

# Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları

Galip Kürşat Şenol <sup>\*1</sup>  
Cuma Karakuş <sup>2</sup>

## ÖZ

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin en büyük göstergelerinden biri verimli enerji kullanımudur. Dünyada enerji verimliliği ile birincil enerji kaynakları rezervinin hızla tükenmesinin kontrol altına alınması hedeflenmektedir. Ülkemizde sanayide kullanılan elektriğin yaklaşık beşte biri pompalar tarafından tüketilmektedir. Pompaların çalıştığı sistemlerde sıklıkla yapılan hata, yanlış pompa seçimi ve yanlış pompaj sistemi tasarımıdır. Bu tür sistemlerde yapılacak iyileştirmeler ile yüksek miktarda enerji tasarrufu elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe faaliyette bulunan bir işletmeye ait su tesisi ünitesinde kullanılan pompalarda ve pompaj sistemlerindeki enerji tasarrufu potansiyeli incelenmiştir. İnceleme neticesinde iyileştirme öncesi, santrifüj pompa debisi mevsimsel olarak operatör inisiyatifine bağlı olarak çift veya üç pompa çalışmakta iken; iyileştirme sonrası pompa kontrolü operatörden alınmış, yerine ise sisteme otomasyon programı adapte edilmiştir. Soğutma yapılan sisteme, set sıcaklık değeri belirlenip frekans konvertörü ile pompalar değişken devirli çalıştırılmak suretiyle set sıcaklığını sabit tutacak su debileri pompalanmıştır. Bunun neticesinde enerji sarfiyatı kış koşullarında ortalama 240 kWh'ten 109 kWh'e, yaz şartlarında ise yaklaşık 347 kWh'ten 125 kWh'e düşürülerek, toplamda yaklaşık 2.241.000 kWh/yıl'dan 920.000 kWh/yıl değerine düşürülmüştür. Sistem iyileştirme yatırım bedeli 266.685 TL ve elde edilen enerji tasarrufu neticesinde geri ödeme süresi ise yaklaşık 11 ay olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pompa, enerji verimliliği, pompaj sistemi, frekans konvertörü, yüksek verimli elektrik motoru

## Energy Saving Applications in Pump and Pumping Systems

### ABSTRACT

One of the biggest signs of the development level of countries is the efficient usage of energy. With energy efficiency, taking the rapidly consumed primary energy resources under control is aimed worldwide. In our country, approximately one fifth of the industrial electricity is consumed by the pumps. The most common mistake in the systems with the pumps are the wrong pump selections and wrong pumping system designs. It is possible to provide a high amount of energy saving potential with improvements in these types of systems. In this study, energy-saving potential in the pumps and pumping systems used in water treatment units operating in iron-steel industry is examined. As a result of the examinations made, centrifugal pump flow rate was seasonally bound to the operator initiative and was working with double and three pumps before the improvements, after the improvements, pumping system is taken out of the operator control and instead, an automation program is adapted to the system. Set temperature value is determined for the cooling system and by operating the pumps with variable speed with the help of the frequency converter; water flow rates which will keep the set temperature value fixed is pumped to the system. As a result, energy consumption is reduced from approximately 240 kWh to 109 kWh in winter conditions and approximately from 347 kWh to 125 kWh in summer conditions, in total, annual value of 2.241.000 kWh is reduced to 920.000 kWh annual values. The system improvement investment cost is 266.685 TL and the payback time which will be paid off by the energy-saving is calculated as 11 months.

**Keywords:** Pump, energy efficiency, pumping system, frequency converter, high efficiency electric motors

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 28.02.2017

Kabul/Accepted : 13.04.2017

<sup>1</sup> Yardımcı İşletmeler Şefi, Yazıcı Demir Çelik Fabrikası, İskenderun/Hatay - kursatsenol@dilerhld.com

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay - cuma.karakus@iste.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde sanayi kuruluşları tarafından tüketilen elektriğin yaklaşık yüzde yetmişini elektrik motorları tüketmektedir. Bu motorlarda tüketilen elektriğin yaklaşık %20'lik dilimini ise pompalar tüketmektedir [1]. Pompa ve pompa sistemlerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları neticesinde yaklaşık %30 civarında enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir [2]. Enerji tasarruf potansiyeli miktarı, mevcut sistemde pompa ve pompa sisteminin ne kadar doğru tasarlandığının irdelenmesi ile anlaşılabilir. İşletmelerin en sık yaptığı yanlış, satın alma maliyetlerini düşünerek yatırım esnasında en ucuz pompayı satın almayı tercih etmesidir. Oysaki pompa satın alma maliyeti, ömür boyu maliyet kalemleri dağılımında %8'lik bir dilim işgal etmektedir. Enerji tüketimi ise ömür boyu maliyet dağılımında %85'lik bir dilim işgal etmektedir [3]. Doğru pompa seçimi, sistemde tasarruf sağlamak adına tek başına yeterli değildir. Bu yüzden, pompanın çalışacağı pompa sisteminin de enerji tasarrufu açısından irdelenmesinin önemi büyüktür. Tasarımı doğru yapılmış pompa sistemlerinde, dinamik kayıpların minimum düzeyde kalmasını sağlayarak enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu yüzden, pompanın sistem için doğru ve yüksek verimli seçilmesi tüketilen enerjinin azaltılmasına katkı sağlayacağı gibi pompa sisteminin de doğru tasarlanması tasarrufun yapılmasında çok önemli yer teşkil edecektir.

Özellikle, gelişmekte olan ve her yıl enerji tüketimi artan ülkemizde enerjinin verimli kullanılması ile enerji yoğunluğunun düşürülmesinin sağlanması mümkündür. Enerji yoğunluğunun düşmesi ise enerjinin daha verimli kullanıldığının bir göstergesidir. Birincil enerji kaynaklarını büyük oranda ithal eden ülkemizde, enerji yoğunluğunun düşürülmesi ile ithal kaynaklı üretilen elektriğin toplam üretimdeki payını düşürme imkânı sunmaktadır. Bunun yanı sıra, birincil enerji kaynaklarının verimli tüketimi ile de atmosferdeki sera gazı salınımının düşürülmesi neticesinde küresel ısınma sonucu oluşabilecek felaketlerin önlenmesi sağlanabilecektir. Bu ise ancak sistemlerdeki enerji verimliliğinin irdelenmesi ve yeni kurulacak sistemlerin doğru tasarlanması ile mümkün olmaktadır.

