KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MOTORU VE BUHAR TÜRBİNİ TAHRİKLİ POMPA SİSTEMLERİNDE ENERJİ ANALİZİ VE VERİM ARTTIRMADA YÖNTEMLER

YÜKSEK LİSANS

Makina Müh. Ahmet Salih EREN

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Kadri Süleyman YİĞİT

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MOTORU VE BUHAR TÜRBİNİ TAHRİKLİ POMPA SİSTEMLERİNDE ENERJİ ANALİZİ VE VERİM ARTTIRMADA YÖNTEMLER

YÜKSEK LİSANS

Makina Müh. Ahmet Salih EREN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 02 Temmuz 2008

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Doç. Dr. K.Süleyman YİĞİT	Prof. Dr. H.İbrahim SARAÇ	Doç. Dr. Durmuş KAYA

KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER

Dünyada ve ülkemizde enerji verimliliği gittikçe önem kazanmaktadır. Sanayicinin son zamanlarda ülke piyasasında ısrarla üzerinde durduğu konu maliyettir. Maliyeti etkileyen en önemli unsur ise enerjidir. Bu sebeple ülke genelinde enerji verimliliği çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin hem işletmelere hem de ülke ekonomisine katkısı büyüktür.

Çalışmalarımda fikirleri ile beni yönlendiren ve teşvik eden danışman hocam Doç. Dr. Kadri Süleyman Yiğit'e, Doç. Dr. Durmuş Kaya'ya, Emrah Alptekin YAĞMUR'a teşekkür ederim. Ayrıca beni daima destekleyen babam Cengiz EREN, annem Meşture EREN ve sevgili eşim Aliye EREN'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER vii
1. GİRİŞ 1
2. POMPALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE VERİMLİLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER 3
2.1. Pompa Tasarımda Verimlilik 4
2.1.1. Uygun kapasitede ve tipte pompa seçimi ve boru tesisatı tasarımı 4
2.1.2. Uygun güçte elektrik motoru seçimi 4
2.1.3. Yüksek verimli elektrik motoru seçimi 5
2.1.4. Değişken debili sistem seçimi 7
2.1.5. Frekans konvertörlü sistemler 8
2.1.6. Yardımcı ekipmanlar 10
2.2. İşletmede Tasarruf 11
3. ÖLÇÜMÜ YAPILAN POMPA VE SİSTEMİN TANITIMI 13
3.1. Bir ve İki Nolu Kazan Besleme Pompaları 13
3.2. Üç ve Dört Nolu Kazan Besleme Pompaları 14
3.3. Beş Nolu Kazan Besleme Pompaları 15
3.4. Altı ve Yedi Nolu Kazan Besleme Pompaları 16
3.5. Deniz Kenarı Deniz Suyu Pompa İstasyonu 17
4. ÖLÇÜM YÖNTEMİ, ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM SONUÇLARI 19
4.1. Elektriksel Ölçümler 19
4.1.1. Yapılan kabuller 19
4.1.2. Ölçüm şekli 19
4.1.3. Güç ölçümü 20
4.1.4. Ölçüm noktaları ve sonuçları 20
4.2. Mekaniksel Ölçümler 23
5. VERİM HESAPLARI 25
5.1. Motorlara Ait Yüklenme ve Çalışma Verimi Hesabı 25
5.2. Pompa Verim Hesapları 27
5.3. Buhar Türbini Verim Hesapları 29
5.3.1. Üç ve dört nolu kazan A pompasının buhar türbini verim hesapları 31
5.3.2. Üç ve dört nolu kazan B pompasının buhar türbini verim hesapları 32
6. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI VE ÖNERİLER 33
6.1. Mevcut Düşük Verimli Pompaların Yeni Pompalarla Değiştirilmesi 33
6.1.1. Bir ve iki nolu kazan besleme pompaları 33
6.1.2. Deniz kenarı pompaları 36
6.2. Mevcut Pompaların Verimlerinin İyileştirilmesi 38

6.2.1. Beş nolu kazan besleme B pompası 38
6.3. Elektrik Motorlarında Frekans Konvertörü Uygulanması 39
6.3.1. Bir ve iki nolu kazan 1 ve 2 nolu pompalar 39
6.3.2. Beş nolu kazan B pompası 46
6.4. Yüksek Güçte Seçilmiş Olan Elektrik Motorlarının Uygun Güçte Olanlarla Değiştirilmesi 52
6.4.1. Altı ve yedi nolu atık ısı kazanları orta basınç pompaları 52
6.5. Verimsiz ve Yüksek Kapasitede Seçilmiş Olan Buhar Türbinlerinin Yüksek Verimli ve Uygun Kapasitede Türbinlerle Değiştirilmesi 54
6.5.1. Üç ve dört nolu kazan A pompası 55
6.5.2. Üç ve dört nolu kazan B pompası 56
6.6. Yüksek Verimli Elektrik Motor Kullanımı ve Enerji Tasarrufu 58
6.7. İzolasyon Isı Kayıplarının Giderilmesi 62
6.8. Kavitasyon 64
7. SONUÇLAR 67
7.1. Mevcut Düşük Verimli Pompaların Yeni Pompalarla Değiştirilmesi 67
7.2. Verimi Belli Oranda Düşen Pompaların Bakımdan Geçirilmesi 68
7.3. Elektrik Motorlarında Frekans Konvertörü Uygulaması 69
7.4. Elektrik Motoru Uygunluğu 69
7.5. Buhar Türbin Tahrikli Pompa Türbinlerindeki İyileştirmeler 70
7.6. Yüksek Verimli Motor Kullanımı 71
7.7. İzolasyon – Enerji Kayıpları 71
7.8. Kavitasyon Problemi 71
KAYNAKLAR 72
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 74
ÖZGEÇMİŞ 75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: 65 kW'lik bir pompanın Ömür Boyu Toplam Maliyetini oluşturan bileşenler 2
Şekil 2.1: Motor veriminin yüklenmeye göre değişimi 5
Şekil 2.2: Standart ve yüksek verimli motor verimi 6
Şekil 2.3: Pompa periyodik bakımlarının verime etkisi 12
Şekil 2.4: Ekonomik ömrünü tamamlamış bir pompa çarkı örneği 12
Şekil 3.1: Elektrik motoru tahrikli pompalar (Sırasıyla 1 ve 2 nolu pompa) 13
Şekil 3.2: Buhar türbini tahrikli pompalar (Sırasıyla A ve B pompaları) 14
Şekil 3.3: Elektrik motoru tahrikli pompalar (Sırasıyla A ve B pompaları) 15
Şekil 3.4: Altı ve yedi nolu atık ısı kazanı pompaları 16
Şekil 3.5: Elektrik motoru tahrikli pompalar (Sırasıyla 2 ve 4 nolu pompalar) 18
Şekil 4.1: Ölçüm sisteminin şematik gösterimi 23
Şekil 5.1: Elektrik motoru pompa sisteminin şematik gösterimi 25
Şekil 5.2: Mollier diyagramı üzerindeki entalpilerin gösterilişi 30
Şekil 6.1: Önerilen pompa karekteristik eğrileri 34
Şekil 6.2: Önerilen pompa karekteristik eğrileri 36
Şekil 6.3: Yeni pompa karekteristik eğrileri 38
Şekil 6.4: Bir ve İki nolu kazan besleme pompalarının debi ve basıncına ait işletme koşullarında alınan bir aylık değişim grafikleri 40
Şekil 6.5: Pompanın akışkana aktarmış olduğu gücünün bir aylık değişimi 41
Şekil 6.6: Elektrik motorun pompaya aktarmış olduğu mekanik gücün bir aylık değişimi (P_{mek}) 42
Şekil 6.7: Devir sayısına bağlı olarak debi-basma yüksekliği değişim eğrisi 42
Şekil 6.8: Değişken hızlı sürücü (VSD) sonucunda pompaya aktarılan gücün bir aylık değişimi 44
Şekil 6.9: Beş nolu kazan buhar akışı ve kazan besleme akımının gün içerisindeki değişimi 48
Şekil 6.10: Beş nolu kazan B pompası mevcut ve FK uygulama durumundaki karakteristik eğrisi 49
Şekil 6.11: Yeni pompa karekteristik eğrileri 53
Şekil 6.12: Buhar türbinlerine ait karakteristik eğri 55
Şekil 6.13: Buhar türbinlerine ait karakteristik eğri 57
Şekil 6.14: Yalıtımı yapılmamış buhar türbini 63
Şekil 6.15: Yalıtımı yapılmış buhar türbini 64
Şekil 6.16: Deniz kenarı tuzlu su pompa istasyonundan sökülen pompa resmi 66

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Motor verimlerinin karşılaştırılması 7
Tablo 3.1: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri 14
Tablo 3.2: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri 15
Tablo 3.3: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri 16
Tablo 3.4: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri 17
Tablo 3.5: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri 18
Tablo 4.1: Ölçüm yapılan Elektrik Motorları ve nominal (etiket) değerleri 21
Tablo 4.2: Bir ve İki Kazan, Kazan Besleme 1 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü 21
Tablo 4.3: Bir ve İki Kazan, Kazan Besleme 2 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü 21
Tablo 4.4: Beş Nolu Kazan, B Pompası Elektrik Motoru Güç Ölçümü 22
Tablo 4.5: Altı Nolu Atık Isı Kazanı, Orta Basınçlı 2 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü 22
Tablo 4.6: Yedi Nolu Atık Isı Kazanı, Orta Basınçlı 1 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü 22
Tablo 4.7: Deniz Kenarı, 2 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü 22
Tablo 4.8: Deniz Kenarı, 4 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü 23
Tablo 5.1: Elektrik Motorların yüklenme, verim ve pompaya aktarılan güç değerleri 27
Tablo 5.2: Bir ve İki nolu kazan pompaları verim hesap sonuçları 28
Tablo 5.3: Üç ve Dört nolu kazan pompaları verim hesap sonuçları 28
Tablo 5.4: Beş nolu kazan B pompası verim hesap sonucu 28
Tablo 5.5: Altı nolu atık ısı kazanı 2 nolu pompa verim hesap sonucu 28
Tablo 5.6: Yedi nolu atık ısı kazanı 1 nolu pompa verim hesap sonucu 29
Tablo 5.7: Deniz kenarı tuzlu su iki ve dört nolu pompaları verim hesap sonuçları . 29
Tablo 5.8: Buhar türbini adyabatik, çalışma ve kullanılabilirlik verimleri hesap sonuçları 31
Tablo 5.9: Buhar türbini adyabatik, çalışma ve kullanılabilirlik verimleri hesap sonuçları 32
Tablo 6.1: Mevcut ve önerilen pompa basınç, debi, verim ve elektrik motor gücü değerleri 34
Tablo 6.2: Mevcut pompaların yenileri ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 35
Tablo 6.3: Bir tek pompanın sürekli olarak çalıştırılması durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 35
Tablo 6.4: Mevcut ve önerilen pompa basınç, debi, verim ve elektrik motor gücü değerleri 36
Tablo 6.5: Mevcut pompaların yenileri ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 37

Tablo 6.6: Dört nolu pompanın sürekli olarak çalıştırılması durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 37
Tablo 6.7: Mevcut ve yeni pompa basınç, debi, verim ve elektrik motor gücü değerleri 38
Tablo 6.8: Mevcut pompanın revizyonu ile yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 39
Tablo 6.9: Bir aylık zaman boyunca akışkan gücü ve pompaya aktarılan P_{mek} güç değerleri 41
Tablo 6.10: Değişken hızlı sürücü (VSD) uygulaması durumundaki devir sayısı ve P_{mek} 44
Tablo 6.11: Beş nolu kazan buhar debisi ve kazan besi pompası elektrik motorunun çektiği akım ve güç tüketimi 47
Tablo 6.12: Dört Farklı Bölge için Ortalama Debi, Ortalama Güç ve Çalışma Süresi 48
Tablo 6.13: VSD uygulaması durumundaki devir sayısı ve motor güç tüketimi 50
Tablo 6.14: Günlük enerji tasarrufu 50
Tablo 6.15: Frekans konvertörü uygulanması önerilen pompalar, yıllık enerji ve parasal tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri 52
Tablo 6.16: Mevcut ve yeni elektrik motorlarına ait hesaplamalar 54
Tablo 6.17: Mevcut elektrik motorunun yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 54
Tablo 6.18: Mevcut ve önerilen buhar türbinlerine ait hesaplamalar 56
Tablo 6.19: Mevcut buhar türbininin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 56
Tablo 6.20: Mevcut ve önerilen buhar türbinlerine ait hesaplamalar 57
Tablo 6.21: Mevcut buhar türbininin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 58
Tablo 6.22: Motor verimlerinin karşılaştırılması 59
Tablo 6.23: Elektrik Motorlarının Çalışma Süresi 61
Tablo 6.24: Yüksek Verimli Motor Kullanımı ile Enerji Tasarrufu 62
Tablo 6.25: Termal kamera ölçümü yapılan buhar türbinler 62
Tablo 6.26: İşletmedeki ölçüm yapılan pompaların kavitasyon hesapları 65
Tablo 7.1: Düşük verimli pompaların yeni pompalarla değiştirilmesi durumunda aynı şartlar için mevcut ve tasarruf sonucundaki verim değerleri, tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri 68
Tablo 7.2: Yenilenmiş bir tek pompanın sürekli olarak çalıştırılması durumunda aynı şartlar için mevcut ve tasarruf sonucundaki verim değerleri, tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri 68
Tablo 7.3: Verimler belirli oranda düşen pompalarda mevcut verim, revizyon sonrası potansansiyel enerji ve mali tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri 69
Tablo 7.4: Frekans konvertörü uygulanması önerilen pompalar, yıllık enerji ve parasal tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri 69
Tablo 7.5: Mevcut elektrik motorunun yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 70
Tablo 7.6: Mevcut buhar türblerinin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi 70

SİMGELER

AR0	: Termal kameranın ölçtüğü alan sıcaklığı, (ºC)
ÇS	: Çalışma süresi, (saat)
ENPY	: Pompa emme hattındaki net pozitif yük, (m)
ET	: Enerji tasarrufu, (kW)
H_{emaks}	: Emme hattının maksimum yüksekliği, (m)
h	: Entalpi (kj/kg)
I	: Akım, (A)
KF	: Kullanma faktörü,
KMT	: Yıllık kullanımdan kaynaklanan tasarrufun parasal karşılığı, ($/yıl)
LI0	: Termal kameranın ölçtüğü yüzey sıcaklığı, (ºC)
MÇA	: Motorun çektiği akım, (A)
MS	: Aynı güçteki motor sayısı,
p	: Basınç, (bar, N/m^2)
P	: Güç, (kW)
Q	: Debi, (m^3/h)
T	: Sıcaklık, (ºC)
V	: Gerilim, (V)
W	: İş, (joule)
YK	: Yüklenme katsayısı,
η	: Verim,(%)

Alt indisler

a	: akışkan
e	: emme hattı
k	: elde edilen kullanılabilirlik
mek	: motorun miline bağlı pompaya aktarmış olduğu mekanik değer
t	: türbini
tersinir	: buhar türbininden alınan ekserjik değeri
th	: adyabatik

Kısaltmalar

FK	: Frekans Konvertörü
GF	: Güç Faktörü
ÖBM	: Ömür Boyu Maliyet
VSD	: Değişken Hız Kontrolü

ELEKTRİK MOTORU VE BUHAR TÜRBİNİ TAHRİKLİ POMPA SİSTEMLERİNDE ENERJİ ANALİZİ VE VERİM ARTTIRMADA YÖNTEMLER

Ahmet Salih EREN

Anahtar Kelimeler: Pompa, Elektrik Motoru, Buhar Türbini, Enerji, Verim, Yatırım, Maliyet.

Özet: Bu projede bir sanayi kuruluşuna ait pompalarda "enerji verimliliği" çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, mevcut sistemdeki başlıca tasarruf imkanları araştırılmış, her bir tasarruf alanı tek tek ele alınıp incelenmiştir. Bu amaçla her bir pompa için farklı işletme koşullarında ve maksimum yükte; akışkan debisi, basıncı ve sıcaklığı ölçülmüştür. Ayrıca elektrik tahrikli pompalarda elektrik motorunun çektiği elektrik gücü ile buhar türbini tahrikli pompalarda buhar giriş-çıkış basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçüm verileri kullanılarak mevcut pompa, elektrik motoru ve buhar türbini verimleri hesap edilmiştir.

Hesap sonuçları göz önüne alınarak her bir pompa, elektrik motoru ve buhar türbini için potansiyel tasarruf imkânları araştırılmıştır. Bunun sonucunda her bir sistemde yapılabilecek iyileştirmeler ve bu iyileştirmeler için gerekli yatırım miktarı belirlenmiş, geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

METHODS FOR INCREASING IN EFFICIENCY AND ENERGY ANALYSES ABOUT ELECTRIC MOTOR AND STEAM TURBINE DRIVEN PUMPS

Ahmet Salih EREN

Keywords: Pump, Electric Motor, Steam Turbine, Energy, Efficiency, Investment, Cost.

Abstract: This project is a study for energy efficiency of the pumps which has been carried out in industry organ. As a conclusion of this studies, investigated of mainly saving opportunity in present system, examined every saving conditions one by one. For purpose of this; flow rate, pressure and temperature has been measured for each pump in different operating conditions and at maximum load. In addition, in electrical driven pumps, electrical power which has been drawn by the electric motor and at steam turbine driven pumps the steam inlet and outlet pressure and temperatures have been measured. The efficiencies of existing pumps, electric motor and steam turbine have been calculated by using measured data.

Potential saving opportunities have been studied by taking into account the results of the calculations for each pump, electric motor and steam turbine. As a conclusion of this, the improvements should be made and in each system and required investment amount for these improvements have been determined and return payments periods have been calculated.

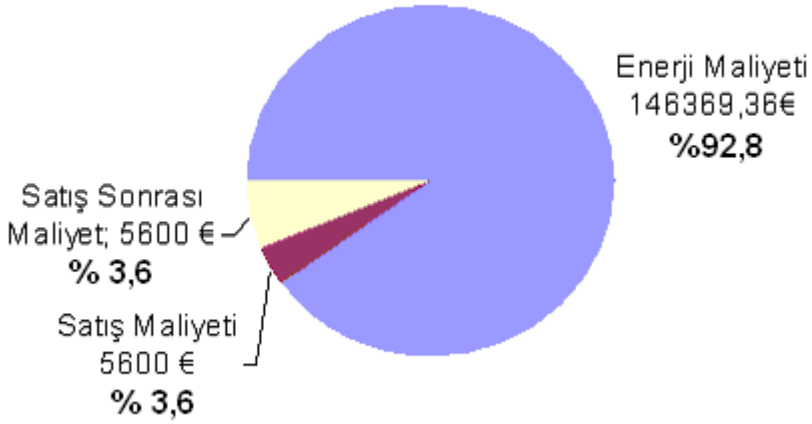
1. GİRİŞ

Yapılan enerji tasarrufu çalışmalarında, enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu alanlardan birinin de pompalama sistemleri olduğu görülmüştür [1]. Amerikan Hidrolik Enstitüsünün yaptığı bir araştırmada gelişmiş ülkelerde tüketilen enerjinin %20 si pompalar tarafından tüketilmektedir. İyi bir sistem dizaynı ve uygun pompaların seçimiyle bu enerjinin %30'unun tasarruf edilebileceği açıklanmıştır. Bu durum, pompa üretici ve kullanıcılarında sistemin daha verimli üretimi ve işletimine dönük arayışlara neden olmuştur. Ayrıca bazı ülkelerde bu konuda yasal düzenlemeler yapılmaya başlanmıştır. Örneğin, Avrupa topluluğunda ($P < 2,5$ kW) sirkülasyon pompalarının da mecburi olarak etiketlenmesi son aşamaya gelmiştir. Almanya'da üretilen sirkülasyon pompalarında da enerji verimliliğini gösteren harflerin pompa etiketlerine konulması mecburi olmuştur. Ayrıca, Avrupa topluluğunda santrifüj pompaların satın alınırken pompa veriminin uygunluğunun müşteri tarafından kontrol edilebilmesi için yapılan çalışmalar sonunda, debisi, basma yüksekliği ve devir sayısı bilinen pompanın veriminin ne olması gerektiğini belirten diyagramlar yayınlanmıştır [2, 3].

Bir pompa sisteminin maksimum verimli bir şekilde çalışması için, pompaların yüksek verimli olması tek başına yeterli değildir. Pompa sistemlerinin verimli bir şekilde çalışmaları ancak ve ancak, pompanın dizaynına, komple sistemin iyi bir şekilde dizayn edilmesine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Aksi taktirde en verimli pompanın, yanlış dizayn edilen ve yanlış montajı yapılan bir sistemde, verimsiz bir hale dönüşmesi kaçınılmazdır [4, 5, 6].

Pompa ve motor satın alınırken, sadece ilk satın alma maliyetine göre değil, Ömür Boyu Maliyet (ÖBM) hesabına göre tercih yapılmalıdır [7]. ÖBM içinde satın alma, bakım, enerji maliyeti, arıza halinde üretim kaybı maliyeti, söküp atma maliyeti, gibi tüm maliyetler unsurları hesaba katılmaktadır. Europump ve Hydraulic Institute

tarafından 65 kW gücünde bir derinkuyu pompası için yapılan ÖBM analizi sonucunda maliyet dağılımı Şekil 1.1'de verilmiştir. Burada söz konusu pompa için yıllık çalışma süresi 4000 saat, elektrik maliyeti 0,075 Euro/kWh ve servis ömrü 10 yıl alınmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi pompanın ilk satın alma maliyeti ömür boyu maliyet içinde payı sadece %3,6 iken, enerji maliyeti %92,8, bakım maliyeti ise %6,6'dır. Bu maliyet analizi sonucunda, yüksek verimli ve dayanıklı pompaların kullanımının daha avantajlı olacağı sonucunu çıkarabiliriz.



Şekil 1.1: 65 kW'lik bir pompanın Ömür Boyu Toplam Maliyetini oluşturan bileşenler

2. POMPALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE VERİMLİLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Pompalarda enerjinin etkin kullanılması tasarımında ve işletme anında olmak üzere iki aşamada düşünülebilir [8, 9, 10].

Tasarımında

- Uygun kapasitede ve tipte pompa seçimi ve boru tesisatı tasarımı yapılmalı,
- Uygun güçte elektrik motoru seçilmeli,
- Yüksek verimli elektrik motoru tercih edilmeli,
- Değişken debili sistemler için ekonomik bir sistem seçilmeli (frekans konvertörü vs.),
- Uygun yardımcı ekipmanlar (salmastra, yatak vs.) seçilmeli,
- Pompa sayısının artırılması ve pompaların paralel olarak ihtiyaca göre devreye girmesi özellikle değişken debili sistemlerde enerji tasarrufu sağlayabilir.

