

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİNALARDA ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ
VE UYGULAMALARI**

AYTUNÇ BABADAĞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZEHRA YUMURTACI**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARDA ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ
VE UYGULAMALARI

Aytunç BABADAĞ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.04.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Levent KAVURMACIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu çalışma, Danfoss Şirketi tarafından desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Dünya üzerinde güvenilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına yönelmek büyük önem kazanmıştır. Bununla birlikte enerjinin verimli kullanılması birçok ülkenin temel enerji hedefleri arasında bulunmaktadır. Bunun için öncelikle en çok enerji tüketen makinelerin enerji tüketimlerinin incelenmesi ve olası önlemlerin araştırılması gerekmektedir. Bu tezde bir santrifüj pompanın enerji tüketim analizi ve enerji verimliliği çalışması yer almaktadır. Ayrıca pompa, vana, elektrik motoru ve frekans konvertörü gibi ekipmanlar enerji verimliliği yönünden ele alınmıştır.

“Binalarda Isıtma Ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Ve Uygulamaları” isimli tez çalışmamda beni yönlendiren ve bu tezi hazırlayışımda büyük emekleri bulunan değerli danışman hocam Doç. Dr. Zehra Yumurtacı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında maddi-manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2018

Aytunç BABADAĞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
DÜNYA-TÜRKİYE ENERJİ DURUMU	6
2.1 Dünya'nın Enerji Durumu	6
2.2 Türkiye'nin Enerji Durumu	9
2.2.1 2023 Enerji Hedefleri	10
BÖLÜM 3	
ENERJİ VERİMLİLİĞİ	13
3.1 Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü	14
3.2 Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli	15

3.3	5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu	16
3.4	ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi	17
BÖLÜM 4		
SİSTEMLER.....		
4.1	HVAC Sistemlerinde Enerji Verimliliği	20
4.1.1	Motorlu Kontrol Vanaları	21
4.1.2	Vana Motorlarının Sınıflandırılması	23
4.1.3	Vanalarda Temel Kavramlar	25
4.1.4	Hidronik Dengesizlik	28
4.1.5	Balans Vanaları ve Enerji Verimliliği	29
4.1.5.1	Kombine Tip Balans Vanalarında Enerji Verimliliği	32
4.2	Pompalarda Enerji Verimliliği	34
4.2.1	Pompaların Sınıflandırılması	35
4.2.2	Rotadinamik Pompalar	36
4.2.2.1	Santrifüj Pompalar	37
4.2.3	Hacimsel Pompalar	38
4.2.4	Pompalarda Temel Kavramlar.....	39
4.2.4.1	Viskozite.....	39
4.2.4.2	Basma Yüksekliği	39
4.2.4.3	Debi	39
4.2.4.4	Hidrolik Güç	40
4.2.4.5	Pompa Eğrileri	40
4.2.5	Pompalarda Kullanılan Elektrik Motorlarında Verim	43
4.2.6	Pompalarda Kullanılan Frekans Konvertörlerinde Verim	46
4.2.7	Santrifüj Pompalarda Verim Önlemleri	50
4.2.7.1	Santrifüj Pompanın Seçiminde Verim Analizi	52
4.2.7.2	Santrifüj Pompada Verimlilik ve Bakım İlişkisi	54
BÖLÜM 5		
BİR SANTRİFÜJ POMPANIN ENERJİ TÜKETİM ANALİZİ		
5.1	Santrifüj Pompada Enerji Tüketim Analizinin Amacı	56
5.2	Gözlemlenen Binanın Isıtma-Soğutma Tesisatı	56
5.2.1	Gözlemlenen Binanın 200 Gün-Saatlik Debi İhtiyacı	56
5.2.2	Gözlemlenen Binada Kullanılan Pompa	57
5.3	Pompanın Enerji Sarfiyatının İncelenmesi	57
5.3.1	Sabit Debili Pompada Enerji Sarfiyatı	57
5.3.2	Sabit DP'li Pompa Enerji Sarfiyatı	60
5.3.3	Oransal Kontrollü Pompada Enerji Sarfiyatı.....	61
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		
KAYNAKLAR		
ÖZGEÇMİŞ		

SİMGE LİSTESİ

ΔT	Sıcaklık Farkı
DP	Sistem Fark Basıncı
f	Frekans
g	Yer Çekim İvmesi
H	Basma Yüksekliği
kv	Akış Katsayısı
kvs	Tam Açık Pozisyonda Akış Katsayısı
n	Devir Sayısı
P	Basınç
P	Güç
P_0	Kutup Sayısı
P_{em1}	Elektrik Motorunda Giriş Gücü
P_{em2}	Elektrik Motorunda Çıkış Gücü
P_{hid}	Hidrolik Güç
Q	Debi
T	Tork
t	Zaman
V	Gerilim
X	Çıkış Sinyali
η_{em}	Elektrik Motorunda Verim
η_p	Pompa Verimi
ρ	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AHU	Air Handling Unit
BEP	Best Efficiency Point
CO ₂	Karbon Dioksit
DN	Diameter Nominal
EEI	Energy Efficiency Index
EU	European Union
EYS	Enerji Yönetim Sistemi
FC	Frequency Converter
FCU	Fan Coil Unit
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GW	Gigawatt
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning
IE	International Efficiency
ISO	International Organization for Standardization
kWh	Kilowatt Hour
LNG	Liquified Natural Gas
mA	Miliamper
MV	Megawatt
NPSH	Net Positive Suction Head
PH	Potential of Hydrogen
PN	Pressure Nominal
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TS	Türk Standardı
TWh	Terawatt Hour
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
VAP	Verimlilik Arttırıcı Proje
VSD	Variable Speed Drive

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Dünya'nın 2016 yılında tükettiği birincil enerjinin dağılımı 8
Şekil 2. 2	Dünya'nın 2016 yılında toplam kurulu gücünün dağılımı 8
Şekil 2. 3	Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı 9
Şekil 2. 4	Türkiye'nin yıllara göre enerji yoğunluğu hedefleri 11
Şekil 3. 1	Türkiye'de nihai sektörlere göre enerji tüketimi 15
Şekil 4. 1	İki yollu motorlu vana 22
Şekil 4. 2	Üç yollu motorlu vana 23
Şekil 4. 3	On/off kontrollü vana motorunun çalışma şekli 23
Şekil 4. 4	Konumlandırılmalı vana motorunun çalışma şekli 24
Şekil 4. 5	Modülasyonlu motorların çalışma şekli 25
Şekil 4. 6	Vana kesiti 26
Şekil 4. 7	Lineer vana ve logaritmik vana karakteristikleri..... 27
Şekil 4. 8	Statik tip balans vanası 30
Şekil 4. 9	Değişken debili sistem elemanlarının eğrileri 31
Şekil 4. 10	FCU dönüş hattında kombine vana 32
Şekil 4. 11	Kombine balans vanası bulunan sistemin geleneksel sistemle DP, oda sıcaklığı ve zaman yönünden karşılaştırılması.....34
Şekil 4. 12	Pompaların sınıflandırılması..... 36
Şekil 4. 13	Santrifüj pompa 38
Şekil 4. 14	Dişli Pompa..... 38
Şekil 4. 15	Bir pompada H-Q eğrisi 40
Şekil 4. 16	Sistem elemanları eğrisi 41
Şekil 4. 17	Pompanın tam kapasitede çalışma noktası 41
Şekil 4. 18	Frekans konvertörlü pompanın kontrol eğrileri 42
Şekil 4. 19	Elektrik motorunun stator ve rotor örneği 43
Şekil 4. 20	Endüstriyel motorların enerji kullanım dağılımı 44
Şekil 4. 21	Elektrik motorunun toplam giderleri..... 45
Şekil 4. 22	VSD yöntemiyle kontrol edilen bir pompa grubu 47
Şekil 4. 23	VSD'li bir pompada güç-hız grafiği..... 49
Şekil 4. 24	VSD'li bir pompa şeması 50
Şekil 4. 25	Bir pompanın çalıştığı toplam süre boyunca maliyet dağılımı 51
Şekil 4. 26	Pompalarda verim iyileştirme adımları 52
Şekil 4. 27	Pompalarda tercih edilen çalışma aralığı 53
Şekil 4. 28	En verimli nokta dışında çalışmanın olumsuz etkileri 54

Şekil 4. 29	Bakımı yapılan ve yapılmayan pompalar için ortalama aşınma eğrileri	55
Şekil 5. 1	3600 h'lik sürede debi kullanma sıklıkları	57
Şekil 5. 2	Sabit debide FCU kontrolü	58
Şekil 5. 3	Sabit Debili Pompa Eğrisi.....	58
Şekil 5. 4	Sabit DP'de FCU kontrolü	60
Şekil 5. 5	Sabit DP'de çalışma eğrisi	60
Şekil 5. 6	Oransal kontrollü FCU	62
Şekil 5. 7	Pompada oransal kontrol eğrisi	62
Şekil 6. 1	Pompanın farklı kontrol yöntemlerinde enerji tüketimleri	64
Şekil 6. 2	Pompada kontrol gruplarına göre verim durumu	66

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	2023 yılı enerji hedefleri 10
Çizelge 5. 1	Sabit debili pompada enerji tüketimi 59
Çizelge 5. 2	Sabit DP'li pompada enerji tüketimi..... 61
Çizelge 5. 3	Oransal kontrollü pompada enerji tüketimi 63
Çizelge 6. 1	Farklı kontrol gruplarında enerji tüketiminin karşılaştırılması 65

BİNALARDA ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE UYGULAMALARI

Aytunç BABADAĞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra YUMURTACI

Teknolojinin sürekli olarak gelişmesi ve artan dünya nüfusu, beraberinde yoğun bir enerji kullanımı getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen enerji kullanımı gelişmekte olan ülkelere göre daha yüksektir. Daha doğrusu bir ülkede kişi başına kullanılan enerji miktarının büyüklüğü o ülkenin gelişmişlik durumuyla ilgilidir.

Dünya üzerinde bulunan fosil kaynakların (doğalgaz, kömür, petrol vb.) sınırlı olduğu göz önüne alındığında enerji verimliliğinin öneminin büyük olduğu anlaşılmaktadır. Düzgün yapılan enerji verimliliği çalışmaları ile ülke bazında hem maddi yönden büyük bir tasarruf sağlanır hem küresel ısınmaya ve hava kirliliğine neden olan sera gazı emisyonu önemli ölçüde azaltılmış olur.

Binalarda ve endüstride ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılan enerji miktarı oldukça yüksektir. Bu sebeple iyi bir enerji verimliliği analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada santrifüj pompa-vana kombinasyonunda yapılan enerji verimliliği ve bunun için yapılan uygulamalar araştırılmış ve analiz edilmiştir.

Isıtma-soğutma sistemlerinde enerji verimliliği analizi için en önemli cihazlar pompa-vana kombinasyonudur. Pompa sisteme gerekli debiyi ve DP'yi sağlar. Hat üzerindeki vanalar ise akışkan debisini ve DP'yi ayarlar. Dolayısıyla pompalar ve vanalar enerji verimliliğinin anahtar enstrümanlarıdır.

Bu çalışmada öncelikle enerji verimliliği, Türkiye-Dünya enerji durumu ve enerji verimliliğiyle ilgili standartlar ile yasalar ele alınmıştır. Bunların yanında pompalarla

aynı sistem içinde yer alan balans vanaları, motorlu vanalar, frekans konvertörleri ve elektrik motorları gibi ekipmanların verimliliğiyle ilgili araştırmalar yapılmıştır. Buna ek olarak santrifüj pompaların verimli çalışması için alınması gereken bir dizi önlem irdelenmiştir. Ayrıca bu tezde aynı enerji talebine sahip ve aynı şartlar altında çalışan bir binanın ısıtma- soğutma sisteminde kullanılan bir santrifüj pompa, sırasıyla sabit debili, sabit DP'li ve oransal kontrollü olarak çalıştırılmıştır. Santrifüj pompanın sabit DP'li ve oransal kontrollü olarak çalıştırılabilmesi için frekans konvertörü kullanılmıştır. Deney sonucunda 3 farklı pompa kontrol grubunda (sabit debili, sabit DP'li ve oransal kontrollü) harcanan elektrik enerjisi miktarlarının sayısal değerleri ayrı ayrı bulunmuş, bulunan bu değerler enerji verimliliği yönünden incelenmiştir. Bunun sonucunda frekans konvertörünün sağladığı enerji tasarruf miktarlarının yüzdesel değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre frekans konvertörlü ve oransal kontrole sahip pompa sabit debili pompadan %53.8, frekans konvertörlü ve sabit DP'li pompa ise sabit debili pompadan %20.86 daha az elektrik enerjisi tüketmektedir. Böylece frekans konvertörlü ve oransal kontrollü pompaların kısmi yükler altında çalışan pompalarda kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, frekans konvertörü, pompa, elektrik motoru

**ENERGY SAVING AND APPLICATIONS IN HEATING AND COOLING
SYSTEMS IN BUILDINGS**

Aytunç BABADAĞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

In a continuous development in the areas of technology and an increasing World's population bring an intensive energy consumption. The use of energy per human in developed countries are higher than developing countries. Moreover, The greatness of the energy used per person in a country is related to development state of that country.

When It is considered that fossil resources (natural gas, coke, oil etc.) on the earth are limited, It is understood that energy efficiency is so important. By proper energy efficiency studies, both a large amount of economic gain can be obtained across the country and harmful gases that cause to global warming and air pollution can be notably diminished.

