıplarının en büyük olduğu koşullara) göre belirlenir. Sürtünme faktörü düşük debilerde daha yüksek olmasına rağmen, bu artış, indirgenmiş hız basma yüksekliği tarafından fazlasıyla telâfi edilir.

### **4.3.4. Basma yüksekliği üzerindeki diğer etkiler**

#### Özgül ağırlık veya yoğunluk

Bir maddenin özgül ağırlığı, 4 derecedeki Santigraddaki (°C) suyun yoğunluğu ile karşılaştırılmasıdır. Sudan düşük yoğunluğu olan maddelerin özgül ağırlığı 1'den küçük olur. Sudan yüksek yoğunluğu olan maddelerin özgül ağırlığı 1'den büyük olur.

Bir akışkanın özgül ağırlığı azaldıkça, o akışkanı basmak için daha az güç gerekir. Bunun tersine, akışkanın özgül ağırlığı arttıkça, daha fazla güç gerekir. Sıcaklık da Tablo 4.4'te gösterildiği gibi özgül ağırlığı etkiler.

**Tablo 4.4. Su sıcaklığının ve özgül ağırlığın/yoğunluğun güç üzerine etkileri**

| Su Sıcaklığı<br>°C | Özgül ağırlık<br>/ yoğunluk | kW   |
|--------------------|-----------------------------|------|
| 4                  | 1,0                         | 100  |
| 60                 | 0,983                       | 98,3 |
| 100                | 0,958                       | 95,8 |
| 125                | 0,939                       | 93,9 |
| 150                | 0,917                       | 91,7 |

### Viskozite

Viskozite, akışkan iç sürtünmesi olarak düşünülebilir ve basılan akışkanın türüne göre değişir. Viskozite, aşağıda gösterilen üç farklı biçimde ifade edilir:

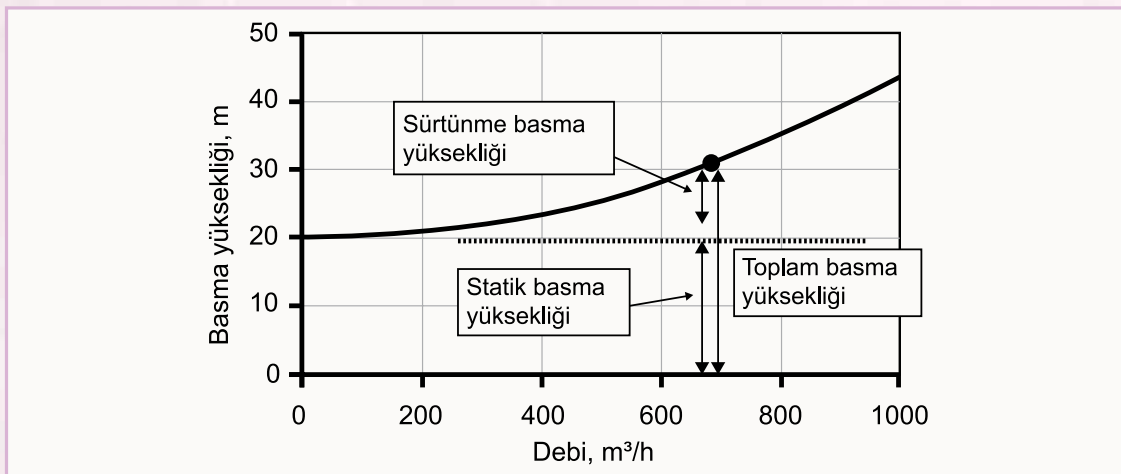
- Ünsersal Saybolt Saniye veya SSU
- Santistokes – kinematik viskoziteyi tanımlar
- Santipoises – mutlak viskoziteyi tanımlar

Hidrolik Enstitüsü, belirli sıcaklıklarda çeşitli sıvıların SSU ve Santistokes cinsinden viskozitelerini gösteren tablolar yayımlamıştır.

Viskozite, basılan akışkan ve disk sürtünmesi ile bağıntılı olarak pompa performansını etkiler. Akışkanın viskozitesi arttıkça, çıkış basıncı, kapasitesi ve verim düşer ve daha fazla güç gerekir. Akışkanın viskozitesi aynı zamanda, akışkanın sıcaklığı ile de doğrudan bağıntılıdır – sıcaklık azaldıkça viskozite artar.

## 4.4. Sistem Eğrileri

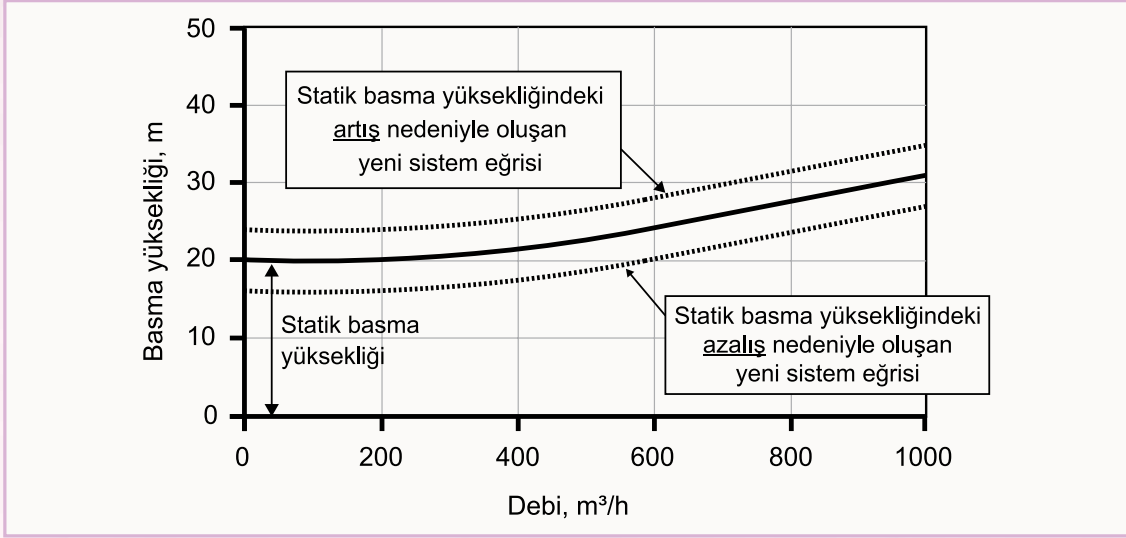
Buraya kadar, basma yüksekliği, debi ve özgül ağırlığın akışkan gücünü nasıl etkilediğini inceledik. Bu akış karakteristikleri, bir sistem eğrisi kullanılarak grafik biçimde ifade edilebilir:

**Şekil 4.3. Sistem eğrisi bileşenleri**



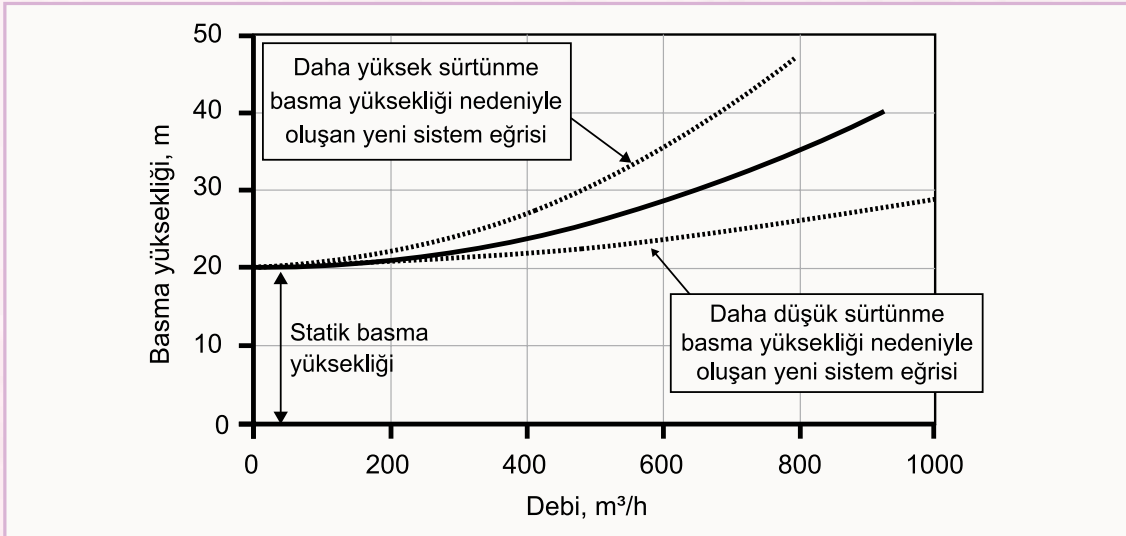
Bir sistem eğrisi iki temel parçadan oluşur: Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, statik basma yüksekliği ve sürtünme basma yüksekliği. Yukarıda anlatıldığı üzere, statik basma yüksekliği tank yüksekliği farkı ile bağıntılıdır; dolayısıyla, giriş veya çıkış tank yükseklikleri (veya basınçları) değiştiğinde, sistem eğrisi de Şekil 4.4'te gösterildiği gibi değişir.

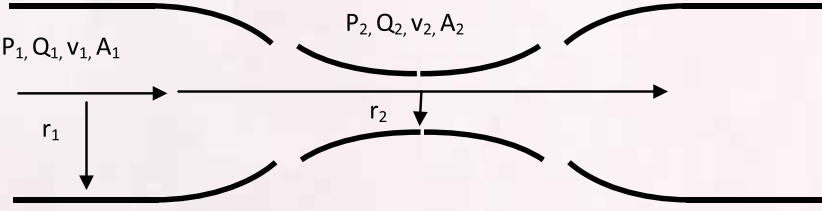
**Şekil 4.4. Statik basma yüksekliğindeki değişikliklerin sistem eğrisine etkisi**



Sürtünme basma yüksekliğindeki değişiklikler nedeniyle, sistem eğrisi şekil 4.5'te gösterildiği biçimde değişir. Dikkat edilmelidir ki, sürtünme basma yüksekliği değiştiğinde, eğrinin başladığı nokta, yani sıfır debi (sistemin statik basma yüksekliğini temsil eden) noktası değişmez.

**Şekil 4.5. Sürtünme basma yüksekliğindeki değişikliklerin sistem eğrisine etkisi**



**Alıştırma****Örnek 1:**

P = Basınç (kPa veya psi)

Q = Debi (l/s veya gpm)

v = Hız (m/s veya ft/s)

r = Boru yarıçapı (m veya ft)

A = Boru kesiti ( $m^2$  veya  $ft^2$ )

A (giriş kesiti) ve B (çıkış kesiti) noktaları için aşağıdaki bilgiler elde mevcuttur:

Debi = 10,0 l/s (9.510 gpm)

Yoğunluk ( $\rho$ ) = 1.000  $kg/m^3$  (62,4  $lb/ft^3$ )

$r_1$  = 0,1 m (0,328 ft)

$P_1$  = 200 kPa (29 psi)

$r_2$  = 0,02 m (0,066 ft)

Basınç, debi ve boru alanları arasındaki bağıntıları kullanarak, borunun her iki kesitteki hızını ve 2 no.lu kesitteki basıncını,  $P_2$  bulunuz.

**Çözüm:**

$$A_1 = 3,14 \times (0,1)^2 = 0,0314 \text{ m}^2 \text{ (0,338 ft}^2\text{)}$$

$$A_2 = 3,14 \times (0,02)^2 = 0,001256 \text{ m}^2$$

$$V = P/A$$

$$v_1 = 0,01 / 0,0314 = 0,318 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0,01 / 0,001256 = 7,96 \text{ m/s}$$

$$P_2 = P_1 - \rho / 2 [(v_2)^2 - (v_1)^2]$$

$$P_2 = 200.000 - 1000/2 \times [(7,96)^2 - (0,318)^2] = 168.370 \text{ N/m}^2 = 168 \text{ kPa}$$

**Temel Kazanımlar**

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Pompalama için gereken akışkan gücü; debi, basma yüksekliği ve akışkanın özgül ağırlığı ile bağıntılıdır.
- 2) Toplam basma yüksekliği, statik basma yüksekliği ile sürtünme basma yüksekliğinden oluşur.
- 3) Genel boru sistem bileşenleri ve borulardaki sürtünme kayıpları hesaplamalarda önem arz eden unsurlardır.
- 4) Sistem eğrisi, debi ile basma yüksekliği arasındaki grafiksel bağıntıyı verir. Basma yüksekliği türüne bağlı olarak, sistem eğrisi farklı biçimlerde etkilenir.





## Bölüm 5

# Pompa Performansının Kavranması

## 5.1. Genel

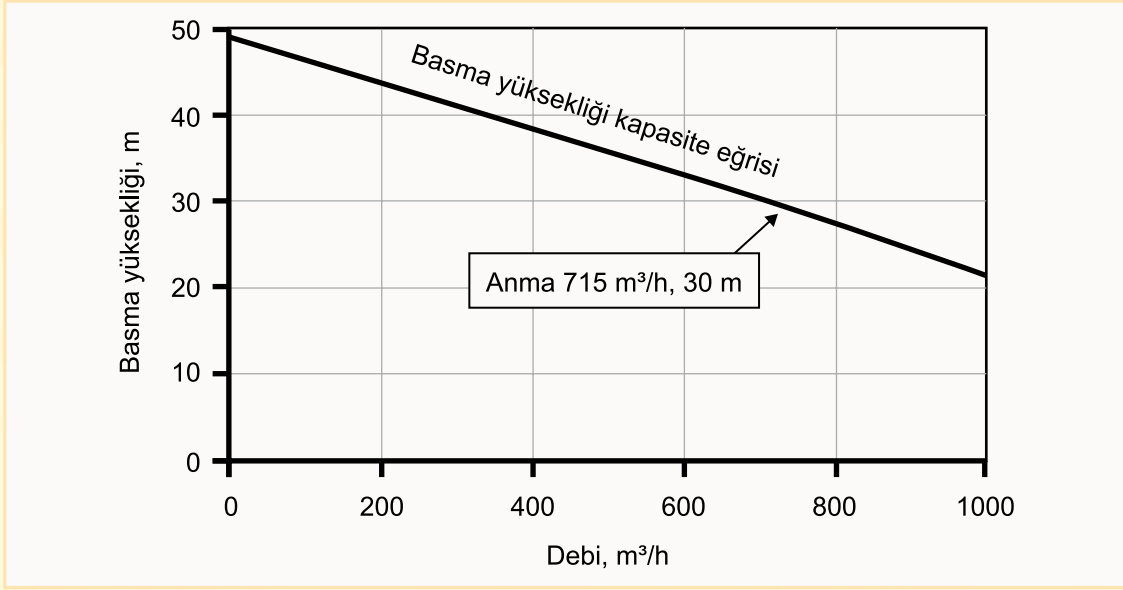
Santrifüj pompaların tasarımı, pompa gövdesi içinde dönen bir veya daha fazla sayıda kanatlı çark(lar) ile karakterize edilir. Çark(lar) döndükçe enerjiyi akışkana aktarır, bu enerji kullanılarak akışkan hareket ettirilir ve basıncı artırılır. Rotodinamik pompalar, radyal ve eksenel olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Ayrıca, bu iki sınıflandırma arasında karışık akışlı pompalar olarak bilinen bir grup daha vardır.

Pompaların ikinci büyük grubu olan pozitif deplasmanlı (PD) pompalar, akışkanı hareket ettirilen duvarların içinde tutarak akışkana enerji aktarırlar ve pompanın çıkışındaki delikler veya vanalar vasıtasıyla akışkanı basarlar. PD pompalar, santrifüj pompalar ile aynı karakteristik davranışa sahip değildir.

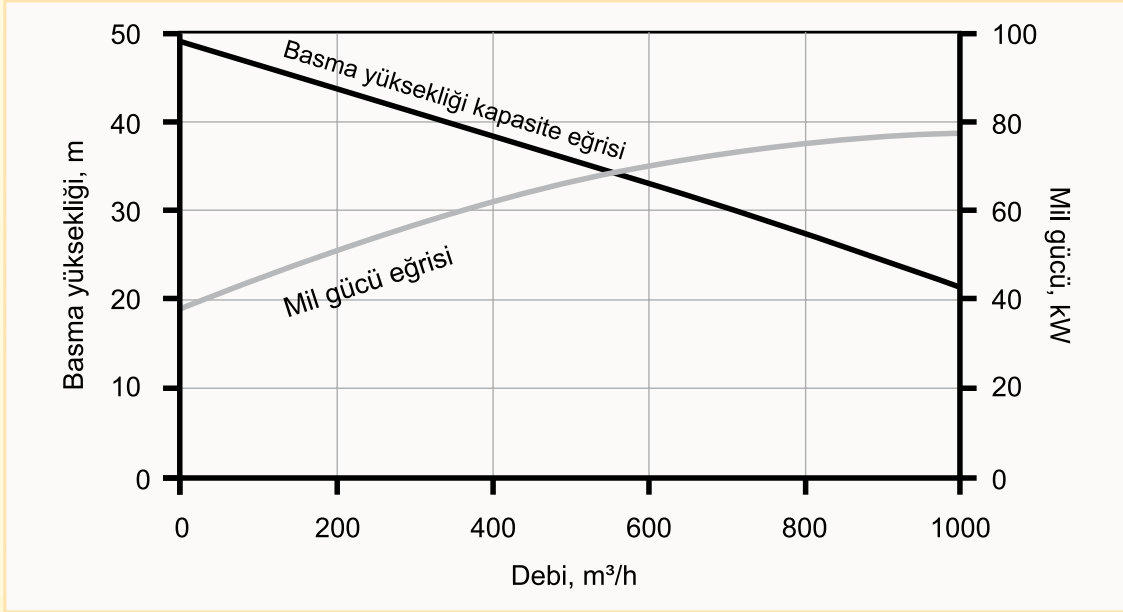
## 5.2. Pompa Eğrileri

Bir santrifüj pompanın performansı, genellikle, debiye (Q) karşılık basma yüksekliği (H) değişimini veren bir diyagram üzerinde gösterilir (bkz. Şekil 5.1). Verim (Şekil 5.2'de gösterilen), mil gücü ve net pozitif emme yüksekliği (NPSH) gibi parametreler de, çoğunlukla aynı diyagram üzerinde gösterilir.

Şekil 5.1. Santrifüj pompa basma yüksekliği kapasite eğrisi



Şekil 5.2. Temel pompa eğrisinin güç eğrisi eklenmiş hali



### 5.3. Benzerlik Kanunları

Pompa performansı, "Denklem 5.1 ve 5.2"de gösterilen, Benzerlik Kanunları adı verilen kelere tâbidir. Benzerlik Kanunları, hız veya çark çapı değiştiğinde pompa performansının nasıl değiştiğini açıklar. Benzerlik Kanunları, pompa geometrisi veya hızı değiştiğinde, pompa performans eğrilerinin nasıl değiştiğini hesaplamada kullanılır. Bu kanunlar, bir sisteme pompa takıldığında, yeni çalışma noktasının ne olacağı hakkında bilgi vermez. Yeni çalışma noktasını bulmak için, ayrıca, pompanın üzerinde işlediği sistem eğrisi hakkında da bilgi sahibi olmak gerekir.

Hem hız azaltımları hem de çark boyutlandırmaları bakımından enerji tasarruflarını doğru biçimde hesaplayabilmek için, sistem eğrisinin bilinmesi zorunludur. Bunların bilinmemesi büyük hatalara yol açabilir.

#### Denklem 5.1. Benzerlik Kanunları

$$Q_2 = Q_1 * \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \quad H_2 = H_1 * \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad P_2 = P_1 * \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Bu denklemde Q = debi; N = devir sayısı; H = basma yüksekliği ve P = güç'tür. Altsimgе 1 ve 2 ise farklı iki hızı temsil etmektedir.

Benzerlik Kanunları'nın bir başka biçimi ise çark çapı (D) ile ilişkilendirilir.

#### Denklem 5.2. Benzerlik Kanunları'nın alternatif biçimi

$$Q_2 = Q_1 * \left( \frac{D_2}{D_1} \right) \quad H_2 = H_1 * \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad P_2 = P_1 * \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

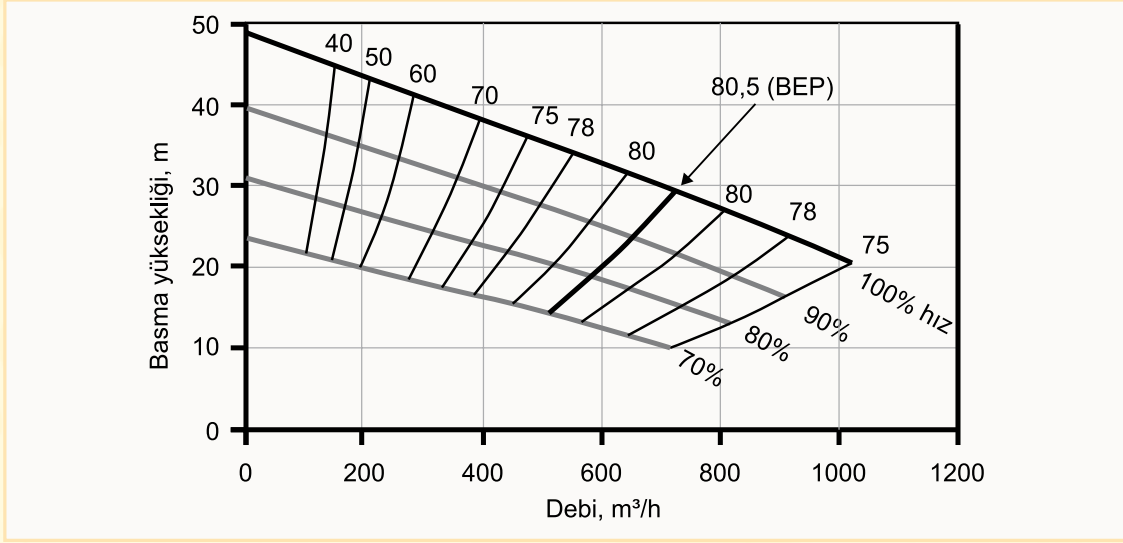
Bu denklemde altsimgе 1 ve 2, iki farklı çark çapını temsil etmektedir. Çark çapı benzerlik ölçeklendirme bağıntılarının, sahada elde edilen birtakım ölçüm deneyimlerinde faydalı olduğu ispatlanmıştır: Performans eğrilerine temel alınan çark çapı, ölçülen basma yüksekliğinden elde edilen eğriye dayalı debi tahminlerinin güç ile uyduğu noktaya kadar tekrarlı biçimde değiştirilebilir.

## 5.4. Değişken Hız Eğrileri

Şekil 5.3, belirli bir pompada çark hızı değiştirildiğinde pompa performans eğrilerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. İndirgenmiş hızda yeni pompa eğrileri, yukarıda tanımlanan Benzerlik Kanunları'ndan yararlanılarak doğru biçimde hesaplanabilir.

Burada, eşverim çizgileri de gösterilmiştir. Hızın düzenlenmesi bakımından bunlar, orijinden çıkan ikinci derece fonksiyonlardır. Pompanın tükettiği enerji, bu eşverim çizgileri boyunca hızın küpüyle orantılıdır. Bu nedenle, pompa sürücüsünün hızını değiştirmek ve böylece debiyi azaltmak suretiyle, birçok sistemde büyük ölçekte güç azaltımları yapmak mümkündür. Yapılabilecek enerji tasarrufları, sistem eğrisini bilmeksizin hesaplanamaz. Sistem eğrisi, pompa eğrisi ile birlikte, pompanın pompa eğrisi üzerinde nerede (ve ne düzeyde verimle) çalışacağını belirler.

Şekil 5.3. Farklı hızlar için pompa eğrileri

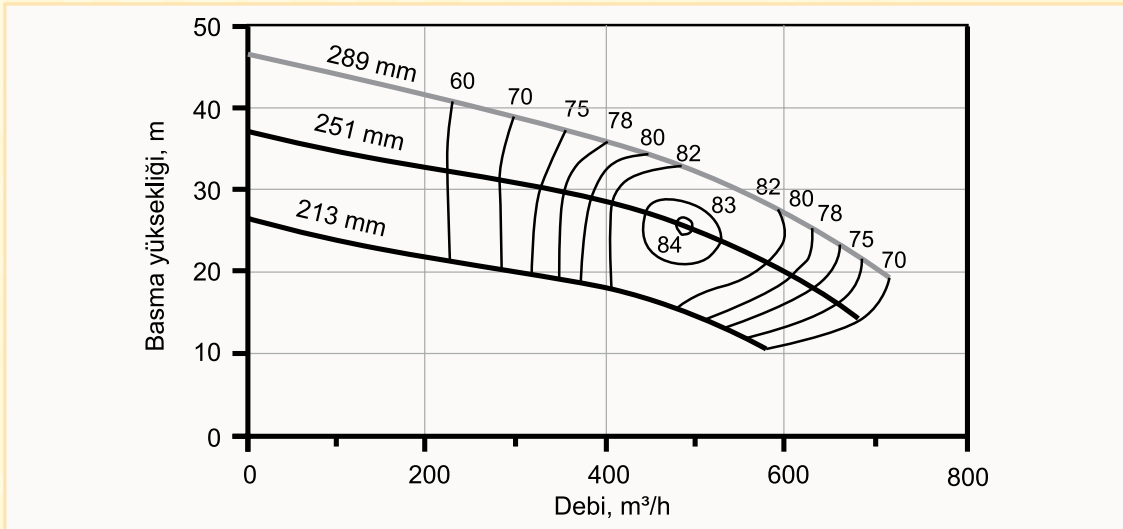


\* BEP: En İyi Verim Noktası (Best Efficiency Point), pompanın en yüksek verime sahip olduğu debidir ve maksimum çark çapındaki performansına karşılık gelir.

## 5.5. Çark Boyutlandırma

Şekil 5.4, bir pompada çark çapı değişikliklerine karşılık gelen eğrileri vermektedir. Görüldüğü üzere, eşverim çizgileri Şekil 5.5'teki değişken hız eğrilerinden çok farklıdır. Bu eğriler artık topoğrafik haritaya benzemektedir; tepe noktaları belirli bir çapı ve çalışma noktasını temsil etmektedir. Bu, aynı zamanda, çark çapı, pompa gövdesi geometrisi ve debi arasındaki optimum bağıntının bulunduğu noktadır. Bu noktadan herhangi bir yönde sapma, pompadaki kayıpların artmasına ve verimin azalmasına neden olur. Değişiklikler küçük olduğu sürece, indirgenmiş çap için pompa eğrileri de Benzerlik Kanunları'ndan yararlanılarak hesaplanabilir. Daha büyük değişiklikler için üreticiyle temas kurulması önerilir; üretici gereken bilgilere sahiptir.

Şekil 5.4. Çeşitli çark çapları için pompa eğrileri ve eşverim çizgileri

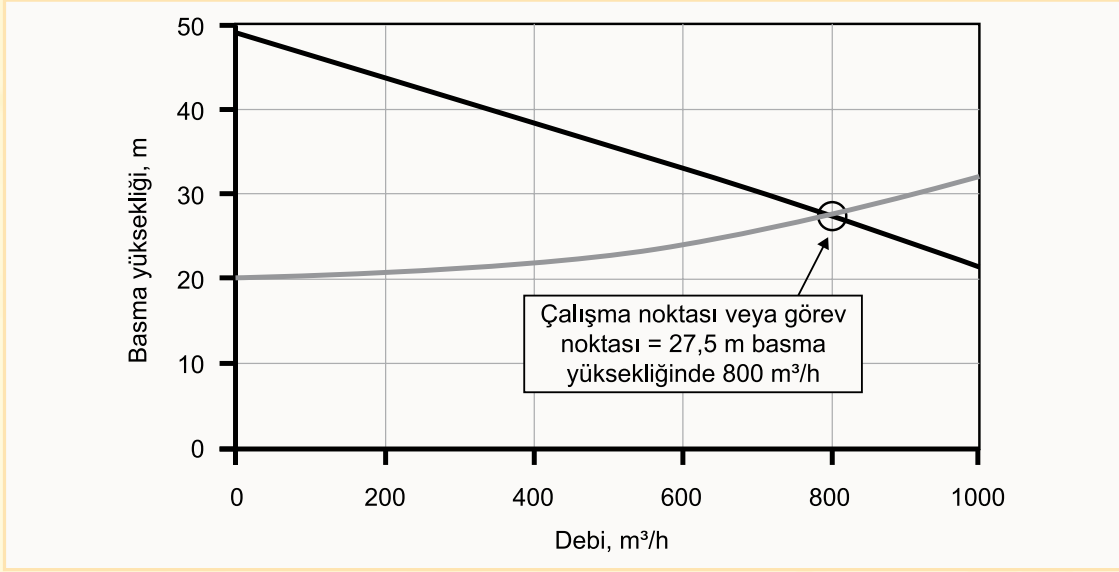


## 5.6. Pompa Çalışma Noktası

Pompa, pompa eğrisi üzerinde, pompanın sağladığı basınç ile pompaya bağlanan sistemden belirli debinin geçmesi için gereken basınç arasında denge durumunun olduğu noktada çalışır. Bu, Şekil 5.5'te grafiksel olarak gösterilmektedir. Çalışma noktası, sistem eğrisi ile pompa eğrisinin kesiştiği noktadır.

Sistem eğrisi, örneğin pompa deşarj vanasını kısmak suretiyle değiştirilebilir; vananın kısılması sistemdeki direnci artırır ve sistem eğrisini daha dik hale getirir.

Şekil 5.5. Sistem eğrisi, pompa eğrisi ve çalışma noktası



Buradan anlaşılacağı üzere, çalışma noktası pompa eğrisi üzerinde sola doğru yukarıya çıkarsa, pompa çarkı üzerindeki iç kuvvetler artar; bu da ekipman ömrünün kılmasına neden olabilir. Pompa eğrisi üzerinde yüksek noktalarda uzun süre işletimden kaçınmaya dikkat edilmelidir. Bu nedenle üreticiler, genellikle izin verilen çalışma aralığı hakkında bilgi verirler. Pompa, bu aralığın sınırları dışında uzun süre işletilirse, ekipman ömrü ağır biçimde etkilenebilir.

## 5.7. Paralel Bağlı Pompalar

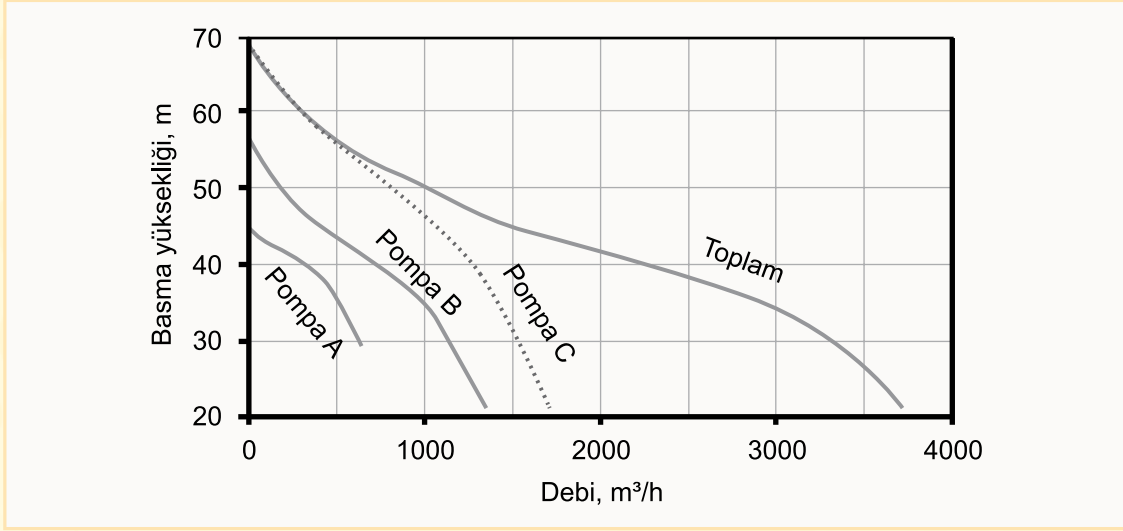
Birçok uygulamada pompaların paralel bağlanması yaygındır. Paralel bağlama hem esneklik hem de fazlalık sağlar. Pompaların paralel işletilmesi suretiyle, hangi büyüklükte kaç pompanın çalışıyor olduğuna bağlı olarak, debi, kademeli biçimde değiştirilebilir.

Pompalar paralel bağlı olduğunda, çalışan her pompa için debi, Şekil 5.6'da gösterildiği biçimde, sabit basınçta eklenir. Eğer pompaların maksimum cihaz basma yükseklikleri (bir pompanın yaratabileceği maksimum basınç) farklı ise, diğer pompaların, en düşük maksimum cihaz basma yüksekliğine sahip pompa için tavsiye edilen en yüksek basıncın üzerinde işletilmemesine dikkat etmek gerekir.

Bu kurala uyulmazsa, küçük pompanın zararlı bir bölgede çalışıyor olması, hatta, pompanın ters akışa maruz kalması gibi bir sonuçla karşılaşılabilir. Hangi pompaların çalışacağını ve hangilerinin kapalı olacağını kontrol eden bir kontrol sistemi kullanılarak bu risk ortadan kaldırılabilir.

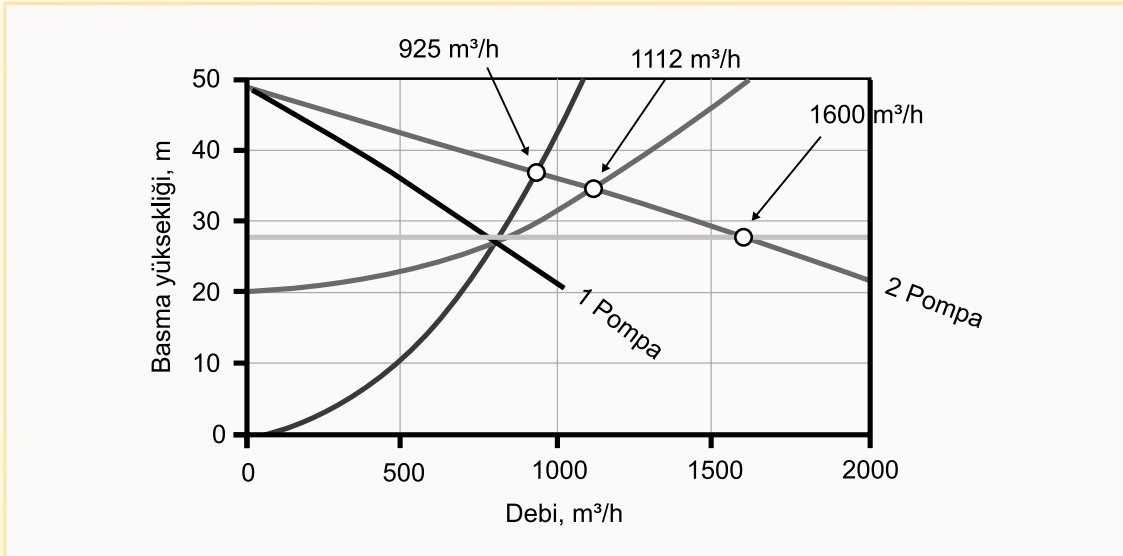


Şekil 5.6. Paralel bağlı pompalar için bileşke pompa eğrisi



Pompalar paralel bağlandığında elde edilecek debi, sistem eğrisine bağlıdır. Daha fazla sayıda pompa işletildiğinde, sistem eğrisi genellikle değişmez. Ancak, debi arttığında, gereken basınç da artar ve tüm pompalar kendi eğrilerinde daha yüksek basınçta çalışırlar. Yalnız, çok yatık sistem eğrilerinde elde edilen debi, tek başına işletilen münferit pompaların debilerinin toplamına yakın olur. Bu durum Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

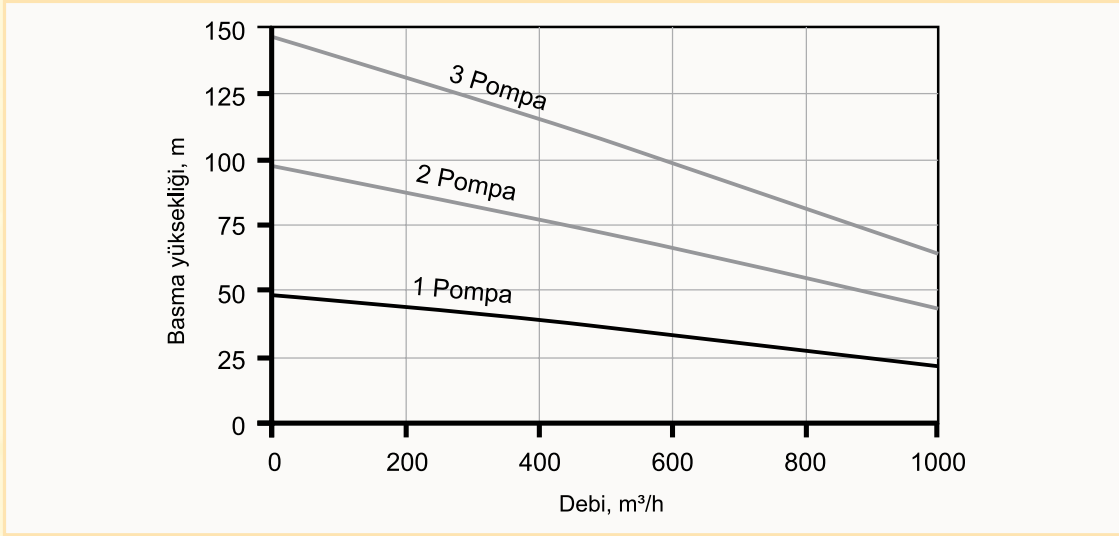
Şekil 5.7. Üç farklı sistem için paralel çalışan iki eşdeğer pompa ile elde edilen debiler



## 5.8. Seri Bağlı Pompalar

Pompalar paralel bağlanabildiği gibi seri olarak da bağlanabilir. Bu, genellikle yüksek basma yüksekliği gerektiğinde yapılır. Bileşke pompa eğrisi, çeşitli debilerde pompaların yarattığı basınçlar toplanarak bulunur.

Şekil 5.8. Seri bağlı iki ve üç eşdeğer pompa ile elde edilen pompa eğrileri



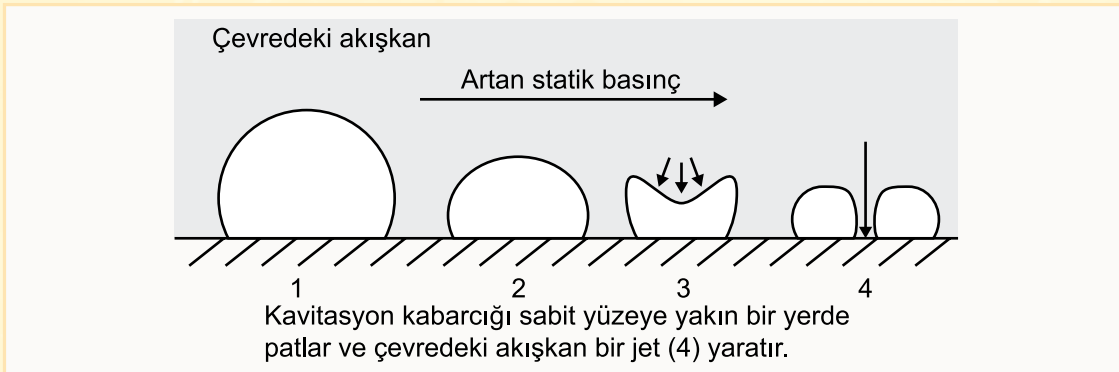
## 5.9. Kaviteasyon

Bir akışkanın kaynama sıcaklığı, akışkanın basıncına bağlıdır. Atmosfer basıncında suyun kaynama sıcaklığı 100°C'dir. Suyun daha yüksek irtifalarda 100°C'nin altında kaynadığı bilinir. Örneğin, Johannesburg'ta suyun kaynama sıcaklığı 96°C'dir. Basınç yeterince düşük olursa, akışkan, oda sıcaklığında (dahi) kaynar.

Bir akışkan sistemindeki basınç Bernoulli Kanunu'na tâbidir. Akışkan hızı artarsa, basınç düşer. Basınç, aynı zamanda, sistemde mevcut olan sürtünme miktarının bir fonksiyonudur. Bu iki olgu nedeniyle, çarkın girişindeki basınç bazen akışkanın kaynamasına yetecek veya oda sıcaklığında buhar oyukları oluşturacak kadar düşebilir.

Girişteki düşük basınç, hem sıvı kaynakları arasındaki basınç kayıplarından hem de akışkanın çarka girdiğinde yüksek hızlara çıkması nedeniyle doğabilir. Küçük buhar kabarcıkları oluşur ve akışla birlikte sürüklenir. Pompanın amacı, basıncı artırmak olduğundan, kabarcıklar hızla yüksek basınç alanına gider ve orada patlarlar. Eğer patlama akışkanın ortasında meydana gelirse, kabarcıklar aynı yapıda kalarak patlar ve bu önemli bir sorun yaratmaz. Ancak, kabarcık patladığında, oyuk yüzey boyunca ilerlerse, akış tarafından gelerek oyuğu dolduran sıvı, yüzeye doğru yönelmiş bir mikro jet oluşturur.

Şekil 5.9. Kaviteasyonla bağlantılı olarak hasar verici mikro jetlerin oluşması



Bu mikro jetler, duvar yüzeyinden parça koparacak kadar güçlüdür. Bir süre devam eden sabit bombardımanın ardından, kavitasyona maruz kalan yüzey bozulur ve oldukça engebeli bir hale gelir (bakınız Şekil 5.10).

Kavitasyonu önlemenin tek yolu, basıncı, buhar kabarcıklarının oluşamayacağı düzeye yükseltmektir. Kavitasyonu önlemek için ne yükseklikte basınç gerektiğini bilmek için, sıvı basıncını, mevcut sıcaklıktaki akışkanın buhar basıncıyla karşılaştırmak gerekir. Bunun için, NPSH veya "net pozitif emme yüksekliği" denilen terim kullanılır; bu terim, bir sıvının gerçek basıncı ile verilen sıcaklıktaki sıvının buhar basıncının ölçüsüdür.

**Şekil 5.10. Çark üzerinde kavitasyon hasarı**



Buhar basıncı üzerinde mevcut olan basıncı göstermek için, "mevcut net pozitif emme yüksekliği" (net positive suction head available; NPSHA) bulunur.

$$NPSHA = H_s + H_a - H_{vp} - H_f$$

burada:

$H_s$  = çarkın eksenindeki statik basma yüksekliği,

$H_a$  = giriş tankındaki akışkanın serbest yüzeyindeki basınç,

$H_{vp}$  = akışkanın buhar basıncı, ve

$H_f$  = pompanın giriş tarafındaki tüm sürtünme kayıpları

Pompa kavite olmaya başladığı zaman, testlerden sonra, pompa üreticisi tarafından yayınlanan "gerekli net pozitif emme yüksekliği" (net positive suction head required; NPSHR) ile mevcut NPSHA karşılaştırılmak zorundadır. Çıkış basıncının kavitasyonsuz performansa göre %3 düştüğü noktada NPSHR'nin ölçülmesi gerektiğine dikkat edilmelidir.

Kavitasyonu önlemek için NPSHA'nın üzerinde bir emniyet sınırı tanımlamaya yönelik çeşitli girişimler olmuştur. Bugüne kadar, pompa üreticileri böyle bir sınır üzerinde mutabık olamamışlardır.

Kavitasyon riskinin bulunduğu her durumda, tasarımcı üretici ile temasa geçmeli ve kendi özel durumu açısından sınırın ne kadar yüksek tutulması gerektiği konusunda bilgi almaya çalışmalıdır.

## Alıştırmalar

### Örnek 1:

355 mm çapında çark takılı, çift emişli santrifüj pompa, 190 l/s debide proses soğutma suyu sağlamaya ayarlanmıştır. Pompalama sistemi, 50 m basma yüksekliği ve %80 pompa veriminde ( $\eta$ ) yılda 8.000 saat işletilmektedir. Pompa 119 kW'a ihtiyaç duymaktadır. Pompa ve sistem eğrileri incelendiğinde, boyutlandırılmış bir çark kullanılarak 38 m basma yüksekliğinde, istenen debi 190 l/s sağlanabilmektedir. Sistemde statik basma yüksekliği yoktur.

Çark için gerekli debiyi sağlayacak yaklaşık yeni boyutlandırmayı hesaplayın. Sonra, kWh başına 0,10 \$ maliyet kullanarak, yaklaşık enerji ve maliyet tasarruflarını hesaplayınız. Motor verimini %94 olarak kabul ediniz.

### Çözüm:

Benzerlik Kanunları kullanılarak, boyutlandırılmış çarkın çapı aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$D_2 = D_1 \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{1/3} \quad D_2 = 355 \left( \frac{41}{54} \right)^{1/3} \quad D_2 = 325$$

325 mm'lik boyutlandırılmış çark takıldığında, giriş gücü ihtiyacı, pompa denkleminde yararlanılarak bulunabilir:

$$\text{Güç(W)} = \frac{\text{Debi} \cdot \text{basma yüksekliği} \cdot \text{yoğunluk}}{102 \cdot \eta_{\text{pompa}} \cdot \eta_{\text{motor}}}$$

$$\text{Güç(W)} = \frac{190 \cdot 38 \cdot 1000}{102 \cdot 0,8 \cdot 94}$$

$$\text{Güç} = 94,1 \text{ kW}$$

Enerji tasarrufları:

$$(119,0 \text{ kW} - 94,1 \text{ kW}) \times 8.000 \text{ saat/yıl} = 200.000 \text{ kWh/yıl.}$$

\$0,10/kWh fiyat üzerinden, bu tasarruflar yılda 20.000 \$ olur.

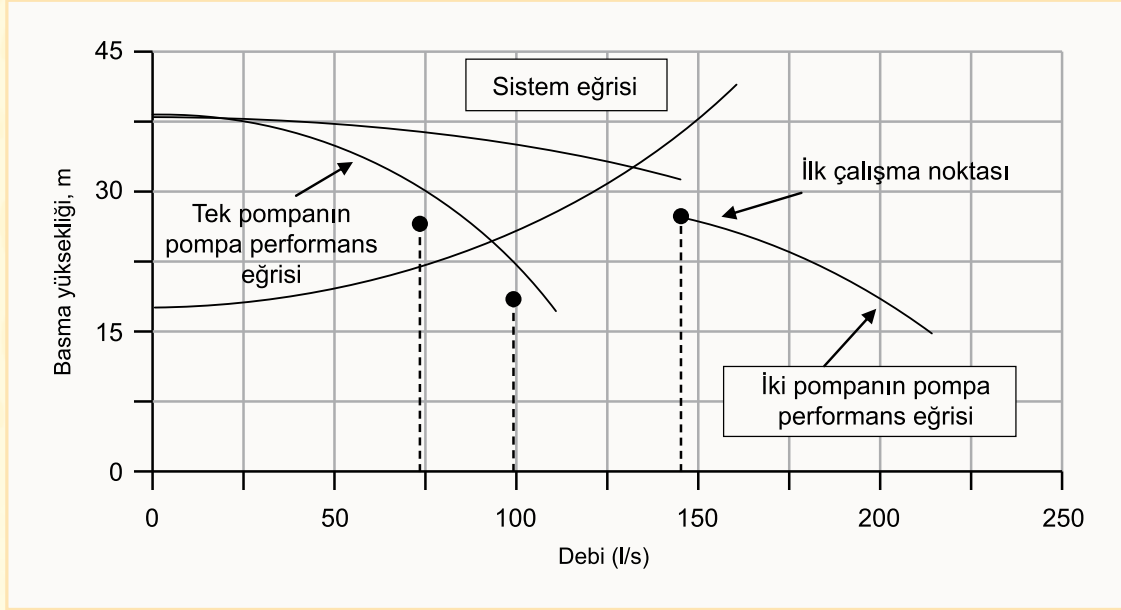
*Not: Benzerlik Kanunları'nın yukarıdaki gibi kullanılması, hatalara yol açabilecek bir yaklaşık kabuldür. Uygun eğrileri almak için pompa üreticisine danışmak daha iyi bir hareket tarzıdır.*

### Örnek 2:

Toplam 22,5 m basma yüksekliğinde 100 l/s debi sağlayan bir ayrıık gövdeli santrifüj pompanın kendi en verimli noktasında (BEP) çalıştığını farz ediniz.

Paralel bağlı eşdeğer bir pompa çalıştırıldığında, sistemin bileşke çalışma noktası 32 m basma yüksekliğinde 145 l/s debiye kayar (bakınız Şekil 5.9). Pompaların her biri şimdi %80 verimle çalışmakta ve 72,5 l/s kapasite sağlamaktadır. Akışkan debisi ise %45 artmıştır.

Şekil 5.9. Paralel bağlı iki eşdeğer pompanın bileşke pompa eğrisi



Statik basma yüksekliği 15 m'dir ve pompa yılda 4.000 saat çalışmaktadır. Pompa %90 verimle çalışmakta ve özgül ağırlığı 1,0 olan bir akışkanı basmaktadır. Motor ve sürücünün bileşke verimi %94'tür.

1. Tek pompa çalışırken gereken elektrik gücünü hesaplayınız.
2. İki pompa çalışırken sistem için gereken elektrik gücünü hesaplayınız.
3. Aşağıdaki bağıntıyı kullanarak, her iki durum için özgül enerjiyi ( $E_s$ ) hesaplayınız:

$$E_s = \frac{\text{Enerji Tüketimi (kWh)}}{\text{Basılan (m}^3\text{)}} = \frac{\text{Güç (kW)}}{\text{Debi (m}^3\text{/h)}}$$

#### Çözüm:

1. Tek pompa için güç denklemini kullanarak:

$$\text{Güç} = \frac{\text{Debi(l/s)} * \text{basma yüksekliği(m)} * \text{yoğunluk}}{102 * \eta_{\text{pompa}} * \eta_{\text{motor}} * \eta_{\text{VSD}}}$$

$$\text{Güç}_1 = \frac{100 \text{ l/s} * 22,5 \text{ m}}{102 * ,90 * ,94}$$

$$P_1 = 26,1 \text{ kW}$$

2. İki pompa için güç denklemini kullanarak:

$$\text{Güç}_2 = \frac{145 \text{ l/s} * 32 \text{ m}}{102 * ,80 * ,94}$$

$$P_2 = 60,5 \text{ kW}$$

Akışkan transferi uygulamalarında, özgül enerjiyi ( $E_s$ ) incelemek faydalıdır (basılan akışkanın milyon litresi için gereken enerji)

Tek pompalı işletim için özgül enerji ( $E_s$ ):

$$E_{s1} = \frac{\text{Güç tüketimi (W)}}{\text{Debi (m}^3/\text{h)}}$$

$$E_{s1} = \frac{26 \cdot 100 \text{ W}}{100 \text{ l/s}} = \frac{26 \cdot 100 \text{ kW}}{0,1 \cdot 3.600 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,0725 \text{ kWh/m}^3$$

İki pompa işlediğinde özgül enerji şu değere yükselir:

$$E_{s2} = \frac{60,5 \text{ kW}}{0,145 \cdot 3.600 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,116 \text{ kWh/m}^3$$

Her iki pompa paralel işletilirken, elektrik talep yükü (kW çekişi) 34 kW kadar artar. Proses ihtiyaçları, tek pompanın kullanılmasına izin verirse, pompalama enerjisi %37 azalacaktır.

### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Santrifüj pompa eğrilerinin kavranması,
- 2) Çeşitli eğrilerde hangi bilgilerin verildiğinin bilinmesi,
- 3) Benzerlik Kanunları'nın ve kullanım amacının kavranması,
- 4) Pompanın, pompa eğrisi üzerinde nerede çalışacağını bilmesi,
- 5) Hız veya geometri değiştiğinde pompa performansının nasıl değişeceğini bilmesi,
- 6) Pompaların paralel veya seri bağlandığında ne olacağını kavranması,
- 7) Kaviteasyonun ne olduğunu kavranması.





## Bölüm 6

# Pompa Bakımı ve Güvenilirliği

## 6.1. Genel

Bakım maliyeti, bir pompalama sisteminin ömür boyu maliyetinin büyük kısmını, bazen de baskın olan kısmını oluşturur. Bazı araştırmalar, bu maliyetin kontrol altına alınabileceğini veya en azından sistem tasarımından ve pompayı işletme biçiminden etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu bölümdeki bilgiler, söz konusu maliyeti etkilemek ve daha iyi kontrol altına almak için neler yapılabileceğine ilişkin birtakım sezgileri sunmaktadır.

Mühendisler sistem tasarımını ve bileşenlerini belirlerken, bakım maliyeti, henüz tasarım aşamasında, büyük ölçüde belirlenmiş olur. Pompanın çalışacağı çalışma noktasının yanı sıra, diğer özellikler de sistem güvenilirliğini ve dolayısıyla işletim ve bakım maliyetini büyük ölçüde belirler.

Normal olarak tasarım süreci, sistemin amacının belirlenmesiyle başlar; yani ne basılacak, hangi debide, hangi basınçta, hangi mesafeye vs. Bu sorulara verilecek cevaplar boru çapı, kontrol sistemi, malzeme seçimi, pompa tipi vs. seçimini etkiler.

Bu noktada, yapılan tüm hesaplamaların teorik ve yaklaşık olduğu unutulmamalıdır. Sistem inşa edilip ilk çalıştırıldığında, hesaplanan değerlerden kesinlikle sapmalar olacaktır. Ayrıca, pompanın çalışma noktası, başlangıçta hesaplanan noktadan farklı olacaktır.

Proses talebi de genellikle zaman içinde değişir; pompa için farklı işletim/görev noktaları oluşmasına yol açar. Bu türden durumlarda, değişikliklerin güvenilirlik ve bakım maliyetini olumsuz etkilememesi için sistem yeniden değerlendirilmelidir.

Yüksek güvenilirlik ve düşük bakım maliyeti elde etmenin en iyi yolu, sistemin amaca uygun biçimde tasarlanmasını sağlamaktır. Ayrıca sistem, amacına uygun olarak da işletilmelidir. Proses değişiklikleri nedeniyle hedeflenen çalışma noktasından sapmalar veya tasarım aşamasında gereğinden büyük boyut tanımlanması, pompanın BEP'ten uzakta çalışmasına neden olabilir;



bu da, sistem bileşenlerinin ömrünü olumsuz etkiler. Modern kontrol ve izleme sistemleri, pompaların zararlı koşullarda işletilmesini önleyebilir.

## 6.2. Güvenilirliği Etkileyen Faktörler

Deneyimler, bir pompalama sisteminin güvenilirliği ve dolayısıyla bakım maliyetini genellikle aşağıdaki faktörlerin etkilediğini göstermiştir:

- Pompa tipi seçimi (uygulama için uygun malzemenin kullanılması dâhil)
- Uygun dolgulama ve hizalama (hizalama, borular dolu iken yapılmalıdır)
- Uygunsuz boru tesisatı ve giriş koşulları
- Yetersiz NPSH
- Sürüklenen hava
- Kuru çalıştırma
- İzin verilen aralık dışında işletme
- Uygunsuz dengeleme
- Conta ve yataklar
- Bilyalı yatak kirlenmesi, yanlış yağ veya gres kullanımı
- “Korsan” parça kullanımı ve uygunsuz tamir
- Düzensiz bakım
- Operatör eğitimsizliği

Bu faktörlerin çoğu üzerinde, en azından bir dereceye kadar kontrole sahip olduğumuz açıktır. Aşağıdaki bölümde çeşitli faktörler kısaca açıklanmaktadır.

### 6.2.1. Pompa tipleri ve servis

Her şeyden önce, belirlenen pompa kullanım amacına uygun olmalıdır. Aşağıdaki uluslararası standartlar bu konuda rehberlik sağlar:

- API 610’a karşılık gelen ISO 9905
- Çoğu endüstriyel uygulamayı kapsayan ISO 5199
- ISO 9908 hafif görev uygulamaları

Bu standartlar, mühendislerin belirli uygulamalar için hangi pompa özelliklerinin tavsiye edildiğini anlamalarını sağlar. Örneğin, kimyasal maddeleri basmak için, atık su için tasarlanan pompalar yerine kimyasal pompa kullanılır. Çünkü, atık su pompası kimyasal madde basmak için uygun tasarıma sahip olmayabilir. Öte yandan, pompa seçimini etkileyen daha başka faktörler vardır. Söz konusu faktörler bu bölümde anlatılacaktır.

### 6.2.2. Kurulum: dolgulama, hizalama ve nozul yükleri

Bu konu başlı başına bir bilimdir. Hidrolik Enstitüsü yeni bir ANSI Standardı yayımlamıştır:

*American National Standard for Centrifugal and Vertical Pumps for Allowable Nozzle Loads (ANSI/HI 9.6.2-New)* [Santrifüj ve Dikey Pompalarda İzin Verilen Nozul Yüklerine İlişkin Amerikan Ulusal Standardı (ANSI/HI 9.6.2-Yeni)]

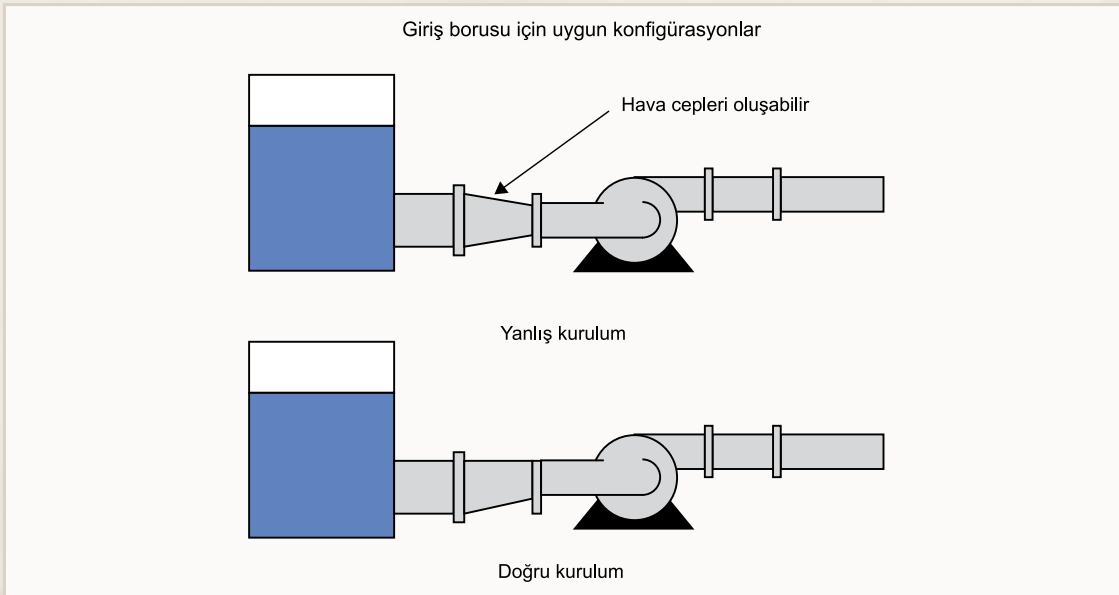
Bu Standart, aşağıdaki hususları kapsamaktadır:

- Motor-pompa bağlantı ayarı
- Pompa iç çarpıklığı
- Pompa sabitleme civataları
- Pompa altlığı
- Nozul gerilmesi
- Basınç-sıcaklık ilişkisi
- Pompa malzemeleri
- Altlık konstrüksiyonu

Şimdilik, pompanın yeterli biçimde çalışması için uygun kurulum gerektiğini belirtmekle yetinmek yerinde olacaktır.

Pompanın uygun biçimde kurulmasına ek olarak, boru ve sistem bileşenlerinin uygun biçimde seçilmesi ve kurulması da pompa güvenilirliği bakımından kritik önem taşır. Buna ilişkin bir örnek Şekil 6.1'de verilmektedir.

**Şekil 6.1. Giriş borusunun uygun biçimde kurulması**



### 6.2.3. Uygunsuz boru tesisatı ve giriş koşulları

Boru tesisatının uygun biçimde tasarlanması, sorunsuz işletim bakımından önemli bir faktördür. Boru çapı arzu edilen debiler için çok küçükse, sistemde çok yüksek akış hızlarına ve basınçta büyük düşümlere neden olur. Bu da pompanın gerekenden daha yüksek basınç üretmesi demektir. Giriş basıncı bu durumda daha düşük olur ve kavitasyon sorunları oluşması riski artar.

Bir pompaya girişin kötü veya dengesiz olması, pompa performansı üzerinde büyük etkiler yaratır. Giriş mümkün olduğunca dengeli olmalıdır. Ne pahasına olursa olsun, girdap (vorteks) oluşması önlenmelidir. Pompa sorunlarının %80'i sistem sorunlarıdır ve bunların da %80'i emiş sistemi sorunlarıdır.

### 6.2.4. NPSH

NPSHR, pompanın işletimi sırasında kavitasyon hasarını önlemek amacıyla, çarkın girişinde gereken basınç miktarıdır. NPSHA ise mevcut basınçtır ve gereken basınç NPSHR'den yüksek olmalıdır. Bir pompanın NPSH ihtiyaçlarını gösteren eğrilerin, genellikle, kavitasyonsuz performans nazaran basınçta "%3'lük düşüş"e karşılık geldiğine dikkat ediniz.

EUROPUMP ve Hydraulic Institute (HI), kullanıcılar için NPSHR üzerinde önerilen NPSHA sınırlarını belirten NPSH sınırları için ANSI/HI9.6.1 1998 Standardını yayımlamıştır.

### 6.2.5. Sürüklenen hava

Basılan madde içinde sürüklenen havanın mümkün olduğunca önlenmesi çok önemlidir. Sürüklenen hava, pompada kavitasyon benzeri hasara yol açar. Aynı zamanda çok ağır gürültü problemleri doğurabilir. Bazen küçük bir miktar hava, pompanın sessizleşmesini sağlar. Santrifüj pompalar ancak %3-5 civarı havayı tolere edebilir, ondan sonra performans düşmeye başlar.

### 6.2.6. Kuru çalıştırma

Kuru çalıştırma veya vana kapalıyken çalıştırma, pompa içinde çok büyük ısı oluşumuna, parçaların felç olmasına ve en kötü senaryoda ise patlamaya yol açabilir. Bu durumun önlenmesi için, sistemin uygun biçimde izlenmesi gerekir. Şekil 6.2, bir pompanın uzunca bir süre kapalı vana karşı çalıştırılması halinde nelerin olabileceğini göstermektedir.