İşletme

- Vana, boru hattı ve pompalarda oluşabilecek tıkanmalar giderilmeli,
- Boru devresi sızdırmazlığı giderilmeli,
- Kayış, kasnak ve yatakların bakımı yapılmalı,
- Filtrelerin bakımı düzenli yapılmalı,
- Isıtma devrelerinde ısı yalıtımı yapılmalı,
- Titreşim önlenmeli,
- Mevcut pompalarda frekans kontrolü uygulaması incelenmeli,
- Aşınan pompa fanlarında yüzey kaplama yapılmasıdır.

2.1.Pompa Tasarımda Verimlilik

2.1.1. Uygun kapasitede ve tipte pompa seçimi ve boru tesisatı tasarımı

Bir pompa seçimini tasarlarken en etkin ve verimli sistemi seçebilmek için prosesin tam ihtiyacını bilmek gerekir. Sistemin yıl boyunca debi-zaman aralığı ve basma yüksekliği çok iyi bilinmelidir [11].

Sistem maksimum kapasiteyi karşılayacak şekilde seçilmeli, fakat ekonomik açıdan da sistemin zamanın çoğunda hangi kapasitede çalışacağı bilinmelidir. Bunlar bilindikten sonra, boru sistemi dizayn edilebilir. Eğer maksimum kapasite çok kısa süre için gerekli ise, büyük çaplı boruya ihtiyaç yoktur. Eğer sistem zamanının büyük bölümünde maksimum kapasitede çalışıyor ise, boru çapının tayininde bu durum dikkate alınmalıdır.

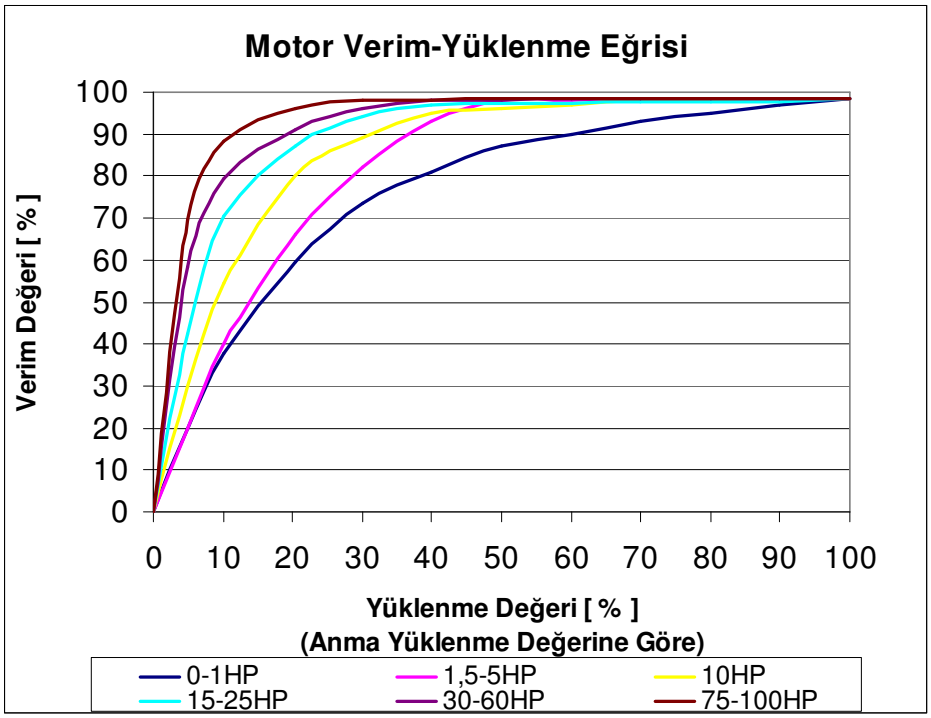
Boru sistemi dizayn edilirken, sistem eğrisi de kesinlikle çizilmelidir. Maksimum verimli ve en uygun çalışma aralığına sahip pompanın seçilmesi çok önemlidir, pompaların ÖBM içinde ilk satın alma maliyetleri sadece %3-5 arasında kalması, pompa satın alırken işletmecilerin daha dikkatli seçim yapmasını zorunlu kılmaktadır [7].

2.1.2. Uygun güçte elektrik motoru seçimi

Motorların uygun güçte seçimi verimli çalışması için çok önem arz etmektedir. Genelde motor kapasiteleri ekstra yüklenmeleri de karşılayabilmeleri için büyük seçilir. Bu durum motorların düşük yükte ve dolayısıyla verimsiz çalışmasına neden olmaktadır. Normalde motorlar anma yükünün %75 değeri ve üzerindeki değerlerde daha verimli çalışmaktadır. Anma yükünün %50 değerinden daha düşük yüklerde çalışan motorlar ise kapasite bakımından büyük seçilmiş olup verimsiz çalışmakta ve reaktif akım artışından dolayı güç faktörleri de düşmektedir. Bu tip motorlar ihtiyaca göre büyük güçlü seçildiklerinden enerjiyi verimli bir şekilde tüketmemektedir.

Bu motorlar en kısa zamanda uygun kapasitedeki motorlar ile değiştirilmeli ve yeni motor satın alınırken ise enerji tasarruflu motorlar tercih edilmelidir.

Motorun etiketinde belirtilen verimi motor tam yükte iken verimini gösterir. Farklı yüklerdeki verim değeri ise etiketinde belirtilen bu değerden farklıdır. Şekil 2.1 de motor veriminin yüklenmeye göre değişimi görülmektedir. Motorun hangi verimde çalıştığı verim yüklenme eğrisine bakılarak belirlenmektedir. Verim değeri; motor %75 ve daha büyük yüklenme değerinde çalışırken maksimum değere eşittir. Motorlar için tercih edilen optimum çalışma bölgesi anma yükünün %60-%90 bölgesi olup ideal durum ise motorun tam yükünde çalıştırılmasıdır [12].



Şekil 2.1: Motor veriminin yüklenmeye göre değişimi

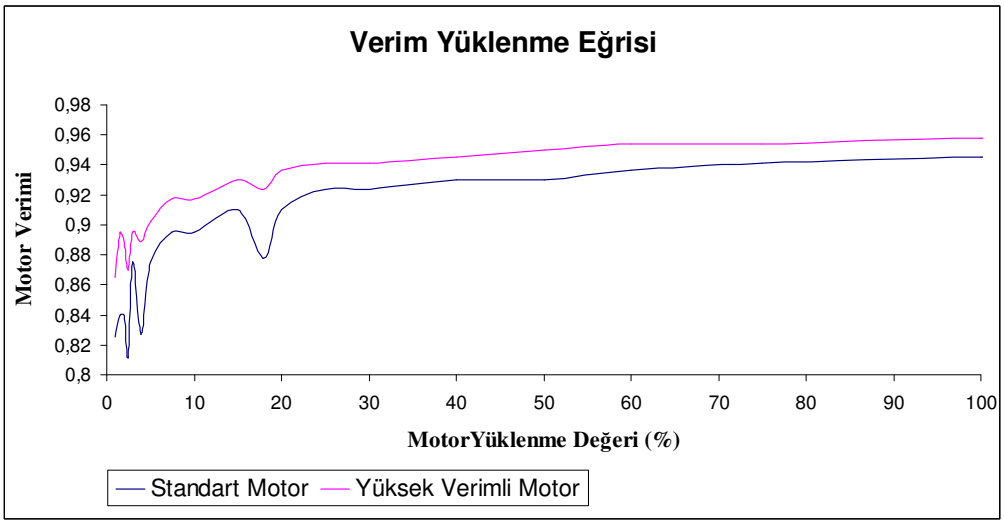
2.1.3. Yüksek verimli elektrik motoru seçimi

İşletmelerde elektrik motorlarının tükettiği enerji, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle işletmede "yüksek verimli" motorları seçmek önemlidir. Bütün motorlar gibi elektrik motorları da kullandıkları enerjinin tamamını mekanik enerjiye çeviremezler. Motorun mekanik güç çıkışının, çekilen elektrik

gücüne oranı motor verimi olarak adlandırılır ve motor tipi ve büyüklüğüne göre %70 ile %96 arasında değişir. Ayrıca kısmi yükte çalışan motorların verimleri de düşüktür. Bu verimler de motordan motora değişiklik gösterir. Örnek olarak bir motorun tam yükte verimi %90, yarı-yükte %87 ve ¼ yükte %80 iken aynı özelliklerdeki başka bir motorun tam yükteki verimi %91 iken ¼ yükte %75 verimle çalışabilir.

Son yıllarda geliştirilen yüksek verimli motorların maliyetleri standart motorlara göre %10-20 daha pahalı olmakla birlikte, çoğu zaman işletme maliyetlerinin düşük olmaları nedeni ile bu fark kısa bir sürede geri kazanılır. Bu motorların sargılarında kullanılan bakır iletkenin kesitinin arttırılması ile primer I^2R kayıpları düşürülebilir. Demir göbek kayıpları akı yoğunluğunun azalması ile genellikle stator göbeğinin boyutunun arttırılması ile sınırlanabilir. Bunun yanında bu kayıplar levha kalınlığının azalması ve kaliteli alaşım kullanılarak da azaltılabilir. Ayrıca yüksek verimli motorlarda azalan kayıplar nedeniyle, açığa çıkan ısının dışarıya verilmesi gereksinimi azalır.

Standart motor ile yüksek verimli motorların verimle ilgili kıyaslamalar Tablo 2.1. ve Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Standart ve yüksek verimli motor verimi

Tablo 2.1: Motor verimlerinin karşılaştırılması

Nominal Motor Gücü (hp)	Nominal Motor Gücü (kW)	Standart tip motor ortalama verimi	Yüksek verimli motor ortalama verimi
1	0,746	0.825	0.865
1,5	1,119	0.840	0.894
2	1,492	0.840	0.888
2.5	1,865	0.812	0.870
3	2,238	0.875	0.895
4	2,984	0.827	0.889
5	3,73	0.875	0.902
7.5	5,595	0.895	0.917
10	7,46	0.895	0.917
15	11,19	0.910	0.930
18	13,428	0.878	0.924
20	14,92	0.910	0.936
25	18,65	0.924	0.941
30	22,38	0.924	0.941
40	29,84	0.930	0.945
50	37,3	0.930	0.950
60	44,76	0.936	0.954
75	55,95	0.941	0.954
100	74,6	0.945	0.958
125	93,25	0.945	0.954
150	111,9	0.950	0.958
200	149,2	0.950	0.958
250	186,5	0.954	0.962
300	223,8	0.954	0.962

Not: Değerler sekiz firmanın ortalama değeri olup, motor tam yükte olması durumu için geçerlidir.

2.1.4. Değişken debili sistem seçimi

Değişken debili bir pompa sistemi elde etmenin değişik yöntemleri:

- Pompayı ihtiyaç olunca çalıştırmak (kesintili çalışma)
- Pompayı devamlı çalıştırarak akışkanın bir bölümünü depoya geri göndermek (Bypass sistemi)
- Sistemi bir depodan besleyerek pompayı depo seviyesine göre kesintili çalıştırmak
- Pompa çıkışındaki debi kontrol vanası ile sistem eğrisini değiştirerek debiyi ayarlamak
- Sabit devirli elektrik motoru ile pompa arasına hidrolik veya elektrikli kavrama koyarak pompa devrini debi veya basınç ihtiyacına göre ayarlamak

- Paralel çalışma pompa sistemi kurmak
- Kayış kasnak sistemi ile pompa devrinin değiştirilmesi
- Frekans konvertör kullanmak

Yukarıda verilen yöntemlerden en çok kullanılan ve gittikçe de yayınlaşan Frekans Konvertörlü sistemlerdir.

2.1.5. Frekans konvertörlü sistemler

Son zamanlarda elektronikteki gelişmeler sonucunda frekans değiştiricilerin fiyatları ucuzlamış ve pompalarda kullanılması ekonomik hale gelmiştir. Frekans değiştiriciler (FK) gerçekte ne ölçüde tasarruf sağladıkları, debinin değişken olmasına bağlıdır. Değişken yüklerde çalışan sistemlerde, vana ile kısma yapılması yerine FK kullanılması enerji tüketimini azaltacaktır. Debi değişken değil ise en uygun çözüm en iyi verim noktasında çalışan sabit devirli bir pompadır. Genel olarak FK cihazları %2 ile %6 arasında güç harcar. Bu kayıplar motor hızı (frekans) düştükçe az miktarda artar. Bununla birlikte, bu kayıpların pompanın düşük hızlarda çalıştırılması ile tasarruf edilecek enerji ile kıyaslandığında ihmal edilebileceği görülür. Mevcut bir motora FK adapta edilecekse, motorun ve frekans konvertörünün elektriksek karakterlerinin birbiriyle uyumlu olmasına dikkat edilmelidir, aksi taktirde sistemin problemlerle karşılaşması kaçınılmazdır [13].

Frekans konvertörü takılarak yapılacak enerji tasarrufunun ekonomikliğinin incelenmesi için:

- İlk adım olarak sistem debisinin çalışma süresi içerisindeki yüzde dağılımının belirlenmesi,
- Debideki yüzde değişime bağlı olarak güçteki değişimin mukayeseli olarak belirlenmesi
- Ağırlıklı güç dağılımının belirlenmesi,
- Tam hızdaki (veya mevcut şartlardaki) güç değerinin tespiti,
- Ağırlıklı güç tasarrufunun tespiti,

- Yıllık çalışma süresine göre tasarruf edilecek enerjinin parasal değerinin belirlenmesi
- Frekans konvertörünün fiyatı ve işletme maliyeti tespit edilmelidir.

Pompa performansının hıza bağlı olarak değişimi, benzeşim kanunları ile açıklanabilir. Ancak, benzeşim kanunları, sistemi değerlendirmeden tek başına güç tüketimi için kullanılamaz, sistem ve sistem eğrisi hesaba katılmalıdır.

Benzeşim Kanunları

- Devir sayısına bağlı olarak Debinin, Basıncın ve Gücün değişimi:

$$Q_2=Q_1\,(n_2/n_1) \quad \Delta P_2=\Delta P_1\,(n_2/n_1)^2 \quad N_2=N_1\,(n_2/n_1)^3 \quad \rho \text{ ve } D=\text{sbt.} \qquad (2.1)$$

- Rotor çapına bağlı olarak Debinin, Basıncın ve Gücün değişimi:

$$Q_2=Q_1\,(D_2/D_1)^3 \quad \Delta P_2=\Delta P_1\,(D_2/D_1)^2 \quad N_2=N_1\,(D_2/D_1)^5 \quad n \text{ ve } \rho=\text{sbt.} \qquad (2.2)$$

- Yoğunluk değişimine bağlı olarak Basıncın ve Gücün değişimi:

$$\Delta P_2=\Delta P_1\,(\rho_2/\rho_1) \quad N_2=N_1\,(\rho_2/\rho_1) \quad n, D \text{ ve } Q=\text{sbt.} \qquad (2.3)$$

Bu eşitliklere göre;

- Akış devir sayısı ile doğru orantılıdır,
- Basınç devir sayısının karesi ile doğru orantılı şekilde değişir,
- Güç devir sayısının küpüyle doğru orantılı şekilde değişir.

Teorik olarak, devir sayısının %80'e indirilmesi durumunda debi %80, basınç %64 (=0.8x0.8) ve güç % 51.2 (=0.8x0.8x0.8) değerine düşmektedir.

Benzeşim kanunları özellikle debi ve basma yüksekliği için iyi sonuç verir. Hızın çok düşürülmesi sonucu sürtünme kuvvetlerinin hidrolik kuvvetlere oranı değiştiğinden verim eğrileri değişiklik gösterir. Değişken hızlı pompalarda pompaların debisi o devirdeki nominal debinin (en verimli noktadaki debi) yaklaşık olarak %60'ının altına düşürülmemelidir. Pompa çalışma noktasındaki debi değerinin, nominal debinin %60 altına düşmesi durumunda çark içindeki akış düzeni değişmekte, emme ve / veya basma taraflarında geri dönüş akışları başlamaktadır. Bu durumda pompada titreşimler ve aşırı ses ve aşırı verim düşümü meydana gelmektedir. Sistemde statik basma yüksekliği ne kadar yüksek ise, bu problemler o kadar çok olacaktır. Yüksek statik basma yüksekliğinde, hızdaki ufak düşüş durumunda dahi pompa sürekli çalışmaması gereken bölgelerde çalışabilir. Hızın daha fazla düşürülmesi, pompanın sıfır debi noktasında çalıştırılmasına neden olabilir. Bu durumda pompa tam hızda çalışması gerekenden daha az enerji harcar, ama bastığı debi, sıfır olduğunda pompaya verilen enerji akışkana transfer edilir ve ısınmaya neden olur. Statik basma yüksekliğinin olmadığı veya çok az olduğu ve değişkenlik arz eden sistemlerde, FK pompa sistemleri ile önemli derecede enerji tasarrufu sağlanabilir. Statik basma yüksekliğinin fazla olduğu sistemlerde ise FK pompa sistemlerinin enerji tüketimi yönünden faydası olmayabilir, hatta enerji tüketimini arttırabilir [14].

2.1.6. Yardımcı ekipmanlar

Soğutma, ısıtma ve quench sıvısı, pompanın emniyetli ve güvenilir şekilde çalışması için gerekli olabilir ve bu yardımcı ekipmanların ÖBM önemli miktarda tutabilir. Yardımcı ekipmanlar genellikle salmastraların uzun süre sorunsuz çalışması için kullanılır. Salmastra problemleri pompalarda yaşanan problemin %70'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle uygun ve güvenilir salmastra seçimi oldukça önemlidir [7].

Soğutmanın birinci amacı salmastranın çalıştığı ortamda sıcaklığı düşürmektir. Buna karşılık soğutma iki yönde enerji kaybı demektir.
-Birincisi soğutma sisteminin kendi motor ve pompa sistemi olabilir,

-İkincisi ise soğutma sistemi proses sıvısından ısıyı alır ve proses sıvısının tekrar enerji vererek ısıtılması gerekir.

Yeni geliştirilen salmastra sistemleri sayesinde soğutmasız mekanik salmastralar çok yüksek sıcaklıklara kadar kullanılmaktadır.

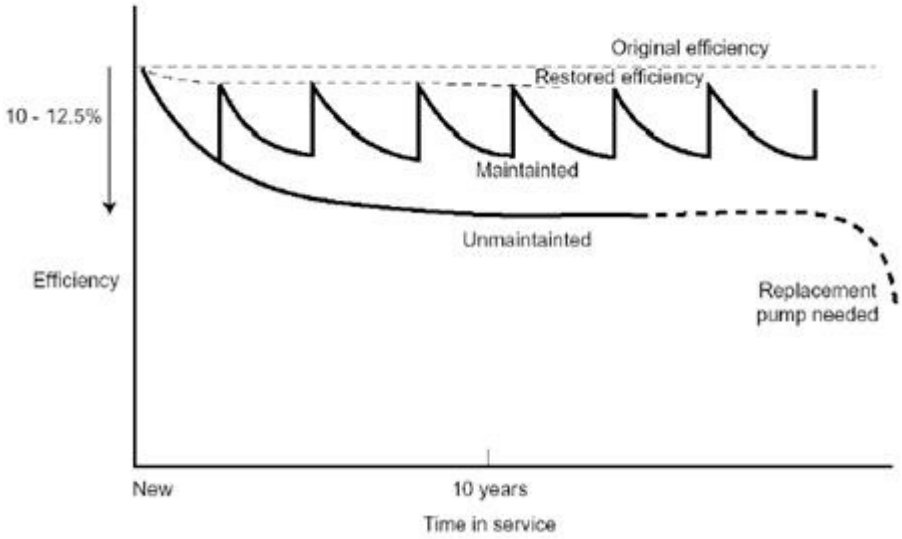
2.2.İşletmede Tasarruf

Pompalarda işletme aşamasında karşılaşın en önemli performans kaybı, pompaların kısmi yükte çalıştırılmalarından kaynaklanmaktadır. Pompaların nominal kapasitelerinde çalıştırılmaları durumunda en yüksek verim elde edilir. Ayrıca, santrifüj pompalarda maksimum verimin olduğu nominal debi değeri %100 kabul edilirse, yaklaşık %40 debi değerinde çalıştıklarında genellikle titreşim, radyal yüklerde artış, aşırı ses ve verim düşüşü yaşanır. Bu nedenle pompaların nominal kapasitelerine yakın çalıştırılmalarına özen gösterilmelidir [15].

Vana, boru hattı, pompalarda oluşabilecek tıkanmalar ve boru devresi sızdırmazlığı giderilmesi, kayış, kasnak, yataklar ve filtrelerin bakımının düzenli yapılması, ısıtma devrelerinde ısı yalıtımının yapılması ve sistemde titreşim önlenmesi önemi oranda enerji ve mali tasarruf sağlayacaktır [16].

Yukarıda tasarım aşamasında pompalarda, değişken debili sistemlerin ekonomikliğinin irdelenmesi gerektiği belirtilmişti. Aynı şekilde mevcut pompalara içinde bu analizlerin yapılması son derece önem arz etmektedir. Yapılan birçok enerji verimliliği çalışmasında, mevcut pompalara frekans kontrolü uygulanmasının, önemli oranda tasarruf sağlayacağı hesaplanmıştır [13].

Pompalar her makina gibi zamanla aşınır, debisi ve basma yüksekliği azalır. Bu durumdaki pompa onarılarak tekrar devreye alındığında ve onarılmadığı durumda pompa veriminin değişimi (Şekil 2.3)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Pompa periyodik bakımlarının verime etkisi

Ekstra maliyetine rağmen, pompa yüzey kaplaması ve yüzey pürüzlülüğünü gidermek için yapılacak parlatma işlemi pompanın verimliliği arttırabilir. Özellikle küçük güçteki pompalarda bu çok daha etkilidir [17].

Pompalar çalışma koşullarına bağlı olarak belli bir ömür periyodunda ekonomik ömrünü tamamlanmaktadırlar. Bu durumda olan pompalar belirli bir yatırım planında yenilenmelidir. Şekil 2.4 ekonomik ömrünü tamamlamış bir pompa çarkı örneği verilmiştir.



Şekil 2.4: Ekonomik ömrünü tamamlamış bir pompa çarkı örneği

3. ÖLÇÜMÜ YAPILAN POMPA VE SİSTEMİN TANITIMI

Ölçüm yapılan işletmede analizleri yapılan her bir pompa işletmedeki numaralarına göre gruplanıp değerlendirilmiş ve aynı isimler kullanılmıştır. Sistemde elektrik motoru tahrikli 15 adet ve buhar türbini tahrikli 4 adet pompa mevcuttur. Uzun süreli elektrik kesintileri durumunda sistemin durmaması için hayati önem taşıyan pompalar buhar türbini ile tahrik edilmektedir. Bu nedenle elektrik motoru ile tahrik edilen ve buhar türbiniyle tahrik edilen pompalar ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1.Bir ve İki Nolu Kazan Besleme Pompaları

Bir ve iki nolu kazanlarda kazan besi suyu için 2 adet pompa kullanılmaktadır. Bunların ikisi de (1 ve 2 nolu) elektrik motor tahriklidir. Pompaların resimleri Şekil 3.1'de verilmiştir. Her iki pompada paralel bağlı olup, çıkışları önce bir hatta toplanmakta ve daha sonra 1 ve 2 nolu kazana basılmaktadır. Pompaların ikisinin de yapım yılı 1965'dir.