The amount of energy used for heating and cooling purposes in buildings and industrial areas is highly much. So a proper energy efficiency analysis is needed. In this study, The analysis of energy efficiency carried out at centrifugal pump-valve combination and applications for this purpose are analyzed and investigated.

For analysis of energy efficiency in heating and cooling systems, the most important devices are pumps and valves. The pump provides needed flowrate and DP for the system. Valves at pipe line contract flowrate and DP. So pumps and valves are key instruments for energy efficiency.

In this study, energy efficiency, Turkey-World energy situation and standards and laws related to energy efficiency are primarily mentioned. Additionally, the researches about efficiency of balancing valves, motorized valves, frequency converters and electric motors which are placed in the same system with pumps carried out. In addition, In order to operate centrifugal pumps in an efficient way, some measures are investigated. Also in this thesis, the pump used in a heating- cooling system of a building is respectively operated with the applications of constant flow, constant DP and proportional control. Frequency converter is used to operate the pump under constant DP and proportional control. The result of the experiment, The numerical values of electric energy consumed by 3 different control groups(constant flowrate, constant DP and proportional control) were found and these values were examined the aspect of energy efficiency. Therefore, the amount of percentages of energy savings obtained the use of frequency converter were calculated. According to the calculations made, the pump with frequency converter and proportional control consumes 53.8% less energy than the constant flow pump and constant DP pump consumes 20.86% less electrical energy than the constant flow pump. Thus, it has been revealed that pumps with frequency converters and proportional controls should be used in pumps operating under partial loads.

Keywords: Energy efficiency, frequency converter, pump, electric motor

1.1 Literatür Özeti

Modern dünyada enerji verimliliğın önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Binalarda ısıtma ve soğutma sistemlerinde yapılan bir dizi uygulamalar ve analizlerle belirli bir oranda enerji verimliliğı sağlanabilmektedir. Isıtma ve soğutma sistemlerinde kilit öneme sahip cihazlar; pompalar, balans vanaları, termostatik radyatör vanaları ve kazanlardır. Bu cihazlar HVAC sisteminin vazgeçilmez elemanlarıdır. Bu sebeple bu cihazlar üzerinden önemli bir miktarda enerji verimliliğı elde edilebilmektedir.

Konuyla ilgili olarak Alessandro Maccarinive diğerkleri tarafından “Energy Saving Potential of a Two-pipe System for Simultaneous Heating and Cooling of Office Buildings” makalesi Energy and Buildings dergisinde yayınlanmıştır. Bu makalede 2 borulu sistem, denklem tabanlı Modelica modelleme diline göre modellenmiştir. Ortaya çıkan enerji tasarrufu miktarını hesaplamak için geleneksel borulu bir sistem de modellenmiş ve karşılaştırma için kullanılmıştır. Bu simülasyon sonucuna göre 2 borulu sistemin %12-%18 arasında yıllık daha az enerji tükettiğı tespit edilmiştir [1].

Ayrıca Haie Huo ve diğerkleri konuyla ilgili olarak “Contributions of energy-saving technologies to building energy saving in different climatic regions of China” isimli makaleyi yazmıştır. Bu çalışmada binaların çatı ve duvarlarında bulunan enerji tasarrufu teknolojilerinin etkileri 4 farklı iklim bölgesinde analiz edilmiştir. Bu analiz için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma “Applied Thermal Engineering” dergisinde yayınlanmıştır [2].

Enerji verimliliği alanında yapılan bir başka çalışma ise Jihong Zhu ve Deying Li tarafından gerçekleştirilmiştir. “Current Situation of Energy and Energy Saving Analysis of Large Public Building” isimli bu makalede 20 adet kamu binasının enerji tüketimleri analiz edilmiştir. Bu binalarda yüksek enerji tüketim nedenlerinin analizi ışığında hem teknik olarak hem de yönetsel seviyede bir takım enerji verimliliği uygulamaları önerilmiştir. Böylece bu makale kamu binalarında enerji tasarruf yönetimi anlamında önem taşımaktadır [3].

Nguyen Le Truong, Ambrose Dodoo ve Leif Gustavsson enerji verimliliği alanında araştırma yapmışlar ve “Effects of Energy Efficiency Measures in District-heated Buildings on Energy Supply” isimli makaleyi yazmışlardır. Bu çalışmada küçük, orta ve büyük ölçekli bir bölgesel ısıtma kaynağı tarafından ısıtılan çok katlı bir apartmanın farklı enerji verimliliği önlemleri için ilk ve son enerji tasarruf miktarları tahmin edilmiştir. Küçük ölçekli sistemde sadece kazan bulunurken diğer 2 sistem ise bölgesel kojenerasyon ve elektrik enerjisi içermektedir. Kojenerasyon üniteleri bulunan sistemlerde, binalardaki ısı talebi değiştiğinde kojenerasyon sisteminin ürettiği elektrik gücü değişmektedir. Buna göre yıllık toplam ısı ve elektrik enerjisi tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Böylece bu makalede farklı enerji kaynaklarına göre çeşitli enerji verimliliği önlemleri saatlik bazda analiz edilmiştir [4].

Xianjie Sheng ve Lin Duanmu enerji verimliliğiyle ilgili olarak “Energy Saving Factors Affecting Analysis on District Heating System with Distributed Variable Frequency Speed Pumps” isimli makaleyi yazmışlardır. Bu çalışmada enerji tasarruf oranlarını ve boru dağıtım dengesini etkileyen faktörlerin analizi için matematiksel analitik yöntem kullanılmıştır [5].

Alisher Mukashevve diğerleri “Dynamic Method of the Heating Devices Efficiency Measurement” isimli çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada matematiksel model kullanılarak dökme demir radyatörün ve alüminyum radyatörün ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Deneysel olarak bulunan ısı transfer katsayısı değerleri ile teorik hesaplamaların eşleştiği görülmüştür. Geliştirilen bu yöntem cihazın karakteristik özelliklerinin bilinmesi şartıyla o cihazın ısı transfer katsayısının bulunmasını mümkün hale getirmektedir [6].

Delia D'Agostino ve diğeri "Energy Consumption Technology Measures in European non-Residential Buildings" makalesini "Energy and Buildings" dergisinde yayınlamışlardır. Bu makalede bina özelliklerine, enerji performansına, verim önlemlerine ve enerji tasarrufuna odaklanılmıştır. Ayrıca çeşitli ülkelerdeki durum çalışmalarının en mükemmel uygulamaları birleştirilmiş enerji politikaları ile gösterilmiştir. Bu çalışma bina örtüsü, uygulamaları ve sistemleriyle ilgili temel teknolojik tedbirleri sınıflara ayırmıştır [7].

Paraschiv Lizica Simonave diğeri "Increasing the Energy Efficiency of Buildings by Thermal Insulation" makalesini yazmıştır. Bu yayında toplu konutlarda enerji verimliliğinin artırılması ve duvarda dış yüzey üzerine bir izolasyon uygulandığında dış duvarın yapısındaki donma noktasının hareket analizi sunulmuştur [8].

YouFang Liu ve BaoJun Zhi enerji verimliliğiyle ilgili olarak "Application and Energy Saving Analysis of Permanent Magnetic Speed Control in The Pump System" makalesini yazmışlardır. Bu çalışmada bir evsel su pompasının kullanımında vana ayarlama yöntemi ile düşük verimliliğe, sabit mıknatıs hız kontrol teknolojisi sayesinde değişken hız kontrolüne ve bunun sonucunda ortaya çıkan elektrik enerjisi tasarrufu ile pompa verimindeki iyileşmeye odaklanılmıştır [9].

I. Annus, D. Uibo ve T. Koppel ise konuyla ilgili olarak "Pumps Energy Consumption Based on New EU Legislation" makalesini yazmışlardır. Bu çalışmada 4 farklı pompa grubunun enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır. Enerji tüketimini ve CO₂ emisyonunu azaltmak için işletme şartlarında termal bir test modeli oluşturulmuştur. Bazı simülasyon testleri farklı pompalarla ve değişken sıvı sıcaklıkları ile akış parametreleriyle gerçekleştirilmiştir. Böylece EEI etkisi analiz edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada evsel amaçlı kullanılan sirkülasyon pompalarında değişiklik yapılması sonucunda düşük CO₂ emisyonu seçenekleri ve Estonya'nın elektrik üretimi analiz edilmiştir. Test sonuçlarına göre 30 saatlik süre boyunca değişken hızlı pompaların tek hızlı pompalardan %57 kadar daha az enerji tükettikleri ortaya çıkmıştır [10].

Selçuk Arslan ve Alaa Abdulradha SAHİB "Comparison of Energy Efficiencies of a Small Centrifugal Pump at Constant and Variable Speed Operations" isimli çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada sulama amaçlı kullanılan bir santrifüj pompa sistemi

üzerinde farklı hatlardaki debi ayar vanaları ile değişken hızlı sürücünün meydana getirdiği enerji verimliliği mukayese edilmiştir. Deneyler sabit debili ve değişken debili olarak gerçekleştirilmiştir. Test esnasında farklı debiler için pompanın güç tüketimi ve emme-çıkış basınçları ölçülmüştür. Frekans konvertörü kullanımı, sabit hız testlerinde kullanılan by-pass, giriş ve çıkış vanalarına göre % 41, % 44 ve % 80 daha az enerji tüketimine olanak sağlamıştır [11].

Chao Feng ve Miao Wang enerji verimliliği alanıyla ilgili olarak "Analysis of Energy Efficiency and Energy Savings Potential in China's Provincial Industrial Sectors" isimli makaleyi yazmışlardır. Bu çalışmada 2000-2014 yılları arasında Çin'de özel endüstriyel sektörlerdeki toplam enerji verimliliği ve enerji verimliliği potansiyeli analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda teknolojik ilerlemeler enerji verimliliğinde en güçlü araç olarak belirlenmiştir [12].

1.2 Tezin Amacı

Binalarda ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji verimliliğinin irdelenmesi ve bu enerji verimliliğinin hangi cihazlar kullanılarak ve hangi uygulamalar devreye alınarak olabileceği bu tezin amaçlarındandır. Özellikle pompada enerji tüketiminin azaltılması böylece enerjinin verimli kullanılması irdelenmektedir. Bu çalışmada frekans konvertörü kullanılarak değişken hızlı çalışan pompa gruplarının tek hızlı pompa grubuna göre ne kadar enerji tasarrufu yapabildiği araştırılmaktadır. Ayrıca değişken hızlı pompaların deney süresince çektiği farklı güç miktarlarının süreleri bulunmuştur. Bunun yanında motorlu balans vanalarının sistem değişkenleri (sıcaklık, debi vb.) üzerindeki etkileri grafikler yardımıyla açıklanmaktadır.

1.3 Hipotez

Yapılarda ve endüstride bulunan ısıtma-soğutma tesisatları ya da özel prosesler üzerinde bazı uygulamalar gerçekleştirerek %10 ile %60 civarında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu uygulamalar daha çok pompa-vana kombinasyonu üzerinde yapılmaktadır. Bunun sebebi ise pompanın enerji tüketimindeki payının global düzeyde yüksek olmasındandır. Frekans konvertörleri büyük oranlarda enerji tasarrufu yapılması sağlayan, teknolojik ilerlemenin bir sonucu olarak ortaya çıkmış cihazlardır.

Pompaya entegre edilen frekans konvertörleri, pompanın değişken hızda çalışmasını sağlar. Değişken hızlı olarak çalışan pompaların ürettikleri debiler farklı olmaktadır. Frekans konvertörlü pompalar enerji talebine göre debi üretirler. Örneğin bir ısıtma tesisatında kış mevsiminde enerji talebi en yüksek noktadayken ilkbahar mevsiminde ısıtma talebinde bir miktar düşüş söz konusu olur. Bu durumda pompalar azalan enerji talepleriyle birlikte daha az enerji elektrik enerjisi harcarlar. Daha az debi üretmek daha az enerji gerektirdiği için gereksiz enerji tüketimi büyük ölçüde ortadan kaldırılmış olur. Böylece pompaların enerji tasarruf potansiyelleri kullanılarak enerji verimliliği elde edilmiş olur.

BÖLÜM 2

DÜNYA-TÜRKİYE ENERJİ DURUMU

Enerji, insan hayatı ve bir ülkenin ekonomik kalkınması için temel parametrelerden biridir. Hatta ülkelerin politikalarını belirleyen unsurlardan bir tanesinin de enerji olduğu söylenebilir. Çünkü Dünya üzerindeki bütün devletler kesintisiz, ekonomik ve güvenilir enerjiyi elde etme arzusu taşımaktadır. Enerji kullanımı artan nüfusla, teknoloji ile sanayinin gelişmesiyle ve kısmen konfor standartlarının artmasıyla doğru orantılıdır. Bu sebeplerden dolayı bütün ülkeler gelecekte uygulamak amaçlı bir dizi enerji politikaları belirlemiştir. Bu politikalar hangi kaynaklardan ne kadar miktarda enerji üretileceğini kapsamaktadır. Enerji politikaları belirlenirken ilk olarak enerji kaynağının maliyeti ve çevreye olan etkisi göz önüne alınmaktadır. Dünya üzerindeki bütün devletler için önemli bir konu olan enerjiyi etkili kullanabilmek enerjiyi elde etmek kadar önemlidir. Çünkü enerji depolanamaz, anlık üretilir ve anlık tüketilir. Dolayısıyla iyi bir enerji planlaması olmadan enerjiyi optimum kullanmak mümkün değildir. Enerjinin doğru planlaması kadar önemli bir diğer husus ise enerji verimliliğidir. Doğru yapılan enerji verimliliği çalışmaları ülkelerin ekonomisine büyük katkılar sunmaktadır.