Moreno ve arkadaşları (2007), bir tesiste çalışan pompa sistemleri için gerçek çalışma koşullarında gerekli kapasiteye bağlı olarak enerji maliyetini en aza indirecek pompa çalışma dizisinin belirlenmesi için yeni bir enerji verim analiz modeli geliştirme imkanını irdelemiştir. Sonuç olarak, elektrik şebeke analizi, basınç, debi ölçümleri aldığı sistem üzerinde frekans konvertörü kullanarak optimum çalışma devir sayılarını belirleyip, pompaların en düşük enerji tüketim noktalarını hesaplayarak enerji tasarrufu sağlamıştır. Kaya ve arkadaşları (2008), büyük bir sanayi kuruluşundaki pompaların enerji tasarruf potansiyelini incelemişler; pompaların basınç, sıcaklık, debi gibi verilerini takip ederek farklı işletme koşullarında sağladıkları verimi



hesaplamışlardır. Düşük verimli pompaların yenisi ile değiştirilmesi, pompaların bakımı, düşük verimli motorların yüksek verimli motor ile değiştirilmesi gibi değişiklikler ile sağlanacak enerji tasarrufu potansiyelini, bu iyileştirmelerin maliyetini ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Çuha (2008), santrifüj pompa sistemlerinde enerji tasarrufu için frekans konvertörü kullanımı, motor seçimi, motor yükü kontrolü, değişken debili pompa sistemlerinin seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Yumurtacı ve Sarıgül (2011), yüksek enerji verimli pompaj sistemleri elde etmek için pompa ile çalışacağı sistemin uyumunu ve değişken debiye uygunluğunu incelemişler; enerji tasarrufunun frekans konvertörü ile yapılabilirliğini uygulama örnekleri ile göstermişlerdir. Çuha (2011), santrifüj pompaların emme hatlarının yük kaybı fazla olan hat elemanlarından kaçınılması ve mümkün olduğunca kısa olması gerektiğini belirtmiştir. Şen (2011), pompa optimum çalışma noktası, sistem karakteristiği, yanlış pompa seçimi ve yarattığı sorunlar, pompa tesisatı tasarımını incelemiş ve uygulamalar ile göstermiştir. Foray (2014), enerji tasarrufu yapmak için sistem tasarımının doğru yapılması gerektiğini, bu sistemlerin akıllı yöntemler ile işletilmesi gerektiğini, uygun tesisat ekipmanları seçilmesi gerektiğini belirtmiş ve frekans konvertörünün kullanımını neticesinde enerji tasarrufu edilebileceğini uygulama örnekleri ile göstermiştir.

Bu çalışmada, bir demir-çelik tesisindeki mevcut su tesislerine ait pompa ve pompaj sistemleri incelenmiş, yapılan boru hattı revizyonları ile birlikte santrifüj pompanın frekans konvertörü ile değişken debili çalıştırılması ve yüksek verimli motor kullanımını ile elde edilen enerji tasarrufu potansiyeli irdelenmiş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

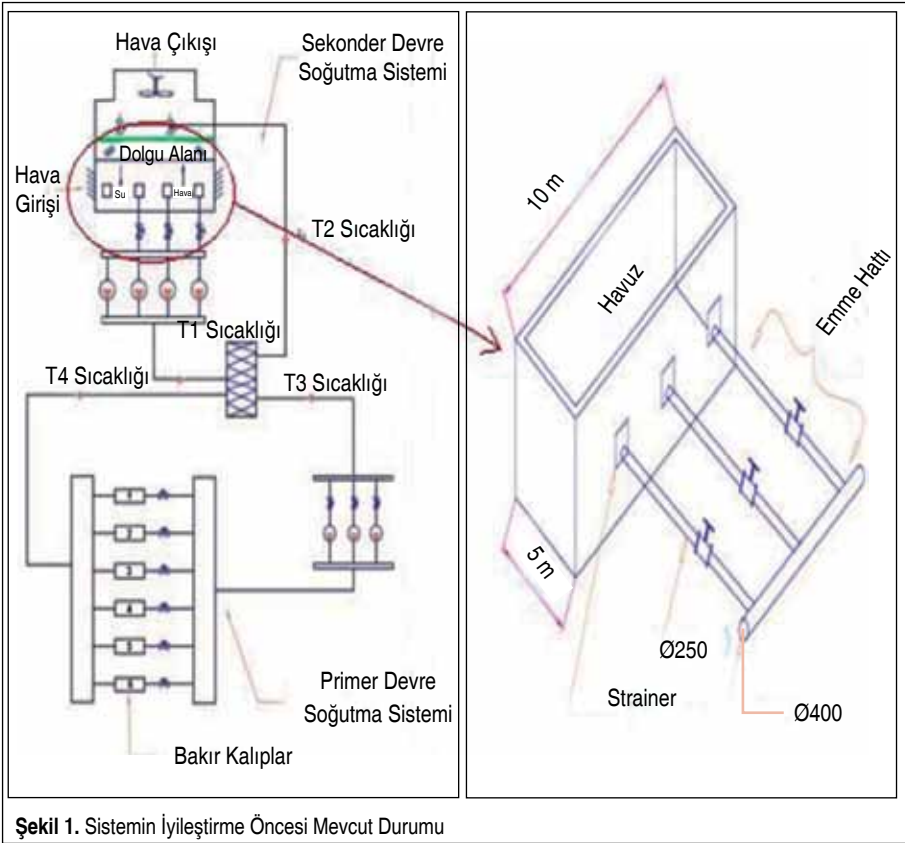
## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

Ark ocaklı demir-çelik tesisindeki sürekli döküm merkezinde (SDM) sıvı çeliğini kütük formuna dönüştüren kalıplara ait soğutma sisteminin şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, primer devre olarak gösterilen sürekli döküm makinesindeki altı adet kalıba ait kapalı devre soğutma suyu sistemini, sekonder devre olarak verilen sistem ise primer devreyi soğutan açık devre su soğutma sistemini göstermektedir. Primer devrede sıvı çeliğin kütük formunu kazanması için kullanılan bakır kalıpların içerisinden geçerek ısınan su, plakalı eşanjör yardımıyla sekonder devredeki su tarafından soğutulmaktadır. Sekonder devredeki ısınan su ise soğutma kulesine dönerek fanlar tarafından soğutulmaktadır. Bu işlemler esnasında soğutmanın düzgün yapılamaması, bakır kalıptan geçen sıvı çeliği termal gerilimlere maruz bırakmakta olup kütük yapısının istenen kalitede oluşmamasına neden olmaktadır. Bu prosesin tamamında soğutma işlemi kritik öneme sahip olmakla birlikte,

SDM çalışma rejimindeki değişiklikler, soğutma için kullanılan suyun değişken debili kullanılabilmesine imkân sunmaktadır.