**Şekil 6.2. Pompanın her iki tarafında vanaların kapalı olması nedeniyle patlama**



### 6.2.7. İzin verilen çalışma aralığı

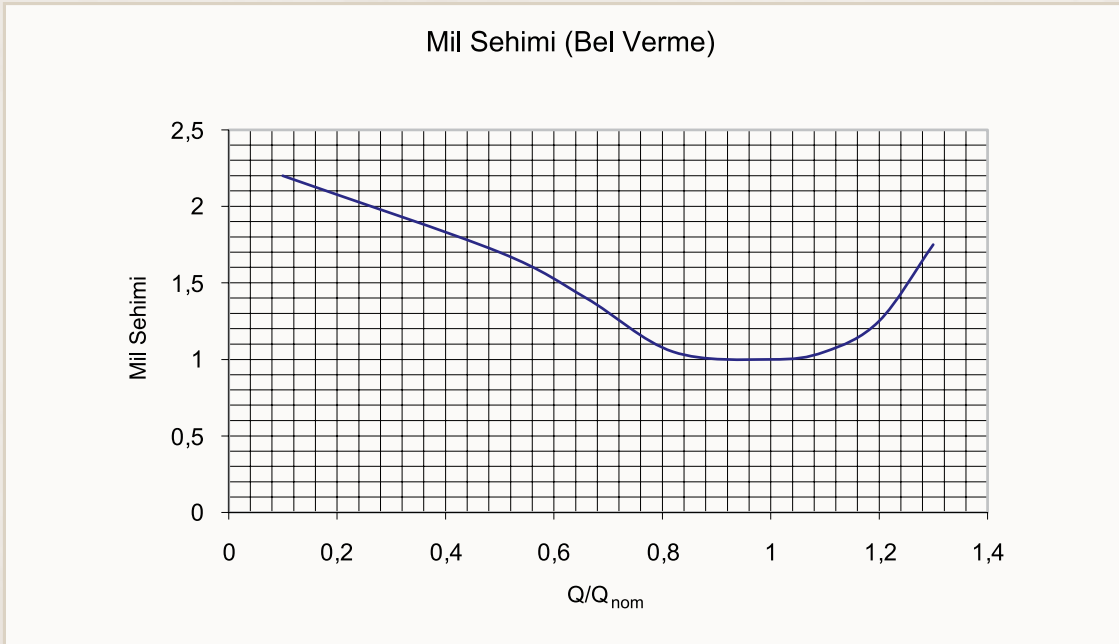
Her santrifüj pompanın, pompa eğrisi üzerinde işaretli en verimli noktası (BEP) vardır. Bu, pompa için tasarım noktasıdır. Bu noktada verim azamiye ulaşır ve yataklar üzerindeki kuvvetler genel olarak en düşük düzeydedir. Pompa BEP'ten uzakta işletildiğinde verim düşer.

Pompa en verimli noktadan uzakta işletildiğinde pompadaki zararlı hidrolik kuvvetler hızla yükseldiğinden, üreticiler BEP civarında "izin verilen veya tavsiye edilen çalışma aralığı" tayin ederler. Pompa bu aralığın dışında uzun süre işletilirse hasar görebilir.

Sistem tasarımcısı, istenen görev için doğru pompanın seçilmesinde kullanılacak sistem eğrisini hesaplamalıdır. Sistem eğrisi, pompanın pompa eğrisi üzerinde nerede çalışacağını belirler.

Güvenilirlik ve bakım açısından daha da önemlisi, pompadaki hidrolik kuvvetlerin hızla yükselmesidir; bu durum Şekil 6.3'te gösterildiği gibi mil sehimini etkileyebilir.

Şekil 6.3. Radyal kuvvetler nedeniyle tipik mil sehimini



Çalışma noktasının değiştirilmesi hem sistem eğrisi değiştirilerek, yani kısma suretiyle; hem de pompa hızını değiştirme yoluyla pompa performansını değiştirerek yapılabilir. Gerçek çalışma noktasının her durumda hesaplanan çalışma noktasından farklı olacağı hatırlanmalı ve bu nedenle, sistem devreye alınırken mümkünse ayarlamalar yapılmalıdır. Zamanla prosesler genellikle değişir, bu da pompanın çalışma noktasında değişikliklere yol açar.

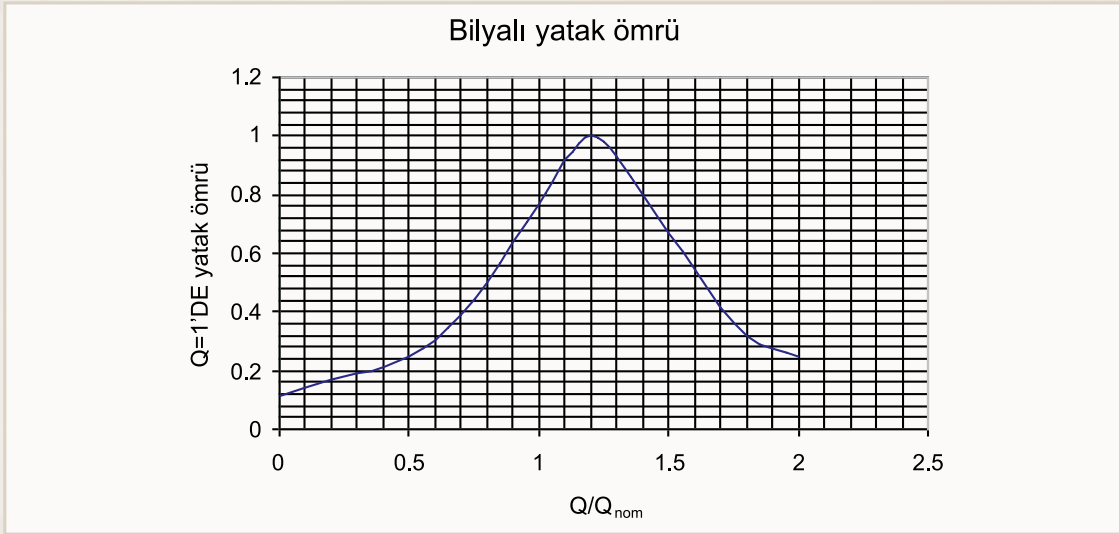
Proses endüstrisinde pompalar genellikle vanalar ile regüle edilir. Yaygın biçimde olan bir şey de, operatörlerin üretimi artırmak istemesi ve bunun sonucunda debileri artırmak amacıyla kontrol vanalarını açmasıdır. Böyle durumlarda pompanın eğri üzerinde çok ileriye giderek kavitasyon moduna girmemesine veya yataklar üzerinde aşırı yükler yaratmamasına dikkat edilmelidir.

### 6.2.8. Conta ve yataklar

BEP noktasında çark üzerine binen hidrolik yükler asgariye iner ve genellikle oldukça karardır. BEP'ten yüksek veya düşük akışlarda, hidrolik yüklerin şiddeti artarak çark ve gövdede türbülans ve/veya ters akış nedeniyle kararsızlaşır. Bu kararsız yükler, pompanın hem contaları hem de yatakları üzerinde gerçekten olumsuz etkiler yaratır.

Şekil 6.4, salyangoz tipi santrifüj pompa için yatak yükleri ve mil sehiminin debi ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu durum, çalışma noktasının yatak ömrü üzerindeki etkisinin ne derece büyük olabileceğini ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak, conta ömrü de mil sehimine büyük ölçüde bağlıdır.

Şekil 6.4. Normalize edilmiş debi fonksiyonu olarak tipik bilyalı yatak ömrü



Yatakların kirlenmesi, yatak ömrünü ciddi biçimde kısaltabilir ve arızaya yol açabilir. Bu nedenle yataklar her türlü kirlenmeye karşı iyi korunmalıdır. Ayrıca, kullanılması gereken yağ veya gres tiplerine ilişkin olarak yatak üreticisinin tavsiyelerine uymak çok önemlidir.

Yakın zaman önce yapılan testler, lokma bilyalı yatağındaki gresin içine giren her türlü dış sıvının, gresin veya yağın hızla bozulmasına yol açtığını göstermiştir. Bozulan gres, yatağın hareketinin etkisiyle yatağın dışına aktarılmakta ve kısa süre içinde arıza olmaktadır. Bu nedenle, gresli yatakların her türlü su veya basılan akışkanın sızmasına karşı korunması aşırı önemlidir.

### 6.2.9. "Korsan" parça kullanımı ve uygunsuz tamir

Pompalama sisteminin kalitesinin muhafaza edilmesi için, tamirde orijinal parçaların kullanılması zorunludur. Bu zorunluluk, yataklar gibi parçaları da kapsar; bu konuda üreticinin tavsiyelerine harfiyen uyulmalıdır.

### 6.2.10. Uygunsuz dengeleme

Döner parçaların uygunsuz biçimde dengelenmesinin, yataklar üzerindeki kuvvetlerin artmasına ve dolayısıyla yatak ömürlerinin kısalmasına yol açacağı aşikârdır. *ANSI/HI Standardı 9.6.4 -Yeni ve ISO Standartları*, ya lokma bilyalı ya da bilyalı yatakları olan pompalar için maksimum

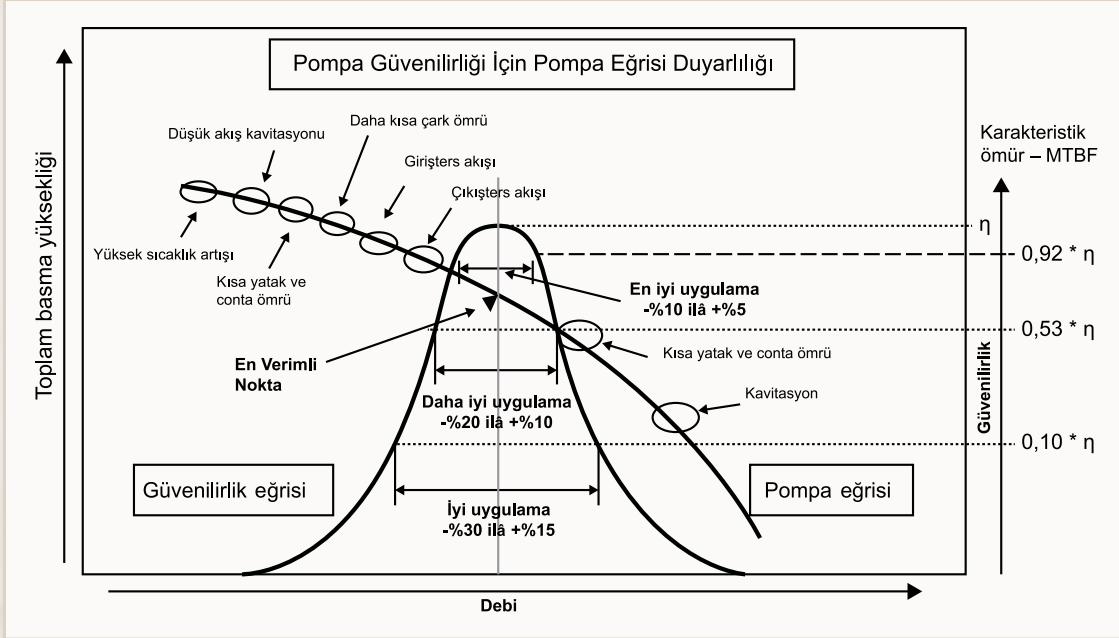
filtresiz titreşim sınırlarına ilişkin tavsiyeler içermektedir. Pompa üreticileri, kendi deneyimleri ve teorik analizlere dayanarak, titreşim genlikleri bu sınırları aşmadığı sürece, titreşim kuvvetleri nedeniyle pompa ömrü veya güvenilirliği üzerinde olumsuz etki olmadığını tespit etmişlerdir. Saygın üreticiler, kendi ürünlerinin bu standartlara uygun olarak dengeli olduğunu garanti ederler.

Basılan ortamda bulunan yabancı maddeler işletim esnasında çarka hasar verebilir. Bu nedenle, pompanın iyi durumda olduğunu anlamak için titreşim düzeylerini izlemek iyi bir uygulamadır.

### 6.2.11. BEP dışında çalıştırmanın bakıma etkisi

Güvenilirlik ve dolayısıyla bakım maliyeti büyük ölçüde, pompanın kendi eğrisi üzerinde nerede işletildiğine bağlıdır. Şekil 6.5 güvenilirliğin en verimli noktadan (BEP) olan uzaklıkla nasıl değiştiğini göstermektedir. Görüleceği üzere, BEP'ten en küçük sapmalar dahi güvenilirlik üzerinde büyük etkiye sahiptir.

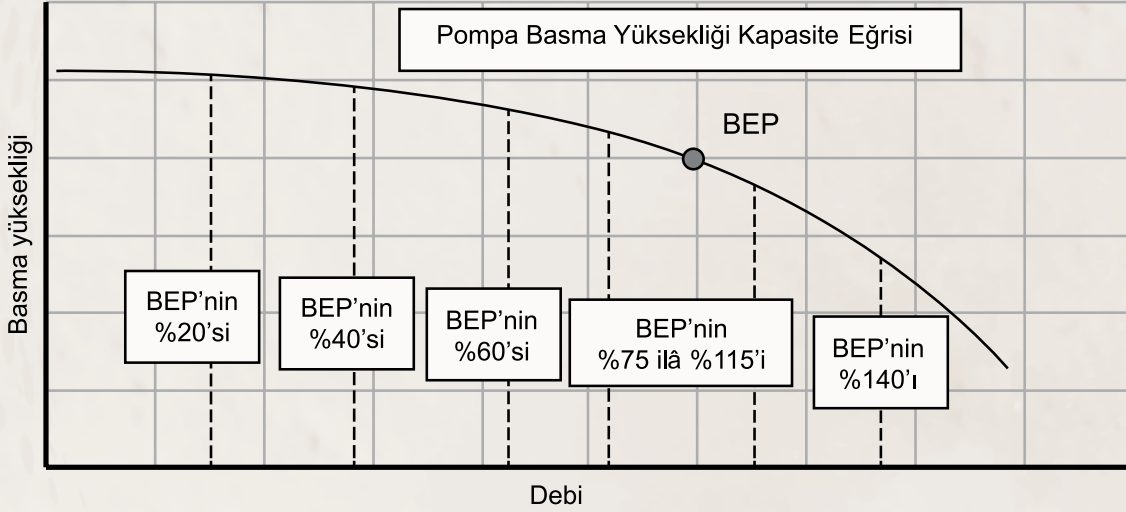
Şekil 6.5. BEP'ten uzaklığın fonksiyonu olarak güvenilirlik



### 6.2.12. BEP'ten uzaklığa göre bakım maliyeti

Bir pompa kendi BEP'inden uzakta işletildiğinde, pompa çarkına etki eden akışkan içindeki kuvvetler hızla artar. Yatak ömrü, yatakların karşılaşması gereken kuvvetlere bağlı olduğundan, yatak ömürleri Şekil 6.4'te gösterildiği gibi etkilenir ve artan kuvvetler, Şekil 6.3'te görüldüğü gibi mil sehiminde artışa neden olurlar; bu da yatak ömrü üzerinde çok olumsuz etki yapar. Çalışma noktasının BEP'ten sapması büyükse, çarkta kavitasyon veya ters akış nedeniyle titreşimler de olabilir. Akışkanın akışı kararsızlaştıkça, çarka verilen hasar artar ve çark ömrü kısalmır. Tablo 6.1'de, çalışma noktasının bakım maliyetini nasıl etkilediğine ilişkin olarak kimya endüstrisinden bir örnek verilmektedir.

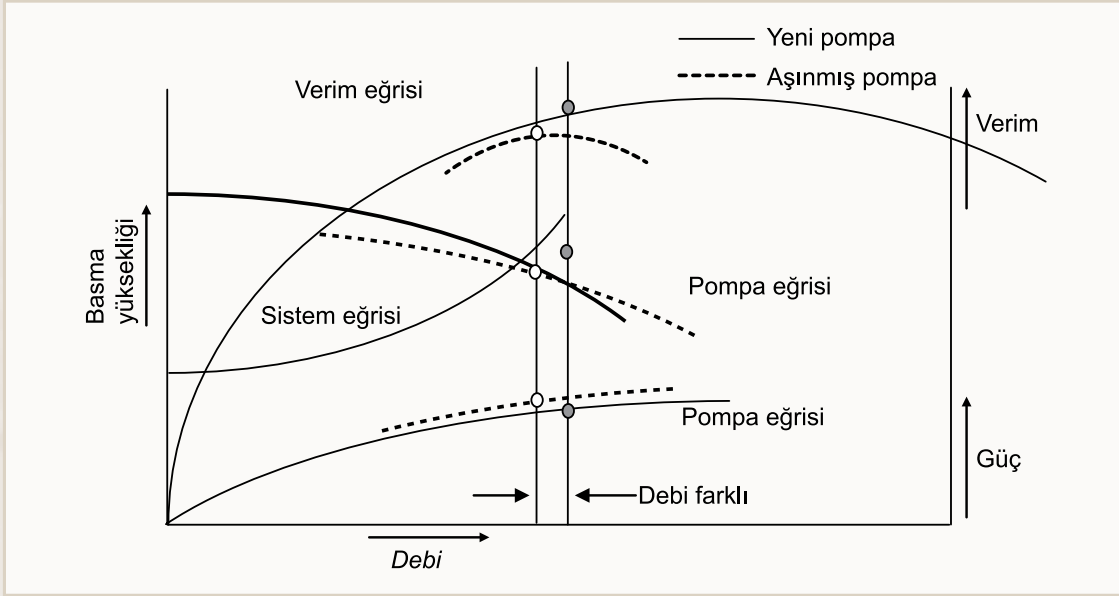
Tablo 6.1. Bakım maliyetinin BEP'ten uzaklığa göre nasıl değişebileceğine ilişkin örnek



|                         |                  | En Verimli Noktanın %'si |       |       |              |        | Maliyet/Arıza (\$) |          |
|-------------------------|------------------|--------------------------|-------|-------|--------------|--------|--------------------|----------|
|                         |                  | 20%                      | 40%   | 60%   | 75% ilâ 115% | 140%   |                    |          |
| Contalar                | Ömür             | 2 ay                     | 4 ay  | 1 yıl | 2 yıl        | 2 ay   | 1.000              | Parçalar |
|                         | Arıza/Yıl        | 6                        | 3     | 1     | .5           | 6      | 500                | İşçilik  |
|                         | Maliyet/Yıl (\$) | 9.000                    | 4.500 | 1.500 | 750          | 9.000  |                    |          |
| Yataklar                | Ömür             | 1 yıl                    | 3 yıl | 4 yıl | 5 yıl        | 1 yıl  | 500                | Parçalar |
|                         | Arıza/Yıl        | 1,00                     | 0,33  | 0,25  | 0,20         | 1,00   | 500                | İşçilik  |
|                         | Maliyet/Yıl (\$) | 1.000                    | 333   | 250   | 200          | 1.000  |                    |          |
| Gövde/Çark              | Ömür             | 2 yıl                    | 5 yıl | 7 yıl | 10 yıl       | 2 yıl  | 2.000              | Parçalar |
|                         | Arıza/Yıl        | 0,50                     | 0,20  | 0,01  | 0,10         | 0,5    | 0                  | İşçilik  |
|                         | Maliyet/Yıl (\$) | 1.000                    | 400   | 285   | 200          | 1.000  |                    |          |
| Toplam Maliyet/Yıl (\$) |                  | 11.000                   | 5.230 | 2.040 | 1.150        | 11.000 |                    |          |

### 6.2.13. Pompa yıpranmasının pompa karakteristikleri üzerine etkisi

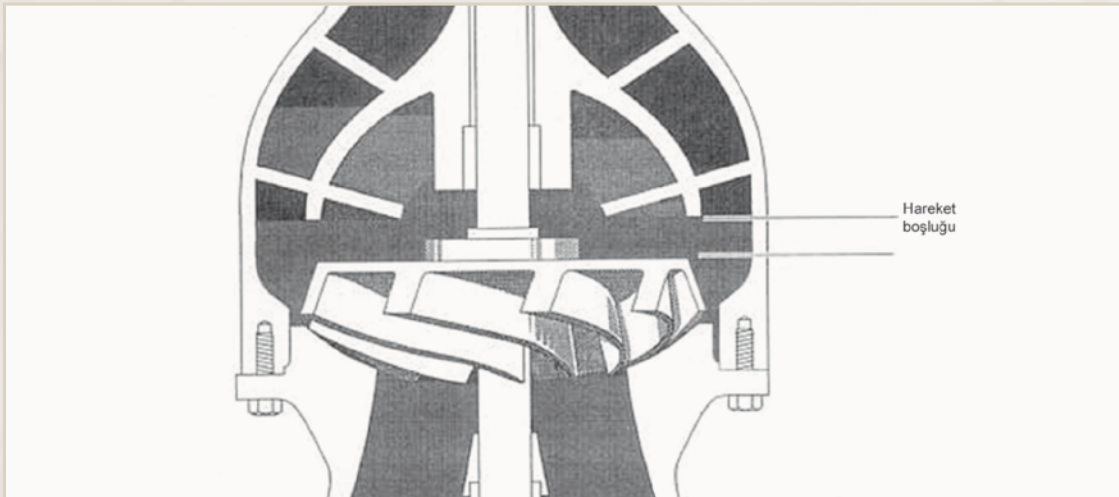
Bir süre hizmet verdikten sonra, pompaların başlangıçtaki verimlerini sürdürmesi için ayarlanmaya ihtiyaçları olur. Pompa tipine bağlı olarak bu ayarlamalar, aşınma plakalarını ayarlamak veya çark ile pompa haznesi arasındaki mesafeyi ayarlamak şeklinde yapılabilir. Belirli aralıklarda ayarlar yapılmazsa, pompa karakteristikleri değişebilir ve pompa, tavsiye edilen çalışma aralığı dışında çalışıyor olabilir. Pompalama sisteminin devreye alınmasından sonra pompanın durumunu kaydetmek ve periyodik testler yaparak olası sapmaları ortaya çıkarmak iyi bir uygulamadır. Şekil 6.6'da pompa yıpranmasının pompa karakteristiklerini nasıl etkileyebileceğine ilişkin bir örnek verilmektedir.

**Şekil 6.6. Pompa yıpranmasının pompa karakteristikleri üzerine etkisi**

Pompalar farklı biçimlerde yıpranır. Verim, debi ve basınç hemen hemen her zaman azaltılmasına rağmen, güç, pompaya bağlı olarak artabilir veya azalabilir. Bunu bilmek önemlidir. Çünkü, sulama benzeri sistemler için kullanılan pompalar, pompa verimi iyileştirildikten sonra bile, hâlâ aynı süre boyunca işletiliyorsa (ve daha fazla akış basıyorsa) güç tüketimi artabilir. Böyle sistemlerde, artan pompa veriminden fayda görebilmek için pompaların daha az süreyle çalıştırılması gerekir.

Şekil 6.7'de görülen, dikey kuyu pompası performansının artması için, yarı açık çarkın kanatlarının tabanı ile hazne gövdesi arasındaki uygun açıklığın muhafaza edilmesi gerekir.

Yarı açık çarkı olan bir dikey türbin pompa için pompa ayarları, milin tepesindeki bir somunu ayarlamak suretiyle çarkı alçaltarak yapılır. Ancak bu teknik, kapalı çarklı pompalarda işe yaramaz.

**Şekil 6.7. Dikey türbin pompa için hareket boşluğu**



## 6.3. Pompalama Sisteminin İzlenmesi

Bakım uygulamaları bir tesisten diğerine önemli ölçüde farklılık gösterir. Her bakım biriminin üzerinde durması gereken temel konular şunlardır:

- Ekipman tamiri ve koruyucu bakımı yapmak için yeterli ve nitelikli personel bulundurmak,
- Doğru ekipman, alet ve yedek parçaları hazır bulundurmak,
- Bakım görevlerini sistematik ve etkin biçimde yapmak,
- Ekibin bir parçası olduklarını ve tesisin işletilmesi için onların desteğine ihtiyaç duyulduğunu anlamak,
- Bakım faaliyetlerini etkin bir “varlık yönetim programı”na entegre etmek üzere tesis yönetimi ile işbirliği yapmak,
- Bakım faaliyetlerini etkin biçimde planlayan bakım amirlerine sahip olmak,
- Düzeltici, kestirimci ve koruyucu bakımı maliyet etkin biçimde dengelemek.

Terry Wireman'ın Computerized Maintenance Management Systems [Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri] adlı eserinde yayımlanan bakım olgunluk matrisi (Tablo 6.2), farklı bakım düzeylerine ilişkin genel görünüm sağlamaktadır.

Tablo 6.2. Bakım olgunluk matrisi

| Ölçüm Kategorisi                                 | Aşama 1 Belirsizlik  | Aşama 2 Uyanma  | Aşama 3 Aydınlanma   | Aşama 4 Bilgelik   | Aşama 5 Kesinlik  |
|--|--|---|--|--|---|
| <b>Kurumsal/tesis yönetim tutumu</b>             | Bakım yoluyla önleme anlayışı yok; bozuldukça tamir et.  | Bakımın daha iyi düzeye getirilebileceğini bilir, ancak mali kaynak ayırmak istemez   | ROI hakkında daha fazla bilgi edinir; daha ilgili ve destekleyici olur.  | Katılımcı tutum; yönetim desteğinin zorunlu olduğunu kabul eder.   | Bakımı, şirketin tüm sisteminin bir parçası haline getirmiştir.   |
| <b>Bakım biriminin durumu</b>                    | REAKTİF: Ekipman arıza yaptığında el atar, sair zamanlarda çok az el sürer.  | BİLİNÇLİ: Hâlâ reaktiftir ancak büyük bileşenleri yeniden işler hale getirir ve arıza olduğunda kullanıma hazır yedek parçalar bulundurur.  | ÖNLEYİCİ: Rutin muayene, yağlama, ayarlama ve küçük bakım yaparak ekipmanın MTBF'sini iyileştirmeye çalışır.   | KESTİRİMCİ: Titreşim analizi, termografi, NDT, sonik vs. teknikleri kullanarak, ekipmanın durumunu izler; arızalar yerine proaktif değiştime ve problem çözmeye imkân tanır. | ÜRETKEN: Önceki teknikleri operatör katılımı ile birleştirerek bakım teknisyenlerini basit işlerden kurtararak tamir verilerinin analizi ve büyük bakım faaliyetlerine yoğunlaşmalarını sağlar.   |
| <b>İsraf edilen bakım kaynakları yüzdesi (%)</b> | %30+   | %20-30  | %10-20   | %5-10  | %5'ten az   |
| <b>Bakımın problem çözücülüğü</b>                | Ortaya çıkan, belirlenen sorunlarla boğuşulur.   | Kısa vadeli sorun giderimleri yapılır, temel arıza analizi başlatılır.  | Sorunlar, bakım faaliyetleri ve mühendisliğin sağladığı girdiler yoluyla çözülür.  | Sorunlar önceden tahmin edilir, güçlü ekip disiplinleri kullanılır.  | Sorunlar önlenir.   |
| <b>Bakım çalışanları, nitelik ve eğitim</b>      | Düşük kaliteli işler kabul edilir, meslek hiyerarşisi katıdır, becerilerin tarihi geçmiştir, beceri eğitimi gereksiz maliyet olarak görülür, kıdeme göre ücret verilir, çalışan devri düşüktür, çalışanlar ilgisizdir. | Çalışanların beceri eksiliği arızalar ile ilişkilendirilir, meslek hiyerarşisi sorgulanır, becerilerin eskidiği belirlenir, eğitim ihtiyaçları kabul edilir, geleneksel ücretlendirme sorgulanır. | Kalite + Kalite = Kalite, geniş ve paylaşılan görev tanımları, birkaç "kritik beceri" geliştirilmiştir, eğitim maliyeti karşlanır, hedeflenen beceriler için yeni ücret seviyeleri, artan devir/değişim korkusu. | Kaliteli iş beklenir, "çok becerili" iş tanımları vardır, beceriler günceldir ve izlenir, eğitim zorunludur ve sağlanır, yetkinlik artışı için ücret söz konusudur.          | Gurur ve profesyonellik yaygın, görevlendirme esneklik, gelecekteki ihtiyaçlar için beceri edinilir, operatörler bakım birimi tarafından eğitilir, sürekli eğitim vardır, ücretin belirli bir yüzdesi tesis üretkenliğine bağlanır, düşük çalışan devri/yüksek sevk vardır. |
| <b>Bakım bilgi ve iyileştirme eylemleri</b>      | Bakım birimi kayıtları tutmaya çalışır, disiplin uygulanmaz, veriler kalitesizdir.   | Bakım birimi, kılavuz veya bilgisayarlı iş sipariş sistemi kullanır; planlama çok azdır veya hiç yoktur.  | Bakım, işletim, mühendislik ve planlama birimleri kılavuz veya bilgisayarlı iş sipariş sistemi kullanır.   | Şirketin tüm birimleri kılavuz veya bilgisayarlı iş sipariş sistemi kullanır; bilgiler doğru ve güvenilirdir.  | Bakım bilgi sistemi, kurumsal işletim sisteminin bir parçasıdır.  |
| <b>Şirketin toplam bakım tutumu</b>              | "Ekipmanın niye arıza yaptığını anlamıyoruz; bakıma bunun için para ödüyoruz. Tabii, ıskarta oranlarımız yüksek ancak bu bakımla ilgili bir sorun değil."  | "Rakiplerimiz de bu türden ekipman sorunları yaşıyor mu? İskartalar bize pahalıya mal oluyor."  | "Yönetimin yeni adanmışlığıyla, sorunları teşhis etmeye ve çözmeye başlayabiliriz."  | "İşletme felsefemizin olağan bir parçası olarak, herkes kaliteli bakıma kendini adanmıştır. Kötü bakılan ekipman ile iyi kaliteli ürünler üretemeyiz."                       | "Arıza olmasını beklemiyoruz ve arıza olduğunda şaşırıyoruz; bakım, işimizin özüne katkıda bulunuyor."  |

Operatörler en azından üreticinin tavsiye ettiği bakım takvimini uygulamalı ve “olağan dışı sesleri duymak ve titreşimi hissetmek için periyodik olarak ekipmanın çevresinde dolaşmalıdır.”

Sistemi izlemek ve titreşim örüntülerinde sapmalar olup olmadığına bakmak da, daha ağır sorunlara yol açmasından önce sorunları tespit etmenin iyi bir yoludur.

### 6.3.1. Varlık yönetimi

Bir sistemin ömür, güvenilirlik ve üretkenliğini artırmanın çeşitli yolları vardır. Sistemden optimum değer elde etmek amacıyla sistemin yönetilmesine “varlık yönetimi” denir.

Bunu başarmanın anahtarı, sistemin daima tasarımcının hedeflerine uygun biçimde işletilmesini sağlamaktır. Bu hedefin başarılmasına katkıda bulunan birçok yeni ürün piyasada mevcuttur ve sürekli olarak yenileri piyasaya sürülmektedir. Bu ürünlerden/yöntemlerden birkaçına aşağıda değinilmektedir:

### 6.3.2. İzleme sistemleri

İzleme sistemleri uzun süredir piyasada mevcuttur ve elektronik bileşenlerin fiyatlarının düşmesiyle, daha da karmaşık hale gelmektedir. Debi, basınç, sıcaklık, devir sayısı, titreşim düzeyi vs.'nin izlenmesi oldukça yaygındır. Bu sistemler, normal işletim koşullarından sapmaları tespit edebilirler. Ancak, pompanın hedeflendiği gibi işletilmesini sağlayacak kişi hâlâ operatördür.

### 6.3.3. Entegre izleme ve kontrol sistemleri

Pompalama sistemlerinin izlenmesi ve kontrolündeki en son gelişmeler bu fonksiyonları entegre etmiştir. İzleme sensörlerinden gelen çıktılar küçük bir bilgisayara beslenir; bu bilgisayar özel algoritmalar kullanır ve hızı değiştirmek suretiyle pompa işletimini kontrol eder.

Böyle bir sistem aşağıdaki görevleri yapabilmektedir:

- Pompanın kapalı bir deşarj vanasına karşı çalışmasını önler,
- Pompanın kapalı bir giriş vanasına karşı çalışmasını önler,
- Kuru çalıştırmayı önler,
- Kaviteasyon modunda çalışmayı önler,
- İşletimi müşteri tarafından belirlenen çalışma aralığıyla sınırlar,
- Proses sisteminde arızalara tepki ve alarm verir,
- Müşterinin akış basıncını veya diğer proses değişkenlerini muhafaza etmesini sağlar,
- Pompanın bakıma ihtiyaç duyduğu zaman, örneğin aralıkların ayarlanması gibi, kullanıcıyı ikaz eden kendi kendine teşhis yetenekleri vardır.

### Alıştırmalar

#### Örnek 1:

Pompa verim testleri, değişken hız sürücüsü 150 kW'lık bir su pompasının, tam hızın %80'inde 15 m toplam basma yüksekliğinde 400 l/s ürettiğini göstermektedir. Elektriksel ölçümler, pompanın 110 kW çektiğini göstermiştir. Pompa, yılda 6.000 saat işletilmektedir ve enerji mali-

yeti kWh başına 0,05 \$'dır. Talep maliyeti kW başına 10,00 \$; aynı debi ve basma yüksekliğinde motor verimi %90; değişken hız sürücüsü (VSD) verimi %95 ve orijinal pompa verimi ise %85'tir.

1. Mevcut pompa verimini hesaplayınız.
2. Pompanın orijinal durumuna geri getirilmesiyle elde edilecek maliyet tasarruflarını belirleyiniz.

### Çözüm:

Önce, mevcut verimi hesaplamak için pompa denklemini kullanırız:

$$kW = \frac{\text{Debi(l/s)} * \text{basma yüksekliği (m)}}{102 * \eta_{\text{pompa}} * \eta_{\text{motor}} * \eta_{\text{VSD}}}$$

Pompa verimi ( $\eta_{\text{pompa}}$ ) için çözüm:

$$\text{Pompa verimi} = \frac{400(\text{l/s}) * 15 \text{ m}}{102 * 110 \text{ kW} * ,90 * ,90} = ,62$$

Sonra, aynı debi ve basma yüksekliğinde ancak orijinal pompa verimi ile, pompa denklemini kullanırız (VSD hızı, daha yüksek verimlerde daha düşük olur, çünkü pompa aynı basma yüksekliğinde daha az güç kullanarak aynı debiyi üretebilir):

$$kW = \frac{400(\text{l/s}) * 15 \text{ m}}{102 * ,85 * ,90 * ,95} = 81 \text{ kW}$$

$$110 \text{ kW} - 81 \text{ kW} = 29 \text{ kW}$$

$$\text{Yıllık Talep Tasarrufu} = 29 \text{ kW} * 10,00 \text{ \$/kW} * 12 \text{ ay} = 3.480 \text{ \$}$$

$$\text{Yıllık kWh Tasarrufu} = 29 \text{ kW} * 6.000 \text{ saat} * 0,05 \text{ \$/kWh} = 8.700 \text{ \$}$$

$$\text{Toplam Maliyet Tasarrufu: } 12.180 \text{ \$}$$

### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Bakım maliyeti, temelde sistem tasarlanırken belirlenmiş olur. Buradan açıkça anlaşılacağı üzere, pompalama sisteminin işletilme biçimi, güvenilirliği artırmanın ve bakım maliyetini azaltmanın gerçek anahtarıdır.
- 2) Pompanın, BEP'e mümkün olduğunca yakın bir noktada işletilmesi çok büyük önem taşır. Pompanın abartılı boyutta olması sıklıkla, bir vana kullanılarak akışın aşırı biçimde kısılmasına neden olur. Bu da, çalışma noktasının, normal olarak kapanışa doğru yönde değişmesine yol açar.
- 3) Uygun kurulum, sorunsuz işletim bakımından çok önemlidir.
- 4) Tüm tesisler, kapsamlı bir bakım programı oluşturmaya gayret etmelidir.
- 5) Üreticinin tavsiye ettiği bakım aralıklarına uyulmalıdır.
- 6) İleri izleme ve kontrol sistemi, sistemi koruyabilir ve ömrünü uzatabilir.





## Bölüm

## 7

# Pompalama Sisteminin Enerji Kullanımı

Bölüm 4'te akışkan gücü, basınç (basma yüksekliği) ve akışkanın özgül ağırlığı arasındaki bağıntı anlatılmıştı. Bu bölümde ise, denkleme mekanik ve elektriksel bileşen verimleri de eklenecek ve sonuçları kilowatt ve enerjinin parasal tutarına çevrilerek bu kavram daha geniş biçimde açıklanmaktadır.

## 7.1. Güç Denklemleri

Akışkan gücü denklemi, ekipman verimini de içerecek şekilde genişletildiğinde, buna karşılık gelen bağıntı, "Denklem 7.1"dekine benzer. Metrik denklemlerde belirtildiği üzere, kW terimine, Bölüm 4'te akışkan gücünü temsil etmek üzere kullanılan kW teriminden ayırt etmek üzere, "elektriksel güç" altsimgesi eklenmiştir.

### Denklem 7.1. Elektriksel güç denklemleri

ABD Birimleri ile

$$kW = \frac{\text{Basma yüksekliği (ft)} * \text{Debi (gpm)} * \text{Özgül ağırlık} * ,746}{3.960 * \eta_{pompa} * \eta_{motor} * \eta_{ASD}}$$

Metrik Birimler ile

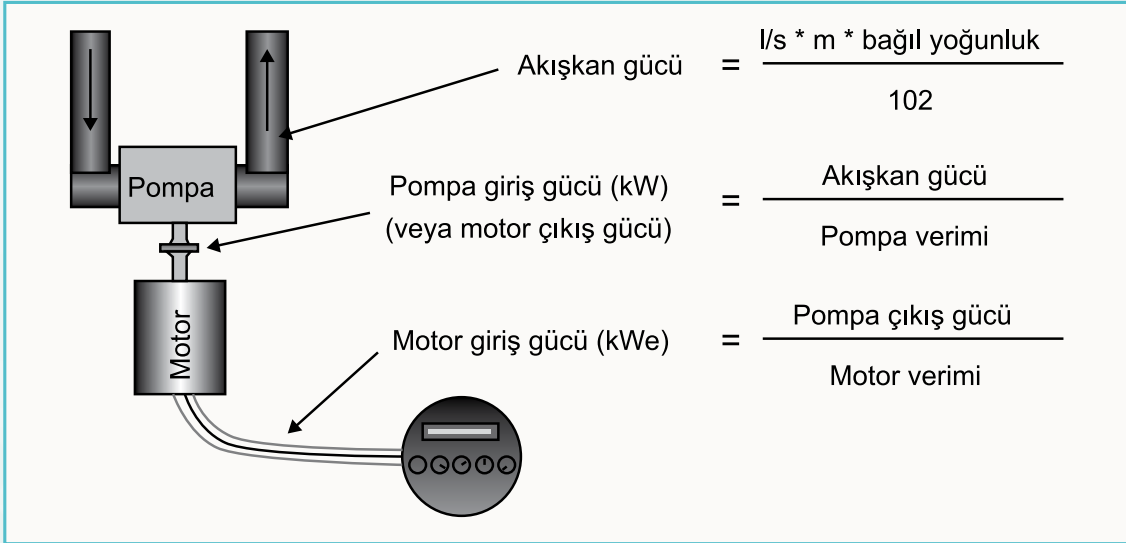
$$kW_{\text{elektriksel güç}} = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (m}^3/\text{h)} * \text{Yoğunluk (kg/m}^3) * 9,8 \text{ (m/s}^2)}{\eta_{pompa} * \eta_{motor} * \eta_{ASD} * 1.000 \text{ (W/kW)}}$$

$$kW_{\text{elektriksel güç}} = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (m}^3/\text{h)} * \text{Yoğunluk (kg/m}^3)}{367 \text{ (s/h)} * (\text{s}^2/\text{m)} * \eta_{pompa} * \eta_{motor} * \eta_{ASD} * 1.000}$$

$$kW_{\text{elektriksel güç}} = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (l/s)} * \text{Yoğunluk (kg/m}^3)}{102 \text{ (dm}^3/\text{m}^3)} * (\text{s}^2/\text{m)} * \eta_{pompa} * \eta_{motor} * \eta_{ASD} * 1.000$$

Pompa verimini dâhil etmenin yanı sıra, "Denklem 7.1"de gösterilen elektriksel güç denklemleri aynı zamanda motor ve değişken hız sürücüsü (VSD) için elektriksel verim değerlerini de içermektedir. Pompalama sistemine bağlı olarak bu bileşenler değişir ve gerektiği biçimde ayarlanabilir. Burada önemli olan, elektrik sayacı ile pompa arasına dâhil edilen her bileşenin verimin gerçek değerinden daha düşük hesaplanmasına sebep olacaktır. Bu durum Şekil 7.1'de gösterilmektedir.

Şekil 7.1. Enerji denkleminin bileşenlerine ayrılması



## 7.2. Güç Denklemlerinin Kullanılması

Elektriksel güç denklemleri, pompalama sisteminin enerji kullanımının değerlendirilmesinde çok faydalıdır. Uygun biçimde kullanıldıklarında bu denklemler, pompanın işletebildiği her nokta için bir kW değeri sağlar. Bu denklemleri kullanmanın bazı yolları aşağıdakileri içerir:

- Pompa veya motor verimi iyileştirildiğinde enerji tasarruflarının değerlendirilmesi,
- Sonuçları doğrulamak amacıyla saha verilerinin hesaplanmış verilerle karşılaştırılması,
- Toplam basma yüksekliği veya debiyi artırmanın veya azaltmanın etkisinin değerlendirilmesi.

Elektriksel güç denklemlerinin, debi veya basma yüksekliği değiştiğinde verim değişikliklerini hesaba katması gerektiği de hatırdan tutulmalıdır. Pompa eğrisi ve sistem eğrisinin kullanılması pompa verimindeki değişikliklerin belirlenmesine yardımcı eder.

Pompanın çalışması beklenen her çalışma noktası için bir kW değeri elde etmek, pompalama sisteminin enerji kullanımını değerlendirmenin ilk adımıdır. Bu değer kullanılarak, hesaplanan her kW'ı pompanın o aralıkta çalışması beklenen saat sayısı ile çarpılarak suretiyle kWh kolayca bulunabilir. Bu noktada, toplam enerji maliyetini elde etmek için kWh sayısını maliyet/kWh ile çarpılarak basit aritmetik işlem gereklidir. Ancak tarifelerin çoğu daha karmaşıktır ve gerçek aylık enerji maliyetini belirlemek için bu tarifeler ayrıntılı biçimde incelenmelidir.

### 7.3. Özgül Enerji

Bir sistemin optimum noktaya göre ne ölçüde verimli çalıştığını görmek için sistem performansını takip edebilmenin yanı sıra normalden sapmaları kolay ve çabuk biçimde tespit edebilmek de çok faydalıdır. Bu nedenle, sistemleri izlerken sistem performansının ne durumda olduğunu ve zaman içinde performansın değişip değişmediğini gösteren parametrelerin ölçülebilmesi arzu edilir.

Sanayide pompalama sistemleri, genellikle, çeşitli türde izleme ve kontrol sistemlerine bağlanır. Geleneksel olarak debi, basınç, güç veya akım izlenir. Ancak, bu olguların bir veya birkaçını sadece izlemek, sistem performansına ilişkin eksiksiz bir resim elde etmek için yeterli değildir. Çoğu durumda, farklı parametreler birleştirilirse ve zaman içinde izlenirse, toplanan bilgiler çok daha yararlı olur. Örneğin, debi ve gücü bağımsız olarak sadece ölçmek yerine, debi başına düşen gücü (özellik enerji) hesaplamak, pompaların izlenmesini daha yararlı kılabilir. Özellik enerji, pompalama sistemlerini izlemede çok faydalı bir temel performans göstergesidir.

ABD Enerji Bakanlığı'nın PSAT programı, özellik enerji kavramı ile birlikte kullanılarak, optimum sisteme göre toplam sistem performansını gösteren bir diyagram çizilebilir. Bu diyagram, hem mevcut sistem bileşenlerini iyileştirmenin bir fonksiyonu hem de kısma kayıplarını ortadan kaldırmanın bir fonksiyonu olarak optimizasyon potansiyelini göstermeyi kolaylaştırır. Diyagram, aynı zamanda, sisteme yapılan bu türden değişikliklerin pompalama maliyetini nasıl etkilediğini de gösterir.

Bir pompalama sisteminin enerji bakımından performansını değerlendirirken, neyi ölçmek gerektiğini bilmek önemlidir. Sistem bir bütün olarak düşük verimde çalışırken, bir pompa çok yüksek verimde çalışıyor olabilir. Sistem kontrolünün özellikle vanaları kısma yoluyla yapıldığı durumlarda, sistemin düşük verimde çalışması olağandır. Aşırı kısılmaya tâbi tutulan sistemde de çok büyük miktarlarda enerji israf edilebilir.

Aşırı kısma yapılmasının yaygın nedenlerinden biri, sistemin en başta gerekenden büyük boyutlandırılmış olmasıdır. Çoğu pompalama sistemlerinin gerekenden büyük boyutlandırılmış olması kimseyi şaşırtmamalıdır. Pompalar tarafından karşılanması gereken basma yüksekliği ve debinin doğru biçimde hesaplanması zordur. Bu nedenle, genellikle, tasarım aşamasında emniyet sınırları eklenir. Buna ek olarak, akış direnci zamanla artar ve debi ihtiyaçları



da genellikle gelecekte daha yüksek olur. Bu nedenle, sistemlerin çoğunun gerekenden büyük yapılması ve gerekenden fazla debi sağlama kapasitesine sahip olması anlaşılabilir bir şeydir. Gerekenden büyük boyutlandırmayı düzeltmek için, çoğunlukla kısımla vanaları ve değişken hız sürücüleri kullanılır.

Bir operatörün veya tesis müdürünün, tesisteki pompalama sistemlerinin hangi verim düzeyinde çalıştıklarını bilmesi büyük önem taşır. Bu soruyu cevaplamak için, gerçek proses taleplerinin mevcut arz ile karşılaştırıldığı ve sistemin nasıl iyileştirilebileceğine ilişkin önerilerin yapıldığı bir sistem değerlendirmesi gerçekleştirmek yaygın bir uygulamadır.

Bir sistem optimize edildikten sonra, gerçekleştirilen iyileştirmelerin sürdürülmesini sağlamak ve sistem veriminin geri kaymasına izin vermemek önemlidir. Özgül enerji, sistem veriminin incelenmesi ve izlenmesi ile sistem performansındaki sapmaları erken tespit edilmesi için temel performans göstergesi (KPI) olarak kullanılabilir. Gerçek ve potansiyel performansı göstermek için basit bir diyagram çizilebilir (bkz. Şekil 7-2).

Bir sistemin optimum noktaya göre ne ölçüde verimli işlediğini görmek için sistem performansını takip edebilmenin yanı sıra, normalden sapmaları kolay ve çabuk biçimde tespit edebilmek de çok faydalıdır. Pompalama sistemi performansının izlenmesi, çok kârlı bir çaba olabilir.

Sanayide pompalama sistemleri genellikle çeşitli türlerde izleme ve kontrol sistemlerine bağlanır. Geleneksel olarak debi, basınç, güç veya akım izlenir. Ancak bu olguların bir veya birkaçını sadece izlemek, sistem performansına ilişkin eksiksiz bir resim elde etmek için yeterli değildir. Sistemin, bir bütün olarak, performansı hakkında önemli bilgilerin eksik olması riski de vardır.

Birçok endüstride, güç yerine motor akımı izlenir. Akım kabaca güç ile orantılıdır ve gücün ikamesi olarak kullanılabilir. Her iki durumda da elde edilen sonuç, sistem verimine ilişkin çok iyi bir ölçüdür ve sistemdeki değişikliklere duyarlıdır.

Bu KPI'nin nasıl elde edildiğini ve getirdiği faydaları açıklamak için, önce birtakım temel bağıntıların tanımlanması gerekir.

### 7.3.1. Akışkan gücü

Pompalama sistemleri için, akışkan gücü, debi, basınç (basma yüksekliği) ve akışkan özgül ağırlığı arasındaki bağıntı, Denklem 7.2'deki gibi ifade edilebilir:

#### *Denklem 7.2. Akışkan gücü bağıntısı*

$$\text{Akışkan Gücü} = \text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (m}^3/\text{h)} * \text{Özgül ağırlık (birimsiz)} * 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Sistem tarafından kullanılan elektriksel gücü elde etmek için, akışkan gücünü, onu yaratan farklı bileşenlerin verimlerine bölmek gerekir. Bu bileşenler, örneğin, motor, pompa ve varsa değişken hız sürücüsüdür (VSD).

### 7.3.2. Özgül enerji hesapları

Pompalama maliyetini hesaplamada faydalı bir ölçü özgül enerjidir (Es). Özgül enerji, belirli bir hacmi sistemde taşımak için kullanılan enerji olarak tanımlanır. Özgül enerji Watt saat/m<sup>3</sup> veya diğer uygun bir birim olarak ölçülür ve enerji maliyeti bilindiğinde enerji maliyetinin

doğrudan ölçüsü olma avantajına sahiptir. Denklem (7.3)'te görüldüğü gibi, özgül enerjinin anlık değeri, giriş gücünün debiye bölümüne eşittir.

#### **Denklem 7.3. Özgül enerjinin anlık değeri**

$$\frac{\text{Kullanılan enerji}}{\text{Basılan hacim}} = \text{Özgül enerji}$$

$$E_s = \frac{P_{in} * \text{Zaman}}{V} = \frac{P_{in}}{Q}$$

Akışkan gücü denklemini kullanarak ve çeşitli verimlere bölerek: Denklem (7.3) ışığında, Denklem (7.4) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

#### **Denklem 7.4. Giriş gücü**

$$\text{Giriş gücü} = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{Debi (m}^3/\text{s)} * \text{özgül ağırlık} * 9,8}{\eta_{sürücü} * \eta_{motor} * \eta_{pompa}}$$

#### **Denklem 7.5. Özgül enerji**

$$E_s = \frac{\text{Basma yüksekliği (m)} * \text{özgül ağırlık} * 9,8}{\eta_{sürücü} * \eta_{motor} * \eta_{pompa}}$$

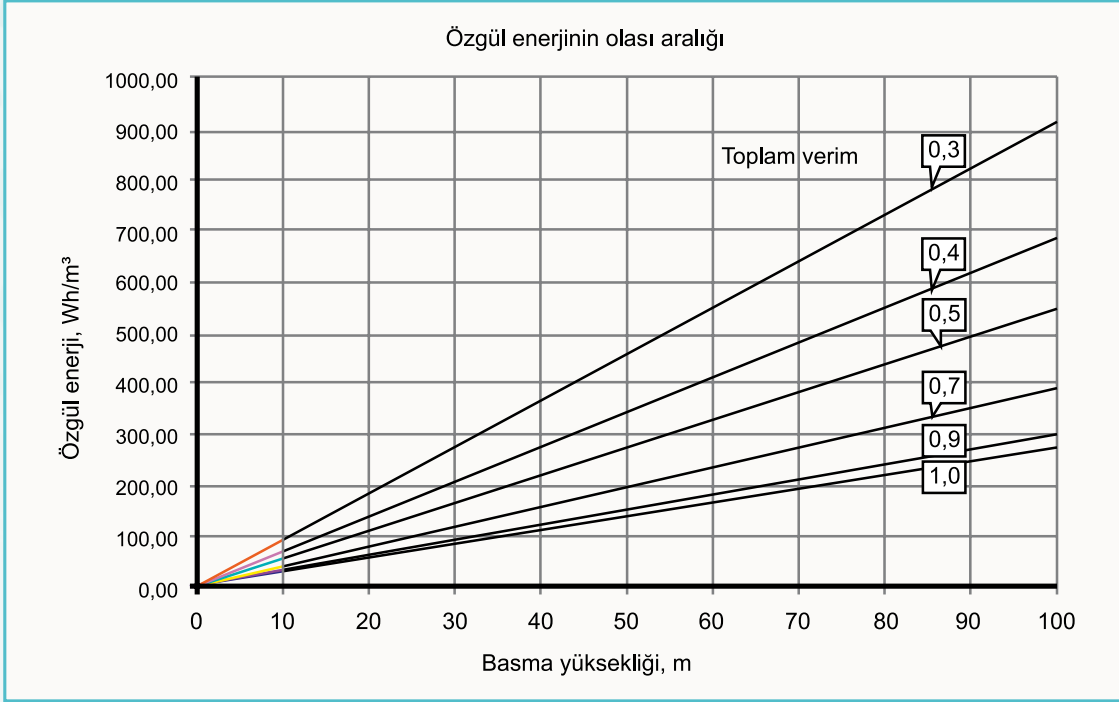
Sistemde değişken hız sürücüsü yoksa, buna karşılık gelen verim terimi 1 olarak alınır.

Özgül enerji, verimler sabitse, basma yüksekliğinin doğrusal bir fonksiyonudur. Farklı sistem çözümleri ile pompalama maliyetinin karşılaştırılmasında faydalı bir ölçüdür.

Debinin sabit olduğu sistemlerde, yukarıdaki denklemleri kullanarak bunu yapmak basit bir iştir. Ancak, debileri değişen sistemlerde durum biraz daha karmaşıktır. Önce özgül enerjinin ( $E_s$ ), debinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması gerekir. Bunu yapmak için de, pompa, motor ve sürücü üreticilerinden alınacak bilgilere ihtiyaç vardır. Pompa üreticisi, değişken hızlarda işletim için pompa eğrilerini sağlamalı, motor ve sürücü üreticileri ise, yük ve hızın fonksiyonu olarak verim eğrilerini sağlamalıdır.

Mevcut sistemlerde özgül enerji, tüketilen enerji ve debi ölçümlerinden doğrudan hesaplanabilir.

**Şekil 7.2. Farklı toplam verimler ( $= \eta_{\text{sürücü}} * \eta_{\text{motor}} * \eta_{\text{pompa}}$ ) için basma yüksekliğinin fonksiyonu olarak özgül enerji**

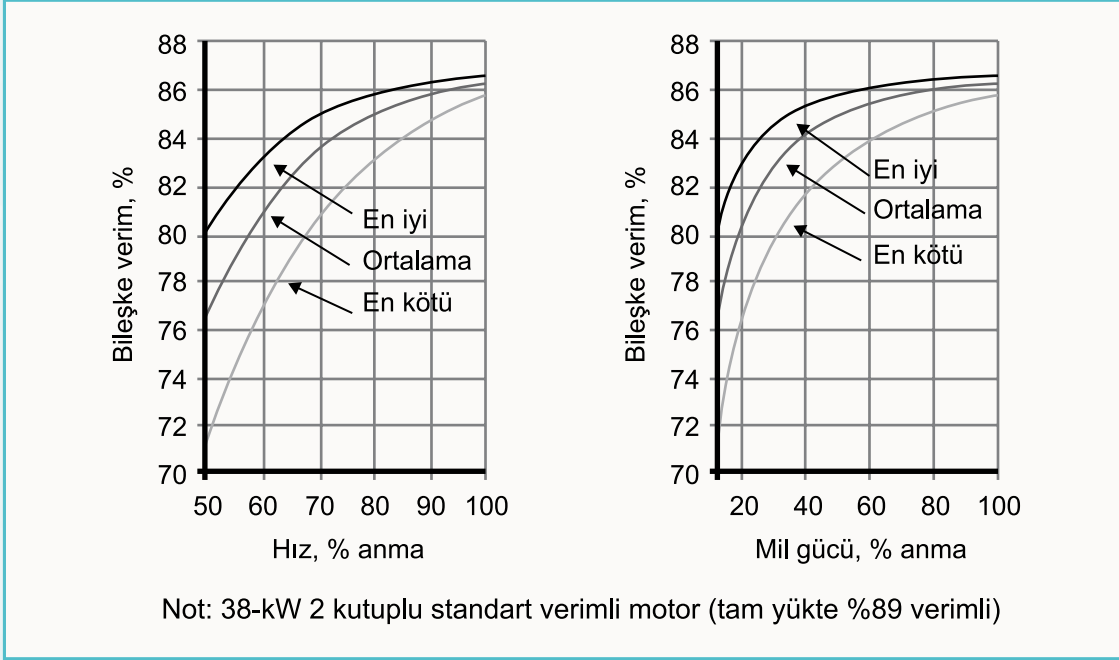


Özgül enerji ( $E_s$ ), diğer faktörler sabit ise basma yüksekliğinin doğrusal bir fonksiyonudur. Bu nedenle,  $E_s$  grafiğini farklı toplam verimler için basma yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak çizebiliriz. Toplam verimin, Denklem 7.5'ten elde edilen farklı bileşen verimlerinin çarpımı olduğu Şekil 7.2'ye bakınız. Diyagramda en alttaki çizgi, %100 verimi temsil etmektedir ve şüphesiz ulaşılması mümkün değildir. Eğer, belirli bir çalışma noktasında, giriş gücü, debi ve basma yüksekliği biliniyorsa,  $E_s$ 'yi hesaplamak ve Şekil 7.2'de bir nokta olarak işaretlemek kolaydır. Toplam sistem verimi, interpolasyon yapılarak hesaplanabilir.

ABD Enerji Bakanlığı'nın PSAT programı gibi bir bilgisayar programı kullanılarak, belirli bir çalışma noktası için mevcut pompa ve motor verimleri bulunabilir ve, sistemde VSD yoksa, söz konusu çalışma noktası için mümkün olan en düşük özgül enerji hesaplanabilir. Bir sürücü/motor kombinasyonunun veriminin ne olduğunu bulmak çok daha zordur. Çünkü, bu verim, motor ile sürücünün birbiriyle ne derece uyumlu olduğuna bağlı olarak değişir. Sürücü mevcutsa, motorda ilâve kayıplar oluşur ve bunların da dikkate alınması gerekir.

Şekil 7.3, sürücü ve motorun bileşke verimi hakkında bir fikir vermektedir. Motorlar farklı sürücülere farklı tepki gösterirler. Bu nedenle, kombinasyonun uyumlu olmasını sağlamak için sürücü ve motorun aynı üreticiden alınması tavsiye edilir. Modern sürücüler, bundan öncekilere nazaran çok daha iyi düzeydedirler. Ancak, hâlâ motor verimini etkilemektedirler ve bu dikkate alınmalıdır.

Şekil 7.3. Farklı sürücülere bağlandığında bileşke motor/sürücü verimi (ABD-EB)



PSAT programını kullanmanın faydalarından biri de, kullanılan pompa tipi hakkında ve birçok pompa tipi için mevcut en iyi pompa verimi hakkında bilgi içermesidir. Veriler, Hidrolik Enstitüsü (HI) tarafından sağlanmıştır.

### 7.3.3. Akış kontrolü

Akış kontrolü için iki temel yöntem, ya kısma yoluyla sistem eğrisini ya da değişken hız sürücüsü kullanarak pompa eğrisini değiştirmektir. Hâlen en yaygın olan seçenek, kısılma vanası kullanılmasıdır. Değişken hız sürücüleri, her zaman için kısılma vanalarından daha verimlidir. Özellikle, ömür boyu maliyet karşılaştırması bakımından, vana regülasyonuna göre daha ekonomiktir. Basılan akışkanın bir kısmını baypas ederek debi kontrolü, ekonomik olmasa da birçok uygulamada kullanılmaktadır.

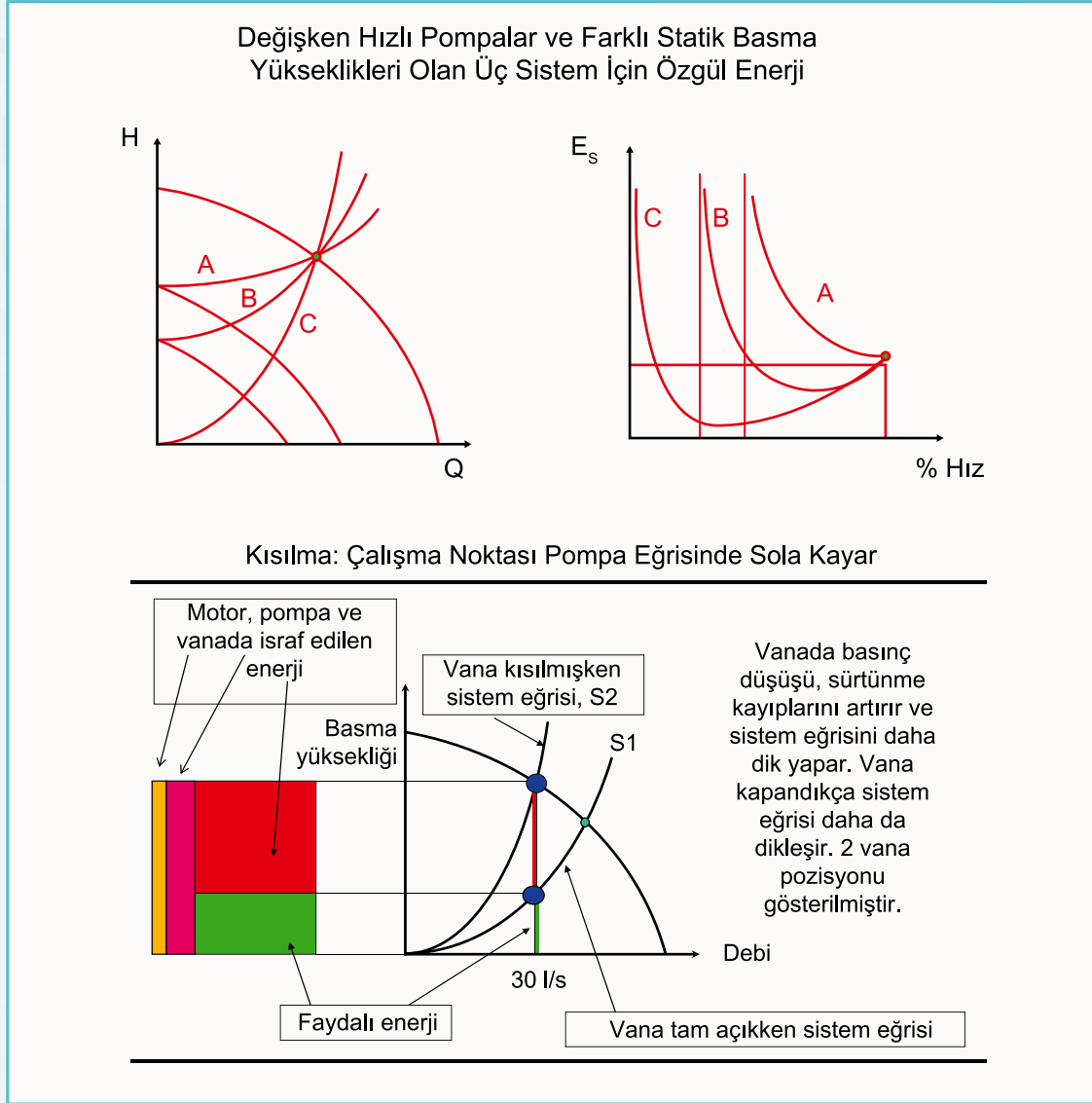
Kesin doğrulukta debi kontrolüne ihtiyaç duyulmayan sistemler için, kısılma vanaları veya (değişken frekanslı sürücü) VFD'ler dışında çözümler daha verimli olabilir. Örneğin, aç-kapa ile işletilen uygun büyüklükte pompalar, birçok sistem için çok verimli bir çözüm olabilir.

### 7.3.4. Kısma yoluyla akış regülasyonu

Akışın kısılma vanası kullanılarak regüle edildiği durumda, sistem eğrisi değişir. Akış kısıldığında çalışma noktası pompa eğrisi üzerinde sola kayar (bakınız Şekil 7.4). Şekil 7.4'teki dikey kırmızı çizgi vanadaki kısılma kayıplarını temsil etmektedir. Özgül enerji (Es) motor giriş gücünü debiye bölmek suretiyle her çalışma noktası için hesaplanabilir. Özgül enerji, genellikle, kısılma suretiyle akışın azaltılması durumunda hızla yükselir. Bunun iki nedeni vardır: Vanadaki kayıplar ile pompa eğrisi üzerinde yükseldikçe pompa veriminin genellikle düşmesi.