Şekil 3.1: Elektrik motoru tahrikli pompalar (Sırasıyla 1 ve 2 nolu pompa)

Normal işletme şartlarında bir elektrik motoru tahrikli pompa devrede iken diğer elektrik motoru tahrikli pompa yedekte kalmaktadır. Elektrik motoru tahrikli

pompalar aylık periyodik dönüşümlü çalıştırılmaktadır. Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri

Özellik Tanımı		**Pompa Adı**
		1 ve 2 Nolu
Pompa Özellikleri	Pompa Tipi	Santrifüj
	Devri (d/dk)	2950
	Emme Basıncı (kg/cm^2)	1,1
	Basma Basıncı (kg/cm^2)	61,6
	Debisi (ton/h)	113
	Emiş Suyu Sıcaklığı (°C)	110
Elektrik Motoru	Gücü (HP)	450
	Gerilim (V)	2300
	Akım (A)	100
	Devri (d/dk)	2950

3.2.Üç ve Dört Nolu Kazan Besleme Pompaları

Üç ve dört nolu kazanlarda kazan besi suyu için 2 adet pompa kullanılmaktadır. Bunların ikisi de (A-B) buhar türbini tahriklidir. Pompaların resimleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Her iki pompada paralel bağlı olup, çıkışları önce bir hatta toplanmakta ve daha sonra 3 ve 4 nolu kazana basılmaktadır. Pompalardan A eski (30 yıllık), B ise yeni pompadır.



Şekil 3.2: Buhar türbini tahrikli pompalar (Sırasıyla A ve B pompaları)

Normal işletme şartlarında bir buhar türbin tahrikli pompa devrede iken diğer buhar türbin tahrikli pompa yedekte kalmaktadır. Buhar türbin tahrikli pompalar aylık

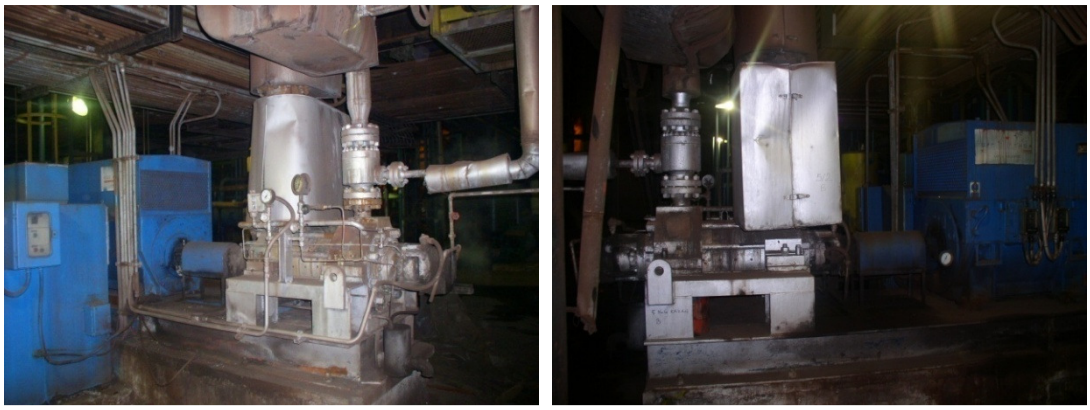
periyodik dönüşümlü çalıştırılmaktadır. Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri

Özellik Tanımı		**Pompa Adı**	
		A Pompası	**B Pompası**
Pompa Özellikleri	Pompa Tipi	Santrifüj	Santrifüj
	Devri (d/dk)	2970	2982
	Emme Basıncı (kg/cm^2)	1,4	1,7
	Basma Basıncı (kg/cm^2)	69	69
	Debisi (ton/h)	211	211
	Emiş Suyu Sıcaklığı (°C)	116	116
Buhar Türbini Özellikleri	Buhar Giriş Basıncı (kg/cm^2)	14	14
	Buhar Giriş Sıcaklığı (°C)	330	330
	Buhar Giriş Basıncı (kg/cm^2)	0,7	0,7
	Buhar Çıkış Sıcaklığı (°C)	110	110
	Harcanan Buhar Miktarı (ton/h)	10	10
	Gücü (HP)	775	775

3.3.Beş Nolu Kazan Besleme Pompaları

Bu istasyonda 2 adet elektrik motoru tahrikli (A) ve (B) pompaları bulunmaktadır. (Şekil 3.3). Pompalar paralel bağlı olup, sistemde daima tek pompa çalışmaktadır. Pompaların dönüşümü ise aylık yapılmaktadır. Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri Tablo 3.3'de verilmiştir.



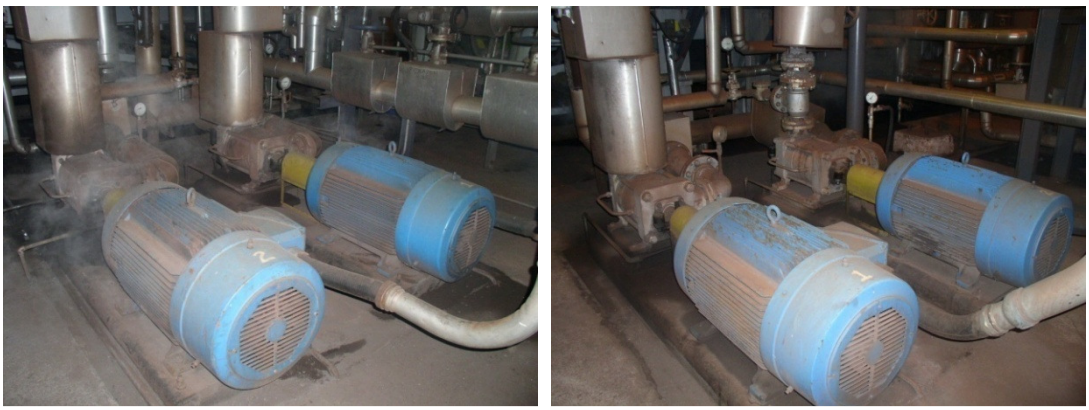
Şekil 3.3: Elektrik motoru tahrikli pompalar (Sırasıyla A ve B pompaları)

Tablo 3.3: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri

Özellik Tanımı		Pompa Adı
		A ve B Pompaları
Pompa Özellikleri	Pompa Tipi	Santrifüj
	Devri (d/dk)	2954
	Emme Basıncı (kg/cm^2)	1,7
	Basma Basıncı (kg/cm^2)	63,4
	Debisi (ton/h)	203
	Emiş Suyu Sıcaklığı (°C)	116
Elektrik Motoru	Gücü (HP)	670
	Gerilim (V)	2400
	Akım (A)	149
	Devri (d/dk)	2965

3.4.Altı ve Yedi Nolu Kazan Besleme Pompaları

Bu istasyonlarda toplam 4 adet elektrik motoru tahrikli pompa (Şekil 3.4) bulunmakta olup bunlardan ikisi 6 nolu atık ısı kazanına (1 ve 2 nolu), diğer ikisi ise 7 nolu atık ısı kazanına (1 ve 2 nolu) ait orta basınç pompalarıdır. Dört pompanın da etiket değerleri aynıdır. Her iki istasyonda da pompaların 1 tanesi devrede, diğeri ise yedektedir. Pompalar birer ay dönüşümlü olarak çalıştırılmaktadır. Bu pompalar 2 barda aldıkları akışkan basıncını 15 bar a çıkarmakta ve yüksek basınç pompalarına göndermektedirler. Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri Tablo 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4: Altı ve yedi nolu atık ısı kazanı pompaları

Tablo 3.4: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri

Özellik Tanımı		Pompa Adı	
		1 ve 2 Nolu	1 ve 2 Nolu
Pompa Özellikleri	Pompa Tipi	Santrifüj	Santrifüj
	Devri (d/dk)	2976	2976
	Emme Basıncı (kg/cm^2)	2	2
	Basma Basıncı (kg/cm^2)	15	15
	Debisi (ton/h)	144	144
Elektrik Motoru	Gücü (HP)	150	150
	Gerilim (V)	380	380
	Akım (A)	202	202
	Devri (d/dk)	2975	2975

3.5.Deniz Kenarı Deniz Suyu Pompa İstasyonu

İşletmedeki kullanılmış çürük buharın yoğuşturulması için deniz suyu kullanılmaktadır. Bu nedenle deniz kenarında bulunan su pompaları deniz suyunu çekerek sisteme basmaktadır.

Bu istasyonda toplam 7 adet pompa bulunmaktadır. Pompalar istasyonda soldan sağa doğru 7 nolu, 6 nolu, 5 nolu, 4 nolu, 1 nolu, 2 nolu, 3 nolu pompa sıralamasına göre yerleştirilmiştir. Bunların 2 tanesi hem buhar türbini hem de elektrik motoru tahrikli (4 ve 6 nolu pompalar), 1 tanesi hem dizel motoru hem de elektrik motoru tahrikli (3 nolu pompa) ve diğer 4 tanesi ise elektrik motoru tahriklidir.

İşletme şartlarında 5 adet pompa aktif olarak çalışmaktadır. Yazın sıcaklık durumuna göre bazen 6 adet pompa çalıştırılmaktadır. Bunların hepsi elektrik motoru ile tahrik edilmekte çift tahriklilerin ise elektrik motoru çalıştırılmaktadır. 1 ay 6 nolu, 1 ay 4 nolu pompalar dönüşümlü olarak çalıştırılmak üzere 1–2–4–5–7 ve 1–2–5–6–7 şeklinde işletmeye tuzlu su basmaktadırlar. 2 ve 4 nolu pompa resimleri Şekil 3.5'de verilmiştir.

Enerji kesilmesi durumunda dizel tahrikli olan 3 nolu, buhar türbin tahrikli olan 4 ve 6 nolu pompalar çalıştırılmaktadır. Bu istasyona gelen buhar miktarı 12-13 bar, sıcaklığı ise yazın 215^{o}C, kış aylarında 180^{o}C civarındadır. Ama bu şartlarda 6 nolu

pompaya buhar yeterli gelmemekte ve 1-2 dakika sonra trip etmektedir. Bu durum buharlı tiplerde çalışma riski yaratmaktadır.

Pompa yataklarında yağlı sistem yerine sulu sistem bulunmakta bu da pompa bakım sürelerini artırmaktadır. Yaz aylarında ise sıcaklıktan dolayı sirkülasyon hızının artması istenmektedir. Basma hattındaki basınç 1,2 bar dolaylarındadır. Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri Tablo 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5: Elektrik motoru tahrikli pompalar (Sırasıyla 2 ve 4 nolu pompalar)

Tablo 3.5: Pompa ve tahrik sistemlerine ait etiket bilgileri

Özellik Tanımı		**Pompa Adı**	
		2 Nolu	**4 Nolu**
Pompa Özellikleri	Pompa Tipi	Santrifüj	Santrifüj
	Devri (d/dk)	735	735
	Emme Basıncı (kg/cm^2)	0	0
	Basma Basıncı (kg/cm^2)	1,8	1,8
	Debisi (ton/h)	6300	6300
	Emiş Suyu Sıcaklığı (°C)	20	20
Buhar Türbini Özellikleri	Buhar Giriş Basıncı (kg/cm^2)		12
	Buhar Giriş Sıcaklığı (°C)		250
	Buhar Giriş Basıncı (kg/cm^2)		0,7
	Buhar Çıkış Sıcaklığı (°C)		110
	Gücü (HP)		600
	Devri (d/dk)		735
Elektrik Motoru	Gücü (HP)	600	600
	Gerilim (V)	2400	2400
	Akım (A)	143	143
	Devri (d/dk)	735	735

4. ÖLÇÜM YÖNTEMİ, ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Yapılan ölçümler elektriksel ve mekaniksel olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Elektriksel ölçümler, pompaları tahrik eden elektrik motorlarından alınan ölçümleri kapsamaktadır. Mekanik ölçümlerde ise pompaların debi, basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

4.1.Elektriksel Ölçümler

Elektriksel ölçümlerde, elektrik motoru ile tahrik edilen pompaların motorlarında motorun besleme gerilimi, şebekeden çekmiş olduğu akım, görünür güç, aktif güç, reaktif güç ve motorun güç faktörü ölçülmüştür. Ölçüm verileri kullanılarak, elektrik motorlarının yüklenmeleri, çalışma verimleri ve pompaya aktarmış oldukları güç değeri hesaplanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

4.1.1. Yapılan kabuller

Tüm pompalarda yapılan ölçümler esnasında, sistemin davranışını değiştirecek çok büyük ani yük değişimlerinin olmadığı kabul edilmiş olup ölçümler elektrik motorlarında kısa süreli değerler alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Ölçüm şekli

Ölçümlerde, UPM 6100 markalı Elektrik Enerji Analizör cihazı kullanılmış olup ölçümler “3-faz 1-telli” şeklinde yapılmıştır. Ölçümlerde analizöre ait 3 adet gerilim probu ve 1 adet 200A’lik akım probu kullanılmıştır.

Ölçümler; orta gerilim seviyesinden (2300V) beslenen motorlarda motorun ana panosundaki besleme noktasının sekonder kısmında bulunan akım ve gerilim

trafoları üzerinden yapılmıştır. Ölçümde, enerji analizörün 3 adet gerilim probları gerilim trafolarının sekonder kısmına ve 1 adet 200A'lik akım probu ise akım trafosunun sekonder kısmına bağlanmıştır.

Alçak gerilim (400V) seviyesinden beslenen motorlarda ise gerilim; gerilim proplarının doğrudan motorun ana ponosundaki besleme noktasına bağlanarak, motor akımı ise 200A'lik prob kullanılarak akım trafosu üzerinden ölçülmüştür.

Tüm ölçümler, motorların normal çalışma esnasında mevcut pompasını tahrik ederken yapılmıştır.

4.1.3. Güç ölçümü

Enerji analizörü ile yapılan elektriksel güç ölçümlerinde pompaya ait elektrik motorunun şebekeden çekmiş olduğu 3 fazlı;

- Görünür güç, aktif güç, reaktif güç
- Gerilim
- Akım
- Güç faktörü

ölçülmüştür.

4.1.4. Ölçüm noktaları ve sonuçları

Fabrikadaki toplam 7 adet elektrik motoru ile tahrik edilen pompaların motorlarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarının isimleri ve ölçüm yapılan elektrik motorlarının etiket (nominal) değerleri Tablo 4.1 verilmiştir.

Tablo 4.1: Ölçüm yapılan Elektrik Motorları ve nominal (etiket) değerleri

Elektrik Motorları	Güç		Gerilim	Akım	Devir	Güç
	HP	kW	V	A	d/dk	Faktörü
1 ve 2 nolu kazan besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	450	335	2300	100	2950	-
1 ve 2 nolu kazan besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	450	335	2300	100	2950	-
5 nolu kazan besleme B pompası Elk. Motoru	670	500	2400	149	2965	-
6 nolu atık ısı kazanı besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	150	110	380	202	2975	0,86
7 nolu atık ısı kazanı besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	150	110	380	202	2975	0,86
Deniz kenarı 2 nolu pompa Elk. Motoru	600	447	2400	143	735	-
Deniz kenarı 4 nolu pompa Elk. Motoru	600	447	2400	143	735	-

Pompaların elektrik motorlarına ait sahada gerçekleştirilen ölçüm sonuçları aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.2-4.8) verilmiştir.

Tablo 4.2: Bir ve İki Kazan, Kazan Besleme 1 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					1
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı		150/5A			
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı		2400/120V			
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
2386	78	321,9	289,8	140,3	0,91

Tablo 4.3: Bir ve İki Kazan, Kazan Besleme 2 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					2
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı		150/5A			
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı		2400/120V			
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
2397	75	311	279,9	135,5	0,9

Tablo 4.4: Beş Nolu Kazan, B Pompası Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					3
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı			150/5A		
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı			2400/120V		
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
2432	120	504,8	459,9	208	0,911

Tablo 4.5: Altı Nolu Atık Isı Kazanı, Orta Basınçlı 2 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					4
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı			300/5A		
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı			-		
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
403,2	150	104,6	94,2	45,6	0,9

Tablo 4.6: Yedi Nolu Atık Isı Kazanı, Orta Basınçlı 1 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					5
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı			300/5A		
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı			-		
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
403	152,4	106,3	95,7	46,3	0,9

Tablo 4.7: Deniz Kenarı, 2 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					6
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı			-		
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı			-		
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
2400	120	498,2	423,5	262,4	0,85

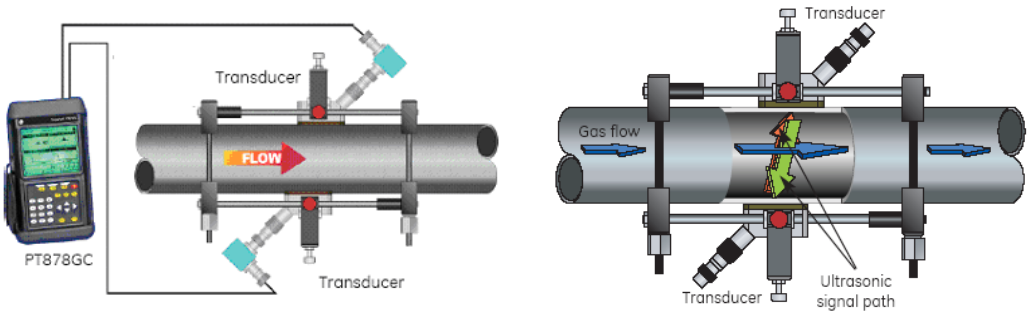
Tablo 4.8: Deniz Kenarı, 4 nolu Pompa Elektrik Motoru Güç Ölçümü

Güç Analizi					7
Akım Trafosu Dönüştürme Oranı			-		
Gerilim Trafosu Dönüştürme Oranı			-		
Gerilim [V]	Akım [A]	Görünür Güç [kVA]	Aktif Güç [(kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Güç Faktörü
2400	119	494	420	260	0,85

4.2.Mekaniksel Ölçümler

Pompalarda mekanik ölçümler kapsamında pompa akışkan debisi, akışkan giriş-çıkış sıcaklık ve basınç değerleri ölçülmüştür.

Pompaların bastığı akışkanın debisi, "PANAMETRICS" marka ultrasonik debimetre yardımıyla ölçülmüştür. Debimetreye ait iki adet transdüser boruya dışarıdan bağlanmış ve akışa paralel şekilde birinci transdüser sinyal üretici, ikinci ise sinyal alıcı olarak çalıştırılmıştır. Sinyal ulaşma zamanı ölçülerek ses hızı ile arasındaki fark akışkan hızı olarak belirlenmiştir. Cihaz ayrıca boru et kalınlığını da ölçtüğünden, cihaza girilen çap ölçüsüne göre geçen debi miktarı da online olarak ölçülmüştür. Ölçüm sistemi Şekil 4.1'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.1: Ölçüm sisteminin şematik gösterimi

Akışkanın giriş ve çıkış basıncı ölçümünden önce, mevcut tüm basınç saatlerinin kalibrasyonu yapılmıştır.

Akışkan sıcaklıkları ise mevcut pompa ve buhar türbini giriş ve çıkışında hat sıcaklıklarının termal kamera ile ölçülmesi ve bu ölçüm değerlerine +2 ˚C kadar bir yüzey sıcaklık kaybı değeri ilave edilmesiyle bulunmuştur.

Tüm mekanik ölçümlere ait değerler verim hesaplamalarının yapıldığı Bölüm 5'de verilmiştir.

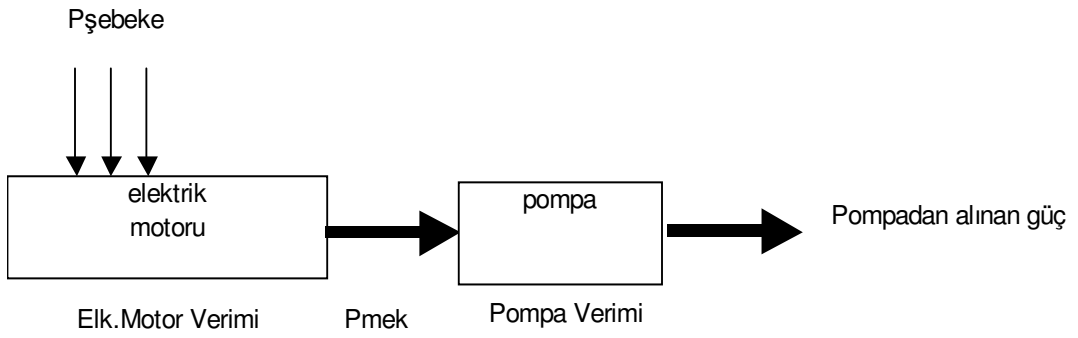
5. VERİM HESAPLARI

5.1.Motorlara Ait Yüklenme ve Çalışma Verimi Hesabı

Elektrik motorunun şebekeden çekmiş olduğu aktif güç $P_{şebeke}$ ve verim değeri η_m ise motorun miline bağlı pompaya aktarmış olduğu mekanik güç değeri P_{mek}

$$P_{mek} = P_{şebeke} * \eta_m \tag{5.1}$$

olarak hesaplanmaktadır. Sistemin şematik gösterimi ise Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Elektrik motoru pompa sisteminin şematik gösterimi

İnceleme yapılan elektrik tahrikli pompalara ait motorlarının şebekeden çekmiş oldukları $P_{şebeke}$ güç değerleri ölçülmüştür. Bu motorların etiketlerindeki verim değerleri ile motor veriminin yüklenmeye göre değişimini gösteren verim yüklenme eğrileri bulunmamaktadır. Bu nedenle motorların hangi yükte ve verimde çalıştığı hesaplama yapılarak bulunmuştur. Bu hesaplamalarda saha ölçümleri ve motorun etiket değerleri kullanılmıştır.

Elektrik motorların yüklenme değeri, akım ölçüm tekniğine göre hesaplanmıştır. Bu yüklenme değerinde çalışan motorun verim hesabında ise hesap edilen yüklenme

değeri, motorun şebekeden çekmiş olduğu güç ve etiket (nominal) güç değerleri kullanılmıştır.