SDM kalıp soğutma sisteminde iyileştirme öncesi durumda, SDM operatörlerinin kalıp soğutma suyu dönüş sıcaklıklarını ( $T_3$ ) takip ederek yeterli sayıda pompanın sabit devirde çalışması ile sistemin daha önceden belirlenen güvenli  $T_3$  sıcaklıklarında çalışması sağlanmaktadır. Kalıp soğutma suyu dönüş sıcaklıkları güvenli sıcaklıkların üzerine çıktığında, su tesisleri ünitesi SDM operatörü tarafından bilgilendirilerek, ilave pompanın çalıştırılıp Şekil 1’de görülen sekonder devredeki suyun debisi artırılmak suretiyle kalıp soğutma suyu sıcaklığının düşürülmesi sağlanmaktadır. Özellikle, yaz aylarında Şekil 1’de görülen sekonder devre soğutma sistemine ait pompaların tamamı çalıştırıldığı halde,  $T_3$  sıcaklığı için güvenli çalışma noktası kabul edilen,  $45^\circ\text{C}$ ’nin üzerine çıktığı görülmüştür. Şartlara bağlı olarak mevsim ortalamaları üzerinde sıcaklıkların görüldüğü yaz aylarında ise  $T_3$  sıcaklığı  $50^\circ\text{C}$ ’ye ulaştığı görülmüştür. Bu ise altı adet yoldan oluşan SDM’de bazı yolların durdurularak üretimin yavaşlamasına neden olmaktadır.





Sistemin iyileştirme öncesi, pompaların harcadığı mevsimsel güç ve maliyet analizi Tablo 1’de görülmektedir. Tablo incelendiğinde, kış koşullarında sisteme ait iki pompa sürekli çalışırken, pompalar sisteme saatte 525 m<sup>3</sup> su pompalamakta olup 240 kW elektrik tüketmektedir. Yaz koşullarında ise mevsim şartlarına bağlı olarak soğutma kapasitesinin düşmesinden dolayı üç pompa çalıştırılmakta olup saatte 773 m<sup>3</sup> su pompalayarak 347 kW elektrik tüketmektedir. Toplamda ise kış koşullarında pompaların yılda ortalama 5 000 saat, yaz koşullarında ise 3.000 saat çalıştığı kabulü ile yılda harcadığı toplam enerji miktarı yaklaşık 2.241.000 kWh olmaktadır. Yıllık toplam enerji maliyeti ise yaklaşık 515.361 TL olarak gerçekleşmektedir. Sistemde pompa salyangozu üzerine montajı yapılan ve akredite kuruluş tarafından kalibrasyonu bulunan analog manometre kullanılarak basınç ölçümleri yapılmıştır. Yine sistem üzerinde debi ölçümleri, Krohne UF 610 model ultrasonik debimetre ile yapılmıştır. Ölçümlerin güvenilirliği ultrasonik debimetre üreticisi tarafından kalibre edilmiştir. Pompa güç tüketimleri, kalibrasyonu yapılmış güç analizörü kullanılarak ölçülmüştür.

## 2.2 Metod

Bu çalışmada, bir demir çelik tesisinde bulunan SDM’ye ait altı adet yol üzerindeki bakır kalıpların soğutulmasını sağlayan kapalı çevrim soğutma sistemi ve bu sistemin soğutulmasını sağlayan açık çevrim sekonder devre soğutma sistemi incelenmiştir. Mevcut sistem üzerinde yapılan değerlendirmeler neticesinde;

- Şekil 1’de görülen sistemin ayrıntılı incelenmesi neticesinde pompanın etiket değeri verileri olan  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{saat}$  ve  $H_m = 60 \text{ m}$  değerine uygun olarak çalışmadığı,

**Tablo 1.** İyileştirme Öncesi Pompaların Harcadığı Mevsimsel Güç ve Maliyet Analizi

Kış Koşullarında				Yaz Koşullarında			
Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Pompa 2	Toplam	Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Pompa 2	Toplam
	117 kWh	123kWh	240 kWh		111,6 kWh	118,5 kWh	346,9 kWh
Debi (m <sup>3</sup> /Saat)	525 m <sup>3</sup> /saat			Debi (m <sup>3</sup> /Saat)	773 m <sup>3</sup> /saat		
Basınç (Mutlak)	3,9 bar			Basınç (Mutlak)	4,5 bar		
Yıllık Çalışma Saati 5.000 Saat				Yıllık Çalışma Saati 3.000 Saat			
Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL			Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL		
Toplam Harcanan Güç	(5.000*240 kWh)+(3.000*346.9 kWh) = 2.241.000 kWh						
Toplam Enerji Maliyeti	(Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı)+(Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı)						
Toplam Enerji Maliyeti	(240*5.000*0.23)+(346,3*3.000*0.23) 515.361 TL						

- Tek pompanın sağlaması gereken debinin iki pompa çalıştırılarak sağlanabildiği,
- Bu durum pompaların verimsiz şekilde çalıştığının göstergesi olup yapılan bu tespitin ardından sistem üzerinde mevcut pompalar kullanılarak verimlilik iyileştirme çalışmaları,
- Mevcut durumda soğutma prosesinde kullanılan plakalı tip eşanjörün soğutma kapasitesinin artan üretim kapasitesi sonucu yetersiz kaldığı, sistem ihtiyacını karşılayacak daha büyük ısı kapasiteli bir plakalı eşanjör temini neticesinde, ihtiyaç duyulan pompa debi miktarının düşürülüp düşürülemeyeceği hususları,
- Aynı zamanda pompaj sistemi üzerindeki kayıp katsayıları yüksek ya da uygun olmayan boru çaplarının kontrolünün sağlanması,
- Uzun zamandır kullanılmakta olan ve defalarca kez tamir edilen elektrik motorlarının yerine yüksek verimli elektrik motoru kullanılması sonucu enerji tasarrufu sağlanabileceği durumu irdelenmiştir.