### Şekil 7.4. Akışın kısılma vanası kullanılarak regüle edilmesi

(Bir vananın kısılması, vanadaki basınç düşüşünü sistem kayıplarına eklemek suretiyle debiyi değiştirir. Yeni sistem eğrisi daha dik olur ve çalışma noktası pompa eğrisi üzerinde yukarıya kayar.)

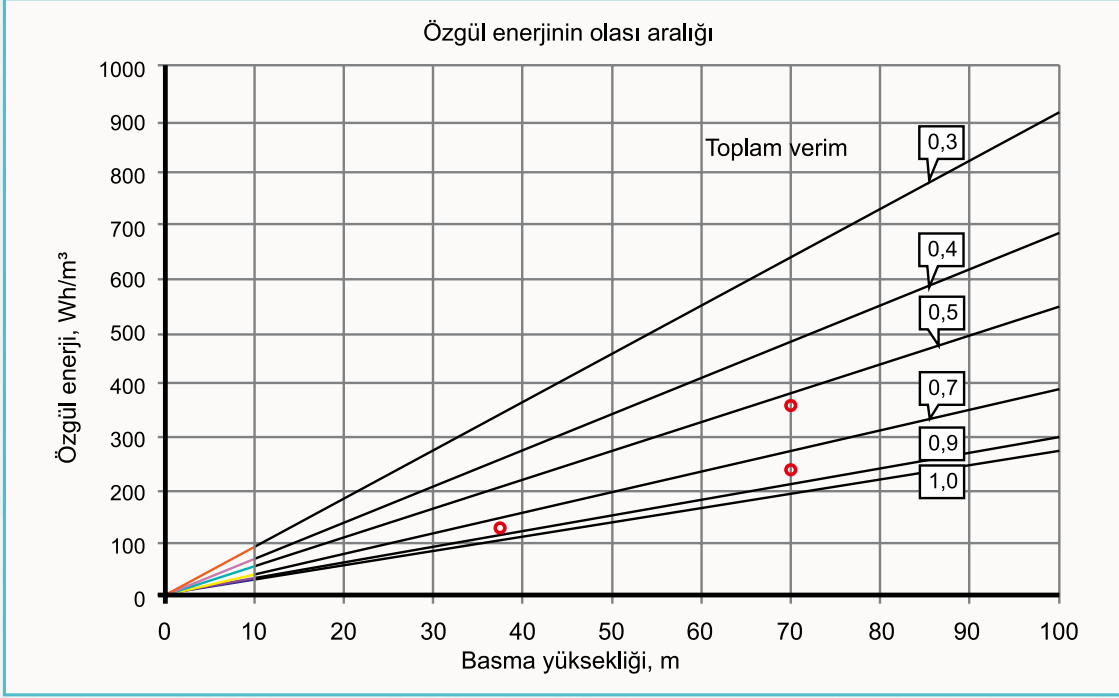


Şekil 7.4'teki bilgilerden, kısma olmasaydı sistemde belirli bir akış temin etmek için gerekli olan basma yüksekliğini hesaplamak mümkündür. (Pompayı böyle bir serbest çalışma noktasında çalıştırmanın bir yöntemi de, pompayı kısmak yerine pompa basma yüksekliğini azaltmak üzere değişken hız sürücüsü kullanmaktır). Kısılmasız basma yüksekliği şartı, arzu edilen çalışma noktasının altındaki orijinal kısılmasız eğri üzerinde okunabilir. Böyle bir kısılmasız debi için mümkün olan en iyi motor/pompa kombinasyonunun verimini hesaplamak için yine PSAT kullanılabilir.

PSAT kullanılarak, anılan serbest çalışma noktası için ideal özgül enerji hesaplanabilir ve özgül enerji diyagramı halinde çizilebilir. Şekil 7.5'te farklı toplam verimler için özgül enerjinin basma yüksekliği ile değişim grafikleri sunulmuştur. Bu grafikte, sağ en üstteki nokta, mevcut çalışma noktasını temsil etmektedir. Sağ alttaki nokta ise PSAT'tan elde edilen, optimum motor/pompa kombinasyonu kullanılan özgül enerjiyi temsil etmektedir. Sol alttaki nokta ise kısılmasız çalıştırmada optimum motor/pompa kombinasyonunu temsil etmektedir. Diyagram,

maliyet bakımından sistemin nerede işletildiğini ve optimize edilirse ve kısma kayıpları olmaksızın nerede çalışabileceğini grafik olarak gösteren iyi bir örnektir.

**Şekil 7.5. Üç işletme noktalı özgül enerji diyagramı**



Her kWh'nin bir maliyeti olması nedeniyle, Y eksenini, sistem içinde birim hacmi basmanın maliyetini göstermektedir. Şekil 7.5'teki örnek, pompa ve motoru iyileştirmek suretiyle, özgül enerjinin 360 Wh/m<sup>3</sup>'ten 240 Wh/m<sup>3</sup>'e düşürülebileceğini göstermektedir. Kısmı kayıplarını ortadan kaldırmak suretiyle, 120 Wh/m<sup>3</sup>'e inmek de mümkündür.

Sistemden sorumlu kişiler böylece, belirli bir görevi yerine getirmek için gerekenin üç misli enerji ve parayı kullanıyor olduklarını kolayca görebilirler. Pompa performansındaki değişiklikleri tespit etmek, güç ve debinin bağımsız olarak izlenmesine göre çok daha kolaydır.

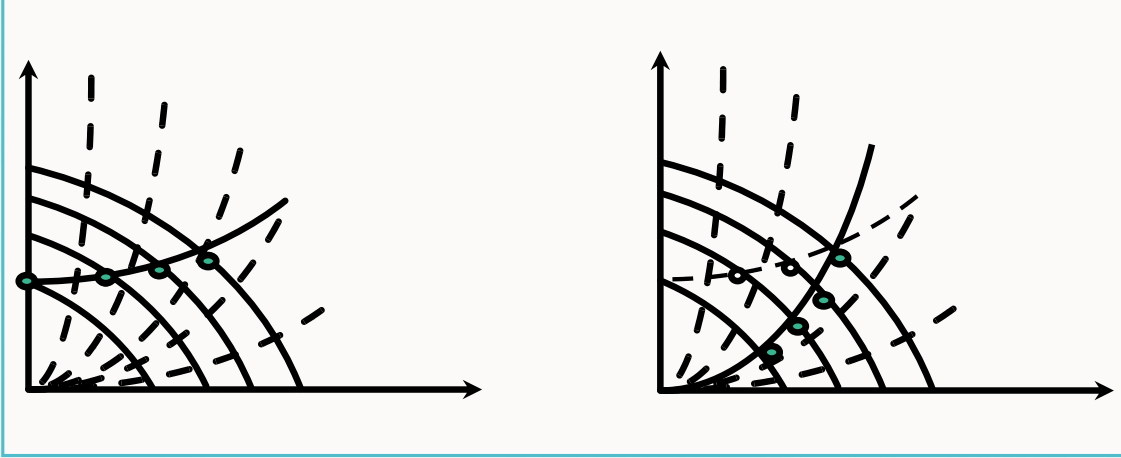
### 7.3.5. Değişken hız sürücülerini kullanılarak akış regülasyonu

Değişken hız sürücüsü, kısma yapılmaksızın çıkıntının talebe göre ayarlanmasını mümkün kılar. Böylece, yaygın olan pompaların gerekenden büyük olması sorunu etkisizleştirilir ve büyük miktarlarda enerji tasarrufu edilir. Ancak, büyük statik basma yüksekliğine sahip olan sistemler için özel dikkat gereklidir. Böyle bir sistemde hız düşürüldüğünde, çalışma noktası, indirgenmiş pompa eğrileri üzerinde daha da yukarıya çıkar ve sonunda pompa sıfır basar hale gelir. Şu vurgulanmalıdır ki, böyle bir şeyin oluşmasından çok önce, pompa tercih edilen çalışma noktasını terk eder ve bu koşullarda uzun süre çalıştırılırsa ağır hasar görebilir. Bu nedenle, ne tür kontrol kullanılacağına karar vermeden önce sistemin genel görünümüne bakmak gerekir.

Değişken hızlı pompalama, çoğu kez, kısma göre çok büyük miktarlarda enerji tasarrufu sağlar. Ancak, pompalama probleminde daima en iyi çözüm değildir. Değişken hız sürücülerini bazen enerji tüketimini artırır. Bu nedenle, onların ne zaman kullanılacağını ve ne zaman kullanılmayacağını anlamak gerekir.

### Şekil 7.6. Değişken hız sürücüsü olduğunda sistem eğrisi

(VSD mevcut olduğunda, çalışma noktası sistem eğrisi boyunca hareket eder. Şekiller, iki farklı sistem eğrisini göstermektedir; birisinde statik basma yüksekliği vardır, diğerinde yoktur.)



Şekil 7.6, iki sistem eğrisi ile indirgenmiş pompa eğrisi (sürekli çizgiler) ve sabit verim çizgilerini (kesik çizgiler) göstermektedir. Ortadaki çizgi en yüksek verime sahiptir ve hızı regüle edilen bir sistemde neler olduğunu göstermektedir. Burada, hız azaldıkça yeni pompa eğrileri elde edilir. Yeni çalışma noktaları, sistem eğrisi ile indirgenmiş pompa eğrisinin kesişimi tarafından belirlenir. Statik basma yüksekliğine sahip olan ve olmayan sistemleri birbirinden ayırmak gerekir. Çünkü, hızdaki değişikliklere oldukça farklı tepki verirler.

Statik basma yüksekliğine sahip olan bir sistemde pompa verimi hız değiştiğinde değişir. Statik basma yüksekliği olmayan bir sistemde ise, hız azaltıldığında elde edilen yeni çalışma noktaları, orijinal verim düzeyinde kalırlar (Bkz: Şekil 7.6).

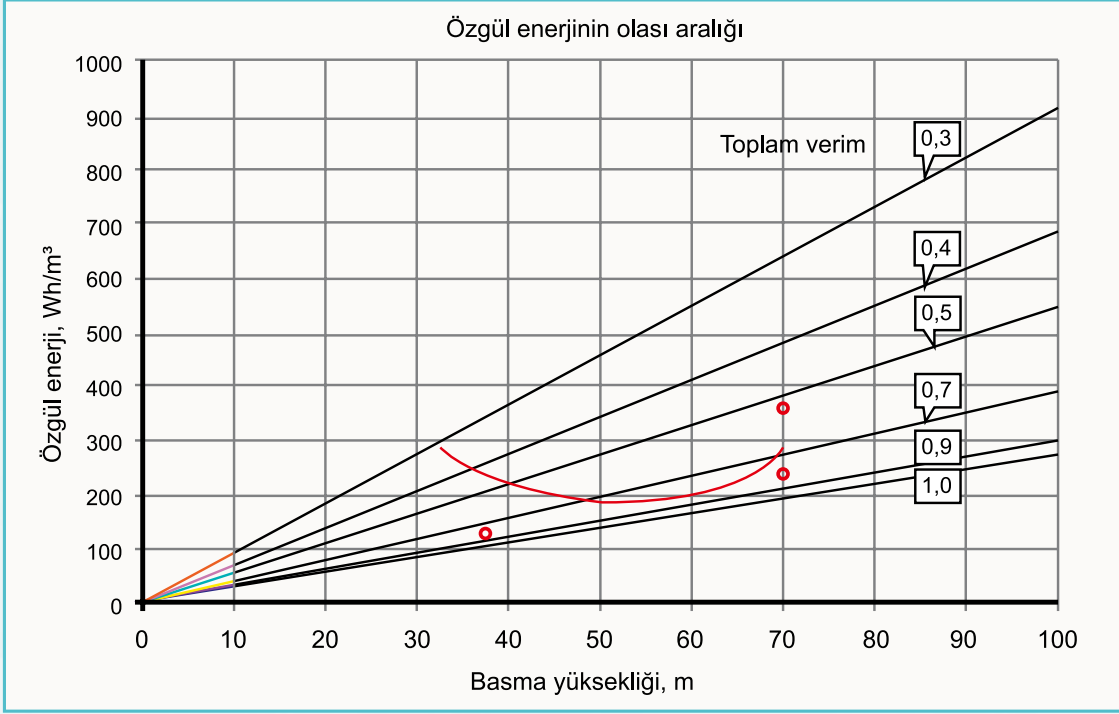
Yukarıdaki açıklananlar nedeniyle, hız kontrolü bulunan özgül enerji diyagramının kullanılması biraz daha karmaşıktır. Diyagram üzerinde mümkün olan en yüksek verim işaretlenecekse, tüm sistem bileşenleri bakımından hıza göre verim değişiklikleri dikkate alınmalıdır. Bu ancak sınırlı sayıda nokta için yapılabilir ve ardından bu noktalar birleştirilir. Anlık enerji kullanımı ve debi yine izlenebilir ve diyagramdaki optimum ile karşılaştırılabilir. Statik basma yüksekliğine sahip olan bir sistem, Şekil 7.6'daki eğriye benzeyebilir.

### 7.3.6. Temel performans göstergesi (KPI) olarak özgül enerji

Bir sistemin optimum noktaya göre ne ölçüde verimli işlediğini görmek için, sistem performansını takip edebilmenin yanı sıra, normalden sapmaları kolay ve çabuk biçimde tespit edebilmek de çok faydalıdır. Gücün debiye bölünmesinin, pompalama sistemlerini izlemede çok faydalı bir temel performans göstergesi olduğu ileri sürülmektedir.

Birçok endüstride, güç yerine motor akımı izlenir. Akım kabaca güç ile orantılıdır ve gücün ikamesi olarak kullanılabilir. Güç faktörü motor yükü ile değiştiğinden, güç yerine akım kullanılırken bu dikkate alınmalıdır. Akımın kullanılması halinde, güce çevrilmezse, özgül enerjinin doğru bir ölçüsünü vermeyeceği bilinmelidir. Motorun çok hafif yükte olduğu haller (%25'in altında) hariç, PSAT bunu nispeten yüksek doğrulukta yapma yeteneğine sahiptir. Ancak, güç yerine akım kullanıldığında, elde edilen bölüm yine de özgül enerjideki değişikliklere duyarlı olur ve performans değişikliklerini tespit etmek için kullanılabilir. Her iki durumda da elde edilen bölüm, sistem verimine ilişkin çok iyi bir ölçüdür ve sistemdeki değişikliklere duyarlıdır.

Şekil 7.7. VSD'li sistem için tipik özgül enerji eğrisi



Yakın zaman önce bir pompa istasyonu değerlendirmesinde, üç paralel pompadan birinin yaklaşık 100 kW çektiği, ancak debiye hemen hemen hiç katkısının olmadığı görülmüştür. Bu pompa, diğer iki pompa tarafından gerçekte sıfır basar hale getirilmişti. Çünkü, pompanın gövde aşınma halkaları çok aşınmış durumdaydı ve pompanın sağladığı basma yüksekliği diğer pompalardan düşük idi. Sistem, toplam debi ve motor akımlarını birbirinden bağımsız olarak izleyecek şekilde kurulmuş ve pompadaki sorun gizli kalmıştı. Sistemin geneli için, toplam akım/debi terimi izlenmiş olsa idi, bu sorun çok daha önceleri bir kişinin dikkatini çekmiş olurdu.

## 7.4. Elektrik Tarifeleri

Çoğu ticari elektrik tarifesi aşağıdaki maliyet bileşenlerini içerir:

- Enerji tüketimi (kWh veya kVAh)
- Talep (kW veya kVA)
- Güç faktörü
- Muhtelif servis maliyeti, yakıt maliyeti düzeltimleri vs...

### 7.4.1. Enerji tüketimi

Yük için yapılan enerji tüketimi (kWh), yukarıda açıklandığı gibi nispeten kolay biçimde hesaplanabilir. Ancak, elektrik şirketine bağlı olarak, bu değer "sayaç" tarafında birçok farklı biçimde izlenebilir ve fatura edilebilir. Bu faturalandırma hesaplamalarının bazıları aşağıdaki-leri içerir:



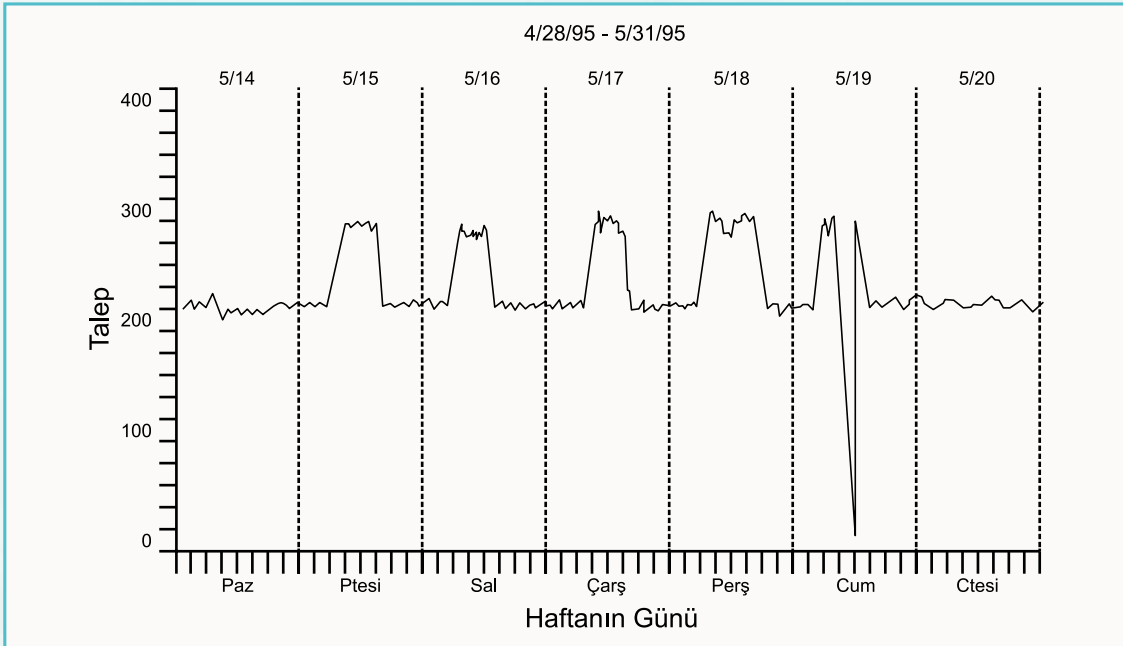
- Enerji günün hangi saatinde kullanılmıştır (tepe zamanda, tepe zaman dışında),
- Enerji hangi ayda veya mevsimde kullanılmıştır (yaz/kış),
- Ay boyunca kullanılan her enerji miktarı (veya bloku) için farklı fiyatlar.

Bunlara ek olarak, bu kWh bedelleri farklı kategorilerde birden fazla kez faturalandırılabilir ve elektrikli araçların kuralsız kullanıldığı yerlerde ise, enerji arz faturası ve enerji dağıtım faturası olarak ayrı faturalar biçiminde dökümlenebilir.

### 7.4.2. Talep bedelleri

Talep bedelleri, bir tesisin elektrik tepe yükünü karşılamak üzere dağıtım ve iletim kapasitesi sağlama maliyetini geri almak amacıyla elektrik şirketleri tarafından fatura edilir. Bir elektrik faturasındaki aylık talep bedeli, o ay boyunca kaydedilen tepe enerji kullanımına (genellikle kW cinsinden) dayanır. Bu değeri ölçen elektrik sayacı, 15 veya 30 dakikalık bir dönemde en yüksek ortalama kW'ı kaydeder. Bu ölçüm aralıklarına dayalı olarak, enerji kullanımında kısa bir artışın (örneğin bir motor başlatıldığında) kayıtlı talep üzerinde çok küçük etkisi olduğu görülecektir. Tipik bir tesis talep profili örneği Şekil 7.8'de gösterilmektedir.

Şekil 7.8. Örnek talep grafiği



Şekil 7.8 Pazar günü, gün boyunca ve Pazartesi sabahı 200 kW'ın biraz üzerinde kararlı bir talep göstermektedir. Ancak, gün içinde, ilâve ekipman çalıştırıldığında talep 300 kW'a yaklaşmaktadır. Elektrik şirketi, işte bu değer için aylık tepe talebi bedeli alacaktır.

Bu değer elektrik şirketi tarafından okunduğu hallerde, bir sonraki ay için tepe değeri kaydetmeye başlamak için değer sıfırlanır. Talep bedelleri, elektrik şirketine ve tarifeyle bağlı olarak kW başına 3,00 ilâ 25,00 \$ değerindedir.

Ayrıca, bir ayda kaydedilen tepe talep değerinin bir kısmının, aylık talebin daha düşük düzeye düşmesine rağmen, 11 ay boyunca sonraki aya devredilebileceğini de belirtelim. Bu, genel-

likle, aylık gerçek talep karşısında “faturalandırılan talep” olarak gösterilir ve genellikle “kayıtlı talep” olarak adlandırılır.

Bazı pompa istasyonları için talep, elektrik faturasının önemli bir maliyet bileşeni olabilir. Buna ilişkin bir örnek aşağıda verilmektedir:

Bir pompa istasyonunda ay boyunca 100 saat çalışan 100 kW'lık bir pompa vardır.

- Talep 100 kW olur (pompanın 15 veya 30 dakikalık talep döneminden daha uzun süreyle çalıştığını varsayarak)
- Tüketim ay için: 100 kW \* 100 saat veya 10.000 kWh olur

Tipik talep bedeli olarak kW başına 8,00 \$ ve enerji tüketim bedeli olarak kWh başına 0,10 \$ kullanılarak:

$$100 \text{ kW} * 8,00 \text{ \$/kW} = 800 \text{ \$/ay}$$

$$10.000 \text{ kWh} * 0,10 \text{ \$/kWh} = 1.000 \text{ \$/ay}$$

Aylık tüketim ve talep bedeli toplamı 1.800 \$/ay'dır.

Bu basit örnekte, pompa istasyonu yıllık elektrik maliyeti 21.600 \$/yıl'dır ve talep bedeli ise *toplam faturanın %44'üdür!*

Yukarıdaki örnek, pompalama sistemleri optimize edilirken enerji maliyeti tasarruflarını maksimum kılmak için, talep bedeli etkisinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

### 7.4.3. Güç faktörü

Güç faktörü, aktif gücün görünen güce oranıdır. Güç faktörü bir tesisin elektriği ne derece verimli kullandığını ölçer. Büyük miktarlarda endüktif motor yüklerine sahip olan bir tesisin güç faktörü, çoğunlukla dirençli yüklere (örneğin elektrikli ısıtıcılar gibi) sahip bir tesise göre daha düşük olabilir. Türkiye şartlarında; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde onbeşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür.

Bu konudaki iyi haber, güç faktörü düzeltme kapasitörleri takılarak güç faktörünün iyileştirilebilmesidir. Projenin maliyet etkinliğini değerlendirmek için, bu ekipmanın kurulum maliyetleri gözden geçirilmelidir.

### 7.4.4. Elektrik şirketiyle iletişim

Bilinmesi gereken husus, enerji faturalarının çok karmaşık olabileceğidir. Bu yüzden, enerji maliyeti tasarruf hesaplamaları yapılırken en önemli adımlardan biri, elektrik şirketi ile iletişim kurulması ve tesisin nasıl faturalandırıldığını anlamak için elektrik tarifesinin birlikte gözden geçirilmesidir.

### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Elektriksel güç denklemleri, pompa eğrisi üzerinde herhangi bir noktada, pompalama sisteminin enerji kullanımını belirlemek için kullanılabilir. Verimi etkileyen tüm sistem bileşenleri, enerji kullanımına dahil edilmelidir.
- 2) Elektrik tarifeleri, genellikle, kWh bedeli ve talep bedeli içerir. Ancak, güç faktörü bedellerini ve diğer ücretleri de içerebilir.
- 3) kWh bedeli günün saati, kullanım miktarı veya yılın zamanına göre değişebilir. Bunun yanı sıra, kWh bedeli birçok başka bileşene sahip olmakla birlikte, arz ve dağıtım faturası üzerinde gösterilebilir.
- 4) Talep bedelleri, ay boyunca 15 veya 30 dakikalık bir dönemde kaydedilen en yüksek kW değerine dayanır ve aylık elektrik faturasının büyük bir kısmını teşkil edebilir.
- 5) Kendi elektrik faturanızı anlamamanın en iyi yolu, elektrik şirketinizin temsilcisiyle birlikte faturayı incelemektir.



## Bölüm 8

# Motorlar

## 8.1. Genel

Elektrik motorları, pompalar için başlıca sürücüdür. Elektrik motorlarının birçok tipi vardır; bunlar arasında en yaygın olanları sincap kafesli motor, asenkron motor ve alternatif akım (AC) endüksiyon motorlardır. Bu motor basit, sağlam, güvenilir ve ucuzdur. En yüksek verimli motorların son tasarımları, genellikle, çok verimlidir ve motorlar bir değişken frekanslı sürücü (VFD) ile kolayca kontrol edilebilmektedir. Tüm bu özellikler, motorları pompaların ideal sürücüsü yapar.

Kalıcı mıknatısların maliyeti devamlı olarak düşmekte, aynı zamanda, kaliteleri de yükselmektedir. Kalıcı mıknatıslı (PM) motorlar daha yüksek verim sağladıklarından, PM motor kullanımının artacağını varsaymak makuldür.

Farklı hızlarda çalıştırılabilen, örneğin doğru akım (DC) motorlar ve bilezikli motorlar gibi, birçok eski motor tipi de mevcuttur. Ancak, AC motorları süren elektronik değişken hız sürücüler, günümüzde, piyasaya hakim olmuştur. Bu nedenle, aşağıdaki bölümde yalnız bu tip motor ele alınacaktır.

*Endüstriyel Sistemler Optimizasyon Programı - Motor Sistemi Modülü'nde motorlar daha ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.*

## 8.2. Asenkron Endüksiyon Motorları

Yukarıda belirtildiği üzere, asenkron endüksiyon motorları en yaygın motor tipidir. Bunların da %90'dan fazlası kafes rotor veya "sincap kafes" denilen yapıdadır. Böyle adlandırılmasının nedeni, rotor tasarımında yer alan alüminyum veya bakır iletkenlerin sincap kafesine benzemesidir. Bu tipte motorların hem tek hem de üç fazlı olanları mevcuttur. Endüstriyel amaçlar için üç

fazlı motorlar yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın motor muhafazaları; temiz ve tehlikesiz yerlerde kullanılan su geçirmez açık (ODP) motorlar, genellikle, kir ve nemin mevcut olduğu tehlikesiz endüstriyel alanlarda kullanılan tam kapalı fan soğutmalı (TEFC) motorlar ve ulusal elektrik kodu (NEC) sınıflandırmasında tanımlanan tehlikeli ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış tehlikeli saha motorlarıdır.

Motor hakkında genel bilgiler, Şekil 8.1’de gösterildiği gibi motor etiketinde bulunmaktadır.

**Şekil 8.1. Tipik motor etiketi**

|                           |                 |                |      |                |    |
|---------------------------|-----------------|----------------|------|----------------|----|
| <Name of Manufacturer>    |                 |                |      |                |    |
| ORD. No.                  | IN4560981324    |                |      |                |    |
| TYPE                      | HIGH EFFICIENCY | FRAME          | 286T |                |    |
| H.P.                      | 42              | SERVICE FACTOR | 1.10 | 3 PH           |    |
| AMPS                      | 42              | VOLTS          | 415  | Y              |    |
| R.P.M.                    | 1790            | HERTZ          | 60   | 4 POLE         |    |
| DUTY                      | CONT            |                | DATE | 01/15/2003     |    |
| CLASS INSUL               | F               | NEMA DESIGN    | B    | NEMA NOM. EFF. | 95 |
| <Address of Manufacturer> |                 |                |      |                |    |

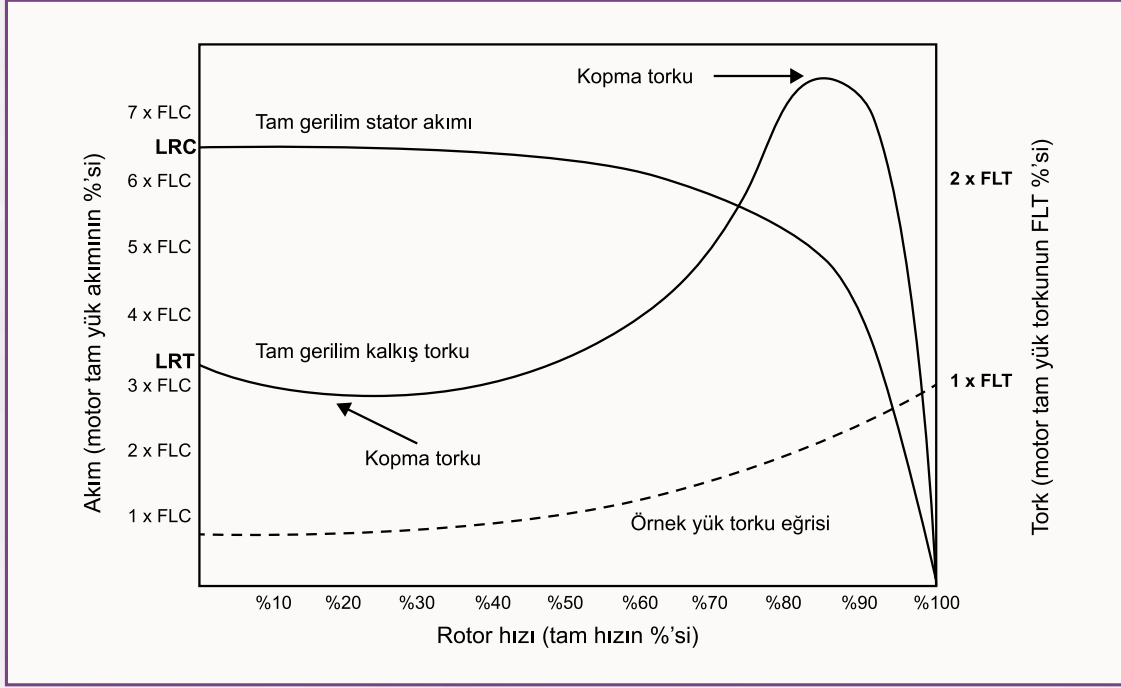
### 8.2.1. Kalkış karakteristikleri

Hat gerilimine bağlandığında, bir endüksiyon motoru “kilitli rotor akımı” denilen çok yüksek bir akım çeker. Ayrıca, “kilitli rotor torku” olarak bilinen torku da yaratır. Kilitli rotor akımı (LRC) ve kilitli rotor torku (LRT), motorun terminal geriliminin ve motor tasarımının bir fonksiyonudur. Gerilim sabit tutulduğunda, motor hızlandıkça hem tork hem de akım rotor hızıyla değişir. Motor hızlandıkça kalkış akımı yavaş yavaş düşer ve motor ancak tam hızın en az %80’ine ulaştığında, önemli ölçüde düşmeye başlar. Şekil 8.2, bir endüksiyon motorunun doğrudan kalkışta tipik kalkış karakteristiklerini göstermektedir. Gerçek akımlar, tasarımlar arasında büyük ölçüde değişmektedir, ancak genelde, motor hemen hemen tam hızına ulaşmaya kadar yüksek akım oluşur. Bir motorun kilitli rotor akımı (LRC), kilitli rotor torkunun (LRT) %500’ü ilâ %1400’ü miktarındadır. Genellikle, yüksek verimli motorlar, tam yük akımı (FLC)’nin %550’si ilâ %750’si mertebesinde dir.

Diğer elektriksel bileşenleri uygun biçimde boyutlandırmak için, bir motorun kalkış akımının bilinmesi önemlidir.

Sabit gerilimle kalkış verilen bir endüksiyon motorunun kalkış torku, motor hızlandıkça biraz düşerek kalkış torku olarak bilinen minimum torka iner, daha sonra, hemen hemen tam hızda bozulma veya kopma torku olarak bilinen maksimum torka yükselir ve sonrasında senkron hızda sıfıra düşer.

Şekil 8.2. Üç fazlı AC endüksiyon motoru için tipik tork-hız eğrisi



Rotor hızı karşısında kalkış torkunun eğrisi, terminal gerilimi ve rotor tasarımına bağlıdır. Bir endüksiyon motorunun kilitli rotor torku (LRT), tam yük torku, (FLT)'nin %60'ı gibi düşük bir düzey ile FLT'nin %350'si arasında değişebilir. Genellikle, orta ile büyük motorlarda LRT'ler FLT'nin %120'si ilâ %280'i düzeyindedir. Motorun çalışması için, mevcut torkun, yükün gerektirdiği torktan büyük olması önemlidir. Motor, motor torku ile yük torkunun eşit olduğu bir noktada çalışacaktır. Bu, senkron hızdan biraz düşük bir hızda gerçekleşir. Aradaki farka kayma denir.

Yüksek verimli motorlarda kayma daha az olur ve bu nedenle, düşük verimli eski motorlardan daha hızlı çalışırlar. Pompa performansını etkilediği için gerçek çalışma hızının bilinmesi önemlidir.

### 8.2.2. Çalışma karakteristikleri

Bir motorun senkron hızı, "Denklem 8.1"de tanımlandığı gibi, statordaki kutup sayısı tarafından belirlenir.

#### Denklem 8.1. Motor hızı

$$n = 120 \cdot \frac{f}{p}$$

Burada  $n$  = hız, dev/dk;  $f$  = kaynak frekansı (Hz), ve  $p$  = kutup sayısı

**Tablo 8.1. 60 Hz motorların farklı kutup sayılarına göre hızları**

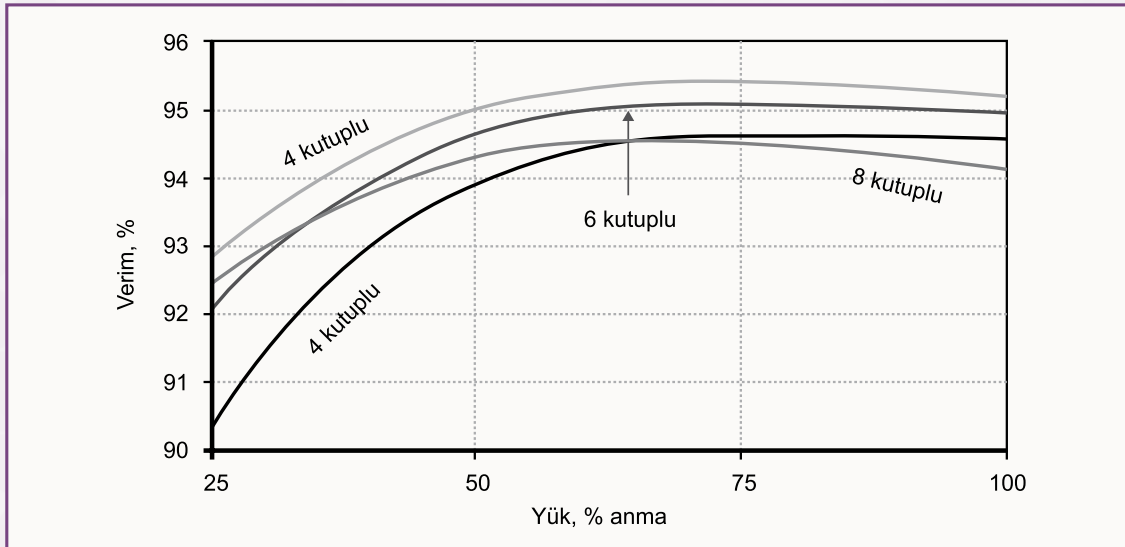
| Kutup sayısı, p [adet] | 50 Hz'de senkron hız, n [dev/dk] | 60 Hz'de senkron hız, n [dev/dk] |
|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2                      | 3000                             | 3600                             |
| 4                      | 1500                             | 1800                             |
| 6                      | 1000                             | 1200                             |
| 8                      | 750                              | 900                              |
| 10                     | 600                              | 720                              |
| 12                     | 500                              | 600                              |

Belirli bir motorun tam yük gerçek kayması motor tasarımına bağlıdır ve genellikle %3-4'ten azdır.

### 8.2.3. Motor verimi

Endüksiyon motorlarının çoğunluğu, çıkış gücü, senkron hız ve kritik boyutları belirleyen birtakım özgül tasarım standartlarını karşılayacak şekilde tasarımlanır ve üretilir. ABD'de, verim standartları 1992 tarihli Enerji Politikası Kanunu (EPAAct 92) ile belirlenmiştir. Bu standart, piyasada satılan çoğu motoru kapsar ve minimum verim standartlarını belirler. Şekil 8.3, 75 kW standart endüstriyel motorlar için tipik motor verimlerini göstermektedir. Şekilde görüleceği üzere, modern bir motorun verimi çok yüksektir. Genel olarak verim, yükün %50'si ile %100'ü arasında %1-2 dâhilinde sabittir. Maksimum verim, genellikle, %75 yükte gerçekleşir. %50 yükün altına inildiğinde verim düşer; fakat modern motorlarda yükün yaklaşık %25'ine kadar iyi düzeyde kalır.

Not: Elektrik motorlarının standartlarını belirleyen ve bunları yayınlayan iki temel kurum IEC ve NEMA'dır. IEC (International Electrotechnical Commission) Avrupa tabanlı bir kuruluş iken NEMA (National Electrical Manufacturers Association) Amerikan standartlarını için çalışmaktadır. NEMA standartlarının IEC standartlarına çevrimi veya IEC standartlarındaki karşılıkları için değişik kaynaklardan araştırma yapılmalıdır. Türkiye'de ise konu ile ilgili düzenleme Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından IEC'ye dayanarak yapılmıştır. (TS3209)

**Şekil 8.3. 60Hz, 75 kW motorların tipik verimleri**

### 8.2.4. Motorlarda ayarlanabilir hız sürücülerinin (ASD) kullanılması

Bir motor ASD'ye bağlandığında, ASD tarafından çok yüksek frekansta gönderilen kısa ve yüksek gerilim darbelerine maruz kalır. Bu darbelerin gerilimi, hat gerilimiyle bağıntılıdır ve sargılarda "korona etkileri"nin oluşacağı düzeylere kadar yükselebilir. Bu da, kablo yalıtımı üzerinde zararlı etkiye sahip olabilir ve sonuçta statorda yanmaya yol açabilir. Bu sorun, ASD tarafından gönderilen yüksek gerilim sıçramalarına dirençli yeni tipte kablo yalıtımının geliştirilmesine yol açmıştır. Bu türden yüksek kaliteli kablo yalıtımı ile donatılmış motorlara "evirci (inverter) motorlar" denir. Gerilim sıçramaları sorunu 60 Hz şebekelerde, 50 Hz şebekelere göre daha büyüktür, çünkü bu şebekelerde hat gerilimi 50 Hz şebekelere göre daha yüksektir.

### 8.2.5. Servis faktörü

Servis faktörü (SF), bir motorun aşırı yüklenme veya hasar olmaksızın çalışabileceği sürekli aşırı yük kapasitesinin bir ölçüsüdür. Motor üreticisi, motordaki sıcaklık artışını yükün bir fonksiyonu olarak ölçer. Motor, ne yükseklikte sıcaklık artışını tolere edebileceğine bağlı olarak belirli bir güce, örneğin 75 kW, sahip şekilde etiketlenir. Ancak, motorun sağlayabileceği güç, etiketteki değerden yüksektir. Motor, anma gücünden daha yüksek güç sağlıyorsa, ısınır ve motor ömrü kısalır. Sağlanan güç, servis faktörü sınırları dâhilinde olduğu sürece, motordaki sıcaklık artışı özellik sınırları içinde kalmaya devam eder. 1 kW'tan büyük motorlar için standart NEMA servis faktörü, su geçirmez açık motorlarda 1,15 ve TEFC motorlarda ise 1,0'dır.

Etiketteki servis faktörü ne olursa olsun, 1,0 servis faktörü üzerinde çalıştırılan motorda erken motor arızası riski artar. Servis faktörünün amacı, motorun sürekli çalışma biçimi olarak değil, aşırı yük durumunda kısa süre çalışabilme yeteneğini belirtmektir.

### 8.2.6. Sıcaklık artışı

NEMA MG1 12.15-16'ya göre, soğutma ortamı sıcaklığının (ortam sıcaklığı) üzerinde sargı sıcaklığı artışı, Tablo 8.2'deki değerleri aşmamalıdır.

**Tablo 8.2. Ortalama sargı sıcaklığı artışı**

(Maksimum 40°C ortam sıcaklığına dayalı olarak, sıcaklıklar °C cinsindedir.)

| Yalıtım Sınıfı  | A  | B  | F   | H    |
|---|----|----|-----|------|
| Aşağıda listelenenler dışında, servis faktörlü 1,0 olan motorlar      | 60 | 80 | 105 | 125  |
| Servis faktörü 1,15 veya daha yüksek olan tüm motorlar                | 70 | 90 | 115 | ---- |
| Servis faktörü 1,0 olan tam kapalı havalandırmasız motorlar           | 65 | 85 | 110 | 130  |
| Sargıları kaplanmış ve servis faktörü 1,0 olan motorlar, tüm gövdeler | 65 | 85 | 110 | ---- |

Bu sıcaklıklar, tavsiye edilenden daha yüksek olduğunda, motor sargı yalıtımı hızla bozulur. Buna ilişkin pratik ölçü şudur: Sargılarda her ilâve 10°C'lik sıcaklık artışına karşılık, yalıtım ömrü %50 azalır.



### 8.2.7. Maksimum kalkış sayısı

Motorun uygun boyutlandırılmasına ek olarak, tüm sistem, motor güvenilirliği zayıflatılmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bir motor, pompalama sistemi için kullanıldığında, gözden geçirilmesi gereken temel parametrelerden birisi, normal işletimde motorun maruz kalacağı kalkış ve durdurma sayısıdır. Tablo 8.3, saat başına motor kalkış sayısı ve minimum durma süresine ilişkin genel rehberlik sağlamaktadır.

**Tablo 8.3. Saatte maksimum kalkış sayısı/minimum durma süresi**

| kW  | 2 kutuplu                     |                               | 4 kutuplu                     |                               | 6 kutuplu                     |                               |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|     | Saatte maksimum kalkış sayısı | Minimum durma süresi (saniye) | Saatte maksimum kalkış sayısı | Minimum durma süresi (saniye) | Saatte maksimum kalkış sayısı | Minimum durma süresi (saniye) |
| 1   | 15                            | 75                            | 30                            | 38                            | 34                            | 33                            |
| 5   | 8,1                           | 83                            | 16,3                          | 42                            | 18,4                          | 37                            |
| 10  | 6,2                           | 92                            | 12,5                          | 46                            | 14,2                          | 41                            |
| 15  | 5,4                           | 100                           | 10,7                          | 46                            | 12,1                          | 44                            |
| 20  | 4,8                           | 100                           | 9,6                           | 55                            | 10,9                          | 48                            |
| 50  | 3,4                           | 145                           | 6,8                           | 72                            | 7,7                           | 64                            |
| 75  | 2,9                           | 180                           | 5,8                           | 90                            | 6,6                           | 79                            |
| 100 | 2,6                           | 220                           | 5,2                           | 110                           | 5,9                           | 97                            |
| 200 | 2                             | 600                           | 4                             | 300                           | 4,8                           | 268                           |
| 250 | 1,8                           | 1000                          | 3,7                           | 500                           | 4,2                           | 440                           |

Motorda sık kalkış ve durdurmaları önlemek için, aşağıdaki türden sistem değişiklikleri yapılması gerekebilir:

- Pompanın çalışma süresini uzatmak için pompanın giriş ve çıkış tarafında daha büyük tanklar konulması,
- Çalışma/durma sürelerini uzatmak için proses parametrelerinin ayarlanması,
- Çalışma süresini uzatmak için değişken hız sürücüsü takılması.

Sistem değişiklikleri ideal olarak aynı zamanda pompalama sistemi verimini de optimize etmeye çalışmalıdır.

### 8.2.8. Motor değiştirmenin etkileri

Motor arıza yaptığında yenisiyle değiştirilmesi yaygın bir uygulamadır. Yeni bir motor devreye alındığında, her durumda, eski motordan daha verimli olacaktır. Çünkü, verim standartları iyileştirilmiştir. Enerji verimli motorlar çalışırken, daha eski ve düşük verimli motorlardan daha az kayma yapar. Bu nedenle, santrifüj yük, yeni motor ile daha hızlı çalışır. Benzerlik Kanunları'ndan öğrendiğimize göre, motorun tükettiği güçteki küçük değişiklikler, kabaca, hızın küpüyle orantılıdır (özellikle düşük statik basma yüksekliğine sahip olan uygulamalarda). Bu nedenle, hızdaki küçük bir artış, güç çekişinde büyük etkiler yaratır. Örneğin, %2 daha hızlı çalışan bir pompa, motordan %8 daha fazla güç çeker. Eğer bu ekstra akış ve basınç kısılr-

sa, daha verimli motorun daha fazla güç gerektirmesi çelişkisi ortaya çıkar. Bunu önlemek için, daha yüksek verimli motordan yararlanmak amacıyla, çark boyutlandırma veya değişken hız sürücüsü kullanma gibi diğer değişiklikler de yapılmalıdır.

### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Endüstride en yaygın kullanılan motorlar üç fazlı sincap kafesli asenkron endüksiyon motorlarıdır.
- 2) Motor bilgileri genellikle motor etiketinde bulunur.
- 3) Motor hızı, kaynak frekansı ve kutup sayısına bağlıdır.
- 4) Motor verimleri bu tip motorlar için genellikle yüksektir.
- 5) Evirici (inverter) motorları ASD ile kullanmak gerekir.
- 6) Servis faktörü, motorun aşırı yük durumunda kısa süre çalışabilme yeteneğini belirtir.
- 7) Verimli motorlar daha hızlı çalışır.





## Bölüm 9

# Pompalama Sistemi Kontrol Yöntemleri

## 9.1. Genel Bakış

Bu bölüm, yaygın olarak uygulanan bazı pompalama sistemi kontrol stratejilerini ve her kontrol yönteminin pompa eğrisi ve sistem eğrisini nasıl etkilediğini özetlemektedir. Değişken hız sürücülerini kullanmanın faydaları ve olası sorunları da bu bölümde anlatılmaktadır.

### 9.1.1. Pompalama sistemi kontrol stratejileri

Pompaların hizmet verdiği çoğu proses sisteminde, pompanın tam kapasitesine sürekli ihtiyaç olmaz. Tam akış veya basınç gerekmediğinde, santrifüj pompalar ve sistem ihtiyaçları, genellikle aşağıdaki yöntemlerden biri kullanılarak kontrol edilir:

- Aç/kapa kontrolü
- Pompa deşarj vanasının kısılması
- Devridaim akışı
- Değişken hız sürücüsü kullanılması

Bu yöntemler, uygun ekipman kullanılarak prosesin izlenmesiyle başlatılır ve pompa kapasitesini ayarlamak üzere pompa, kontrol vanaları veya değişken hız sürücüsünün (VSD) faaliyete geçirilmesiyle uygulanır.

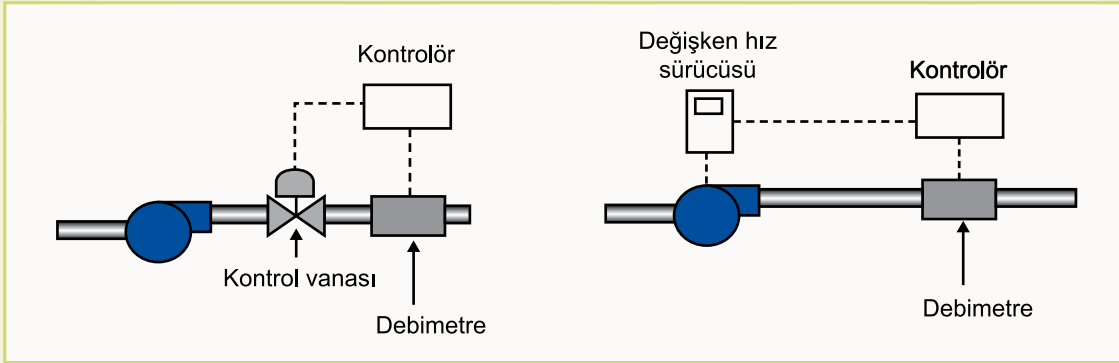
## 9.1.2. Pompa kontrolü için kullanılan proses parametreleri

Kullanılan bazı proses parametreleri aşağıdakileri içerir:

- Seviye kontrolleri
- Basınç ölçerler
- Debimetreler
- Sıcaklık problemleri

Bu aletler, ayar noktalarına dayalı bir aç/kapa sinyali veya değişken sinyal gönderir. Değişken sinyal sağlandığında (4-20 mA en yaygın olanıdır), pompalara ne zaman kalkış verileceği ve kapatılacağı, vanaların açılacağı ve kapatılacağı veya değişken hız sürücüsünün belirlenen proses parametrelerini karşılamak üzere nasıl işletileceğini belirlemek üzere bir dağıtılmış kontrol sistemi veya döngü kontrolörü kullanılır. Şekil 9.1'de, bir kontrol vanası ve değişken hız sürücüsü ile kontrol edilen ve geri besleme için debimetre kullanan basit bir sistem gösterilmektedir.

Şekil 9.1. Kontrol vanası ve VSD sistemleri



## 9.2. Pompa Kontrol Stratejileri

### 9.2.1. Aç/kapa kontrolü

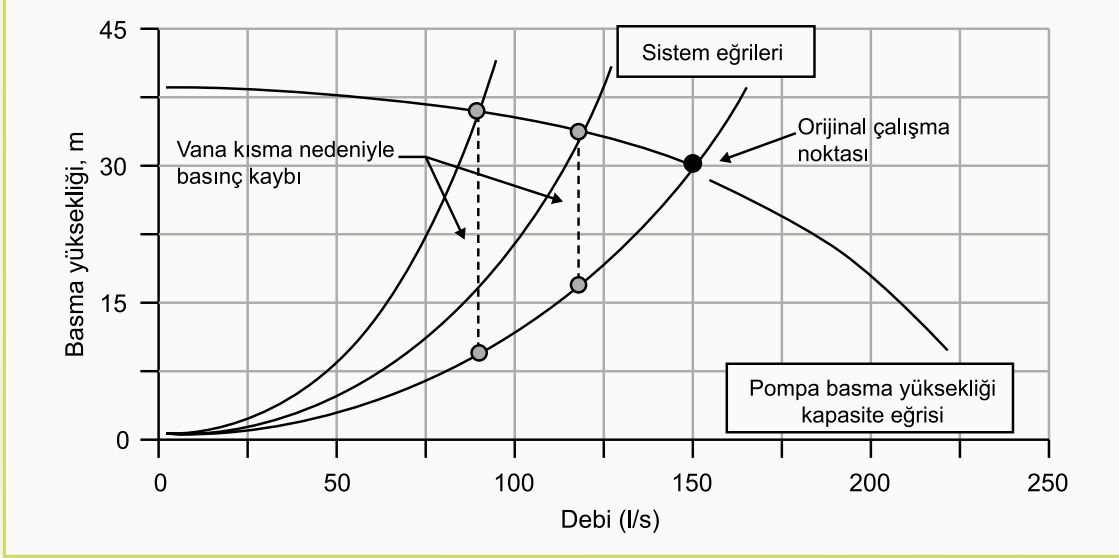
Aç/kapa kontrolü, küçük pompaları çalıştırmak için en basit ve yaygın yöntemdir. Akışa ihtiyaç duyulduğunda, proses ihtiyaçlarını karşılamak için pompa faaliyete geçirilir ve gerek kalmadığında pompa durdurulur. Bu türden kontrol, pompalama sistemleri için yeterlidir. Ancak, proses ihtiyaçları için sık sık aç/kapa kontrolü gerektiren daha büyük pompalama sistemleri için pek pratik olmayabilir.

### 9.2.2. Pompa çıkışı kısmak için kontrol vanası kullanılması

Birçok endüstride pompa debisi rutin olarak, pompa çıkışı üzerindeki bir ayar vanasını kısarak suretiyle kontrol edilir. Kısılan vana, sistem ihtiyaçlarını karşılamak üzere belirlenen debi, basınç veya başka bir parametreyi muhafaza edecek şekilde kontrol edilebilir. İster pompa çıkışı üzerinde tek vana olsun isterse sistem genelinde çok sayıda vana olsun (örneğin golf sahasındaki yağmurlama sistemi gibi), pompa debisi, boru sistemindeki direnci artırmak ve

çalışma noktasını pompa eğrisinde, Şekil 9.2, görüldüğü gibi yukarıya kaydırmak suretiyle azaltılır.

**Şekil 9.2. Santrifüj pompanın kısılması**



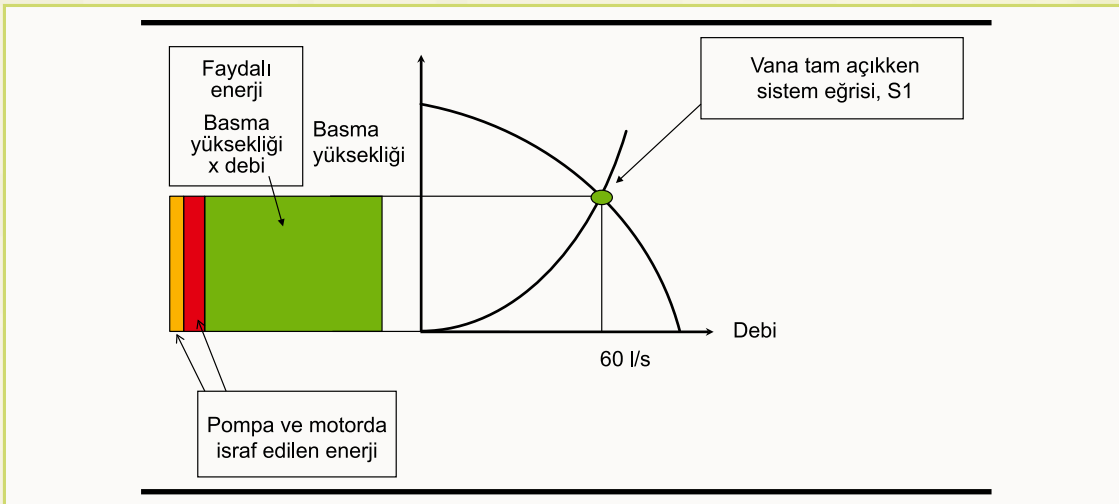
Şekil 9.2'de görüldüğü üzere, kısılma, akışkanın sistemde taşınması için gereken basıncı artırmaktadır. Şekildeki dikey çizgiler, vanadaki sürtünme kayıplarını temsil etmektedir. Debi ile vanadaki basınç düşüşünün çarpımıyla orantılı olan kısma kayıpları oldukça büyük olabilir.

### 9.2.3. Pompalama sistemi kısılmasının enerji gösterimi

Kısılan bir sistemde farklı çalışma noktalarında kullanılan enerji, aşağıdaki şekillerde olduğu gibi grafik olarak gösterilebilir.

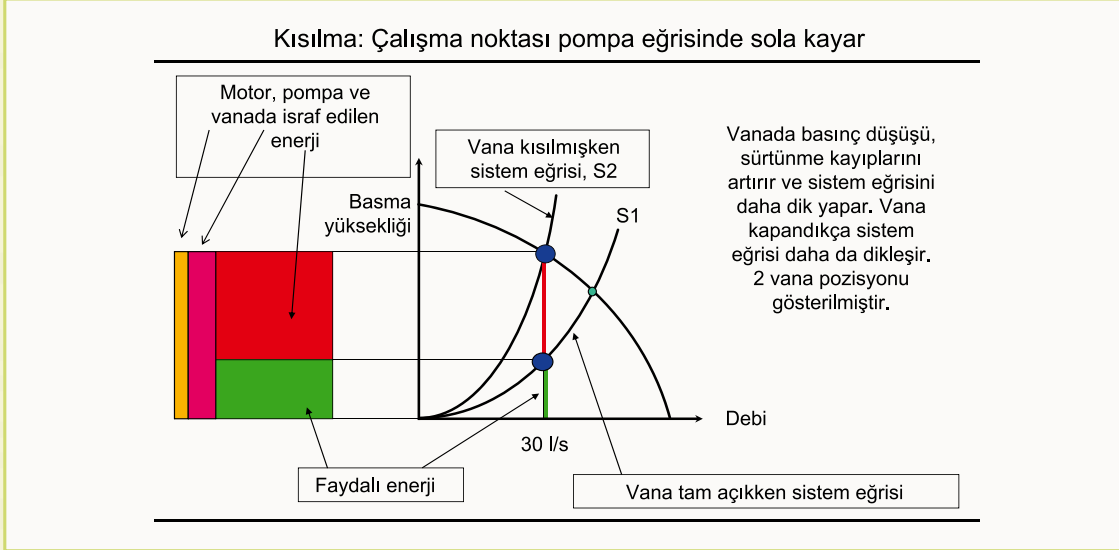
**Şekil 9.3. Pompalama sistemi enerji gösterimi**

(Herhangi bir kısılma yokken, pompa BEP'te çalışmaktadır. Kayıplar sadece motor ve pompadadır.)



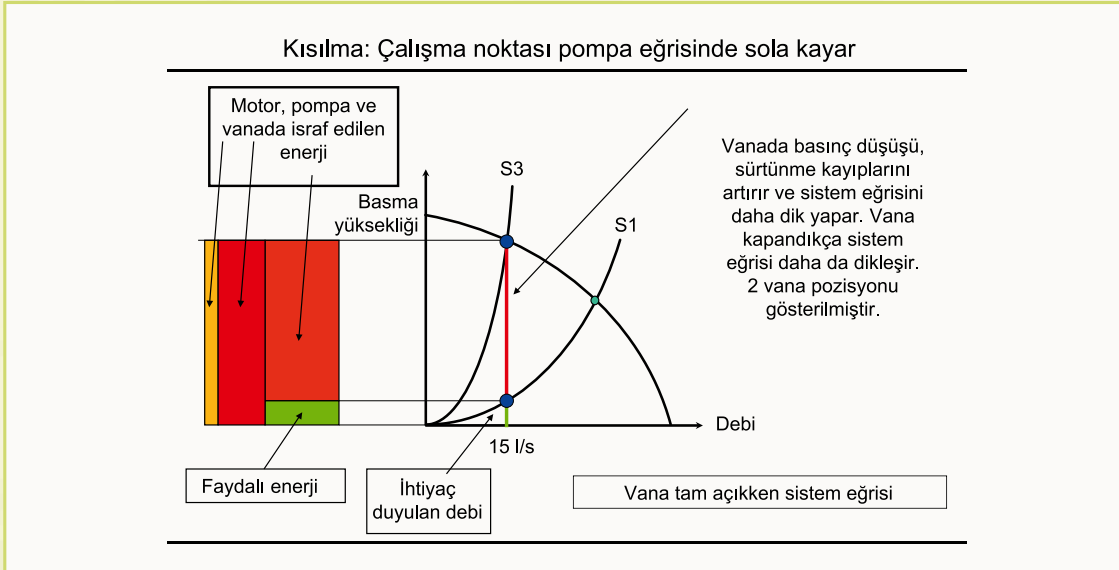
### Şekil 9.4. Farklı çalışma noktalarında kullanılan enerji-1

(Akışkana aktarılan faydalı enerji ve motor, pompa ve vanada kaybedilen enerji gösterilmektedir. Çalışma noktasının değişmesi nedeniyle pompa kayıpları daha büyüktür.)



### Şekil 9.5. Farklı çalışma noktalarında kullanılan enerji-2

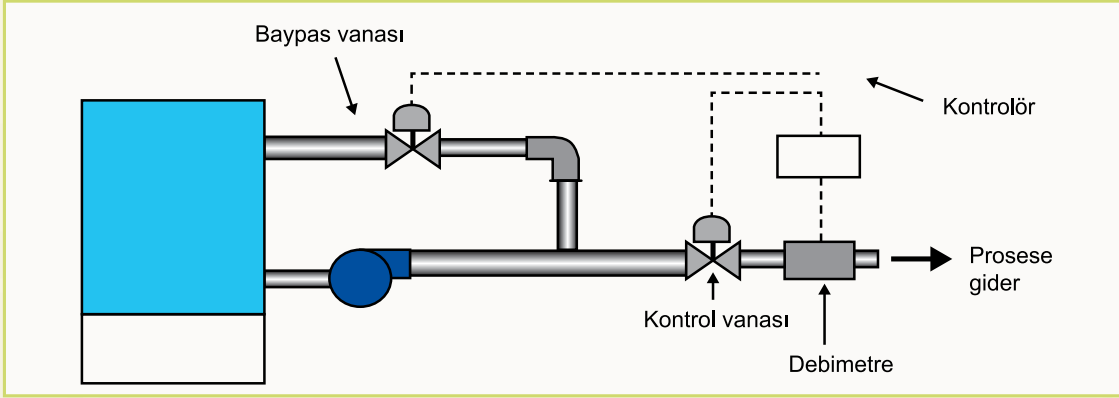
(Pompa daha da kısılr ve çalışma noktası sola kayar. Pompa verimi daha da düşmüştür ve vanadaki kayıplar da artmıştır. Motorun sağladığı enerjinin yalnızca bir kısmı akışkanı taşımada kullanılmaktadır.)



## 9.2.4. Baypas sistemi kullanılarak akış devridaimi

Bir baypas sistemi, basılan debinin bir kısmını pompanın giriş tarafına tekrar göndermek suretiyle akışı düzenler. Şekil 9.6'da gösterildiği gibi, genellikle iki kontrol vanası kullanılır.

Şekil 9.6. Akış devridaimi

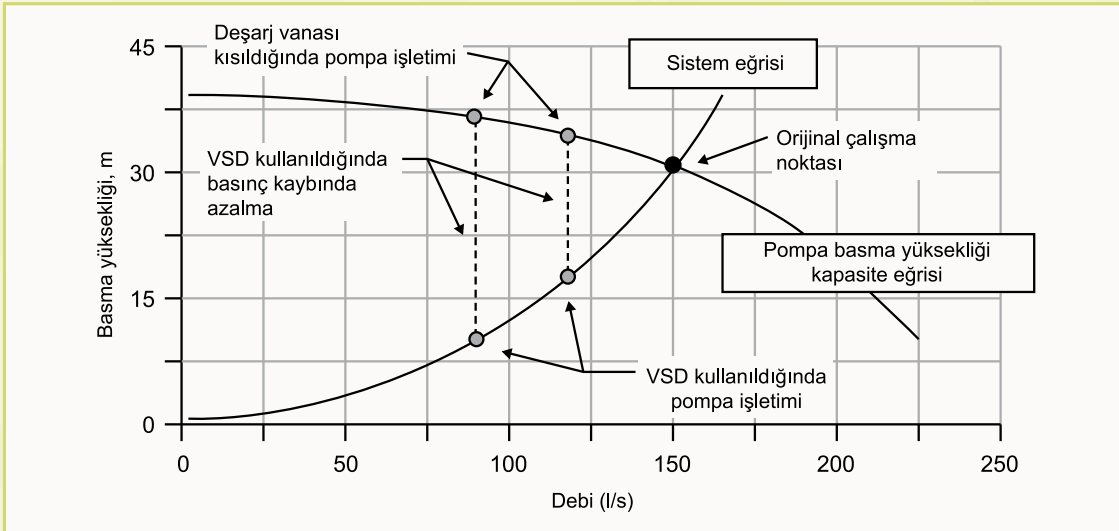


Bu yöntem, kısılan deşarj vanasının debiyi kapanışa kadar azalttığına veya aşırı düşük debi koşullarında büyük pompaları çalışır durumda tutmak ve minimum pompa debisini muhafaza etmek için kullanılır.