Motorun yüklenme değeri (%) olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. ,

$$Yüklenme\ \ (\%) = \left(\frac{I_{sebeke}}{I_{etiket}} \right) * \left(\frac{V_{sebeke}}{V_{etiket}} \right) * 100 \tag{5.2}$$

$I_{etiket\ (nominal)}$ Motorun nominal akımı (A),

$I_{şebeke}$ Motorun şebekeden çekmiş olduğu akım (A),

$V_{etiket(nomina)}$ Motorun nominal gerilimi (V),

$V_{şebeke}$ Motor uçlarında ölçülen gerilimi (V)

Motor verimi, motorun faydalı çıkış gücünün şebekeden çekmiş olduğu güce *($P_{şebeke}$)* oranı ile hesaplanmıştır.

$$\eta_m(\%) = \frac{Yüklenme * P_{etiket\,(no\,\min al)}(kW)}{P_{şebeke}(kW)} \tag{5.3}$$

Motorların yüklenme ve çalışma verim değerleri aşağıdaki Tablo 5.1'de verilmiştir. Motorun miline bağlı pompaya aktarılan mekanik güç değeri, 5.1 formülü ile hesaplanmıştır.

Tablo 5.1'de görüleceği gibi yapılan hesaplamalarda tüm motorların yüklenme değerleri anma yükünün %60-90 bölgesinde olduğu için tercih edilen optimum çalışma bölgesindedir. Motorların çalışma verim değerleri ise %80'nin üzerinde olup elektrik motoru için uygun bir değerdir.

İncelemelerde en düşük yükte çalışan motorlar 6 ve 7 nolu atık ısı kazanlarındaki orta basıç pompalarını tahrik eden 110 kW'luk elektrik motorlarıdır. Motorların yüklenmeleri sırasıyla %78 ve %80 olup pompalara aktarmış oldukları P_{mek} güç

değerleri 86,6kW ve 88,5kW olarak hesaplanmıştır. Bu değerler motorların etiket gücüne göre (110 kW göre) düşük olup tahrik ettiği pompa veriminin düşük çıkması durumunda daha düşük güçlü motor ile değiştirilmesi önerilecektir.

Tablo 5.1: Elektrik Motorların yüklenme, verim ve pompaya aktarılan güç değerleri

Ölçüm Yapılan Elektrik Motorları	Şebekeden Çekilen Güç $P_{şebeke}$	Yüklenme Değeri[1]	Çalışma Verimi[2]	Pompaya Aktarılan Güç P_{mek}
	kW	%	%	kW
1 ve 2 nolu kazan besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	289,77	80,92	94	271,07
1 ve 2 nolu kazan besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	279,93	78,17	94	261,87
5 nolu kazan besleme B pompası Elk. Motoru	459,95	81,61	89	408,05
6 nolu atık ısı kazanı besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	94,17	78,79	92	86,67
7 nolu atık ısı kazanı besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	95,68	80,46	92	88,50
Deniz kenarı 2 nolu pompa Elk. Motoru	423,50	83,92	89	375,10
Deniz kenarı 4 nolu pompa Elk. Motoru	419,97	83,22	89	371,98

(1): Elektrik motorun yüklenme değeri hesabında akım ölçümü temel alınmıştır.
(2): Çalışma verimi hesabında motorun yüklenme değeri de göz önüne alınmıştır.

5.2.Pompa Verim Hesapları

Normal işletme koşulları için her bir pompa istasyonundaki pompa verimi, pompa debisi, giriş ve çıkış basınçları ve pompaya aktarılan elektriksel güç kullanılarak hesaplanmıştır. Bir ve İki Nolu kazan besleme pompaları için verim sonuçları Tablo 5.2, Üç ve Dört nolu kazan besleme pompaları için verim sonuçları Tablo 5.3, Beş nolu kazan besleme pompaları için Tablo 5.4, Altı nolu atık ısı kazan pompaları için Tablo 5.5, Yedi nolu Atık Isı Kazan pompası Tablo 5.6, Deniz Kenarı Tuzlu Su Pompaları için Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Bir ve İki nolu kazan pompaları verim hesap sonuçları

Pompa Adı	**1 Nolu**	**2 Nolu**
Akışkan debisi (Q, ton/h)	63	64
Akışkan giriş basıncı (P_1, bar)	1,4	1,4
Akışkan çıkış basıncı (P_2, bar)	74	73
Basınç farkı (P_2-P_1, bar)	62,6	71,6
Akışkana verilen güç (P_a=Q*(P_2-P_1), kW)	127,05	127,29
Pompaya verilen güç (P_{mek}, Elektrik gücü, kW)	271	261,8
Genel verim (P_a/ P_{mek} veya P_a/P_t, %)	**46,88**	**48,62**

Tablo 5.3: Üç ve Dört nolu kazan pompaları verim hesap sonuçları

Pompa Adı	**A Pompası**	**B Pompası**
Akışkan debisi (Q, ton/h)	80	84
Akışkan giriş basıncı (P_1, bar)	1,7	1,5
Akışkan çıkış basıncı (P_2, bar)	60	60
Basınç farkı (P_2-P_1, bar)	58,3	58,5
Akışkana verilen güç (P_a=Q*(P_2-P_1), kW)	129,56	136,5
Pompaya verilen güç (P_t, Buhar türbini gücü, kW)	217,36	218,53
Genel verim (P_a/ P_{mek} veya P_a/P_t, %)	**59,6**	**62,46**

Tablo 5.4: Beş nolu kazan B pompası verim hesap sonucu

Pompa Adı	**B Pompası**
Akışkan debisi (Q, ton/h)	144
Akışkan giriş basıncı (P_1, bar)	1,8
Akışkan çıkış basıncı (P_2, bar)	65
Basınç farkı (P_2-P_1, bar)	63,2
Akışkana verilen güç (P_a=Q*(P_2-P_1), kW)	252,8
Pompaya verilen güç (P_{mek}, Elektrik gücü, kW)	408
Genel verim (P_a/ P_{mek}, %)	**61,96**

Tablo 5.5: Altı nolu atık ısı kazanı 2 nolu pompa verim hesap sonucu

Pompa Adı	**2 Nolu**
Akışkan debisi (Q, ton/h)	82
Akışkan giriş basıncı (P_1, bar)	2
Akışkan çıkış basıncı (P_2, bar)	15
Basınç farkı (P_2-P_1, bar)	13
Akışkana verilen güç (P_a=Q*(P_2-P_1), kW)	29,61
Pompaya verilen güç (P_{mek}, Elektrik gücü, kW)	86,67
Genel verim (P_a/ P_{mek} veya P_a/P_t, %)	**34,17**

Tablo 5.6: Yedi nolu atık ısı kazanı 1 nolu pompa verim hesap sonucu

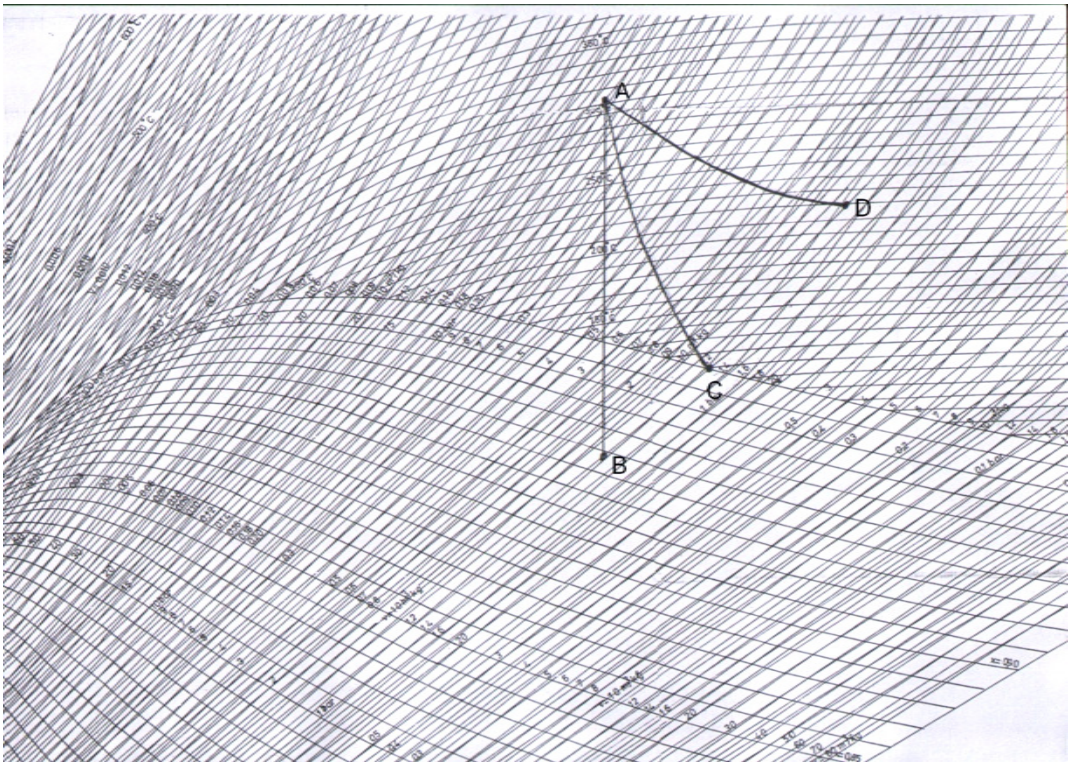
Pompa Adı	**1 Nolu**
Akışkan debisi (Q, ton/h)	84
Akışkan giriş basıncı (P_1, bar)	2
Akışkan çıkış basıncı (P_2, bar)	15
Basınç farkı (P_2-P_1, bar)	13
Akışkana verilen güç (P_a=Q*(P_2-P_1), kW)	30,33
Pompaya verilen güç (P_{mek}, Elektrik gücü, kW)	88,5
Genel verim (P_a/ P_{mek} veya P_a/P_t, %)	**34,27**

Tablo 5.7: Deniz kenarı tuzlu su iki ve dört nolu pompaları verim hesap sonuçları

Pompa Adı	**2 Nolu**	**4 Nolu**	**4 Nolu**
Akışkan debisi (Q, ton/h)	6000	6200	5748
Akışkan giriş basıncı (P_1, bar)	0	0	0
Akışkan çıkış basıncı (P_2, bar)	1,2	1,2	1,2
Basınç farkı (P_2-P_1, bar)	1,2	1,2	1,2
Akışkana verilen güç (P_a=Q*(P_2-P_1), kW)	200	206,67	191,6
Pompaya verilen güç (P_{mek}, Elektrik gücü, kW)	375,1	371,98	-
Pompaya verilen güç (P_t, Buhar türbini gücü, kW)	-	-	438
Genel verim (P_a/ P_{mek} veya P_a/P_t, %)	**53,32**	**55,56**	**43,74**

5.3.Buhar Türbini Verim Hesapları

Normal işletme koşulları için iki adet buhar türbininde iç ve adyabatik verimler, buharın giriş-çıkış basınç ve sıcaklıklarından faydalanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler Mollier diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Mollier diyagramı üzerinde (Şekil 5.2) buharın giriş basınç ve sıcaklıklarına tekabül eden entalpi değeri (A noktası), çıkış basınç ve sıcaklıklarına tekabül eden entalpi değeri (D noktası) ve izantropik hal değişimi sırasındaki entalpi değeri (B noktası) elde edilmiştir. Ayrıca, buhar türbininin etiketindeki çıkış basınç ve sıcaklık değeri için entalpi değeri (C noktası) okunmuştur.



Şekil 5.2: Mollier diyagramı üzerindeki entalpilerin gösterilişi

Yukarıdaki açıklanan entalpi değerleri kullanılarak buhar türbinlerinin:

adyabatik verimi;

$$\eta_{th} = \frac{(A-C)}{(A-B)} \times 100 \tag{5.4}$$

iç verim = mevcut türbinlerin çalışma şartlarına göre adyabatik verimleri göstermektedir.

$$\eta_{ç} = \frac{(A-D)}{(A-B)} \times 100 \tag{5.5}$$

Elde edilen kullanılabilirlik; (Türbin girişinde mevcut enerjinin % kaçının türbin tarafından yararlı işe dönüştürüldüğünü gösteren bir tanımlamadır.)

$$\eta_k = \frac{W_{yararlı}}{W_{ter\,sinir}} \times 100 \tag{5.6}$$

bağıntılarıyla hesaplanmıştır.

$W_{yararlı}$: Buhar türbininden alınan mil işi

$W_{tersinir}$: Buhar türbininden alınan ekserjik iş

5.3.1. Üç ve dört nolu kazan A pompasının buhar türbini verim hesapları

Normal işletme şartlarında A pompasının buhar türbininde yapılan ölçümlerde giriş-çıkış basınç ve sıcaklık değerleri alınmıştır. 5.4, 5.5 ve 5.6 bağıntıları kullanılarak buhar türbini adyabatik, çalışma ve kullanılabilirlik verimleri hesap sonuçları Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Buhar türbini adyabatik, çalışma ve kullanılabilirlik verimleri hesap sonuçları

P_1 [bar]	P_2 [bar]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	h_1 [kj/kg]	h_2 [kj/kg]	h_e [kj/kg]	h_{2s} [kj/kg]	$W_{yararlı}$ [kW]	$W_{tersinir}$ [kW]	η_{th} [%]	$\eta_ç$ [%]	η_k [%]
14,00	0,70	277	218	2986,30	2908,05	2699,00	2556,00	578,15	1862,39	66,77	18,18	31,04

Yukarıdaki tabloda verilen parametreler;

p_1: Buharın giriş basıncı

p_2: Buharın çıkış basıncı

T_1: Buharın giriş sıcaklığı

T_2: Buharın çıkış sıcaklığı

h_1: A noktası için entalpi değeri

h_2: D noktası için entalpi değeri

h_e: C noktası için entalpi değeri

h_{2s}: B noktası için entalpi değeri

η_K =%31 olan bu sistem de ancak girişteki akışkanın sahip olduğu kullanılabilir enerjinin %31 sı mil işine dönüştürülmekte olup, % 69 luk kısmı kullanılamamaktadır.

5.3.2. Üç ve dört nolu kazan B pompasının buhar türbini verim hesapları

Normal işletme şartlarında B pompasının buhar türbininde yapılan ölçümlerde giriş çıkış basınç ve sıcaklık değerleri alınmıştır. 5.4, 5.5 ve 5.6 bağıntıları kullanılarak buhar türbini adyabatik, çalışma ve kullanılabilirlik verimleri hesap sonuçları Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9: Buhar türbini adyabatik, çalışma ve kullanılabilirlik verimleri hesap sonuçları

P_1 [bar]	P_2 [bar]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	h_1 [kj/kg]	h_2 [kj/kg]	h_e [kj/kg]	h_{2s} [kj/kg]	$W_{yararlı}$ [kW]	$W_{tersinir}$ [kW]	η_{th} [%]	$\eta_ç$ [%]	η_k [%]
14,00	0,70	255	192	2934,55	2855,88	2699,00	2501,00	578,15	1852,74	54,33	18,15	31,21

η_K =%31,21 olan bu sistem de ancak girişteki akışkanın sahip olduğu kullanılabilir enerjinin %31.21 sı mil işine dönüştürülmekte olup, % 68.79 luk kısmı kullanılamamaktadır.

6. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI VE ÖNERİLER

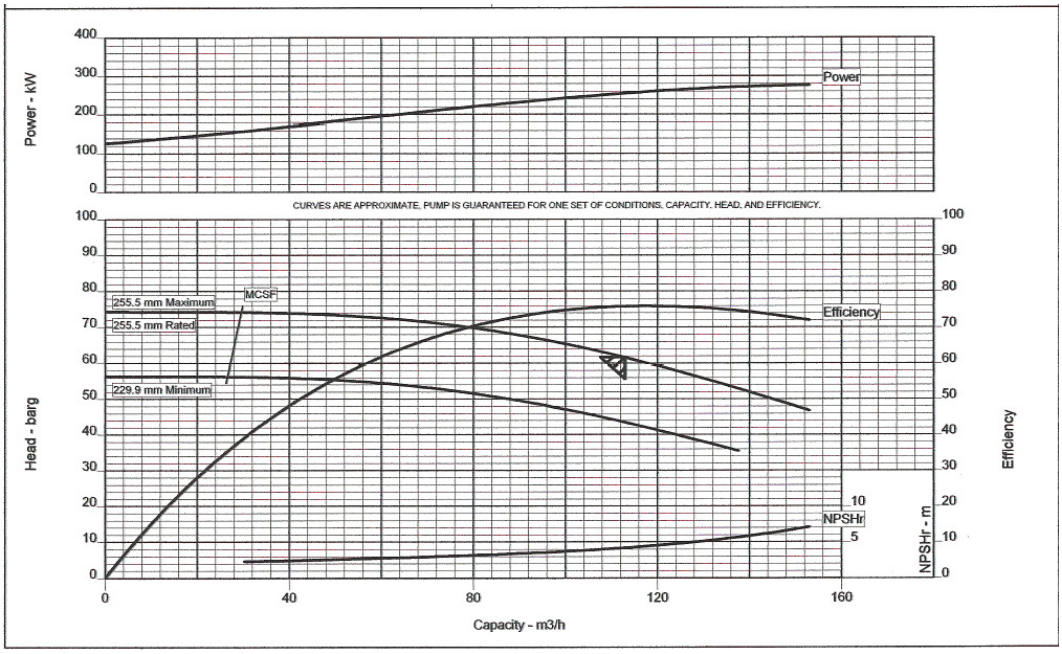
Pompa sistemlerinde yapılan çalışmalarda, tespit edilen potansiyel tasarruf alanları:

1. Mevcut düşük verimli pompaların yeni pompalarla değiştirilmesi,
2. Verimi belli oranda düşen pompaların bakımdan geçirilmesi,
3. Elektrik motorlarında frekans konvertörü uygulanması,
4. Yüksek güçte seçilmiş olan elektrik motorlarının uygun güçte olanlarla değiştirilmesi,
5. Verimsiz ve yüksek kapasitede seçilmiş olan buhar türbinlerinin yüksek verimli ve uygun kapasitede türbinlerle değiştirilmesi,
6. Yüksek verimli elektrik motorlarının kullanılması,
7. İzolasyon-ısı kayıplarının giderilmesi,
8. Kavitasyon probleminin giderilmesidir.

6.1.Mevcut Düşük Verimli Pompaların Yeni Pompalarla Değiştirilmesi

6.1.1. Bir ve iki nolu kazan besleme pompaları

Bir ve İki nolu kazan besleme pompalarında işletme koşullarında yapılan ölçümlerde pompa verimlerinin %46-49 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Üretici firmalardan söz konusu pompalarla aynı basınç ve debi kapasitelerine sahip yeni pompa teklifleri alınmıştır. Ölçüm koşullarındaki debi ve basınç değerlerinin sağlanması için, önerilen pompanın verim, güç, basınç ve debi diyağramı (Şekil 6.1) kullanılarak elektrik motor gücü ve pompa verim değeri tespit edilmiştir. Mevcut ve önerilen pompalara ait hesaplamalar Tablo 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1: Önerilen pompa karekteristik eğrileri

Tablo 6.1: Mevcut ve önerilen pompa basınç, debi, verim ve elektrik motor gücü değerleri

Pompa Adı		**Pompaya Aktarılan Güç**	**Akışkan Gücü**	**Pompa Verimi**
		[kW]	**[kW]**	**[%]**
1 Nolu Pompa	Mevcut Pompa	271,00	127,05	46,88
	Önerilen Pompa	200,00	121,96	60,98
2 Nolu Pompa	Mevcut Pompa	261,80	127,29	48,62
	Önerilen Pompa	200,00	125,51	62,76

Yukarıda görüldüğü üzere mevcut pompalar yenileri ile değiştirildiği zaman, verimlerinde %12-14'lık bir iyileştirme söz konusu olacaktır. Mevcut pompaların yenileri ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanarak Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2: Mevcut pompaların yenileri ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Pompa Adı	Mevcut Elektrik Motor Gücü	Önerilen Pompa İle Elektrik Motor Gücü	Saatlik Enerji Tasarrufu	Yıllık Çalışma Süresi	Yıllık Parasal Tasarruf	Yatırım Miktarı	Geri Ödeme Süresi
	[kW]	[kW]	[kW]	[SAAT]	[USD]	[USD]	[AY]
1 Nolu	271,00	200,00	71,00	4320	21470,40	50000,00	27,9
2 Nolu	261,80	200,00	61,80	4320	18688,32	50000,00	32,1

Yukarıdaki bir ve iki nolu pompalar dönüşümlü olarak yılda 4320 saat çalıştırılmaktadır. Bunun yerine bir tek pompanın yenilenmesi ve sürekli olarak çalıştırılması (diğeri yedekte tutulması) durumunda aynı hesaplar yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3: Bir tek pompanın sürekli olarak çalıştırılması durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

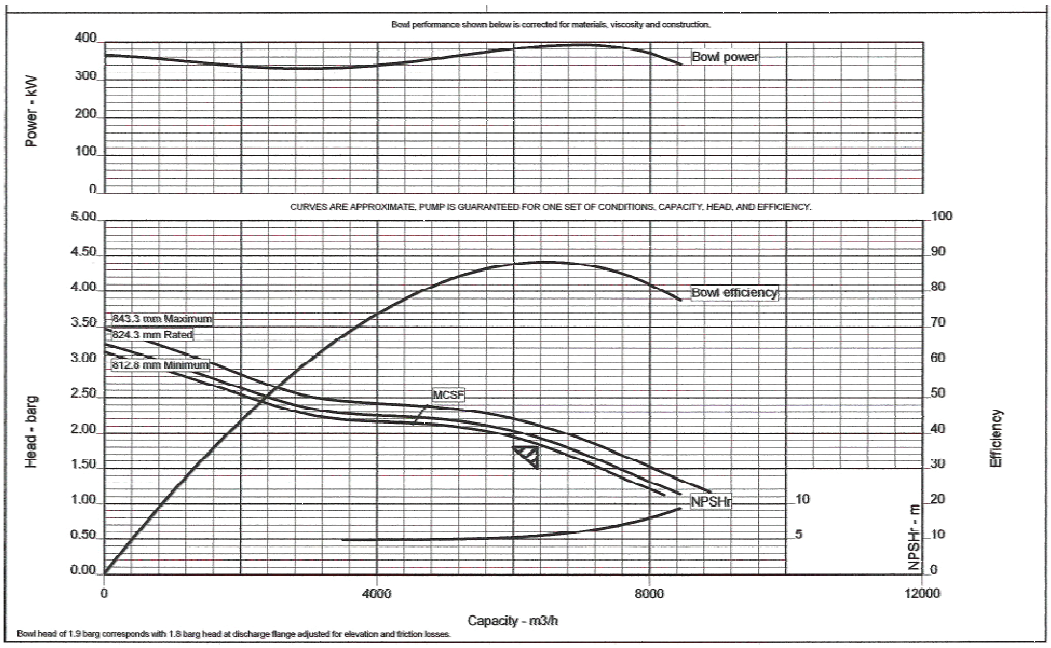
Pompa Adı	Mevcut Elektrik Motor Gücü	Önerilen Pompa İle Elektrik Motor Gücü	Saatlik Enerji Tasarrufu	Yıllık Çalışma Süresi	Yıllık Parasal Tasarruf	Yatırım Miktarı	Geri Ödeme Süresi
	[kW]	[kW]	[kW]	[SAAT]	[USD]	[USD]	[AY]
1 Nolu	271,00	200,00	71,00	8640	42940,80	50000,00	14,0
2 Nolu	261,80	200,00	61,80	8640	37376,64	50000,00	16,1

Not : 1 kWh = 7 cent USD alınmıştır.