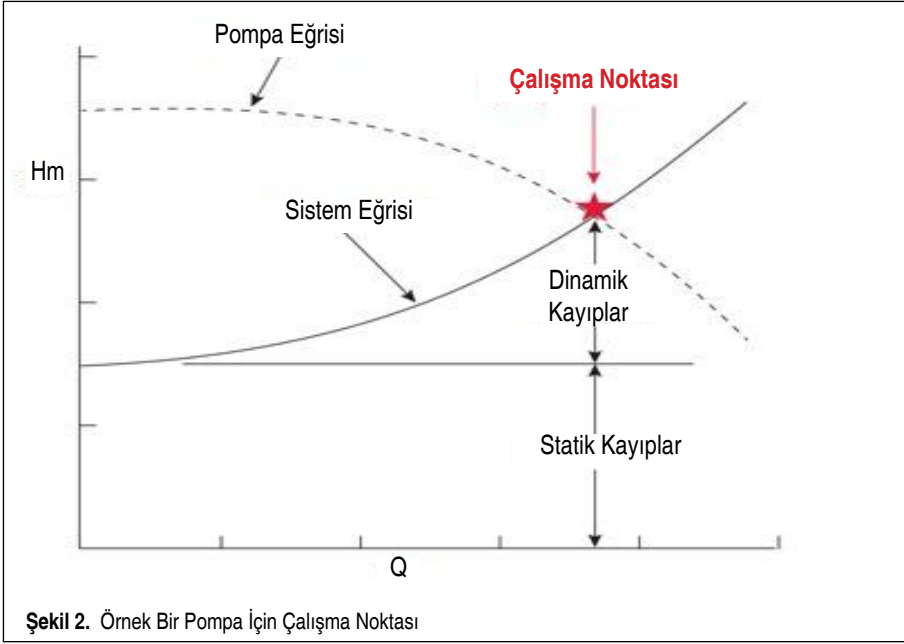
Genel olarak, bir pompa ve pompaj sisteminde karşılaşılan problemler aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Pompa seçilirken, hesaplanan değerlerin üzerine emniyet payları da eklenerek, basınç ve debi değerlerinin artırılması sonucu pompa eğrisi üzerinde en verimli noktadan uzaklaşması,
- 2) Pompa boru tesisatı üzerine gereksiz ekipmanların koyulması neticesinde yerel kayıpların artması, sistemde tesisata yüksek kayıp katsayısı olan ekipmanlarının seçilmesi, boru çapının küçük seçilmesi neticesinde yüksek akışkan hızının oluşması ile dinamik kayıpların artması,
- 3) Pompa bakımları esnasında özellikle salyangoz, çark gibi ekipmanların aşınmalarının önemsizlenmemesi, üzerlerinde oluşan yüzey pürüzlülüklerinin giderilmemesi sonucu verim düşüşleri görülmektedir. Bu tip hasarlı ve aşınmış yüzeyler pompa-da %1-2 verim düşüşüne neden olabilmektedir [6].

Pompaj sistemi tasarımında ya da mevcut sistemde enerji tasarruf potansiyeli irdelenirken, yüksek verimli sistem oluşturulması için aşağıdaki temel hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

**Pompa Karakteristiği ile Çalışacağı Sistemin Uyumu:** Sistem eğrisi ile pompa eğrisinin kesişme noktası, pompa çalışma noktasını vermekte olup sistem için en uygun pompanın tespiti yapılmaktadır (Şekil 2).

**Değişken Debili Çalışmaya Uygun Sistem Olup Olmaması:** Statik kayıpların büyük, dinamik kayıpların ise küçük olduğu sistemler üzerinde, yüksek verime sahip pompa seçimi ile sabit debide çalışmak en uygun yaklaşım olmaktadır. Eğer sistem

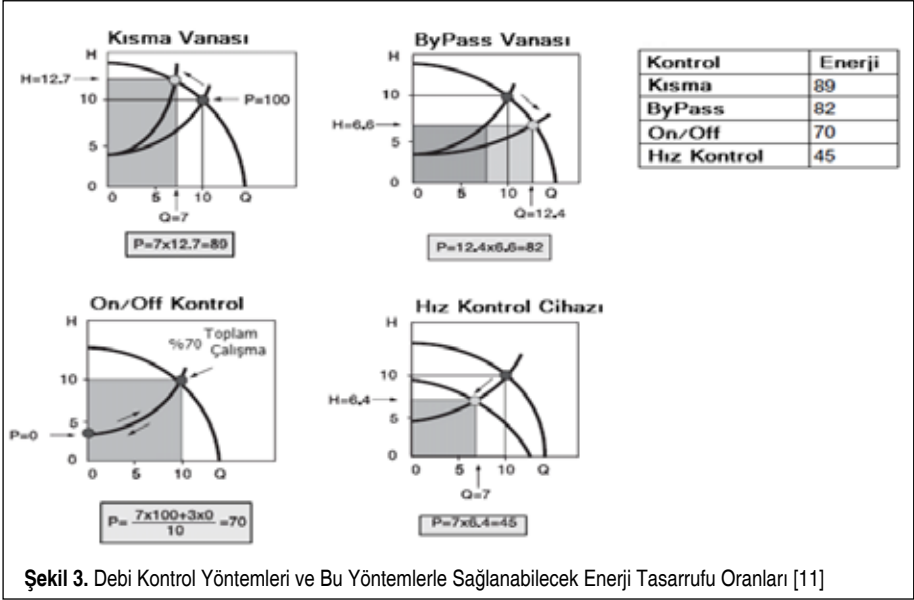


üzerinde dinamik kayıplar büyük ise sistem, değişken debili çalıştırılmaya uygun olup çeşitli yollar ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Değişken debiye uygun sistemler için uygulanabilecek çalışma yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- 1) Kısmi Vanası ile Kontrol
- 2) By-Pass Vanası ile Kontrol
- 3) On/Off ile Kontrol
- 4) Değişken Hızlı Sürücü ile Kontrol (Frekans Kontrol)