### 9.2.5. Değişken hız sürücüsü kullanılması

Değişken hız sürücüler, pompa hızını değiştirmek suretiyle pompadan geçen debiyi değiştirir. Bu da, debiyi regüle etmek için vana kullanıldığında olduğu gibi, sistem eğrisinin aksine pompa eğrisini değiştirir. VSD kullanıldığında, yeni çalışma noktası Şekil 9.7'de gösterildiği gibi sistem eğrisi üzerinde düşer. Bu nedenle, sistem eğrisinin şekli ve biçimi çok önemlidir.

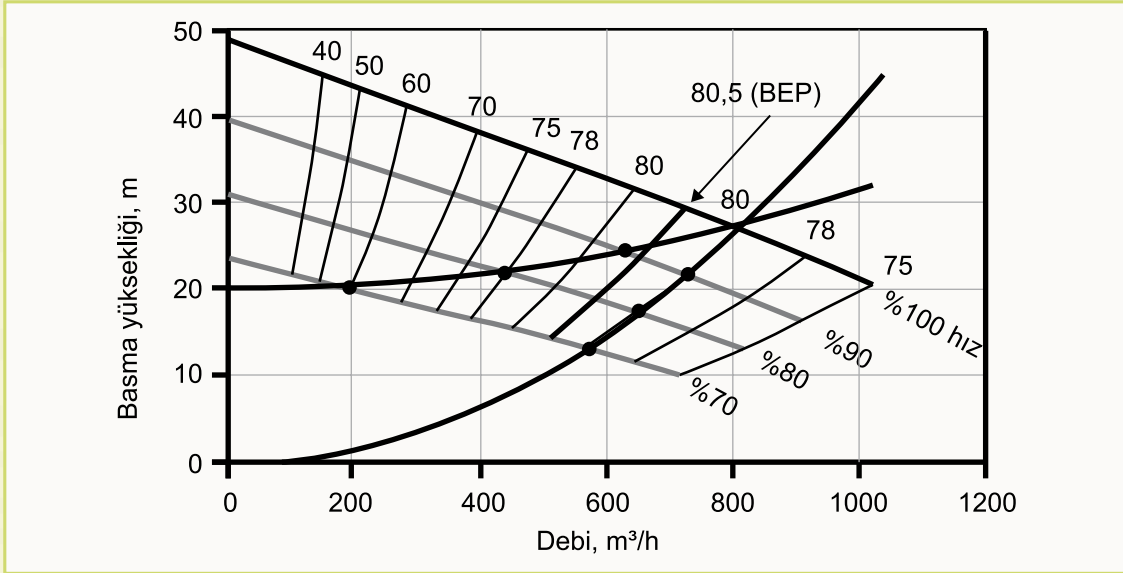
Şekil 9.7. Sistem eğrileriyle pompa hızı değişikliklerinin etkisi-1



Hız regülasyonu uygularken karşılaşılabilecek en büyük tehlike, sistem eğrisinin statik basma yüksekliğine sahip olup olmadığıdır. Şekil 9.8, indirgenmiş pompa eğrilerini verim çizgileriyle birlikte göstermektedir. Şekilde görüleceği üzere, iki sistem eğrisi arasında büyük bir fark vardır. Statik basma yüksekliği bulunmayan eğride (Eğri 1), çalışma noktası hızın %100'ü ile %70'i arasında sabit %80 verim çizgisine sahiptir. Bu nedenle, hız azaltıldığında pompa verimi sabittir.



Şekil 9.8. Sistem eğrileriyle pompa hızı değişikliklerinin etkisi-2



Statik basma yüksekliğine sahip olan sistem eğrisinde (Eğri 2) ise durum çok farklıdır. Bu durumda sistem eğrisi, verim eğrileri boyunca hareket eder ve pompa hızı %100'den %70'e düşerken pompa verimi ise %60'a düşer. Statik basma yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda bu ciddi sorunlara yol açabilir. Pompanın çalışma noktası, pompanın en küçük hız değişiklikleri ile dahi işletilmemesi gereken noktalara gidebilir.

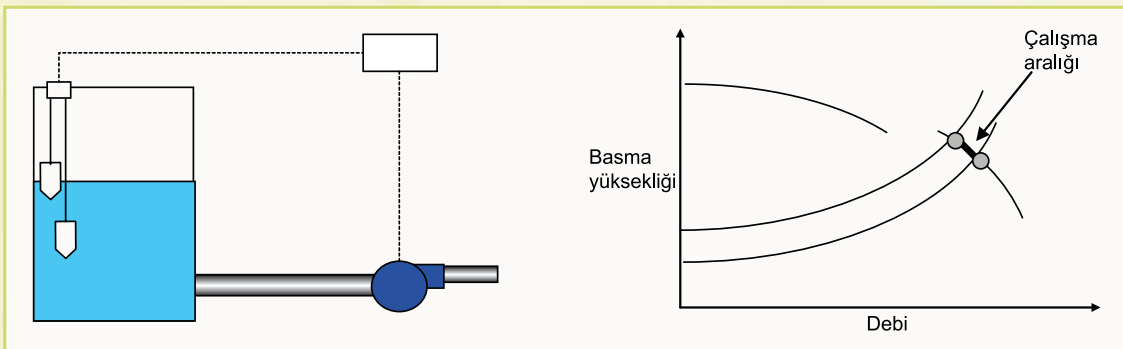
Pompa verimi de düşer ve bu, motorun kullandığı güç azalsa dahi, basılan birim hacim başına kullanılan enerjinin gerçekte artmasına neden olur. Bu nedenle, belli bir büyüklükte statik basma yüksekliği olan sistemlere değişken hız sürücüleri takılacağı zaman çok dikkatli olmak gerekir. Muhtemel faydaları tespit etmek için her durum münferit olarak incelenmelidir.

## 9.3. Sistem İhtiyaçları

### 9.3.1. Seviye kontrolü

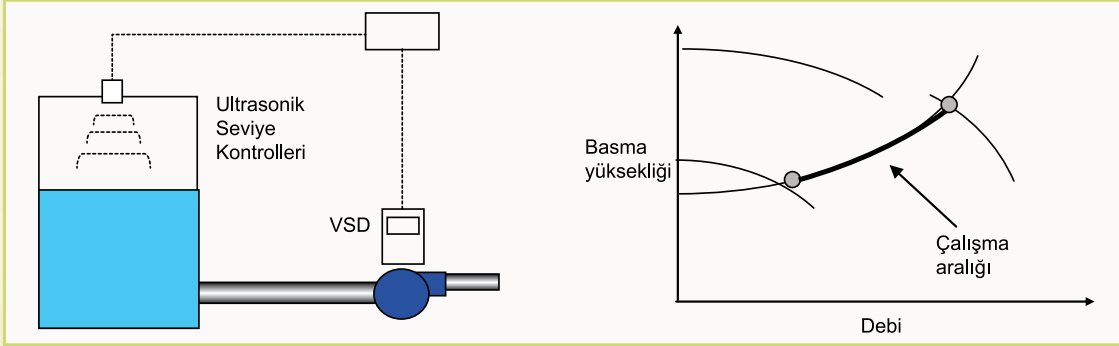
Basit bir seviye kontrol sistemi Şekil 9.9'da gösterilmiştir. Tanktaki su seviyesi üstteki şamandıraya ulaştığında pompa harekete geçirilir ve tank seviyesi düşürülür, aşağıdaki şamandıra da pompayı kapatır.

Şekil 9.9. Aç/kapa seviye kontrolü



Bu düzenlemede pompa, pompa eğrisi üzerinde dar bir aralıkta çalışır. Tank seviyesi düşükçe, pompanın giriş tarafındaki daha düşük basma yüksekliği nedeniyle (pompa çıkışında seviye farkı olmadığı varsayılarak), sistem eğrisi biraz yukarı kayar. VSD ve orantılı sinyalli seviye sistemi kullanıldığında, pompa çalışma aralığı Şekil 9.10'da gösterildiği gibi değişir.

**Şekil 9.10. VSD takılı pompa kullanılarak seviye kontrolü**



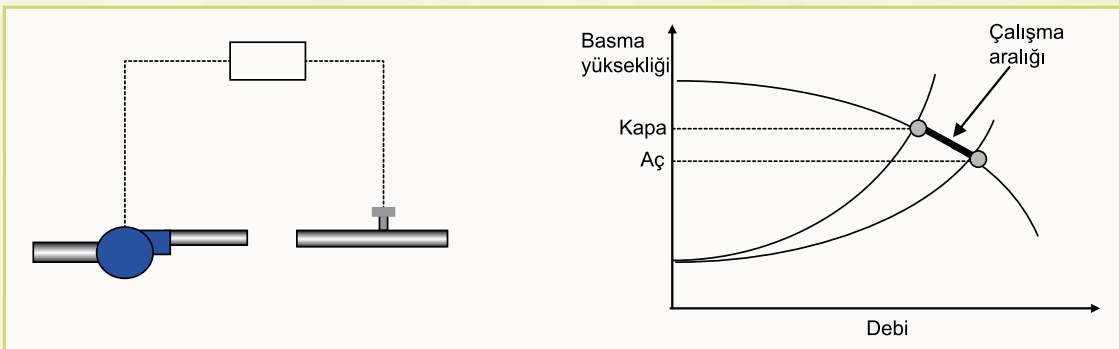
Şekil 9.10'da ultrasonik seviye kontrolü, seviye ayar noktalarının programlanmış olduğu kontrolcüye bir sinyal gönderir. Sonra, bu orantılı sinyal kullanılarak, belirlenen seviye aralığını muhafaza etmek üzere değişken hız sürücüsü hızlandırılır veya yavaşlatılır. Görüldüğu gibi, pompa, aç/kapa pompalama sistemi işletimi için tam hızda pompa basma yüksekliği yerine, sistem eğrisi üzerinde iki çalışma noktası arasında çalışır. Ancak, bu kontrollerin, pompa veriminin çok fazla düşeceği veya pompanın sistem eğrisi altında çalışacağı düşük hızlarda çalıştırmasına izin vermemek gerekir.

Diğer orantılı seviye kontrol sistemleri, tankın dibinde bulunan ve bir basınç transdüseri vasıtasıyla seviyeyi ölçen basınç kontrolleri, tanka takılan bir tüp vasıtasıyla geri basınca dayalı olarak tank yüksekliğini algılayan kabarcık tüpü ve kapasitans problemlerini içermektedir.

### 9.3.2. Basınç kontrolü

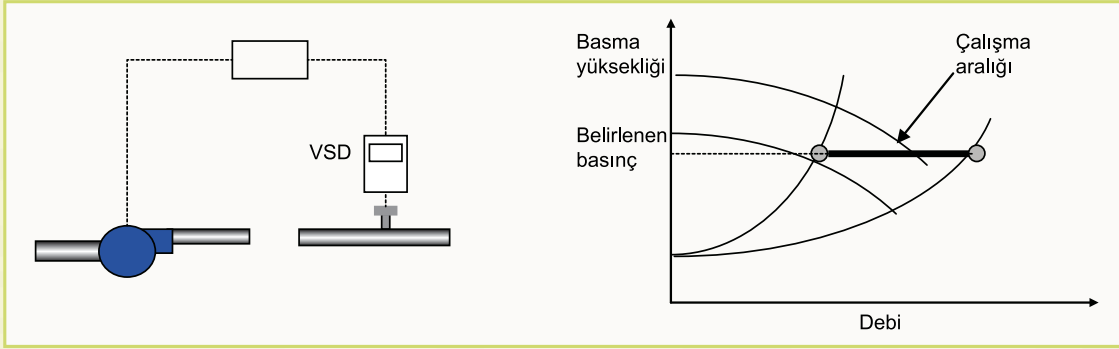
Birçok su sistemi, sistem değişiklikleri nedeniyle debinin değişmesi halinde nispeten sabit basıncı muhafaza etmek için pompalara ihtiyaç duyar. Aç/kapa basınç kontrolüne ilişkin basit bir örnek Şekil 9.11'de gösterilmektedir. Dikkat edilmelidir ki, sistem eğrisi, statik basma yüksekliğinin değişmediğini ortaya koymaktadır. Çünkü, basınç arttıka, pompa çalışma noktası, basma yüksekliği eğrisini yukarıya kaydırırken, sıfır debi noktası sabit kalmaktadır.

**Şekil 9.11. Aç/kapa basınç kontrolleri**



Şekil 9.12, değişken hız sürücüsü takılmış, basınca dayalı bir kontrol sistemini göstermektedir; anılan VSD, belirlenen basıncı muhafaza etmek üzere pompayı hızlandırmak veya yavaşlatmak için orantılı basınç sinyali kullanmaktadır.

Şekil 9.12. VSD takılı pompalı basınç kontrolü-1

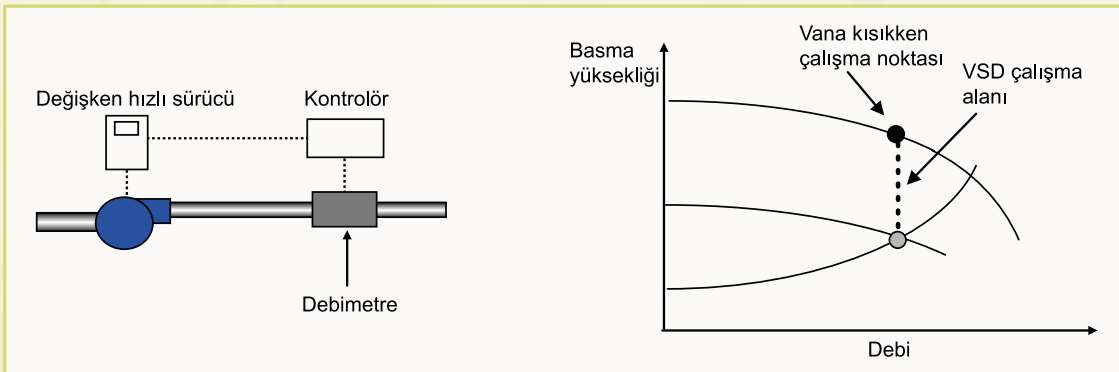


Yukarıdaki kontrol sistemi, belediye içme suyu şebekesi ve golf sahası sulama sistemi gibi su temin sistemlerinde yaygındır. Kullanıcı sayısı azaldıkça (veya otomatik yağmurlama vanaları kapandıkça), VSD pompa hızını azaltır. Sonuçta, debinin minimum debi ayar noktasına ulaşması halinde VSD kapatılmalıdır.

### 9.3.3. Akış kontrolleri

Bazı soğutma ve yıkama sistemlerinde sabit debiye ihtiyaç vardır. Bu uygulama için, belirlenen debi ayar noktasına göre VSD pompa hızını ayarlamak için debimetreden gelen bir sinyal kullanılır. Bu düzenleme Şekil 9.13'te gösterilmektedir.

Şekil 9.13. VSD takılı pompalı basınç kontrolü-2



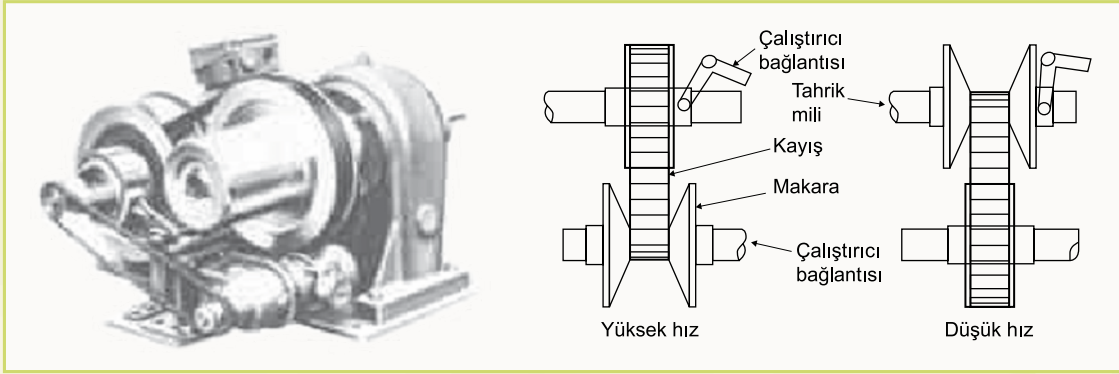
Kısmalı deşarj vanası kullanılarak debi kontrol ediliyorsa, debi, pompa eğrisi üzerinde gösterilen yerde olurdu.

## 9.4. Değişken Hız Sürücüleri

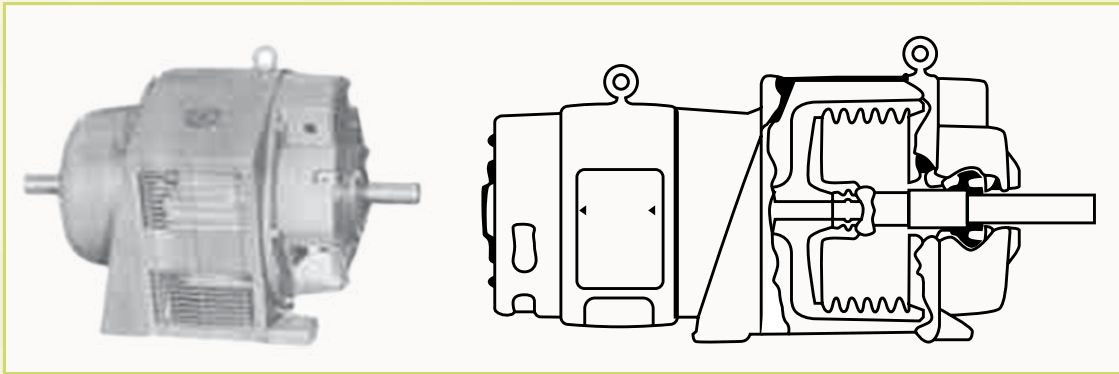
### 9.4.1. Sürücü tipleri

Bir elektrik motorunun hızı, elektriksel veya mekanik tipte bir değişken hız sürücüsü kullanılarak regüle edilebilir. Daha eski mekanik yöntemler, Şekil 9.14 ve 9.15'te gösterildiği gibi, ayarlanabilir kayışlı sürücü birimleri ve Eddy akımlı manyetik kavrama tipinde sürücüleri içermektedir.

Şekil 9.14. Ayarlanabilir kayışlı sürücü



Şekil 9.15. Eddy akımlı manyetik kavramalı sürücü



Elektriksel sürücüler tarafında ise, değişken frekanslı sürücüler günümüzde piyasaya hakim olmuştur. Asenkron motorlar için akım ve gerilim kaynağı eviricileri (inverterleri) içeren bazı farklı yöntemler de vardır. Geçmişte kullanılan daha eski sistemler, bilezikli motorlar ve Eddy akımlı manyetik kavramalı sürücüleri içermektedir.

Son birkaç yılda, darbe genişliği modülasyonu (PWM) sürücüler piyasaya hakim olmuştur ve uygulamaların çoğunda kullanılmaktadır. Ancak bazı uygulamalar için, manyetik sürücüler gibi alternatif sürücü tipleri de kullanılmaktadır.

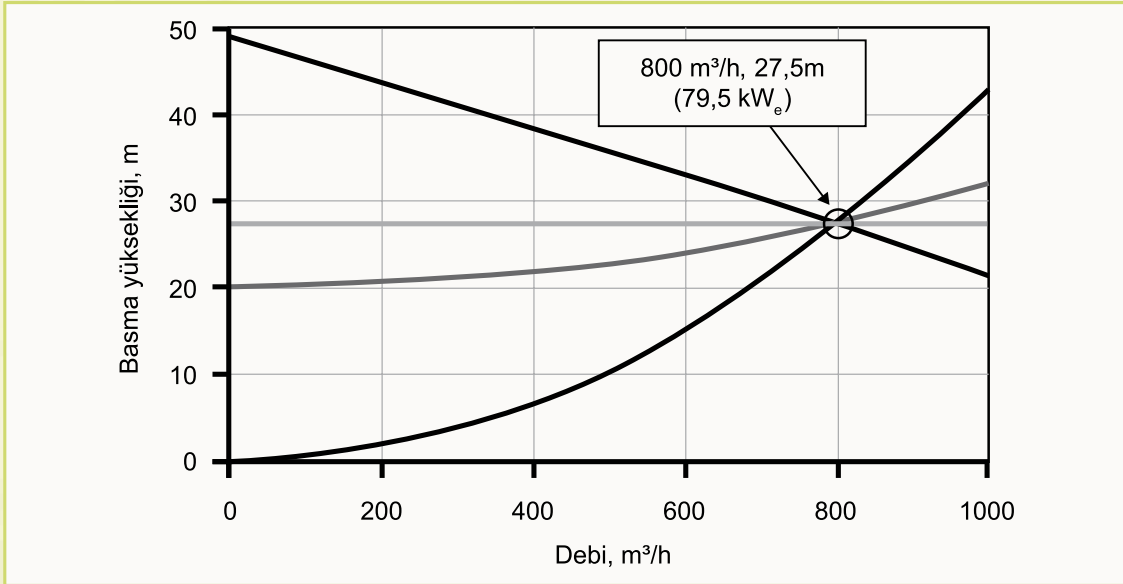
**Şekil 9.16. PWM ve manyetik değişken hız sürücüleri**  
(Robicon ve MagnaDrive'in izniyle)



### 9.4.2. Hız regülasyonunun işletim koşulları üzerine etkisi

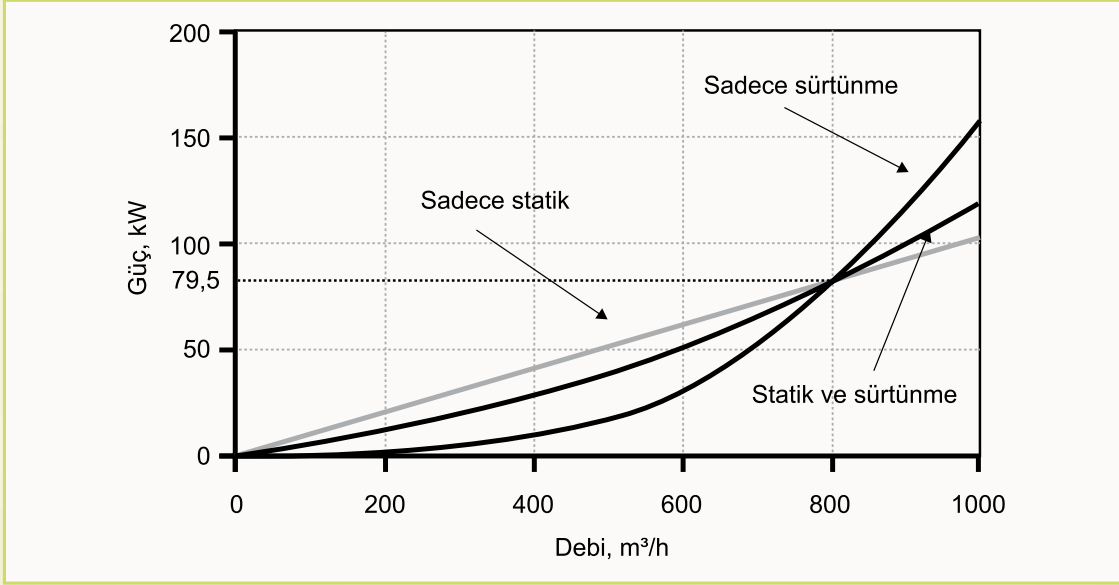
Şekil 9.17, üç farklı sisteme bağlı olan bir pompanın hızı değiştirildiğinde ne olduğunu göstermektedir.

**Şekil 9.17. Hız değişiminin etkilerini göstermede kullanılan üç sistem**



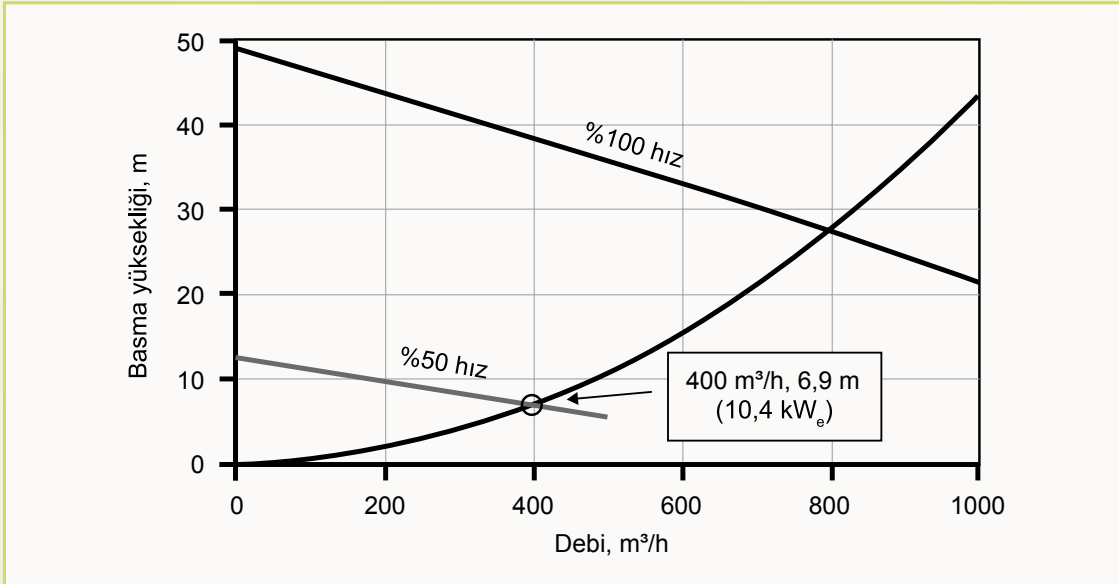
### 9.4.3. Düşük hız pompa eğrileri

Şekil 9.16'daki pompa, 27,5 m basma yüksekliğinde 800 m³/h debi sağlayan, aynı tam hız çalışma noktasına sahip üç farklı sisteme bağlanmıştır. Bu çalışma noktasında motor tarafından çekilen güç, Şekil 9.18'de gösterildiği gibi 79,5 kW'tır.

Şekil 9.18. 800 m<sup>3</sup>/h debide aynı tam hız çalışma noktasından geçen üç farklı sistem eğrisi

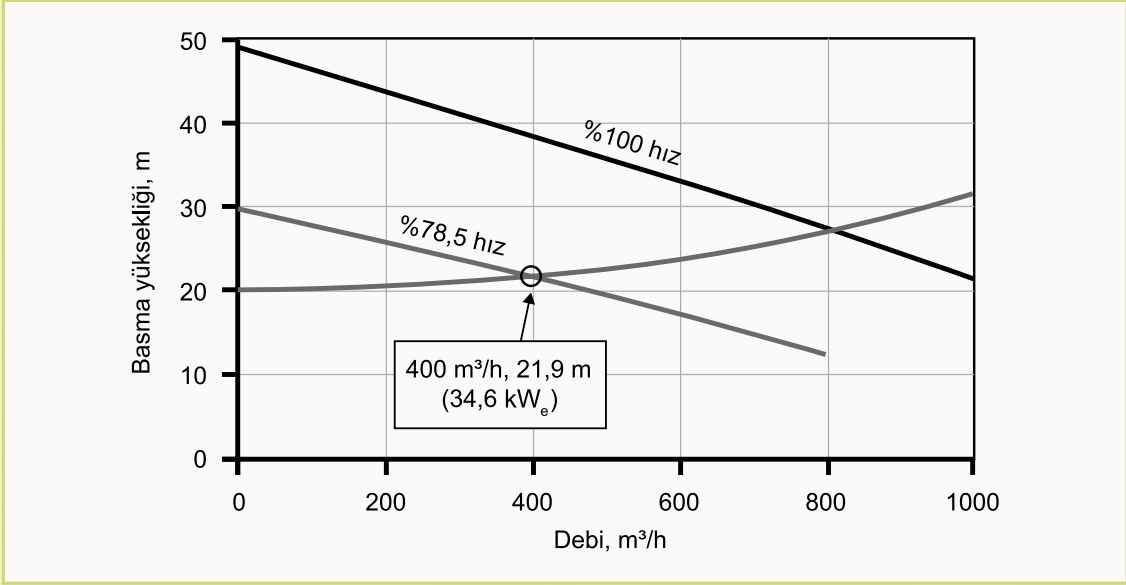
Her sistemde yarı debi elde edilinceye kadar hız düşürülür ve her durum için hız ve çekilen güç kaydedilir.

Şekil 9.19. Tümüyle sürtülmeli sistem için hız değişimi



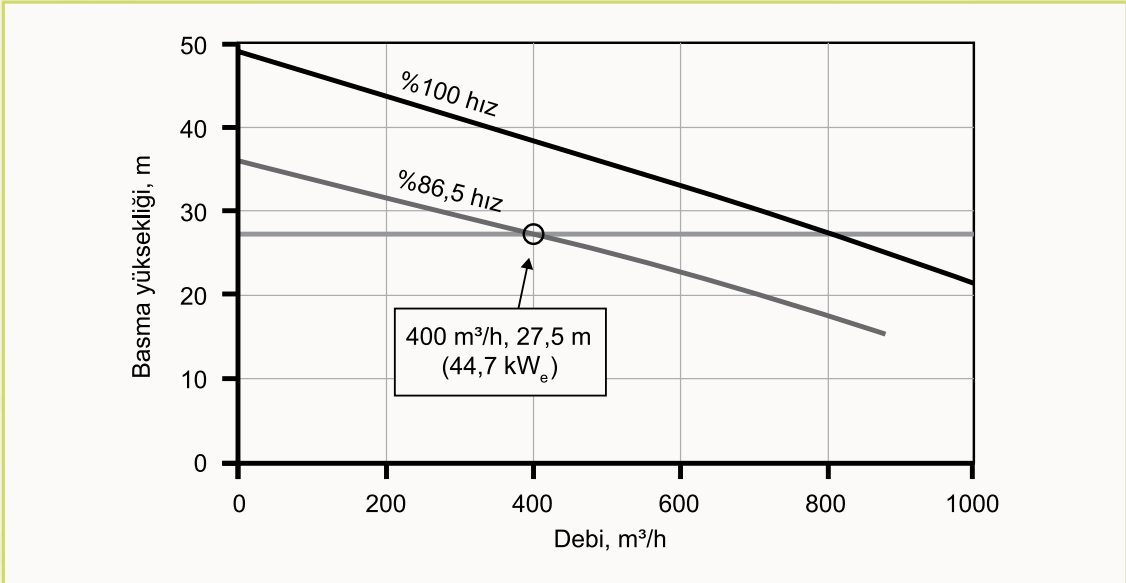
Tümüyle sürtülmeli sistem için hız, orijinal tam yük hızının %50'sine düşürüldüğünde, pompa verimi değişmez.

Şekil 9.20. Karışık statik/sürtünlü sistemde hız değişimi



Statik basma yüksekliğine sahip sürtünlü sistemde 400 m³/h debi elde etmek için hızın sadece orijinal hızın %78,5'ine düşürülmesi gerekir. Bu durumda, pompa verimi de değişir.

Şekil 9.21. Tümüyle statik basma yüksekliğine sahip sistemde hız değişimi

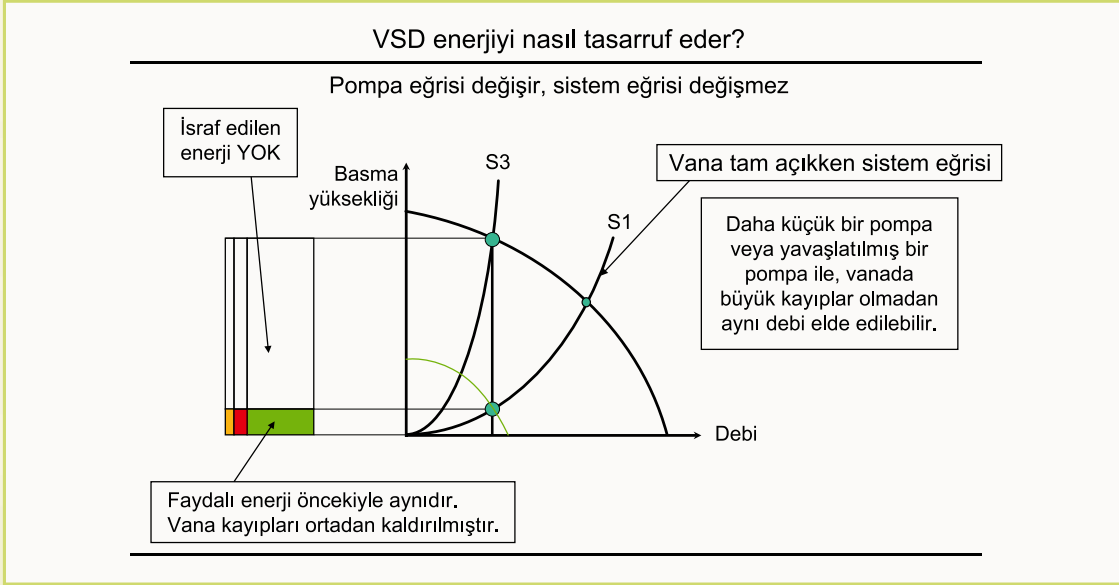


Tümüyle statik basma yüksekliğine sahip sistemde 400 m³/h debi elde etmek için, %50 yükte gereken hız azaltımı daha da düşüktür; orijinal hızın %86,5'idir. Bu durumda pompa verimi daha fazla değişir.

#### 9.4.4. Değişken hız sürücülü pompanın enerji gösterimi

Aşağıdaki şekil, değişken hız sürücüsü kullanıldığında, kısma kayıpları ile pompa ve motordaki aşırı kayıpların nasıl önlendiğini göstermektedir. En elverişli durumun, sistemde statik basma yüksekliği olmadığı durum olduğuna dikkat edilmelidir.

Şekil 9.22. Değişken hız sürücüsüyle kısma kayıplarının ve diğer kayıpların önlenmesi



Tablo 9.1, birim hacim başına tüketilen güçteki değişimi ve aynı zamanda kullanılan enerjiyi göstermektedir. Tümüyle statik basma yüksekliği durumunda, basılan akışkanın birim hacmi başına kullanılan enerji gerçekte artmaktadır. Böyle bir sistemde, debi yarıya düşürüldüğünde pompalama maliyeti artacaktır.

Tablo 9.1. Üç farklı sistemde hız regülasyonu etkilerinin özeti

| Statik basma yüksekliği (m) | m <sup>3</sup> /h | Hız (%) | kwe  | m <sup>3</sup> /kWh | kWh/m <sup>3</sup> |
|-----------------------------|-------------------|---------|------|---------------------|--------------------|
| 0                           | 800               | 100     | 79,5 | 10,1                | 0,099              |
| 0                           | 400               | 50,0    | 10,4 | 38,5                | 0,026              |
| 20                          | 800               | 100     | 79,5 | 10,1                | 0,099              |
| 20                          | 400               | 78,5    | 34,6 | 11,6                | 0,087              |
| 27,5                        | 800               | 100     | 79,5 | 10,1                | 0,099              |
| 27,5                        | 400               | 86,5    | 44,7 | 8,9                 | 0,112              |

#### 9.4.5. Statik basma yüksekliğinin önemi

Yukarıda anlatılanlardan çıkarılması gereken sonuç, statik basma yüksekliğine sahip sistemlere değişken hız sürücülerini monte ederken aşırı dikkat gerektiğidir. Bu, özellikle, statik basma yüksekliğinin sistem eğrisinin çoğunluğunu oluşturduğu durumlar için geçerlidir. Böyle bir sisteme değişken hız sürücüsü monte etmek için, örneğin, daha iyi debi kontrolü sağlamak gibi birtakım geçerli nedenler olabilir. Ancak, elde edilen sonuç, büyük ölçüde, sürücünün ne tipte sisteme uygulandığına bağlıdır.

Statik basma yüksekliğine sahip sistemlerde, hâlâ, tasarruf elde etmek mümkündür. Ancak, bu tasarruflar genellikle statik basma yüksekliği bulunmayan sistemlerdeki kadar büyük olmayacaktır.



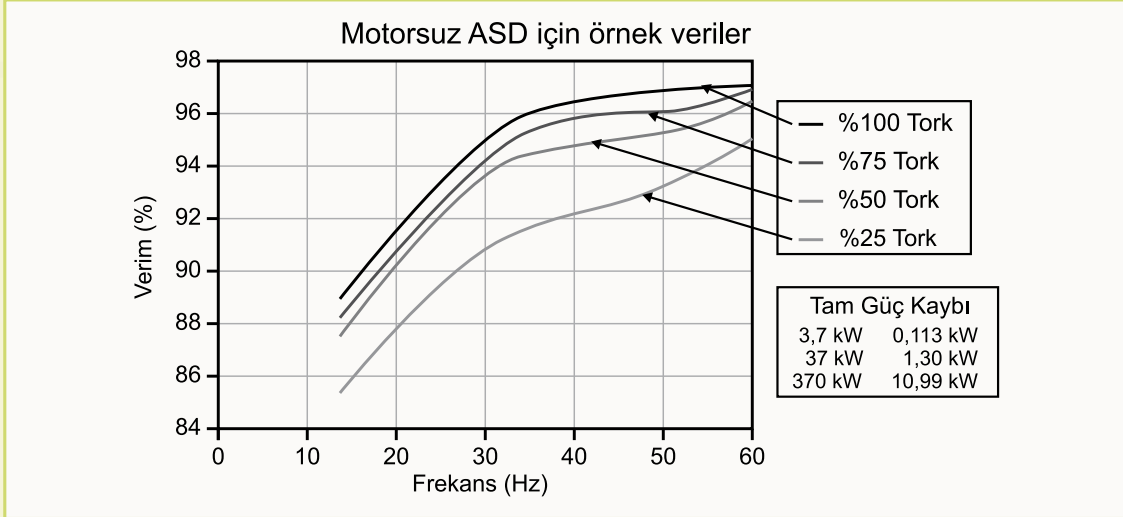
Kısma vanası ile karşılaştırılacak olursa, değişken hız sürücüleri daima enerji tasarrufu sağlar. Ancak, belirli bir sıvı hacmini basmak için tüketilen enerji, aç/kapa regülasyonu kullanan sabit hızlı pompalamaya göre artabilir.

Dolayısıyla, statik basma yüksekliğine sahip sistemlerdeki enerji kullanımını tahmin etmek için Benzerlik Kanunları kullanılamaz. Enerji kullanımını tahmin etmek için, sistem eğrisi ve pompa eğrisi bilgilerini birleştirmek suretiyle, çeşitli çalışma noktalarındaki gerçek enerji kullanımını tespit edilmelidir.

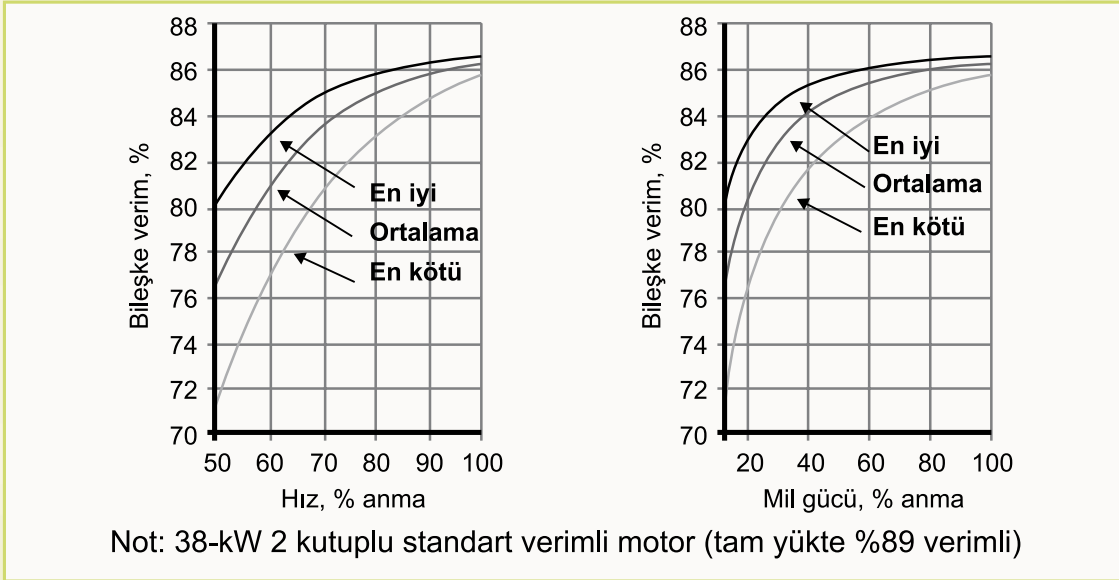
#### 9.4.6. VFD verimi

VFD'ler bir sisteme dâhil edildiklerinde motor karakteristiklerini etkiler. Ayrıca, VFD'de nispeten sabit ve sağlanan gücün yüzdesi olarak değişen kayıplar da olacaktır. Şekil 9.22, VSD için verimin, hız ve torkun bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğine ilişkin bir örnek göstermektedir. Pompalama uygulamalarında, tork ikinci dereceden bir fonksiyondur ve hız düşürüldüğünde çabucak düşer.

Şekil 9.23. Hız ve torkun fonksiyonu olarak VSD verimi



Şekil 9.24, sürücü ve motorun bileşke verimi hakkında bir fikir vermektedir. Motorlar farklı sürücülere farklı tepki gösterirler. Bu nedenle, kombinasyonun uyumlu olmasını sağlamak için, sürücü ve motorun aynı üreticiden alınması tavsiye edilir. Modern sürücüler, öncekilere oranla oldukça gelişmişlerdir.

**Şekil 9.24. Farklı sürücülere bağlandığında bileşke motor/sürücü verimi**

### 9.4.7. VFD'lerin faydaları ve sorunları

Değişken frekanslı sürücü sistemi ile elde edilen birçok fayda vardır. VFD'ler:

- Hız değişimlerini kontrol eder,
- Akış kontrolü sağlar,
- Sistem titreşimine neden olan kalkış etkilerini ortadan kaldırır,
- Hatalara karşı tolerans sağlar,
- Yumuşak kalkışları destekler,
- Devir yükünü yeniden başlatır,
- Hız sapmalarını kontrol eder,
- Ürün kalitesini artırır,
- Bazı sistemlerde enerji korunumu sağlayabilir,
- Çevrimi tekrarlar.

Bu faydalar, enerji tasarrufu olmasa dahi, değişken hız sürücülü sistemin monte edilmesi için güçlü gerekçeler oluşturur. Ancak, değişken hız sürücü (VSD)'lerle ilgili bazı yaygın sorunlar vardır. Bu sorunların hepsinin çözümü mevcuttur. Ancak, mühendis/kullanıcı, nahoş sürp-rizlerle karşılaşmamak için bunları bilmelidir. Tipik sorunlar arasında aşağıdakileri saymak mümkündür:

- Harmonik akımlar,
- Motor terminal dalgası ve ayarlanabilir hız sürücülü darbe genişlik modülasyonu (ASD PWM) dalgası,
- Devreler arasında parazit,
- Yatak akımları,
- Mekanik titreşimler,
- Artan gürültü (akustik),
- Statik basma yüksekliğindeki değişimler.

Fayda ve sorunların ayrıntılı açıklaması için, Hidrolik Enstitüsü (HI) ve Europump'ın ortak yayını olan "Değişken Hızlı Pompalama: Başarılı Uygulamalar Kılavuzu"nun okunması tavsiye edilir.

**Alıştırma:**

Önceden 300 mm'lik küresel vana ile kontrol edilen bir pompalama sistemine VFD takılmıştır. Sürekli işletilen sirkülasyon su pompası, zamanın %40'ında 200 l/s ve geri kalan zamanda 150 l/s debi sağlamaktadır.

- 1.Tablo 8.2'de sağlanan değerlere dayanarak, küresel vananın 300 mm'lik kelebek vana ( $K= 0,35$  tam açık) ile değiştirilmesi halinde, yıllık enerji tasarrufu ne olacaktır? Elektrik enerjisi maliyetini 0,05 \$/kWh alınız.
- 2.Bu örnekte kabul edilen gerçekçi olmayan varsayımları (bakınız tablo dipnotları) tartışınız.

**Tablo 9.2. Debiye karşılık gelen basınç düşüşü ve enerji kaybı (tam açık 300 mm'lik vana için)**

| Debi, l/s  | 250  | 200   | 150  | 100  | 50   |
|--|------|-------|------|------|------|
| Akış hızı <sup>1</sup> , m/s                     | 3,54 | 2,83  | 2,12 | 1,42 | ,71  |
| Basma yüksekliği kaybı, m                        |      |       |      |      |      |
| Küresel vana, $K=10$                             | 6,38 | 4,08  | 2,29 | 1,03 | 0,26 |
| Kelebek vana, $K=.35$                            | 0,22 | 0,14  | 0,08 | 0,04 | 0,01 |
| Basma yüksekliği kaybı azaltımı <sup>2</sup> , m | 6,16 | 3,94  | 2,21 | 0,99 | 0,25 |
| Akışkan kW azaltımı                              | 15,1 | 7,73  | 3,25 | ,97  | 0,12 |
| Güç tasarrufu <sup>3</sup> , kW                  | 21,6 | 11,04 | 4,64 | 1,39 | 0,18 |

1. 300 mm çaplı boru varsayılmaktadır.
2. 300 mm'lik küresel vananın, tam açık 300 mm'lik kelebek vana ile değiştirilmesi nedeniyle kayıp azaltımı
3. Pompalama tesisi verimi %70 varsayılmaktadır (VFD dahil).

**Çözüm:**

$$\begin{aligned} \text{Enerji tasarrufu} &= (0,4 \times 8.760 \times 11,04 \text{ kW}) + (0,6 \times 8.760 \times 4,64 \text{ kW}) \\ &= 53.317 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\text{Maliyet tasarrufu} = 53.317 \text{ kWh/yıl} \times 0,05 \text{ \$/kWh} = 2.665 \text{ \$}.$$

VSD hızı düşürüldüğünde, pompalama sistemi veriminin sabit varsayılması gerçekçi değildir.

### Temel Öğrenme Öğeleri

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) EÇeşitli kontrol yöntemleri arasındaki farklar
- 2) Farklı türde sistemlerde hız regülasyonunun etkileri
- 3) VFD verimi
- 4) VFD kullanımının faydaları ve sorunları



## Bölüm 10

# PSAT Programına Giriş

## 10.1. PSAT Programına Genel Bakış

Pompalama Sistemi Değerlendirme Aracı (PSAT), ABD Enerji Bakanlığı (ABD-EB) Endüstriyel Teknolojiler Ofisi (OIT) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Program, mühendisler ve tesis operatörlerinin kendi tesislerindeki pompalama sistemlerinin verimliliğini, pompa ve motor etiket verileri ve üç farklı parametrik alan ölçümüne dayalı olarak değerlendirmelerine yardım etmek amacıyla geliştirilmiştir. PSAT 2008'in ana ekranının resmi Şekil 10.1'de gösterilmektedir.

Birçok endüstri tesisinde, akışkanların pompalanması için tüketilen enerji, tesisin toplam enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturur. Operatörler çoğu zaman, pompalama sistemlerinde tüketilen enerjinin ne ölçüde verimli tüketildiğinin farkında değildir. PSAT aracı, sistem verimini ve potansiyel alternatifleri belirlemek için nispeten basit ve hızlı bir yöntem sunmaktadır.

PSAT, pompalama sistemlerinde enerji tasarruf fırsatlarını teşhis eder ve bu fırsatların hem elektrik enerjisi tasarrufu bakımından miktarını hem de parasal karşılığını ortaya koyar. PSAT tam olarak sistemlerin nasıl iyileştirileceğini söylemese de, cazip fırsatlar önerir ve pompa verimini iyileştirmeye yönelik daha geniş veya daha dar kapsamlı araştırmaları destekler.

Şekil 10.1. PSAT ana ekranı

|                                  | Condition A |         |        | Condition B |         |        |
|----------------------------------|-------------|---------|--------|-------------|---------|--------|
|                                  | Existing    | Optimal | Units  | Existing    | Optimal | Units  |
| Pump efficiency                  | 72.5        | 84.8    | %      | 72.5        | 85.0    | %      |
| Motor rated power                | 200         | 200     | hp     | 145         | 132     | kW     |
| Motor shaft power                | 192.4       | 164.6   | hp     | 143.9       | 122.7   | kW     |
| Pump shaft power                 | 192.4       | 164.6   | hp     | 143.9       | 122.7   | kW     |
| Motor efficiency                 | 95.7        | 95.8    | %      | 95.8        | 95.6    | %      |
| Motor power factor               | 96.7        | 95.7    | %      | 96.4        | 96.4    | %      |
| Motor current                    | 217.1       | 188.2   | amps   | 264.0       | 225.7   | amps   |
| Motor power                      | 150.0       | 128.4   | kW     | 150.2       | 126.3   | kW     |
| Annual energy                    | 1314.0      | 1125.1  | MWh    | 1316.5      | 1124.1  | MWh    |
| Annual cost                      | 95.7        | 56.3    | \$1000 | 95.8        | 56.2    | \$1000 |
| Annual savings potential \$1,000 |             | 3.4     |        |             | 3.5     |        |
| Optimization rating %            |             | 85.6    |        |             | 85.4    |        |

## 10.2. PSAT'ın Özellikleri

PSAT, pompaya sağlanan gücün saha ölçümleri ile uygulamanın ihtiyaç duyduğu akışkan işini (debi ve basma yüksekliği) karşılaştırmak suretiyle, mevcut pompalama sisteminin verimini değerlendirir. PSAT, pompa verimleri (Hidrolik Enstitüsü Standartları'ndan) ile pompalar ve motorların performans karakteristiklerine (MotorMaster+ veri tabanından) dayalı olarak, sistem için ulaşılabilir verimi tahmin eder.

PSAT'ın en yararlı kullanımı aşağıdakileri belirlemeye yöneliktir:

- Sistem verimini tespit etmek,
- Potansiyel enerji tasarruflarının miktarını belirlemek,
- Farklı işletim senaryolarının etkilerini incelemek,
- Sistem performans gidişatını ortaya koyacak verileri sağlamak,
- İşletim değişikliklerinin talep bedelleri üzerindeki etkilerini açıklığa kavuşturmak,
- Niteliği düşmüş veya kötü performans gösteren pompaları teşhis etmek.

Gerçek ve ulaşılabilir verim düzeylerinin karşılaştırılması, daha az fırsatlar içeren sistemler ile ilâve mühendislik analizleri yapılmasını gerektiren sistemlerin ayırt edilmesini sağlar.

## 10.3. PSAT Başarı Öyküleri

PSAT programı kullanılarak tespit edilen tasarruflardan bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

### a) Maden İşletmesi

Bir altın madeninde, PSAT ön seçim filtresi (Ek B'de verilmiştir), daha sonra analiz edilmek üzere, üç adet pompalama sistemi tanımlamıştır. Yılda 170.000 \$'den (2.398.200 kWh) fazla potansiyel tasarruf tespit edilmiştir.

### b) Kâğıt Fabrikası

Bir kâğıt fabrikasında yapılan bir ön seçimde, önemli enerji tasarruf fırsatı sunan bir sistem tespit edilmiştir. Yıllık tasarruf olarak tespit edilen 64.000 \$'nin (2.252 MWh), pompaların niteliğinin düşmesinden ziyade, verimsiz işletim uygulamalarından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

### c) Alüminyum Haddehanesi

Bir alüminyum haddehanesi birbiriyle bağlantılı dört sisteme PSAT'ı uygulamış ve yılda 38.000 \$'yi (1.015.000 kWh) aşan potansiyel tasarruf tespit etmiştir. Pennsylvania'da bulunan bir alüminyum tesisi ise, üç sistemde yıllık 110.000 \$ tasarruf tespit etmiştir.

### d) Çelik Fabrikası

Bir çelik fabrikası, baypas kontrolleri kullanan kabin içinde sprey boyama uygulamasını incelemek üzere PSAT'ı kullanmıştır. Yılda 41.700 \$ tasarruf etme ve %13 daha az enerji kullanma imkânı tespit edilmiştir. Baypas akış kontrol düzeneği yerine, uygun büyüklükte bir pompa ve yalnız ihtiyaç duyulduğunda çalışan enerji verimli bir pompa takılmıştır.

Ek C'de kapsamlı PSAT Kullanıcı Kılavuzu verilmiştir. PSAT programı, Hidrolik Enstitüsü'ne bağlı bir eğitim ortaklığı olan "Pump Systems Matter"ın web sayfasından ([www.pumps.org](http://www.pumps.org)) veya ABD Enerji Bakanlığı'nın web sayfasından (<http://www.energy.gov/eere/amo/downloads/pumping-system-assessment-tool-psat>) ücretsiz indirilebilir.





## Bölüm 11

# ASME Pompa Standardı: Temel Bilgiler

## 11.1. ASME Pompa Standardına Genel Bakış

ASME Pompalama Sistemi Değerlendirme Standardı Dokümantasyonu, Standart ile Rehber Doküman'dan oluşmaktadır. Anılan iki dokümanın özeti aşağıda verilmektedir.

*Tablo 11.1. ASME Pompa Standardı ile Rehber Doküman arasındaki farklar*

### Standart EA-2-2009

- Daha önce enerji değerlendirmesi, tetkiki, araştırması veya enerji etüdünün bir parçası olarak değerlendirilen pompalama sistemleri için standardizasyon yokluğunu gidermek üzere, bir pompalama sistemi değerlendirmesinde nelerin bulunması gerektiğine dair ortak anlayış sağlar.
- Farklı değerlendirme düzeylerinde yerine getirilmesi gereken özel ihtiyaçları tanımlar.

### Rehber Doküman EA-2G-2010

- Kullanıcıların standardı uygulamasına yardımcı olacak teknik arka plan ve uygulamaya ilişkin ayrıntılı bilgileri sağlar.
- Teknik ihtiyaçların gerekçeleri, uygulama notları, alternatif yaklaşımlar, ipuçları, teknikler ve örnekler içerir.



### 11.1.1. Standardın hedefleri

- Pompalama sistemi enerji değerlendirmesi için adım adım uygulanacak bir yaklaşım sağlamak,
- Enerji değerlendirme düzeylerini ve her değerlendirme türü için gereken emeği tespit etmek,
- Sistem yaklaşımı benimsemenin önemini vurgulamak,
- Pompalama sistemi değerlendirmesi için toplanması gereken ekipman verilerini incelemek,
- Pompalama sistemi optimizasyonu çözümlerini öğrenmek,
- Sonuçları uygun bir formatta sunmak.

Standart, aşağıdaki bölümleri içermektedir:

1. Kapsam ve giriş
2. Tanımlar
3. Referanslar
4. Değerlendirmenin organize edilmesi
5. Değerlendirmenin yapılması
6. Verilerin analiz edilmesi
7. Raporlama ve dokümantasyon

### 11.1.2. ASME Standardı Bölüm-4

Standardın 4. Bölümü, değerlendirmenin organize edilmesine ilişkindir. Özellikle şu alanları içermektedir:

#### *ASME4.1. Değerlendirme Ekibi Üyelerinin Belirlenmesi ve Sorumlulukları*

- Yetkili Yönetici – finansman ve kararlarda genel sorumluluğu üstlenir (değerlendirmede yer almayabilir).
- Değerlendirme Ekibi Lideri – incelenecek pompalama sistemlerinin işletim ve bakımını bilir ve pompaları değerlendirmek için kaynakları organize edebilir.
- Pompalama Sistemi Uzmanı – değerlendirme faaliyeti, veri analizi ve rapor hazırlama işlerini yapabilecek niteliklere sahiptir.

#### *ASME 4.2. Tesis Yönetim Desteği*

Gerekli kaynakların tahsis edilmesi için tesis yönetimi yazılı destek sağlamalıdır. Sahaya gidilmeden önce, değerlendirmenin amaç ve kapsamını açık biçimde tanımlayan yazılı bir anlaşma/sipariş hazır olmalıdır.

#### *ASME 4.4. Kaynak ve Bilgilere Erişim*

- Ekipman sahalarına erişimin gözden geçirilmesi,
- Değerlendirmeyi yapmak için ihtiyaç duyulan personelin görüşülmesi (elektrik teknisyeni, mühendisler, işletim personeli),

- Çizimler, kılavuzlar, enerji faturası verileri, bilgisayar izleme ve kontrol verileri gibi verilere erişimin belirlenmesi.

#### ASME 4.5. Değerlendirmenin Amaç ve Kapsamı

Genel amaçlar ve değerlendirme kapsamı gözden geçirilmelidir. (Bu, sahaya varmadan önce tanımlanmıştır, ancak tüm katılımcıların olduğu toplantıda gözden geçirilmelidir.)

#### ASME 4.6. İlk Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Sahaya Varmadan Önce: İncelenecek pompalama sistemlerini tespit etmek üzere tesis yönetimi ile işbirliği yapılması. Örnek bir ön seçim şablonu aşağıda gösterilmiştir.

**Tablo 11.2. Örnek ön seçim şablonu**

| Pompa Sistemi Seçim Soruları   |                             |            |            |            |
|--|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Sistem Adı/Tanımı  | Kağıt Makineleri 411 ve 412 |            |            |            |
|  | Pompa No                    |            |            |            |
|  | Pompa #401                  | Pompa #605 | Pompa #333 | Pompa #210 |
| Tahmini yıllık çalışma saati   | 7.600                       | 7.600      | 7.600      | 7.600      |
| Motor anma beygirgücü  | 75                          | 125        | 150        | 100        |
| Sistem kısma vanası kontrollü mü?  | Evet                        | Evet       | Evet       | Evet       |
| Pompa debiyi/basıncı düzenlemek için baypas yapıyor mu?                    | Hayır                       | Hayır      | Hayır      | Hayır      |
| Aynı sayıda normal işleyen çok sayıda paralel pompa mevcut mu?             | Evet                        | Evet       | Evet       | Evet       |
| Çok sayıda düzenlenmemiş yükü olan dağıtılmış soğutma sistemi var mı?      | Hayır                       | Hayır      | Hayır      | Hayır      |
| Kesikli proseste sürekli pompa işletimi var mı?                            | Sürekli                     | Sürekli    | Sürekli    | Sürekli    |
| Sürekli proseste toplu çevrim işletimi var mı?                             | Hayır                       | Hayır      | Hayır      | Hayır      |
| Pompada veya sistemin başka yerinde kavitasyon gürültüsü var mı?           | Hayır                       | Hayır      | Hayır      | Hayır      |
| Bariz bir neden yokken sistem bakımı sık yapılıyor mu?                     | Hayır                       | Hayır      | Hayır      | Hayır      |
| Pompa değişmeksizin, sistem fonksiyonu veya talep zaman içinde değişti mi? | Hayır                       | Hayır      | Hayır      | Hayır      |
| Debi ölçülüyor mu?   | Evet                        | Evet       | Evet       | Evet       |

Birim maliyetleri belirlemek üzere enerji kullanım ve maliyet verilerinin alınması da gereklidir.

Tesise varılınca sistem verileri toplanabilir. Bu sürecin ayrıntıları, standardın aşağıdaki bölümlerinde özetlenmiştir.

#### ASME 4.6.4. Sistem Verileri

- Sistem(ler)in fonksiyon ve sınırlarının tanımlanması,
- Büyük miktarda enerji kullanan ekipmanın belirlenmesi,
- Kontrol yöntemlerinin tespit edilmesi,

- Verimsiz cihazların tespit edilmesi,
- Temel işletim parametrelerinin ilk ölçümünün yapılması.

#### *ASME 4.7. Sahaya Özgü Amaçlar*

Toplanan ön verilere dayalı olarak, üç değerlendirme düzeyini (aşağıda açıklanan) ve işin kapsamına uygun amaçları dikkate alan bir ölçme planının geliştirilmesi.

#### *ASME 4.8. Eylem Planı ve Faaliyet Çizelgesi Geliştirilmesi*

- Toplanan verilerin incelenmesi,
- Daha ayrıntılı olarak incelenecek pompalama sistemlerinin önceliklendirilmesi (değerlendirme düzeyleri aşağıda açıklanmaktadır),
- Kontrol yöntemlerinin tespit edilmesi,
- Verimsiz cihazların tespit edilmesi,
- Temel işletim parametrelerinin ilk ölçümünün yapılması,
- Faaliyet çizelgesinin belirlenmesi (personel ile görüşmeler, elektrik teknisyeni süresi, toplantılar).

### **11.1.3. ASME Standardı Bölüm-5**

Standardın 5. Bölümü, değerlendirme stratejilerini açıklamaktadır. Özellikle şu alanları içermektedir:

- 5.1. Giriş
- 5.2. Değerlendirme düzeyleri
- 5.3. Gezerek inceleme
- 5.4. Sistem ihtiyaçlarının anlaşılması
- 5.5. Sistem sınırları ve sistem talebinin belirlenmesi
- 5.6. Pompalama sistemi verimini değerlendirmek için ihtiyaç duyulan bilgiler
- 5.7. Veri toplama metodolojisi
- 5.8. Çapraz doğrulama (validasyon)
- 5.9. Kapanış toplantısı ve ilk bulgular ve tavsiyelerin sunulması

Değerlendirme düzeyleri aşağıda özetlenmiştir:

#### *Düzye 1*

Enerji tasarruf potansiyelini belirlemek üzere ön seçim yapılması ve ön verilerin toplanmasıdır (kalitatif çalışma).

#### *Düzye 2*

Enerji tasarruflarını belirlemek üzere, ölçümlere dayalı kantitatif değerlendirme yapılmasıdır. Bu değerlendirme, sınırlı bir süreyi kapsayan "ani" ölçümlere dayanır.

### Düzyey 3

Koşulları zaman içinde değişen sistemler içindir. Sistemin yük profiline ortaya çıkarılması için daha kapsamlı kantitatif veri toplama çalışması gerektirir.

| Faaliyetler  | Düzyey 1 Değerlendirme | Düzyey 2 Değerlendirme | Düzyey 3 Değerlendirme |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Ön seçim   | Zorunlu                | g.d.                   | g.d.                   |
| Gezerek inceleme   | İsteğe bağlı           | Zorunlu                | Zorunlu                |
| Tasarruf potansiyeli bulunan sistemlerin belirlenmesi                              | Zorunlu                | Zorunlu                | Zorunlu                |
| Tasarruf potansiyeli bulunan sistemlerin değerlendirilmesi                         | İsteğe bağlı           | Zorunlu                | Zorunlu                |
| Debi, basma yüksekliği ve güç verilerinin ani ölçümü                               | İsteğe bağlı           | Zorunlu                | Zorunlu                |
| Zaman içinde değişen akış koşullarına sahip sistemler için veri ölçümü/kütüklemesi | g.d.                   | g.d.                   | Zorunlu                |

\* g.d. gerçekleştirilebilir değil

Değerlendirme sürecine ilişkin daha ayrıntılı açıklamalar için Standart ve Rehber Doküman temin edilmelidir.





## Bölüm 12

# Saha Denetimi ve Veri Toplama

## 12.1. Hazırlık

PBu bölümde artık “kolları sıvayıp” tesise gitme ve saha verilerini toplama zamanı gelmiştir.