2.1 Dünya'nın Enerji Durumu

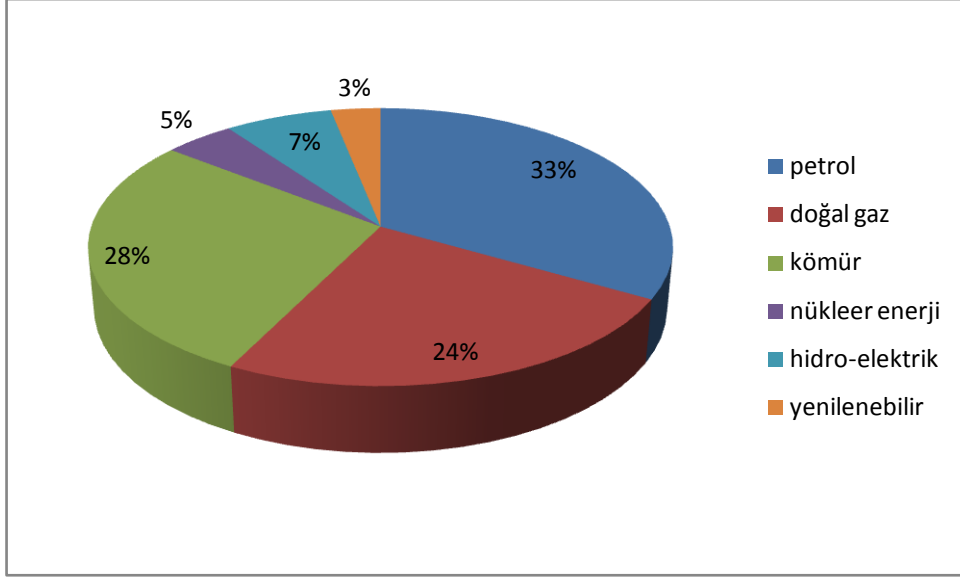
Ülkelerin Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'larının (GSYİH) büyümesi ve nüfus artışları, enerji talebinin yükselmesinde rol oynayan önemli unsurlar arasındadır. 2016'da Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA) raporuna göre, 2015 yılında 7,3 milyar olan dünya nüfusunun yıllık ortalama % 0,9 artışla 2040 yılında 9,2 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca

Hindistan'ın 2020'lerin başında Çin nüfusunu geride bırakarak Dünya'nın en kalabalık ülke olacağı düşünülmektedir. Küresel GSYİH'nın 2014-2040 yılları arasında ortalama artışı yıllık % 3,4 olarak tahmin edilmektedir [13].

Yakın gelecekte enerji sektöründeki yatırımlarla ilgili olarak, ana senaryo olan Yeni Politikalar Senaryosuna göre dünya çapında enerji arzında 2040 yılına kadar kümülatif olarak 44 trilyon ABD Doları yatırıma ihtiyaç olacaktır, bu yatırımın % 60'ı bu yakıtları kullanan enerji santralleri de dahil olmak üzere petrol, doğal gaz ve kömür çıkarımı ve arzı, yaklaşık % 20'si ise yenilenebilir enerjileri kapsamaktadır. Enerji verimliliğinde iyileştirmeler yapmak için ise ayrıca bir 23 trilyon ABD Doları yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece toplam arz yatırımının %70'ine yakın bir bölümünün fosil yakıtlara ayrıldığı 2000-2015 yıllarıyla karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji teknolojileri için maliyet düşüşünün devam etmesine yönelik beklenti de göz önüne alınarak, yatırım bütçelerinin farklı bir yeniden dağılım göstermesi beklenmektedir [13].

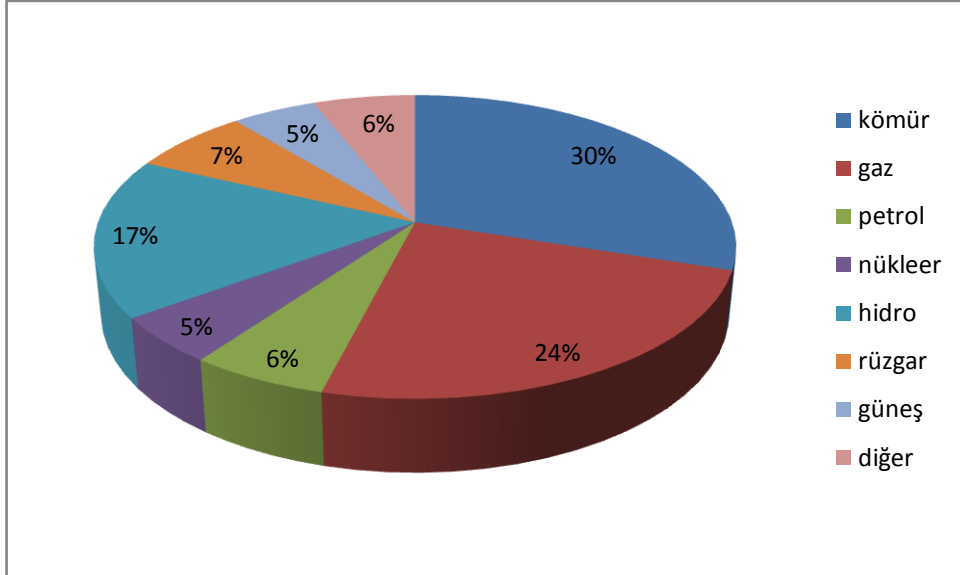
Yeni Politikalar Senaryosuna göre 2040 yılında tüketilen birincil enerjinin %20'si bölgeler arası ticaretten elde edilecek olan bu oran, 2014 yılında için %22 civarındadır. Ayrıca 2040 yılında kömür üretimindeki azalması beklenmektedir. Bu durumda kömür ticaretinde bir düşüş olması beklenilmektedir. Buna karşılık petrol ve doğal gaz ticaretinin 2040 yılında artması öngörülmektedir. Dolayısıyla gelecekte petrol ve doğal gazın önemi bir miktar arttıracaktır [13].

Dünya'nın birincil enerji kaynakları kullanımı yıllara göre değişmektedir. British Petrol şirketi tarafından hazırlanan istatiklere göre 2016 yılında kullanılan birincil enerji kaynaklarının kullanım miktarları milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) biriminden hesaplanmıştır. Buna göre 2016 yılında Dünya üzerinde 4418.2 milyon TEP petrol, 3204.1 milyon TEP doğalgaz, 3732 milyon TEP kömür, 592.1 milyon TEP nükleer enerji, 910.3 milyon TEP hidro-elektrik ve 419.6 milyon TEP yenilenebilir kaynak kullanılmıştır. Kaynaklara göre kullanılan bu enerji miktarının yüzdeleri grafikteki gösterimi aşağıda yer almaktadır. Buna göre 2016 yılında Dünya'da kullanılan birincil enerji kaynaklarının %33'ünü petrol, %24'ünü doğalgaz, %28'ini kömür, %5'ini nükleer enerji, %7'sini hidro-elektrik ve %3'ünü ise yenilenebilir kaynaklar oluşturmaktadır [14].



Şekil 2. 1 Dünya'nın 2016 yılında tükettiği birincil enerjinin dağılımı [14]

Dünya'nın 2016 yılında kurulu gücü aşağıdaki toplam 6.719 GW'tır. Aşağıdaki şekilde küresel toplam kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı verilmiştir. Buna göre küresel kurulu gücün %30'unu kömür, %24'ünü gaz, %6'sını petrol, %5'ini nükleer, %17'sini hidro, %7'sini rüzgar %5'ini güneş ve %6'sını diğer kaynaklar oluşturmaktadır [15].



Şekil 2. 2 Dünya'nın 2016 yılında toplam kurulu gücünün dağılımı [15]

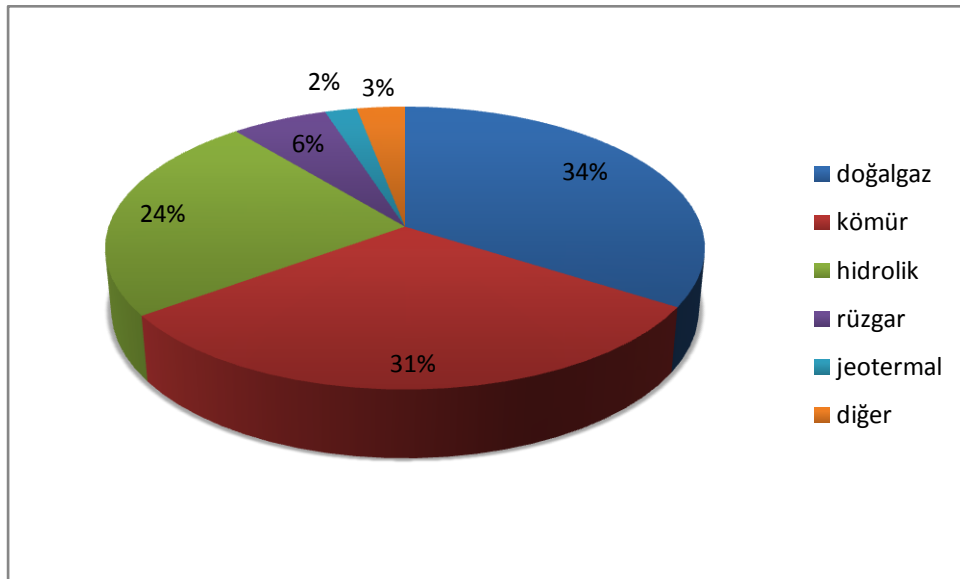
Yapılan tahminlere göre küresel kurulu gücün 2040 yılında 13.919 GW olması beklenmektedir. Ayrıca 2040 yılında güneş enerjisinin küresel toplam kurulu güçteki oranının %32, rüzgar enerjisinin ise %14 olması öngörülmektedir. Diğer yandan 2040

yılında kömürün küresel güçteki oranının %13, gazın %14, hidronun %12 ve nükleerin %3 olması tahmin edilmektedir [15].

2.2 Türkiye'nin Enerji Durumu

Türkiye'nin 2017 yılı Temmuz ayı sonunda toplam kurulu gücünde 2.049 MW'lik artış olmuş ve kurulu güç 2017 Temmuz sonu itibarıyla 80.546 MW değerine ulaşmıştır. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2016 yılında 278,4 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketimi 2017 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla bir önceki yılın Temmuz ayına göre %4,7 artarak 167,1 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yılın Temmuz ayına göre %6,7 oranında artarak 167,3 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir [16].

Aşağıda yer alan şekilde Türkiye'de 2017 yılı Temmuz ayı sonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı verilmiştir. Doğalgazın elektrik üretimindeki payı %34'tür. Türkiye'nin kömür madenleri açısından zengin olmasından dolayı elektrik üretiminde kömürün payı %31 olmuştur. Son yıllarda Türkiye'de özellikle küçük akarsu kaynaklarının da elektrik üretiminde kullanılmasıyla birlikte hidrolik enerjinin elektrik üretimindeki payı %24 olmuştur. Özellikle Kuzey Ege Bölgesi'nde yeni rüzgar santrallerinin devreye alınmasıyla birlikte rüzgar enerjisinin kaynağa göre toplam elektrik üretimi içindeki payı %6'ya ulaşmıştır. Ülkemiz elektriğinin sadece %2'si jeotermal kaynaklardan sağlanmaktadır [16].



Şekil 2. 3 Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı [16]

Kömür kaynaklı termik santrallerin çevre kirliliğine neden olan etkileri bilindiğinden elektrik üretimi içerisinde hidrolik, rüzgar ve Güneş enerjisinin payını arttırmak göz önünde tutulmalıdır.

2.2.1 2023 Enerji Hedefleri

Türkiye'nin sahip olduğu enerji kaynaklarını daha etkili kullanabilmek ve artan enerji ihtiyacına çözüm üretebilmek amacıyla 2023 yılına kadar enerji üretimiyle ilgili bazı hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler belirlenirken yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretiminin ağırlığının artırılması planlanmıştır. 2023 yılına kadar yaklaşık 159 TWh elektrik üretebilecek 61000 MW'lık yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi oluşturulacaktır. Çizelge 2.1'de elektrik üretimi ve 2023 yılı için planlanan hedefler sunulmaktadır [17].