Debi kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerle sağlanabilecek enerji tasarrufu oranları hesabı Şekil 3'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde, sistem üzerinde 10 birimlik debinin 7 birime düşürülmesi için çeşitli debi kontrol yöntemleri denenmiştir. Kısmi vanası ile debi kontrol yönteminin, 89 birim ile en yüksek enerji harcadığı görülür iken değişken hızlı sürücü ile kontrolde bu oran 45 birim olarak gerçekleşmektedir. Debi kontrolünde en verimsiz yöntemin kısmi vanası olduğu görülür iken değişken hızlı sürücü ile debi kontrolünün en verimli yöntem olduğu görülmektedir. Frekans kontrollü sistem, genel manada pompanın devrini sıcaklık, basınç vb. gibi şarta bağlı olarak yükselterek ya da düşürerek pompanın değişken debili çalışmasını sağlayan cihazdır. Bu cihazlar kendileri de bir miktar elektrik tüketse dahi verimsiz sistemler üzerinde kullanıldığında büyük enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

Frekans konvertörü kullanımı ile devir sayısının düşürülmesi neticesinde güç mikta-



rının değişimi, benzeşim formülleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 1’de güç oranlarının, devir sayıları oranının küpü ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3 \quad (1)$$

Burada  $P_1$  ve  $P_2$  gücü,  $n_1$  ve  $n_2$  ise devir sayısını göstermektedir.

**Boru ve Tesisat Elemanları Uygunluğu:** Boru ve tesisat elemanları seçimi pompanın harcayacağı enerjinin belirlenmesinde çok önemli parametrelerden bir tanesidir. Tesisat üzerine koyulacak tüm ekipmanların düşük kayıp yüküne sahip olanlardan seçilmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak bir pompa tesisatında boru çapları dinamik kayıplar açısından önem arz etmektedir. Akışkan hızı 1,5-3 m/s olacak şekilde boru çapları belirlenmelidir [8]. Zaman zaman, belirlenen boru çapının bir üstünü seçmek kayıpları büyük ölçüde azaltırken, tesisat da doğru kesit alana sahip boru seçilmesi büyük enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Pompa emme ve basma hatlarında bu durum özellikle irdelenerek tasarımlar yapılmalıdır. Ayrıca, pompa emme ve basma hattı mümkün olduğunca kısa ve düz olmalıdır. Tesisat üzerinde ani dönüşlerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Bu durum aynı zamanda kavitasyon riskini de azaltacaktır. Emme boru çapı tayin edilirken, pompa emme ağzı çapından asla küçük çapta tercih edilmemelidir. En ideal hız ise 1,5-2 m/s olacak şekilde emme boru çapını tayin etmektir. Bu hızlara erişmek için seçilen boru çapı, büyük çoğunlukla pompa emme ağzı çapının bir veya iki çap üzerinde seçilmelidir [9]. Eğer akışkan kirli ise katı parçacıkların çökmesine neden olduğundan dolayı 1 m/s





altındaki hızlara düşülmemelidir. Eğer emme ağzında bir redüksiyon kullanılacaksa eksantrik redüksiyon kullanılması hava cebi oluşmasını önlemektedir. Filtre kullanılan emme hatlarında filtre kesit alanı, emme borusu kesit alanının üç katı kadar olması gerekmektedir [8]. Filtre, sistemde sıvı akışkan içerisindeki büyük parçacıkların çarka girmesini önlemek için kullanılmaktadır; özellikle negatif emişe sahip sistemlerde filtrenin tıkanması pompanın susuz çalışmasına neden olmaktadır.

**Pompanın Standartlara Uygunluğu:** Pompalar satın alınırken, minimum verim indeksi (MEI) değeri, pompa kabul testleri standardı (ISO 9906), debi ölçümü standartları, DIN 1944 gibi birçok standarda sahip olması gerekmektedir. Bu tip standartlara uygun olmayan pompalar üretici tarafından garanti edilen performans değerlerinin test edilmediği ve performansı konusunda emin olunamayan pompanın satın alındığı anlamını taşımaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği teknik mevzuatı uyum çalışmaları neticesinde, ithal edilen ürünlerde CE işareti taşıma zorunluluğu getirilmiştir. CE işareti kalite anlamında ürünü doğrudan etkileyen bir veri olmamasına rağmen, satın alınan ürünün canlılar ve çevre açısından güvenli olduğunu ifade etmektedir.

**Ömür Boyu Maliyet (ÖBM):** Europump ve Hidrolik Enstitüsü tarafından ortaya atılmış bir kavramdır. Bu kavram ile pompaj sistemi tasarlanırken yalnızca satın alma maliyetinin değil ilk yatırım, montaj, enerji ve işletme maliyetleri gibi faktörlerin de göz önünde bulundurularak pompaj sistemi masraflarının en aza indirilip, sistem verimini maksimuma çıkarmak adına geliştirilmiş bir kavramdır. Bu kavram yeni tasarlanan sistemler için göz önünde tutulduğu gibi, mevcut sistemi iyileştirmek adına da kullanılabilir [3].

$$\begin{aligned} \text{ÖBM} = & M_{\text{İLK YATIRIM}} + M_{\text{MONTAJ}} + M_{\text{ENERJİ}} + M_{\text{İŞLETME}} + \\ & M_{\text{BAKIM}} + M_{\text{ÇALIŞMAMA}} + M_{\text{ÇEVRE}} + M_{\text{SÖKME}} \end{aligned} \quad (2)$$

Burada, pompa seçiminde yalnızca pompa satın alma maliyetinin yetersiz kalacağı, bunun yanında işletme-bakım, enerji-tüketim maliyeti kadar, arıza halinde üretim kaybı maliyeti gibi hususların dikkate alınması gerekliliğinin doğru pompa seçilmesi adına önemli kriterler olduğunu göstermektedir. Ortalama 20 yıllık ömrü boyunca, satın alma maliyetinin 17-20 katı kadar enerji harcamakta olup sadece satın alma maliyeti ile pompa satın alınanın yanlış tercih olduğu görülmektedir [7].