Ancak, tesisteki her pompalama sistemi hakkında veri toplamaya başlamadan önce, enerji tasarruf fırsatlarını tespit etmenin ilk önemli adımı, tesisteki pompalama sistemlerini tam olarak anlamaktır. Bu süreç, operatör veya bakım görevlisinin (tercihen her ikisi) biraraya gelerek tesisteki başlıca pompalama sistemleri hakkında bilgi edinmesini kapsamaktadır. Bölüm 1’de ön seçim konusunda anlatıldığı üzere, sorulması gereken bazı sorular şunlardır:

- Tesisteki en büyük pompalama sistemleri hangileridir?
- Bunlar ne amaçla kullanılmaktadır? Sistem ihtiyaçları nelerdir?
- Her pompa yılda kaç saat çalıştırılıyor? Pompalar paralel çalıştırılıyor mu?
- Pompalar çalıştırıldığında, günün bazı saatlerinde debi veya basma yüksekliği düşüyor mu? Pompalar bu koşullarda kaç saat çalışıyor?
- Akışı kontrol etmek için deşarj vanaları veya ayarlanabilir hız sürücülerini kullanılıyor mu?
- Pompaların herhangi biri daha fazla bakım gerektiriyor mu?

Bu çalışmanın bir parçası olarak, öncelikle en uzun süre çalışan en büyük pompalama sistemlerine odaklanmak, daha sonra da zamanın izin verdiği ölçüde daha küçük pompalara eğilmek önemlidir.

## 12.2. Saha Testinden Önce Veri Toplama

İlk görüşmelerden sonra, büyük miktarda enerji kullanan birtakım pompalama sistemlerinin potansiyel değerlendirme adayı olarak tespit edilmiş olacağı umulur. Ancak, test ekipmanı ile tesise gitmeden önce, veri toplama sürecini daha üretken kılacak iki ayrı bilgi edinilmelidir.

Bunlardan birincisi, pompalama sisteminin P&ID (Proses ve Enstrümantasyon Diyagramı) veya boru tesisatı diyagramıdır. İdeal olarak bu çizimler pompa ile giriş ve çıkış noktalarının yüksekliklerini de içermelidir. Bu bilgiler, daha sonra, analiz aşamasında işe yarayacaktır. Operatör, akışın çizimlerini ortaya koydukça, sistem hakkında ilâve bilgiler toplanabilir ve pompanın sağladıkları ile karşılaştırılacak şekilde sistemin neye ihtiyaç duyduğunu belirlemek için netür ek verilerin toplanması gerektiği açığa çıkar.

Bu noktada istenecek ikinci bilgi ise, pompa eğrisinin bir kopyası, pompa kurulduğunda elde edilen saha testi verileri (veya zaman içinde pompa testleri yapılmışsa), ve bileşenlere özgü bilgilerdir (pompa ve motor özellik verileri).

Yukarıdaki bilgilerin edinilmesi, sadece pompalarda veri toplamak yerine sistem ölçümlerine daha fazla odaklanılmasını sağlayacak bir veri toplama stratejisi geliştirilmesine imkân tanır ve böylece saha testi çok daha üretken olur.

## 12.3. Saha Verilerinin Toplanması

### 12.3.1. Etiket verileri

Bu noktada, üreticinin işletim ve bakım kılavuzundan ya da pompa satın alınırken yüklenicinin onay için sunduğu belgelerden motor ve pompa hakkında bilgiler toplanmış olmalıdır.

Sonraki adım, bu verileri doğrulamak ve Şekil 12.1'de gösterilen pompa ve motor etiketlerinden ilâve verileri toplamaktır.

Şekil 12.1. Motor ve pompa etiket verileri



En faydalı etiket verileri şunları içerir: Motor için motor beygir gücü, devir sayısı (dev/dk), gerilim (volt), akım şiddeti (amper) ve motor verim sınıfı; ve pompa için de debi, toplam basma yüksekliği, kademeler ve çark boyutlandırmasıdır. Bu verileri okuyabilmek için, boya veya gres katmanlarını kazımak üzere yanınızda çakı, üstübü ve el feneri bulundurmanız gerekebilir.

### 12.3.2. Test ekipmanı

Bazı nadir hallerde verilerin toplanması mevcut debi, basınç ve güç enstrümantasyonundan (hepsi de kalıcı olarak monte edilmiş ve yakın zaman önce kalibre edilmiş) bilgileri kaydetmek şeklinde oldukça basit olabilir. Ancak, çoğu durumda, aşağıda Tablo 12.1'de gösterildiği gibi taşınabilir ekipman ve bazı basit aletlere para harcamak gerekecektir.

**Tablo 12.1. Tavsiye edilen ekipman listesi**

| Ekipman  | Tahmini Maliyet (\$) |
|--|----------------------|
| Ultrasonik debimetre ve aksesuarlar  | 5.000 ilâ 7.000      |
| Güç ölçer, muhtelif problemleri ile  | 1.000 ilâ 2.000      |
| Taşınabilir güç enstrümantasyonu, muhtelif ulusal boru dış (NPT) adaptörleri ile | 300 ilâ 500          |
| Strob takometre  | 300                  |
| El feneri, üstübü, zımpara, anahtarlar, tornavidalar                             | <100                 |
| Uzatma kablosu, çakı, not defteri  | <100                 |
| Dijital kamera, tüm ekipman için yedek pil                                       | 500                  |
| Lastik eldiven, koruma gözlüğü, baret  | <100                 |
| Veri kütükleyiciler, muhtelif akım dönüştürücü (CT)'ler                          | 500 ilâ 700          |
| Dizüstü bilgisayar (Veri kütükleyicileri programlamak için)                      | 1.500                |

### 12.3.3. Temel bilgilerin gözden geçirilmesi

Bir pompalama sisteminin verimini değerlendirmek için ihtiyaç duyulan parametreler şunlardır:

- Debi
- Basınç
- Yükseklik
- Elektriksel güç
- Akışkan özellikleri

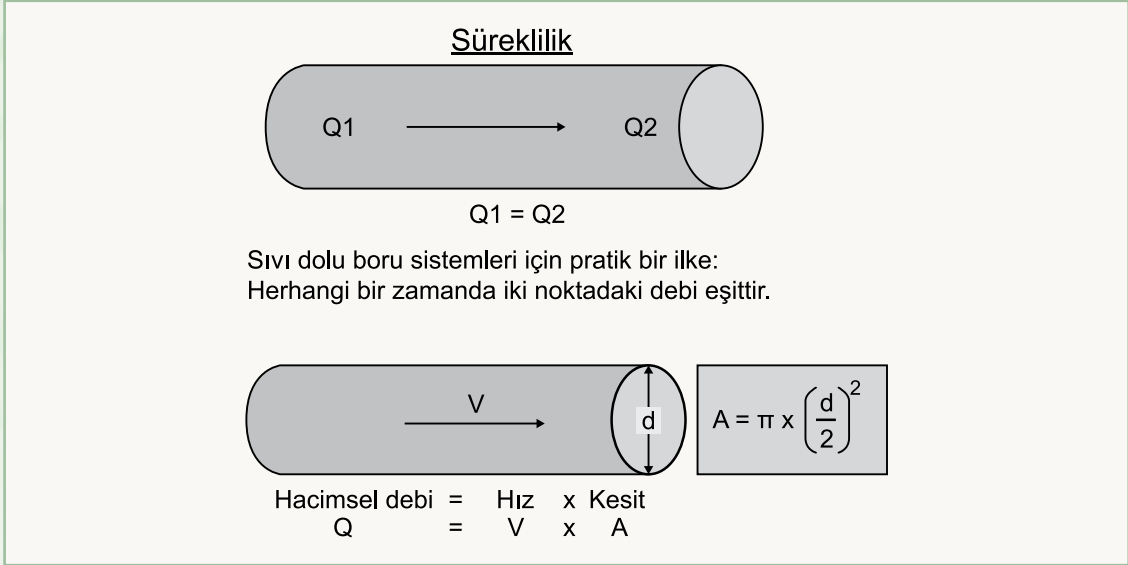
Akışkanların akışının tâbi olduğu temel kanun Bernoulli Denklemi'dir. Bu bir enerji korunumu kanunudur. Bernoulli Kanunu'na daha sonra değinilecektir. Önce, sıkıştırılmaz akış için geçerli olan bazı temel bağıntılar gözden geçirilecektir.

### 12.3.4. Süreklilik Kanunu

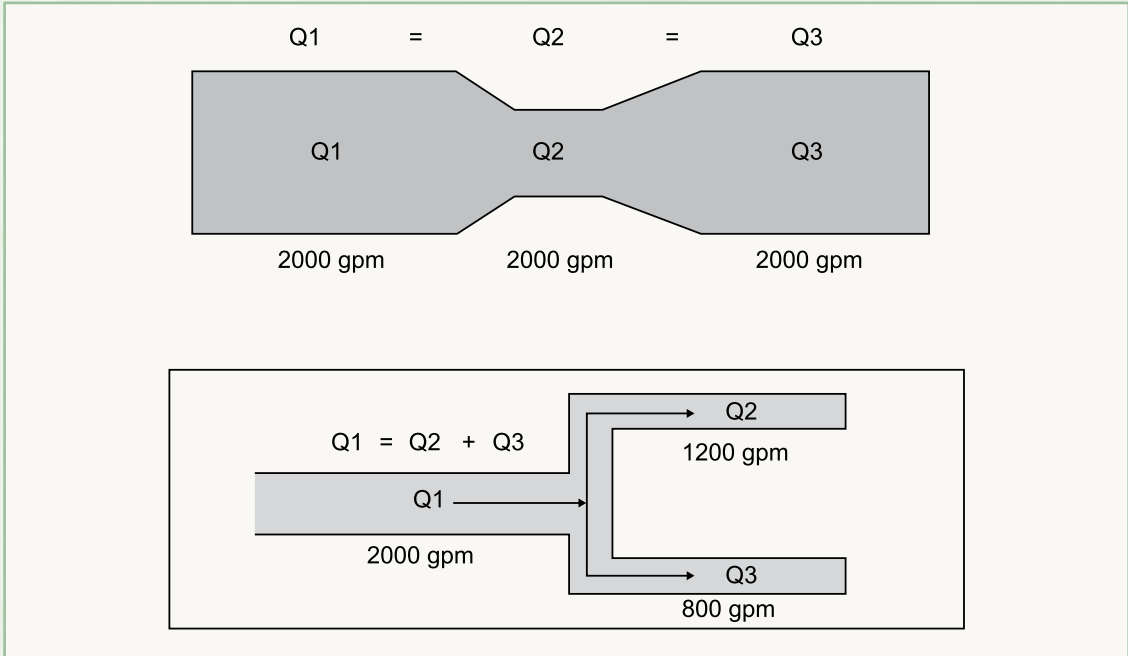
Kapalı bir boruda debi her noktada aynıdır. Boru kollarına ayrılırsa, boru kolu debilerinin toplamı, orijinal debiye eşit olur. Debi, ortalama hız ile kesitin çarpımına eşittir.



Şekil 12.2. Süreklilik Kanunu-1



Şekil 12.3. Süreklilik Kanunu-2



### 12.3.5. Basınç ve yüksekliğe ilişkin temel bilgiler

Bir kaptaki basınç genellikle kilo-Pascal (kPa) cinsinden ölçülür. Atmosfer basıncına bağlı olarak, bağıl basınç veya atmosfer basıncından bağımsız olarak, mutlak basınç ölçülür. Atmosfer basıncı zamana ve deniz seviyesinden yüksekliğe göre değişir (Şekil 12.3'te görüldüğü gibi).

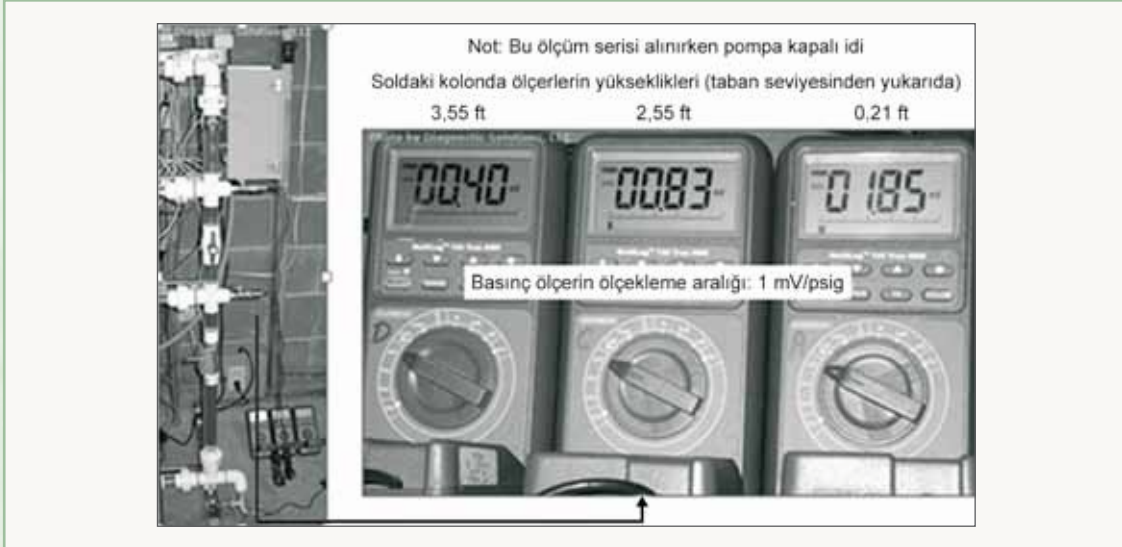
Sıvı ile dolu bir kaptaki basınç da aynı şekilde değişir. Bu nedenledir ki, basıncın hangi yükseklikte ölçüldüğünü daima bilmemiz gerekir.

Belirli bir yükseklikte, kabın içindeki basınç aynıdır ancak yükseklik ile değişir. Bu nedenle, ölçümün hangi yükseklikte yapıldığını bilmek önemlidir. Bu durum Şekil 12.4'te gösterilmektedir.

Şekil 12.4. Yüksekliğin fonksiyonu olarak atmosfer basıncı

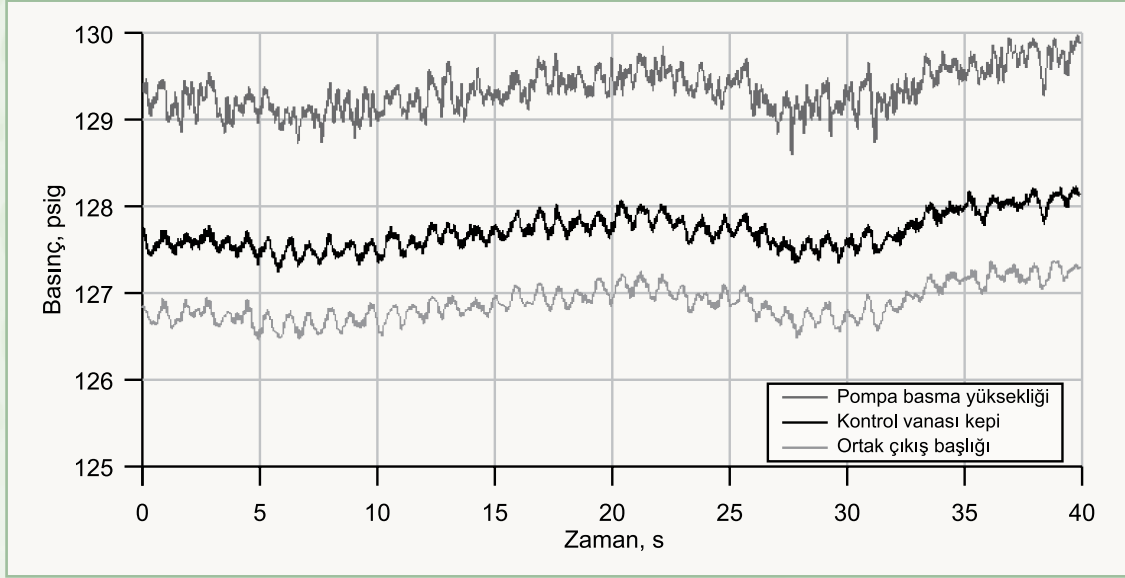


Şekil 12.5. Yüksekliğe göre basınç



Buna ek olarak, sistemde akış aşağı gidildikçe, enerjiyi tüketen sürtünme nedeniyle sistemde ölçülen basınç daha düşük olur. Bu da, basınç kaybı olarak kendini belli eder. Bir boru boyunca basınç değişimleri aşağıdaki gibidir:

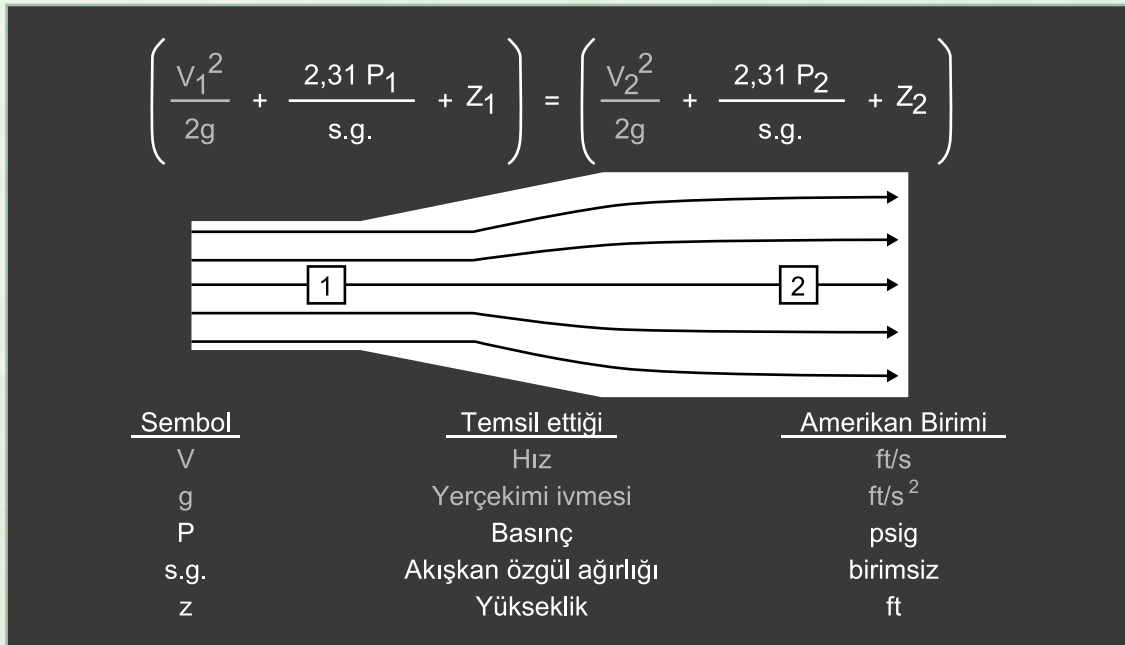
Şekil 12.6. Gösterge basıncının zaman ile değişimi



### 12.3.6. Bernoulli denklemi

Bernoulli Kanunu, enerji korunumu kanunudur. Sürtünme olmadığı sürece, akışkandaki toplam enerji Şekil 12.7'deki 1 ve 2. noktalarında aynı olacaktır. Şekil 12.7 ve 12.8'de görüldüğü üzere denklemi kinetik enerji, basınç ve potansiyel enerji (yükseklik) olmak üzere 3 farklı enerji bileşeni vardır.

Şekil 12.7. Amerikan birim sisteminde Bernoulli Denklemi



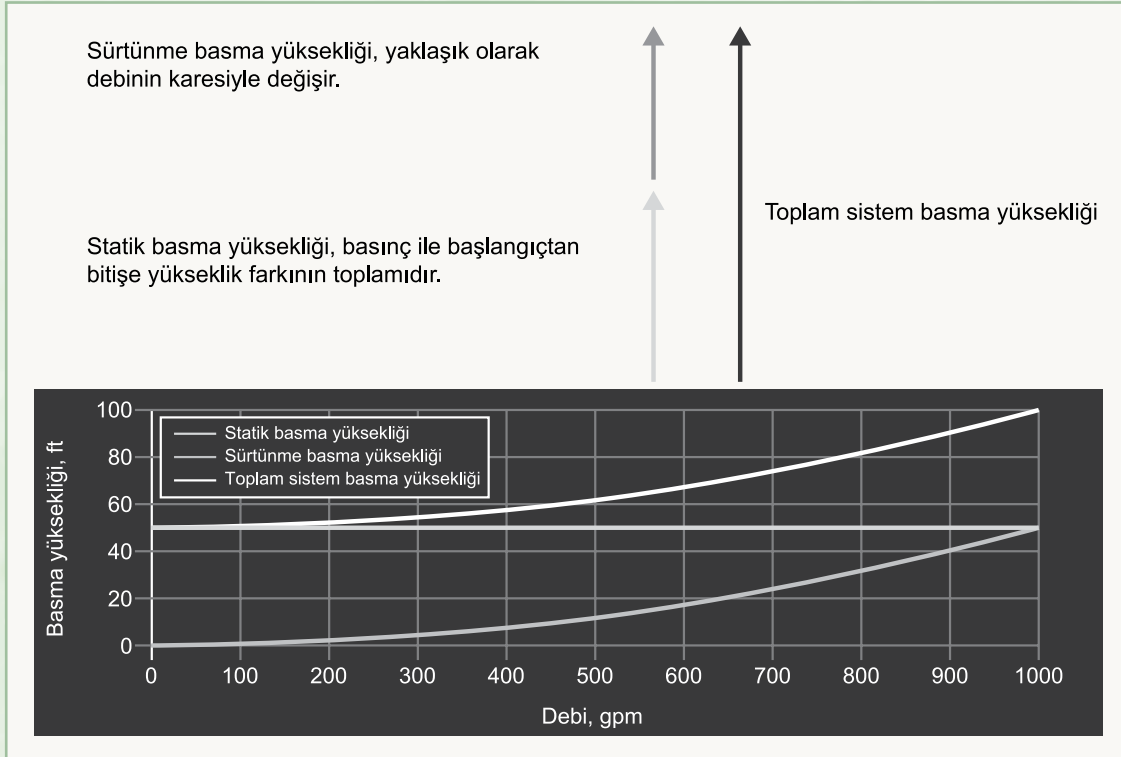
**Denklem 12.1. SI birim sisteminde Bernoulli Denklemi**

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{9,810*s.g.} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{9,810*s.g.} + z_2$$

| Sembol | Temsil ettiği          | SI Birimi        |
|--------|------------------------|------------------|
| V      | Hız                    | m/s              |
| g      | Yerçekimi ivmesi       | m/s <sup>2</sup> |
| P      | Basınç                 | kPa              |
| s.g.   | Akışkan özgül ağırlığı | birimsiz         |
| z      | Yükseklik              | m                |

Enerji içeriği genellikle basma yüksekliği olarak ifade edilir ve metre cinsinden ölçülür. Yükseklik farkı ve basıncın toplamına "statik basma yüksekliği" denir. Buna statik denilmesinin nedeni, birçok sistemde debiden oldukça bağımsız olmasıdır.

Statik basma yüksekliği ile sürtünme basma yüksekliğinin bileşkesi, bir sistemdeki toplam basınca eşittir. Bir pompanın sistem boyunca akışkanı iterken karşılaştığı basınç, sistem eğrisi ile tarif edilir. Bu eğrinin iki bileşeni vardır: Sürtünme direnci ve statik basma yüksekliği.

**Şekil 12.8. Statik basma yüksekliği ile sürtünme basma yüksekliğinin bileşkesi****12.3.7. Veri toplama süreci**

Enerji tasarruf potansiyeli en yüksek olan pompalama sistemlerini tespit etmek üzere, test ekipmanını toparlayıp tesise giderken, ihtiyaç duyulan tüm verilerin toplanması için birkaç ziyaret gerekebilir. Bunun bazı nedenleri aşağıdakiler olabilir:

- Pompa o sırada kritik bir prosesi destekliyor olabilir ve tesis personeli, test esnasında pompanın kapanması riskini göze almak istemeyebilir.
- Basınç musluğu mevcut değildir veya basınç musluklarının izolasyon vanaları yoktur.
- Bazı veriler kuşkuludur ve verileri doğrulamak için diğer test yöntemlerinin geliştirilmesi gerekiyor olabilir (örneğin debiyi doğrulamak için tank boşaltma-doldurma testi gibi).
- Test işlemlerine yardım edecek elektrik teknisyeni mevcut değildir.

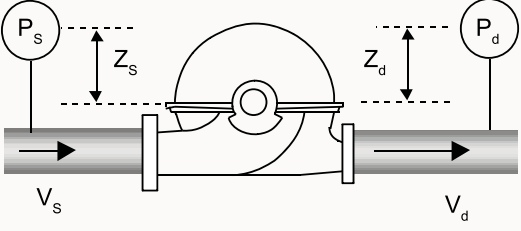
Test programının bir parçası olarak, sahaya tekrar inmeye hazır olunmalıdır ve pompalama sisteminin fotoğrafları ile ayrıntılı notların olduğu doğru verileri (hatta farklı yöntemler kullanılarak birden fazla ölçüm yapmak suretiyle) elde etmek için zaman harcamanın önemli olduğu hatırlanmalıdır.

### 12.3.8. Toplam pompa basma yüksekliğini belirlemek için basıncın ölçülmesi

#### Pompalama sistemi konfigürasyonları

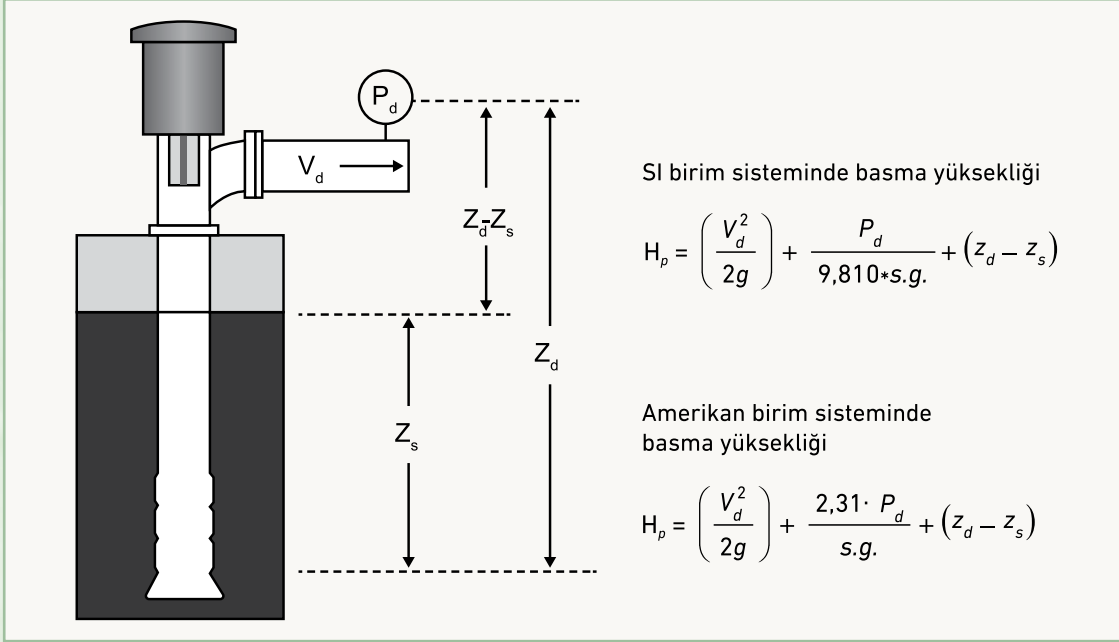
Pompadan önceki ve sonraki basınç ölçümleri, toplam pompa basma yüksekliğini hesaplamak için gereken bilgileri sağlar. Bazı durumlarda, bu işlem, Şekil 12.9'da görüldüğü gibi oldukça basittir. Şekil 12.9'da, giriş ve çıkış borusunda aynı yükseklikte ölçüm muslukları takılı durmaktadır.

Şekil 12.9. Kapalı giriş borusunda pompa basma yüksekliğinin hesaplanması

|  |                |                        |                  |
|--|----------------|------------------------|------------------|
|   | <b>Sembol</b>  | <b>Temsil ettiği</b>   | <b>SI Birim</b>  |
|  | g              | Yerçekimi sabiti       | m/s <sup>2</sup> |
| $H_p = \left( \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \right) + \frac{(P_d - P_s)}{9,810 \cdot s.g.} + (z_d - z_s) \quad (\text{SI birim})$ | H <sub>p</sub> | Pompa basma yüksekliği | m                |
|  | p              | Basınç                 | kPa              |
| $H_p = \left( \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \right) + \frac{2,31(P_d - P_s)}{s.g.} + (z_d - z_s) \quad (\text{A birim})$          | s.g.           | Akışkan özgül ağırlığı | birimsiz         |
|  | v              | Akışkan hızı           | m/s              |
| <b>altsimge:</b>   | z              | Yükseklik              | m                |
|  | d              | Çıkış                  | g.d.             |
|  | s              | Giriş                  | g.d.             |

Ancak, saha testinde karşılaşılabilecek birçok farklı türde pompa konfigürasyonu vardır. Şekil 12.10'da görüldüğü üzere, pompanın her iki tarafındaki cihaz değerini okumak kadar basit değildir. Bir yandan, pompa çanakları tanka daldırılmış durumda olduğundan emiş ölçümüne ihtiyaç yoktur. Ancak, pompa çanaklarının çıkış tarafında ise, akışkan, pompa shaft kolonunun içinden geçerek çıkış flanşından dışarı çıkar; işte bu noktada, çıkıştan hemen önce bir ölçer, çıkış basıncını ölçer. Böyle bir düzenlemede sürtünme kayıpları, basınç ölçerler tarafından ölçülemiyorsa, tahmin edilmelidir.

Şekil 12.10. Açık giriş ve uzakta çıkış ölçüm yeri



Bilinmeyen kayıpların hesaplanmasına ilişkin bir yöntem, Şekil 12.11'de görüldüğü gibi, Diagnostic Solutions tarafından üretilen PSAT 2008 programında verilmektedir. Bu program, basınç kayıplarının cihazlarla ölçülemediği durumlarda, kullanıcının bileşen K değerlerini girmesine imkân tanımakta ve böylelikle toplam basma yüksekliğini hesaplamak için daha doğru bir yöntem sunmaktadır.

Şekil 12.11. Bileşen kayıp hesaplayıcı pompa basma yüksekliği hesaplayıcısı

$K_s$  represents all suction losses from the tank to the pump  
 $K_d$  represents all discharge losses from the pump to gauge  $P_d$

|   |        |   |        |
|---|--------|---|--------|
| Suction pipe diameter (ID), inches  | 16.000 | Discharge pipe diameter (ID), inches      | 12.000 |
| Suction tank gas overpressure ( $P_g$ ), psig   | 0.00   | Discharge gauge pressure ( $P_d$ ), psig  | 135.00 |
| Suction tank fluid surface elevation ( $Z_s$ ), feet  | -5.00  | Discharge gauge elevation ( $Z_d$ ), feet | 3.00   |
| Suction line loss coefficients, $K_s$   | 0.00   | Discharge line loss coefficients, $K_d$   | 2.00   |
| Fluid specific gravity  | 1.000  | Flow rate, gpm                            | 2350   |
| <input type="button" value="Don't update"/> <input type="button" value="Accept and update"/>  |        | Differential elevation head, ft           | 8.00   |
| <input type="button" value="Click to leave the main panel head unchanged"/> <input type="button" value="Click to Accept and return the calculated head"/> |        | Differential pressure head, ft            | 311.85 |
|   |        | Differential velocity head, ft            | 0.69   |
|   |        | Estimated suction friction head, ft       | 0.00   |
|   |        | Estimated discharge friction head, ft     | 1.38   |
|   |        | Pump head, ft                             | 321.92 |

### 12.3.9. Basınç ölçümleri

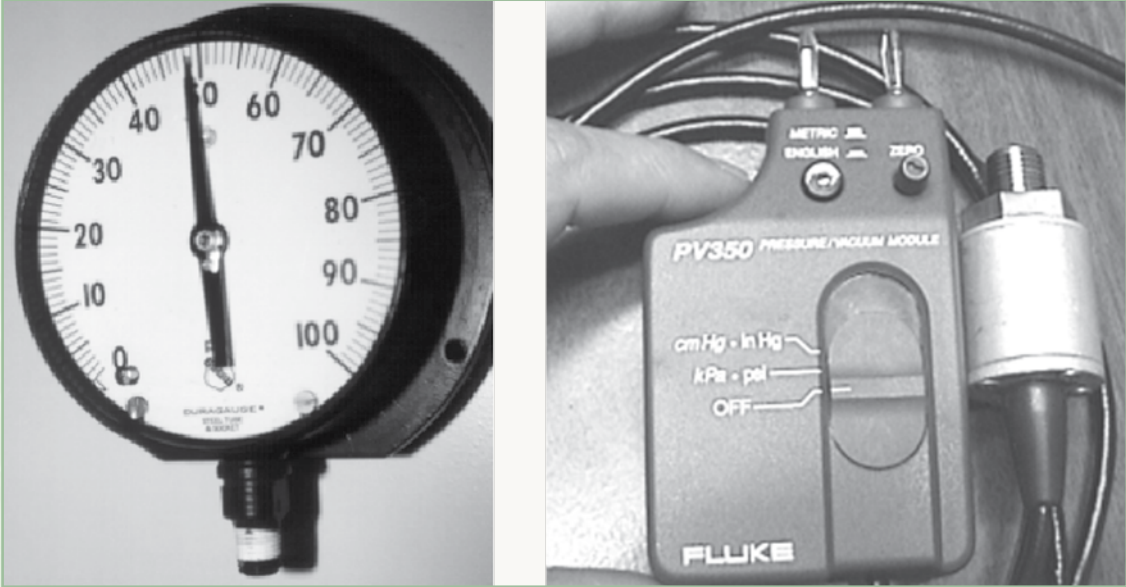
Sanayideki sistemlerin çoğunda, Şekil 12.12’de gösterilen Bourdon tipi basınç ölçerler vardır. Bourdon tipi basınç transdüseri, iç basınca maruz kaldığında düz biçim almaya çalışan bir C biçimli tüpten oluşur. Mekanik bağlantı, basıncı gösteren bir ibreyi hareket ettirir.

Şekil 12.12. Bourdon tipi basınç ölçer



Aşağıda görüldüğü gibi, (artık bağlı olmadığı halde) Şekil 12.13’teki basınç ölçer yaklaşık 50 göstermektedir. Sahada basınç değerlerini doğru ölçmek istiyorsanız kullanacağınız türden bir ölçer değildir.

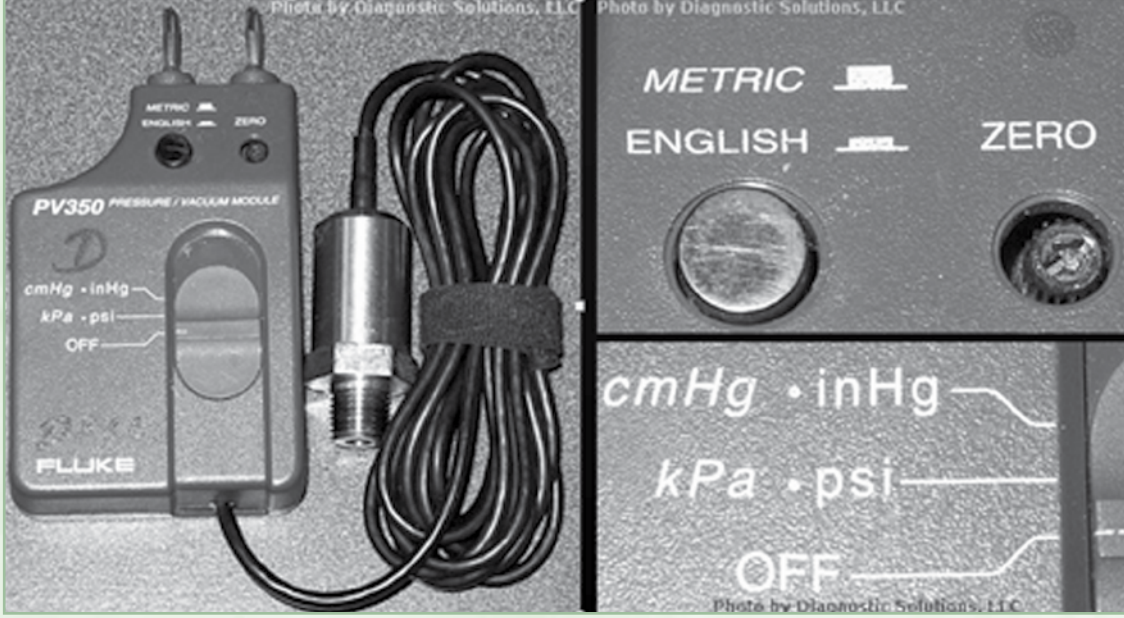
Şekil 12.13. Doğru olmayan basınç ölçer ve PV-350 basınç ölçer



Doğru basınç ölçümleri elde etmek için, mevcut ölçüm cihazlarının sökülmesi ve Şekil 12.14’te gösterilen türden taşınabilir basınç aleti kullanılması tavsiye edilir. Bunların yerine, di-

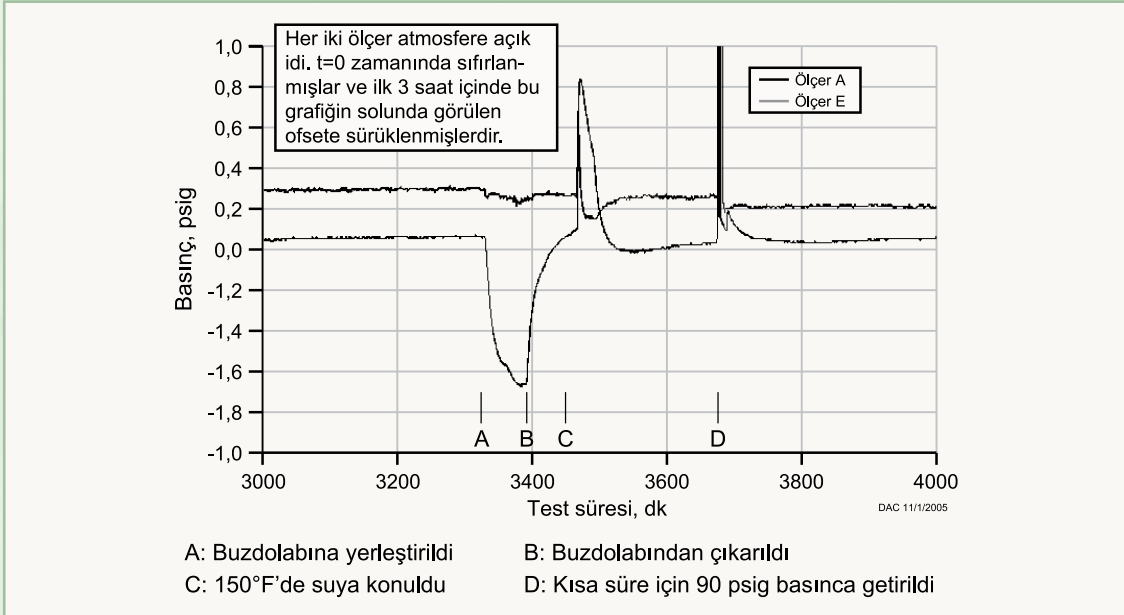
yafram tabanlı gerinim ölçen basınç transdüserler kullanılır. Bu ölçerler bir multimetreye takılarak basıncı gösterir.

**Şekil 12.14. Fluke basınç transdüseri**



Gerinim ölçen basınç transdüserleri, aşağıda Şekil 12.15'te gösterildiği gibi ısıl sürüklenmeye duyarlıdır.

**Şekil 12.15. Gerinim ölçen basınç transdüserleri üzerinde ısıl ve zamana bağlı etkiler**



Bu nedenle, bunların ısınmasını beklemek ve ölçüm yapmadan önce sıfırlamak gerekir. Transdüserler ayrıca, ortak basınca bağlanabilir ve hepsinin aynı basıncı okuyup okumadığı kontrol edilir. Basınç transdüserleri bir sisteme uzun bir süre takılı kaldıktan sonra söküldüklerinde, dengelemek için kontrol edilmeleri tavsiye edilir.



Pompa basma yüksekliğinin ölçülmesi, doğrudan tek ölçümle yapılamaz. Doğru sonucu elde etmek için birden fazla ölçümün yapılması ve bunların birleştirilmesi gerekir.

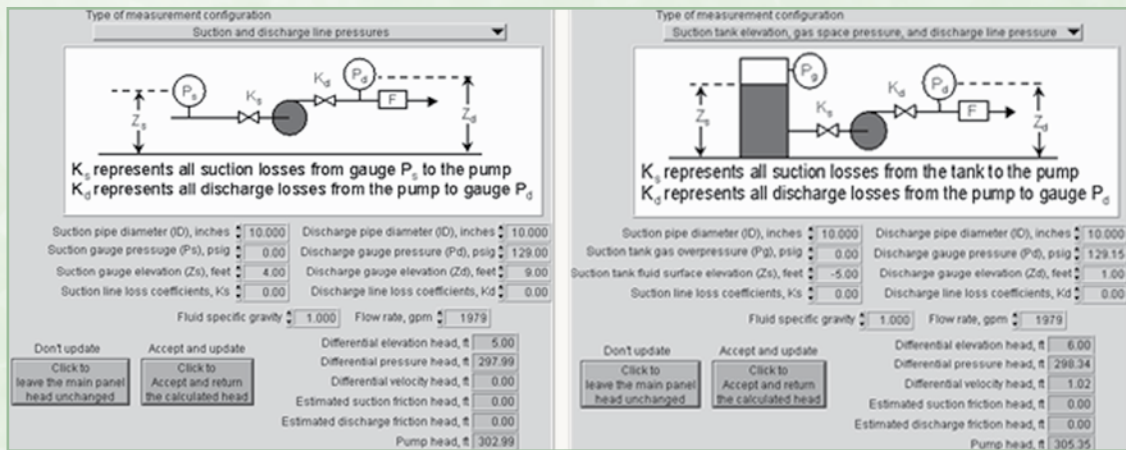
Şekil 12.16. Giriş ve çıkış basıncı ölçüm muslukları-1



Şekil 12.16'da görüldüğü üzere, musluk pompaya yakındır. Ancak, birçok durumda, pompa çıkış noktası ile basıncın ölçüldüğü nokta arasında kayıplar vardır. Pompa tarafından sağlanan akışkan gücünü olduğundan az hesaplamamak için, bu kayıplar tahmin edilmeli ve hesaplamalara dâhil edilmelidir. Giriş ile çıkış arasında boru çapları bakımından fark varsa, bu, hız basma yüksekliğini etkiler ve hesaplamalara dâhil edilmelidir.

PSAT, gerekli hesaplamaları yapan bir basma yüksekliği hesaplayıcısına sahiptir. Basma yüksekliği hesaplayıcısının, yaygın olarak kullanılan endüstriyel pompa konfigürasyonlarına karşılık gelen iki farklı uyarlaması mevcuttur (bakınız Şekil 12.17). Uygun (mavi) kutulara rakamlar girilince, PSAT hesaplamaları yapar ve ana programa aktarır.

Şekil 12.17. Giriş ve çıkış basıncı ölçüm muslukları-2

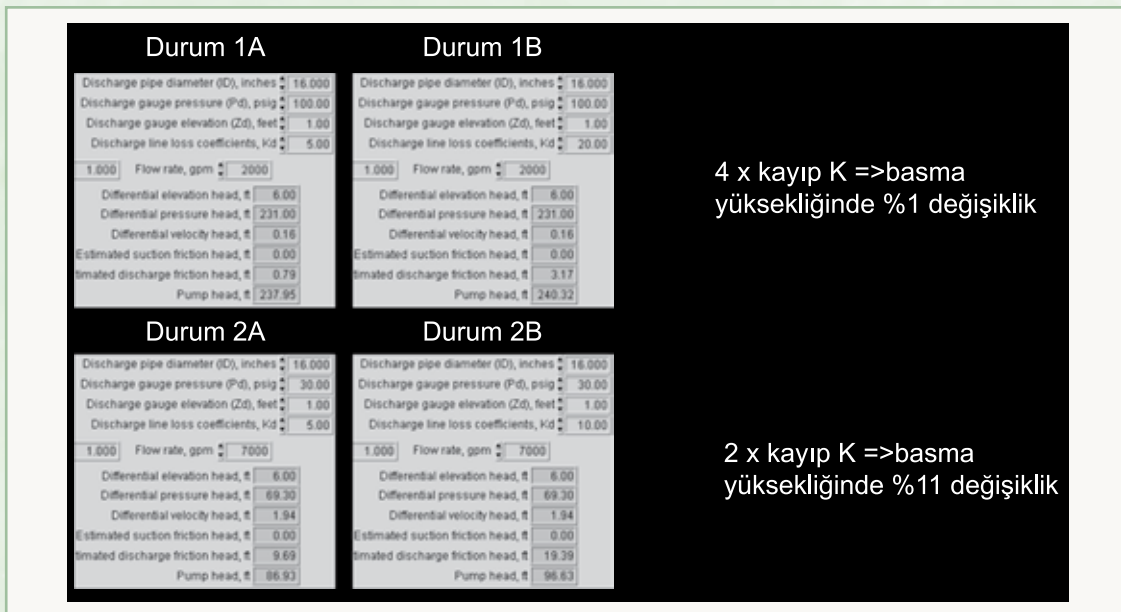


Pompa ile ölçüm noktası arasındaki kayıplar tahmin edildiğinde, bu tahminin doğruluğu genelde pek yüksek değildir. Genellikle, genel ve özgül kayıplar arasında büyük farklar vardır (bakınız Şekil 12.18).

**Şekil 12.18. Genel kayıp katsayıları**

| <i>(Hidrolik Enstitüsü Veri Kitabı, 2'nci Baskı'dan)<br/>K İçin Yaklaşık Değişim Aralığı</i> |                                   |                      |
|--|-----------------------------------|----------------------|
| Boru bağlantısı  |                                   | Değişim Aralığı      |
| 90 derece Dirsek   | Normal vidalı                     | ±%20, 2 inç üzerinde |
|  | Normal vidalı                     | ±%40, 2 inç altında  |
|  | Uzun yarıçap, vidalı              | ±%25                 |
|  | Normal flanşlı                    | ±%35                 |
|  | Uzun yarıçap, flanşlı             | ±%30                 |
| 45 derece Dirsek   | Normal vidalı                     | ±%10                 |
|  | Uzun yarıçap, flanşlı             | ±%10                 |
| 180 derece Dirsek  | Normal vidalı                     | ±%25                 |
|  | Normal flanşlı                    | ±%35                 |
|  | Uzun yarıçap, flanşlı             | ±%30                 |
| T dirseği  | Vidalı, hat veya boru kolu akışı  | ±%25                 |
|  | Flanşlı, hat veya boru kolu akışı | ±%35                 |
| Küresel vana   | Vidalı                            | ±%25                 |
|  | Flanşlı                           | ±%25                 |
| Sürgülü vana   | Vidalı                            | ±%25                 |
|  | Flanşlı                           | ±%50                 |
| Kontrol vanası   | Vidalı                            | ±%30                 |
|  | Flanşlı                           | +%200 / -%80         |

Bu nedenle, pompa basma yüksekliğinin hesaplanmasını ne derece etkilediklerini görmek amacıyla, kayıp katsayılarına ilişkin farklı tahminleri sisteme girmek iyi bir fikirdir (bakınız Şekil 12.19). Çoğu endüstriyel uygulamada bu etki küçüktür.

**Şekil 12.19. Kayıp katsayılarının basma yüksekliği hesaplarına etkisinin kontrolü**

### 12.3.10. Debi ölçümleri

Debi ölçümleri genellikle, pompalama sistemlerini değerlendirmede en zor ölçümlerdir. Debiyi ölçmek için çok sayıda farklı yöntem vardır:

- Basınç farkı: Orifis, venturi, nozul
- Hız: Manyetik, ultrasonik, pervane (türbin), kanatlı çark, girdap saçılması (vortex shedding)
- Açık akış: Su seddi

Bunlar farklı ilkelere dayanan yöntemlerdir; ancak hepsinin ortak sorunu şudur ki, doğru ölçümler yapılabilmesi için akış profili eksiksiz biçimde ortaya çıkarılmalıdır. Akış profilinin eksiksiz biçimde ortaya konulması, genellikle, 10 çap boru uzunluğu ister. Bu nedenle, debimetrenin akış yukarı yönünde on çap uzunluğunda düz bir boru takılması tavsiye edilir. Debimetre, ayrıca, ölçerin akış aşağı yönündeki düzensizliklerden de etkilenir. Dolayısıyla, debimetrenin akış aşağı tarafında, en azından, 5 çap uzunluğunda düz boru bulundurulması tavsiye edilir.

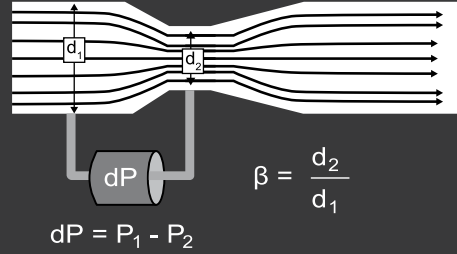
Birçok debimetre, akışı hesaplamak için Şekil 12.20'de görüldüğü şekilde Bernoulli Denklemi'ni kullanır.

Şekil 12.20. Bernoulli Denklemi

Amerikan birim sisteminde Bernoulli Denklemi:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{2,31P_1}{s.g.} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{2,31P_2}{s.g.} + Z_2$$

V = Hız (ft/s) P = basınç (psi)  
Z = Yükseklik (ft) s.g. = Akışkan özgül ağırlığı  
g = 32,174 ft/s<sup>2</sup> (yerçekimi ivmesi)



Denklemler manipüle edilince:

$$V_1 \text{ (ft/s)} = 12,194 \sqrt{\frac{\beta^4 dP}{s.g. (1-\beta^4)}} \quad \text{veya} \quad Q \text{ (gpm)} = 29,851 d_2^2 \sqrt{\frac{dP}{s.g. (1-\beta^4)}}$$

SI birim sisteminde Bernoulli Denklemi:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{9810*s.g.} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{9810*s.g.} + Z_2$$

Süreklilik denklemi ışığında Bernoulli Denklemi'nden faydalanılarak hız ve debi:

$$V_1 \text{ (m/s)} = \frac{1}{22,4} \sqrt{\frac{\beta^4 dP}{s.g. (1-\beta^4)}}$$

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = \frac{d_2^2}{28,5} \sqrt{\frac{dP}{s.g. (1-\beta^4)}}$$

g = 9,81 m/s<sup>2</sup> (yerçekimi ivmesi)

z(m); P(kPa) ρ<sub>w</sub> = 1000 kg/m<sup>3</sup> (25 °C'de su yoğunluğu)

Venturimetre ve orifimetre gibi bazı debimetreler, boru hattında sabit basınç düşüşüne sebep olurlar. Bu ise, motorun kullanacağı enerjiyi tüketir.

Kalıcı olarak takılmış manyetik debimetreler, genellikle, doğru ve güvenilirdir. Ayrıca, doğruluklarından tam yararlanmak için, ölçerin akış yukarısında ve akış aşağısında iyi akış koşulları sağlanmak zorundadır.

Debimetre takılı olmayan sistemler için olası bir çözüm, taşınabilir ultrasonik debimetreler kullanmaktır. Bu cihazlar işe yarar, ancak her türden akışkan ile sonuç vermezler. Genellikle, parçacık veya kabarcıklar içeren akışkanlarda sorun yaşarlar. Çoğunda, ölçümün güvenilir olmadığını bildiren bir fonksiyon vardır; kullanıcı, böyle durumlarda ölçümlerin güvenilir olmadığını bilmelidir.

Ses sinyali hem boru cidarından hem de sıvıdan geçmek zorunda olduğundan, et kalınlığı ölçülmeli ve kompanse edilmelidir. Debimetreler çoğunlukla, hacimleri bilinen tankların seviye alçalma veya dolum oranlarına göre kalibre edilir.

Taşınabilir debimetrelerin, birtakım farklı ilkelerle çalışan farklı tipleri vardır. Bunların bazıları aşağıda anlatılmıştır.

### Pitot tüpleri

Pitot tüpleri bazen geçici, taşınabilir debimetre olarak kullanılır. Bunlar daha ziyade, sistemin kapatılabileceği ve cihazı takmak için test bağlantı noktasının izole edilebileceği tarım veya belediye hizmetlerinde yaygın olarak kullanılır. Öte yandan, endüstriyel uygulamalarda prosesin kapatılması genellikle mümkün değildir.

Şekil 12.21'in sol tarafında, amaca uyarlanmış bir pitot tüpünün yakın plan resmi görülmektedir; sağda ise, basınç farkını gösteren manometre de dahil olmak üzere tüm test grubu görülmektedir.

Şekil 12.21'de uygulanan test, çok girişli örnek alma aleti kullanmaktadır. Bu uygulama, kornulama ve bozulmuş akış profillerinden doğan hataları asgariye indirir.

**Şekil 12.21. Çok girişli pitot tüpü ile akış ölçümü**



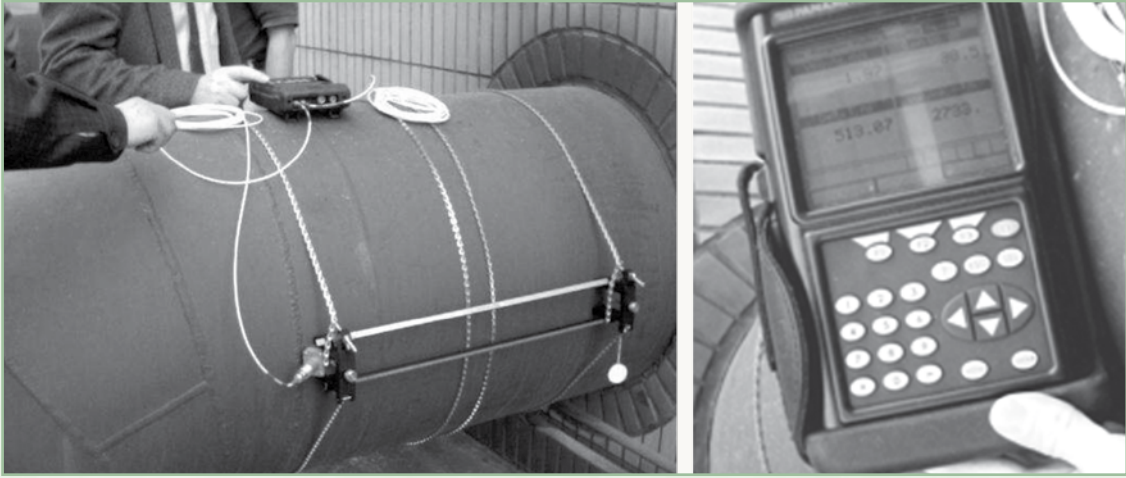
### Ultrasonik debimetreler

Ultrason teknolojisi, sürekli akış izleme için kullanılır; ancak muhtemelen, taşınabilir birimlerdeki kullanımından dolayı daha iyi bilinir. Kullanılan teknoloji temelde iki türdür: Doppler ve uçuş süresi (Time-of-Flight; ToF).

Doppler tekniği, ultrasonik sinyalin frekansında akışkan hızıyla bağlantılı değişimin tespitine dayanır. Doppler teknolojisinin etkin biçimde işlemesi için, akışkanın içinde belirli düzeyde saf-sızlıkların (veya gaz kabarcıklarının) olması gerekir.

Uçuş süresi (Time-of-Flight; ToF) teknolojisi ise, adından da anlaşılacağı üzere, süreye dayalı bir tekniktir. Şekil 12.22'de geçiş süresi tabanlı ultrasonik bir debimetre görülmektedir. Bu tip ölçerler, akışkan içindeki ultrasonik darbeleri ölçerek akış hızını hesaplar.

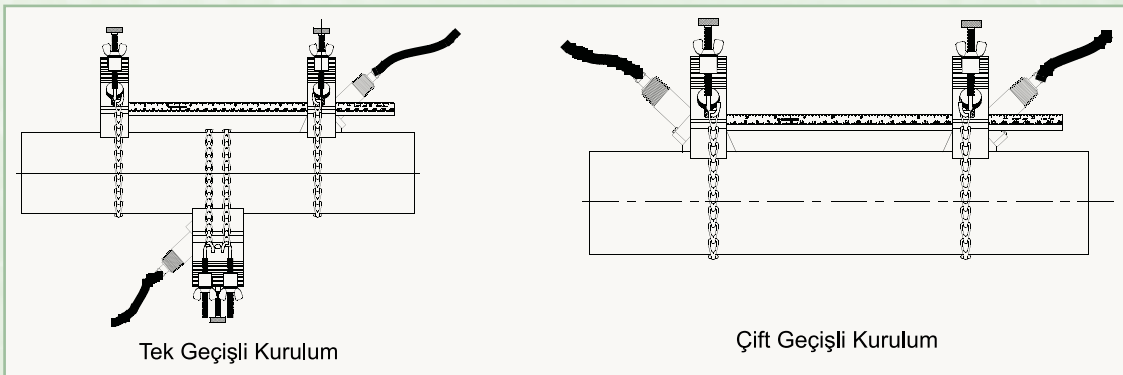
**Şekil 12.22. Geçiş süresi tabanlı ultrasonik debimetre**



Konfigürasyona bağlı olarak; yukarıda gösterilen çift geçişli yöntemde sinyal, boru cidarlarından geri yansıtılabilir veya aşağıda Şekil 12.23'te tek geçişli yöntemde gösterildiği gibi, boruyu enlemesine bir kez kat edebilir.

**Şekil 12.23. Tek ve çift geçişli yöntemler**

(GE Panametrics'in izniyle)



Şekil 12.23'te gösterilen debimetrenin üreticisi, kullanıcıların öncelikle transdüserleri çift geçişli kurmaya çalışmalarını tavsiye etmektedir. Bunun nedenleri şöyledir:

- Sinyal akışkan içinde daha uzun süre kaldığından doğruluk artmaktadır.
- Çift geçişli kurulumun yapılması daha kolaydır.

İster çift ister tek geçişli yöntem kullanılsın, önemli olan, transdüserleri borunun yanlarına takmaktır; borunun üstüne ve altına takılırsa, borunun içinde üstte biriken havanın veya boru tabanında biriken çökeltinin neden olabileceği potansiyel hatalar söz konusudur. Kurulum ayrıca, transdüserlerin akış yukarı tarafında boru tesisatının "bozulmamış" 10 çap uzunluğunda, ölçerlerin akış aşağı tarafında ise 5 çap uzunluğunda düz boru üzerinde yapılmalıdır. Burada bozulmamış boru tabiriyle flanş, dirsek ve T dirsekleri gibi muhtemel türbülans kaynaklarından kaçınma kastedilmektedir.

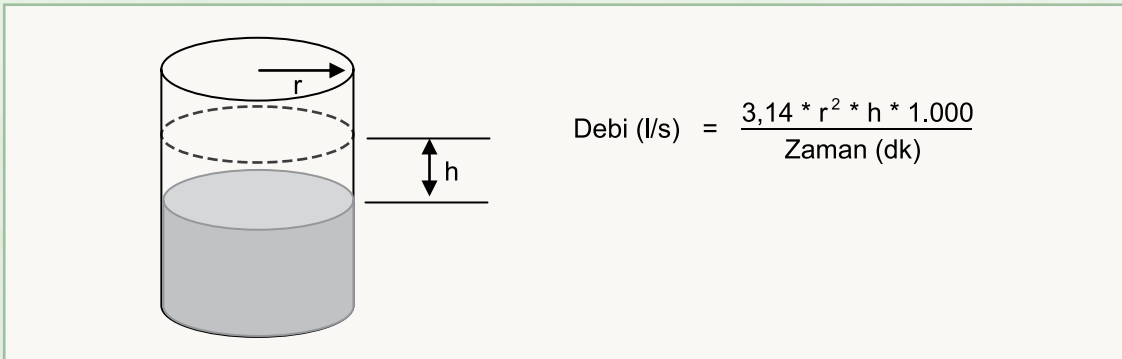
Taşınabilir ölçüm düzeninin önemli özelliklerinden birisi et kalınlığıdır; bu husus, özellikle küçük çaplı boru tesisatında önemlidir. Kontrolörün, transdüserin aksel boşluğunu belirleyebilmesi için, basılan madde türü ve akışkan özelliklerine ek olarak, borunun et kalınlığı ve dış çapı da kontrolöre girilmesi zorunlu olan parametrelerdir. Şekil 12.22'de görülen transdüserle ayrıca, borunun et kalınlığını belirlemek üzere bir ölçer takılmıştır.

Bu ölçerin her uygulamada başarılı olmadığı bilinmelidir. Özellikle, boru cidarının iç tarafında önemli miktarda kalınlık artışı ve basılan akışkanın içinde yüksek miktarda hava bulunduğu durumlarda cihaz işe yaramamıştır.

### Boşaltma-doldurma testi

Mevcut debimetreleri kontrol etmek veya ultrasonik debimetreye alternatif olarak, pompalama sisteminin debisi, su pompalayarak bir tankı doldurmak veya boşaltmak suretiyle de hesaplanabilir. Basit şekilde tank izole edilir, mevcut seviyesi ölçülür ve pompa belirli bir süre boyunca çalıştırılarak tanktan dışarıya (veya tankın içine) basılan hacim belirlenir. Bu yöntem, silindirik bir tank için denklemlerle birlikte aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 12.24. Tank hacminden debinin bulunması



### 12.3.11. Elektriksel ölçümler

Elektriksel ölçümler yalnız nitelikli elektrik teknisyenleri veya eğitimli teknik uzmanlar tarafından yapılmalıdır. Burada en önemli uyarı, her türlü elektriksel ölçüm yapılırken uygun güvenlik önlemlerinin alınması gerektiğidir. Amerikan Ulusal Elektrik Kodu (NEC), kontrol kutusu üzerinde çalışmaya ilişkin güvenlik ilkeleri ve çalışacak kişilerin niteliklerini belirtmektedir. Ayrıca, anılan Kod'un ilkeleriyle aynı doğrultuda olan İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi (OSHA) kural-

ları vardır. Kısa devreler, çok yüksek akımlar yaratarak iletkenleri eritebilir veya buharlaştırabilir. Şekil 12.25'te gösterilen test probunun iki çenesi kazara iki faz arasında temas kurmuştur. Devre kesici kapanarak kısa devreyi izole etmiş olmasına rağmen, devre kesilinceye kadar test ucu infilak etmiştir. Patlamanın sesi, bir av tüfeğinin ateşlenmesine benzer şekilde gürültülü olmuştur.