Tablo 6.3'de görüldüğü gibi 1 ve 2 Nolu pompalardan, 1 Nolu pompanın değiştirilerek sürekli çalıştırılması, 2 Nolunun ise değiştirilmeyip yedekte bırakılması durumunda yatırımın geri ödemesi 14 aydır. Tersi durumda yani 2 Nolu pompanın değiştirilerek sürekli çalıştırılması, 1 Nolunun ise değiştirilmeyip yedekte bırakılması durumunda yatırımın geri ödemesi 16,1 aydır. Bu sonuç 1 Nolu pompanın değiştirilmesinin daha uygun olduğunu göstermektedir. 14 ay sonra tabloda gösterilen sayılar nispetince işletim maliyetlerinde parasal tasaaruf yapılacaktır.

6.1.2. Deniz kenarı pompaları

Deniz kenarı pompalarında işletme koşullarında yapılan ölçümlerde pompa verimlerinin %53- 55 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Üretici firmalardan söz konusu pompalarla aynı basınç ve 8000 ton/h debi kapasitelerine sahip yeni pompa teklifleri alınmıştır. Ölçüm koşullarındaki basınç değerlerinin sağlanması için, önerilen pompanın verim, güç, basınç ve debi diyağramı (Şekil 6.2) kullanılarak elektrik motor gücü ve pompa verim değeri tespit edilmiştir. Mevcut ve önerilen pompalara ait hesaplamalar Tablo 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.2: Önerilen pompa karekteristik eğrileri

Tablo 6.4: Mevcut ve önerilen pompa basınç, debi, verim ve elektrik motor gücü değerleri

Pompa Adı		Pompaya Aktarılan Güç	Akışkan Gücü	Pompa Verimi
		[kW]	[kW]	[%]
2 Nolu	Mevcut Pompa (6000 ton/h)	375,10	200,00	53,32
	Önerilen Pompa (8000 ton/h)	375,00	266,67	71,11
4 Nolu	Mevcut Pompa (6200 ton/h)	371,98	206,67	55,56
	Önerilen Pompa (8000 ton/h)	375,00	266,67	71,11

Yukarıda görüldüğü üzere mevcut pompalar yenileri ile değiştirildiği zaman, verimlerinde %16-18'lik bir iyileştirme söz konusu olacaktır. Mevcut pompaların yenileri ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanarak Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5: Mevcut pompaların yenileri ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Pompa Adı	**Mevcut Elektrik Motor Gücü**	**Önerilen Pompa İle Elektrik Motor Gücü**	**Saatlik Enerji Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[kW]	**[kW]**	**[kW]**	**[SAAT]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
2 Nolu	500,14	375,00	125,14	8342	73074,17	200000,00	32,8
4 Nolu	479,97	375,00	104,97	4748	34888,80	200000,00	68,8

Yukarıdaki 4 nolu pompa yılda 4748 saat çalıştırılmaktadır. Bunun yerine bu pompanın sürekli olarak çalıştırılması (eskileri yedekte tutulması) durumunda aynı hesaplar yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6: Dört nolu pompanın sürekli olarak çalıştırılması durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Pompa Adı	**Mevcut Elektrik Motor Gücü**	**Önerilen Pompa İle Elektrik Motor Gücü**	**Saatlik Enerji Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[kW]	**[kW]**	**[kW]**	**[SAAT]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
4 Nolu	479,97	375,00	104,97	8342	61297,89	200000,00	39,2

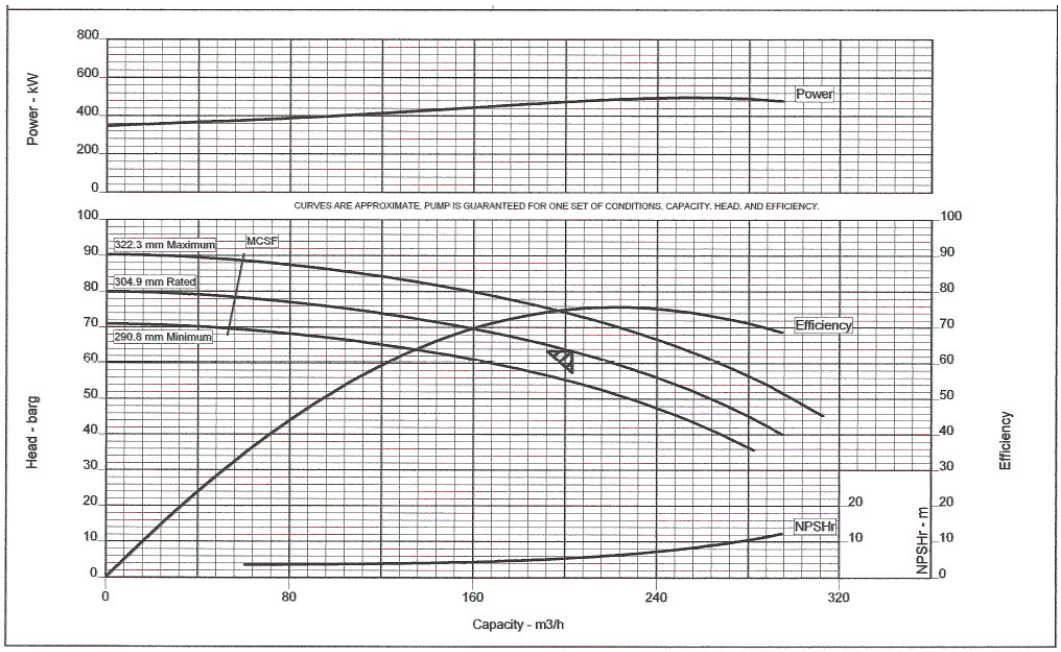
Tablo 6.6.'dan da görüldüğü gibi 4 nolu pompanın değiştirilerek sürekli çalıştırılması, eskilerin yedekte bırakılması durumunda yatırımın geri ödemesi 39,2 aydır.

4 nolu pompa ayrıca türbin tahrikli çalıştırılmış ve pompa verimi %43,74 bulunmuştur. Pompanın sadece acil durumlarda buhar türbin tahrikli çalıştırılması nedeniyle bu pompanın değiştirilmesi önerilmemiştir.

6.2.Mevcut Pompaların Verimlerinin İyileştirilmesi

6.2.1. Beş nolu kazan besleme B pompası

Beş nolu kazan besleme B pompasında işletme koşullarında yapılan ölçümlerde pompa veriminin %60-62 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Üretici firmalardan söz konusu pompayla aynı basınç ve debi kapasitelerine sahip yeni pompa teklifleri alınmıştır. Ölçüm koşullarındaki debi ve basınç değerlerinin sağlanması için, yeni pompanın verim, güç, basınç ve debi diyağramı (Şekil 6.3) kullanılarak elektrik motor gücü ve pompa verim değeri tespit edilmiştir. Mevcut ve yeni pompaya ait hesaplamalar Tablo 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.3: Yeni pompa karekteristik eğrileri

Tablo 6.7: Mevcut ve yeni pompa basınç, debi, verim ve elektrik motor gücü değerleri

Pompa Adı		**Pompaya Aktarılan Güç**	**Akışkan Gücü**	**Pompa Verimi**
		[kW]	**[kW]**	**[%]**
B Pompası	Mevcut Pompa	408,00	252,80	61,96
	Yeni Pompa	440,00	312,80	71,09

Yukarıda görüldüğü üzere mevcut pompa yeni pompaya göre yaklaşık %9 daha az verimli çalışmaktadır. Mevcut pompa revizyona alınarak kanat kaplama, parlatma ve yatak bakımı vs. gibi bakımlar yapılarak verimi %5 oranında arttırılabilir. Bu durumda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanarak Tablo 6.8'de verilmiştir.

Tablo 6.8: Mevcut pompanın revizyonu ile yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Pompa Adı	**Mevcut Elektrik Motor Gücü**	**Revizyon Sonrası Elektrik Motor Gücü**	**Saatlik Enerji Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[kW]	**[kW]**	**[kW]**	**[SAAT]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
B Pompası	408,00	387,60	20,40	7200	10281,60	20000,0	23,3

6.3.Elektrik Motorlarında Frekans Konvertörü Uygulanması

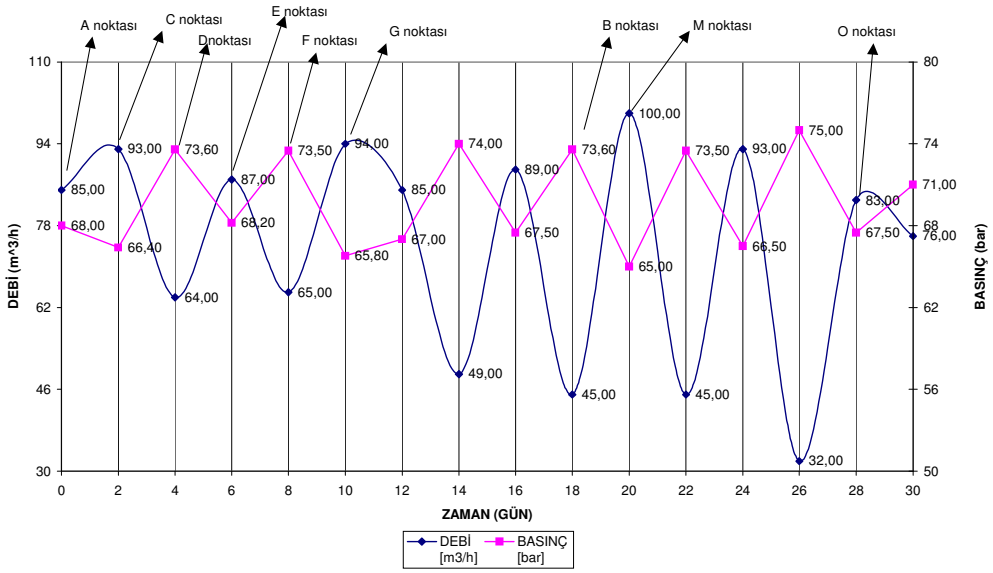
Özellikle pompa ve fan motorlarında frekans konvertörü (Varibale Speed Drive, VSD) uygulamaları ile enerji tasarrufu çok yaygın biçimde uygulanmaktadır. Fabrikanın bir, iki ve beş nolu kazan besleme pompa motorları için frekans konvertörü (VSD) uygulaması sonucu elde edilecek enerji tasarrufu potansiyeli incelenmiştir. Diğer elektrik motorlu pompalarda VSD uygulamasının ekonomik olmadığı görüldüğünden önerilmemiştir.

6.3.1. Bir ve iki nolu kazan 1 ve 2 nolu pompalar

Bir ve İki nolu kazan besleme pompalarının debi ve basıncına ait işletme koşullarında alınan bir aylık değişim grafikleri Şekil 6.4'de verilmiştir. Buna göre pompa debisi minimum 32 m^3/h ile maksimum 100 m^3/h aralığında değişirken basınç minimum 65 Bar ile maksimum 75 Bar arasında değişim göstermektedir.

Şekil 6.4'de görüldüğü gibi pompa debisi ve basıncı zaman içerisinde birbirleri ile ters orantılı şekilde büyük değişimler (salınımlar) göstermektedir. Bu durum

pompanın akışkana aktarmış olduğu akışkan gücünün ve elektrik motorundan talep ettiği P_{mek} gücünün değişmesine neden olmaktadır.



Şekil 6.4: Bir ve İki nolu kazan besleme pompalarının debi ve basıncına ait işletme koşullarında alınan bir aylık değişim grafikleri

Şekil 6.4'deki grafik üzerinde belirlenen her bir çalışma noktası için (A ve B noktaları gibi) hesaplanan akışkan gücü;

$$P_{akışkan} = Q^*(p_2-p_1) \ \ (kW) \qquad (6.1)$$

formülü ile hesaplanmış ve değerleri Tablo 6.9'da değişimi ise Şekil 6.5'de gösterilmiştir.

Bir ve İki nolu kazan besleme pompa verimleri (η_{pompa}) %46 olarak hesaplanmıştı. Bu durumda grafik üzerindeki her bir çalışma noktası için elektrik motorundan pompaya aktarılan mekanik güç değeri,

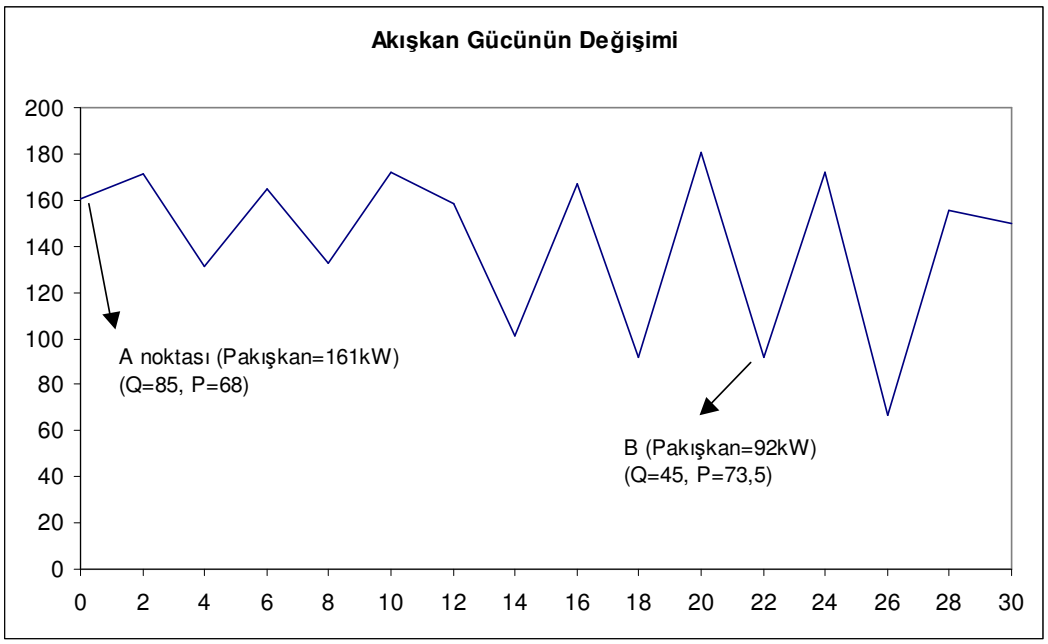
$$P_{mek} = (P_{akışkan} / \eta_{pompa}) \qquad (6.2)$$

ile hesaplanmış ve değişimi Şekil 6.6'da verilmiştir.

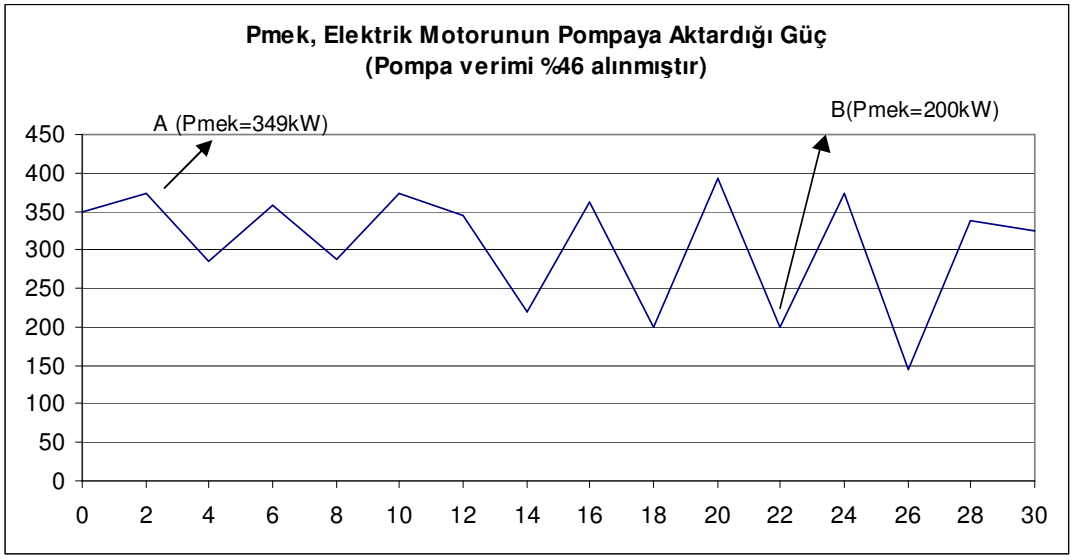
Tablo 6.9: Bir aylık zaman boyunca akışkan gücü ve pompaya aktarılan P_{mek} güç değerleri

Çalışma Noktası	**Debi [m^3/h]**	**Basınç [bar]**	**$P_{akışkan}=Q*(p_2-p_1)$ [kW]**	**$*P_{mek}=(P_{akışkan} / \eta_{pompa})$ [kW]**
A noktası	85	68	161	349
C noktası	93	66,4	172	373
D noktası	64	73,6	131	284
E noktası	87	68,2	165	358
F noktası	65	73,5	133	288
G noktası	94	65,8	172	374
H	85	67	158	344
I	49	74	101	219
J	89	67,5	167	363
K	45	73,6	92	200
L	100	65	181	393
B noktası	45	73,5	92	200
M noktası	93	66,5	172	373
N	32	75	67	145
O noktası	83	67,5	156	338
P	76	71	150	326

* Pompanın verimi, $\eta_{pompa} = \%46$ alınmıştır.

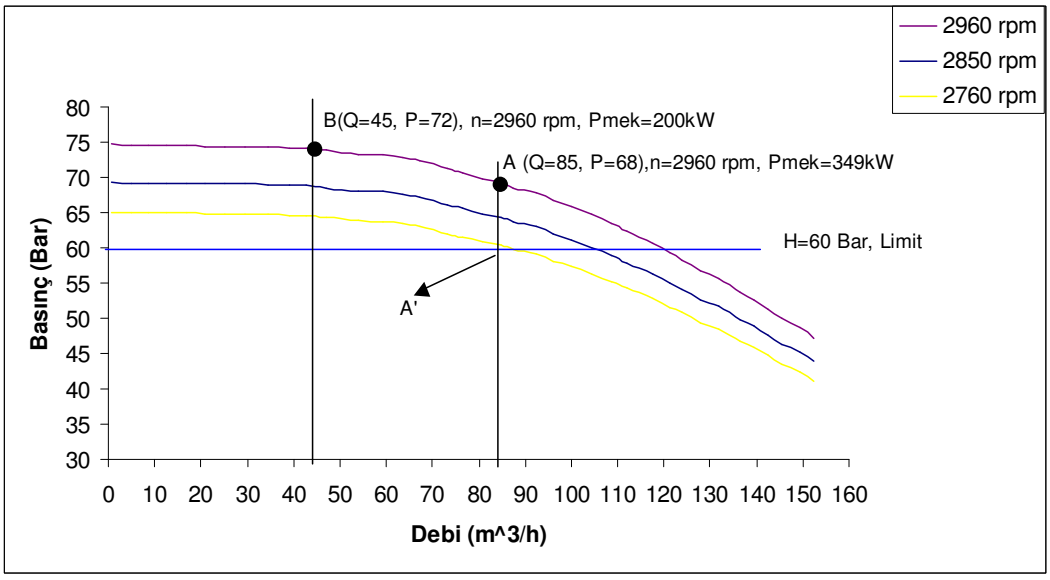


Şekil 6.5: Pompanın akışkana aktarmış olduğu gücünün bir aylık değişimi



Şekil 6.6: Elektrik motorun pompaya aktarmış olduğu mekanik gücün bir aylık değişimi (P_{mek})

Bir ve İki nolu kazandaki elektrik tahrikli pompaların mevcut işletme koşullarındaki devir sayısı sabit olup 2960 d/dk'dır. Pompanın debisi ve basıncı değiştiğinde çalışma noktasının yeri de 2960 d/dk eğrisi üzerinde değişmektedir. Örnek olarak Şekil 6.7'de A ve B çalışma noktalarının pompa eğrisi üzerindeki gösterimi verilmiştir. Ayrıca aynı şekil pompanın farklı hızlarda tahrik edilmesi durumunda basınç-debi eğrilerinin nasıl olacağını da göstermektedir.



Şekil 6.7: Devir sayısına bağlı olarak debi-basma yüksekliği değişim eğrisi

Mevcut işletme koşullarındaki Bir ve İki nolu kazan besleme pompalarında basınç sabit tutulmaya çalışılmakta ve basınç 60 bar'ın altına düşmeyecek şekilde pompa debisi ihtiyaca göre ayarlanmaktadır. Bu çalışma şeklinde pompa devri sabit olup 2960 d/dk'dır.

FK uygulamalarında (VSD) ihtiyaç duyulan debi pompanın farklı devir hızlarında döndürülmesiyle elde edilmektedir. Benzeşim kanunlarına göre devir sayısındaki bir azalma pompaya aktarılan güçte kübik bir azalma sağlayacak ve yeni güç değeri

$$N_2=N_1 (n_2/n_1)^3 \qquad (6.3)$$

formülüne göre hesaplanacaktır.

Bir ve İki nolu kazan besleme pompalarına önerilen sürücü uygulamasında ise basınç 60 bar'ın altında kalmayacak şekilde ihtiyaç duyulan debi pompa devrinin değiştirilmesiyle sağlanacaktır. Örneğin Şekil 6.7'de pompa A noktasında 2960 d/dk'da çalışırken verdiği debi miktarı Q=85 m^3/h'dir. VSD uygulmasıyla pompa deviri basınç 60 Bar'ın altına inmeyecek şekilde 2960 d/dk'dan 2760 d/dk'ya düşürülmesi sonucu çalışma noktası A' noktasına kaymış ve yine aynı miktardaki debiyi (Q=85 m^3/h) vermeye devam etmiştir. Devir sayısının azalması sonucu pompanın ihtiyaç duyduğu yeni güç miktarı 6.3 denklemine göre hesaplanmıştır.