**Yüksek Verimli Motor Kullanımı:** Elektrik motorlarının mümkün olduğu kadar yüksek verimli seçilmesi gerekmektedir. İlk yatırım maliyetleri kıyaslandığında, standart motor ile yüksek verimli motor arasında %15- 20 gibi bir maliyet farkı bulunmaktadır. Fakat standart verimli motor verimi %88 iken yüksek verimli motorlarda verim %93'lere ulaşmaktadır. Verimlilikleri arasındaki farklar göz önüne alındığında, %15-20 dolaylarında olan ilk yatırım maliyetinin göz ardı edilebileceği aşıkardır. Bir

diğer husus ise arızalanan elektrik motorların defalarca kez sarılarak kullanılması her seferinde %0,5 gibi bir verim düşümüne neden olmaktadır [12].

Bunlara ek olarak yapılacak iyileştirmelerin elektrik sarfiyatını azaltacağı ve işletmeye ekonomik katkılar sağlayacağı gerçeği yanında, karbon salınımının düşürülmesi ile küresel ısınmanın yaratacağı felaketlerin de azaltılmasını sağlamak mümkün olmaktadır. Bir işletmede elektrik tüketimine bağlı karbon salınım miktarı, o işletmedeki elektrik tüketimi ile emisyon faktörünün çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Ülkelere özgü emisyon faktörü, ülke genelinde üretilen elektriğe bağlı emisyon değerinin o ülkede üretilen toplam elektrik miktarına oranı ile belirlenmektedir [13]. Ülkemiz için birim kilovat/saat elektrik tüketimine bağlı salınım miktarı “0,865664547” kg CO<sub>2</sub> olarak belirlenmiş olup salınım miktarı;

$$\text{Salınım Miktarı (kg CO}_2\text{)} = \text{Üretilen Elektrik (kWh)} \times 0,865664547 \quad (3)$$

eşitliği ile elde edilmektedir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Demir-çelik tesislerinde bulunan sürekli döküm merkezlerinde tandış içerisindeki sıvı çeliğin bakır kalıplardan geçirilip belirli formlara getirilerek çeşitli ölçülerde elde edilen kütüklerin, bakır kalıpta ani soğuması ile önce dış cidarın katılaşması sağlanır. Bu bakır kalıpların ise etkili şekilde soğutulması için iyi tasarlanmış bir soğutma sistemi oluşturulmalıdır. İşte bu soğutma sistemi üzerinde yapılabilecek iyileştirme çalışmaları potansiyelinin incelenmesi neticesinde büyük enerji tasarruflarının yapılabileceği görülmektedir.

#### 3.1 Sistemde Yapılan İyileştirmeler

Sistemin iyileştirme sonrası durumu Şekil 7’de görülmektedir. Yukarıda verilen unsurlar ışığında yapılan değerlendirmeler neticesinde:





1. Sistem üzerinde soğutma sağlayan eşanjör daha büyük kapasiteli bir eşanjör ile değiştirilmiştir (Şekil 4).
2. Boru çapları kontrol edilerek, basma hattındaki boru çapının olması gereken akışkan hız değeri aralığı için uygun olduğu görülmüştür.
3. Sistem üzerinde emme hattına manometreler konulmuş ve pozitif deplasmana sahip bu sistemde, emme hattında vakum olduğu görülmüştür. Bu yüzden, havuz içerisinde bulunan filtrenin geçirgenlik alanı hesaplanmış olup istenilen aralıkta olmadığı için filtre geçirgenliği daha büyük olan filtreler ile değişimi yapılmıştır.
4. Pompa emme kolektörüne Ø250 mm uzunluğunda bir adet daha boru bağlantısı havuzdan yapılmış ve bu sayede emme kolektörüne daha fazla su girmesi sağlanmıştır. Ø400 mm'lik emme kolektörü, çapı Ø550 mm boru ile değiştirilmiştir.
5. Pompaları frekans konvertörü ile değişken debide çalıştırmak için bir mantık geliştirilmesine karar verilmiştir.
6. Yaklaşık yirmi yıldır çalışan pompalara ait salyangoz içerisi ve çark üzerinde aşınan kısımlar seramik kaplama yapılarak pompa performansının artırılması hedeflenmiştir (Şekil 5).

Pompaya ait elektrik motoru defalarca kez sarılıp veriminin düşmesinden dolayı yüksek verimli elektrik motoru ile değiştirilmiştir (Şekil 6).