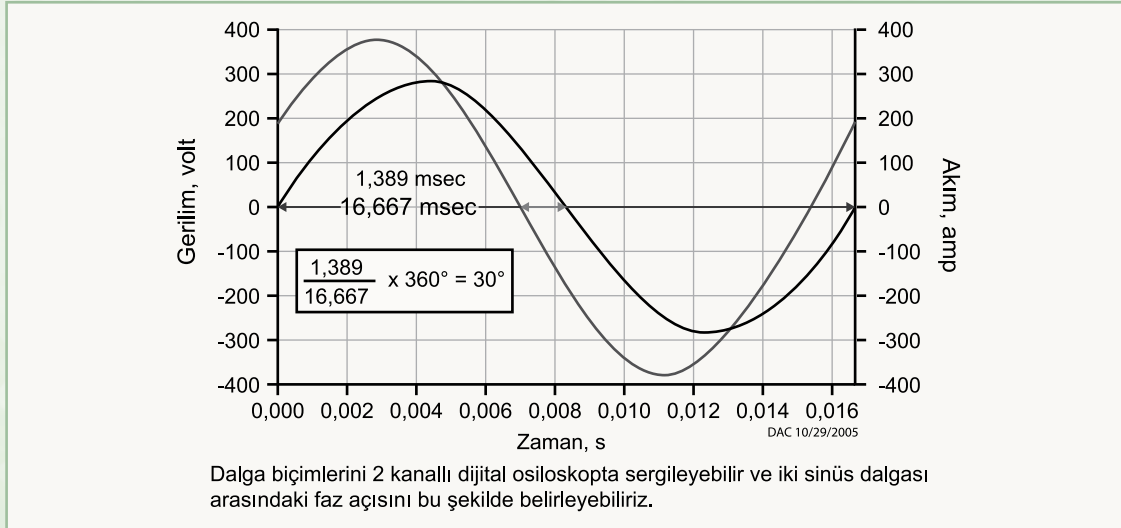
**Şekil 12.25. Normal ve buharlaştırılmış test ucu**



Güç doğrudan ölçülebilir veya gerilim ve akım şiddeti ölçümlerinden hesaplanabilir. Bu ölçümlerden gücün hesaplanması, aşağıda Şekil 12.26'da gösterilen gerilim ve akım dalga biçimleri arasındaki faz açısının kosinüsü olan güç faktörünü tahmin etmeden yapılamaz.

PSAT programı, piyasadaki diğer tahmin araçlarına göre çok daha iyi olan güç faktörü tahmin aracına sahiptir.

**Şekil 12.26. Dalga biçimlerinin sıfır geçişleri arasındaki süre**



### Gerilim (voltaj)

Ölçülen parametreler içinde, hesaplanan sonuçlar üzerinde en az etkisi olan genellikle gerilimdir. Bu, gerilimin önemsiz olmasından değil, daha ziyade, gerilimin diğer parametrelere göre nispeten küçük miktarlarda değişiyor olmasındandır. Örneğin, normal kararlı şartlarda, gerilimin anma değerden %10'dan fazla sapması oldukça olağandışıdır.

Gerilim genellikle, başta motorun orta gerilim barasından beslendiği haller olmak üzere, motor kontrol merkezlerinde panel göstergeleri (analog veya dijital) üzerinde gösterilmektedir. Alçak gerilim (örneğin 230 veya 460 voltluk motorlar gibi) kullanılan çoğu durumda, kalıcı olarak takılmış bara gerilim göstergesi bulunmayabilir.

Saha ölçümleri bakımından, Şekil 12.27'de görüldüğü gibi, fazlar arası üç gerilimin ölçülmesi tavsiye edilir. Bu üç değerın ortalaması kullanılmalıdır.

**Şekil 12.27. Okunan gerilim değerleri**



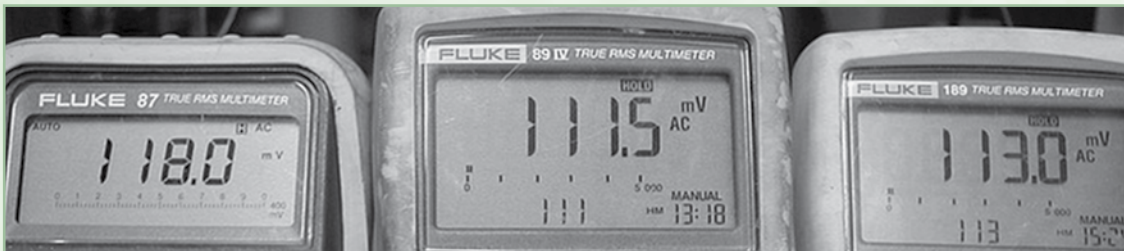
#### Akım şiddeti

Mümkün olduğunda, Şekil 12.28 ve 12.29'da görüldüğü gibi, akımın her fazını da izlemek ve üçünün ortalamasını almak gerekir. Gerilimin dengesiz olduğu durumlarda bu özellikle önemlidir; çünkü gerilimdeki dengesizlik arttıkça, akım da fazdan faza büyük farklılık gösterebilir.

**Şekil 12.28. Üç fazın izlenmesi**



**Şekil 12.29. Her fazda akım şiddeti ölçümü**



#### Kapasitör bankları takılarak akımın ölçülmesi

Bazı durumlarda, güç faktörü düzeltme kapasitörleri motor ile paralel bağlanır. Kapasitörler motora paralel takıldığında, kapasitör ve motor bileşkesine giden akımı değil, motora giden akımı izlemek önemlidir.



Kapasitörlerin takılı olduğu durumlarda, PSAT amaçları için ölçülen akım, hattan gelen akım değil, motora giden akım olmalıdır; çünkü hattan gelen akım, kapasitör bankı nedeniyle motora giden akımdan daha düşük olacaktır. Bunun nedeni, PSAT tahmin metodolojisinin mil yükünü tahmin etmek için motor performans karakteristiklerini kullanması ve motor güç faktörünün PSAT tarafından kullanılan verilere dâhil olmasıdır.

Mil gücünün tahmin edilmesinde tercih edilen yöntem elektriksel güç ölçümüdür. Ancak, yalnız akım ve gerilimin ölçülmesi (yani, güç ölçer yoksa), kapasitör bankları gibi faktörlerin mevcudiyetinin dikkate alınması şartıyla, makul doğrulukta sonuçlar sağlar.

### **Ayarlanabilir frekanslı sürücü uygulamasında akımın ölçülmesi**

Pompalama sistemi enerji kullanımını değerlendirmede akım kullanıldığında, ayarlanabilir frekanslı sürücüler başka bir sorun yaratırlar. Motor, anma değeri olarak belirlenen hızdan çok daha farklı bir hızda çalışıyor olabilir; bu nedenle, motora giden akımın ölçülmesi sorunludur. Ayarlanabilir frekanslı sürücüler, sürücünün ön ucunda redresör kullanır; sürücü güç faktörleri de oldukça yüksek olur; bunun sonucunda yaklaşık 0,95 civarında oldukça yüksek deplasman güç faktörleri oluşur.

Pompalama sistemi üzerinde veri toplama bakımından, güç tahmin yöntemi olarak sürücü giriş gücünün kullanılması kuvvetle tavsiye edilir. Bazı sürücülerin çıkış gücü, sürücünün dijital göstergesinde ve/veya analog çıkış olarak gösterilir. Bunlar mevcut değilse, taşınabilir güç ölçer kullanılabilir.

Alternatif bir durum olarak, gücün sürücü tarafından bildirilmediği ve güç ölçer bulunmadığı durumlarda; sürücü giriş gücünün üç faz ortalaması ve fazdan faza gerilimler ölçülebilir ve sonra, 0,95 güç faktörü varsayılarak (veya sürücü üreticisinin tavsiye ettiği başka bir değer) güç tahmin edilebilir. Bunun hesaplanması aşağıdaki gibidir:

$$\text{Güç (kW)} = \text{Ortalama gerilim} \times \text{Ortalama akım} \times 0,95 \times 1,732$$

### **Güç**

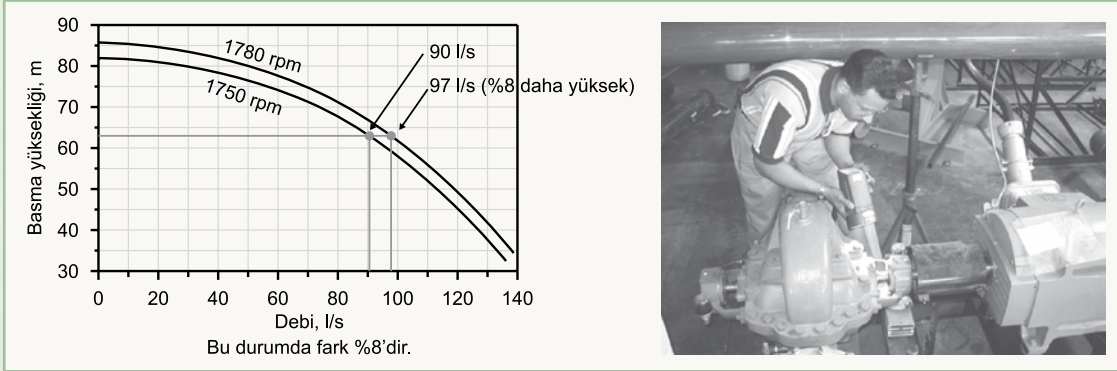
Pompanın güç tüketimini değerlendirmede tercih edilen yöntem kW'ı ölçmektir. Motor giriş elektriksel gücünün tercih edilmesinin nedeni, mil gücünden, yani motor veriminden yalnız bir adım ötede olmasıdır.

Motor akımı kullanıldığında, verim ve güç faktörü olmak üzere iki değişken rol oynar. Hem güç faktörü hem de verim, yük ve motor tipi ile değiştiğinden, motor akımından mil gücünün tahmin edilmesi daha da belirsizleşir.

## **12.3.12. Devir sayısının kontrolü**

Debi ve basma yüksekliği verilerini orijinal pompa eğrisi ile karşılaştırırken, herhangi bir ayarlama yapılması gerekip gerekmediğini belirlemek için devir sayısının kontrol edilmesi önemlidir. Devir sayısının debiyi nasıl etkileyebileceğine ilişkin örnek Şekil 12.30'da gösterilmiştir.

Şekil 12.30. Devir sayısı ölçümlerinin yapılması



Devir sayısı değerleri, Şekil 12.30'da gösterilen temassız strob tipi takometre ile kolayca ölçülebilir. Çoğu durumda, strob ışığı mile yöneltildiğinde milin üzerindeki çentikler veya çizikler görülebilir ve yansıtıcı banda ihtiyaç olmaz. Strob ışığı üzerindeki düğmeler, milin işaretleri artık hareketsiz görününceye kadar ayarlanır; o noktada mütakabil devir sayısı değeri kaydedilebilir.

Strob ışığı için ilk devir sayısının, gerçek devir sayısına yakın biçimde ayarlanması gerektiğini kullanıcının bilmesi önemlidir. Bunun nedeni, 1.800 dev/dk devirli pompada 3.600 dev/dk değerleri okumaya başlarsanız, bunun doğru ayarlanmış olduğu anlaşılacaktır; çünkü okunan değer, gerçek okumanın katı olmasıdır. Bu, özellikle, değişken hız sürücülerini ile teçhiz edilmiş düşük devirli pompalarla çalışırken önemlidir.

### 12.3.13. Veri kütükleme

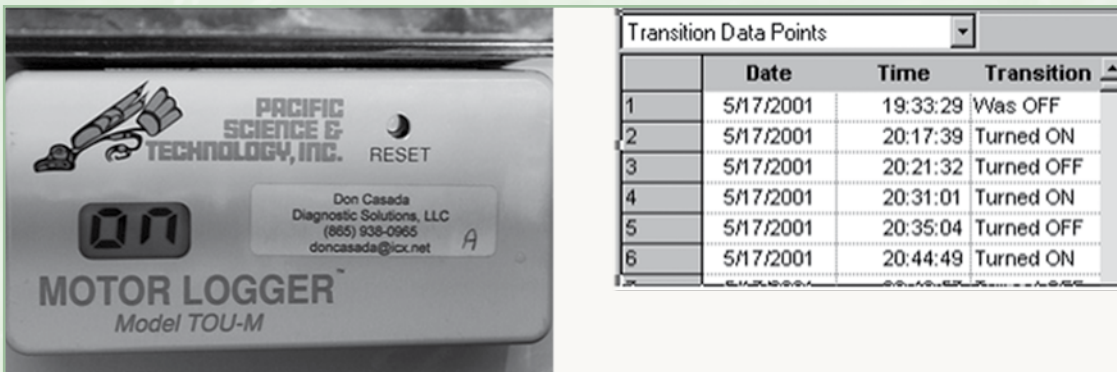
#### Motor aç/kapa kütükleyicileri

En basit, fakat, en işe yarar kütükleyicilerden birisi aç/kapa kütükleyicisidir. Şekil 12.31'de gösterilen kütükleyici, motorun devre kesicisine bitişik takılmıştır (Velcro fermuar ile tutturulmuştur). Motor çalışırken, kütükleyici "açık" gösterir.

Bu türden kütükleyiciler, çevredeki manyetik alan gücüne duyarlıdır ve motora veya güç uçlarına iliştilirilebilir. Diğer kütükleyiciler ise, aynı amaç için kısaçlı akım trafoları kullanır.

Verilerin saklanma biçimi ve aylık işletimin özet sonuçları Şekil 12.31'de gösterilmektedir.

Şekil 12.31. Aç/kapa kütükleyicisi ve veri çıktıları



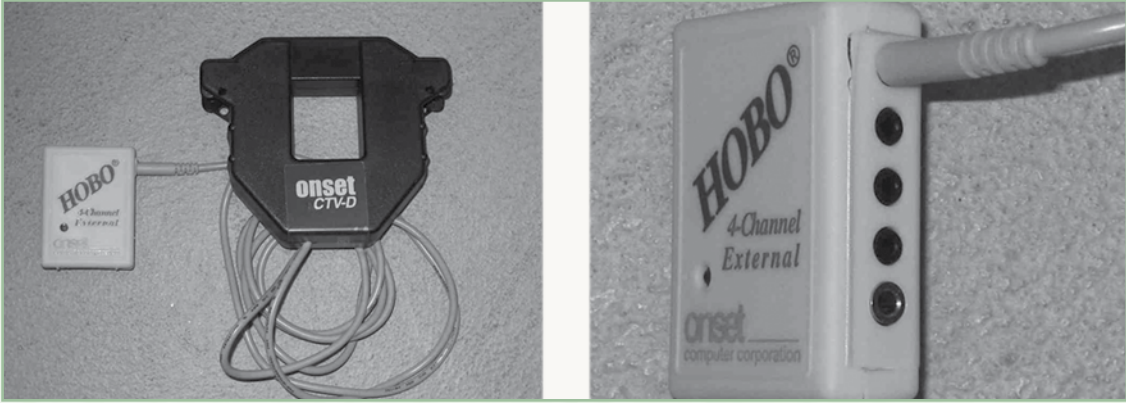
### Genel amaçlı veri kütükleyiciler

Genel amaçlı kütükleyiciler, genel analog sinyalleri kütüklemede kullanılabilir. Kütüklenebilen sinyallerin tipleri ve aralıkları kütükleyici özelliklerine bağlı olarak değişir. En yaygın sinyal tipleri 0-5 volt DC, 4-20 miliamper ve Transistör-Transistör-Logic (TTL) darbe sayımıdır. Bazı kütükleyicilerle, sinyal ölçeği, hem gerçek sinyal genliğini hem de her transdüserin ölçeğini kaydetmek için ayarlanabilir. Böylece, verilere daha sonra erişildiğinde, kayıtlı değerler uygun biçimde ölçeklendirilmiş mühendislik birimleri ile raporlanır.

Bu türden veri kütükleyiciler için sinyal örnekleme hızları, genellikle, saniyede birkaç yüzden 12 saatte bir kez arasında değişebilir. Uzun süreler için bildirilen değer, belirli bir zamandaki ani değer değil, söz konusu süredeki ortalama değer olacağı için ortalama özellikler alınır.

Şekil 12.32'de, akım dönüştürücüsü (CT)'ne sahip bir genel amaçlı kütükleyici görülmektedir. Bu cihaz üç fazlı bir devrenin bir ayağına takılabilir ve 4 giriş sinyalini kütükleme yeteneğine sahiptir. Kullanıcılar, genellikle, arzu edilen kütükleme aralığını seçtikten sonra, bu kütükleyiciyi bir dizüstü bilgisayar ile sahada faaliyete geçirmektedir. Daha sonra, kütükleyici yerinden alındığında, ünite tekrar kütükleyiciye takılır ve veriler analiz için Excel dosyasına aktarılır.

Şekil 12.32. Genel amaçlı veri kütükleyiciler



### Temel Kazanımlar

Bu bölüm aşağıdaki temel kazanımları içerir:

- 1) Saha ölçümlerinin yapılmasından önce pompa verilerinin toplanması,
- 2) Saha ölçümleri için ihtiyaç duyulan ekipman ve aletler,
- 3) Enstrümantasyon tipleri ve verilerin kütüklenmesi:
  - o Etiket verileri,
  - o Devir sayısı,
  - o Basınç ve pompa toplam basma yüksekliğinin belirlenmesi,
  - o Debi ölçümleri,
  - o Elektriksel ölçümler,
- 4) Veri kütükleyicilerin kullanılması.



## Bölüm 13

# Verilerin İşlenmesi

## 13.1. Genel Bakış

Bu bölümde, verilerin toplanmasından sonra verilere ne yapılacağı anlatılmaktadır. Bu süreç başlamadan önce, pompa kullanıcısının aşağıdaki ekipman bilgilerini toplamış olması gerekir:

- Pompa eğrisi
- Yükseklikleri de gösteren sistem çizimleri
- Motor ve pompanın etiket verileri
- Mevcutsa ekipman verileri/özellikleri

Pompa test verilerinin toplanmasına ilişkin çabanın bir parçası olarak, çeşitli akış aralıkları için aşağıdaki bilgiler de toplanmış olmalıdır:

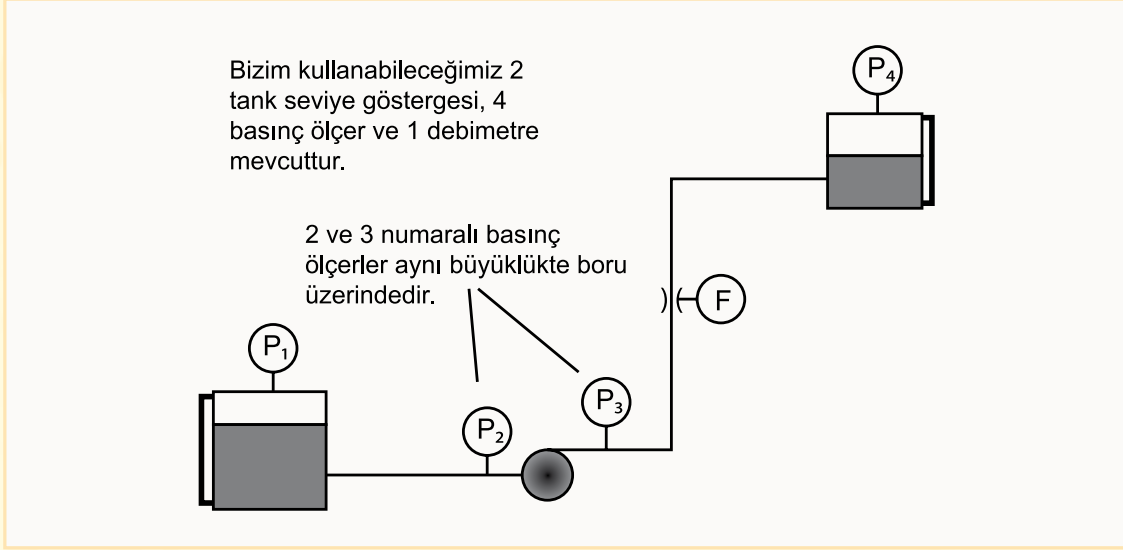
- Sistem debi ve basınç ihtiyaçlarının belirlenmesi
- Pompa basınç ölçümleri
- Debi ölçümleri
- Elektrik verileri (akım şiddeti, gerilim, kW)
- Devir hızı değerleri
- İşletim saatleri

Bu bilgiler hazır edildiğinde, kullanıcı, verileri analiz etmeye başlayabilir.

## 13.2. Sistem Eğrisinin Geliştirilmesi

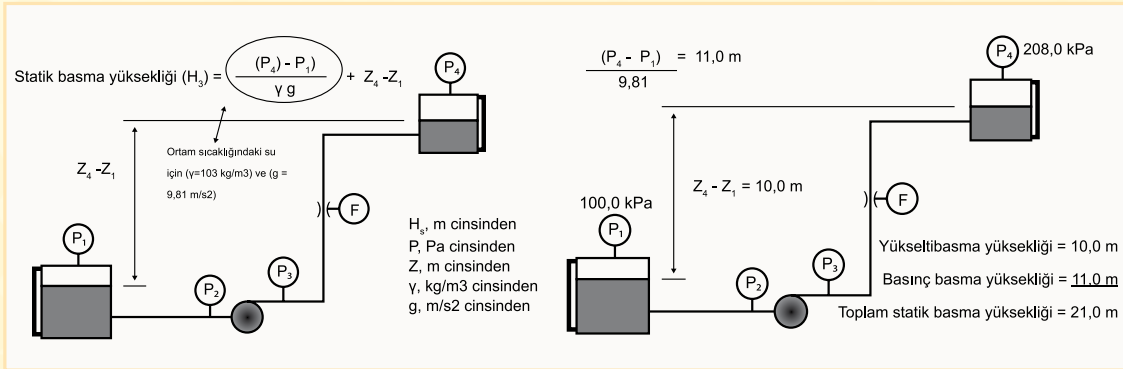
Daha önce açıklandığı üzere, pompalama sistemi değerlendirmesinde en önemli ilk adım, sistem eğrisinin geliştirilmesidir. İhtiyaç duyulan veriler toplandıktan sonra, Şekil 13.1 ilâ 13.6'da gösterildiği gibi, bu süreç nispeten kolaydır.

Şekil 13.1. Örnek sistem diyagramı



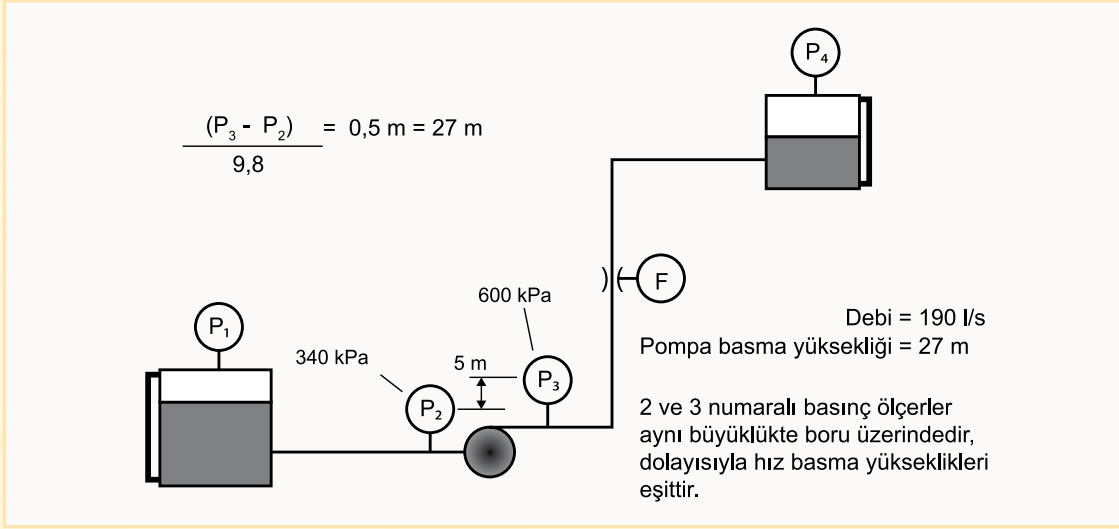
Şekil 13.1'deki diyagram, P1, P2, P3 ve P4 noktalarında basınç değerlerinin ölçüldüğü basit bir pompalama sistemini göstermektedir. Sistem eğrisini çizmek için, statik ve sürtünme basma yüksekliğini bulmak suretiyle (bu örnekte, hız basma yüksekliği ihmal edilebilir kabul edilecektir) önce toplam basma yüksekliği hesaplanmalıdır. Şekil 13.2, statik basma yüksekliğinin nasıl belirlendiğini açıklamaktadır:

Şekil 13.2. Statik basma yüksekliğinin hesaplanması



Statik basma yüksekliği bulunduktan sonra, sürtünme basma yüksekliği tek debide hesaplanabilir. Bu işlem basit olarak Şekil 13.3'te görüldüğü üzere, pompanın giriş ve çıkışında basınç ölçümleri alınmak ve metre cinsinden basma yüksekliğine dönüştürmek suretiyle yapılır.

Şekil 13.3. Sürtünme basma yüksekliğinin hesaplanması

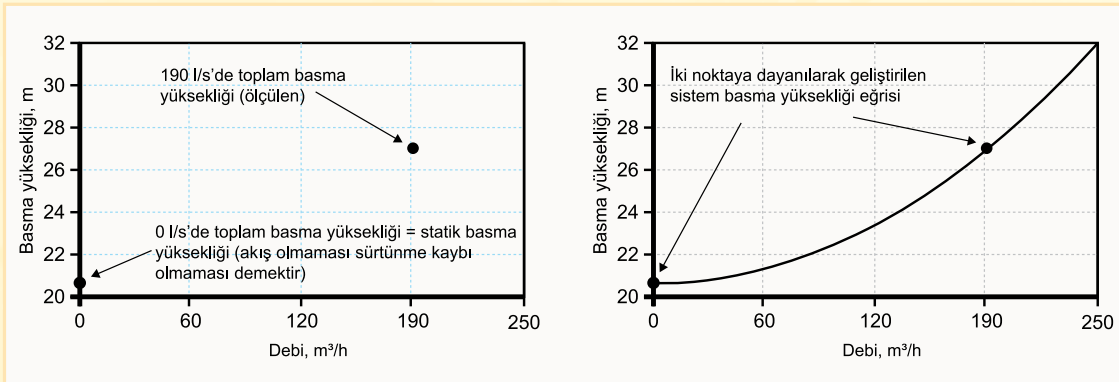


Artık sistem eğrisi üzerinde iki noktaya sahip olduğumuza göre (0 l/s debide 21 m ve 190 l/s debide 27 m), aşağıdaki denklem kullanılarak bir sistem eğrisi geliştirilebilir:

$$K = \frac{(H_2 - H_1)}{(Q_2^2 - Q_1^2)} \quad \text{ve} \quad H_3 = H_1 + K \cdot Q_3^2$$

Burada,  $H_3$  ve  $Q_3$  sistem eğrisi üzerinde herhangi başka bir noktada basma yüksekliği ve debiyi temsil etmektedir. Yeterli sayıda nokta elde edildiğinde, sistem eğrisi Şekil 13.4'te görüldüğü gibi çizilir.

Şekil 13.4. Sistem eğrisinin geliştirilmesi



Sistem eğrisi geliştirilmiş olduğuna göre, potansiyel iyileştirme alanlarını değerlendirmek için sistem ihtiyaçları daha ayrıntılı biçimde incelenebilir. Bunun için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Sistem eğrisi, verimi artırmak için değiştirilebilir mi?
- Pompa çalışma noktası sistem ihtiyaçlarıyla uyumlu mudur?
- Pompa, hem sistem eğrisi üzerinde daha aşağıda bir noktada işletilip hem de sistem ihtiyaçlarını karşılayabilir mi?

Bu hususlar göz önünde tutularak, toplanan pompa verileri her akış aralığında değerlendirilmelidir. Veriler Tablo 13.1'de gösterildiği şekilde organize edilebilir:

**Tablo 13.1. Veri toplama tablosu**

| Aralık | Pompa debisi | Toplam basma yüksekliği | kW veya amper | Devir sayısı | Yıllık saat | kWh |
|--------|--------------|-------------------------|---------------|--------------|-------------|-----|
| 1      |              |                         |               |              |             |     |
| 2      |              |                         |               |              |             |     |
| 3      |              |                         |               |              |             |     |
| 4      |              |                         |               |              |             |     |
| 5      |              |                         |               |              |             |     |

Kullanıcı bu noktada, pompalama sistemi ile sistem ihtiyaçlarının ne ölçüde verimli biçimde uyduğuna karşılaştırmaya başlayabilir.



## Bölüm 14

### Örnek Problem

#### 14.1. Sorunlu Kontrol Vanası Olan Sistem

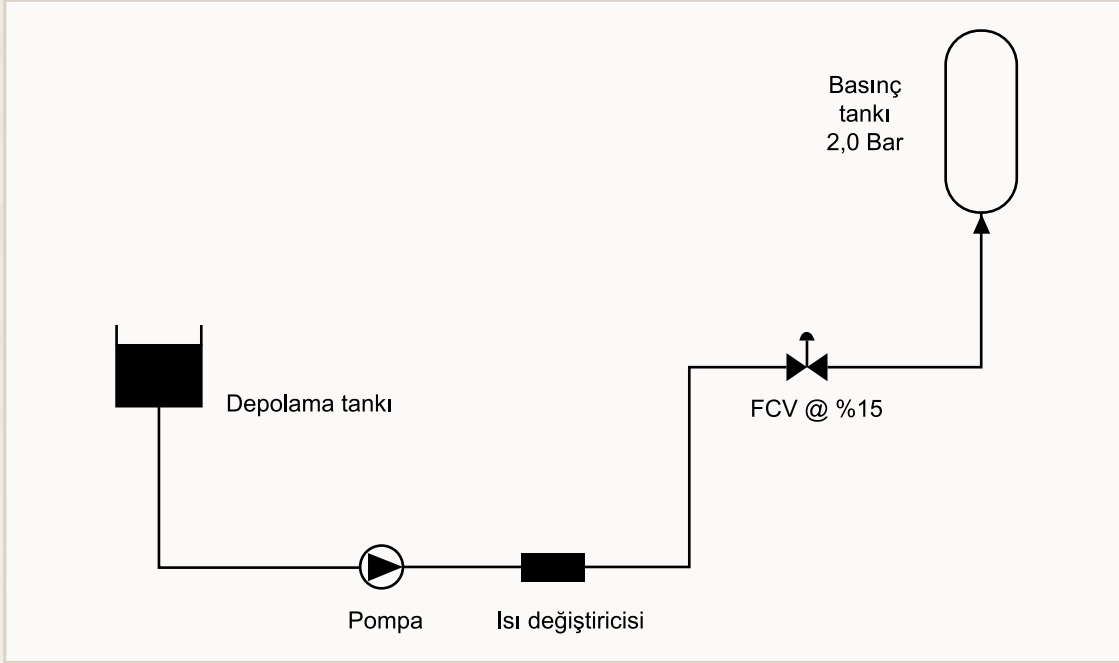
Bu örnekte, boru tesisat sistemi ömür boyu maliyet (LCC) analizi, kontrol vanasına yönlendirilir. Sistem, biraz katı madde içeren bir proses akışkanını depolama tankından basınçlı tanka taşıyan tek pompalı bir devredir. Bir ısı değiştiricisi akışkanı ısıtmakta ve bir kontrol vanası da basınçlı tanka giden debiyi  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  (350 US gpm) düzeyinde regüle etmektedir.

Tesis mühendisi, kavitasyonun yol açtığı erozyon nedeniyle arıza yapan bir kontrol vanasıyla sorunlar yaşamaktadır. Vana her 10 ilâ 12 ayda bir arıza yapmakta; her tamiri de 4.000 \$'ye mal olmaktadır. Mevcut vananın yerine, kavitasyona dayanıklı bir kontrol vanası takılması düşünülmektedir.

Kontrol vanasını değiştirmeden önce, proje mühendisi diğer seçeneklere bakmak ve alternatif seçenekler üzerinde bir LCC analizi yapmak istemiştir.



Şekil 14.1. Kontrol vanasının arıza yaptığı bir pompalama sistemi krokisi



#### Sistemin işleyişi:

İlk adım, sistemin halihazırda nasıl işlediğinin ve kontrol vanasının niçin arıza yaptığının belirlenmesidir. Sonrasında ise, sorunu çözmek için neler yapılabileceğini incelemek gerekir.

Kontrol vanası, halihazırda, yüzde 15 ilâ 20 düzeyinde açık olarak çalıştırılmakta ve vanadan önemli miktarda kavitasyon gürültüsü gelmektedir. Görünüşe göre, vananın boyutları uygulama için uygun değildir. Orijinal tasarım hesaplamaları incelendiğinde, pompanın 80 m<sup>3</sup>/h (350 US gpm) yerine 110 m<sup>3</sup>/h (485 US gpm)'ye göre boyutlandırıldığı; bunun da, kontrol vanasında başlangıçta düşünülen daha büyük bir basınç düşmesine yol açtığı anlaşılmıştır.

İşletim debisindeki büyük basınç farkının sonucu olarak ve vananın düzenli aralıklarla kavitasyon hasarı göstermesi nedeniyle, kontrol vanasının bu prosese uygun olmadığı belirlenmiştir. Aşağıdaki dört seçenek önerilmektedir:

**Seçenek-A:** Yüksek basınç farkını karşılayacak yeni bir kontrol vanası takılabilir.

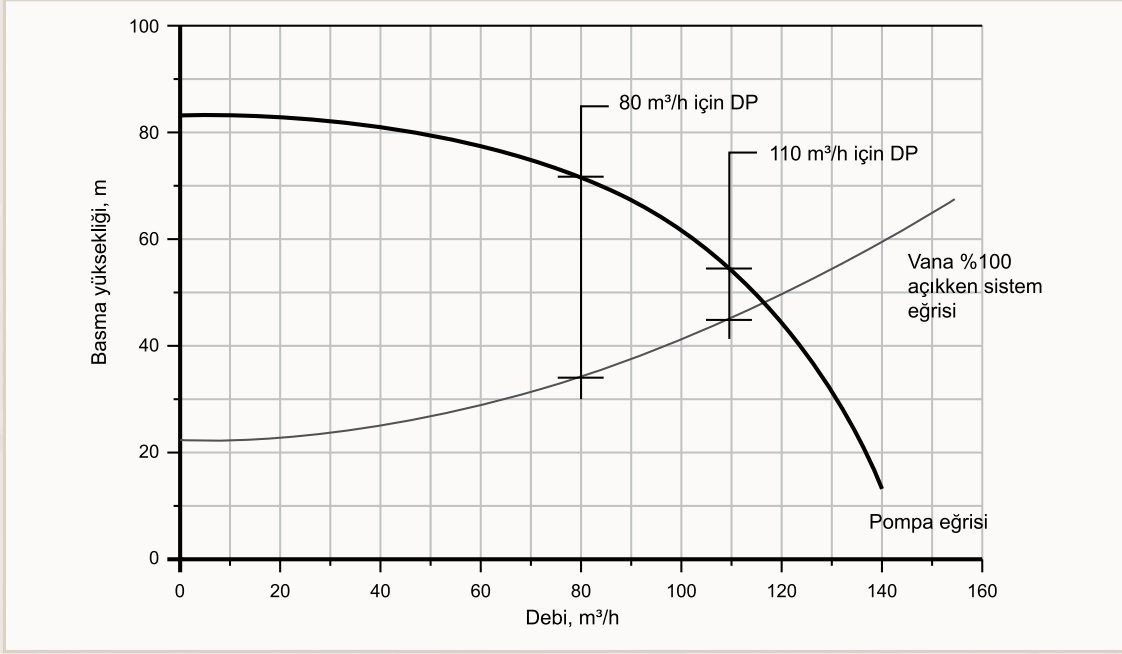
**Seçenek-B:** Pompa çarkının boyutu, pompa daha küçük basma yüksekliği oluşturacak ve bunun sonucunda mevcut vanadaki basınç düşmesi daha küçük olacak şekilde ayarlanabilir.

**Seçenek-C:** Bir ayarlanabilir hız sürücüsü (örneğin değişken frekanslı sürücü [VFD] veya değişken hızlı sürücü [VSD] gibi) takılabilir ve akış kontrol vanası sökülebilir. VFD, pompa hızını değiştirebilir ve böylece istenen proses akışını sağlayabilir.

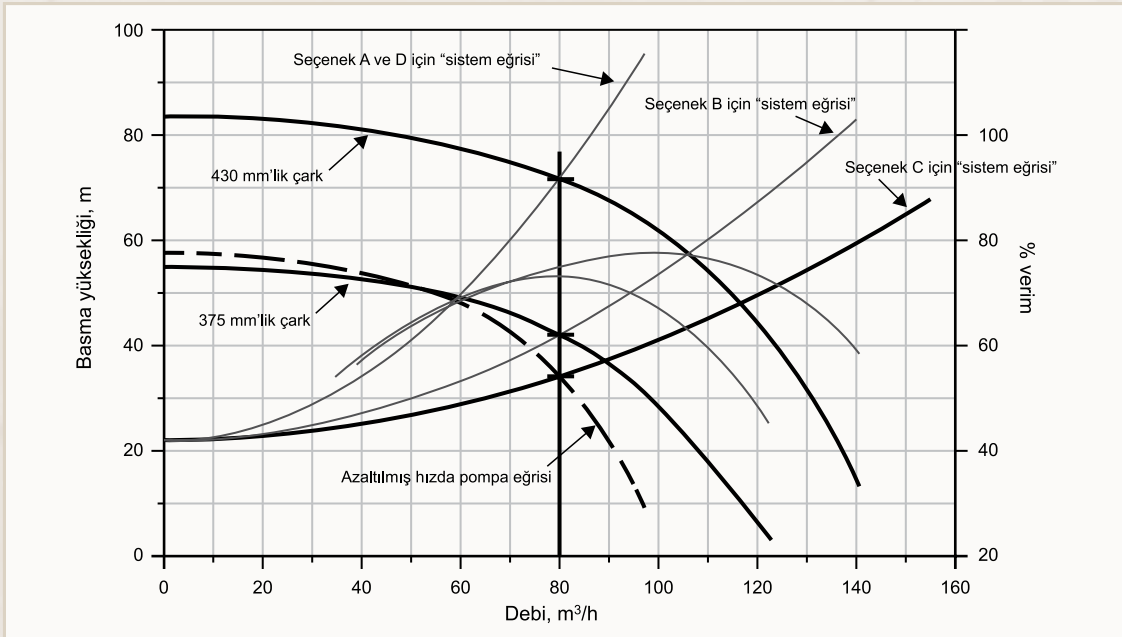
**Seçenek-D:** Sisteme herhangi bir şey yapılmaz; debi kontrol vanasının her yıl tamir edilmesi beklenir.

Uygun boyutlandırılmış yeni bir kontrol vanasının maliyeti 5.000 \$'dır. Çark çapını azaltmak suretiyle pompa performansını değiştirme maliyeti ise 2.250 \$'dır. Proses, 80 m<sup>3</sup>/h debide yılda 6.000 saat işletilmektedir. Enerji maliyeti kWh başına 0,08 \$; ve motor verimi de %90'dır.

Şekil 14.2. Pompa ve sistem eğrileri



Şekil 14.3. Çark boyutlandırması için pompa ve sistem eğrileri, değişken hızda işletim ve farklı sistem eğrileri



Çarkı 375 mm'ye boyutlandırmak suretiyle, pompanın toplam basma yüksekliği 80 m<sup>3</sup>/h'de 42 m'ye (138 ft) indirilmektedir. Basıncıdaki bu düşüş, kontrol vanasındaki basınç farkını 10 m'nin (33 ft) altına indirmektedir. Bu da, vananın orijinal tasarım noktasıyla daha iyi uyumludur. Daha küçük boyuttaki çark ile elde edilen yıllık enerji maliyeti 6.720 \$'dır. Çarkı boyutlandırmanın maliyeti ise 2.250 \$'dır. Bu maliyet, çarkın sökülmesi, tornalanması ve yeniden takılmasına ilişkin tüm maliyettir. 30 kW'lık bir VFD'nin bedeli 20.000 \$'dır; takılması da 1.500 \$ ilâve mali-

yet gerektirmektedir. VFD'nin yıllık bakım maliyeti de 500 \$'dır. Projenin 8 yıllık ömründe artık tamirat ihtiyacı olmayacağı varsayılmaktadır.

Sistemde değişiklik yapmama seçeneğinin yıllık maliyeti ise, akış kontrol vanasında kavitasyon nedeniyle yapılacak tamirat dolayısıyla 4.000 \$'dır.

**Tablo 14.1. Kontrol vanası arıza yapan sistemde A–D seçenekleri için maliyet karşılaştırması**

| Maliyet                | Kontrol Vanasını Değiştir (A)     | Çarkı Boyutlandır (B)             | VFD (C)                           | Kontrol Vanasını Tamir Et (D)     |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Pompa Maliyet Verileri |                                   |                                   |                                   |                                   |
| Çark çapı              | 430 mm                            | 375 mm                            | 430 mm                            | 430 mm                            |
| Pompa basma yüksekliği | 71,7 m (235 ft)                   | 42,0 m (138 ft)                   | 34,5 m (113 ft)                   | 71,7 m (235 ft)                   |
| Pompa verimi           | %75,1                             | %72,7                             | %77                               | %75,1                             |
| Debi                   | 80 m <sup>3</sup> /h (350 US gpm) | 80 m <sup>3</sup> /h (350 US gpm) | 80 m <sup>3</sup> /h (350 US gpm) | 80 m <sup>3</sup> /h (350 US gpm) |
| Tüketilen güç          | 23,1 kW                           | 14,0 kW                           | 11,6 kW                           | 23,1 kW                           |
| Yıllık Enerji Maliyeti | 11.088 \$                         | 6.720 \$                          | 5.568 \$                          | 11.088 \$                         |
| Yeni Vana              | 5.000 \$                          |                                   |                                   |                                   |
| Çark boyutunu değiştir |                                   | 2.250 \$                          |                                   |                                   |
| VFD                    |                                   |                                   | 20.000 \$                         |                                   |
| VFD'nin takılması      |                                   |                                   | 1.500 \$                          |                                   |
| Vana tamiri/yıl        |                                   |                                   |                                   | 4.000 \$                          |

#### Tartışınız:

1. Farklı çözümlerin faydalarını değerlendiriniz.

2. Hangisini tavsiye edersiniz? Neden?

# Ekler

Ek

A

## Sözlükçe

| İngilizce                      | Türkçe                           |
|--------------------------------|----------------------------------|
| # stages                       | kademe sayısı                    |
| absolute pressure              | mutlak basınç                    |
| absolute unit <> gauge unit    | mutlak birim <> gösterge birimi  |
| AC induction motor             | AC endüksiyon motoru             |
| actual full-load slip          | tam yük gerçek kayması           |
| actual operating conditions    | gerçek işletim koşulları         |
| actual pump performance        | gerçek pompa performansı         |
| actuator linkage               | çalıştırıcı bağlantısı           |
| adaptor                        | adaptör                          |
| adjustable belt drive          | ayarlanabilir kayışlı sürücü     |
| adjustable frequency drive     | ayarlanabilir frekanslı sürücü   |
| adjustable speed drive (ASD)   | ayarlanabilir hız sürücüsü (ASD) |
| variable speed drive (VSD)     | değişken hız sürücüsü (VSD)      |
| variable frequency drive (VFD) | değişken frekanslı sürücü (VFD)  |
| aeration                       | havalandırma                     |
| affinity laws                  | benzerlik kanunları              |
| air entrainment                | hava sürüklenmesi                |
| air pocket                     | hava cebi                        |
| all-frictional system          | tümüyle sürtünmeli sistem        |
| alternate duty point           | alternatif çalışma noktası       |
| ambient temperature            | ortam sıcaklığı                  |
| amperage                       | akım şiddeti                     |

| İngilizce                         | Türkçe                      |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| amperage meter, ammeter           | ampermetre                  |
| amplitude                         | genlik                      |
| angular misalignment              | açısal hizasızlık           |
| apparent power                    | görünür güç                 |
| asynchronous motor                | asenkron motor              |
| atmospheric pressure              | atmosfer basıncı            |
| available NPSH <> required NPSH   | mevcut NPSH <> gereken NPSH |
| axial flow pump                   | eksenel akışlı pompa        |
| axial pump                        | eksenel pompa               |
| axial spacing                     | eksenel boşluk              |
| backpressure                      | geri basınç                 |
| baffle plate                      | saptırma plakası            |
| ball valve                        | küresel vana                |
| baseline                          | referans düzey              |
| baseline flow rate                | referans debi               |
| baseline period                   | referans dönemi             |
| baseplate                         | altlık                      |
| batch process                     | kesikli proses              |
| bearing barrel                    | yatak kovanı                |
| bearing contamination             | bilyalı yatak kirlenmesi    |
| bearing failure                   | yatak arızası               |
| bedplate construction             | altlık konstrüksiyonu       |
| bell mouth inlet; bellmouth inlet | çan ağızlı giriş            |
| belt                              | kayış                       |
| Bernoulli's Law                   | Bernoulli Kanunu            |
| best efficiency point (BEP)       | en verimli nokta (BEP)      |
| boiler feed pump                  | kazan besleme pompası       |

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| boiling temperature                       | kaynama sıcaklığı                |
| booster station                           | terfi istasyonu                  |
| Bourdon type pressure gauge               | Bourdon tipi basınç ölçer        |
| brake horse power, brake horsepower (bhp) | fren beygirgücü (bhp)            |
| branch flow                               | boru kolu akışı                  |
| breakdown                                 | arıza                            |
| breaker                                   | devre kesici                     |
| breaker/starter                           | şalter                           |
| bubble                                    | kabarcık                         |
| bubbler tube                              | kabarcık tüpü                    |
| bus voltage indicator                     | bara gerilim göstergesi          |
| butterfly valve                           | kelebek vana                     |
| button                                    | düğme                            |
| bypass line (re-circulation line)         | baypas hattı (devridaim hattı)   |
| caged rotor motor                         | sincap kafesli motor             |
| calibrate                                 | kalibre etmek                    |
| cantilever type shaft support             | ankastre mil desteği             |
| capacitance probe                         | kapasitans probu                 |
| capacitor bank                            | kapasitör bankı                  |
| case/casing <> shroud/ enclosure          | gövde <> mahfaza                 |
| cavitation intensity                      | kavitasyon yoğunluğu             |
| cavitation noise                          | kavitasyon gürültüsü             |
| cavitation-free performance               | kavitasyonsuz performans         |
| cavity; cavitation                        | oyuk; kavitasyon                 |
| centerline                                | eksen                            |
| centistokes                               | santistokes                      |
| centrifugal <> non-centrifugal            | santrifüj <> santrifüj olmayan   |
| certified factory curve (for pump)        | fabrika onaylı eğri (pompa için) |
| characteristic life – MTBF                | karakteristik ömür – MTBF        |
| characteristic motor curve                | karakteristik motor eğrisi       |
| check valve bonnet                        | kontrol vanası kepi              |
| chilled water                             | soğutulmuş su                    |
| chiller                                   | soğutucu (chiller)               |
| circuit breaker                           | devre kesici                     |
| circulation rate                          | dolaşım (sirkülasyon) debisi     |
| circumferential piston pump               | çevresel pistonlu pompa          |
| clamp-on current transformer              | kıskaçlı akım trafosu            |

|   |   |
|---|---|
| clearance   | açıklık                                   |
| close coupled                                     | akuple                                    |
| closed impeller pump                              | kapalı çarklı pompa                       |
| closed loop cooling system                        | kapalı devre soğutma sistemi              |
| combined efficiency                               | bileşke verim                             |
| combined pump curve                               | bileşke pompa eğrisi                      |
| common discharge header                           | ortak çıkış başlığı                       |
| component loss coefficient                        | bileşen kayıp katsayısı                   |
| composite pump curve                              | bileşke pompa eğrisi                      |
| compressible <> incompressible                    | sıkıştırılabilir <> sıkıştırılmaz         |
| concentration                                     | derişim                                   |
| condenser   | yoğuşturucu                               |
| conductor   | iletken                                   |
| constant flow machines                            | sabit debili makineler                    |
| constant flow requirements                        | sabit debi ihtiyaçları                    |
| contaminant                                       | kirletici                                 |
| contamination                                     | kirlenme (kontaminasyon)                  |
| control valve                                     | kontrol vanası                            |
| controller  | kontrolör                                 |
| conversion factor                                 | dönüşüm faktörü                           |
| conveyor  | konveyör                                  |
| cooling compressors                               | soğutma kompresörleri                     |
| cooling tower (CT)                                | soğutma kulesi (CT)                       |
| cooling water                                     | soğutma suyu                              |
| corona effect                                     | korona etkisi                             |
| correction factor                                 | düzeltilme faktörü                        |
| corrective, predictive and preventive maintenance | düzeltilici, kestirimci ve koruyucu bakım |
| corrode   | korozyona uğra(t)mak                      |
| coupling  | kaplin                                    |
| cross validation                                  | çapraz doğrulama (validasyon)             |
| current <> voltage                                | akım <> gerilim                           |
| current source inverter (CSI)                     | akım kaynağı eviricisi (CSI)              |
| current transformer (CTr)                         | akım trafosu (CTr)                        |
| current vs. load curve                            | akım-yük eğrisi                           |
| current-based load estimation method              | akım tabanlı yük tahmin yöntemi           |
| curve-fitting algorithm                           | eğri uydurma algoritması                  |

|   |   |
|---|---|
| curves  | eğriler   |
| pump head curve                               | pompa eğrisi                                      |
| efficiency curve                              | verim eğrisi                                      |
| power curve                                   | güç eğrisi  |
| Darcy-Weisbach equation                       | Darcy-Weisbach denklemi                           |
| data logging/data logger                      | veri kütükleme/veri kütükleyici                   |
| data set                                      | veri seti   |
| DC motor                                      | DC motor  |
| dead-head, dead head, deadhead                | sıfır basma yüksekliği                            |
| dead-headed                                   | sıfır basar                                       |
| demand charge                                 | talep bedeli                                      |
| demineralized water                           | demineralize su                                   |
| de-rating factor, derating factor             | derece düşme faktörü                              |
| design flow                                   | tasarım debisi                                    |
| design parameters                             | tasarım parametreleri                             |
| dewatering process                            | susuzlaştırma prosesi                             |
| diaphragm pump                                | diyaframlı pompa                                  |
| diaphragm-based strain gauge transducer       | diyafram tabanlı gerinim ölçen basınç transdüseri |
| differential elevation head                   | yükseklik farkı basma yüksekliği                  |
| differential pressure                         | basınç farkı                                      |
| differential pressure head                    | basınç farkı basma yüksekliği                     |
| differential velocity head                    | hız farkı basma yüksekliği                        |
| diffuser                                      | difüzör   |
| direct-driven pump                            | doğrudan sürümlü pompa                            |
| discharge <> suction (pump discharge-suction) | çıkış-giriş (pompa çıkışı-girişi)                 |
| discharge gauge elevation (Zd)                | çıkış ölçeri yüksekliği (Zd)                      |
| discharge gauge pressure (Pd)                 | çıkış ölçeri basıncı (Pd)                         |
| discharge header <> suction header            | çıkış başlığı <> giriş başlığı                    |
| discharge pipe diameter (ID)                  | çıkış borusu çapı (ID)                            |
| discharge valve                               | deşarj vanası                                     |
| displacement power factor                     | deplasman güç faktörü                             |
| distributed control system                    | dağıtılmış kontrol sistemi                        |

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| distribution capacity             | dağıtım kapasitesi                              |
| double acting pump                | çift etkili pompa                               |
| double suction pump               | çift emişli pompa                               |
| downtime <> uptime                | devre dışı kalma süresi <> devrede kalma süresi |
| draw down rate <> fill rate       | alçalma oranı <> dolum oranı                    |
| driver shaft                      | tahrik mili                                     |
| dry end broke pulper tank         | kuru taraf döküntü hamurlaştırma tankı          |
| dry running                       | kuru çalış(tır)ma                               |
| ductile cast iron                 | sünek dökme demir                               |
| duplex pump                       | ikili pompa                                     |
| duty point                        | çalışma noktası                                 |
| Eddy current drive                | Eddy akımlı sürücü                              |
| Eddy current magnetic clutch      | Eddy akımlı manyetik kavrama                    |
| efficiency curve                  | verim eğrisi                                    |
| efficiency rating                 | verim sınıfı                                    |
| efficiency vs. load curve         | verim-yük eğrisi                                |
| efficiency <> effectiveness       | verim(lilik) <> etkinlik                        |
| elbow                             | dirsek  |
| electrical demand charge          | elektrik talep yükü                             |
| electrical motor                  | elektrik motoru                                 |
| electrical power                  | elektriksel güç                                 |
| encapsulated winding              | kaplanmış sargı                                 |
| enclosure                         | mahfaza   |
| end suction pump                  | uçtan emişli pompa                              |
| energy conservation law           | enerji korunumu kanunu                          |
| entrance losses                   | giriş kayıpları                                 |
| enveloped measurement             | kuşatık ölçüm                                   |
| equipment life                    | ekipman ömrü                                    |
| equivalent pipe length method     | eşdeğer boru uzunluğu yöntemi                   |
| erratic flow                      | düzensiz akış                                   |
| estimated discharge friction head | tahmin edilen çıkış sürtünme basma yüksekliği   |
| estimated suction friction head   | tahmin edilen giriş sürtünme basma yüksekliği   |
| estimator                         | tahmin aracı                                    |
| exit losses                       | çıkış kayıpları                                 |
| expander                          | genleştirici                                    |
| expansion joint                   | genleşme mafsalı                                |

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| fan pump                                 | fan pompası                     |
| fault tolerance                          | hata toleransı                  |
| field certified curve                    | sahada onaylı eğri              |
| field test                               | saha testi                      |
| fill and drain cycle                     | doldur-boşalt çevrimi           |
| filter                                   | filtre                          |
| fire pump                                | yangın pompası                  |
| fissure                                  | fisür                           |
| fitting                                  | boru bağlantısı                 |
| fixed pitch pump                         | sabit eğimli pompa              |
| flange; flanged                          | flanş; flanşlı                  |
| flat-plate heat exchanger                | düz plakalı ısı değiştiricisi   |
| flexible member pump                     | esnek elemanlı pompa            |
| float                                    | şamandıra                       |
| flow coefficient                         | akış katsayısı                  |
| flow duration diagram                    | akış süresi diyagramı           |
| flow meter; flowmeter                    | debimetre                       |
| flow path                                | akış yolu                       |
| flow profile                             | akış profili                    |
| flow rate                                | debi                            |
| flow resistance                          | akış direnci                    |
| flow sacrifice                           | kaybedilen debi                 |
| flow velocity                            | akış hızı                       |
| flowchart, flow chart                    | akış diyagramı                  |
| fluid                                    | akışkan                         |
| fluid double acting pump                 | akışkan çift etkili pompa       |
| fluid drive                              | akışkan sürücü                  |
| fluid energy                             | akışkan enerjisi                |
| fluid operated pump                      | akışkan tahrikli pompa          |
| fluid power                              | akışkan gücü                    |
| fluid specific gravity                   | akışkan özgül ağırlığı          |
| fluid system                             | akışkan sistemi                 |
| fluid velocity                           | akışkan hızı                    |
| fouling                                  | kirlilik                        |
| frame mounted                            | gövdeye monteli                 |
| friction factor                          | sürtünme faktörü                |
| friction head loss, frictional head loss | sürtünme basma yüksekliği kaybı |
| frictional force                         | sürtünme kuvveti                |
| frictional system                        | sürtünmeli sistem               |
| frictionless                             | sürtünmesiz                     |
| frictionless stream line                 | sürtünmesiz akış hattı          |
| full diameter magnetic flow meter        | tam çap manyetik debimetre      |
| full line voltage                        | hat gerilimi                    |
| full load                                | tam yük                         |

|  |  |
|--|--|
| full voltage stator current  | tam gerilim stator akımı   |
| gate valve   | sürgülü vana   |
| gauge  | ölçer, ölçüm cihazı (ayrıca: gösterge, sayaç)  |
| gauge reading  | cihaz değeri   |
| gauge tap  | ölçüm musluğu  |
| gear pump  | dişli pompa  |
| generally attainable efficiency  | genel olarak ulaşılabilir verim  |
| generic and specific losses  | genel ve özgül kayıplar  |
| gland packing  | boğaz salmastrası  |
| globe valve  | küresel vana   |
| gravity feed   | yerçekimiyle besleme   |
| grid   | şebeke   |
| ground   | toprak (elektrik disiplinde)   |
| head<br>pump head<br>static <> dynamic head<br>pressure head<br>velocity head<br>friction head | basma yüksekliği<br>pompa basma yüksekliği<br>statik <> dinamik basma yüksekliği<br>basınç basma yüksekliği<br>hız basma yüksekliği<br>sürtünme basma yüksekliği |
| headbox, head box<br>headerbox, header box   | dağıtım kabı   |
| head-capacity curve  | basma yüksekliği-kapasite eğrisi   |
| headloss, head loss  | basma yüksekliği kaybı   |
| heat exchanger   | ısı değiştiricisi  |
| hold down bolts  | sabitleme civataları   |
| hollow shaft motor   | içi oyuk milli motor   |
| identical pump   | eşdeğer pompa  |
| impeller (for pumps)   | çark (pompalarda)  |
| impeller eye   | çark girişi  |
| impeller style   | çark tipi  |
| impeller trimming  | çark boyutlandırma   |
| incipient cavitation   | yeni başlamış kavitasyon   |
| inducer  | ön çark  |
| induction; inductive   | endüksiyon; endüktif   |
| infrared thermography  | kızılötesi termografi  |
| inrush current   | kalkış akımı   |
| insertion-type meter   | takılır tip ölçer  |
| insulation class   | yalıtım sınıfı   |
| internal pump distortion   | pompa iç çarpıklığı  |
| inverter   | evirici (inverter)   |

|   |   |
|---|---|
| inverter duty motor                     | evirici (inverter) motor                |
| iso-efficiency lines                    | eşverim çizgileri                       |
| isolation valve                         | izolasyon vanası                        |
| isometrics                              | eşölçümler                              |
| jaw                                     | çene                                    |
| journal bearing                         | bilyalı yatak                           |
| kinematic viscosity (cS)                | kinematik viskozite (cS)                |
| laminar flow                            | laminar (katmanlar halinde) akış        |
| Law of Continuity                       | Süreklilik Kanunu                       |
| life cycle cost (LCC)                   | ömür boyu maliyet (LCC)                 |
| life cycle cost analysis (LCC analysis) | ömür boyu maliyet analizi (LCC analizi) |
| lift pump                               | kaldırma pompası                        |
| line frequency                          | hat frekansı                            |
| liner pump                              | gömlekli pompa                          |
| load estimating method                  | güç tahmin yöntemi                      |
| lobe pump                               | loblu pompa                             |
| locked rotor current (LRC)              | kilitli rotor akımı (LRC)               |
| locked rotor torque (LRT)               | kilitli rotor torku (LRT)               |
| loop controller                         | döngü kontrolörü                        |
| loss coefficient                        | kayıp katsayısı                         |
| loss                                    | kayıp                                   |
| low flow cavitation                     | düşük akış kavitasyonu                  |
| lubrication                             | yağlama                                 |
| magnetic field strength                 | manyetik alan gücü                      |
| manometer                               | manometre                               |
| measuring point                         | ölçüm noktası                           |
| mechanical linkage                      | mekanik bağlantı                        |
| mechanical seal                         | mekanik salmastra                       |
| mechanically operated pump              | mekanik tahrikli pompa                  |
| medium voltage bus                      | orta gerilim barası                     |
| meter                                   | ölçer                                   |
| micro jet                               | mikro jet                               |
| mixed flow pump                         | karışık akışlı pompa                    |
| modulating control valve                | ayar vanası                             |
| Moody diagram, Moody chart              | Moody diyagramı                         |
| motor efficiency class                  | motor verim sınıfı                      |
| motor full-load current                 | motor tam yük akımı                     |
| motor full-load torque                  | motor tam yük torku                     |
| motor output power                      | motor çıkış gücü                        |
| motor power                             | motor gücü                              |
| motor rated power                       | motor anma gücü                         |
| motor rated voltage                     | motor anma gerilimi                     |
| motor rpm                               | motor devir sayısı                      |

|                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| motor shaft power                 | motor mil gücü               |
| multiple rotor pump               | çok çarklı pompa             |
| multiplex pump                    | çoklu pompa                  |
| multistage pump                   | çok kademeli pompa           |
| natural frequency                 | doğal frekans                |
| net required head                 | net gereken basma yüksekliği |
| non-cavitating performance        | oyuk oluşturmaman performans |
| non-return valve                  | çekvalf                      |
| non-self-priming pump             | kendinden emişsiz pompa      |
| nozzle                            | nozül                        |
| nozzle load                       | nozül yükü                   |
| nozzle stress                     | nozül gerilmesi              |
| off-design operation              | tasarım dışı işletim         |
| on-off logger, on/off logger      | aç/kapa kütükleyicisi        |
| open drip proof (ODP) motor       | su geçirmez açık (ODP) motor |
| open impeller pump                | açık çarklı pompa            |
| operating head                    | çalışma basma yüksekliği     |
| operating point = duty point      | çalışma noktası              |
| operating region, operating range | çalışma aralığı              |
| operating time                    | çalışma süresi               |
| optimal range                     | optimum aralık               |
| optimization potential            | optimizasyon potansiyeli     |
| optimization rating               | optimizasyon derecesi        |
| orifice                           | orifis                       |
| orifice meter                     | orifismetre                  |
| oscilloscope                      | osiloskop                    |
| outer diameter                    | dış çap                      |
| output power                      | çıkış gücü                   |
| overall test assembly             | tüm test grubu               |
| over-design                       | abartılı tasarım             |
| overload capacity                 | aşırı yük kapasitesi         |
| overload protection device        | aşırı yük koruma cihazı      |
| over-sizing, oversizing           | abartılı boyutlandırma       |
| packing <> seal <> bearing        | salmastra <> conta <> yatak  |
| paddlewheel, paddle wheel         | kanatlı çark                 |
| panel meter                       | panel göstergesi             |
| particle                          | parçacık                     |
| peak <> off-peak                  | tepe <> tepe dışı            |



|                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| peak electrical load              | elektrik tepe (pik) yükü         |
| peak flow rate                    | tepe debi                        |
| peripheral pump                   | periferik pompa                  |
| peristaltic pump                  | peristaltik pompa                |
| permanent head loss               | daimi basma yüksekliği kaybı     |
| permanent magnet (PM) motor       | kalıcı mıknatıslı (PM) motor     |
| phase angle                       | faz açısı                        |
| pipe pig                          | boru temizleme cihazı            |
| pipe roughness                    | boru pürüzlülüğü                 |
| pipeline                          | boru hattı                       |
| pipe-wall; pipe wall              | boru cidarı                      |
| piping                            | boru tesisatı                    |
| piping component                  | boru tesisatı bileşeni           |
| piping schematic                  | boru tesisatı diyagramı          |
| pirated part                      | korsan parça                     |
| piston pump                       | pistonlu pompa                   |
| pitot tube                        | pitot tüpü                       |
| plunger / piston pump             | dalgıç / pistonlu pompa          |
| pole                              | kutup                            |
| pony pump                         | küçük pompa                      |
| positive displacement pump        | pozitif deplasmanlı pompa        |
| potentiometer                     | potansiyometre                   |
| power                             | güç                              |
| power factor                      | güç faktörü                      |
| power factor correction capacitor | güç faktörü düzeltme kapasitörü  |
| power factor estimator            | güç faktörü tahmin aracı         |
| power factor-correcting capacitor | güç faktörü düzeltme kapasitörü  |
| power meter                       | güç ölçer                        |
| power train                       | güç aksamı, güç aktarma donanımı |
| premature motor failure           | erken motor arızası              |
| premature seal failure            | erken conta arızası              |
| pressure drop                     | basınç düşüşü                    |
| pressure gauge                    | basınç ölçer                     |
| pressure in absolute units (psia) | mutlak basınç birimi (psia)      |
| pressure in gauge units (psig)    | efektif basınç birimi (psig)     |
| pressure indicator                | basınç göstergesi                |
| pressure instrument               | basınç aleti                     |
| pressure tap                      | basınç musluğu                   |
| pressurized tank                  | basıncılı tank                   |
| probe                             | prob                             |
| process demand                    | proses talebi                    |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| progressive cavity pump             | kademeli kaviteli pompa                               |
| propeller                           | pervane   |
| pulley                              | makara  |
| pull-out torque                     | kopma torku   |
| pull-up torque                      | kalkış torku  |
| pulper tank                         | hamurlaştırma tankı                                   |
| pulsation / pulsating               | darbe / darbeli                                       |
| pulsation dampening device          | darbe sönümleyici                                     |
| pulse                               | darbe   |
| pulse count                         | darbe sayımı  |
| pump bowl                           | pompa haznesi   |
| pump curve                          | pompa eğrisi  |
| pump down test                      | boşaltma-doldurma testi                               |
| pump efficiency                     | pompa verimi  |
| pump efficiency curves              | pompa verim eğrileri                                  |
| pump head                           | pompa basma yüksekliği                                |
| pump head capacity curve            | pompa basma yüksekliği kapasite eğrisi                |
| pump housing                        | pompa gövdesi   |
| pump input power                    | pompa giriş gücü                                      |
| pump monitor                        | pompa izleyici  |
| pump mounting                       | pompa altlığı   |
| pump rpm                            | pompa devir sayısı                                    |
| pump shaft                          | pompa mili  |
| pump shaft power                    | pompa mil gücü  |
| pump style                          | pompa tipi  |
| <u>Pump styles ANSI/HI 1.3-2000</u> | <u>Pompa tipleri ANSI/HI 1.3-2000</u>                 |
| end suction slurry                  | uçtan emişli bulamaç                                  |
| end suction sewage                  | uçtan emişli kanalizasyon                             |
| end suction stock                   | uçtan emişli stok                                     |
| API double suction                  | API çift emişli                                       |
| multistage boiler feed              | çok kademeli kazan besleme                            |
| end suction ANSI/API axial flow     | uçtan emişli ANSI/API                                 |
| double suction                      | eksenel akış  |
| vertical turbine                    | çift emişli   |
| large end suction                   | dikey türbin  |
| specified optimal eff (below)       | büyük uçtan emişli belirlenen optimum verim (aşağıda) |
| pump system <> pumping system       | pompalama sistemi                                     |
| pump type                           | pompa tipi  |
| pumped media                        | basılan madde   |