Örneğin,

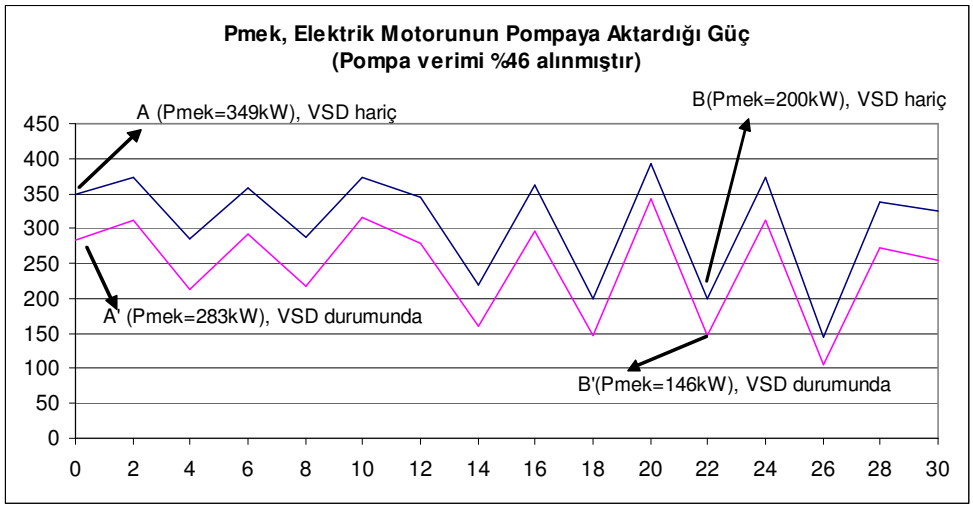
N_1 = 349 kW (A noktasında çalışırken motorun pompaya aktardığı P_{mek} gücü)
n_1 = 2960 d/dk (A noktasında çalışan pompanın devir sayısı)
n_2 = 2760 d/dk (A' noktasında çalışan pompanın devir sayısı)
N_2 = $349*(2760/2960)^3$ = 293 kW (A' noktasında çalışan pompanın ihtiyaç duyduğu P_{mek} gücü)

olacaktır.

Benzer şekilde Tablo 6.9'daki her bir çalışma noktası için hesap yapılacak olursa yeni devir sayıları ve pompanın ihtiyaç duyduğu P_{mek} güç ve her iki durum arasındaki güç farkı aşağıdaki Tablo 6.10'da verilmiştir. Bir aylık alınan debi ve basınç değerlerine göre FK uygulaması (VSD) mevcut duruma göre her bir çalışma noktası için ortalama 61 kW'lık güç tasarrufu sağlamaktadır. Şekil 6.8'de VSD durumunda pompanın ihtiyaç duyacağı gücün değişim grafiği verilmiştir.

Tablo 6.10: Değişken hızlı sürücü (VSD) uygulaması durumundaki devir sayısı ve P_{mek}

Çalışma Noktası	**Hesaplanan Devir [d/dk]**	**VSD Hariç P_{mek} [kW]**	**VSD ile P_{mek} [kW]**	**Güç Farkı [kW]**
A	2760	349	283	66
C	2790	373	312	61
D	2690	284	213	71
E	2763	358	291	67
F	2690	288	217	72
G	2800	374	316	57
H	2760	344	279	65
I	2670	219	161	58
J	2768	363	297	66
K	2668	200	146	54
L	2830	393	343	49
B	2668	200	146	53
M	2790	373	313	61
N	2660	145	105	40
O	2750	338	271	67
P	2730	326	256	70
			Ortalama	**61**



Şekil 6.8: Değişken hızlı sürücü (VSD) sonucunda pompaya aktarılan gücün bir aylık değişimi

Değişken hızlı sürücü kullanılması durumunda elde edilecek enerji tasarrufunun hesabı:

Aylık Tasarruf Miktarı = Ortalama Güç * 30 gün*24 saat/ay

= 61 kW * 30 * 24 saat/ay = 43920 kWsaat/ay

Bir ve İki nolu kazanlardaki pompaların her biri yılda 6 ay çalışmaktadır. Enerjinin birim maliyeti 0,07 USD/kWsaat alınırsa yıllık enerji tasarrufu :

Yıllık Tasarruf Miktarı = 43920 kW saat /ay * 6 ay/yıl * 0,07 USD/kWsaat

= 18446 USD /yıl

Bu tasarruf miktarı sadece bir elektrik motoru için hesaplanmış olup diğer 6 ay çalışan elektrik motorunda da benzer uygulamanın yapılması durumunda tasarruf miktarı 2 katına çıkacaktır.

Geri ödeme süresi farklı iki alternatif için hesaplanmıştır.

Alternatif 1: Mevcut pompa ve 335 kW'lık elektrik motoru aynı kalıp, orta gerilimden beslenen FK ile elektrik motorunun devri değiştirilerek pompa debisi ayarlanabilir ve böylece enerji tasarruf edilebilir.

Orta Gerilimden (2400 volt) beslenecek sürücü : 40.000 euro + KDV (48.000 USD+KDV)

Toplam yatırım maliyeti : 56650 USD
Tasarruf Miktarı : 18446 USD /yıl
Geri Ödeme Süresi : 56650 USD / (18446 USD/yıl) = 3,07 yıl

Alternatif 2: 2400 V orta gerilim trafo ile alçak gerilim seviyesine indirilecek. Bu durumda gerilim seviyesi 400 V veya 690 V'a indirildiği için mevcut motor 335 kW'lık alçak gerilim motoru ile değiştirilecek ve alçak gerilimden beslenen sürücü ile kullanılacaktır.

400 VAC Yeni Elektrik Motoru (335 kW) : 8.500 euro + KDV (10.200 USD+KDV)
Alçak gerilimden beslenen sürücü : 14.500 euro + KDV (17.400 USD+KDV)
2400 V/400 V trafo : 14.000 euro+ KDV (16.800 USD+KDV)
Toplam yatırım maliyeti : 37.000 euro + KDV (44.400 USD+KDV)
Toplam yatırım maliyeti : 52300 USD
Tasarruf Miktarı : 18446 USD /yıl
Geri Ödeme Süresi : 52300 USD / (18446 USD/yıl) = 2,8 yıl

6.3.2. Beş nolu kazan B pompası

Beş nolu kazan besleme pompasına ait buhar debisi, kazan besleme pompasının çekmiş olduğu akım değerleri ile buna göre hesaplanan ve şebekeden çekilen güç değerleri aşağıdaki Tablo 6.11'de verilmiştir. Gün içerisindeki zamana göre değişim grafikleri ise Şekil 6.9'da verilmiştir. Kazandaki buhar debisi ile pompanın vermiş olduğu debinin değişiminin birbirine paralel olduğu kabul edilmiş ve enerji tasarruf hesaplamalarında kazandaki buhar debisi değerleri kullanılmıştır.

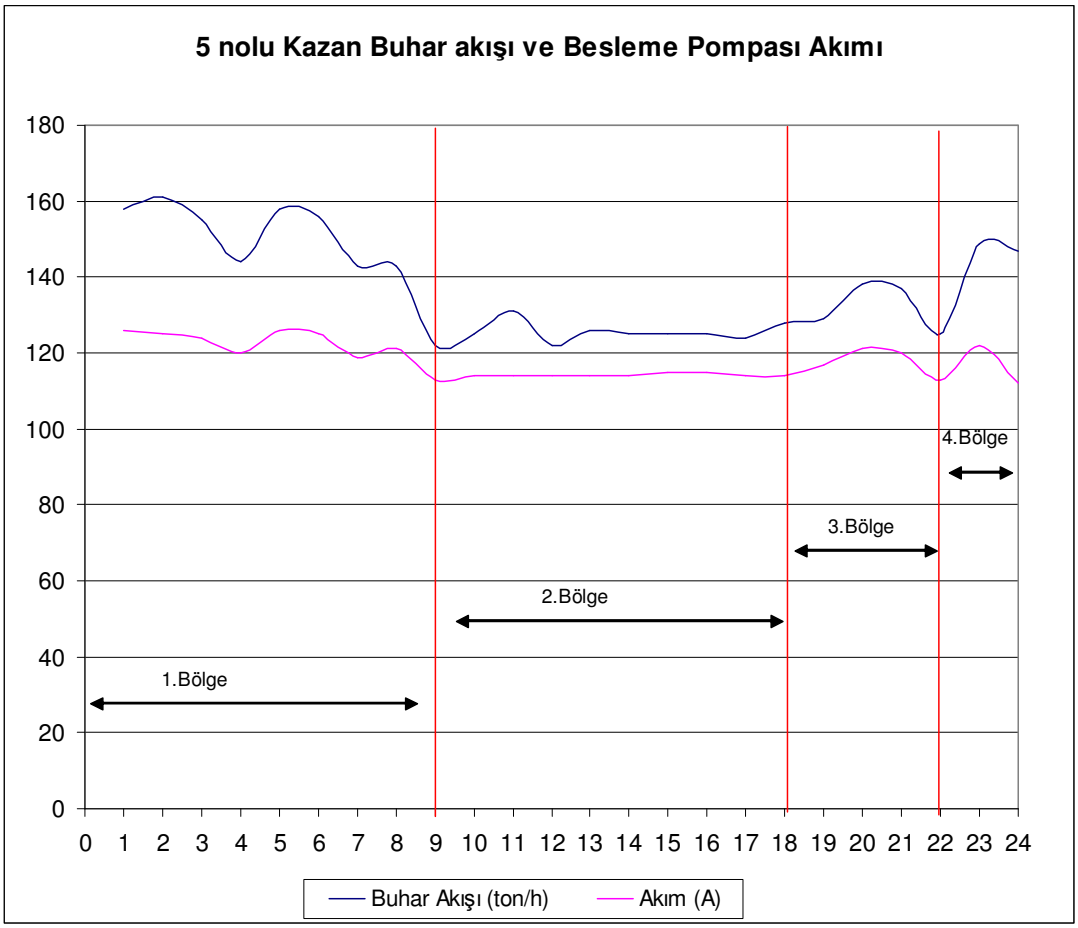
Tablo 6.11: Beş nolu kazan buhar debisi ve kazan besi pompası elektrik motorunun çektiği akım ve güç tüketimi

Bölge	**Saat**	**Buhar Debisi [ton /h]**	**Motorunun Çektiği Akım [A]**	**Motor Tüketimi P_{elek} [kW]***
1 Bölge	1	158	126	419
	2	161	125	416
	3	155	124	412
	4	144	120	399
	5	158	126	419
	6	156	125	416
	7	143	119	396
	8	143	121	402
2 Bölge	9	122	113	376
	10	125	114	379
	11	131	114	379
	12	122	114	379
	13	126	114	379
	14	125	114	379
	15	125	115	382
	16	125	115	382
	17	124	114	379
3 Bölge	18	128	114	379
	19	129	117	389
	20	138	121	402
	21	137	120	399
4 Bölge	22	125	113	376
	23	149	122	406
	24	147	112	372

*Denklem 6.4 yardımıyla hesap edilmiştir.

$$P_{elek}\ [kW] = (1{,}732 * 2400\ V * MÇA * GF)/1000 \quad (6.4)$$

GF = Güç Faktörü = 0,8



Şekil 6.9: Beş nolu kazan buhar akışı ve kazan besleme akımının gün içerisindeki değişimi

Pompanın ve elektrik motorun gün içerisindeki değişimleri 4 farklı bölgeye ayrılarak incelenmiş ve hesaplamalarda her bir bölge için hesaplanan ortalama debi, güç ve çalışma süreleri kullanılmıştır. Hesaplanan ortalama değerler Tablo 6.12'de verilmiştir.

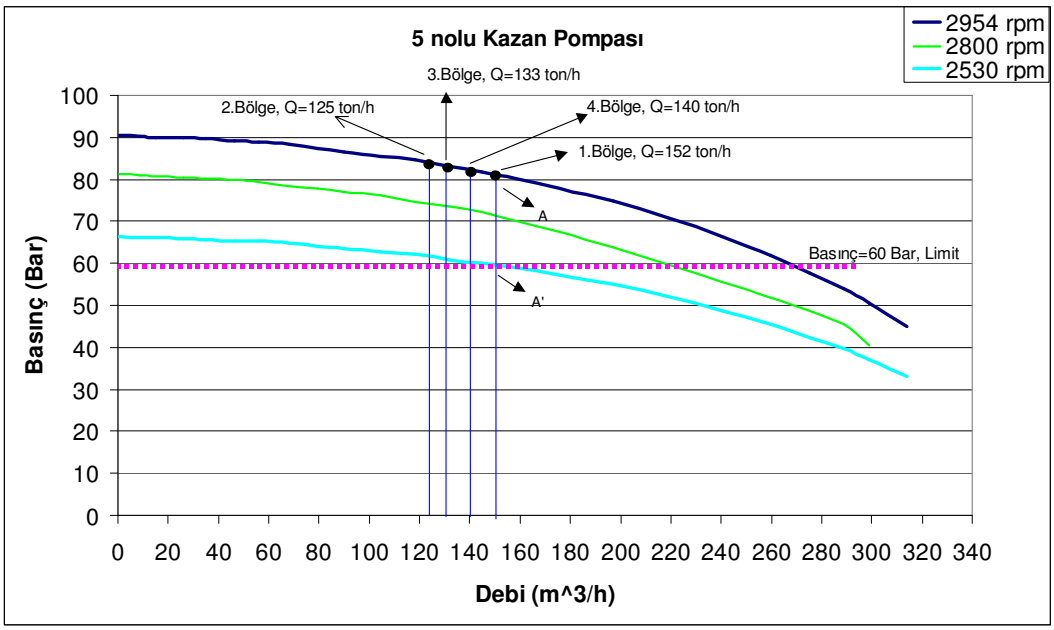
Tablo 6.12: Dört Farklı Bölge için Ortalama Debi, Ortalama Güç ve Çalışma Süresi

Bölge	**Buhar Akışı [ton /h]**	***Pompanın Çalışma Kapasitesi [%]**	**Akım [A]**	**Motor Tüketimi, P_{elek} [kW]**	**Çalışma Süresi [saat]**
1 Bölge	152	75	123	410	9
2 Bölge	125	62	114	379	9
3 Bölge	133	66	117	389	4
4 Bölge	140	69	116	385	2

***** Pompanın çalışma kapasitesi hesaplanırken nominal kapasitesi = 203 (ton/h) alınmıştır.
*Çalışma Kapasitesi = (Buhar Akışı) / (Pompanın etiketindeki kapasitesi)

Mevcut işletme koşullarında beş nolu kazan B pompası elektrik motoru tarafından 2954 d/dk'da sabit hızla tahrik edilmekte ve sistemdeki basınç 60 bar'ın altına düşmeyecek şekilde pompa debisi ihtiyaca göre ayarlanmaktadır.

Pompanın mevcut ve frekans konvertörü kullanılması durumundaki karakteristik eğrisi Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Mevcut pompanın çalışma noktası dört ana bölgeden oluşmakta ve tüm çalışma noktaları için debi değişirken pompanın devir sayısı sabit olup 2954 d/dk'dır. Pompanın FK (VSD) ile çalıştırılması durumunda ihtiyaç duyulan debi pompa devir sayısının değiştirilmesiyle sağlanacaktır. Örneğin pompa, devir sayısını 2954 d/dk'dan 2530 d/dk'ya düşürmesi durumunda yine 1.Bölge için hesaplanan ortalama debiyi (Q=152 ton/h) sağlayabilecektir. Bu durumda pompanın çalışma noktası A noktasından A' noktasına kaymış ve sistemdeki basınç 60 Bar'ın altına düşmemiştir.



Şekil 6.10: Beş nolu kazan B pompası mevcut ve FK uygulama durumundaki karakteristik eğrisi

Benzer şekilde pompanın FK ile birlikte çalışması durumunda her bir bölge için hesaplanan ortalama debiyi verebilmesi ve aynı zamanda basıncında 60 bar'ın altına düşmemesi için dönmesi gereken devir sayıları aşağıdaki Tablo 6.13'de verilmiştir. Benzeşim kanunlarına göre devir sayısındaki azalma pompayı tahrik eden motorun

şebekeden çekmiş olduğu güçte kübik bir azalma sağlayacak ve yeni güç değeri 6.3 formülüne göre hesaplanacaktır. 1. Bölge için örnek hesaplama aşağıda verilmiştir.

N_1 = 410 kW (A noktasında çalışırken motorun şebekeden çektiği P_{elek} gücü)

n_1 = 2954 d/dk (A noktasında çalışan pompanın devir sayısı)

n_2 = 2550 d/dk (A' noktasında çalışan pompanın devir sayısı)

N_2 = 410* $(2550/2954)^3$ = 264 kW (A' noktasında çalışan pompanın şebekeden çektiği P_{elek} gücü)

Tablo 6.13: VSD uygulaması durumundaki devir sayısı ve motor güç tüketimi

Bölge	**Debi [ton /h]**	**VSD Durumundaki Devir [d/dk]**	**Mevcut durumdaki Motor Tüketimi, P_{elek} [kW]**	**VSD durumundaki Motor Tüketimi [kW]**	**Güç Farkı [kW]**
1 Bölge	152	2550	410	264	146
2 Bölge	125	2490	379	227	152
3 Bölge	133	2520	389	242	148
4 Bölge	140	2530	385	242	143

FK kullanılması durumunda elde edilecek enerji tasarrufunun hesabı:

Öncelikle, motorun gün içerisindeki 4 farklı bölgedeki çalışma saatleri kullanılarak günlük enerji tasarrufu hesaplanmış ve Tablo 6.14'de verilmiştir.

Tablo 6.14: Günlük enerji tasarrufu

Bölge	**Çalışma Süresi [saat]**	**Güç Farkı [kW]**	**Enerji Tasarrufu (Güç Farkı*Çalışma Süresi) [kWsaat]**
1 Bölge	9	146	1314
2 Bölge	9	152	1368
3 Bölge	4	148	592
4 Bölge	2	143	286
	1 Günlük Toplam Enerji Tasarrufu (kWh)		**3560**

Günlük Tasarrufun Maliyeti = Toplam enerji tasarrufu (kWsaat) * Enerji Maliyeti
= 3560 (kWsaat /gün) * 0,07 (USD/kWsaat)
= 249 (USD /gün)

Yıllık Tasarrufun Maliyeti = Günlük Tasarruf * Yıllık çalışma süresi
= 249 (USD /gün) * 300 Gün (motor yılda 7200 saat çalışmaktadır)
= 74700 USD

Geri ödeme süresi farklı iki alternatif için hesaplanmıştır.

Alternatif 1: Mevcut pompa ve 500 kW'lık elektrik motoru aynı kalıp, orta gerilimden beslenen frekans konvertörü ile elektrik motorunun devri değiştirilerek pompa debisi ayarlanabilir ve böylece enerji tasarruf edilebilir.

Orta Gerilimden (2.400 volt) beslenecek sürücü : 80.000 euro + KDV (96.000 USD+KDV)

Toplam yatırım maliyeti = 113.000 USD
Tasarruf Miktarı = 74700 USD /yıl
Geri Ödeme Süresi = 113.000 USD /(74700 USD/yıl) = 1,5 yıl (18 ay)

Alternatif 2: 2400 V orta gerilim trafo ile alçak gerilim seviyesine indirilecek. Bu durumda gerilim seviyesi 400 V veya 690 V'a indirildiği için mevcut motor 500 kW'lık alçak gerilim motoru ile değiştirilecek ve alçak gerilimden beslenen sürücü ile kullanılacaktır.

400 VAC Yeni Elektrik Motoru (500 kW) : 13.000 euro + KDV (15.600 USD+KDV)
Alçak gerilimden Beslenen Sürücü : 22.000 euro + KDV (26.400 USD+KDV)

2400 V/400 V trafo : 14.000 euro+ KDV (16.800 USD+KDV)

Toplam yatırım maliyeti = 49.000 euro + KDV (58.800 USD+KDV)
Toplam yatırım maliyeti = 69300 USD
Tasarruf Miktarı = 74700 USD /yıl
Geri Ödeme Süresi = 69300 USD / (74700 USD /yıl) =0,92 yıl ≈ 11ay

FK uygulanması önerilen pompalar, yıllık enerji ve parasal tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri Tablo 6.15'de özetlenmiştir.

Tablo 6.15: Frekans konvertörü uygulanması önerilen pompalar, yıllık enerji ve parasal tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri

İstasyon Adı	**Pompa Adı**	**FK Sonrası Güç Düşümü Gücü [kW]**	**Yıllık Çalışma Süresi [Saat]**	**Yıllık Enerji Tasarrufu [kWh]**	**Yıllık Mali Tasarruf [USD]**	**Yatırım Miktarı [USD]**	**Geri ödeme süresi [Ay]**
1 ve 2 nolu Kazan	1 Nolu	61	4320	263 520	18446	56 650* 52 300**	36,8* 33,6**
	2 Nolu	61	4320	263 520	18446	56 650* 52 300**	36,8* 33,6**
5 Nolu Kazan	B	147,25	7200	1 060 200	74700	113 000* 69 300**	18* 11**

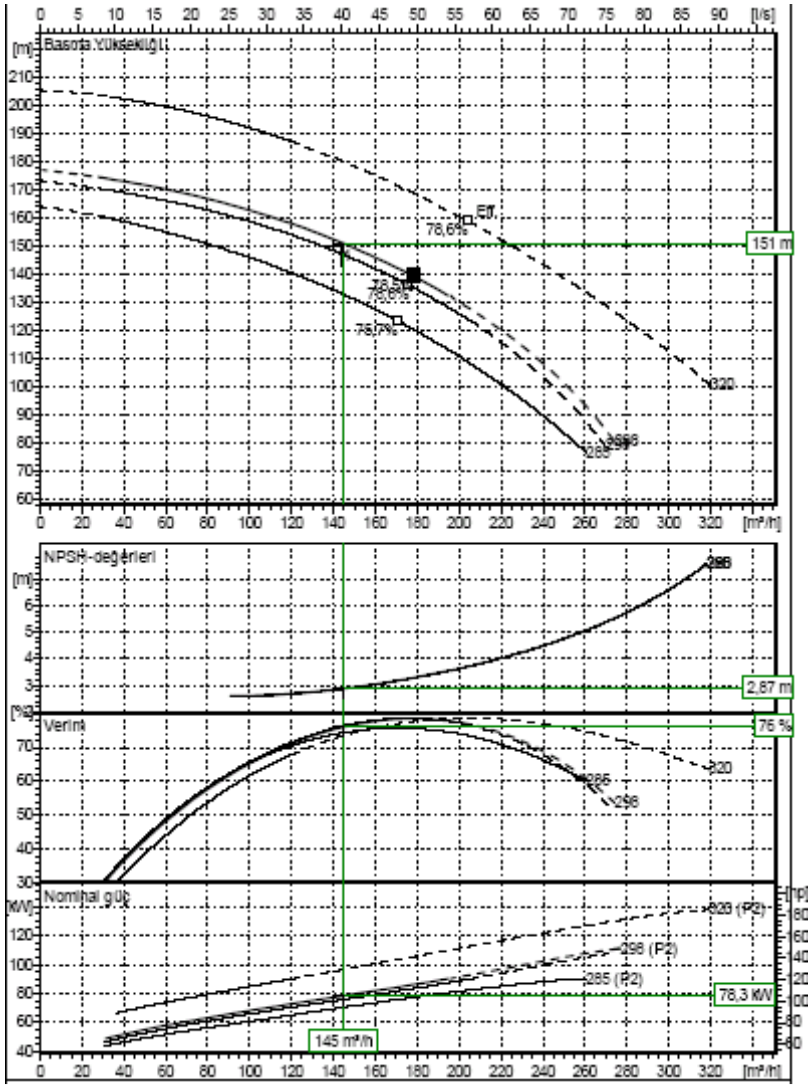
*Alternatif 1
** Alternatif 2

6.4.Yüksek Güçte Seçilmiş Olan Elektrik Motorlarının Uygun Güçte Olanlarla Değiştirilmesi

6.4.1. Altı ve yedi nolu atık ısı kazanları orta basınç pompaları

Altı ve yedi nolu atık ısı kazanları orta basınç pompalarında işletme koşullarında yapılan ölçümlerde pompa veriminin %34-35 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonunda pompaların maksimum debi ve basınçta çalışmaları durumunda akışkan gücünün 52 kW olacağı hesaplanmıştır. Pompa veriminin %57

dolayında seçilmesi durumunda olması gerekli elektrik motor gücü 90 kW'dır. Dolayısıyla mevcut 110 kW'lik elektrik motorlarının 90 kW'lik motorlarla değiştirilmesi durumunda belirli oranda tasarruf sağlanacaktır. Üretici firmalardan aynı basınç ve debi kapasitelerine sahip yeni pompa teklifleri alınmıştır. Ölçüm koşullarındaki debi ve basınç değerlerinin sağlanması için, yeni pompanın verim, güç, basınç ve debi diyağramı (Şekil 6.11) kullanılarak elektrik motor gücü ve pompa verim değeri tespit edilmiştir. Mevcut ve yeni elektrik motorlarına ait hesaplamalar Tablo 6.16'da verilmiştir.