Çizelge 2. 1 2023 yılı enerji hedefleri [17]

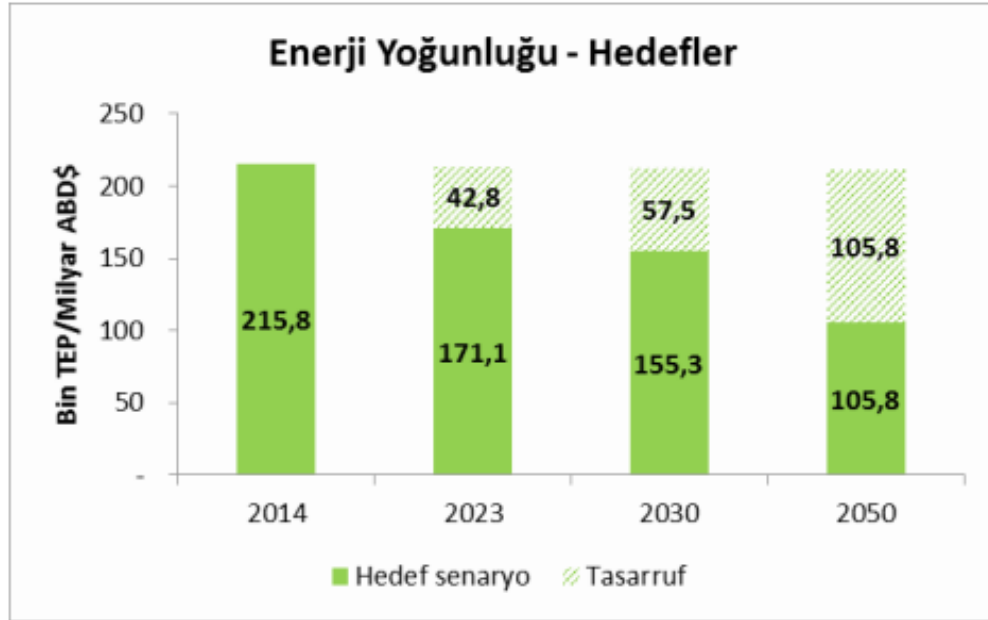
Yenilenebilir Enerji Teknolojisi	2023 Kurulu Güç Kapasitesi(MW)
Hidroelektrik	34000
Rüzgar	20000
Jeotermal	1000
Güneş	5000
Biyokütle	1000

2023 hedeflerinden bir diğeri ise Türkiye'nin birim GSYH başına tüketilen enerji miktarının en az %20 düşürülmesidir. Türkiye'nin enerji yoğunluğunun 2023'e kadar %20 azaltılması planlanmıştır. Bu azalma enerji tasarrufu uygulamalarıyla gerçekleştirilecektir [17].

Enerji verimliliğinin bir ölçüsü olarak enerji yoğunluğu kavramı kullanılır. Enerji yoğunluğu enerji tüketim birimi olan TEP'in finansal bir değere (GSYİH, katma değer vb.) oranıdır.

Kısacası enerji yoğunluğu ne kadar az olursa enerji verimliliği de o kadar yüksek olmuş olur. Enerji yoğunluğu sektörler için farklılıklar gösterir.

Şekil 2.4’de Türkiye’nin 2023, 2030 ve 2050 yıllarında enerji yoğunluğunda hedeflenen tasarruf miktarları yer almaktadır. Bu tasarruf planıyla Türkiye, Avrupa Birliği’nin enerji tüketimini düşürme planıyla kendi tasarruf politikasını uyumlu hale getirmektedir [17].



Şekil 2. 4 Türkiye’nin yıllara göre enerji yoğunluğu hedefleri [17]

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili, Asya ile Avrupa kıtaları arasında jeopolitik ve stratejik önemi yüksek bir ülkedir. Ayrıca kömür madenleri, akarsular ve rüzgar potansiyeli bakımından Türkiye’nin oldukça iyi bir enerji potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Türkiye gelişmekte olan bir ülke olduğundan mevcut enerji ihtiyacı ile gelecekte kullacağını enerji miktarı arasında büyük farklar olabilir. Bu sebeplerden dolayı Türkiye’nin gelecekteki enerji politikasını belirlemesi önemlidir. Gelecekteki enerji politikaları belirlenirken göz ardı edilmemesi gereken iki önemli unsur vardır. Bunlardan ilki mümkün olabildiğince yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir.

Son yıllarda artan çevre kirliliği bütün ülkeler için başlıca sorun olmuştur. Bu sorunun temel kaynaklarından biri fosil yakıt kullanımınıdır. Karbon dioksit salınımı küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına neden olmaktadır. Ayrıca kirli havanın insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi yaygın olarak bilinmektedir. Özellikle kömürlü termik santrallerin doğaya karbon dioksit salınımı yaptığı bilinmektedir. Bu sebepten dolayı ülkeler gelecekteki enerji yatırımlarında yenilenebilir enerjinin payını arttırmaya gayret etmişlerdir.

Gelecekteki enerji yatırımlarını doğrudan etkileyen bir diğer unsur ise enerji verimliliği politikalarıdır. Enerjiyi verimli kullanarak gelecekte bu alanda yapılacak olan yatırımlar belirli ölçülerde azaltılabilir. Bundan dolayı dünya üzerinde birçok ülkenin enerji verimliliği politikaları ve uygulamaları bulunmaktadır. Enerji verimliliği disiplinler arası birlikte çalışmayı gerektirecek bir kavramdır.

ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Konfor şartlarında, hayat standartlarında ve üretim miktarında herhangi bir düşüş olmaksızın sistem üzerindeki gereksiz enerji kullanımının azaltılmasına enerji verimliliği denir. Enerji verimliliği uygulamaları mevcut yasal prosedürlerin göz önüne alınarak son teknoloji ürünü cihazların sistem üzerine entegre edilmesiyle gerçekleştirilir. Böylece mevcut enerjiden en yüksek düzeyde fayda elde edilir. Enerji verimliliği sanayide, konutlarda, ofislerde, aydınlatma sistemlerinde ve ulaşım araçlarında uygulanabilmektedir.

Türkiye’de sanayi tesislerinde yıllık 3,7 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) olan enerji tüketimi mevcuttur [18]. Sadece bu miktar bile göz önüne alındığında enerji verimliliğinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Sanayi tesisleri ve binalar için başlıca enerji tasarrufu yöntemleri;

- Basıncılı hava sistemlerindeki kayıpların giderilmesi ve hava basıncının minimum düzeyde tutulması,
- Elektrik motoru verimlerinin analiz edilmesi,
- Atık ısıdan yararlanma uygulamalarının yaygınlaştırılması,
- Binalarda ısı yalıtımı sağlayan izalasyon malzemelerinin kullanılması,
- Kazan verimlerinin arttırılması,
- Yüksek verimli aydınlatma,
- Pompaların frekans konvertörlü olarak kullanılmasını sağlamaktır [18].

Toplumun bilinçsizliği ve eğitimsizliği ile enerji verimliliği uygulamalarına gereken yatırımların yapılmaması sonucu enerji israfı ortaya çıkar. Ülke ekonomisi bu durumdan dolayı olarak ya da doğrudan etkilenir hatta buna bağlı olarak enerjide dışa bağımlılık artabilir. Diğer yandan da doğrudan ya da dolaylı olarak doğaya salınan sera gazı emisyonları artar. Sera gazlarının küresel ısınmaya ve iklim değişikliklerine neden olduğu bilinen bir gerçektir. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kükürt dioksit gibi gazların insan sağlığı üzerindeki etkisi de büyük olmaktadır. Ortaya çıkan bu olumsuz sonuçlar enerji verimliliğinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

3.1 Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü

Bir toplumun kalkınması ekonomik refah seviyesinin artmasıyla ve eğitimde, bilimde, sporda, sanatta olan ilerlemelerle doğrudan alakalıdır. Sürdürülebilir kalkınma ise bütün bu alanlarda sürekli ilerleme kaydetme olarak algılanır. Gerçekte sürdürülebilir kalkınma gelecek neslin hayat standartlarına olumsuz etki bırakmaksızın devam eder. Yani bir anlamda gelecek neslin gereksinimlerini tehlikeye atmadan kendi neslinin ihtiyaçlarını karşılamak sürdürülebilir kalkınmanın tanımıdır [19].

Doğada var olan fosil kaynakların varlığı insanların kullanımıyla birlikte her geçen gün daha da azalmaktadır. Bu durum insanoğlunun sınırlı fosil kaynakları tüketmeyi sürdürmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Fosil kaynakların kendini yenileyemediği bilinen bir gerçektir. Diğer taraftan ise şehirlerin nüfusu özellikle kırsal alanlardan gelen göçlerle birlikte artmaktadır. Bu durum beraberinde daha fazla enerji kullanımı getirmektedir. Aydınlatmada, ısıtmada, soğutmada ve ulaşımda kullanılan enerjinin artması bir takım problemlere neden olabilmektedir. Bunların başlıcaları çevre kirliliğinin artması ve firmaların rekabet gücünün etkilenmesi olarak gösterilebilir. Bu durum sürdürülebilir kalkınma ile enerji kaynakları arasında bir denge olduğunu gösterir. Gereksiz kullanılan enerji ülke ekonomisi için yük teşkil etmektedir. Ayrıca sosyal refah seviyesi gereksiz enerji tüketiminden doğrudan etkilenmektedir. Çünkü bu durum enerji fiyatlarında artışa yol açmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı sürdürülebilir kalkınma ile enerji verimliliği arasında doğrudan bir bağ vardır. Enerji verimliliği uygulamaları ve politikaları sürdürülebilir kalkınmaya yarar sağlamaktadır. Ayrıca sadece kaynakların sınırlı olması ve fosil yakıtların fiyatlarının yükselmesi nedeniyle değil, aynı zamanda

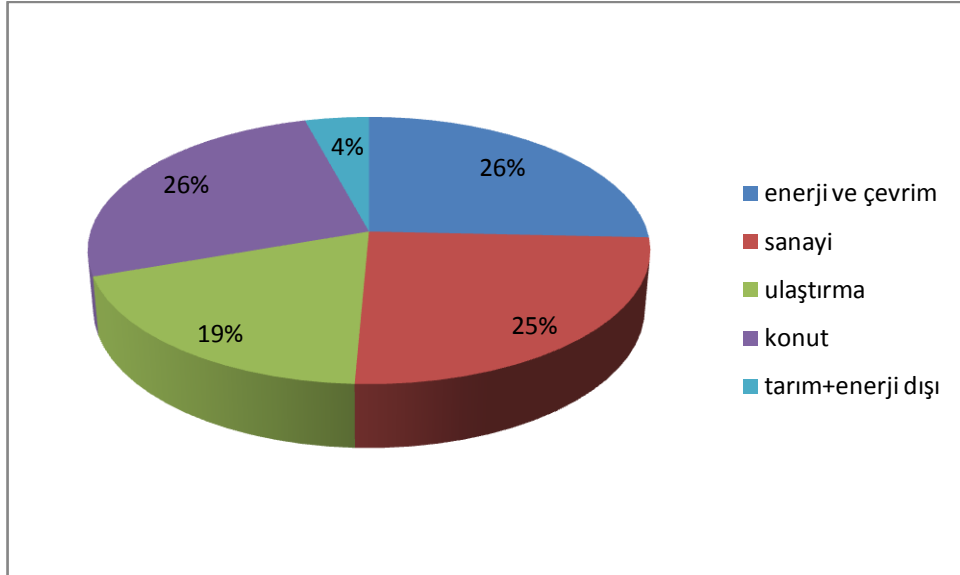
çevrenin ve iklimin korunmasından dolayı da enerji kullanımının verimli hale getirilmesine ihtiyaç vardır [19].

3.2 Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli

Enerji verimliliği konut ve ofislerde konfor seviyesini arttırırken sanayi de ise birim ürün başına harcanan enerji miktarını ve üretim maliyetini düşürmektedir. Böylece endüstriyel firmaların rekabet gücü artar. Türkiye’de nüfus artışı, sanayileşme, hayat standartlarının yükselmesi ve teknolojinin insan hayatına daha fazla girmesi nedenleriyle enerji tüketimi artmaktadır. Türkiye nüfusunun 2050 yılında 94,6 milyona ulaşması beklenmektedir. Bu sebepten dolayı ülke olarak enerji üretimini arttırmak kadar enerjiyi etkin bir biçimde kullanabilmek de büyük önem taşımaktadır [20].

Enerji verimliliği uygulamaları çoğu kez son teknoloji ürünü cihaz veya makinelerinin mevcut sistem üzerine kurulmasıyla elde edilir. Bunun yanında hem sanayide hem de evlerde ve işyerlerinde bilinçli enerji tüketiminin önemi büyüktür.

Şekil 3.1’de Türkiye’nin 2015 yılında nihai enerji tüketimi gösterilmiştir. Buna göre kullanılan nihai enerjinin %26’sı enerji ve çevrimde, %25’i sanayide, %19’u ulaşırmada, %26’sı konutlarda, %4’ü tarımda kullanılmaktadır [21].



Şekil 3. 1 Türkiye’de nihai sektörlere göre enerji tüketimi [21]

Yapılan bir dizi araştırmaya göre sanayide %20-25, binalarda %30-50 ve ulaşırmada ise %15-20 enerji tasarrufu potansiyeli olduğu ortaya çıkmıştır. Belirtilen bu tasarruf

miktarlarını elde edebilmek için özellikle binalardaki enerji verimliliğiyle ilgili çeşitli yönetmelikler çıkarılmıştır. Türkiye’de bina sayısının 8.5 milyon olduğu ve bu rakamın da %86’sının konut olduğu düşünülmektedir. 2000 yılında çıkarılan TS825 Isı Yalıtım Standartı ile özetle binaların ısı yalıtımlarının iyileştirilerek gereksiz enerji kullanımının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. 2007 yılında uygulamaya konulan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile enerji verimliliği daha geniş bir açıda mercek altına alınmış ve incelenmiştir [22].