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| pumps                                | pompalar                                      |
| centrifugal pumps                    | santrifüj pompalar                            |
| positive displacement pumps          | pozitif deplasmanlı pompalar                  |
| race                                 | yuva  |
| radial flow / mixed flow pump        | radyal akışlı / karışık akışlı pompa          |
| radial pump                          | radyal pompa                                  |
| rated full load amperage             | anma tam yük akım şiddeti                     |
| rated full load speed                | anma tam yük hızı                             |
| real time monitoring                 | gerçek zamanlı izleme                         |
| reboiler, re-boiler                  | kazan   |
| recessed impeller pump               | gömme çarklı pompa                            |
| reciprocating pump                   | ileri-geri hareketli pompa (resiprokan pompa) |
| recirculating flow                   | devridaim akışı                               |
| recirculation                        | devridaim                                     |
| recorded demand                      | kayıtlı talep                                 |
| rectifier                            | redresör                                      |
| reduced pump curve                   | indirgenmiş pompa eğrisi                      |
| reducer                              | redüktör                                      |
| relative density                     | bağıl yoğunluk                                |
| reliability curve                    | güvenilirlik eğrisi                           |
| resonant frequency                   | çınlama frekansı                              |
| reverse flow                         | ters akış                                     |
| rewinding                            | sarım yenileme                                |
| riser                                | kolon   |
| roller bearing                       | lokma bilyalı yatak                           |
| rolling contact bearing              | bilyalı yatak                                 |
| rolling mill                         | haddehane                                     |
| room temperature                     | oda sıcaklığı                                 |
| rotameter                            | rotametre                                     |
| rotary pump                          | dönel pompa                                   |
| rotational speed                     | devir sayısı                                  |
| rotodynamic pump (=centrifugal pump) | rotodinamik pompa (=santrifüj pompa)          |
| rotor cage                           | kafes rotor                                   |
| rotor speed                          | rotor hızı                                    |
| roughness                            | pürüzlülük                                    |
| run time                             | çalıştırma süresi                             |
| scale / corrosion                    | pullanma / korozyon                           |
| screw pump                           | vidalı pompa                                  |
| seal chamber                         | conta haznesi                                 |
| self-priming pump                    | kendinden emişli pompa                        |
| sensor                               | algılayıcı                                    |
| set point                            | ayar noktası                                  |

|   |  |
|---|--|
| set-up  | düzenek                                    |
| shaft deflection                                      | mil sehimi (bel verme)                     |
| shaft load  | mil yükü                                   |
| shaft power   | mil gücü                                   |
| shaft sealing system                                  | mil salmastra sistemi                      |
| shaft stiffness                                       | mil esnemezliği                            |
| sheet knockoff shower pump                            | şerit darbeli yıkayıcı pompası             |
| shut off head, shut-off head                          | maksimum cihaz basma yüksekliği            |
| signal sample rate, signal sampling rate              | sinyal örnekleme oranı                     |
| simplex pump  | basit pompa                                |
| single acting pump                                    | tek etkili pompa                           |
| single path ultrasonic flow meter                     | tek geçişli ultrasonik debimetre           |
| single phase motor                                    | bir fazlı motor                            |
| single rotor pump                                     | tek çarklı pompa                           |
| single stage pump                                     | tek kademeli pompa                         |
| single suction pump                                   | tek emişli pompa                           |
| single transverse method <-> double transverse method | tek geçişli yöntem <-> çift geçişli yöntem |
| specific energy                                       | özgül enerji                               |
| specific gravity                                      | özgül ağırlık                              |
| specific speed  | özgül hız                                  |
| split case pump                                       | ayrık gövdeli pompa                        |
| sprinkler system                                      | yağmurlama sistemi                         |
| stainless steel                                       | paslanmaz çelik                            |
| standby pump  | yedek pompa                                |
| start torque  | kalkış torku                               |
| steady <-> unsteady                                   | kararlı <-> kararsız                       |
| steady state  | kararlı durum                              |
| storage tank  | depolama tankı                             |
| strain gauge transducer                               | gerinim ölçen basınç transdüseri           |
| strobe tachometer                                     | strob takometre                            |
| submersible pump                                      | dalgıç pompa                               |
| submersible wastewater lift pump                      | atık su dalgıç terfi pompası               |
| suction gauge elevation (Zs)                          | giriş ölçeri yüksekliği (Zs)               |
| suction gauge pressure (Ps)                           | giriş ölçeri basıncı (Ps)                  |
| suction line loss coefficients, Ks                    | giriş hattı kayıp katsayıları, Ks          |
| suction pipe diameter (ID)                            | giriş borusu çapı (ID)                     |
| suction recirculation                                 | giriş ters akışı                           |
| suction strainer                                      | emme süzgeci                               |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| suction tank fluid surface elevation (Zs)  | giriş tankı akışkan yüzeyi yüksekliği (Zs)           | triplex pump  | üçlü pompa   |
| suction tank gas overpressure (Pg)         | giriş tankı gaz üst basıncı (Pg)                     | trouble-free operation  | sorunsuz işletim   |
| supply frequency                           | kaynak frekansı                                      | troubleshooting   | arıza giderme  |
| swing check valve                          | könel kanatlı kontrol vanası                         | tube pump   | borulu pompa   |
| switchgear                                 | kontrol kutusu                                       | tuberculation buildup   | tortu oluşumu  |
| synchronous speed                          | senkron hız  | turbine   | türbin   |
| system curve                               | sistem eğrisi  | turbulent conditions  | türbülanslı koşullar   |
| system head curve                          | sistem basma yüksekliği eğrisi                       | ultrasonic flow meter   | ultrasonik debimetre   |
| system loss exponent, C                    | sistem kayıp eksponenti, C                           | ultrasonic pulse  | ultrasonik darbe   |
| system requirements                        | sistem ihtiyaçları                                   | underground supply system                                       | yeraltı besleme sistemi                                      |
| system static head and K' loss coefficient | sistem statik basma yüksekliği ve K' kayıp katsayısı | units-converter tool  | birim dönüştürme aracı                                       |
| tank pump down test                        | tank boşaltma-doldurma testi                         | un-throttled duty point   | kısılmaz çalışma noktası                                     |
| tee  | T-dirseği  | upstream <> downstream  | akış yukarı(sı) <> akış aşağı(sı)                            |
| temperature probe                          | sıcaklık probu                                       | utility system  | şebeke sistemi   |
| terminal voltage                           | terminal gerilimi                                    | valve   | vana   |
| thermal drift                              | ısı sürüklenme                                       | valve coefficient (Cv)  | vana katsayısı (Cv)  |
| three phase motor, 3-phase motor           | üç fazlı motor                                       | vane  | kanat; kanatçık  |
| throttling losses                          | kısma kayıpları                                      | vane pump   | kanatlı pompa  |
| throttling valve                           | kısıma vanası  | variable flow requirements                                      | değişken debi ihtiyaçları                                    |
| total head                                 | toplam basma yüksekliği                              | variable pitch pump   | değişken eğimli pompa  |
| total pump head                            | pompa toplam basma yüksekliği                        | variable speed curve  | değişken hız eğrisi  |
| total system head                          | sistem toplam basma yüksekliği                       | variable speed pumping  | değişken hızlı pompalama                                     |
| totally enclosed non-ventilated motors     | tam kapalı havalandırmasız motorlar                  | vent (n)  | havalık  |
| total wire to water efficiency             | toplam pompalama verimi                              | venturi   | venturi  |
| transducer                                 | transdüser   | venturimeter  | venturimetre   |
| transducer scaling                         | transdüser ölçekleme aralığı                         | vertical and horizontal multistage pumps                        | dikey ve yatay çok kademeli pompalar                         |
| transformer                                | trafo  | vertical turbine pump   | dikey türbin pompa   |
| transient effect                           | geçici etki  | vertical well pump  | dikey milli pompa  |
| transit time ultrasonic flow meter         | geçiş süresi tabanlı ultrasonik debimetre            | vessel  | kap  |
| transmission capacity                      | iletim kapasitesi                                    | vibration   | titreşim   |
| transmitter                                | verici   | viscous <> viscosity / kinematic viscosity / absolute viscosity | viskoz <> viskozite / kinematik viskozite / mutlak viskozite |
| travel distance                            | hareket boşluğu                                      | voltage   | gerilim  |
| trimmed impeller                           | boyutlandırılmış çark                                | voltage overshoot   | gerilim aşırılığı  |
|  |  | voltage unbalance   | gerilim dengesizliği   |
|  |  | volumetric flow rate  | hacimsel debi  |
|  |  | volute-type   | salyangoz tipi   |
|  |  | vortex  | girdap (vorteks)   |
|  |  | vortex shedding   | girdap saçılması   |
|  |  | wall (of a pipe)  | boru cidarı  |
|  |  | wall thickness (of a pipe)                                      | et kalınlığı   |

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| water hammer      | su darbesi      |
| wear plate        | aşınma plakası  |
| wear ring         | aşınma halkası  |
| winding           | sargı           |
| worn pump         | yıpranmış pompa |
| wound rotor motor | bilezikli motor |



**Ek****C**

# PSAT Kılavuzu

## Pompalama Sistemi Değerlendirme Aracı Kullanıcı Kılavuzu

### C.1. Kılavuz Hakkında

Pompalama Sistemi Değerlendirme Aracı (PSAT), kullanıcıların sahada ölçülen verilere dayalı olarak pompalama sistemlerinin potansiyel enerji tasarruf fırsatlarını değerlendirmelerini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu kullanıcı kılavuzu, veri giriş kalemleri, hesaplanan sonuçlar ve çeşitli kontrol düğmesi özelliklerine ilişkin temel bilgileri verir. Kılavuz, saha verilerinin nasıl elde edileceği veya pompalama sistemlerinin nasıl değerlendirileceğine ilişkin eğitim kılavuzu değildir. ABD Enerji Bakanlığı, bu konularda hem son kullanıcı hem de uzmanlar için çalışmaları desteklemektedir. Uluslararası kuruluşların da benzer çalışmaları vardır.

Şekil Ek-1. PSAT ana ekran düzeni

The screenshot displays the PSAT software interface, divided into several sections:

- Condition A (Left Panel):**
  - End suction ANSI/API:** Pump rpm: 1780, Drive: Direct drive, Units: gpm, ft. hp, Kinematic viscosity (cS): 1.00, Specific gravity: 1.000, # stages: 1, Fixed specific speed?: YES.
  - Motor:** Line freq.: 60 Hz, Rated power HP: 200, Motor rpm: 1780, Eff. class: Energy efficient, Voltage: 460, Full-load amps: 225.4, Size margin, %: 0, Operating fraction: 1.000, S/kwhr: 0.0500.
  - Duty unit cost:** Flow rate, gpm: 2000, Head, ft: 276.8, Motor kW: 150.0, Voltage: 460.
- Condition B (Right Panel):**
  - Specified optimal eff (below):** Achievable efficiency: 85.0, Pump rpm: 1780, Drive: Direct drive, Units: L/s, m, kW, Kinematic viscosity (cS): 1.00, Specific gravity: 1.000, # stages: 1, Fixed specific speed?: NO.
  - Motor:** Line freq.: 50 Hz, Rated power kW: 150, Motor rpm: 1480, Eff. class: Specified (below), FL efficiency, %: 95.8, Voltage: 460, Full-load amps: 227.0, Size margin, %: 0, Operating fraction: 1.000, S/kwhr: 0.0500.
  - Duty unit cost:** Flow rate, L/s: 126.2, Head, m: 84.4, Motor kW: 150.0, Voltage: 460.
- Summary Table (Bottom Right):**

| Parameter                         | Condition A |         | Condition B |         |
|-----------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|
|                                   | Existing    | Optimal | Existing    | Optimal |
| Pump efficiency                   | 72.6        | 84.8    | 72.5        | 85.0    |
| Motor rated power                 | 200         | 200     | 150         | 132     |
| Motor shaft power                 | 192.4       | 164.8   | 143.8       | 122.7   |
| Pump shaft power                  | 192.4       | 164.8   | 143.8       | 122.7   |
| Motor efficiency                  | 95.7        | 95.8    | 95.9        | 95.6    |
| Motor power factor                | 86.7        | 85.7    | 86.4        | 86.4    |
| Motor current                     | 217.1       | 188.2   | 217.9       | 186.4   |
| Motor power                       | 150.0       | 128.4   | 150.0       | 128.3   |
| Annual energy                     | 1314.0      | 1125.1  | 1314.0      | 1124.1  |
| Annual cost                       | 65.7        | 56.3    | 65.7        | 56.2    |
| Annual savings potential, \$1,000 | 9.4         |         | 9.5         |         |
| Optimization rating, %            | 85.6        |         | 85.5        |         |
- Log file controls:** Create new log, Retrieve log entry, Add to existing log, Delete log entry.
- Summary file controls:** Existing summary files, CREATE NEW, Create new summary file.
- Documentation section:** Condition A Notes, Condition B Notes, Facility, System, Application, General comments, Evaluator, Date.
- System curve tool:** Retrieve defaults, Set defaults, Copy A to B, Copy B to A, Background Information, STOP.

## C.2. PSAT Ana Ekranına Genel Bakış

PSAT ana ekranının ana bölümlerine ilişkin kısa bilgiler aşağıda verilmektedir. Müteakip bölümlerde ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

Şekil Ek-1'de gösterilen PSAT ana ekranı, esas kullanıcı arayüzüdür. Hesaplamalar, Şekil Ek-2'de görüldüğü gibi, **Condition A [Koşul A]** ve **Condition B [Koşul B]** olmak üzere iki bağımsız koşul üzerinde aynı anda yapılır.

Girişlerin çoğu açılır menüden bir öğe seçmek veya rakamsal değeri girmekten ibarettir ve bunlar bu Kılavuz'un sonraki bölümlerinde anlatılmaktadır. Ancak burada vurgulamamız gereken üç önemli düğme vardır:

Birincisi **Estimate FLA [FLA'yı tahmin et]** düğmesidir (FLA = Tam Yük Amperi). PSAT'ın bu versiyonu, motor çıkış (mil) gücünü tahmin etme yöntemi olarak gücün kullanıldığı durumda dahi FLA'nın belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Motor etiket FLA'sı mevcut değilse, **Estimate FLA [FLA'yı tahmin et]** düğmesine basılınca, belirlenen motor hızı, büyüklüğü ve verim sınıfı için makul bir tahmin girer. Şekil Ek-2. PSAT giriş ekranı

İkinci önemli düğme ise **Head tool [Basma yüksekliaracı]** düğmesidir. Bu düğme kullanıcıyı basma yüksekliği aracı hesaplama paneline götürür; orada ise ölçülen saha verileri işletim basma yüksekliğine dönüştürülür. Basma yüksekliği aracı hesaplama paneli bu Kılavuz'un ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır.

Üçüncü düğme ise, **Fixed specific speed? [Sabit özgül hız?]** seçicisidir. Genel olarak, **YES [EVET]** seçilmesi daha ihtiyatlı olur. Ancak, ulaşılabilir verimi artırmak amacıyla temel pompa tasarımı değiştirilebiliyorsa (örneğin kademe sayısı ayarlamak gibi) o zaman **NO [HAYIR]** seçilebilir.

Ana panelin sol kısmındaki kutularda sarı ile gösterilen (**Condition A [Koşul A]**) yerdeki girişler ve gri ile gösterilen (**Condition B [Koşul B]**) yerdeki girişler, PSAT tarafından Şekil Ek-3'te gösterilen, panelin sağ üst kısmındaki aynı renkli kutularda sergilenen sonuçları hesaplamada kullanılır. **Existing [Mevcut]** sütunu, mevcut işletimde ekipman (ve/veya sistem) parametreleri için PSAT'ın tahminlerini gösterir. **Optimal [Optimum]** sütunu ise, ticari olarak temin edilebilir ekipman bakımından PSAT'ın en iyi performans tahminini gösterir.

Şekil Ek-2. PSAT giriş ekranı

Şekil Ek-3. PSAT sonuçlar bölümü

|                                   | Condition A |         |        | Condition B |         |        |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|-------------|---------|--------|
|                                   | Existing    | Optimal | Units  | Existing    | Optimal | Units  |
| Pump efficiency                   | 72.6        | 84.8    | %      | 72.5        | 85.0    | %      |
| Motor rated power                 | 200         | 200     | hp     | 150         | 132     | kW     |
| Motor shaft power                 | 192.4       | 164.8   | hp     | 143.8       | 122.7   | kW     |
| Pump shaft power                  | 192.4       | 164.8   | hp     | 143.8       | 122.7   | kW     |
| Motor efficiency                  | 95.7        | 95.8    | %      | 95.9        | 95.6    | %      |
| Motor power factor                | 86.7        | 85.7    | %      | 86.4        | 86.4    | %      |
| Motor current                     | 217.1       | 188.2   | amps   | 217.9       | 186.4   | amps   |
| Motor power                       | 150.0       | 128.4   | kW     | 150.0       | 128.3   | kW     |
| Annual energy                     | 1314.0      | 1125.1  | MWh    | 1314.0      | 1124.1  | MWh    |
| Annual cost                       | 65.7        | 56.3    | \$1000 | 65.7        | 56.2    | \$1000 |
| Annual savings potential, \$1,000 |             | 9.4     |        |             | 9.5     |        |
| Optimization rating, %            |             | 85.6    |        |             | 85.5    |        |



**Condition A [Koşul A]** altında girilen veriler aynı pompa için **Condition B [Koşul B]**'dekiler olabilir, ancak farklı bir zamanda, farklı işletim koşullarında vs. ölçülmüş olabilir. Alternatif olarak, aynı sistemdeki başka bir pompa, veya farklı bir tesisteki benzer bir pompa, veya tamamen ilintisiz bir uygulama olabilir. Dolayısıyla, pompa ve motor kombinasyonları veya birimler sisteminin seçiminde sınırlama yoktur. Şekil Ek-2 ve 3'te gösterilen giriş ve sonuçlar bakımından, farklı pompa tipleri, motorlar ve birimler sistemi kullanılmıştır.

Şekil Ek-4. Log file controls [Kütük dosyası kontrolleri] bölümü

**Log file controls [Kütük dosyası kontrolleri]** düğmeleri (Şekil Ek-4) kullanılarak, PSAT analizleri kaydedilebilir ve daha sonra erişilebilir. Kütükleme, dosya kaydetmeye benzer ancak normal Windows arayüzünde mevcut olmayan esneklik ve bilgiye erişim sağlar.



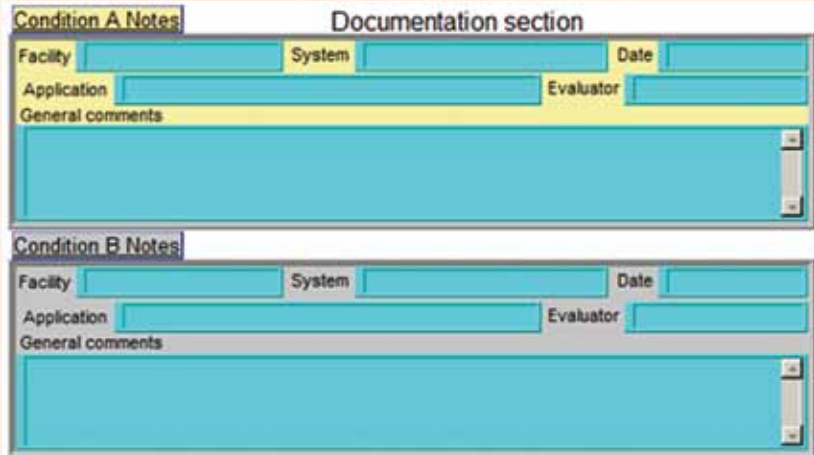
Ana ekranın sağ ortasındaki **Summary file controls [Özet dosyası kontrolleri]** kısmı (Şekil Ek-5) kullanılarak, PSAT analizleri, hesap çizelgesi formatına da gönderilebilir (sekmeye ayrılmış veri dosyası). Mevcut veri dosyalarına da veriler eklenebilir; bununla ilgili ayrıntılı anlatımlar **Log file controls [Kütük dosyası kontrolleri]** ve **Summary file controls [Özet dosyası kontrolleri]** bölümlerinde verilmiştir.

Şekil Ek-5. Summary file controls [Özet dosyası kontrolleri] bölümü



Ana ekranın sağ alt kısmında, kullanıcının tesis, sistem, uygulama tarihi, değerlendirmeyi yapan kişi(ler)in adı ve iki koşulun her biri için genel yorumları kaydetmesi için bir bölüm vardır. **Documentation [Dokümantasyon]** bölümü (Şekil Ek-6), analizin genel dokümantasyonu için hayati önem taşır. Ayrıca, daha önce kaydedilmiş analizlere erişildiğinde kullanıcı bunları okuyabilmektedir. Birçok durumda, münferit bir pompalama sistemi için birden fazla analiz seti olabileceğinden, dokümantasyon bölümü, kaydedilen çalışmaların hayati bir parçasıdır.

Şekil Ek-6. Documentation [Dokümantasyon] bölümü



**Retrieve defaults [Varsayılanları getir]**, **Set defaults [Varsayılanları belirle]** düğmeleri (Şekil Ek-7), ana ekranın alt sol kısmında **Condition A [Koşul A]** giriş bölümünün altındadır. Bu düğmeler, PSAT açıldığında otomatik olarak gösterilecek giriş ve dokümantasyon değerleri setini tanımlamak için kullanılır. **Retrieve defaults [Varsayılanları getir]** düğmesi, ana ekranı herhangi bir zamanda varsayılan değerlere döndürür (programı durdurmadan veya yeniden başlatmadan).

Şekil Ek-7. Retrieve defaults [Varsayılanları getir], Set defaults [Varsayılanları belirle] düğmeleri



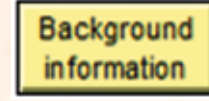
İki koşul giriş bölümlerinin altında bulunan **Copy A to B [A'yı B'ye kopyala]** ve **Copy B to A [B'yi A'ya kopyala]** düğmeleri (Şekil Ek-8), kullanıcının **Condition A [Koşul A]**'daki girdileri **Condition B [Koşul B]**'ye kopyalamasını (veya tersini) sağlar. Bu özellikle, aynı pompa için alternatif koşulları girerken faydalıdır, çünkü pompanın temel etiket tip seçimleri aynı olacaktır; bir koşul için pompa basma yüksekliğini hesaplamada kullanılan hat büyüklüğü, ölçerin yeri vs. bilgiler (ana ekranda gösterilmeyen) görünen ana ekran girişleriyle birlikte otomatik olarak aktarılır.

Şekil Ek-8. Koşulları kopyalama düğmeleri

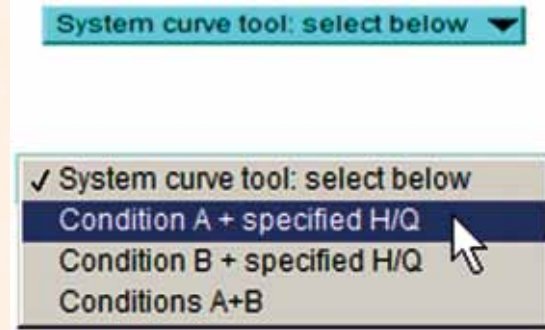


Ana ekranın alt ortasına yakın bir yerde bulunan **Background information [Arka plan bilgileri]** (Şekil Ek-9), ikincil bir ekranı gösterir; kullanıcı buradan, endüstriyel sistem ön seçimi için tavsiye edilen yöntemler ve PSAT tarafından kullanılan dayanak yöntemler hakkında daha ayrıntılı bilgi edinir.

Şekil Ek-9. Background information [Arka plan bilgileri] düğmesi



Şekil Ek-10. System curve tool [Sistem eğrisi aracı] seçim menü çubuğu



Ana ekranın sol altında bulunan **System curve tool [Sistem eğrisi aracı]** (Şekil Ek-10), ikincil bir ekran gösterir; kullanıcı burada basit sistemler için (örneğin, tek emiş kaynağı ve alıcı hedef olanlar için) tahmini sistem eğrisi geliştirebilir. Sistem eğrisi ekranı, Kılavuz'un sonraki bölümlerinde daha ayrıntılı biçimde anlatılmaktadır.

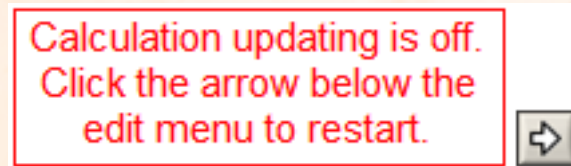
**STOP [DURDUR]** düğmesi (Şekil Ek-11), kullanıcının hesaplama güncellemesini durdurmasını sağlar. Normal koşullarda PSAT, girişler değiştiğinde ana ekrandaki sonuçları sürekli günceller; **STOP [DURDUR]** düğmesi ekranın alt ortasında görünür ve **Edit [Düzen]** menü öğesinin hemen altında siyah renkte bir **Run [Yürüt]** oku (Şekil Ek-11'de **STOP [DURDUR]** düğmesinin sağında) belirir.

Şekil Ek-11. STOP [DURDUR] düğmesi



Bazı durumlarda kullanıcı, uygulamayı kapatmaksızın PSAT'ı geçici olarak durdurmak isteyebilir. **STOP [DURDUR]** düğmesine tıklanınca PSAT işlemleri durur ve **Calculation updating off [Hesaplama güncellemesi kapalı]** uyarı kutusu (Şekil Ek-12) görünür ve **Run [Yürüt]** oku beyaz olur (Şekil Ek-12'de uyarı kutusunun sağında). PSAT'ı yeniden "canlı" hale getirmek için, **Edit [Düzen]** menüsünün altındaki beyaz **Run [Yürüt]** okuna tıklayın. **STOP [DURDUR]** düğmesi tekrar görünür ve **Calculation updating off [Hesaplama güncellemesi kapalı]** uyarı kutusu yok olur ve **Run [Yürüt]** oku beyazdan siyaha dönüşür.

Şekil Ek-12. Calculation updating off [Hesaplama güncellemesi kapalı] uyarı kutusu



Hesaplama güncellemesi kapalı. Düzen menüsünü yeniden başlatmak için oka tıklayın.

Giriş, hesaplama ve kontrol öğelerinin her birine ilişkin ayrıntılı açıklamalar Kılavuz'un geri kalan kısımlarında verilmektedir ve ana ekran ve yardımcı ekran bölümlerine uygun olarak organize edilmiştir.

Pump, fluid section [Pompa, akışkan bölümü]

Motor data section [Motor verileri bölümü]

Duty and unit cost [Görev ve birim maliyet]

Field data section [Saha verileri bölümü]

Common controls area [Ortak kontroller alanı]

Results section [Sonuçlar bölümü]

Documentation [Dokümantasyon]

Pump head calculation panel [Pompa basma yüksekliği hesaplama ekranı]

System curve panel [Sistem eğrisi ekranı]

### C.3. Pump, Fluid [Pompa, Akışkan] Bölümü

|  |                                      |                   |
|--|--------------------------------------|-------------------|
| <b>Pump, fluid</b><br>Specified optimal eff (below) ▼<br>Achievable efficiency 85.0<br>Pump rpm 1780<br>Drive Direct drive ▼<br>Units gpm, ft, hp ▼<br>Kinematic viscosity (cS) 1.00<br>Specific gravity 1.000<br># stages 1<br>Fixed specific speed? NO | <b>Pompa, akışkan</b>                |                   |
|  | Belirlenen optimum verim (aşağıda) ▼ |                   |
|  | Ulaşılabilir verim                   | 85.0              |
|  | Pompa devir sayısı (dev/dk)          | 1780              |
|  | Sürücü                               | Doğrudan sürücü ▼ |
|  | Birimler                             | gpm, ft, hp ▼     |
|  | Kinematik viskozite (cS)             | 1,00              |
|  | Özgül ağırlık                        | 1.000             |
|  | Kademe sayısı                        | 1                 |
|  | Fixed specific speed?                | HAYIR             |

#### Pump style [Pompa tipi]

|   |   |
|---|---|
| End suction ANSI/API ▼<br>✓ End suction slurry<br>End suction sewage<br>End suction stock<br>API double suction<br>Multistage boiler feed<br>End suction ANSI/API<br>Axial flow<br>Double suction<br>Vertical turbine<br>Large end suction<br>Specified optimal eff (below) | Uçtan emişli<br>ANSI/API ▼<br>✓ Uçtan emişli bulamaç<br>Uçtan emişli kanalizasyon<br>Uçtan emişli stok<br>API çift emişli<br>Çok kademeli kazan besleme<br>Uçtan emişli ANSI/API<br>Eksenel akış<br>Çift emişli<br>Dikey türbin<br>Büyük uçtan emişli<br>Belirlenen optimum verim (aşağıda) |
|---|---|

Burada kullanılan pompa tipleri listesi, Hidrolik Enstitüsü (HI) standardı ANSI/HI 1.3-2000 American National Standard for Centrifugal Pumps for Design and Application [ANSI/HI 1.3-2000 Santrifüj Pompalarda Tasarım ve Uygulamaya İlişkin Amerikan Ulusal Standardı]'nda (ve ayrıca, HI tarafından yayımlanan Efficiency Prediction Method for Centrifugal Pumps [Santrifüj Pompalarda Verim Tahmin Yöntemi] başlıklı makalede) yer alan listeye dayanmaktadır.

HI standardı, pompa tipi ve işletim koşullarına dayalı olarak, ulaşılabilir pompa verimlerini tahmin eden algoritma içerir.

PSAT 2007'den itibaren, kullanıcıya aynı zamanda ulaşılabilir verim düzeyini (HI standart metodolojisinden tamamen bağımsız) belirleme imkânı sağlanmıştır. Bu, örneğin, belirli bir pompa modeli kullanımı veya bir pompanın yeniye benzer koşullara yeniden getirilmesi sayesinde elde edilebilecek potansiyel tasarrufları tahmin etmede kullanılabilir. Aynı zamanda, örneğin gömme çarklı pompalar gibi HI standart yöntemlerinin ele almadığı özel amaçlı pompa gerektiren sistemlerdeki fırsatları değerlendirmede yararlı olabilir.

|                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| Achievable efficiency 85.0 | Ulaşılabilir verim 85,0 |
|----------------------------|-------------------------|

Pompanın ulaşılabilir verim girişi yalnız pompa tipi "Selected optimal eff (below)" [Belirlenen optimum verim (aşağıda)] olduğunda gösterilir.

Girilecek değer normal olarak, en verimli nokta debisinde değil, belirlenen işletim koşullarında (Field data [Saha verileri] bölümünde) belirtilen pompa verimidir.

**Pump rpm [Pompa devir sayısı]**

|  |   |
|--|---|
| Pump rpm <input type="text" value="1780"/> | Pompa devir sayısı (dev/dk) <input type="text" value="1780"/> |
|--|---|

Pompa özgül hızını hesaplamak amacıyla, ölçülen/gereken debi ve basma yüksekliği ile kademe sayısına ek olarak, pompanın işletim veya etiket hızı kullanılır. Özgül hız, belirli pompa uygulamasıyla bağlantılı verim düşümünü belirlemede kullanılır.

(Yaygın kullanımda, belirli bir pompanın özgül hızı, en verimli nokta için geçerli olmaktadır).

**Drive [Sürücü]**

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Drive <input type="text" value="Direct drive"/> | Drive <input checked="" type="checkbox"/> Direct drive<br><input type="checkbox"/> Belt drive | Sürücü <input type="text" value="Doğrudan sürücü"/> | Sürücü <input checked="" type="checkbox"/> Doğrudan sürücü<br><input type="checkbox"/> Kayışlı sürücü |
|---|---|---|---|

Bu açılır menü, kullanıcının fanın motor tarafından doğrudan tahrikli veya kayış tahrikli olup olmadığını belirtmesine imkân verir.

AMCA Yayını 203-90 Ek L'deki eğrilere dayalı ortalama kayıplar kullanılır. 10 hp'yi aşan motor yükleri için ortalama değerler -%1 ilâ +%2 aralığındaki değişimler AMCA eğrilerince belirtilir.

Burada ayarlanabilir hız sürücülerinin (ASD) dâhil edilmemesinin iki nedeni vardır:

1. ASD verimi hız ile değişir. Kullanıcının, farklı sürücü tipleri için bileşke motor ve sürücü verim aralıklarına ilişkin örnekleri içeren PSAT çalışmaya bakması tavsiye edilir.

2. PSAT tarafından kullanılan akım tabanlı yük tahmin yöntemi, motorun hat boyunca doğrudan sürüldüğü uygulamalar için geçerlidir. Sürücü ve yardımcı bileşen tasarımıyla bağlantılı olarak ayrıntılardaki önemli değişimler bu yöntemi uygulanamaz hale getirmektedir.

Ayarlanabilir hız sürücüsü kullanılıyorsa, sürücü kayıplarının doğası gereği optimizasyon sınıfını düşüreceği ve potansiyel tasarrufları yapay olarak yükselteceğini (sürücünün yerinde kaldığı varsayılarak) kullanıcı bilmelidir.

**Units [Birimler]**

|  |  |          |
|--|--|----------|
| Units <input type="text" value="gpm, ft, hp"/> | Units <input checked="" type="checkbox"/> gpm, ft, hp<br><input type="checkbox"/> MGD, ft, hp<br><input type="checkbox"/> L/s, m, kW<br><input type="checkbox"/> m <sup>3</sup> /hr, m, kW | Birimler |
|--|--|----------|

Birim sistemi seçenekleri debi, basma yüksekliği ve mil gücü birimlerini belirtir:

gpm, ft, hp... ABD galon/dk, fit, beygirgücü

MGD,ft,hp... ABD milyon galon/gün, fit, beygirgücü

L/s, m, kW... Litre/saniye, metre, kilowatt

m<sup>3</sup>/hr, m, kW... metreküp/saat, metre, kilowatt

**Kinematic viscosity (cS) [Kinematik viskozite (cS)]**

|  |  |
|--|--|
| Kinematic viscosity (cS) <input type="text" value="1.00"/> | Kinematik viskozite (cS) <input type="text" value="1.00"/> |
|--|--|

Bu değer, basılan akışkanın santistokes cinsinden kinematik viskozitesidir.

Bu, ANSI/HI 1.3-2000'deki algoritmalarla birlikte, artan akışkan viskozitesiyle bağlantılı olarak ulaşılabilir verimdeki düşüşleri tahmin etmek için kullanılır.

### Specific gravity [Özgül ağırlık]

|   |  |
|---|--|
| Specific gravity <input type="text" value="1.000"/> | Özgül ağırlık <input type="text" value="1,000"/> |
|---|--|

Akışkanın özgül ağırlığı, standart koşullarda akışkanın yoğunluğunun suya oranıdır. Belirlenen pompa debi ve basma yüksekliği koşullarında akışkan gücünü hesaplamada kullanılır.

### # Stages [Kademe sayısı]

|   |  |
|---|--|
| # stages <input type="text" value="1"/> | Kademe sayısı <input type="text" value="1"/> |
|---|--|

Pompa kademe sayısı, pompanın özgül hızını hesaplamak için kullanılır.

### Fixed specific speed? [Sabit özgül hız?]

|   |                  |      |
|---|------------------|------|
| Fixed specific speed? <input type="text" value="NO"/> | Sabit özgül hız? |      |
|   | HAYIR            | EVET |

Pompa konfigürasyon düğmesi, pompa hızı ve/veya kademe sayısının değiştirilebileceğini veya halihazırda belirlendiği gibi kalacağını belirlemenizi sağlar.

Eğer konfigürasyon sabit kalacaksa (yani değer = "YES" [EVET] ise), pompa özgül hızı hesaplanır ve hesaplanan özgül hız optimum aralık dışında ise bir verim düşümü uygulanır.

Eğer pompa hızı veya kademe sayısı değiştirilebilir olursa, "NO" [HAYIR] seçin ve optimum verim değeri kullanılır (özgül hız düşümü uygulanmaz).

Ekranın altındaki **Background information [Arka plan bilgileri]** kısmına bakılarak, özgül hız ve verim etkisi (HI standart tahminleri kullanılarak modellenmiş) hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir. Bunu takiben, birbiri ardı sıra **Pump efficiency curves [Pompa verim eğrileri]** ve **See specific speed efficiency penalty plot [Özgül hız verim düşümü çizimine bakınız]** düğmelerine tıklanır.

## C.4. Motor Data [Motor Verileri] Bölümü

|       |                       |                      |
|-------|-----------------------|----------------------|
| Motor | Line freq.            | 60 Hz                |
|       | HP                    | 200                  |
|       | rpm                   | 1780                 |
|       | Eff. class            | Specified (below)    |
|       | FL efficiency, %      | 95.8                 |
|       | Voltage               | 460                  |
|       | Estimate FLA          |                      |
|       | Full-load amps        | 225.4                |
|       | Size margin, %        | 0                    |
|       | Motor                 | Hat frekansı         |
|       | HP                    | 200                  |
|       | devir sayısı (dev/dk) | 1780                 |
|       | Verim sınıfı          | Belirlenen (aşağıda) |
|       | FL verim, %           | 95,8                 |
|       | Gerilim               | 460                  |
|       |                       | FLA'yı tahmin et     |
|       | Tam yük amperi        | 225,4                |
|       | Büyüklik sınırı, %    | 0                    |

### Line frequency [Hat frekansı]

|            |       |            |       |              |
|------------|-------|------------|-------|--------------|
| Line freq. | 50 Hz | Line freq. | 50 Hz | Hat frekansı |
|            |       |            | 60 Hz |              |

Hat frekansı, şebeke kaynak frekansıdır; seçenekler 50 Hz ve 60 Hz'dir. Bu girişin tek kullanımı, belirlenen motor hızına dayalı olarak motorun kutup sayısını belirlemektir. PSAT, karakteristik motor eğrisini (verim, akım, güç faktörü karşısında yük) belirlemek için, verim sınıfına ek olarak motor kutup sayısına dayanan algoritmalar kullanır.

### Motor rated power [Motor anma gücü] (HP veya kW)

|    |       |    |       |    |       |    |       |
|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| HP | 200   | HP | 200   | kW | 150   | kW | 150   |
|    | 5     |    | 11    |    | 11    |    | 11    |
|    | 7.5   |    | 13    |    | 13    |    | 13    |
|    | 10    |    | 15    |    | 15    |    | 15    |
|    | 15    |    | 18.5  |    | 18.5  |    | 18.5  |
|    | 20    |    | 22    |    | 22    |    | 22    |
|    | 25    |    | 26    |    | 26    |    | 26    |
|    | 30    |    | 30    |    | 30    |    | 30    |
|    | 40    |    | 37    |    | 37    |    | 37    |
|    | 50    |    | 45    |    | 45    |    | 45    |
|    | 60    |    | 55    |    | 55    |    | 55    |
|    | 75    |    | 75    |    | 75    |    | 75    |
|    | 100   |    | 90    |    | 90    |    | 90    |
|    | 125   |    | 110   |    | 110   |    | 110   |
|    | 150   |    | 132   |    | 132   |    | 132   |
|    | ✓ 200 |    | ✓ 150 |    | ✓ 150 |    | ✓ 150 |
|    | 250   |    | 160   |    | 160   |    | 160   |
|    | 300   |    | 185   |    | 185   |    | 185   |
|    | 350   |    | 200   |    | 200   |    | 200   |
|    | 400   |    | 225   |    | 225   |    | 225   |

Anma gücü, mevcut motorun etiket (mil çıkışı) güç değeridir. **Pump, fluid [Pompa, akışkan]** bölümünde seçilen birimlere bağlı olarak, motor anma gücü ya beygirgücü (HP) ya da kilowatt (kW) olur.

HP seçeneği için, 5 hp'den itibaren standart NEMA (MG-1) büyüklükleri seçilebilir. Öte yandan, kW seçeneği için de, 1.000 kW'a kadar IEC 60072 değerleri kullanılabilir. 1.000 kW'ın üzerinde, NEMA standardındaki rakamsal değerler kullanılır, çünkü bunlar makul bir aralığı temsil ederler.

### Motor rpm [Motor devir sayısı]

|   |   |
|---|---|
| Motor rpm <input type="text" value="1780"/> | Motor devir sayısı (dev/dk) <input type="text" value="1780"/> |
|---|---|

Motor etiket hızı ve hat frekansı kullanılarak, motorun kutup sayısı belirlenir. Bu da, (motor sınıfı ve büyüklüğü ile birlikte) ölçülen elektriksel güç veya akım koşulları için motor verimi ve çıkış mil gücünü tahmin etmek için kullanılır. Bu tahminler, MotorMaster+ veri tabanı ve (daha büyük motorlar için) yayınlanan diğer üretici verilerinden belirlenen sınıflarda ortalama motor performansını kullanarak PSAT için geliştirilen eğri uydurma algoritmalarına dayanır.

### Motor efficiency class [Motor verim sınıfı]

|   |  |   |                                       |   |
|---|--|---|---------------------------------------|---|
| Eff. class <input type="text" value="Standard efficiency"/> | Eff. class <input checked="" type="text" value="Standard efficiency"/> | <input type="text" value="Energy efficient"/> | <input type="text" value="Average"/>  | <input type="text" value="Specified (below)"/>    |
| Verim sınıfı <input type="text" value="Standart verim"/>    | Verim sınıfı <input checked="" type="text" value="Standart verim"/>    | <input type="text" value="Enerji verimli"/>   | <input type="text" value="Ortalama"/> | <input type="text" value="Belirlenen (aşağıda)"/> |

Bu menü listesi ögesinde motorlar için dört temel verim sınıfı vardır: Standart verim, enerji verimli, ortalama ve kullanıcı tarafından belirlenen. Her durumda, seçim YALNIZ mevcut motor için geçerlidir. Optimum durum için PSAT enerji verimli motoru seçer (bu seçimde kullanıcının seçeneği yoktur).

Motor sınıflandırması, motor anma verimlerinin NEMA MG 1-2003, Tablo 12-11 standardı ile karşılaştırılmasına dayalıdır. Tablo 12-11 anma verimi seviyesinde veya üzerinde ise, **Energy efficient [Enerji verimli]** sınıfı uygulanır; altında ise **Standard efficiency [Standart verim]** sınıfı kullanılmalıdır. Bilinmiyorsa, **Average [Ortalama]** seçeneğinin kullanılması gerekir, kullanılmakta olan **Standard efficiency [Standart verim]** ile **Energy efficient [Enerji verimli]**'nin ortalamasını alır.

Eğer etiket veya kullanıcıya daha iyi bilgi sağlayacak veri kaynakları mevcutsa, bir değer de belirtilebilir.

Sınıflandırma, belirli bir giriş gücü veya akımı için motor verim ve çıkış gücü koşullarını tahmin etmede kullanılır. Ayrıca, **Estimate FLA [FLA'yı tahmin et]** düğmesi kullanılarak tam yük akımını tahmin etmek için de kullanılır.

Hem HP hem de kW anma değerli motorların performansı, farklı standartlar uyguluyor olsa dahi, aynı sınıflandırma düzenini kullanır. Pompalama sistemlerine ilişkin büyük resimde, bu farklar önemsizdir.

### Full Load (FL) efficiency, % [Tam Yük (FL) verimi, %]

|  |  |
|--|--|
| FL efficiency, % <input type="text" value="95.8"/> | FL verimi, % <input type="text" value="95.8"/> |
|--|--|

**Full Load (FL) efficiency [Tam Yük (FL) verimi]** giriş seçeneği, **Motor efficiency class [Motor verim sınıfı]** yalnız **Specified (below) [Belirlenen (aşağıda)]** olduğu zaman sergilenir.

Birçok bakımdan bu, mevcut işletimi değerlendirmede tercih edilen yöntemdir çünkü etiket tam yük verimi değeri biliniyorsa, motorun özgül performansını diğer üç motor verimi sınırlandırmasında belirtilen değerlere göre daha iyi yansıtır; çünkü diğer üç sınıf, kesinlikle mevcut motorların istatistiksel ortalamalarına dayanır.

### Motor rated voltage [Motor anma gerilimi]

|  |  |
|--|--|
| Voltage <input type="text" value="460"/> | Gerilim <input type="text" value="460"/> |
|--|--|

Motor anma gerilimi, motorun tasarım (etiket) gerilimidir. Pompalama Sistemi Değerlendirme Aracı, MotorMaster+ veri tabanında ve diğer motor üreticilerinin yayımladığı, büyük ve düşük hızlı motorlar için ilâve verilerde 460 volt anma değeri için normalize edilmiş özelliklere dayalı olarak yük ve verim tahminlerini geliştirir.

Motorların normalize edilmiş performansı anma geriliminden minimal düzeyde etkilendiğinden, 460 volt karakteristik motor performans eğrisi biçimleri, tüm anma gerilimleri için kullanılır. Yükün yüzdesi olarak verim sabit tutulur; ortalama akım ise gerilim oranının tersiyle ayarlanır.

### Estimate Full Load Amps (FLA) [Tam Yük Amperi (FLA) tahmin et]

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| Estimate FLA | [FLA'yı tahmin et] |
|--------------|--------------------|

Bu düğme, etiket bilgileri mevcut olmadığında tam yük amperi (FLA) tahmin etmek için kullanılabilir. Tahmin, belirlenen motor beygirgücü, sınıfı, gerilimi ve hızı için motorların ortalamasına dayanır; dolayısıyla bu düğmeye tıklamadan önce anılan parametreler seçilmiş olmalıdır. Algoritmada kullanılan motor verileri 460 volta normalize edilmiştir; tam yük amperi başlatım düğmesi basılı iken başka bir gerilim seçilirse, gösterilen FLA, mevcut gerilimin tersiyle orantılı doğrusal biçimde ayarlanır. Örneğin, veri tabanındaki dört kutuplu, 460 volt, en yüksek verimli, 25 hp motorlar için ortalama FLA 30,0 amperdir.

Belirlenen motor anma gerilimi 230 volt ise, FLA başlatım düğmesine tıklanınca,  $(460/230) * 30,0 = 60,0$  amp değeri kullanılır.

Etiket FLA değeri, motor anma gücü, hızı, gerilimi ve sınıfı için ortalama FLA'dan %5'ten daha fazla farklı olursa, **Estimate FLA [FLA'yı tahmin et]** ve **Nameplate FLA [Etiket FLA'sı]** düğmelerinin zemin rengi sarı olur. Bu, FLA değerinin beklenen aralık dışında olduğunu kullanıcıya ileten bir uyarıdır.

### Full-load amps [Tam yük amperi]

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| Full-load amps 225,4 | Tam yük amperi 225,4 |
|----------------------|----------------------|

Etiketdeki tam yük amperi (FLA), yük tahmin yöntemi olarak **Current [Akım]** seçilmişse, normalize edici değer olarak kullanılır (aşağıda ölçülen veya gerekli koşullar kısmındaki anlatıma bakınız).

FLA bilinmiyorsa, soldaki **Estimate FLA [FLA'yı tahmin et]** düğmesine basılarak tahmin edilebilir. FLA başlatım düğmesine basılmadan önce, motor için doğru anma gerilimi, beygirgücü ve hız girilmiş olmalıdır.

Etiket FLA değeri, motor anma gücü, hızı, gerilimi ve sınıfı için ortalama FLA'dan %5'ten daha fazla farklı olursa, **Estimate FLA [FLA'yı tahmin et]** ve **Nameplate FLA [Etiket FLA'sı]** düğmelerinin zemin rengi sarı olur. Bu, FLA değerinin beklenen aralık dışında olduğunu kullanıcıya ileten bir uyarıdır.

### Size margin, % [Büyükük sınırı, %]

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| Size margin, % 0 | Büyükük sınırı, % 0 |
|------------------|---------------------|

Bu büyükük sınırı, optimum uygulama için seçilen motora eklenir. Eğer, belirlenen hidrolik koşullarda pompanın optimum olarak çalışması için 90 hp düzeyinde mil gücü gerekiyorsa ve %15 sınır belirlenmişse, PSAT motor anma değerinin bir üst büyük boy olacağını varsayacaktır.  $90 \times 1,15 = 103,5$  olduğundan, 125 hp'lik motor seçilir. Eğer %10 sınır seçilmiş olsaydı, o zaman 100 hp'lik motor seçilmiş olurdu, çünkü  $90 \times 1,10 = 99$ 'dur.



## C.5. Duty, Unit Cost [Görev, Birim Maliyet] Bölümü

|                       |                    |        |                            |               |        |
|-----------------------|--------------------|--------|----------------------------|---------------|--------|
| Duty,<br>unit<br>cost | Operating fraction | 1 000  | Görev,<br>birim<br>maliyet | İşletim oranı | 1,000  |
|                       | \$/kwhr            | 0 0500 |                            | \$/kWh        | 0,0500 |

Operating fraction [İşletim oranı]

|                    |       |               |       |
|--------------------|-------|---------------|-------|
| Operating fraction | 1 000 | İşletim oranı | 1,000 |
|--------------------|-------|---------------|-------|

Bu değer, belirlenen koşullarda ekipmanın çalıştığı takvim saati oranıdır. Yıllık maliyetin hesaplanmasında kullanılır.

\$/kwhr (elektrik enerjisi birim maliyeti)

|         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| \$/kwhr | 0 0500 | \$/kWh | 0,0500 |
|---------|--------|--------|--------|

Elektrik enerjisi birim maliyetidir.

Talep bedelleri, güç faktörüne ilişkin düşümler ve diğer sorunlar, ortalama birim enerji maliyeti üzerinde büyük etkiye sahip olabilir. Ayrıntılı analiz için, kullanım zamanı ve miktarı, mevcut güç faktörü gibi faktörlerin dikkate alınması gerekir.

Çoğu amaç için en basit yaklaşım, aylık (veya tercihen yıllık) elektrik enerjisi maliyetini o dönemdeki enerji tüketim miktarına bölmektir. Hem maliyet, hem de tüketim miktarı zaten elektrik faturalarında belirtilmektedir.

## C.6. Field Data [Saha Verileri] Bölümü

|               |                        |                      |       |
|---------------|------------------------|----------------------|-------|
| Field data    | Flow rate, gpm         | 2000                 |       |
|               | Head tool Head, ft     | 276.8                |       |
|               | Load estim. method     | Power                |       |
|               | Motor kW               | 150.0                |       |
|               | Voltage 2              | 460                  |       |
|               |                        |                      |       |
| Saha verileri | Debi, gpm              | 2000                 |       |
|               | Basma yüksekliği aracı | Basma yüksekliği, ft | 276,8 |
|               |                        | Yük tahmin yöntemi   | Güç   |
|               |                        | Motor kW             | 150,0 |
|               |                        | Gerilim 2            | 460   |
|               |                        |                      |       |

Flow rate [Debi] (galon/dakika, milyon galon/gün, litre/saniye veya metreküp/saat)

|                |      |                              |       |                |       |
|----------------|------|------------------------------|-------|----------------|-------|
| Flow rate, gpm | 2000 | Flow rate, MGD               | 3.30  | Flow rate, L/s | 126.2 |
|                |      | Flow rate, m <sup>3</sup> /h | 512.0 |                |       |

Yukarıda **Pump, fluid [Pompa, akışkan]** bölümündeki seçime uygun olan birimler cinsinden, ölçülen veya gereken debiyi giriniz.

Debi değeri yazılım tarafından akışkan gücünü hesaplamak (bu da mevcut pompa verimini tahmin etmek için kullanılır) ve optimum pompa çalışma verimini tahmin etmek için kullanılır.

PSAT, HI eğri sınırlarının ötesine uzanan eğri uydurma algoritmaları kullanır; dolayısıyla verim tahminleri tüm girişler için yapılır. Eğer belirlenen debi, HI standart aralık sınırları dışında ise, kullanıcıyı uyararak üzere, zemin rengi turuncu olur.

Head [Basma yüksekliği] (ft veya m)

|          |       |         |      |                      |       |
|----------|-------|---------|------|----------------------|-------|
| Head, ft | 276.8 | Head, m | 84.4 | Basma yüksekliği, ft | 276,8 |
|          |       |         |      | Basma yüksekliği, m  | 84,4  |

Ölçülen ya da gereken pompa basma yüksekliği fit (veya metre) cinsinden girilir.

Basma yüksekliği, debi ve özgül ağırlık kullanılarak **Existing [Mevcut]** koşul için akışkan gücü hesaplanır. Mevcut koşul için tahmini mil gücü ile birleştirildiğinde (ki bu da ölçülen elektriksel veriler ve belirlenen motor etiket bilgilerine dayanır), mevcut pompa verimi belirlenebilir.

Ölçülen pompa basma yüksekliğini hesaplamaya yardım etmek için, basma yüksekliği hesaplama ekranını getirmek amacıyla, basma yüksekliği giriş kutusunun solundaki **Head tool [Basma yüksekliği aracı]** düğmesine tıklanabilir.

Head tool [Basma yüksekliği aracı] düğmesi

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| Head tool | [Basma yüksekliği aracı] |
|-----------|--------------------------|

Bu düğme kullanılarak pompa basma yüksekliği hesaplama ekranına ulaşılır; burada kullanıcı ölçülen basınç, yükseklik, debi ve hat büyüklüğü verilerini girerek pompanın oluşturduğu basma yüksekliğini hesaplar.

Bu yordam ile hesaplanan basma yüksekliği, esas ekrana aktarılabilir (basma yüksekliği hesaplayıcısının seçildiği koşulda) veya iptal edilebilir; iptal edildiğinde esas ekran etkilenmez.

Load estimation method [Yük tahmin yöntemi]

|                    |       |                    |         |
|--------------------|-------|--------------------|---------|
| Load estim. method | Power | Load estim. method | Current |
| Yük tahmin yöntemi | Güç   | Yük tahmin yöntemi | Akım    |

Yük tahmin yöntemi için iki seçenek vardır: **Power [Güç]** ve **Current [Akım]**; her ikisi de motor girişindeki değerlere dayanır.

Tercih edilen yük tahmin yöntemi güçtür. Eğer giriş gücü doğru biçimde ölçülürse, hem pompa verimi hem de motor erimi, yalnız akımın ölçülerek bulunandan daha doğru olacaktır.

Gücün ölçülmesi mümkün değilse, giriş gücünü tahmin etmek için akım ve PSAT'ta yerleşik algoritmalar kullanılabilir. Akım kullanılarak gücün tahmin edilmesi, belirlenen motor büyüklüğü, sınıfı ve hızına göre ortalama motor akım-yük profiline göre uydurulan eğrilere dayalı olarak yapılır. Deneyimler göstermiştir ki, anma değerlerinin %50'si ve üzeri yüklenen motorlar için, PSAT'ın akım tabanlı tahminlerine göre bulunan elektriksel güç genel olarak yüzde birkaç puanlık sınırlar dâhilinde gerçek güç ile uyumlu olmaktadır. Ancak, hafif yüklü motorlarda (örneğin, %25 yükte), bu hata daha büyük olabilir. Pompa uygulamalarının büyük çoğunluğunda motorlar anma değerinin %50'sinden daha büyük yükte çalışmaktadır.

### Motor kW [Motor kW] veya Motor amps [Motor amper]

|          |       |            |       |          |       |             |       |
|----------|-------|------------|-------|----------|-------|-------------|-------|
| Motor kW | 150,0 | Motor amps | 218,0 | Motor kW | 150,0 | Motor amper | 218,0 |
|----------|-------|------------|-------|----------|-------|-------------|-------|

Seçilen **Load estimation method [Yük tahmin yöntemi]**'ne bağlı olarak ya **Motor kW [Motor kW]** ya da **Motor amps [Motor amper]** gösterilir. Tercih edilen ölçüm yöntemi güçtür; ancak kalıcı olarak takılı bir güç ölçer yoksa, güç ölçümü oldukça elverişsiz ve zordur.

Güç ölçülemiyorsa, ölçülen akıma ihtiyaç vardır. Mümkünse, girilen değer üç faz arasındaki ortalama akım olmalıdır. Giriş gücü veya yükünü tahmin etmek için akımın kullanılması ideal değildir. Yukarıda belirtildiği gibi, yük tahmin yöntemi olarak akım kullanılıyorsa, motorun elektrik giriş ve mekanik çıkış güçlerini tahmin etmek için, ölçülen akım ile belirlenen motor büyüklüğü, sınıfı ve hızına göre ortalama motor akım-yük ve verim-yük eğrileri karşılaştırılır.

Ayarlanabilir frekanslı sürücüler kullanılıyorsa, akım tabanlı tahmin yöntemi KULLANILMAMALIDIR. PSAT algoritmaları, doğrudan ve hat boyu uygulamalar için motor performansına dayanır. Ayarlanabilir frekanslı sürücü gücü kullanılabilir ancak kullanıcı şunu bilmelidir ki, sürücüdeki kayıplar ve motorda artan kayıplar PSAT tarafından hesaba katılmamaktadır.

Akım ölçümlerine ilişkin bir uyarı daha: Güç faktörü düzeltme kapasitörleri kullanılıyorsa, ölçülen akımın, motor ve kapasitör bankı bileşkesine giden akım değil (çünkü bu motora giden akımdan daha düşüktür), motora giden akım olmasına dikkat ediniz.

### Voltage [Gerilim]

|        |        |         |     |
|--------|--------|---------|-----|
| S/kwhr | 0 0500 | Gerilim | 460 |
|--------|--------|---------|-----|

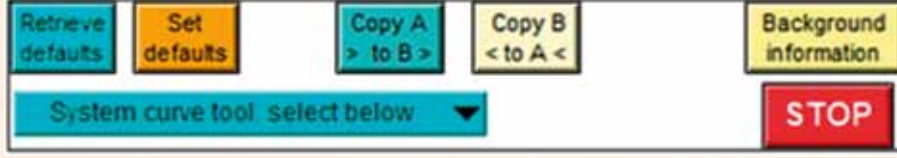
**Load estimation method [Yük tahmin yöntemi]** olarak **Current [Akım]** seçilmişse, motor giriş gücünü tahmin etmek için ölçülen bara geriliminin yanı sıra ölçülen akım kullanılır. **Power [Güç]** seçilmişse, güç ve gerilimden akım tahmin edilir.

Aşırı/düşük gerilimde ayarlama yapmak için, çeşitli kaynakların bileşkesine dayalı basit bir algoritma kullanılır. Algoritma, anma gücünün %100'ünde, gerilimde her %1 artışa karşılık akımda %1 düşme varsayar (veya, gerilim düştüğünde tersi). Yük ölçeğinin diğer ucunda ise (yani, yüksüz durumda), algoritma, gerilimde her %1 artışa karşılık akımın %1 arttığını varsayar (veya, gerilim düştüğünde tersi). Bağlantının yük ile doğrusal olduğu kabul edilir; dolayısıyla %50 yükte, akımın gerilimden etkilenmediği varsayılır.

Böylesine basit bir algoritmanın tüm motorların tepkisini doğru biçimde yansıtamayacağı kabul edilir. Yine de, endüstriyel uygulamalarda görülen normal gerilim sapma aralığında makul derecede temsil edici olduğuna inanılmaktadır ve sahadaki gerçek hizmette kullanılan birçok motorda başarıyla kullanılmıştır.

Motorun ölçülen ve anma gerilimi arasındaki sapma %10'dan büyükse, ölçülen gerilim kutusunun zemin rengi sarıya dönüşür ve muhtemel bir giriş hatası konusunda kullanıcıyı uyarır.

## C.7. Common Controls Area [Ortak Kontroller Alanı]




### Retrieve defaults [Varsayılanları getir]

|   |                        |
|---|------------------------|
|  | [Varsayılanları getir] |
|---|------------------------|

Bu düğmeye tıklanınca, tüm ekran varsayılan değerlere döner; kullanıcı **Set defaults [Varsayılanları belirle]** düğmesini kullanarak bu varsayılan değerleri belirleyebilir. Bu işlem, kullanıcının standart elektrik maliyet verilerini, tesis ve değerlendirici adlarını vs. belirlemesini sağlar.

Birden fazla varsayılan değerler kümesi oluşturmanın bir diğer yolu da, **Log file controls [Kütük dosyası kontrolleri]**'ni kullanarak özel amaçlı bir kütük dosyası yaratmak ve farklı düzenleri kaydetmektir. Bu daha fazla esneklik sağlar, ancak ilâve adımlar gerektirir.

### Set defaults [Varsayılanları belirle]

|  |                          |
|--|--------------------------|
|  | [Varsayılanları belirle] |
|--|--------------------------|

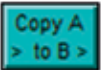
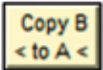
Bu düğmeye tıklayınca, halihazırda sergilenmekte olan veriler varsayılan konfigürasyon haline getirilir. PSAT her açıldığında varsayılan konfigürasyon otomatik olarak yüklenir. Ayrıca, herhangi bir zamanda soldaki **Retrieve defaults [Varsayılanları getir]** düğmesine tıklayarak varsayılanlar geri getirilebilir.

**Set defaults [Varsayılanları belirle]** düğmesi tıklanınca, kullanıcının varsayılan değerlerin değiştirilmekte olduğunu onaylaması istenir.

Bu işlem, kullanıcının, otomatik olarak yüklenecek standart elektrik maliyet verileri, birimler, tesis ve değerlendirici adlarını vs. belirlemesini sağlar.

Birden fazla varsayılan değerler kümesi oluşturmanın bir diğer yolu da, **Log file controls [Kütük dosyası kontrolleri]**'ni kullanarak özel amaçlı bir kütük dosyası yaratmak ve farklı düzenleri kaydetmektir. Bu daha fazla esneklik sağlar, ancak ilâve adımlar gerektirir.