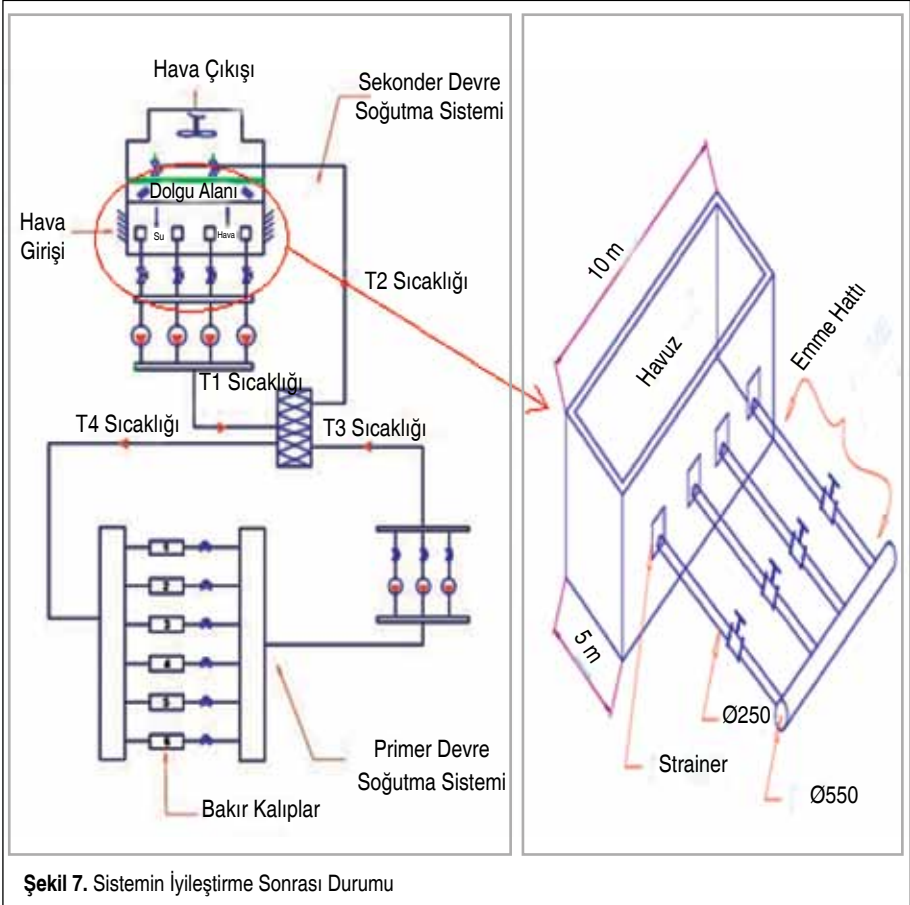
İyileştirme sonrası, sistemin kule su dönüş sıcaklığı ( $T_2$ ) takip edilerek pompaların frekans konvertörü ile yönetilmesine karar verilmiştir. SDM operatörleri ile görüşülerek, kalıp soğutma suyu dönüş sıcaklığı ( $T_3$ ), güvenli sıcaklık olarak belirlenen  $45^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkmasına müsaade etmeyecek kule dönüş sıcaklığı ( $T_2$ ) belirlenmeye çalışılmıştır. Denemeler neticesinde  $T_2$  set sıcaklığı  $34^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Ardından, PLC kontrollü otomasyon sistemine  $T_2$  set sıcaklığı  $34^\circ\text{C}$ ,



Şekil 5. Çarklara ait Görüntüler: a) Eski Çark, b) Kaplanan Çark



Şekil 6. Elektrik Motorlarına ait Görüntüler: a) Eski Motor, b) Yeni Motor





pompa alt limiti 1300 devir/dakika ve pompa üst limiti 1450 devir/dakika verileri girilerek sistemin otomatik kontrollü olarak çalıştırılması sağlanmıştır. Bu mantığın geliştirilmesinin ardından, sistemde anlık gerçek  $T_2$  sıcaklığı,  $T_2$  set sıcaklığına ulaştığında otomasyon programı pompa devrini yükseltecek şekilde,  $T_2$  set sıcaklığının altına düştüğünde ise pompa devrini düşürecek şekilde çalışması sağlanmıştır. Böylece, pompaların minimum 1300 devir/dakika, maksimum ise 1450 devir/dakika aralığında çalışıp soğutma suyu sıcaklığı ( $T_3$ )  $45^\circ\text{C}$ 'yi geçmeyecek şekilde değişken debili olarak soğutma yapılması sağlanmıştır.

Sistemin iyileştirme sonrası, mevsimlere bağlı olarak pompaların harcadığı güç ve maliyet analizi Tablo 2'de görülmektedir. Tablo incelendiğinde, iyileştirme sonrası enerji sarfiyatı kış koşullarında ortalama 240 kWh'ten 109 kWh'e, yaz şartlarında ise yaklaşık 347 kWh'ten 125 kWh'e düşmüştür. Toplamda yıllık enerji sarfiyatı ise 2.241.000 kWh'ten 920.000 kWh değerine kadar düşürülmüştür. Ekonomik olarak kıyaslanırsa yıllık yaklaşık 515.361 TL değerinden 211.600 TL değerine düşürülerek ortalama yıllık 303.761 TL tasarruf sağlanmıştır.

Sistemin iyileştirilmesi için yapılan yatırım maliyetleri Tablo 3'te görülmektedir. Tablo incelendiğinde, iyileştirme çalışmaları sonucunda satın alınan ya da bakımı yapılan ekipmanlar için yaklaşık olarak 266.685 TL harcanmıştır. Sistem üzerinde yapılan iyileştirme neticesinde sağlanan enerji tasarrufunun ekonomik karşılığı ise yıllık olarak yaklaşık 303.761 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durumda yapılan yatırımın geri ödeme süresi ise yaklaşık 11 ay olarak bulunmuş olup, yatırımlar gerçekleştirilmiştir.

Yıllık çalışma saatine ve elektrik üretimine bağlı karbon salınım azalımı Tablo 4'te verilmektedir. Tablo incelendiğinde, sistem üzerinde yapılan iyileştirme neticesinde

**Tablo 2.** Sistemin İyileştirme Sonrası Mevsimlere Bağlı Olarak Pompaların Harcadığı Güç ve Maliyet Analizi

Kış Koşullarında			Yaz Koşullarında		
Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Toplam	Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Toplam
	109 kWh	109 kWh		125 kWh	125 kWh
Debi ( $\text{m}^3/\text{Saat}$ )	580 $\text{m}^3/\text{saat}$		Debi ( $\text{m}^3/\text{saat}$ )	655 $\text{m}^3/\text{saat}$	
Basınç (Mutlak)	2 bar		Basınç (Mutlak)	2,5 bar	
Yıllık Çalışma Saati 5000 Saat			Yıllık Çalışma Saati 3000 Saat		
Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL		Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL	
Toplam Harcanan Güç	$(5.000 \cdot 109 \text{ kWh}) + (3.000 \cdot 125 \text{ kWh}) = 920.000 \text{ kWh}$				
Toplam Enerji Maliyeti	(Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı) + (Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı)				
Toplam Enerji Maliyeti	$(109 \cdot 5.000 \cdot 0.23) + (125 \cdot 3.000 \cdot 0.23) = 211.600 \text{ TL}$				