3.3 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu’nun amacı özetle enerjinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılması, gereksiz enerji kullanımının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ülke ve birey üzerindeki ekonomik yükünün hafifletilmesi içermektedir. Ayrıca çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasını kapsamaktadır. Bu kanunun enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim süreçlerinde, sanayi tesislerinde, binalarda, elektrik enerjisi üretim santrallerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin iyileştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usûl ve esasları içermektedir. Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik yöntemlerin uygulanması ile özellik veya görünümleri kabul edilemez derecede değişecek olan sanayi alanlarında işletme ve üretim faaliyetleri yürütülen, ibadet yeri olarak kullanılan, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan, yılın dört ayından daha az kullanılan, toplam kullanım alanı elli metre karenin altında olan binalar, koruma altındaki bina veya anıtlar, tarımsal binalar ve atölyeler, bu kanunun kapsamı dışındadır [23].

Bu kanununa göre sanayi kuruluşlarında enerji yöneticisi bulunması zorunlu hale gelmiştir ve bu kişi firma çalışanları arasından seçilir. 1000 TEP’den daha az enerji tüketimi olan sanayi kuruluşlarına ilgili sanayi bölgesinin enerji yönetim ekipleri tarafından hizmet verilir. Ayrıca toplam bina alanı en az yirmi bin metrekare ya da senelik enerji sarfiyatı beş yüz TEP ve daha fazlası olan ticari binaların, hizmet binalarının ve kamu binalarının yönetimleri, yönetimlerin olmadığı hallerde ise bina sahiplerinin, enerji yöneticisi çalıştırması veya enerji yöneticilerinden hizmet almasını

zorunlu hale getirir. Senelik enerji sarfiyatı elli bin TEP veya yukarısı olan özel sektöre ait sanayi kuruluşlarının kendi enerji yönetim bölümlerinin olması gerekmektedir [23].

3.4 ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi

Çağımızda birçok kurum ve şirket çevreye veya doğaya karşı olan yükümlülüklerini gözden geçirmekte ve enerji verimliliği konusunda çeşitli analizler yapmaktadır. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak farklı ürünlerin ve üretim tekniklerinin ortaya çıkışı enerji tüketiminin küresel ölçekte artmasına neden olmuştur. Bu durumda enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ülke ekonomisi üzerindeki etkisinin azaltılması, enerji temininin sürekliliği, enerji güvenilirliği ve çevrenin korunması gibi gereksinimler yeni bir Enerji Yönetim Sistemi'nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Devletler, kendi sınırları içerisinde uygulamak üzere enerji verimliliği kanunları çıkartmışlardır. Bu kanunlar ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. Bunun yanında bazı uluslararası kuruluşlar enerji verimliliği standartları belirlemişlerdir.

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi, 60'dan fazla ülkeden uzmanların katılımıyla, mevcut yerel ve ulusal standartlar kullanılarak oluşturulmuştur. ISO 50001 EYS 9 Haziran 2011 tarihinde yayınlanmıştır. Bu Enerji Yönetim Sistemi (EYS) özetle sanayi tesislerinde, zincir mağazalarda, hastanelerde, okullarda, iş merkezlerinde ve benzer yerlerde uygulanabilmektedir. Yapılan analizlere göre ISO 50001 EYS bütün ticaret ve endüstri tesislerine uygulanması söz konusu olduğunda küresel ölçekte harcanan enerjinin %60'ını içereceği öngörülmektedir [24].

ISO 50001 EYS özetle enerji verimliliğiyle ilgili sürekli iyileştirme çalışmalarını gerektirmektedir. Bunu yerine getirmek uygulayıcı kurumun sorumluluğundadır. Bu EYS birlikte ilgili kurumda enerjinin üretildiği ve tüketildiği önemli cihazlar (kazanlar, brülörler, kompresörler, FCU'lar, AHU'lar vb.) belirlenir. Ardından iyileştirme potansiyeli olan cihazlar, geçmişte ve gelecekte tahmin edilen enerji sarfiyatlarına bağlı olarak tanımlanırlar. Böylece enerji üretim ve tüketim noktalarında bir dizi teknik önlem alınarak enerji tasarrufu yapılır [25].

Enerji verimliliğiyle ilgili işletmelerin yasal sorumluluklarının tespit edilmesi ve takibinin yapılması gerekmektedir. Fakat yasal sorumluluklar bir bakıma işletmelerin uymak

zorunda olduğu alt sınırdır. Buna bağlı olarak bir işletmenin yasal yükümlülüklerini yerine getirmesi bir hedef olarak düşünülmez. ISO 50001 EYS, enerji sarfiyatının düşürülmesi, elektrik sarfiyatının azaltılması, buhar sarfiyatının azaltılması gibi konuları analiz ederek “birim zamanda buhar hacmi”, “birim zamanda ürün adedi” ve “g” gibi ölçülebilir teknik veriler üzerinden enerji verimliliği hedeflerinin belirlenmesine yardımcı olur. Ayrıca ISO 50001 EYS, bütün enerji çeşitlerinde (ısı, elektrik, mekanik vb.) enerjinin daha etkin kullanılması için sistem üzerinde sürekli geliştirme yapmayı öngörmektedir. ISO 50001 EYS’nin başlıca faydaları özetle şunlardır;

- Sera gazı emisyonlarının azalmasına katkı sağlayarak firmaların yasal sorumluluklara uymasını kolaylaştırır. Bu sayede özellikle endüstriyel firmaların evre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirgenir. Böylece gelecek nesillere yaşanılabilir ve temiz bir evre bırakılmış olur [25].
- Enerji maliyetlerini düşürerek firmaların rekabet gücünü arttırır. Daha doğrusu enerji maliyeti düşen bir tesiste birim ürün elde etmek için eskisine göre daha az enerji kullanılır. Böylece firmaların toplam ürün sayısında belirgin bir artış olur. Bu sayede özellikle küresel ölçekli firmaların rekabet gücünün yükseldiği söylenebilir.
- Enerji teminine dair risklerin tespit edilmesine yardımcı olur [25]. Böylece enerji temininde güven arttırıcı bir etkisi olur. Çünkü güvenilir enerji temini, sürekli artan dünya nüfusu ve küresel sanayinin büyümesiyle daha önemli bir konu haline gelmiştir. Diğer yandan insan kullanımından dolayı her geçen gün daha da azalan fosil kaynakların bir günü biteceği endişesi hep varolmuştur.
- Enerji tüketimini en aza indirerek iş performansı arttırır. Bir anlamda sistem ya da makineler üzerinde gereksiz enerji tüketen parçaların ya da cihazların iş performansına etkisi bazen olumsuz olmaktadır. Bu tür gereksiz enerjinin ortadan kaldırılması sistem işleyişini iyileştirir. Ayrıca insanların maliyet odaklı çözümler üretebilmeleri ve sistematik adımları kullanarak sorunları çözebilmeleri de çalışma performansında iyileşme olarak değerlendirilebilir.
- Kuruluş içerisinde EYS’ne saygıyı arttırır ve firmanın enerji verimliliği hedeflerini resmi hale getirir.

Temmuz 2011’de çıkartılan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımına Verimliliğın Arttırılmasına Dair Yönetmelikte Değışiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik Taslağı” içeriğinde “2014 yılından itibaren ISO 50001 EYS sertifikasına sahip olmayan işlemlerin devlet desteğı amaçlı hazırladıkları Verimlilik Arttırıcı Projeleri (VAP) için yaptıkları başvuruların kabul edilmeyeceğı” konusu yer almaktadır [25].

BÖLÜM 4

SİSTEMLER

HVAC sistemleri yapılarda ısıtma-soğutma ihtiyacının karşılanması ve nem kontrolünü, endüstriyel tesislerde ise istenilen sıcaklık ve basınçta akışkanın üretiminden hedef noktaya gönderilmesine kadar olan prosesleri kapsar. Kazan, pompa, eşanjör, boru hattı, genişleme tankı, vana, FCU, AHU, radyatör, kolektör ve oda termostatı HVAC sisteminin en temel elemanlarıdır. HVAC sistemleri insanların sürekli olarak bulunduğu ortamlarda (ev, hastane, okul, mağaza, ofis vb.) konfor şartlarını sağlamak amacıyla, fabrikalarda ise üretim sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak yer alırlar.

4.1 HVAC Sistemlerinde Enerji Verimliliği

HVAC sistemleri enerjinin yoğun olarak tüketildiği sistemlerdir. Bu yüzden enerji tasarruf potansiyelleri büyüktür. Isıtma ve soğutma sistemlerinde enerji verimliliği açısından olması gereken ilk koşul kazan, pompa ve eşanjör gibi temel sistem elemanı olan cihazların doğru seçilmesi olacaktır. Daha doğrusu mühendislik hesapları yapılarak seçilen ve seçimleri esnasında tolerans katsayıları belirli değerin üzerine olmayan cihazların doğru seçildiği söylenebilir. İhtiyaçtan büyük seçilen cihazların verimleri düşük olacak ve ilk yatırım maliyetleri de yüksek olacaktır. Bu durumda enerji verimli kullanılmamış olacaktır. Her cihazın bir verimli çalışma noktası vardır ve HVAC cihazlarının optimum noktada çalışması verimlilik açısından önemlidir. Örneğin ihtiyaçtan büyük seçilen pompaların sisteme aşırı debi ve fark basınç verme riski bulunmaktadır. Ayrıca aşırı enerji sarfiyatı da bir diğer problem olarak karşımıza çıkar. Günümüzde teknolojinin hızlı ilerlemesiyle birlikte HVAC sistemlerinin kontrol

yöntemlerinde bir takım yenilikler meydana gelmiştir. Bu sayede sistemde dolaşan akışkanın basıncı ve sıcaklığı hedef mahale kadar gözlemlenme imkanına kavuşmuştur. Bu imkanlar enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Oda sıcaklığı oda termostatları sayesinde optimum seviyede sabit tutulabilmektedir. Kazan önlerine üç yollu motorlu vana uygulaması yapılarak kazan çıkış suyu sıcaklığı kontrol altında tutulabilmektedir. Eşanjör ve kolektör önlerine ise iki yollu motorlu vana konularak cihazların besleme hattı sıcaklığı belirli değerlerde sabit tutulabilmektedir. Ayrıca elektronik kontrol üniteleriyle aynı anda kazan, pompa grubu ve motorlu vana grubu tek bir noktadan kontrol edilebilmektedir. Böylece hem sistem verimi iyileşirken hem de sistem mekanizmaları bir bütün olarak daha stabil hale gelmiştir.

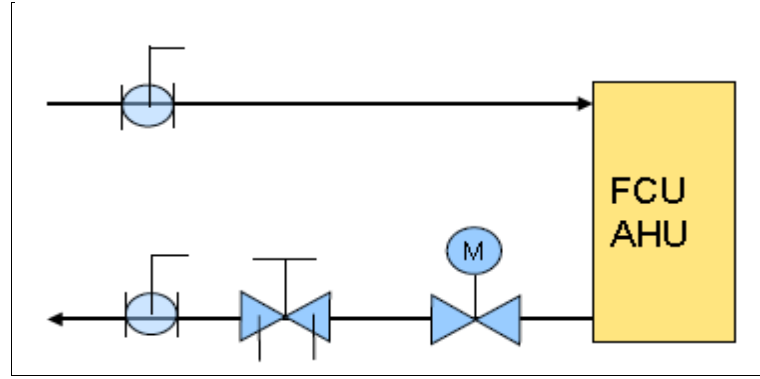
HVAC sistemlerinde kullanılan kontrol yöntemleriyle, kontrol edilen birimin konfor şartlarında ve hayat standartlarında bir azalmaya neden olmaksızın kullanılan enerji miktarında bir takım verimlilik çalışmaları yapılabilir. Kontrol edilen mahalin değişken oda yükü ve iklimsel koşullar karşısında sürekli olarak istenilen koşullarda tutulması kontrolün başlıca hedefidir. Bunun yanında enerji tüketimini, efektif alan kontrolünü, sistemde bulunan cihazların yükünü, ön kestirmeli yük ihtiyacını ve en uygun ekipman performansını sağlamak için ilave kontrollerin gerçekleştirilmesi gerekir. HVAC sistemlerinde en ideal kontrol yöntemi sistemin sıcaklık ve basınç değerlerini otomatik kumanda ya da elektronik panel yardımıyla konfor şartlarına göre ayarlamaktır. Bunun yanında kullanılmayan mahallere olan enerji akışı belirli bir düzene sokularak konfor şartları yerine getirilir ve daha az enerji sarfiyatı gerçekleşir. HVAC sistemlerinde kullanılan kontrol metotları psikometrik tabanlı yöntemlere dayanmaktadır. Bir HVAC sisteminde verimi yükseltmek için tek noktadan bütün sistemi kontrol etmek büyük yarar sağlar. Daha doğrusu HVAC sisteminin sadece bir mahale giden bölümünü kontrol etmek sistem genelinde verim artışında çok etkili olmayabilir [26].

4.1.1 Motorlu Kontrol Vanaları

HVAC sistemlerinde en önemli parametreler sıcaklık, debi ve fark basınçtır. Motorlu vanalar ise HVAC tesisatlarında yaygın olarak kullanılırlar. Bu cihazlar debi ve sıcaklık ayarı yapmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Çünkü konutlarda ısıtma-soğutma enerjisi

talebi, endüstride ise proses enerjisi talebi değişkenlik gösterebilmektedir. Böylece motorlu vanalar değişkenlik gösteren sistem ihtiyacına bağlı çalışırlar.