Şekil 6.11: Yeni pompa karekteristik eğrileri

Şekil 6.11'den de görülebileceği üzere mevcut pompalar verimli çalışmakta olup sadece elektrik motorlarınta tasarrufa gidilmelidir.

Tablo 6.16: Mevcut ve yeni elektrik motorlarına ait hesaplamalar

Pompa Adı		**Pompaya Aktarılan Güç**	**Akışkan Gücü**	**Pompa Verimi**
		[kW]	**[kW]**	**[%]**
6 Nolu Kazan 2 Nolu	Mevcut Elektrik Motoru	86,67	29,61	34,17
	Yeni Elektrik Motoru	68,00	29,61	43,54
7 Nolu Kazan 1 Nolu	Mevcut Elektrik Motoru	88,50	30,33	34,27
	Yeni Elektrik Motoru	70,00	30,33	43,33

Yukarıda görüldüğü üzere mevcut elektrik motorlarının yenileri ile değiştirilmesi durumunda aynı akışkan gücünü elde edebilmek için yaklaşık 18 kW daha az enerji harcanacaktır. Bu durumda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanarak Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.17: Mevcut elektrik motorunun yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Pompa Adı	**Mevcut Elektrik Motor Gücü**	**Yeni Elektrik Motor Gücü**	**Saatlik Enerji Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[kW]	**[kW]**	**[kW]**	**[SAAT]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
6 Nolu Kazan 2 Nolu	86,67	68,00	18,67	4320	5645,85	3800,00	8,1
7 Nolu Kazan 1 Nolu	88,50	70,00	18,50	4320	5594,40	3800,00	8,2

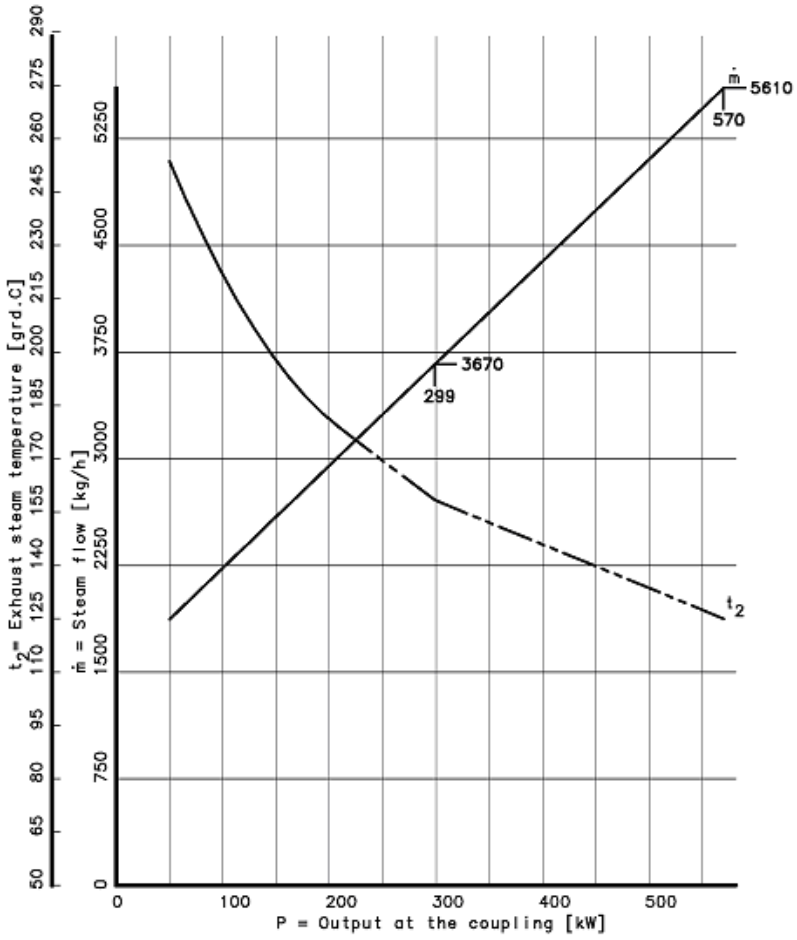
6.5. Verimsiz ve Yüksek Kapasitede Seçilmiş Olan Buhar Türbinlerinin Yüksek Verimli ve Uygun Kapasitede Türbinlerle Değiştirilmesi

Buhar türbini tahrikli pompalarda yapılan ölçümler sonucunda tüm buhar türbinlerinin iç verimleri düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm buhar türbinlerinin gereğinden büyük seçildiği Şekil 5.2'de gösterilen Mollier diyağramından anlaşılmaktadır. Normalde buhar türbini çıkışı noktası C noktası olması gerekirken işletmede çalışan türbinlerin D noktası gibi enerjileri yüksek bir

noktada çıkmaktadır. Bunun anlamı buhar yeterince kullnılmadan enerjisi geriye gitmektedir. Bu buhar türbinlerine ait tasarruf potansiyelleri aşağıda sırasıyla irdelenmiştir.

6.5.1. Üç ve dört nolu kazan A pompası

Üç ve dört nolu kazan besleme A pompasında ve buhar türbininde işletme koşullarında yapılan ölçümlerde buhar türbini iç verimlerinin %18-20 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Üretici firmalardan söz konusu buhar türbini ile aynı basınç ve sıcaklık kapasitelerine sahip yeni buhar türbini teklifleri alınmıştır. Bu değerleri sağlayan buhar türbinine ait karakteristik eğri Şekil 6.12'de verilmiştir. Mevcut ve önerilen buhar türbinlerine ait hesaplamalar Tablo 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.12: Buhar türbinlerine ait karakteristik eğri

Tablo 6.18: Mevcut ve önerilen buhar türbinlerine ait hesaplamalar

Buhar Türbini	**P_1 [bar]**	**P_2 [bar]**	**T_1 [°C]**	**T_2 [°C]**	**$W_{yararlı}$ [kW]**	**$W_{tersinir}$ [kW]**	**$\eta_ç$ [%]**	**η_k [%]**
Mevcut	14,00	0,70	277,00	218,00	578,15	1862,39	18,18	31,04
Önerilen	14,00	0,70	277,00	125,00	570,00	620,29	61,93	91,89

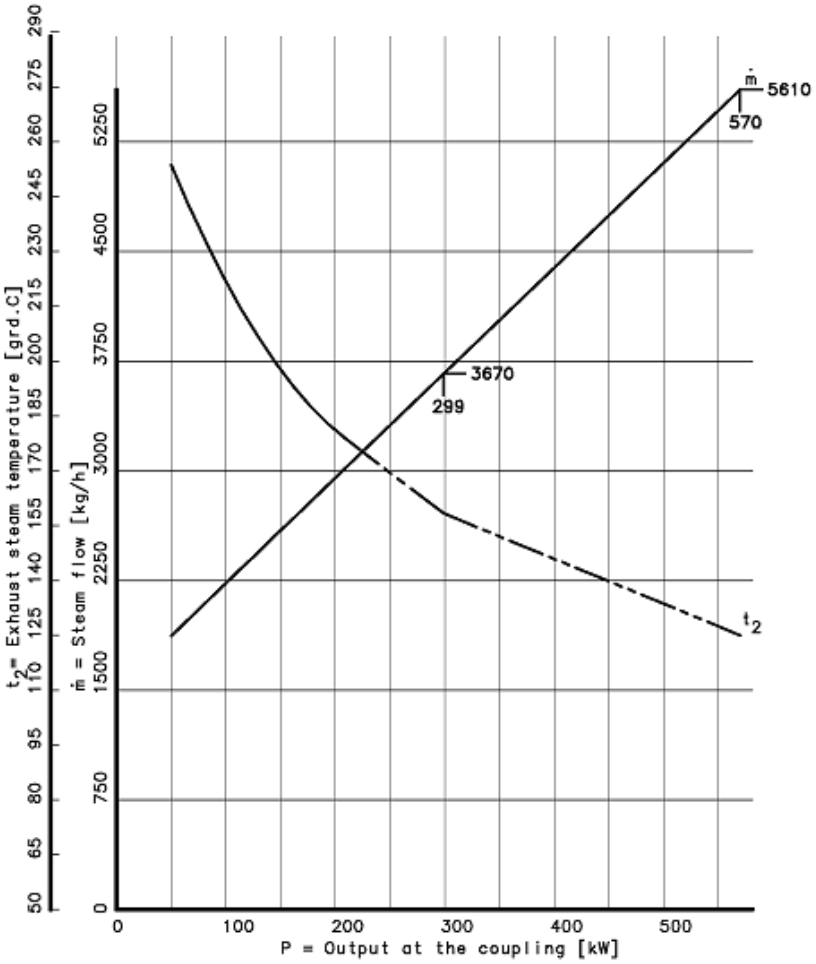
Yukarıda görüldüğü üzere mevcut buhar türbini yenisi ile değiştirildiği zaman, çalışma veriminde %43'lük ve kullanılabilirlikte de %60'lik bir iyileştirme söz konusu olacaktır. Mevcut buhar türbininin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanarak Tablo 6.19'da verilmiştir.

Tablo 6.19: Mevcut buhar türbininin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Buhar Türbini	**Mevcut Buhar Debisi**	**Önerilen Buhar Debisi**	**Saatlik Buhar Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[ton/h]	**[ton/h]**	**[ton/h]**	**[SAAT]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
A Pompası Buhar Türbini	10,00	5,61	4,39	4320,00	498394,94	150000	3,6

6.5.2. Üç ve dört nolu kazan B pompası

Üç ve dört nolu kazan besleme B pompasında ve buhar türbininde işletme koşullarında yapılan ölçümlerde buhar türbini iç verimlerinin %18-20 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Üretici firmalardan söz konusu buhar türbini ile aynı basınç ve sıcaklık kapasitelerine sahip yeni buhar türbini teklifleri alınmıştır. Bu değerleri sağlayan buhar türbinine ait karakteristik eğri Şekil 6.13'de verilmiştir. Mevcut ve önerilen buhar türbinlerine ait hesaplamalar Tablo 6.20'de verilmiştir.



Şekil 6.13: Buhar türbinlerine ait karakteristik eğri

Tablo 6.20: Mevcut ve önerilen buhar türbinlerine ait hesaplamalar

Buhar Türbini	**P_1 [bar]**	**P_2 [bar]**	**T_1 [°C]**	**T_2 [°C]**	**$W_{yararlı}$ [kW]**	**$W_{tersinir}$ [kW]**	**$\eta_ç$ [%]**	**η_k [%]**
Mevcut	14,00	0,70	255,00	192,00	578,15	1852,74	18,15	31,21
Önerilen	14,00	0,70	255,00	125,00	570,00	581,65	49,53	98,00

Yukarıda görüldüğü üzere mevcut buhar türbini yenisi ile değiştirildiği zaman, çalışma veriminde %31'lik ve kullanılabilirlikte de %66'lık bir iyileştirme söz konusu olacaktır. Mevcut buhar türbininin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanarak Tablo 6.21'de verilmiştir.

Tablo 6.21: Mevcut buhar türbininin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Buhar Türbini	**Mevcut Buhar Debisi**	**Önerilen Buhar Debisi**	**Saatlik Buhar Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[ton/h]	**[ton/h]**	**[ton/h]**	**[SAAT]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
B Pompası Buhar Türbini	10,00	5,61	4,39	4320,00	498394,94	150000,00	3,6

6.6.Yüksek Verimli Elektrik Motor Kullanımı ve Enerji Tasarrufu

Elektrik motoru ile tahrik edilen pompa motorlarının yüksek verimli motorlar ile değiştirilmesi durumunda elde edilecek enerji tasarrufu miktarı hesaplanmıştır. Pompa ve mevcut çalışma koşulları aynı olup sadece tahrik motorunun yüksek verimli motor ile değiştirilmesi durumunda ne kadar bir enerji tasarrufu sağlanacağı incelenmiştir.

Ekonomik ömrünü tamamlayan, arıza nedeniyle değiştirilmesi düşünülen ya da işletmedeki büyük revizyonlar sonucunda yeni kompresör, HVAC ve pompa sistemleri satın alınırken mevcut standart elektrik motorlarının yerine "yüksek verimli elektrik motorlarının" tercih edilmesi enerjinin daha verimli kullanılmasını ve dolayısıyla enerji tasarrufu elde edilmesini sağlamaktadır.

Standart bir motorun yüksek verimli motor ile değiştirilmesi durumunda tasarruf edilecek enerji 6.5 formülü yardımı ile hesaplanabilir.

$$ET = MS \text{x} \text{Nominal Güç x ÇS x} YK \text{ x } KF \text{ x } (1/\eta_{standart} - 1/\eta_{yüksek\ verimli}) \quad (6.5)$$

Burada;

ET : Enerji tasarrufu

MS : Aynı güçteki motor sayısı,

ÇS : Çalışma süresi,

YK : Yüklenme katsayısı,

KF : Kullanma faktörü (Sürekli devrede olan motorlar için KF=1'dir.),

$\eta_{standart}$: Standart tip motor verimi,

$\eta_{yüksek\ verimli}$: Yüksek verimli tip motor verimini göstermektedir.

Standart motor ile yüksek verimli motorların verimle ilgili kıyaslamaları Tablo 6.22'de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi etiket gücü 224 kW'dan (300 HP'den) daha büyük olan yüksek verimli motorların verim değeri bilinmemektedir.

Tablo 6.22: Motor verimlerinin karşılaştırılması

Nominal Motor Gücü (hp)	**Nominal Motor Gücü (kW)**	**Standart tip motor Ortalama verimi**	**Yüksek verimli motor Ortalama verimi**
1	0,75	0,825	0,865
2	1,12	0,84	0,894
2	1,49	0,84	0,888
3	1,87	0,812	0,87
3	2,24	0,875	0,895
4	2,98	0,827	0,889
5	3,73	0,875	0,902
8	5,60	0,895	0,917
10	7,46	0,895	0,917
15	11,19	0,91	0,93
18	13,43	0,878	0,924
20	14,92	0,91	0,936
25	18,65	0,924	0,941
30	22,38	0,924	0,941
40	29,84	0,93	0,945
50	37,30	0,93	0,95
60	44,76	0,936	0,954
75	55,95	0,941	0,954
100	74,60	0,945	0,958
125	93,25	0,945	0,954
150	111,90	0,95	0,958
200	149,20	0,95	0,958
250	186,50	0,954	0,962
300	223,80	0,954	0,962

Not: Değerler sekiz firmanın ortalama değeri olup, motor tam yükte olması durumu için geçerlidir.

Yüksek verimli motor tesis edilmesiyle, motorlar için aylık demand güç tasarrufu "DT", aylık kilowatt-saat enerji kullanım tasarrufu "KT" olmak üzere 6.6 ve 6.7 formülleri yardımı ile hesap edilir.

$$DT = \text{Nominal Güç} \times MS \times YK \times (1/\eta_{standart} - 1/\eta_{yüksek\ verimli}) \quad (6.6)$$

$$KT = DT \times ÇS \times KF \quad (6.7)$$

Örnek olarak, elektriğin birim fiyatı 0,075 $/kWh olan bir tesiste tam yükte 7000 saat/yıl çalışan ve sürekli devrede olan 45 kW nominal gücündeki 36 adet motorun yüksek verimli motor ile değiştirilmesi durumunda;

Demand enerji tasarrufu (DT):

DT = (45 kW x 36 x 1) x [(1.0/0,936) - (1.0/0,954)]

DT = 32.656 kW/ay

Kullanım tasarrufu (KT) :

KT = (32.656 kW/ay) x (7000 saat/yıl)

KT = 228.592 kWh/yıl

Yıllık kullanımdan kaynaklanan tasarrufun parasal karşılığı (KMT) :

KMT = KT x (ortalama elektrik birim kullanım fiyatı)

KMT = 228.592 kWh/yıl x 0,075$/kWh

KMT = 17.144,4 $/yıl

Ölçüm yapılan elektrik tahrikli pompa motorlarının etiket gücü (kW), yıllık çalışma süreleri (ÇS), yüklenme katsayıları (YK) ve kullanım faktörü (KF) aşağıdaki Tablo 6.23'de verilmiştir. Pompalara ait motorlarının etiket güç değerleri incelendiğinde 224 kW'dan daha küçük güçlü yalnızca 2 adet pompa motoru bulunmaktadır. Bu değerden daha büyük güçlü yüksek verimli motorların verim değerleri bilinmediğinden hesaplamalar sadece gücü 224kW dan küçük olan 2 adet elektrik motoru için yapılmıştır.

Tablo 6.23: Elektrik Motorlarının Çalışma Süresi

Ölçüm Yapılan Elektrik Motorları	Motor Sayısı	Etiket Gücü	Motorun Çektiği Güç	Çalışma Süresi	Yüklenme Katsayısı	Kullanma Faktörü
	MS	kW	kW	ÇS	YK	KF*
1 ve 2 nolu kazan besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	1	335	289,8	4320	80,92	1
1 ve 2 nolu kazan besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	1	335	279,9	4320	78,17	1
5 nolu kazan besleme B pompası Elk. Motoru	1	500	459,9	7200	81,61	1
6 nolu atık ısı kazanı besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	1	110	94,2	4320	78,79	1
7 nolu atık ısı kazanı besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	1	110	95,7	4320	80,46	1
Deniz kenarı 2 nolu pompa Elk. Motoru	1	447	423,5	8342	83,92	1
Deniz kenarı 4 nolu pompa Elk. Motoru	1	447	420	8342	83,22	1

* Tüm motorlar sürekli devrede olduğu için KF=1 alınmıştır.

Bu motorların yüksek verimli motor ile değiştirilmesi durumunda elde edilecek aylık demand enerji tasarrufu (DT), kullanım tasarrufu (KT) ve elde edilecek yıllık tasarrufun parasal karşılığı (KMT) Tablo 6.24'de verilmektedir. Tabloda verildiği üzere aylık toplam demand enerji tasarrufu 1,54 kW, yıllık enerji kullanım tasarrufu (toplam enerji tasarrufu) 6652 kWh'dır. Enerjinin birim maliyeti 0,07 $/kWh alınarak incelenen 2 adet motorun yüksek verimli motorlar ile değiştirildiğinde her yıl kazanılacak toplam tasarrufun parasal karşılığı ise 465,64 $/yıldır.

Standart motor yerine yüksek verimli motor satın alımı yapıldığında fazladan ödenen paranın geri ödeme süresi; standart motor ile yüksek verimli motor arasındaki fiyat farkından bulunabilir. 110 kW'lık motor için bu fiyat farkı ortalama 600$ alınmıştır.

Geri ödeme süresi = (Yatırım tutarı) / (Yıllık Mali Tasarruf)
Geri ödeme süresi = (1200$) / (465,64$/yıl) x 12 ay/yıl
Geri ödeme süresi = 30,9 ay

Geri ödeme süresinin geçmesinden sonra her yıl 6652 kWh/yıl'lık enerji veya 465,64 $/yıl'lık mali tasarruf elde edilmeye başlanılacaktır.

Tablo 6.24: Yüksek Verimli Motor Kullanımı ile Enerji Tasarrufu

Ölçüm Yapılan Elektrik Motorları	DT	KT	KMT=YMT	Yatırım Tutarı
	kW/ay	kWh	$/yıl	$
6 nolu atık ısı kazanı besleme 2 nolu pompa Elk. Motoru	0,762	3291	230,38	600
7 nolu atık ısı kazanı besleme 1 nolu pompa Elk. Motoru	0,778	3361	235,26	600
TOPLAM	1,540	6652	465,64	1200

*Yatırım Tutarı: Yüksek verimli motor tercih edilmesi durumunda fazladan ödenecek fiyat

6.7.İzolasyon Isı Kayıplarının Giderilmesi

Termal kamera ölçümleri ile buhar türbin tahrikli pompaların türbin kısımları incelenmiştir. Ölçümlerde buhar türbini giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş, ayrıca yüzeylerde sıcaklık taraması yapılarak izolasyon durumları da incelenmiştir. Ölçüm yapılan buhar türbinlerinin listesi ve Tablo 6.25'de verilmiştir.

Tablo 6.25: Termal kamera ölçümü yapılan buhar türbinler

TÜRBİN ADI	**Ölçüm Değerleri**	
	Giriş Kısmı Max. Sıcaklık [^{o}C]	**Çıkış Kısmı Max. Sıcaklık [^{o}C]**
3 ve 4 nolu Kazan A Pompa Türbini	277,5	218
3 ve 4 nolu Kazan B Pompa Türbini	304,1	205,9

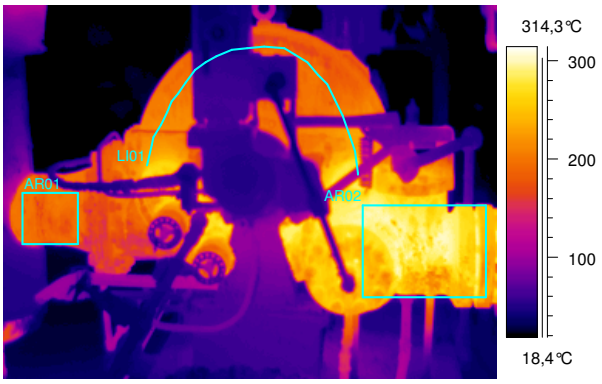
Termal kamera ile yapılan incelemelerde buhar türbini girişlerinde ölçülen maksimum sıcaklık değerleri 304^{o}C'nin üzerinde olup bu sıcaklık değerleri dizayn değerlerine uymaktadır. Buhar türbini çıkışlarında ölçülen sıcaklık değerleri ise 200^{o}C'nin üzerinde olup, etiket değeri olan 110^{o}C'nin çok üzerindedir. Bu durum mevcut buhar türbinlerinin yüksek seçilmesi, zamanla buhar türbini kanatlarındaki aşınma ve izolasyon kayıpları gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Buhar hatlarının, vanaların ve türbinlerin yalıtılması ve bozulmuş yalıtımların değiştirilmesi önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Pratikte 60°C'nin üzerinde sıcaklığı olan yüzeylerin tamamı yalıtılmalıdır. Tesis içerisindeki buhar hatlarının, vanaların ve türbinlerin bazı noktalardaki izolasyonları yıpranmış olup

atmosfere enerji kayıpları olmaktadır. Kayıpların en aza indirilmesi için bu noktalardaki izolasyonların onarımları yapılmalı zayıf bölgelerdekiler ise kuvvetlendirilmelidir. Bu çalışmada izolasyondan kaynaklanan kaybın, diğer tasarruf opsiyonları yanında oranının düşük olacağından izolasyon kayıpları için ayrıca hesaplama yapılmamıştır.