**Tablo 3.** Sistemin İyileştirilmesi İçin Yapılan Yatırım Maliyetleri

Maliyet Kalem Adı	Fiyatı (€)	Fiyatı (TL)
Eşanjör	23.000	89543,6
Frekans Konvertörü	21.000	81757,2
Yeni Elektrik Motoru	13.500	52558,2
Pompa Emme Hattı Revizyonu	4.000	15572,8
Pompa Bakımı (Çark, Salyangoz vs.)	4.000	15572,8
İşçilik Maliyeti ve Diğer Maliyetler	3.000	11679,6
<b>Toplam Harcanan Tutar</b>	<b>68.500</b>	<b>266.684,2</b>
Toplam Harcanan Tutar TL Karşılığı (20 Mart 2017 Tarihli Merkez Bankası Kur Karşılığı)		

**Tablo 4.** Yıllık Çalışma Saatine ve Elektrik Üretimine Bağlı C Salınım Azalımı

Karşılaştırma Kriteri	Yıllık Çalışma Süresi (Saat)	Elektrik Tüketimi (kWh/Yıl)	C Salınımı Azalımı (Ton/Yıl)
İyileştirme Öncesi	8.000	2.241.000	1.940
İyileştirme Sonrası	8.000	920.000	796,5
Elektrik Tasarruf ve Karbon Salınımı Azalımı	8.000	1.321.000	1.142,50

yapılan enerji tasarrufu ile karbon emisyonunda yıllık ortalama 1.143,5 Ton karbon emisyon azalımı sağlanmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir demir-çelik tesisinde bulunan sürekli döküm merkezlerinde yer alan soğutma sistemindeki pompa ve pompaj sistemlerinin enerji verimliliği araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde emme hattı üzerinde filtre, emme hattına ilave emme borusu montajı, kollektör gibi ekipmanlarda iyileştirilme sağlanmıştır. Aynı zamanda yaklaşık yirmi yıldan bu yana kullanılan pompalar sökülerek içerisindeki aşınmalar seramik kaplanarak verim düşümüne neden olabilecek pürüzlülükler giderilmiştir. Arızalanma neticesinde birçok defa sarıma giden elektrik motorları yerine yeni elektrik motoru kullanılmıştır. Soğutma kapasitesi yetersiz olan plakalı eşanjör yenisi ile değiştirilip kapasite artışı sağlanmıştır. Böylece, sürekli döküm merkezinin çalışma rejimindeki değişikliklerden yararlanılarak pompaların set/referans  $T_2$  sıcaklığına göre çalıştırılması sağlanmıştır.

Çalışma neticesinde yapılan iyileştirmeler ile enerji sarfiyatı kış koşullarında ortalama 240 kWh'ten 109 kWh'e, yaz şartlarında ise yaklaşık 347 kWh'ten 125 kWh'e düşürülmüştür. Yıllık elektrik sarfiyatı toplamda yıllık %59 oranında düşürülmüştür. Eko-

nomik olarak yıllık yaklaşık %59 tasarruf sağlanmıştır. Yapılan yatırımın geri ödeme süresi ise yaklaşık 11 ay olarak bulunmuş olup, yatırımlar gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, sistemde yapılan enerji tasarrufu ile de karbon emisyonunda yıllık ortalama 1143,5 ton karbon emisyon azalımı sağlanmıştır.

## KISALTMALAR

T	Sıcaklık (°C)
Hm	Manometrik Yükseklik (m)
Q	Debi (m <sup>3</sup> /Saat)
P	Efektif Güç (kWh)
n	Devir Sayısı (Devir/Dakika)

## KAYNAKÇA

1. **Esen, K.** 2015. “Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat,” Elektrik Mühendisleri Odası, 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 4-6 Haziran 2015, Sakarya.
2. European Commission. 2001. Study on Improving The Energy Efficiency of Pumps, [http://www.waterymex.org/Waterymex%20Toolkit/resources/53\\_Improving%20Energy%20Efficiency%20of%20Pumps.pdf](http://www.waterymex.org/Waterymex%20Toolkit/resources/53_Improving%20Energy%20Efficiency%20of%20Pumps.pdf), son erişim tarihi: 18.01.2017.
3. Europump, Hydraulic Institute. 2001. A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems, ISBN: 9781880952580, Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy, USA.
4. **Kaya, D., Yağmur, E. A., Yiğit, K. S., Kılıç, F. C., Eren, A. S., Çelik, C.** 2008. “Energy Efficiency in Pumps,” Energy Convers Management, vol. 49, no. 6, p. 1662-73.
5. **Moreno, M., Carrion, P. A., Planells, P., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. M.** 2007. “Measurement and Improvement of the Energy Efficiency at Pumping Stations,” Options Mediterraneennes: Seri B, Etudes et Recherches, vol. I, no. 56, p. 353-366.
6. **Çuha, D.** 2008. “Pompa Santrifüj Pompa Sistemlerinde Enerji Tasarrufu,” [http://www.normenerji.com.tr/menus/Pompa-Sistemlerinde-Enerji-Tasarrufu\\_250220120226071021274173.pdf](http://www.normenerji.com.tr/menus/Pompa-Sistemlerinde-Enerji-Tasarrufu_250220120226071021274173.pdf), son erişim tarihi: 28.03.2017.
7. **Yumurtacı, Z., Sarıgül, A.** 2011. “Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları,” TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı 122, s. 49-58.
8. **Çuha, D.** 2011. “Santrifüj Pompanın Emme Hattı Nasıl Olmalı,” Gazete Grundfos, vol. March 2011.
9. **Şen, M.** 2011. Santrifüj Pompalar ve Pompa Tesisatı, MAS-DAF Makine Sanayi A.Ş., İstanbul.

10. **Foray, J.** 2014. “Energy Efficiency Considerations in Pumps and Pump Stations,” WSU Extension Energy Program, 14 March 2014, Washington State University, USA, <http://www.energy.wsu.edu/LinkClick.aspx?fileticket=t3ubiA8D8A4%3D&tabid=692&mid=1345>, son erişim tarihi: 11.01.2017.
11. ABB. “Pompalarda Hız Kontrol Cihazı Uygulamaları,” <http://slideplayer.biz.tr/slide/2395688/>, son erişim tarihi: 24.02.2017.
12. T. C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü. 2015. Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği, T. C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.
13. **Brander, M.** 2011. “Electricity-Specific Emission Factors for Grid Electricity,” <https://ecometrica.com/assets/Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf>, son erişim tarihi: 28.02.2017.