Bu tür vanalar iki ve üç yollu motorlu vanalar olarak ikiye ayrılırlar. İki yollu motorlu vanalar bağlı oldukları cihaza giden akışkan debisini kontrol ederek ortam sıcaklığının optimum değerlerde kalmasını sağlarlar.

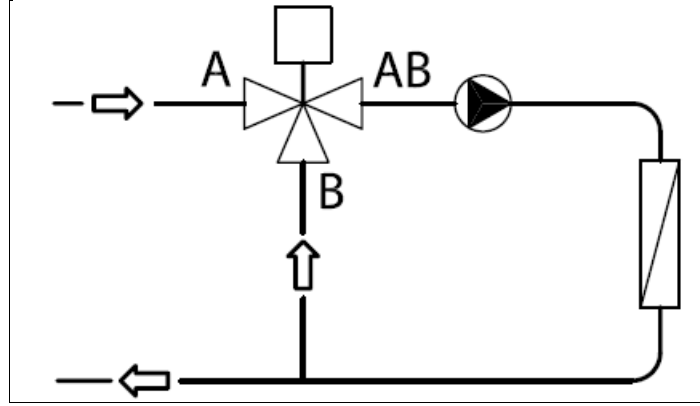


Şekil 4. 1 İki yollu motorlu vana

Şekil 4.1’de gösterilen iki yollu motorlu vana cihaza giden debiyi ayarlayarak ısıtıcı cihazın bulunduğu mahalin sıcaklığını kontrol altında tutmaktadır.

Üç yollu motorlu vanalar ise daha çok karıştırma ve ayırma vanası olarak sıklıkla kazan ve eşanjör gibi cihazların önlerinde kullanılırlar. Kontrol vanalarının açılması veya kapatılması, otomatik olarak elektrik motorları tarafından gerçekleştirilmektedir. Elektrik motorları oda termostatlarından aldıkları sinyallere göre debiyi azaltmakta ya da arttırmaktadırlar. Motorlu vanalar tamamen açık, tamamen kapalı ya da kısmen açık konumda bulunabilirler. Üç yollu motorlu vanalar farklı hatlardan gelen akışları karıştırırlar veya ayırırlar. Bu şekilde akışkanın sıcaklığını kontrol altında tutarlar. Kontrol vanasının çalışma prensibi, hareketli vana milinin, sabit vana yatağında konumlanmasına dayanmaktadır. Yataklı kontrol vanaları genellikle sıcak kullanım suyu hazırlama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu vanalarda, vana mili yatağa doğru hareket ederek debiyi arttırmakta ya da azaltmaktadır. Vanaya bağlanan motor mili sayesinde, vana mili hareket ettirilmektedir. Motorun amacı, kontrol sinyali ile belirlenen vana mili konumunu elektrik enerjisi harcayarak, uygun duruma getirmektir. Üç yollu motorlu vanalar kazan önlerinde elektronik kontrol paneline bağlı olarak da

kullanılırlar. Motorlu vana uygulamaları ekonomik açıdan uygun çözümler arasında gösterilir.

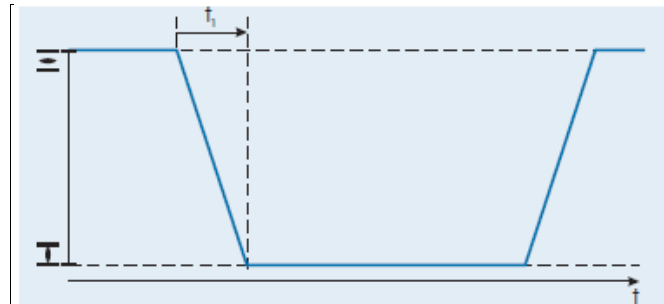


Şekil 4. 2 Üç yönlü motorlu vana

4.1.2 Vana Motorlarının Sınıflandırılması

Vana motorları çalışma prensipleri açısından on/off kontrollü vana motorları, konumlandırılmalı kontrollü vana motorları ve oransal kontrollü vana motorları olarak üçe ayrılırlar.

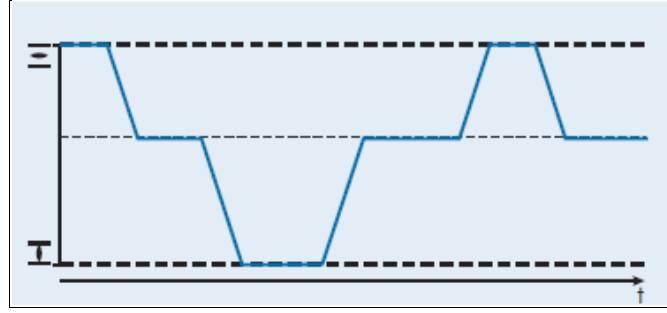
On/off kontrollü vanalarda vana ya tamamen akışa açıktır ya da tamamen akışa kapalıdır ve bu vanalarda herhangi bir ara konum bulunmamaktadır. On/off kontrollü vana uygulamaları daha çok son kullanıcı mahallerinde (ofis, apartman, okul, otel vb.) bulunan cihazların (FCU, kolektör vb.) sıklıkla kullanılmaktadır. On/off kontrolün bir diğer adı da iki nokta kontrollü motorlardır.



Şekil 4. 3 On/off kontrollü vana motorunun çalışma şekli

Şekil 4.3'te on/off motorla kontrol edilen bir vana stroğunun zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Burada t_1 süresinde vana motoru tam açık konumdan tam kapalı konuma geçmiştir.

Konumlandırılmalı kontrollü vana motorlarında ise on/off pozisyonun yanında bir de sabit bir kısmi akış kontrolü sağlayan bir pozisyon tanımlanmıştır. Konumlandırılmalı kontrolün bir diğeri adı da üç nokta kontroldür. Üç nokta kontrollü motorlar, elektrik sinyalinin açık veya kapalı olması durumuna göre çift yönlü hareket edebilme yeteneğine sahiptirler. Kontrol sisteminden çıkış sinyali kesilir kesilmez, elektrik motoru çalışmayı durdurur ve bu durumda vana stroğu sadece belirli bir miktar açıklıkta kalır. Bu konumda kalması, büyük ölçüde kendinden kilitli dişli mekanizması ile elde edilmektedir.

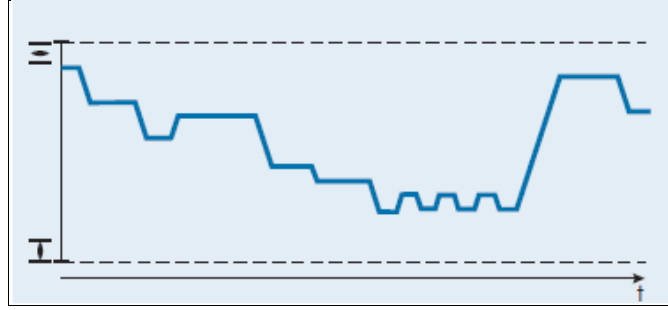


Şekil 4. 4 Konumlandırılmalı vana motorunun çalışma şekli

Şekil 4.4'de vana stroğu zamana bağlı olarak önce tam açık konumdayken sonra belirli bir konumda bir süre çalışmaktadır ve sonrasında ise tamamen kapalı konuma gelmektedir. Konumlandırılmalı vana motoru bu üç hareketi aldığı sinyallere göre herhangi bir sıralama söz konusu olmadan yapabilmektedir.

Oransal kontrollü vanalarda ise vana hem tam açık hem tam kapalı hem de kısmi olarak değişen bir oranda açık olabilmektedir. Oransal kontrollü vanalarda akışkan ve sıcaklık kontrolü hassas bir şekilde sağlanabilir. Bu sebepten dolayı eşanjör, AHU ve Chiller gibi büyük kapasiteli cihazların dönüş hatlarında oransal vana kullanılması önerilmektedir. Ayrıca laboratuvar, hastane ve bilgisayar verilerinin saklandığı merkezlerde gibi önemli mahallerde sıcaklık kontrolü için oransal kontrollü vana motoru kullanılması uygun olmaktadır. Oransal kontrol yöntemine aynı zamanda modülasyonlu kontrol da denilmektedir. Modülasyonlu kontrolde çok hassas olarak ısıtma veya soğutma sistemlerinde, vana stroğunun ayarlanması bir kaç saniye içinde gerçekleşebilmektedir. Bu sebeple oransal motorlar, büyük yükler altındaki çalışma şartlarında kontrol hassasiyetini bozmadan uzun ömürlü çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Oransal

motorlar, elektronik kontrol panelinden gelen modülasyonlu sinyale ve oransal sistem taleplerine göre kontrol vanasının stroğunu konumlandırmaktadır. Elektronik kontrol panelinden gelen analog signal sürekli olarak değişkendir ve genellikle 0-10 V ve (4-20 mA) arasındadır. Motor kontrol sinyalini algılar ve buna göre vananın limit değerler arasındaki olması gereken konumunu belirler. Bu noktaya gelebilmek için motorlarda, güncel vana dorumunu konumlandırma devresine bildiren bir konum sensörü bulunmaktadır. Bu şekilde motor, mili hareket ettirerek strok mesafesi içinde kontrol sinyaline göre oransal olarak konumlandırılabilir. Çıkış sinyali (X) sayesinde, motor konumunun mevcut noktası her zaman belirlenebilmektedir. Bu işlem otomatik kontrol proseslerinde bir farklı amaçlarla kullanılabilir.



Şekil 4.5 Modülasyonlu motorların çalışma şekli

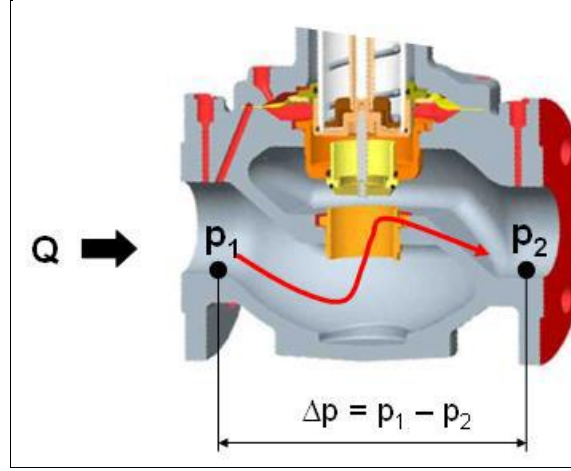
Şekil 4.5'te oransal kontrollü motorların elektronik kontrol ünitesinden gelen farklı ve değişken sinyallere göre vana stroğunun konumlanması gösterilmiştir. Yani vana mili gelen sinyale bağlı olarak vana içerisinde istenilen yerde konumlanabilmektedir. Bu durum yüksek hassasiyetle akışkan ve sıcaklık kontrolü sağlanmasına neden olmaktadır.

Vana motorları enerji verimliliği açısından değerlendirilirse en uygun vana motorunun oransal motor olduğu ortaya çıkar. Bu yüzden yüksek miktarlarda debilerin olduğu cihazlara oransal kontrol uygulanmalıdır. On/off kontrol ise daha çok düşük debi altında çalışan cihazlarda (FCU, kolektör vb.) tercih edilmelidir.

4.1.3 Vanalarda Temel Kavramlar

HVAC sistemlerinde kullanılan vanaların seçimleri bazı kriterlere göre yapılmaktadır. Debi, vana üzerinden birim zamanda geçen sıvı miktarıdır. Birimi m^3/h ya da l/h 'tır.

Vananın girişi ve çıkışı arasında, kayıplardan ve vana milinin akışı kısmasından dolayı bir basınç farkı meydana gelir. Buna vana fark basıncı denir. Birimi bar ya da kpa'dır.



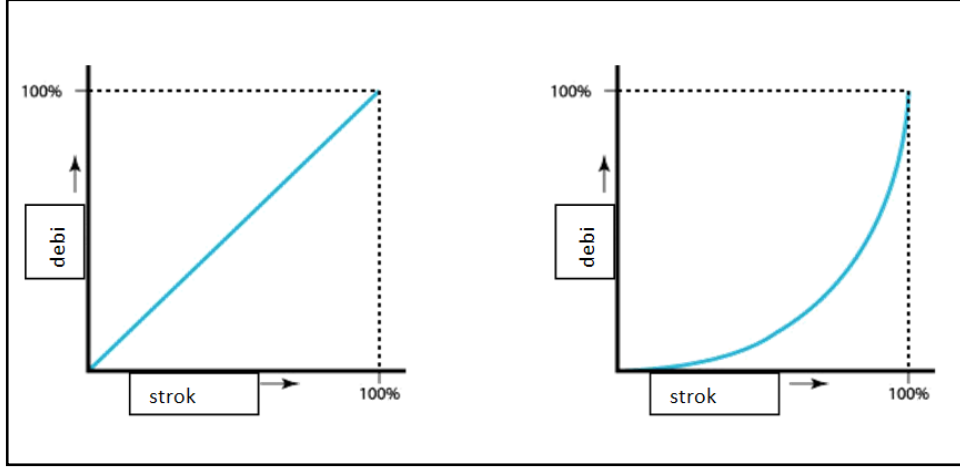
Şekil 4. 6 Vana kesiti

Şekil 4.6'da sıvının vanaya giriş basıncı P_1 , çıkış basıncı ise P_2 'dir. Dolayısıyla vanada ΔP kadar bir fark basınç meydana gelir. Vanalarda debi ve basınç arasındaki ilişkiyi gösteren formül aşağıda yer almaktadır.