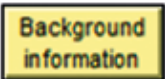
### Copy A to B [A'yı B'ye kopyala], Copy B to A [B'yi A'ya kopyala]

|   |   |
|---|---|
|   | [A'yı B'ye kopyala] [B'yi A'ya kopyala] |
|---|---|

Bu düğmeler **Condition A [Koşul A]**'dan tüm verileri **Condition B [Koşul B]**'ye (veya tersine) kopyalamak için kullanılır.

Kopyalama, basma yüksekliği hesaplama girişleri ve sistem eğrisi verileri dâhil olmak üzere yardımcı ve gösterilmeyen verileri de içerir.

### Background information [Arka plan bilgileri]

|   |                       |
|---|-----------------------|
|  | [Arka plan bilgileri] |
|---|-----------------------|

Bu düğme, yazılımın işleyişi; motor, pompa ve sistem verimi düşünceleri; ölçülen ve gereken koşullar arasındaki ayırım da dâhil olmak üzere, pompalama sistemi optimizasyonuna ilişkin diğer önemli konulara ilişkin açıklamalar vs. hakkında arka plan bilgilerine erişim sağlar.

Burada bulunan ön seçim bölümü, PSAT'ın ihtiyaç duyduğu verileri elde etmek için zaman ve çaba harcamadan önce, dikkate alınması gereken faaliyetler ve yaklaşımlar hakkında tavsiyeler verir.

Ayrıca, birim dönüştürme aracına da bağlantı verilmektedir. Kopyalama, basma yüksekliği hesaplama girişleri ve sistem eğrisi verileri dâhil olmak üzere yardımcı ve gösterilmeyen verileri de içerir.

### System curve tool [Sistem eğrisi aracı] menü çubuğu

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| System curve tool: select below ▼    | ✓ System curve tool: select below<br>Condition A + specified H/Q<br>Condition B + specified H/Q<br>Conditions A+B |
| Sistem eğrisi aracı: aşağıda seçin ▼ | ✓ Sistem eğrisi aracı: aşağıda seçin<br>Koşul A + belirlenen H/Q<br>Koşul B + belirlenen H/Q<br>Koşul A+B         |

Tek noktaya veya temelde aynı olan paralel hatlar ile birden fazla noktaya akış basan sistemler için, iki ölçülen debi/basma yüksekliği koşulundan bir sistem eğrisi tahmin edilebilir (sistem konfigürasyonu değişmeden kalmak şartıyla).

Sistem eğrisinin geliştirilmesi hakkında ilâve bilgilere **System curve [Sistem eğrisi]** ekranından ulaşılabilir. Bunu getirmek için açılır menüde bulunan üç seçenektен herhangi biri seçilmelidir. İlk seçenek olan **Condition A + specified H/Q [Koşul A + belirlenen H/Q]**'da, **Condition A [Koşul A]**'dan basma yüksekliği/debi verileri sistem eğrisi ekranına aktarılır, kullanıcı burada başka bir sistem için basma yüksekliği/debi noktası girer ve sistem eğrisi çizilir.

Aynı işlem **Condition B + specified H/Q [Koşul B + belirlenen H/Q]** için de yapılabilir.

Üçüncü seçenek olan **Conditions A+B [Koşul A+B]**'de ise, her iki girişe ait basma yüksekliği ve debi değerleri kullanılarak sistem eğrisi oluşturulur ve kullanıcıdan ek bilgi istenmez.

Tabii ki eğrinin uygun biçimde yapılması için birimlerin birbiriyle tutarlı olması gerekir.

### STOP [DURDUR] düğmesi

|             |          |
|-------------|----------|
| <b>STOP</b> | [DURDUR] |
|-------------|----------|

STOP [DURDUR] düğmesi, programın hesaplama ve güncellemelerini geçici olarak durdurmak için kullanılabilir. Bu yolla kullanıcı, PSAT'ı kapatmaksızın başka bir uygulamada çalışmak isterse işlemin hızını artırabilir. Bu düğmeye basılması programın güncellemesini durdurur, ancak uygulamadan çıkmaz.

STOP [DURDUR] düğmesi sadece programaktif olarak güncelleme yaparken belirir ve düğmeye tıkladığında düğme kaybolur ve yerinde **Calculation updating off [Hesaplama güncellemesi kapalı]** uyarı kutusu görünür.

Hesaplamaları tekrar başlatmak için, ekranın üst solundaki **Edit [Düzen]** menüsünün hemen altındaki oka tıklayın.

Oka tıkladığında **STOP [DURDUR]** düğmesi tekrar görünür ve programın hesaplanan sonuçları sürekli güncellediği kullanıcıya bildirilir.

PSAT'tan çıkmak için tercih edilen yöntem önce **STOP [DURDUR]** düğmesine basmak ve ardından sağ üstteki standart kapama düğmesine tıklayarak programı kapatmaktır.

### Calculation updating is off [Hesaplama güncellemesi kapalı] uyarı kutusu

|   |  |
|---|--|
| Calculation updating is off.<br>Click the arrow below the edit menu to restart. | Hesaplama güncellemesi kapalı. Düzen menüsünü yeniden başlatmak için oka tıklayınız. |
|---|--|

Bu sadece PSAT'ın hesaplamalarının durdurulduğunu bildiren durum bildirimidir. Bu kutu görünür durumda iken, girişlere değişiklikler yapılabilir ancak **Edit [Düzen]** menüsünün altındaki oka tıklayarak güncelleme yeniden başlatılacağı kadar sonuçlar güncellenmez.

### Run [Yürüt] oku



PSAT'ın **Run [Yürüt]** oku **Edit [Düzen]** menüsünün hemen altında belirir. PSAT hesaplama güncellemesi canlı iken, **STOP [DURDUR]** düğmesi görünür ve **Run [Yürüt]** oku siyah olur. **STOP [DURDUR]** düğmesine basılırsa, PSAT hesaplama güncellemesi durur, **Calculation updating off [Hesaplama güncellemesi kapalı]** uyarı kutusu görünür ve **Run [Yürüt]** oku beyaz olur. PSAT'ı tekrar çalışır hale getirmek için beyaz oka tıklayınız.

## C.8. Results [Sonuçlar] Bölümü

|                                   | Condition A |         |        | Condition B |         |        |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|-------------|---------|--------|
|                                   | Existing    | Optimal | Units  | Existing    | Optimal | Units  |
| Pump efficiency                   | 72.6        | 84.8    | %      | 72.5        | 85.0    | %      |
| Motor rated power                 | 200         | 200     | hp     | 150         | 132     | kW     |
| Motor shaft power                 | 192.4       | 164.8   | hp     | 143.8       | 122.7   | kW     |
| Pump shaft power                  | 192.4       | 164.8   | hp     | 143.8       | 122.7   | kW     |
| Motor efficiency                  | 95.7        | 95.8    | %      | 95.9        | 95.6    | %      |
| Motor power factor                | 86.7        | 85.7    | %      | 86.4        | 86.4    | %      |
| Motor current                     | 217.1       | 188.2   | amps   | 217.9       | 186.4   | amps   |
| Motor power                       | 150.0       | 128.4   | kW     | 150.0       | 128.3   | kW     |
| Annual energy                     | 1314.0      | 1125.1  | MWh    | 1314.0      | 1124.1  | MWh    |
| Annual cost                       | 65.7        | 56.3    | \$1000 | 65.7        | 56.2    | \$1000 |
| Annual savings potential, \$1,000 |             | 9.4     |        |             | 9.5     |        |
| Optimization rating, %            |             | 85.6    |        |             | 85.5    |        |

### Pump efficiency [Pompa verimi]

|                 | Existing | Optimal | Units |              | Mevcut | Optimum | Birim |
|-----------------|----------|---------|-------|--------------|--------|---------|-------|
| Pump efficiency | 72.6     | 84.8    | %     | Pompa verimi | 72,6   | 84,8    | %     |

#### Existing [Mevcut]

Mevcut pompa verimi, pompa tarafından sağlanan akışkan gücünün pompa giriş mil gücüne bölünmesidir.

Pompa tarafından sağlanan akışkan gücü, debi, basma yüksekliği ve özgül ağırlığın çarpımından hesaplanır. Mil gücü ise, ölçülen elektriksel veriler ve PSAT'ın motor verim-yük eğrileri kullanılarak tahmin edilir.

#### Optimal [Optimum]

Optimum pompa verimi, Hidrolik Enstitüsü Standardı HI 1.3-2000, Santrifüj Pompa Tasarım ve Uygulaması'nda bulunan verim tahmin algoritmalarına dayalı olarak tahmin edilir.

PSAT'ta kullanılan verim değeri, HI 1.3 Şekil 1.76A ve 1.76B'da gösterilen "genel olarak ulaşılabilir verim"den pozitif sapmayı içerir.

### Motor rated power [Motor anma gücü]

|                   | Existing | Optimal | Units |                 | Mevcut | Optimum | Birim |
|-------------------|----------|---------|-------|-----------------|--------|---------|-------|
| Motor rated power | 200      | 200     | hp    | Motor anma gücü | 200    | 200     | hp    |

#### Existing [Mevcut]

Mevcut motor etiket gücü (**Motor data [Motor verileri]** bölümündeki anma gücü ile aynı).

#### Optimal [Optimum]

Bu değer, optimum boyutlandırılmış bir pompa için motor etiketi anma gücüdür.

PSAT, hesaplanan akışkan gücü ve optimum pompa verimini kullanarak optimum pompa giriş mil gücünü belirler. Doğrudan sürüslü bir pompa için bu, motor mil gücü ile aynıdır. Eğer kayış sürüslü belirtilmişse, kayış kayıpları hesaba katılmalıdır, dolayısıyla gereken motor mil gücü daha büyük olacaktır.

**Motor data [Motor verileri]** bölümünde belirlenen büyüklük sınırı, gereken motor mil gücüne eklenir. Elde edilen değer kullanılarak PSAT, bir sonraki en büyük standart motor boyunu seçer.

### Motor shaft power [Motor mil gücü]

|                   | Existing | Optimal | Units |
|-------------------|----------|---------|-------|
| Motor shaft power | 192.4    | 164.8   | hp    |

|                | Mevcut | Optimum | Birim |
|----------------|--------|---------|-------|
| Motor mil gücü | 192,4  | 164,8   | hp    |

#### Existing [Mevcut]

Bu değer, mevcut motor için tahmin edilen motor mil gücüdür. Tahmin, ölçülen elektriksel veriler ve PSAT'ın belirlenen motor büyüklüğü, sınıfı ve hızına ilişkin verim tahminine dayanır.

#### Optimal [Optimum]

Bu değer, belirlenen debi, basma yüksekliği ve özgül ağırlık değerlerinin yanı sıra HI 1.3 ulaşılabilir verim algoritmalarına dayanan, optimum pompa için mil gücü ihtiyaçlarıdır. Kayış sürürlü seçilmişse, gereken motor gücünü bulmak için, bununla ilgili kayıplar pompa mil gücüne eklenir. Doğrudan sürürlü pompalar için pompa ve motor mil gücü aynıdır.

### Pump shaft power [Pompa mil gücü]

|                  | Existing | Optimal | Units |
|------------------|----------|---------|-------|
| Pump shaft power | 192.4    | 164.8   | hp    |

|                | Mevcut | Optimum | Birim |
|----------------|--------|---------|-------|
| Pompa mil gücü | 192,4  | 164,8   | hp    |

#### Existing [Mevcut]

Bu değer, mevcut motor için tahmin edilen pompa mil gücüdür. Tahmin, doğrudan tahrikli uygulamalar için motor mil gücü ile aynıdır (yukarıdaki gibi). Kayış tahrikli uygulamalar içinse, kayış kayıpları motor mil gücünden düşülerek pompa mil gücü bulunur.

#### Optimal [Optimum]

Bu değer, belirlenen debi, basma yüksekliği ve özgül ağırlık değerlerinin yanı sıra HI 1.3 ulaşılabilir verim algoritmalarına dayanan, optimum pompa için mil gücü ihtiyaçlarıdır.

### Motor efficiency [Motor verimi]

|                  | Existing | Optimal | Units |
|------------------|----------|---------|-------|
| Motor efficiency | 95.7     | 95.8    | %     |

|              | Mevcut | Optimum | Birim |
|--------------|--------|---------|-------|
| Motor verimi | 95,7   | 95,8    | %     |

#### Existing [Mevcut]

Bu değer, mevcut yükte mevcut motorun tahmin edilen verimidir.

#### Optimal [Optimum]

Bu değer, yukarıda **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde belirtilen büyüklükte enerji verimli motorun, **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde çalışırken (o da yukarıda belirtilmiştir) tahmin edilen verimidir.

### Motor power factor [Motor güç faktörü]

|                    | Existing | Optimal | Units |
|--------------------|----------|---------|-------|
| Motor power factor | 86.7     | 85.7    | %     |

|                   | Mevcut | Optimum | Birim |
|-------------------|--------|---------|-------|
| Motor güç faktörü | 86,7   | 85,7    | %     |

#### Existing [Mevcut]

Bu değer, mevcut yükte mevcut motorun tahmin edilen güç faktörüdür. Ölçülen elektriksel verilere ve belirlenen motor için motor performans karakteristik eğrilerine dayanır.

#### Optimal [Optimum]

Bu değer, yukarıda **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde belirtilen büyüklükte enerji verimli motorun, **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde çalışırken (o da yukarıda belirtilmiştir) tahmin edilen güç faktörüdür.

**Motor current [Motor akımı]**

|               | Existing | Optimal | Units |
|---------------|----------|---------|-------|
| Motor current | 217.1    | 188.2   | amps  |

|             | Mevcut | Optimum | Birim |
|-------------|--------|---------|-------|
| Motor akımı | 217,1  | 188,2   | amp   |

**Existing [Mevcut]**

Bu değer, mevcut yükte mevcut motorun tahmin edilen veya ölçülen akımıdır.

**Optimal [Optimum]**

Bu değer, yukarıda **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde belirtilen büyüklükte enerji verimli motorun, **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde çalışırken (o da yukarıda belirtilmiştir) tahmin edilen akımıdır.

**Motor power [Motor gücü]**

|             | Existing | Optimal | Units |
|-------------|----------|---------|-------|
| Motor power | 150.0    | 128.4   | kW    |

|            | Mevcut | Optimum | Birim |
|------------|--------|---------|-------|
| Motor gücü | 150,0  | 128,4   | kW    |

**Existing [Mevcut]**

Bu değer, mevcut yükte mevcut motorun tahmin edilen veya ölçülen elektriksel gücüdür.

**Optimal [Optimum]**

Bu değer, yukarıda **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde belirtilen büyüklükte enerji verimli motorun, **Optimal [Optimum] Motor rated power [Motor anma gücü]**'nde çalışırken (o da yukarıda belirtilmiştir) tahmin edilen elektriksel gücüdür.

**Annual energy [Yıllık enerji]**

|               | Existing | Optimal | Units |
|---------------|----------|---------|-------|
| Annual energy | 1314.0   | 1125.1  | MWh   |

|               | Mevcut | Optimum | Birim |
|---------------|--------|---------|-------|
| Yıllık enerji | 1314,0 | 1125,1  | MWh   |

**Existing [Mevcut]**

Bu değer, solda **Operating fraction [İşletim oranı]**'nda belirtilen süre oranında işletildiğinde, mevcut ekipman için ölçülen/tahmin edilen güç düzeyinde yıllık enerji tüketimidir.

**Optimal [Optimum]**

Bu değer, tahmin edilen **Motor power [Motor gücü]** (yukarıda) ve pompanın işletildiği süre oranına (bakınız solda **Operating fraction [İşletim oranı]**) dayalı olarak, enerji verimli bir motor tarafından sürülen optimize edilmiş pompa için yıllık enerji tüketimidir.

**Annual cost [Yıllık maliyet]**

|             | Existing | Optimal | Units  |
|-------------|----------|---------|--------|
| Annual cost | 65.7     | 56.3    | \$1000 |

|                | Mevcut | Optimum | Birim  |
|----------------|--------|---------|--------|
| Yıllık maliyet | 65,7   | 56,3    | \$1000 |

**Existing [Mevcut]**

Bu değer, **Existing [Mevcut] Annual energy [Yıllık enerji]** tüketimi ile birim işletim maliyeti (cent/kWh) çarpımına dayanan mevcut yıllık enerji maliyetidir.

**Optimal [Optimum]**

Bu değer, **Optimal [Optimum] Annual energy [Yıllık enerji]** tüketimi ile birim işletim maliyeti (cent/kWh) çarpımına dayanan optimum yıllık enerji maliyetidir.



**Annual savings potential, \$1,000 [Yıllık tasarruf potansiyeli, \$1.000]****Annual savings potential, \$1,000****9.4****Yıllık tasarruf potansiyeli, \$1.000 | 9,4 |**

Bu değer, mevcut ekipman, yukarıda **Optimal [Optimum]** durumda belirtilen performans düzeyindeki ekipman ile değiştirilirse elde edilebilecek potansiyel yıllık tasarruftur (bin dolar cinsinden).

Yukarıdaki **Existing [Mevcut]** ile **Optimal [Optimum]** durumlar arasındaki yıllık maliyet farkıdır.

**Optimization rating, % [Optimizasyon derecesi, %]****Optimization rating, %****85.6****Optimizasyon derecesi, % | 85,6 |**

Bu değer, optimum motor ve optimum pompa konfigürasyonuna göre, mevcut pompalama sisteminin veriminin toplam oranının, yüzde olarak ifade edilen ölçüsüdür. Değerin 100 olması, mevcut sistemin optimum sisteme eşit olduğunu; 50 ise, mevcut sistemin optimumun yarısı kadar verimli olduğunu gösterir.

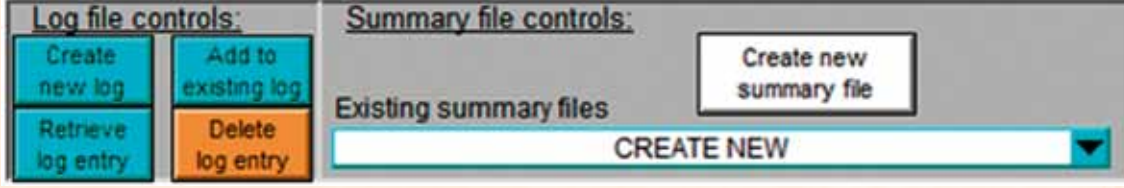
Matematiksel olarak basitçe **Optimal [Optimum] Motor power [Motor gücü]**'nin **Existing [Mevcut] Motor power [Motor gücü]**'ne bölünmesi ve bunun yüzde olarak ifade edilmesidir.

100'den büyük değerlerin olması mümkündür çünkü programda kullanılan pompa verimleri, "genel olarak ulaşılabilir verim düzeyleri"ni yansıtmaktadır. Özellikle daha küçük pompalarda, verim bakımından önemli miktarda sapmalar olabilir (bakınız HI 1.3-2000 Şekil 1.63).

**Optimization rating, % [Optimizasyon derecesi, %]**'nin zemin renkleri, dereceye göre değişir:

- >100: Koyu mavi
- 90-100: Yeşil
- 80-90: Zeytuni (haki)
- 70-80: Sarı
- 60-70: Turuncu
- <60: Kırmızı

## C. 9. Log File Controls [Kütük Dosyası Kontrolleri] ve Summary File Controls [Özet Dosyası Kontrolleri] Bölümü

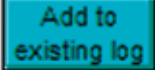


### Create new log [Yeni kütük oluştur] düğmesi

|   |                    |
|---|--------------------|
|  | Yeni kütük oluştur |
|---|--------------------|

Mevcut veriler ile yeni bir veri kütüğü oluşturmak için bu düğmeye tıklayınız. Oluşturduğunuz kütüğe daha sonraki bir zamanda **Retrieve log entry [Kütük kaydını getir]** düğmesini kullanarak erişebilirsiniz.

### Add to existing log [Mevcut kütüğe ekle] düğmesi

|  |                    |
|--|--------------------|
|  | Mevcut kütüğe ekle |
|--|--------------------|

Bu düğmeye tıklayarak, halen gösterimde olan verileri mevcut kütük dosyasına ekleyebilirsiniz. Hangi kütük dosyasına ekleyeceğinizi belirtmeniz istenecektir. Not: Dosyanın üstüne yazılmaz; halen gösterimde olan bilgiler dosyaya eklenir. Bu verilere daha sonraki bir zamanda **Retrieve log entry [Kütük kaydını getir]** düğmesini kullanarak erişebilirsiniz.

### Retrieve log entry [Kütük kaydını getir] düğmesi

|   |                     |
|---|---------------------|
|  | Kütük kaydını getir |
|---|---------------------|

Daha önce kütüklenen verilere erişmek için bu düğmeye tıklayınız. Dosyanın saklandığı konumu belirtmeniz istenir. Dosyada kütüklenen birden fazla veri seti varsa, aşağıda görüldüğü şekilde, seçmeniz için kütükler listesi gösterilir. **Documentation [Dokümantasyon]** bölümünde girilen verileri içeren metin bölümlerinin solunda yer alan kırmızı renkli numaralardan birine tıklayınız. Analize ilişkin notlu yorumlar erişim süreci açısından çok önemlidir.

| Log entry |  |
|-----------|--|
| 1         | Condition A: Facility: AAA System: BBB Application: CCC Comments: Notes for condition A go here Date: Oct 01/2007 Evaluator: DDD<br>Condition B: Facility: EEE System: FFF Application: GGG Comments: Notes for condition B go here Date: Oct 02/2007 Evaluator: HHH |
| 2         | Condition A: Facility: III System: JJJ Application: KKK Comments: Notes for condition A go here Date: Oct 01/2007 Evaluator: LLL<br>Condition B: Facility: MMM System: NNN Application: OOO Comments: Notes for condition B go here Date: Oct 02/2007 Evaluator: PPP |
| 3         | Condition A: Facility: QQQ System: RRR Application: SSS Comments: Notes for condition A go here Date: Oct 01/2007 Evaluator: TTT<br>Condition B: Facility: UUU System: VVV Application: WWW Comments: Notes for condition B go here Date: Oct 02/2007 Evaluator: XXX |

### Delete log entry [Kütük kaydını sil] düğmesi

|   |                   |
|---|-------------------|
|  | Kütük kaydını sil |
|---|-------------------|

Kütük kaydının silineceği kütük dosyasını seçmek için bu düğmeye tıklayınız; dosya seçildiğinde, o dosya içindeki tüm kayıtlar seçim yapmanız için gösterilir.

Kütük kaydını sildikten (veya kütük silme işlemini iptal ettikten) sonra bu ekrana dönersiniz ve buradan farklı bir kaydı silmek üzere işlemleri tekrarlıyorsunuz.

### Add to existing log [Mevcut kütüğe ekle] düğmesi

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Create new summary file</b>       | Existing summary files<br>CREATE NEW ▼           |
| <b>Append existing summary file:</b> | Existing summary files<br>Example 2007 summary ▼ |
| Yeni özet dosyası oluştur            | Mevcut özet dosyaları<br>YENİ OLUŞTUR ▼          |
| <b>Mevcut özet dosyasına ekle</b>    | Mevcut özet dosyaları<br>Örnek 2007 özet ▼       |

**Write summary file [Özet dosyası yaz]** düğmesi ve **Existing summary files [Mevcut özet dosyaları]** açılır menü listesi, birbirine ilişkili araçlardır; ikisi de farklı etiket ve renklere sahiptir. Etiket ve renk, **Existing summary files [Mevcut özet dosyaları]** menüsünde seçilen öğeye bağlıdır.

**Existing summary files [Mevcut özet dosyaları]** menüsü seçimi **CREATE NEW [YENİ OLUŞTUR]** ise, bunun düğme etiketi **Create new summary file [Yeni özet dosyası oluştur]** olacak ve her ikisinin zemin rengi beyaz olacaktır. Eğer mevcut bir özet dosyası seçilmişse (örneğin dosya adı "Example 2007 summary" olsun), düğme etiketi **Append existing summary file [Mevcut özet dosyasına ekle]** olur ve her ikisinin zemin rengi açık mavi olur.

Yeni bir özet dosyası oluşturulurken kullanıcının dosya konumu belirlemesi ve dosyaya ad vermesi istenir. Özet dosyalar için varsayılan konum, PSAT ana dizininde bulunan **Summary files [Özet dosyalar]** dizinidir. Sadece bu konuma kaydedilen dosyalar **Existing summary files [Mevcut özet dosyaları]** listesinde gösterilir. Özet dosyalar başka yere de kaydedilebilir ancak ekleme yapmak için çağrılmaları mümkün değildir.

Özet dosyası, sekmeyle ayrılmış hesap çizelgesi formatındadır. Excel veya başka bir hesap çizelgesi programıyla açılabilir ve ayrıca her türlü metin düzenleme veya metin işleme programıyla da açılabilir.

## C.10. Documentation [Dokümantasyon] Bölümü

| Condition A Notes |           | Documentation section |  |
|-------------------|-----------|-----------------------|--|
| Facility          | System    | Date                  |  |
| Application       | Evaluator |                       |  |
| General comments  |           |                       |  |
|                   |           |                       |  |
| Condition B Notes |           |                       |  |
| Facility          | System    | Date                  |  |
| Application       | Evaluator |                       |  |
| General comments  |           |                       |  |
|                   |           |                       |  |

| Koşul A Notları |                | Dokümantasyon bölümü |  |
|-----------------|----------------|----------------------|--|
| Tesis           | Sistem         | Tarih                |  |
| Uygulama        | Değerlendirici |                      |  |
| Genel yorumlar  |                |                      |  |
|                 |                |                      |  |
| Koşul B Notları |                |                      |  |
| Tesis           | Sistem         | Tarih                |  |
| Uygulama        | Değerlendirici |                      |  |
| Genel yorumlar  |                |                      |  |
|                 |                |                      |  |

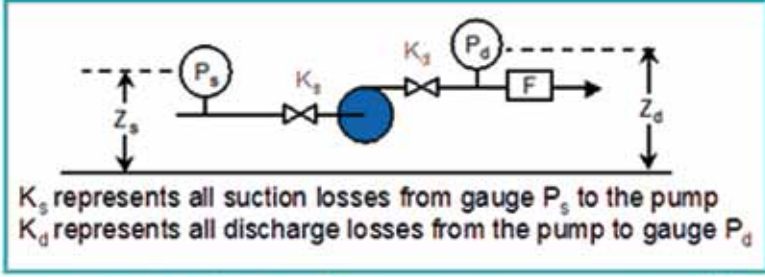
Dokümantasyon bölümünde, başlıkları nispeten basit ve anlaşılır birkaç metin kutusu vardır. Bu bölümün amacı, adından da anlaşılacağı üzere, değerlendirilmekte olan pompalama sistemini tanımlamada faydalı olabilecek bilgileri kaydetmektir: Verilerin ne zaman toplandığı, yapılan varsayımlar, analizi kim yapmıştır, vs. Kutulardan herhangi birini doldurma zorunluluğu yoktur; ancak analiz daha sonra erişim için kaydedilecekse, bu bölümü doldurmak harika bir fikirdir.

**General comments [Genel yorumlar]** ögesinde bir kaydırma çubuğu bulunduğuna dikkat ediniz. Bu imkân, kullanıcının varsayımlar, yöntemler, koşullar vs. hakkında dilediği kadar bilgi girmesini sağlar.

## C.11. Pump Head Calculation [Pompa Basma Yüksekliği Hesaplama] Ekranı: Giriş ve Çıkış Basınç Ölçerleri İle

Pompa basma yüksekliği hesaplama ekranı, kullanıcının işletim pompa basma yüksekliğini hesaplamasına yardım edecek iki konfigürasyon türü sağlar. Aşağıdaki konfigürasyon, giriş ve çıkış basınçlarının ölçülebildiği durumlar içindir.

Type of measurement configuration  
Suction and discharge line pressures



$K_s$  represents all suction losses from gauge  $P_s$  to the pump  
 $K_d$  represents all discharge losses from the pump to gauge  $P_d$

Click to access units converter tool

|                                       |               |   |               |
|---------------------------------------|---------------|---|---------------|
| Suction pipe diameter (ID)            | 12.000 inches | Discharge pipe diameter (ID)            | 10.000 inches |
| Suction gauge pressure ( $P_s$ )      | 5.00 psig     | Discharge gauge pressure ( $P_d$ )      | 124.03 psig   |
| Suction gauge elevation ( $Z_s$ )     | 5.00 ft       | Discharge gauge elevation ( $Z_d$ )     | 5.00 ft       |
| Suction line loss coefficients, $K_s$ | 0.50          | Discharge line loss coefficients, $K_d$ | 1.00          |

Fluid specific gravity: 1.000      Flow rate: 2000.00 gpm

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Differential elevation head       | 0.00 ft   |
| Differential pressure head        | 274.99 ft |
| Differential velocity head        | 0.54 ft   |
| Estimated suction friction head   | 0.25 ft   |
| Estimated discharge friction head | 1.04 ft   |
| Pump head                         | 276.81 ft |

System of units: gpm, ft, hp

Don't update: Click to leave the main panel head unchanged  
Accept and update: Click to Accept and return the calculated head

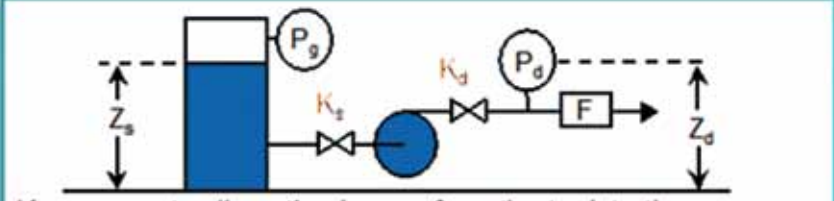
**Important note about loss coefficients**  
The loss coefficients used here apply to the velocity head in the line size represented by the suction and discharge pipe diameters at the points of pressure measurement.

If the loss elements are in different size lines than the points of pressure measurement, they need to be appropriately scaled. It is generally suggested that the losses be scaled in proportion to the 4th power of the diameter ratio. For example, if the discharge pressure is measured in a 12-inch header, and there is a 6-inch check valve with a nominal loss coefficient of 2 (applied to the 6-inch valve size), the K factor to use for the valve would be  $2 \times (12/6)$  to the 4th power, or 32. The reason for this 4th power scaling is that the velocity varies with the square of the pipe diameter, and the velocity head (to which the loss coefficients apply) is proportional to the velocity squared.

## C. 12. Pump Head Calculation [Pompa Basma Yüksekliği Hesaplama] Ekranı: Giriş Tankı Yüksekliği ve Çıkış Basıncı İle

Aşağıdaki konfigürasyon ise, giriş basıncının değil, giriş tankı (veya kuyu) yüksekliğinin mevcut olduğu durumlar içindir.

Type of measurement configuration  
Suction tank elevation, gas space pressure, and discharge line pressure



$K_s$  represents all suction losses from the tank to the pump  
 $K_d$  represents all discharge losses from the pump to gauge  $P_d$

|  |  |   |               |
|--|--|---|---------------|
| Suction pipe diameter (ID)                     | 12.000 inches                                  | Discharge pipe diameter (ID)            | 10.000 inches |
| Suction tank gas overpressure ( $P_g$ )        | 0.00 psig                                      | Discharge gauge pressure ( $P_d$ )      | 124.00 psig   |
| Suction tank fluid surface elevation ( $Z_s$ ) | 10.00 ft                                       | Discharge gauge elevation ( $Z_d$ )     | 5.00 ft       |
| Suction line loss coefficients, $K_s$          | 0.50   | Discharge line loss coefficients, $K_d$ | 1.00          |
| Fluid specific gravity                         | 1.000  | Flow rate                               | 2000.00 gpm   |
| Don't update                                   | Accept and update                              | Differential elevation head             | -5.00 ft      |
| Click to leave the main panel head unchanged   | Click to Accept and return the calculated head | Differential pressure head              | 286.54 ft     |
|  |  | Differential velocity head              | 1.04 ft       |
|  |  | Estimated suction friction head         | 0.25 ft       |
|  |  | Estimated discharge friction head       | 1.04 ft       |
|  |  | Pump head                               | 283.86 ft     |

System of units: gpm, ft, hp

**Important note about loss coefficients**  
The loss coefficients used here apply to the velocity head in the line size represented by the suction and discharge pipe diameters at the points of pressure measurement.

If the loss elements are in different size lines than the points of pressure measurement, they need to be appropriately scaled. It is generally suggested that the losses be scaled in proportion to the 4th power of the diameter ratio. For example, if the discharge pressure is measured in a 12-inch header, and there is a 6-inch check valve with a nominal loss coefficient of 2 (applied to the 6-inch valve size), the K factor to use for the valve would be  $2 \times (12/6)$  to the 4th power, or 32. The reason for this 4th power scaling is that the velocity varies with the square of the pipe diameter, and the velocity head (to which the loss coefficients apply) is proportional to the velocity squared.

Basma yüksekliği ekranındaki münferit kontrolleri ve göstergelerin açıklamaları aşağıdadır.

## C.13. Type of Measurement Configuration [Ölçüm Konfigürasyonu Tipi]

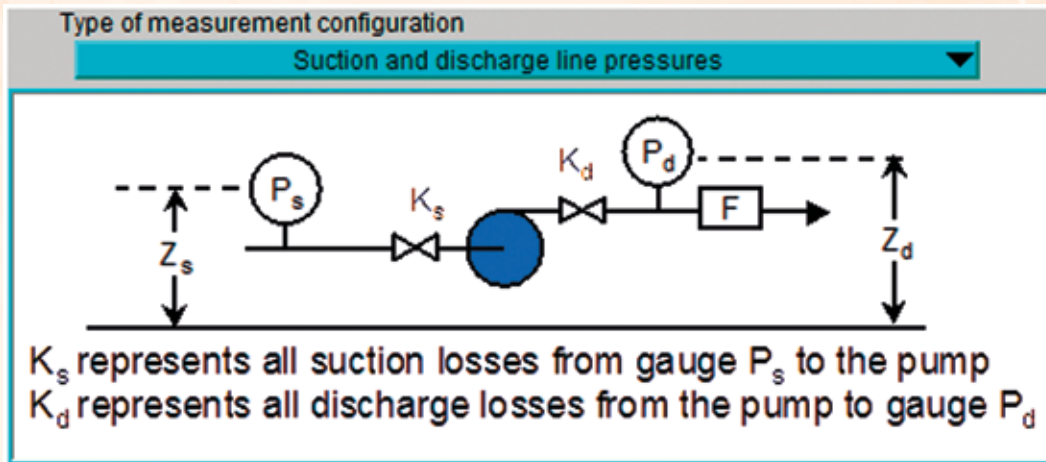
Type of measurement configuration

✓ Suction and discharge line pressures

Suction tank elevation, gas space pressure, and discharge line pressure

|   |
|---|
| Ölçüm konfigürasyonu tipi   |
| ✓ Giriş ve çıkış hattı basınçları                                   |
| Giriş tankı yüksekliği, hava boşluğu basıncı ve çıkış hattı basıncı |

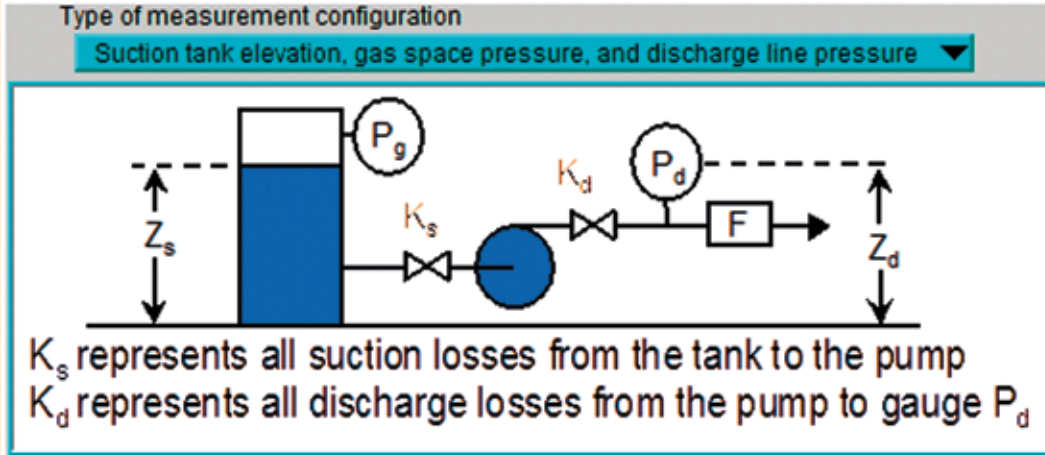
Ölçüm konfigürasyonu seçimi, ekranın üst kısmındaki açılır menü vasıtasıyla yapılır. Menüün altındaki grafik, seçilen konfigürasyonun grafik çizimini aşağıdaki gibi gösterir. Grafiğin hemen altında ise, seçilen konfigürasyona karşılık gelen giriş tarafı girdileri listesi vardır.



|  |
|--|
| Ölçüm konfigürasyonu tipi  |
| Giriş ve çıkış hattı basınçları ▼  |
| Grafik   |
| $K_s$ , $P_s$ ölçerinden pompaya kadar tüm giriş kayıplarını temsil eder<br>$K_d$ , pompadan $P_d$ ölçerine kadar tüm çıkış kayıplarını temsil eder. |

|                                       |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------|
| Suction pipe diameter (ID)            | 12.000 | inches |
| Suction gauge pressure ( $P_s$ )      | 5.00   | psig   |
| Suction gauge elevation ( $Z_s$ )     | 5.00   | ft     |
| Suction line loss coefficients, $K_s$ | 0.50   |        |

|                                      |       |      |
|--------------------------------------|-------|------|
| Giriş borusu çapı (ID)               | 12,00 | inç  |
| Giriş ölçeri basıncı ( $P_s$ )       | 5,00  | psig |
| Giriş ölçeri yüksekliği ( $Z_s$ )    | 5,00  | ft   |
| Giriş hattı kayıp katsayıları, $K_s$ | 0,50  |      |



Ölçüm konfigürasyonu tipi

Giriş tankı yüksekliği, hava boşluğu basıncı ve çıkış hattı basıncı ▼

Grafik

$K_s$ , tanktan pompaya kadar tüm giriş kayıplarını temsil eder

$K_d$ , pompadan  $P_d$  ölçerine kadar tüm çıkış kayıplarını temsil eder.

|  |        |        |
|--|--------|--------|
| Suction pipe diameter (ID)                     | 12.000 | inches |
| Suction tank gas overpressure ( $P_g$ )        | 0.00   | psig   |
| Suction tank fluid surface elevation ( $Z_s$ ) | 10.00  | ft     |
| Suction line loss coefficients, $K_s$          | 0.50   |        |

|   |       |      |
|---|-------|------|
| Giriş borusu çapı (ID)                          | 12,00 | inç  |
| Giriş tankı gaz üst basıncı ( $P_g$ )           | 0,00  | psig |
| Giriş tankı akışkan yüzeyi yüksekliği ( $Z_s$ ) | 10,00 | ft   |
| Giriş hattı kayıp katsayıları, $K_s$            | 0,50  |      |

Eğer bir girdi, iki ölçüm konfigürasyonunun türünün yalnız birinin altında görünüyorsa, **Input data [Giriş verileri]** bölümündeki açıklamalarda, başlığın sağında eğik harflerle belirtilmektedir.



## C.14.Pump Head [Pompa Basma Yüksekliği Hesaplama] Ekranı Input Data [Giriş Verileri] Bölümü

### Suction pipe diameter (ID) [Giriş borusu çapı (ID)]

|   |   |
|---|---|
| Suction pipe diameter (ID) <input type="text" value="12.000"/> inches | Giriş borusu çapı (ID) <input type="text" value="12,00"/> inç |
|---|---|

Giriş borusu iç çapı inç veya mm cinsindedir. Bu değer, giriş borusunda akışkan hızını hesaplamada kullanılır; bu da giriş hız basma yüksekliğini belirlemede kullanılır.

### Suction gauge pressure (Ps) [Giriş ölçeri basıncı (Ps)] – Giriş ve çıkış hattı basıncı konfigürasyonu

|  |   |
|--|---|
| Suction gauge pressure (Ps) <input type="text" value="5.00"/> psig | Girişölçeri basıncı (Ps) <input type="text" value="5,00"/> psig |
|--|---|

Girişölçeri basıncı psig veya kPa cinsindedir.

### Suction tank gas overpressure (Pg) [Giriş tankı gaz üst basıncı (Pg)] – Giriş tankı yüksekliği, hava boşluğu basıncı ve çıkış hattı basıncı konfigürasyonu

|   |   |
|---|---|
| Suction tank gas overpressure (Pg) <input type="text" value="0.00"/> psig | Giriş tankı gaz üst basıncı (Pg) <input type="text" value="0,00"/> psig |
|---|---|

Bu değer, psig veya kPa cinsinden, giriş tankındaki gaz üst basıncıdır. Tank (veya kuyu, göl vs.) atmosfere açık, ölçülen basınç 0 yazılmalıdır.

### Suction gauge elevation (Zs) [Giriş ölçeri yüksekliği (Zs)] – Giriş ve çıkış hattı basıncı konfigürasyonu

|   |   |
|---|---|
| Suction gauge elevation (Zs) <input type="text" value="5.00"/> ft | Giriş ölçeri yüksekliği (Zs) <input type="text" value="5,00"/> ft |
|---|---|

Ortak bir referans yükseklik noktasına göre, metre veya fit cinsinden giriş ölçeri yüksekliğidir.

Bu referans mutlak (örneğin deniz seviyesi) veya bağıl olabilir (örneğin zemin seviyesi). Ancak, aynı referans yükseklik, çıkış ölçeri yüksekliğini tanımlamada da kullanılmalıdır.

### Suction tank fluid surface elevation (Zs) [Giriş tankı akışkan yüzeyi yüksekliği (Zs)] – Giriş tankı yüksekliği, hava boşluğu basıncı ve çıkış hattı basıncı konfigürasyonu

|   |  |
|---|--|
| Suction tank fluid surface elevation (Zs) <input type="text" value="10.00"/> ft | Giriş tankı akışkan yüzeyi yüksekliği (Zs) <input type="text" value="10,00"/> ft |
|---|--|

Bu değer, ortak bir referans yükseklik noktasına göre, metre veya fit cinsinden tankın (veya kuyu, göl vs.) yüksekliğidir.

Bu referans mutlak (örneğin deniz seviyesi) veya bağıl olabilir (örneğin zemin seviyesi). Ancak, aynı referans yükseklik, çıkış ölçeri yüksekliğini tanımlamada da kullanılmalıdır.

### Suction line loss coefficients, Ks [Giriş hattı kayıp katsayıları, Ks]

|  |   |
|--|---|
| Suction line loss coefficients, Ks <input type="text" value="0.50"/> | Giriş hattı kayıp katsayıları, Ks <input type="text" value="5,00"/> |
|--|---|

Giriş hattı kayıp katsayıları, giriş referans noktası (tank seviyesi veya giriş hattı basınç ölçeri) ile pompa giriş flanşı arasındaki sürtünme basma yüksekliği kayıplarını tahmin etmek için kullanılır. Bu katsayıların Darcy-Weisbach tipi hesaplama (kayıp =  $K \times \text{hız basma yüksekliği}$ ) için geçerli olduğuna dikkat ediniz.

Bu kayıplar dirsekler, T dirsekler, giriş izolasyon vanası vs.'den ve -giriş tankı seviyesinin referans olarak kullanıldığı durumlarda- tanktan boruya giriş kaybindan kaynaklanabilir.

**ÖNEMLİ:** Tüm kayıplar, belirlenen giriş borusu çapına normalize edilmeli ve kayıp katsayısı düzeltmeleri boru çapı oranının 4'üncü kuvveti kullanılarak yapılmalıdır. Örneğin, kayıp katsayısı (K) 0,4 olan bir 12-inçlik izolasyon vanası mevcutsa, fakat basıncın ölçüldüğü yerde giriş borusu çapı 16 inç olarak ölçülmüşse -örneğin giriş basma yüksekli-

ğinde olduğu gibi- vananın kayıp katsayısı  $0,4 \times (16/12)^4$ , veya 1,26 olur.

Not: "Katsayılar" kelimesi bilinçli olarak çoğul kullanılmıştır. Giriş hattındaki tüm kayıp ögelerinin toplamını hesaba katmak içindir.

### Discharge pipe diameter (ID) [Çıkış borusu çapı (ID)]

|   |   |
|---|---|
| Discharge pipe diameter (ID) <input type="text" value="10.000 inches"/> | Çıkış borusu çapı (ID) <input type="text" value="10,00 inç"/> |
|---|---|

Çıkış borusu iç çapı inç veya mm cinsindedir. Bu değer, çıkış borusunda akışkan hızını hesaplamada kullanılır; bu da çıkış hız basma yüksekliğini belirlemede kullanılır.

### Discharge gauge pressure (Pd) [Çıkış ölçeri basıncı (Pd)]

|  |  |
|--|--|
| Discharge gauge pressure (Pd) <input type="text" value="124.00 psig"/> | Çıkış ölçeri basıncı (Pd) <input type="text" value="124,00 psig"/> |
|--|--|

Çıkış ölçeri basıncı psig veya kPa cinsindedir.

### Discharge gauge elevation (Zd) [Çıkış ölçeri yüksekliği (Zd)]

|   |   |
|---|---|
| Discharge gauge elevation (Zd) <input type="text" value="5.00 ft"/> | Çıkış ölçeri yüksekliği (Zd) <input type="text" value="5,00 ft"/> |
|---|---|

Ortak bir referans yükseklik noktasına göre, metre veya fit cinsinden çıkış ölçeri yüksekliğidir.

Bu referans mutlak (örneğin deniz seviyesi) veya bağıl olabilir (örneğin zemin seviyesi). Ancak, aynı referans yükseklik, giriş ölçeri yüksekliğini tanımlamada da kullanılmalıdır.

### Discharge line loss coefficients, Kd [Çıkış hattı kayıp katsayıları, Kd]

|  |   |
|--|---|
| Discharge line loss coefficients, Kd <input type="text" value="1.00"/> | Çıkış hattı kayıp katsayıları, Kd <input type="text" value="1,00"/> |
|--|---|

Çıkış hattı kayıp katsayıları, pompa çıkış flanşı ile çıkış basınç ölçeri arasındaki sürtünmebasma yüksekliği kayıplarını tahmin etmek için kullanılır. Bu katsayıların Darcy-Weisbach tipi hesaplama ( $kayıp = K \times \text{hız basma yüksekliği}$ ) için geçerli olduğuna dikkat ediniz.

Bu kayıplar dirsekler, T dirsekler, çıkış izolasyon vanası, kontrol vanası vs.'den kaynaklanabilir.

**ÖNEMLİ:** Tüm kayıplar, belirlenen çıkış borusu çapına normalize edilmeli ve kayıp katsayısı düzeltmeleri boru çapı oranının 4'üncü kuvveti kullanılarak yapılmalıdır. Örneğin, kayıp katsayısı (K) 2 olan bir 8-inçlik dönel kanatlı kontrol vanası mevcutsa, fakat basıncın ölçüldüğü yerde çıkış borusu çapı 16 inç olarak ölçülmüşse -örneğin çıkış basma yüksekliğinde olduğu gibi- vananın kayıp katsayısı  $2 \times (16/8)^4$ , veya 32 olur.

Not: "Katsayılar" kelimesi bilinçli olarak çoğul kullanılmıştır. Giriş hattındaki tüm kayıp ögelerinin toplamını hesaba katmak içindir.

### Fluid specific gravity [Akışkan özgül ağırlığı]

|   |   |
|---|---|
| Fluid specific gravity <input type="text" value="1.000"/> | Akışkan özgül ağırlığı <input type="text" value="1,000"/> |
|---|---|

Not: Bu değer, PSAT ana ekranından getirilir. Burada, basma yüksekliği hesaplama ekranında değiştirilebilir. Değiştirildiğinde, değiştirilen değer ile birlikte hesaplanan basma yüksekliği verilir (eğer **Click to Accept and return the calculated head [Kabul etmek ve hesaplanan basma yüksekliğini bulmak için Tıklayın]** düğmesine tıklanırsa).

### Flow rate [Debi]

|  |   |
|--|---|
| Flow rate <input type="text" value="2000.00 gpm"/> | Debi <input type="text" value="2000,00 gpm"/> |
|--|---|

Belirtilen birim cinsinden pompa debisidir (PSAT ana ekranında seçilenlere dayalı olarak).

Not: Bu değer, PSAT ana ekranından getirilir. Burada, basma yüksekliği hesaplama ekranında değiştirilebilir. Değiştirildiğinde, değiştirilen değer ile birlikte hesaplanan basma yüksekliği verilir (eğer **Click to Accept and return the calculated head [Kabul etmek ve hesaplanan basma yüksekliğini bulmak için Tıklayın]** düğmesine tıklanırsa).

### Don't update [Güncelleme] düğmesi

|   |  |
|---|--|
| <b>Don't update</b>                                 | Güncelleme   |
| <b>Click to leave the main panel head unchanged</b> | Ana ekran basma yüksekliğinin değişmeden kalması için tıklayın |

Ana ekran debi, basma yüksekliği ve özgül ağırlık değerlerini güncellemeksizin ana ekrana dönmek için bu düğmeye tıklayınız.

### Accept and update [Kabul et ve güncelle] düğmesi

|   |   |
|---|---|
| <b>Accept and update</b>                              | Kabul et ve güncelle  |
| <b>Click to Accept and return the calculated head</b> | Kabul etmek ve hesaplanan basma yüksekliğini bulmak için tıklayın |

Yukarıda belirlenen debi ve özgül ağırlık değerleri ve hesaplanan basma yüksekliğini (sağda) bulmak için bu düğmeye tıklayınız. Ana ekran bu değerleri yansıtabilecek şekilde güncellenir. Daha sonraki bir zamanda ana ekran kütüğe kaydedildiğinde, basma yüksekliği hesaplayıcı ekranındaki tüm bilgiler (hat büyüklükleri, ölçer yükseklikleri vs.) kaydedilen analiz ile birlikte saklanır.

### Differential elevation head [Yükseklik farkı basma yüksekliği]

|   |   |
|---|---|
| <b>Differential elevation head</b> <input type="text" value="0.00"/> ft | Yükseklik farkı basma yüksekliği <input type="text" value="0.00"/> ft |
|---|---|

Bu değer, giriş ve çıkış referans noktaları arasındaki yükseklik farkıdır.

Tank seviyesinin kullanıldığı durumda yükseklik farkı, giriş basınç ölçerinin yüksekliği eksi tanktaki akışkan yüzeyinin yüksekliği olur.

Hem giriş hem de çıkış ölçerinin kullanıldığı durumda, yükseklik farkı, çıkış basınç ölçerinin yüksekliği eksi giriş ölçerinin yüksekliği olur.

### Differential pressure head [Basınç farkı basma yüksekliği]

|  |  |
|--|--|
| <b>Differential pressure head</b> <input type="text" value="274.99"/> ft | Basınç farkı basma yüksekliği <input type="text" value="274.99"/> ft |
|--|--|

Basınç farkı basma yüksekliği, belirlenen özgül ağırlığa göre metre veya fit birimlerine çevrilmiş olarak, giriş ve çıkış basınçları arasındaki farktır.

### Differential velocity head [Hız farkı basma yüksekliği]

|  |   |
|--|---|
| <b>Differential velocity head</b> <input type="text" value="0.54"/> ft | Hız farkı basma yüksekliği <input type="text" value="0.54"/> ft |
|--|---|

Hız farkı basma yüksekliği, çıkış hız basma yüksekliği eksi giriş hız basma yüksekliğidir.

$$\text{Hız basma yüksekliği} = V^2/2g$$

Referans noktası olarak giriş tankı seviyesinin kullanıldığı durumda, hız farkı basma yüksekliği, çıkış hız basma yüksekliği ile aynı olacaktır, çünkü tankın akışkan hızının temelde sıfır olacak kadar büyük olduğu varsayılmaktadır.

Giriş ve çıkış hattı büyüklükleri aynı ise hız farkı basma yüksekliği sıfır olur, çünkü iki hattaki hız basma yüksekliği aynı olur.

**Estimated suction friction head [Tahmin edilen giriş sürtünme basma yüksekliği]**

|   |  |
|---|--|
| <b>Estimated suction friction head</b> <input type="text" value="0.25"/> ft | Tahmin edilen giriş sürtünme basma yüksekliği   <input type="text" value="0.25"/> ft |
|---|--|

Bu, hesaplanan hız basma yüksekliği ve belirlenen kayıp katsayılarına dayalı olarak giriş hattındaki (giriş referans noktasından pompaya kadar) sürtünme kayıplarının tahminidir. Metre veya fit olarak sürtünme kaybı:

$$H_{fs} = K_s \times V^2/2g$$

**Estimated discharge friction head [Tahmin edilen çıkış sürtünme basma yüksekliği]**

|   |  |
|---|--|
| <b>Estimated discharge friction head</b> <input type="text" value="1.04"/> ft | Tahmin edilen çıkış sürtünme basma yüksekliği   <input type="text" value="1.04"/> ft |
|---|--|

Bu, hesaplanan hız basma yüksekliği ve belirlenen kayıp katsayılarına dayalı olarak çıkış hattındaki (pompadan çıkış ölçerine kadar) sürtünme kayıplarının tahminidir. Metre veya fit olarak sürtünme kaybı:

$$H_{fd} = K_d \times V^2/2g$$

**Pump head [Pompa basma yüksekliği]**

|   |   |
|---|---|
| <b>Pump head</b> <input type="text" value="276.81"/> ft | Pompa basma yüksekliği   <input type="text" value="276.81"/> ft |
|---|---|

Bu, yükseklik, basınç, hız bileşenleri artı tahmin edilen giriş ve çıkış sürtünme kayıpları dâhil olmak üzere pompa toplam basma yüksekliğidir.

### C.15. System Curve [Sistem Eğrisi] Ekranı

**System head curve input data**

Fluid specific gravity:

System loss exponent, C:

| Point   | Flow rate                         | Head                               | Fluid power, hp                    |
|---------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Point 1 | <input type="text" value="2000"/> | <input type="text" value="277.2"/> | <input type="text" value="140.0"/> |
| Point 2 | <input type="text" value="0"/>    | <input type="text" value="100.0"/> | <input type="text" value="0.0"/>   |

Alternate:

Calculated static head:

Calculated K (loss coefficient):

Retain system curve and return to PSAT

Ignore changes, return to PSAT

Export curve info to spreadsheet

System curve source

Condition A + user specified

**Curve basis**

$H = H_s + K'Q^c$

H = Total head

K' = Loss coefficient

c = dynamic/friction loss exponent

Note 1: K' here applies to the volumetric flow rate, not the velocity head

Note 2: This simple system method does not apply to complex distribution systems where flow is delivered to multiple elevation or pressure zones.

where

$H_s$  = Static head

Q = Flow rate

Flow, head data

Simple system curve

Alternate duty

## C. 16. Sistem Eğrisi Elemanlarına İlişkin Tanımlar

### Specific gravity [Özgül ağırlık]

|                        |      |                        |      |
|------------------------|------|------------------------|------|
| Fluid specific gravity | 1.00 | Akışkan özgül ağırlığı | 1,00 |
|------------------------|------|------------------------|------|

Akışkan özgül ağırlığı, başlangıçta PSAT ana ekranında belirlenen değere ayarlanmıştır, ancak burada değiştirilebilir.

Özgül ağırlık, sistem basma yüksekliği eğrisini etkilemez ancak, özgül ağırlık ile doğrudan orantılı olan akışkan gücünü etkiler.

### System loss exponent, C [Sistem kayıp eksponenti, C]

|                         |      |                            |      |
|-------------------------|------|----------------------------|------|
| System loss exponent, C | 1.90 | Sistem kayıp eksponenti, C | 1,90 |
|-------------------------|------|----------------------------|------|

Sistem sürtünme kaybı eksponenti, sürtünme kaybı tahminlerini geliştirirken debinin yükseltileceği kuvvettir. Hem boru hem de boru bağlantılarına uygulandığı şekliyle Darcy-Weisbach denklemi eksponent olarak 2 kat gösteriyor olmakla birlikte, artan Reynolds sayısı ile sürtünme faktörünün yavaş yavaş düşmesi, net etkin eksponent 2'den biraz daha küçük olmasına neden olmaktadır.

Fark genellikle önemsizdir. Sistem basma yüksekliği eğrisinin nasıl değiştiğini görmek için 1,8 ilâ 2,0 arasında değişen eksponentler ile deneyler yapınız.

### Point 1 conditions [Nokta 1 koşulları]

|         | Flow rate | Head  | Fluid power |         | Debi | Basma yüksekliği | Akışkan gücü |
|---------|-----------|-------|-------------|---------|------|------------------|--------------|
| Point 1 | 2000      | 276.8 | 139.8       | Nokta 1 | 2000 | 276,8            | 139,8        |

Nokta 1 debi ve basma yüksekliği değerleri başlangıçta PSAT ana ekranından getirilen verilere dayalı olarak belirlenir. Hangi sistem eğrisinin kullanıldığına bağlı olarak ilk değerler şöyle olur:

Koşul A + kullanıcı tarafından belirlenen: Koşul A debisi, Koşul A basma yüksekliği

Koşul B + kullanıcı tarafından belirlenen: Koşul B debisi, Koşul B basma yüksekliği

Koşul A + Koşul B: Koşul A debisi, Koşul A basma yüksekliği

Nokta 1 için akışkan gücü, debi, basma yüksekliği ve özgül ağırlığın çarpımından hesaplanır ve PSAT ana ekranındaki birim sistemine bağlı olarak ya hp ya da kW cinsinden bildirilir.

### Point 2 conditions [Nokta 2 koşulları]

|         | Flow rate | Head  | Fluid power, hp |         | Debi | Basma yüksekliği | Akışkan gücü, hp |
|---------|-----------|-------|-----------------|---------|------|------------------|------------------|
| Point 2 | 0         | 100.0 | 0.0             | Nokta 2 | 0    | 100,0            | 0,0              |

PSAT ana ekranında Koşul A + Koşul B seçilmişse, burada gösterilen debi Koşul B'den gelen debi olur. Sair halde, kullanıcı başka bir debi ve basma yüksekliği veri çifti belirleyerek sistem eğrisini geliştirebilir. Birçok durumda bu debi = 0 olarak sistem statik basma yüksekliği olacaktır.

### Alternate duty point [Alternatif çalışma noktası]

|           | Flow rate | Head  | Fluid power, hp |            | Debi | Basma yüksekliği | Akışkan gücü, hp |
|-----------|-----------|-------|-----------------|------------|------|------------------|------------------|
| Alternate | 900       | 138.9 | 31.6            | Alternatif | 900  | 138,9            | 31,6             |

Sistem eğrisi üzerinde herhangi bir debi için basma yüksekliğini görmek üzere, **Alternate [Alternatif]** girişine debi değerini yazınız. 0 nokta için basma yüksekliği, sistem eğrisinden hesaplanır ve eğrinin yanında gösterilir ve eğri üzerinde işaretlenir (turuncu daire). Bununla ilgili akışkan gücü de gösterilir.

**System static head and K' loss coefficient [Sistem statik basma yüksekliği ve K' kayıp katsayısı]**

|  |                                    |            |
|--|------------------------------------|------------|
| Calculated static head <b>100.0</b>                | Hesaplanan statik basma yüksekliği | 100,0      |
| Calculated K' (loss coefficient) <b>9.47553E-5</b> | Hesaplanan K' (kayıp katsayısı)    | 9.47553E-5 |

Hem sistem statik basma yüksekliği hem de K' kayıp katsayısı, sağlanan Nokta 1 ve Nokta 2 debi ve basma yüksekliği değerleri bileşkesi, kayıp eksponenti C ve genel eğri karakteristik  $H(Q) = H_s + K'QC$ 'den hesaplanır.

**Retain system curve [Sistem eğrisini muhafaza et] düğmesi**

|   |   |
|---|---|
| <b>Retain system curve and return to PSAT</b> | Sistem eğrisini muhafaza et ve PSAT'a dön |
|---|---|

Bu düğmeye tıklanınca, kullanıcı PSAT ana ekranına döner. Ayrıca, eğri verilerinin PSAT'ta muhafaza edilmesini sağlar. Daha sonra ana ekran kütüğe kaydedildiğinde, sistem eğrisi bilgileri kütükte saklanır.

**Ignore changes [Değişiklikleri yok say] düğmesi**

|                                       |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Ignore changes, return to PSAT</b> | Değişiklikleri yok say ve PSAT'a dön |
|---------------------------------------|--------------------------------------|

Bu düğmeye tıklanınca, kullanıcı PSAT ana ekranına döner ancak sistem eğrisi bilgileri değiştirilmez.

**Export to spreadsheet [Hesap çizelgesine gönder] düğmesi**

|   |   |
|---|---|
| <b>Export curve info to spreadsheet</b> | Eğri bilgilerini hesap çizelgesine gönder |
|---|---|

Bu düğme, eğriyi oluşturmak için ihtiyaç duyulan parametreleri (statik basma yüksekliği, K' kayıp katsayısı ve Sistem kayıp eksponenti C) sekmeye ayrılmış metin dosyasına göndermek için kullanılır. Bu da kullanıcının bir hesap çizelgesi veya başka bir sayısal işlem programında sistem eğrisini oluşturmasına imkân tanır.

**System curve source [Sistem eğrisi kaynağı] göstergesi**

|  |   |
|--|---|
| Calculated static head <b>100.0</b>                | Sistem eğrisi kaynağı                     |
| Calculated K' (loss coefficient) <b>9.47553E-5</b> | Koşul A + kullanıcı tarafından belirlenen |

Bu, kullanıcı tarafından PSAT ana ekranında yapılan ve bu sistem eğrisi ekranını oluşturan seçimi bildiren göstergedir.

**Inconsistent flow units [Tutarsız debi birimleri] uyarısı**

|   |
|---|
| <p><b>Mismatched units from main PSAT panel</b></p> <p><b>WARNING! This panel will close in 5 seconds.</b></p> <p>You elected to send the head and flow rate values from Condition and Condition B to this system curve panel, but the system of units for the two conditions were different. The systems of units for both conditions must be the same in order for the system curve to be meaningful.</p> |
| PSAT Ana ekranı birimleriyle uyuşmadı   |
| <p>UYARI! Bu ekran 5 saniye içinde kapanacak.</p> <p>Koşul A ve Koşul B'den bu sistem eğrisi ekranına basma yüksekliği ve debi değerleri göndermeyi seçtiniz, ancak iki koşulun birim sistemi farklıydı. Sistem eğrisinin anlamlı olması için her iki koşulun birimleri aynı olmalıdır.</p>   |

Bu uyarı, kullanıcının Koşul A + Koşul B seçimi ile sistem eğrisi ekranını çağırdığı, ancak iki koşulda kullanılan birim sisteminin farklı olduğu durumda gösterilir. Sistem eğrisi yalnız ve yalnız belirlenen debi/basma yüksekliği çiftinin birimleri tutarlı olduğunda geçerli olur. Uyarıda belirtildiği üzere sistem eğrisi 5 saniye içinde otomatik olarak kapanır ve kullanıcıyı tekrar PSAT ana ekranına götürür.



“Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi” kapsamında geliştirilen bu kitap, UNDP tarafından bastırılmıştır.



SANAYİDE  
**ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN**  
ARTIRILMASI PROJESİ