Buhar türbini yüzeylerinde yapılan sıcaklık taramalarında ceket uygulamasının yapıldığı buhar türbinlerinde ısı yalıtımından dolayı yüzey sıcaklıklarının düşük olduğu görülmüştür. Ceket uygulamasının olmadığı buhar türbinlerinde ise yüzeylerden enerji kayıpları olmakta ve bu durum verimlerinin düşmesine neden olmaktadır.

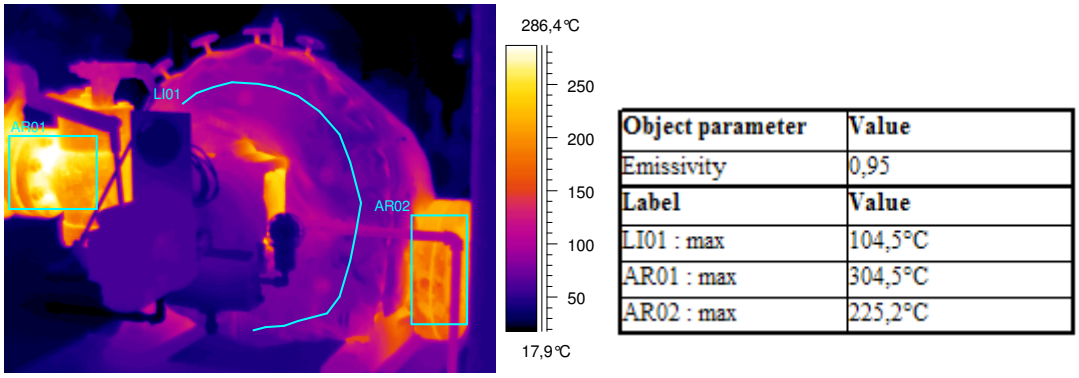
Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'de buhar türbinleri için örnek termal görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.14'de buhar türbini yüzeyinin yalıtılmadığı (ceket uygulaması kullanılmadığı) duruma ait termal fotoğraf verilmiştir. Buhar türbini giriş sıcaklığı AR01, çıkış sıcaklığı AR02 ve gövde sıcaklığı LI01 ile gösterilmiş olup ölçülen maksimum sıcaklık değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Çekilen termal fotoğraflar sıcaklığa göre renklendirilmiş ve renk kodları ile bunlara karşılık gelen sıcaklıklar fotoğrafın sağındaki skalada verilmiştir. Türbin gövdesindeki sıcaklığı 276°C ölçülmüştür.



Object parameter	Value
Emissivity	0,95
Label	**Value**
LI01 : max	276,3°C
AR01 : max	304,1°C
AR02 : max	205,9°C

Şekil 6.14: Yalıtımı yapılmamış buhar türbini

Benzer buhar türbini için ceket uygulamasının yapıldığı uygulamalarda ise yüzey sıcaklıkları 105°C seviyesinde olup yalıtımın yapılmadığı durumdaki sıcaklığa göre oldukça düşüktür. Buhar türbini giriş, çıkış ve gövde sıcaklıkları Şekil 6.15'de verilmiştir.



Object parameter	Value
Emissivity	0,95
Label	**Value**
LI01 : max	104,5°C
AR01 : max	304,5°C
AR02 : max	225,2°C

Şekil 6.15: Yalıtımı yapılmış buhar türbini

6.8.Kavitasyon

Kavitasyon, bir akışkan içinde esas olarak buhar ile dolu gaz boşluklarının oluşması ve bunların aniden çökmesi olarak tanımlanabilir. Gaz boşlukları akışkan basıncının sıcaklıkla ilişkili olarak buharlaşma basıncına yakın bir değere düşen yerlerde oluşur. Bunlar akışla taşınırlar ve akışkan basıncının yükseldiği yerlerde çökerler. Bu boşluklar; kabarcıklar, girdaplar, keseler, kümeler ve benzeri çeşitli biçimlerde olabilir. Hava veya buhar habbeciği oluştuktan sonra akış yönünde hareket eder ve biraz sonra bir kesit boyunca statik basıncın en düşük olduğu yer olan cidara giderek orada yok olur ve bu yok olma kendini, malzemeyi tahrip ederek gösterir [18].

Sonuç olarak pompalarda istenmeyen bu durum, pompa çarkı ve gövdesinde hasarlara neden olur. Kısa sürede pompa performansında düşmeler ve bir süre sonra da pompanın kullanılamaz hale gelmesine neden olur.

Ölçüm yapılan pompaların çalışma şartları ve akışkan sıcaklıklarına bakılarak her pompanın kavitasyon hesabı yapılmış ve ilgili sonuçlar Tablo 6.26'da verilmiştir.

Tablo 6.26: İşletmedeki ölçüm yapılan pompaların kavitasyon hesapları

Pompa Adı	**P_a [Pa]**	**P_b [Pa]**	**Q [ton/h]**	**n [d/dk]**	**Δy [m]**	**h_e [m]**	**P_e [bar]**	**$P_{giriş}$ (P_1) [bar]**	**Sonuç**
1 ve 2 Nolu Kazan Besleme Pompaları	101325	143270	113	2950	5,30	-10,57	**1,04**	**1,40**	**YOK**
3 ve 4 Nolu Kazan Besleme A Pompası	101325	174954	211	2970	5,40	-13,91	**1,36**	**1,50**	**YOK**
3 ve 4 Nolu Kazan Besleme B Pompası	101325	174954	211	2982	5,27	-13,78	**1,35**	**1,50**	**YOK**
5 Nolu Kazan Besleme B Pompası	101325	174954	203	2954	5,07	-13,58	**1,33**	**1,80**	**YOK**
6 ve 7 Nolu Kazan Besleme Pompaları	101325	198540	144	2976	6,30	-17,21	**1,69**	**2,00**	**YOK**
Tuzlu Su İstasyonu Pompaları	101325	3171	6300	735	12,12	-3,12	**0,31**	**0,30**	**VAR**

$$h_{emaks} = \frac{P_a}{\rho.g} - \frac{P_b}{\rho.g} - ENPY - h_{kayıp}$$

$$Pe = \rho.g.h_{emaks} \qquad (6.8)$$

Kavitasyon hesabı yapılırken 6.8 formülü kullanılmıştır. Bu formülde;

P_a : Pompanın kurulu olduğu bölgedeki ortam basıncı (N/m^2)

P_b : Pompa girişindeki suyun sıcaklığına bağlı doyma basıncı (N/m^2)

Pe . Emme hattı giriş basıncı

ENPY : Katalog veya hesaplanan değerlere göre pompa emme hattındaki net pozitif yük (m)

$h_{kayıp}$: Emme hattındaki borularda ve bölgesel elemanlarda meydana gelen basınç kaybı (m)

h_{emaks} : Emme hattının maksimum yüksekliği

değerlerini göstermektedir.

Pompanın kavitasyonsuz çalışabilmesi için P_e değerinin $P_{giriş}$ (P_1) değerinden küçük olması gerekmektedir. Aksi halde pompa kavitasyonlu çalışacaktır.

Tablo sonuçları incelendiğinde deniz kenarında çalışan tuzlu su istasyonu pompalarının P_e= 0.31 bar olup bu değer (P_1) giriş basıncının üzerindedir. Dolayısıyla bu pompalarda kavitasyon görülme olasılığı yüksektir. Hatta tam kavitasyon sınırında çalışmakta olup yazın suların ısınmasıyla kavitasyon riski daha fazla artacaktır.

Yapılan incelemede deniz kenarında sökülmüş su pompasının resmi Şekil 6.16'da görülmektedir.



Şekil 6.16: Deniz kenarı tuzlu su pompa istasyonundan sökülen pompa resmi

Bu fotoğraflardan da anlaşılacağı üzere bu pompa tam kavitasyon sınırında çalışmış, dolayısıyla pompa çarkı ve gövdesi kavitasyon nedeniyle aşınmıştır.

Hesaplardan da görüldüğü üzere deniz kenarı tuzlu su pompa istasyonundaki pompaların kavitasyon oluşmadan çalışabilmeleri için, pompa çarklarının deniz suyu seviyesinden en az 3.5 metre derinlikte çalışmaları gerekmektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada sanayi kuruluşuna ait pompalarında enerji verimliliğine yönelik ölçümler yapılmıştır.

Ölçüm verileri kullanılarak mevcut pompa, elektrik motoru ve buhar türbini verimleri hesap edilmiştir.

Sonuçta başlıca tasarruf imkânları:

- Mevcut düşük verimli pompaların yeni pompalarla değiştirilmesi,
- Verimi belli oranda düşen pompaların bakımdan geçirilmesi,
- Elektrik motorlarında frekans konvertörü uygulanması,
- Yüksek güçte seçilmiş olan elektrik motorlarının uygun güçte olanlarla değiştirilmesi,
- Verimsiz ve yüksek kapasitede seçilmiş olan buhar türbinlerinin yüksek verimli ve uygun kapasitede türbinlerle değiştirilmesi,
- Yüksek verimli elektrik motorlarının kullanılması,
- İzolasyon-Enerji kayıplarının giderilmesi
- Deniz kenarı tuzlu su pompalarının kavitasyon problemlerinin giderilmesi olarak belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen her bir tasarruf opsiyonu için iyileştirme önerileri, bunların yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri aşağıda özetlenmiştir.

7.1.Mevcut Düşük Verimli Pompaların Yeni Pompalarla Değiştirilmesi

Mevcut düşük verimli pompalar, bu pompaların yeni pompalarla değiştirilmesi durumunda mevcut ve tasarruf sonucundaki verim değerleri, tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1: Düşük verimli pompaların yeni pompalarla değiştirilmesi durumunda aynı şartlar için mevcut ve tasarruf sonucundaki verim değerleri, tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri

İstasyon Adı	Pompa Adı	Mevcut pompa verimi [%]	Önerilen pompa verimi [%]	Saatlik enerji tasarrufu [kW]	Yıllık mali tasarruf [USD]	Yatırım Miktarı [USD]	Geri ödeme süresi [Ay]
1 ve 2 Nolu Kazan	1 Nolu	46,88	60,98	71,00	21470,40	50000,00	27,9
	2 Nolu	48,62	62,76	61,80	18688,32	50000,00	32,1
Deniz Kenarı	2 Nolu	53,32	71,11	125,14	73074,17	200000,00	32,8
	4 Nolu	55,56	71,11	104,97	34888,80	200000,00	68,8

Yukarıdaki verilen 1 ve 2 Nolu Kazan 1 ve 2 nolu pompalar yılda 4320 saat, Deniz Kenarı 4 nolu pompa ise yılda 4748 saat çalıştırılmaktadır. Bunun yerine bu istasyondaki birer pompanın yenilenmesi ve yenilenen pompanın sürekli olarak çalıştırılması (istasyondaki diğer pompanın yedekte tutulması) durumunda aynı hesaplar yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.2: Yenilenmiş bir tek pompanın sürekli olarak çalıştırılması durumunda aynı şartlar için mevcut ve tasarruf sonucundaki verim değerleri, tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri

İstasyon Adı	Pompa Adı	Mevcut pompa verimi [%]	Önerilen pompa verimi [%]	Saatlik enerji tasarrufu [kW]	Yıllık mali tasarruf [USD]	Yatırım Miktarı [USD]	Geri ödeme süresi [Ay]
1 ve 2 Nolu Kazan	1 Nolu	46,88	60,98	71,00	42940,80	50000,00	14,0
	2 Nolu	48,62	62,76	61,80	37376,64	50000,00	16,1
Deniz Kenarı	4 Nolu	55,56	71,11	104,97	61297,89	200000,00	39,2

7.2.Verimi Belli Oranda Düşen Pompaların Bakımdan Geçirilmesi

5 Nolu kazan B pompası yenileri ile karşılaştırıldığında veriminde %10'luk bir düşüş olduğu görülmüştür. Mevcut pompalarda kanat kaplama, parlatma, yatak bakımı vs. gibi revizyondan geçirilmesi durumunda verimlerinde en az %5'lik bir iyileşme saglanabilir. Bu durumda olan pompalar, tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri Tablo 7.3'de verilmiştir.

Tablo 7.3: Verimler belirli oranda düşen pompalarda mevcut verim, revizyon sonrası potansiyel enerji ve mali tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri

İstasyon Adı	Pompa Adı	Mevcut Pompa Verimi [%]	Mevcut Elektrik Motor Gücü	Revizyon Sonrası Saatlik Elektrik Tasarrufu [kW]	Yıllık Mali Tasarruf [USD]	Yatırım Miktarı [USD]	Geri Ödeme Süresi [Ay]
5 Nolu Kazan	B Pompası	61,96	408,00	20,40	10281,60	20000,0	23,3

7.3.Elektrik Motorlarında Frekans Konvertörü Uygulaması

FK uygulanması önerilen pompalar, yıllık enerji ve parasal tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri Tablo 7.4'de özetlenmiştir.

Tablo 7.4: Frekans konvertörü uygulanması önerilen pompalar, yıllık enerji ve parasal tasarruf, gerekli yatırım ve yatırımın geri ödeme süreleri

İstasyon Adı	Pompa Adı	FK Sonrası Güç Düşümü Gücü [kW]	Yıllık Çalışma Süresi [Saat]	Yıllık Enerji Tasarrufu [kWh]	Yıllık Mali Tasarruf [USD]	Yatırım Miktarı [USD]	Geri ödeme süresi [Ay]
1 ve 2 nolu Kazan	1 Nolu	61	4320	263 520	18446	56 650* 52 300**	36,8* 33,6**
	2 Nolu	61	4320	263 520	18446	56 650* 52 300**	36,8* 33,6**
5 Nolu Kazan	B	147,25	7200	1 060 200	74700	113 000* 69 300**	18* 11**

*Alternatif 1
** Alternatif 2

7.4.Elektrik Motoru Uygunluğu

Elektrik motoru uygunluğu analizinde 6 ve 7 Nolu Atık Isı Kazan Besleme Suyu pompa elektrik motorlarının yüksek seçildiği anlaşılmıştır. Söz konusu 110 kW'lik motorların 90 kW' lık motorlarla değiştirilmesi önerilmiştir. Bu durumda tasarruf potansiyelleri, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri Tablo 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.5: Mevcut elektrik motorunun yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

Pompa Adı	**Mevcut Elektrik Motor Gücü**	**Yeni Elektrik Motor Gücü**	**Saatlik Enerji Tasarrufu**	**Yıllık Çalışma Süresi**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
	[kW]	**[kW]**	**[kW]**	**[Saat]**	**[USD]**	**[USD]**	**[Ay]**
6 Nolu Kazan 2 Nolu	86,67	68,00	18,67	4320	5645,85	3800,00	8,1
7 Nolu Kazan 1 Nolu	88,50	70,00	18,50	4320	5594,40	3800,00	8,2

7.5.Buhar Türbin Tahrikli Pompa Türbinlerindeki İyileştirmeler

Buhar türbini tahrikli pompalarda yapılan ölçümler sonucunda tüm buhar türbinlerinin iç verimleri düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm buhar türbinlerinin gereğinden büyük seçildiği Şekil 5.2 de gösterilen Mollier diyağramından anlaşılmaktadır. Normalde buhar türbini çıkışı noktası C noktası olması gerekirken işletmede çalışan türbinlerin D noktası gibi enerjileri yüksek bir noktada çıkmaktadır. Bunun anlamı buhar yeterince kullnılmadan enerjisi geriye gitmektedir. Buhar türbinlerinin yenisi ile değiştirilmeler durumunda tasarruf potansiyelleri Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tablo 7.6: Mevcut buhar türblerinin yenisi ile değiştirilmesi durumunda yıllık parasal tasarruf, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi

İstasyon	**Buhar Türbini**	**Mevcut Türbin Verimi**	**Önerilen Türbin Verimi**	**Mevcut Buhar Debisi**	**Önerilen Buhar Debisi**	**Saatlik Buhar Tasarrufu**	**Yıllık Parasal Tasarruf**	**Yatırım Miktarı**	**Geri Ödeme Süresi**
		%	**%**	**[ton/h]**	**[ton/h]**	**[ton/h]**	**[USD]**	**[USD]**	**[AY]**
3 ve 4 Nolu Kazan	A Pompası	18,18	61,93	10,00	5,61	4,39	498394,94	150000	3.6
	B Pompası	18,15	49,53	10,00	5,61	4,39	498394,94	150000	3.6

7.6.Yüksek Verimli Motor Kullanımı

Pompalarda kullanılan elektrik motorların standart tip motorlar olduğu tespit edilmiştir. Ekonomik ömrünü dolduran veya yanan motorların yerine yenisi alınırken yüksek verimli motor seçilmesi durumunda bu motorlar için ödenen fark fiyatın geri ödeme süresi 2-3 yıl olarak bulunmuştur.

7.7.İzolasyon – Enerji Kayıpları

İzolasyon kayıplarının neden olduğu zayıf izolasyonlar termal kamerayla tespit edilmiş ve bu rapor ekinde verilmiştir. İzolasyondan kaynaklanan kaybın, diğer tasarruf opsiyonları yanında oranının düşük olacağından izolasyon kayıpları için ayrıca hesaplama yapılmamıştır.

7.8.Kavitasyon Problemi

Deniz kenarında mevcut pompaların emme yüksekliklerinin artırılması gerekmektedir. Yani bu pompa çarklarının deniz suyu seviyesinden en az 3.5 metre derinlikte çalışmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Ertöz A.Ö., "Pompalarda Enerji Verimliliği", ***6. Ulusal Tesisat Mühendisliği ve Kongresi,*** Tesisat Dergisi, TES-22, İstanbul, 2003.

[2] "ISO 9905, Radyal (Santrifüj) Pompa Teknik Özellikleri", Sınıf I, ***POMSAD Yayınları,*** No: 7, 2000.

[3] "ISO 9908, Radyal (Santrifüj) Pompa Teknik Özellikleri", Sınıf III, ***POMSAD Yayınları***, No: 8, 2000.

[4] Kaya D., "Eksenel Pompalarda Çark Kanat Konstrüksiyonunun Pompa Genel Verimine Etkisi", Doktora Tezi, ***Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Sakarya, 2001.

[5] "ISO 3555, Radyal, Karışık Akımlı ve Eksenel Pompalar Kabul Deneyi Esasları", B Sınıfı, ***POMSAD Yayınları***, No: 3, 1998.

[6] "ISO 2548, Radyal, Karışık Akımlı ve Eksenel Pompalar Kabul Deneyi Esasları", C Sınıfı, ***POMSAD Yayınları,*** No: 4, 1998.

[7] "Pompalarda Ömür Boyu Maliyet: Pompalı Tesisler İçin Ömür Boyu Maliyet Hesabı", ***POMSAD Yayınları,*** No:12, 2001.

[8] Kaya, D., Saraç, H.I, Olgun, H., Tırıs, M., "A Study of Axial Flow Pump Impellers-Effects of pump Design Parameters on its Performance", ***Proc. The Twelfth International Symposium,*** on Transport Phenomena, Istanbul, 701-705, 2000.

[9] "Pompa Terimleri Kılavuzu", ***POMSAD Yayınları***, No:2, 1997.

[10] "Salyangozlu Pompalar İçin Ulaşabilir Verimler", ***POMSAD Yayınları,*** No:10, 2001.

[11] Toklu E., Kılıçaslan İ., Yiğit K.S., "Pompa Dizaynında Optimum Karakteristiklerin Seçimi", ***2. Pompa Kongresi***, İstanbul, Türkiye, Nisan 3-5, 1996.

[12] Kaya D, "An Experimental Study on Regaining the Tangential Velocity Energy of Axial Flow Pump", ***Energy Conversion and Management***, 44: 1817-1829.

[13] Çallı İ., Yiğit K.S., Korkmaz Y., Toklu E., "Santrifüj Pompalarda Optimum Devir Sayısının Teorik ve Deneysel İncelenmesi", ***8. Mühendislik Haftası***, Isparta, Türkiye, Mayıs 26-28,1994.

[14] Yiğit, K.S., Çallı, İ., Sözbir, N., Saraç, H.İ., Brawn, D.M., "Experimental Investigation of Optimum Centrifugal Pumps Speeds", ***Second International Conference on Pumps and Fans,*** Vol – II, 501 – 507 Petroleum Ind. Beijing Chine, 1995.

[15] "Rotodinamik Pompaların Tasarım Değerlerinin Uzağında Çalıştırılması", ***POMSAD Yayınları,*** No:11, 2001.

[16] Yiğit K.S., "Taşıt Motorlarında Kullanılan Açık Kanatlı Pompaların Aralık Kayıplarının Teorik ve Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, ***Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Kocaeli, 1994.

[17] Kaya D., "Açık ve Kapalı Eksenek Akışlı Pompa Çarklarının Pompa Performansına Etkisinin Deneysel Etüdü", ***Mühendis ve Makina***, 508:47-53, 2002.

[18] "Rotodinamik Pompalar İçin ENPY", ***POMSAD Yayınları***, No:9, 2001.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

1. Yiğit K.S., Yağmur A., Kaya D., Eren A.S., Çelik C., "Yüksek kapasiteli su pompalarında enerji verimliliği", ***ICCI 2007 Konferansı***, İstanbul, 2007.

2. Yiğit K.S., Kaya D., Eren A.S., Yağmur A., "Buhar türbin tahrikli pompalarda enerji verimliliği", ***Enerji Verimliliği Kongresi,*** TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kocaeli, 223-231, 2006.

3. Kaya D., Yağmur A., Yiğit K.S., Kılıç F.C., Eren A.S., Çelik C., "Energy efficiency in pumps", ***Energy Conversation & Management,*** 49, 1662–1673, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kütahya ili Tavşanlı ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Tavşanlı, orta öğrenimini Ali Güral Anadolu Lisesi Kütahya ve lise öğrenimini ise Refik Arslan Öztürk Fen Lisesi Bilecik'te tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2005-2008 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2005 yılından beri özel bir şirkette Makine Mühendisi olarak görev yapmakta olup 2007 yılında evlenmiştir.