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{Q_1^2}{Q_2^2} \quad (4.1)$$

Vana-motor kombinasyonunda motorun maksimum ne kadarlık bir fark basıncı yenerek vanayı kapatabileceği değere ise kapatma basıncı adı verilir. Sistemde dolaşan sıvı basıncının vana motorunun kapatma basıncından büyük olması durumunda vana motoru tam olarak kapatamaz. Dolayısıyla son kullanıcılardan ısınma ve serinlemeyle ilgili şikayetler gelir. Bu sebeplerden dolayı vananın kapatma basıncı sistemde dolaşan akışkanın basıncından daima büyük olma zorundadır.

Vana karakteristiği vana yapısına bağlı olarak lineer veya logaritmik olabilmektedir. En çok karşılaşılan vana eğrileri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Vana karakteristikleri vanadan geçen sıvı debisi ve vana stroğu arasındaki sayısal ilişkinin bilinmesini sağlarlar.



Şekil 4. 7 Lineer vana ve logaritmik vana karakteristikleri

Vana seçiminde kullanılan en önemli kavram kvs'dir.

Vana %100 açık durumdayken 1 bar basınç farkında vanadan geçen debiye vananın kvs'i denir [27].

Vana milinin hareket etmesine bağlı olarak 1 bar fark basınç altında geçen debiye ise vananın kv değeri denir [27].

kvs değeri ve kv değeri vanaların çaplarına, çalışma şekillerine ve konstrüksiyonlarına göre değişen değerlerdir. Bu sebeple farklı çapta ve farklı yapıdaki her vananın kendine özel bir kvs değeri vardır. kvs değeri ayrıca akış katsayısı olarak da bilinir. kvs değerinin bilinmesiyle birlikte herhangi bir debide vananın fark basınç değeri hesaplanabilir, verilen bir fark basınç değerinde ise vana üzerinden geçen debi hesaplanabilir.

$$kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}} \quad (4.2)$$

kv: Akış katsayısı (m³/h)

Q: Debi (m³/h)

ΔP: Vana üzerindeki fark basınç (bar)

Bir kontrol vanasının ayar kabiliyeti, o vananın kontrol karakteristiğinin ne kadar uygun olduğunu ifade eder. Ayar kabiliyeti değeri, vana tarafından kontrol edilebilen minimum akış miktarının ölçüm değeridir. Ayar kabiliyeti sabit basınç kaybı altında, maksimum kontrol edilebilen akış değerinin, minimum kontrol edilebilen akış değerine

oranı olarak da gösterilebilmektedir. Vananın kontrol oranının yüksek olması demek, vananın kontrol kabiliyetinin de o kadar iyi olması anlamına gelir. Dolayısıyla iyi kontrol kabiliyeti enerji verimliliğine katkıda bulunur.

Vana otoritesi (basınç otoritesi), vananın tam açık pozisyondayken basınç kaybı değeri ile devrenin basınç kaybı değerine oranını göstermektedir. V_a , vana üzerindeki minimum basınç kaybının (vana tam açıkken oluşan) vana üzerindeki maksimum basınç kaybına (vananın kontrol edilebilen minimum kapalı pozisyonunda oluşan), oranı olarak ifade edilmektedir. Yüzdesel olarak ifade edilmektedir. Maksimum basınç kaybı, genellikle kontrol vanasının bulunduğu tüm sistemin basınç kaybı olarak alınmaktadır.

Her vananın çalışabilceği maksimum bir basınç değeri vardır. Bu değer "PN" kısaltmasıyla gösterilir. PN 10, PN 16, PN 25 gibi basınç sınıfları vardır. Örneğin PN 16 olan bir vana maksimum 16 bar basınca kadar çalışabilir. PN 16'nın test basıncı 20°C'de 24 bar olarak ölçülmüştür.

4.1.4 Hidronik Dengesizlik

Isıtma ve soğutma sistemlerinde enerji bir akışkan tarafından hedef cihazlara taşınmaktadır. Günümüzde birçok HVAC tesisatlarında ısıtma veya soğutma fonksiyonu olan cihazlar (FCU, AHU, radyatör vb.) kullanılmaktadır. Bu cihazların buldukları konumlar genellikle birbirlerinden farklıdır. Bu sebeple sisteme pompa tarafından gönderilen akışkan her bir cihaza istenilen miktarda dağıtılmaz. Pompaya yakın olan ısıtıcı veya soğutucu cihazlara daha fazla akışkan gelirken pompadan uzak konumda olan cihazlara ise daha az akışkan gelmektedir. Bu durumda pompaya yakın konumda olan mahaller fazla ısınır ya da fazla soğurken pompadan uzak olan mahallerde ise yetersiz ısıtma ya da soğutma problemleri ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu duruma hidronik dengesizlik adı verilir. Hidronik dengesizlik yaşanan HVAC sistemlerinde aşırı enerji sarfiyatı görülür. Ayrıca pompaya yakın mahallerde bulunan ünitelerde ses problemleri ortaya çıkar. Hidronik dengesizliği giderebilmek için bazı tedbirler alınmalıdır. Pompa debisini arttırmakla sistemin her noktasına yeterli miktarda akışkan gönderebiliriz fakat bu durumda da pompanın yüksek basıncı, sistemde bulunan motorlu vanaların ya da radyatör üzerinde bulunan termostatik radyatör vanalarının kontrol kabiliyetini düşürecek ve aşırı enerji sarfiyatına neden olacaktır. Frekans

konvertörlü pompa kullanımı, akışkanın sistem içinde dağılımına herhangi bir etki etmez ve sisteme sadece ihtiyaç kadar debi gönderir. Diğer alınabilecek tedbirlerin başında ise balans vanaları kullanmak gelmektedir.

Balans vanaları sistemin bütün noktalarına optimum debi ve fark basınçta akışkanın ulaşmasını sağlar. Balanslama işlemi maliyeti yüksek bir işlemdir fakat hidronik dengenin sağlanabilmesi için gereklidir [28].

4.1.5 Balans Vanaları ve Enerji Verimliliği

Isıtma-soğutma sistemlerinin temel ekipmanları olan pompalar, borular, dirsekler, kontrol vanaları, AHU üniteleri, FCU üniteleri, kontrol vanaları ve balans vanaları çoğunlukla sistemin yüzde yüzlük ihtiyacına göre tasarlanmaktadır. Fakat günümüzde sürekli olarak tam kapasitede çalışan HVAC sistemleri çok azdır. Sürekli değişen mevsimsel koşullar ile son kullanıcının ısıtma veya soğutma talebi, HVAC sistemlerinin tam kapasitelerinin altında çalışmasına neden olmaktadır. Yapılan bazı analizlere göre HVAC sistemleri ortalama ömürlerinin sadece %10'unda tam kapasitede çalışırlar. Tam kullanım kapasiteleri göz önüne alınarak boyutlandırılan HVAC ekipmanlarının kısmi yüklerde çalışması genellikle söz konusu olmaktadır. Bu durumda enerji verimliliğinin sorgulanması ve gereken uygulamaların devreye alınması önemli bir konu olmaktadır. Kombine balans vanaları kısmi yükler altında çalışan HVAC sistemlerinde enerji verimliliği açısından anahtar çözüm haline gelmiştir.

Sabit debili sistemlerde hem kısmi hem de tam yüklerde aynı debi üretileceği için bu uygulamalarda manuel balans vanaları (bir diğer isimlendirmeyeyle statik tip) kullanılabilir. Bu vanalar bir kez ayarlanır ve bu ayarlanmalarından sonra çalışma ömürleri boyunca aynı pozisyonda dururlar. Böylece ayar yapılan vanalardan sadece belirlenen miktarda debi ya da daha azı geçebilir. Statik tip balans vanaları enerji verimliliği açısından çok fazla öneme sahip değildir. Çünkü bu tip vanalar pompa tarafından üretilen yüksek basıncı hiçbir şekilde sönmüleyemezler. Şekil 4.8'de statik tip balans vanasının resmi gösterilmiştir. Vananın üzerinde ayar değerleri yer almaktadır.

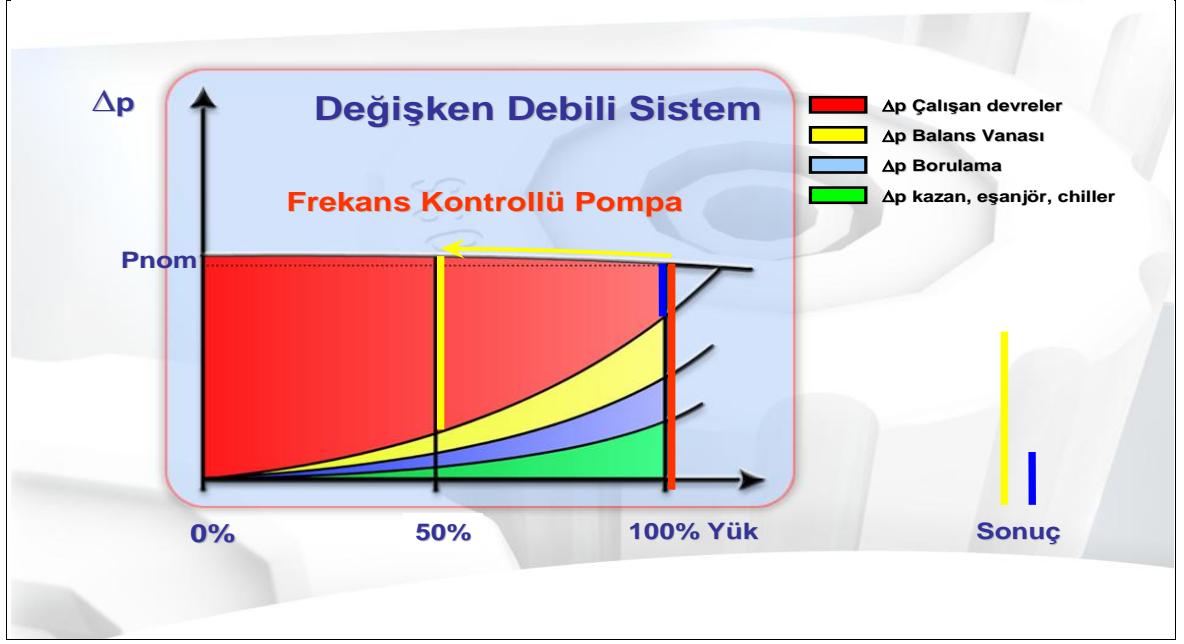


Şekil 4. 8 Statik tip balans vanası

Balanslama yapılmayan tesisatlarda çeşitli teknik problemler ortaya çıkar. Daha doğrusu bu tür tesisatlarda cihazlar (boru hattı, dirsek, FCU, AHU vb.) yüksek basınç altında çalışırlar. Tesisatta, yüksek basınçta akışkanın dolaşması sistem üzerinde bulunan cihazların kararlılığının bozulmasına yol açar. Bu durum aşırı enerji tükemine neden olur.

Aşağıdaki pompa grafiğinden de görüleceği gibi değişken debili sistemlerde pompa frekans konvertörlü de olsa kısmi yük durumunda tesisat ekipmanlarında ve çalışan devreler üzerindeki fark basınç (DP) artacaktır. Pompanın frekans konvertörlü olmaması halinde ise kısmi yük durumunda sistem ekipmanları üzerinde oluşacak fark basınç çok daha yüksek olacaktır. Bunun sonucu olarak da çalışan devreler aşırı debi ile çalışacaktır. Tam kapasite çalışma durumunda belli bir fark basınçta çalışması tasarlanan devreler kısmi yük durumunda çok daha yüksek bir DP'de çalışıyor olacaklardır.

Şekil 4.9'da başlangıçta tam kapasitede (%100 yükte) çalışan frekans konvertörlü ve sabit DP'li bir pompanın sonradan %50 kapasitede çalışma senaryosu analiz edilmiştir. Sonuç olarak %50 kapasitede çalışan pompanın sistem üzerinde oluşturduğu yüksek fark basınç ortaya çıkmaktadır. Dikey mavi çizgi ilk durumda sistem üzerinde oluşan DP'yi, sarı çizgi ise son durumdaki DP'yi göstermektedir.



Şekil 4. 9 Değişken debili sistem elemanlarının eğrileri

Kısmi yüklerde ortaya çıkan yüksek DP'ler birçok noktada mühendislik problemi oluşturmaktadır. Ayrıca bu durum enerji verimliliği açısından irdelendiğinde ortaya gereksiz ve yüksek pompalama maliyetleri çıkmaktadır. Bunun haricinde aşağıda belirtilen problemlerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir:

- Sistemde tasarlanan DT'ye ulaşılama problemi,
- Kazan ve soğutma grubunun veriminde düşme,
- Boru hattındaki ısı kayıpların artması,
- Kontrol vanalarının otoritesinin azalması,
- Sistemde sıcaklık dalgalanması ve konfor problemleri yaşanması,
- Bakım maliyetlerinin artması,

HVAC sistemlerinde DP'yi sabit tutmanın tek yolu balans vanası kullanmaktır. Balans vanası kullanıldığı takdirde DP'nin artmasından dolayı ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçların önüne geçilir.

Balans vanalarının HVAC sistemleri içerisindeki yatırım maliyeti payı yaklaşık %1 kadardır. Ayrıca balans vanaları sistemin bir bütün içerisinde verimli çalışmasını sağlar.

Balans vanaları fabrikalarda, evlerde, villarlarda, alışveriş merkezlerinde ve enerji santrallerinde başarıyla kullanılmaktadır.

4.1.5.1 Kombine Tip Balans Vanalarında Enerji Verimliliği

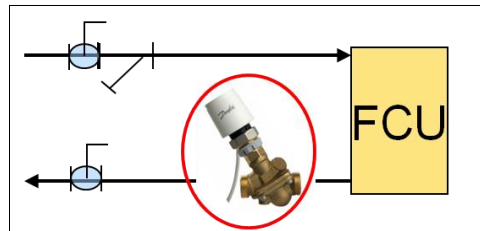
Kombine tip balans vanaları HVAC sistemlerinin en önemli cihazlarından biridir. Bu tür vanalar genellikle FCU, AHU gibi terminal ünitelerin önlerine konulur. Böylece sistemde kolon, kat branşmanı gibi diğer noktalara balans vanası koyma ihtiyacı kalmaz ve balanslanmış bir sistem elde edilir. Kombine balans vanaları önüne konulan cihazın debisine göre seçilir ve montaj sonrasında reglaj yapılarak vanadan sadece ihtiyaç kadar debi geçmesi sağlanmış olur.

Örneğin DN 20 çapında ve 1000 (l/h) debi geçirebilen bir kombine vananın 750 (l/h) debi geçen bir hatta takılması durumunda vananın ön ayarı;

$\frac{750}{1000} = \%75$ olmaktadır. Bu durumda vana üzerinde bulunan ayar skalası 75 sayısına getirilir.

Ön ayar özelliği sayesinde kombine tip balans vanaları debiyi limiteleme özelliğine sahip olurlar. Kombine tip balans vanalarının diğer bir özelliği ise cihazın gidiş ve dönüş hatları arasındaki DP'yi sabit tutmalarıdır. Yapılan deneylerle DP'si sabit tutulan terminal ünitelerde sıcaklık dalgalanmalarının çok aza indiği ve mahallerde konfor seviyesinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.10'da bir FCU önüne konulan kombine tip balans vanası gösterilmektedir. Bu vanalar genellikle genellikle dönüş hattına konulurlar. Bunun sebebi ise dönüş hattında akışkan basıncı gidiş hattına göre daha azdır. Vanalar düşük akışkan basıncında daha verimli bir şekilde çalışırlar.

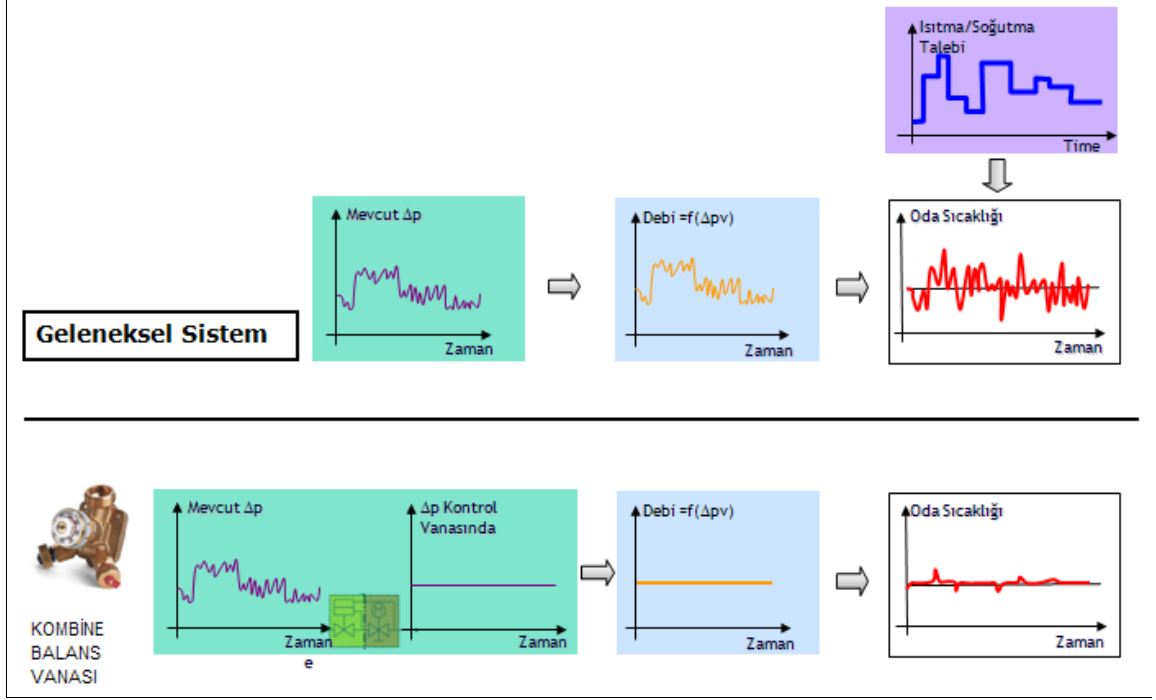


Şekil 4. 10 FCU dönüş hattında kombine vana

Kombine tip balans vanalarının üzerine motor takılabilmektedir. Bu motor kablolu veya kablosuz olarak oda termostatına bağlanır. Mahal sıcaklığı optimum değerin altına indiğinde termostat motora sinyal gönderir. Böylece motor dönme hareketi yaparak vana milinin debi geçişine izin vermesini sağlar. Oda sıcaklığı istenilen seviyeye gelene kadar cihaza (AHU, FCU, vb.) debi akışı devam eder. Optimum oda sıcaklığı elde edildikten sonra ise oda termostatu vana motoruna tekrar sinyal gönderir. Sıcaklığın daha fazla artmasını önlemek için vana motoru cihaza olan debi akışını keser.

Şekil 4.11’de kombine balans vanası bulunan sistem ile geleneksel sistem zamana göre fark basınç, oda sıcaklığı ve debi yönünden karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe göre kombine balans vanası bulunan sistemde cihaza giren akışkanın debisi ve fark basıncı sabit tutulmaktadır. Böylece sistem, debi ve fark basınç dalgalanmalarından korunmuştur. Daha doğrusu kombine balans vanası bulunan sistemde oda sıcaklığı, basınç dalgalanmalarından etkilenmez. Böylece kazan ve pompa gibi enerji tüketen cihazların daha istikrarlı bir şekilde çalışması sağlanmış olur. Tam ve basınçtan bağımsız debi limitleme ile aşırı debi söz konusu olmadığından enerji tasarrufu gerçekleşir ve pompalama maliyeti minimum olur. Kombine balans vanası bulunan sistemlerde pompaların ayar değerleri kolay bir şekilde tespit edilir. Kombine balans vanası bulunan sistemin aynı zamanda frekans konvertörlü bir pompadan beslendiği unutulmamalıdır. Geleneksel HVAC sistemlerinde frekans konvertörlü pompa ve balans vanası bulunmamaktadır, bunun yerine kademeli pompa yani sabit debili pompa kullanılmaktadır.

Özetle frekans konvertörlü pompa ve kombine balans vanasının enerji verimliliği açısından önemi büyüktür. Kombine balans vanası sistemin en son noktasında bulunan ısıtıcı-soğutucu cihazların önünde yer alırken frekans konvertörü ise hidrolik enerjinin ilk elde edildiği yer olan pompa grubunda bulunur. Sonuç olarak bu iki önemli cihazın birlikte kullanımı bütün tesisatın sorunsuz işlemlerini ve daha az enerji tüketilmesini sağlar.



Şekil 4. 11 Kombine balans vanası bulunan sistemin geleneksel sistemle DP, oda sıcaklığı ve zaman yönünden karşılaştırılması

4.2 Pompalarda Enerji Verimliliği

Dünya nüfusunun artışı ve teknolojinin insan hayatına daha çok girmesiyle birlikte enerji kullanımının arttığı bilinen bir gerçektir. Artan enerji kullanımı beraberinde insanlığı yeni enerji kaynakları aramaya yönlendirmekle birlikte kullanılan mevcut enerjiyi de verimli kullanmayı zorunlu hale getirmektedir. Ayrıca artan enerji maliyetleri de enerji verimliliğinin önemini arttıran bir diğer nedendir. Bu sebeple Dünya üzerinde enerji verimliliği uygulamaları enerji tüketimini azaltmak için anahtar çözüm olarak görülmektedir.

Enerji verimliliği uygulamaları öncelikle en çok enerji tüketen cihazlar ya da sistemler üzerinde yapılmaktadır. Pompalar bunun en güzel örneğidir. Çünkü kullanım alanları çok geniştir. Binalarda, gemilerde, tarımda, endüstride ve gemilerde sıklıkla pompalar kullanılmaktadır. Pompaların kullanım amaçları uygulamaya göre değişmekle birlikte çalışma prensipleri bir birlerine benzerdir. Teorik olarak bütün pompalar dış bir kaynaktan aldıkları mekanik enerjiyi sistem sıvısına aktararak sıvının hidrolik enerji kazanmasını sağlarlar. Uygulama alanlarına göre ise pompalar başlıca ısıtma-soğutma

sistemlerinde, bölgesel temiz su ve atık su tesisatlarında, tarımsal sulamada, kimyasal proseslerde, petrol ile doğalgazın çıkarılmasında ve daha daha birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır.

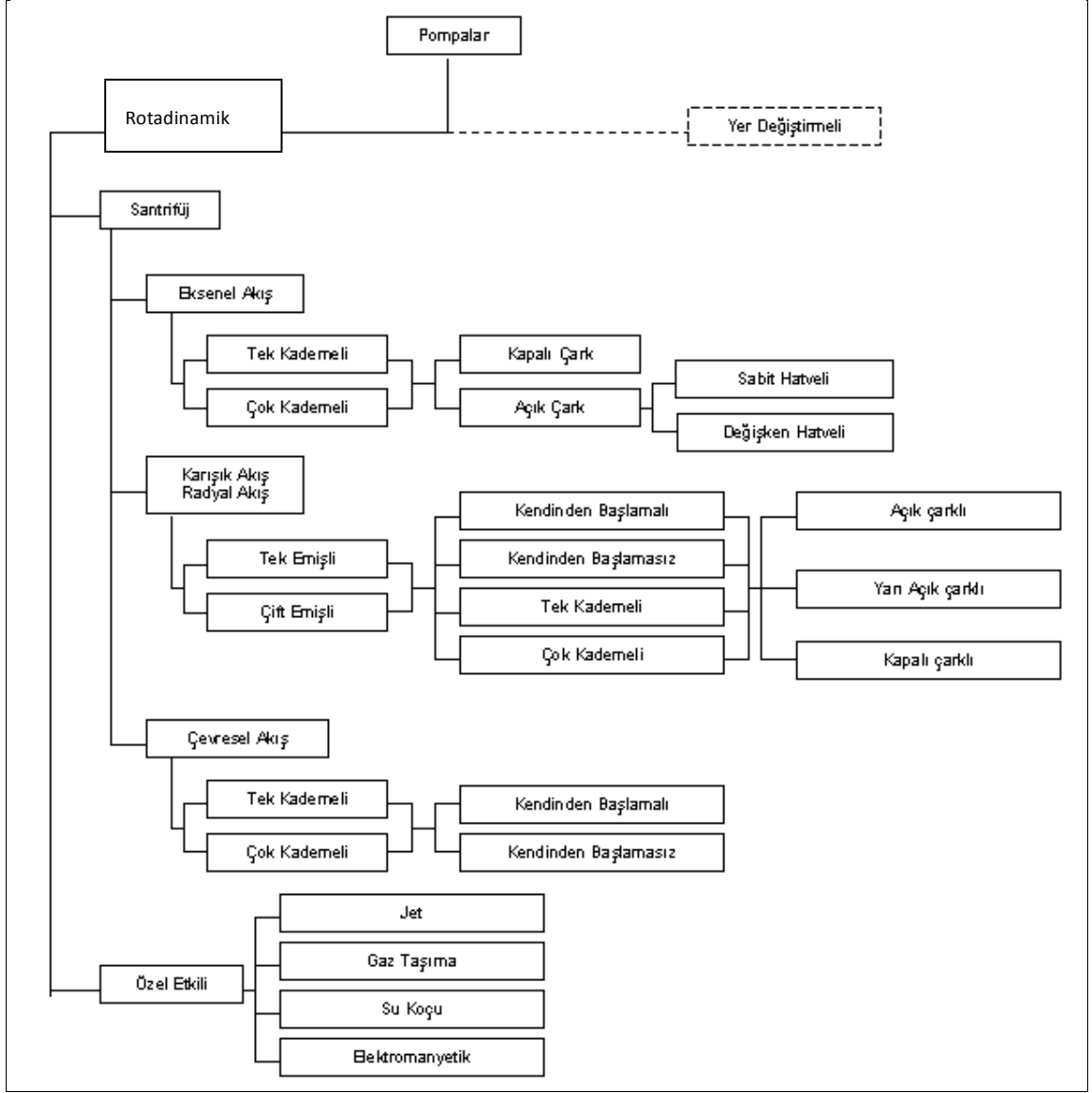
Yapılan bazı araştırmalara göre pompalar gelişmiş ülkelerdeki enerji tüketiminin %20'sinden sorumludur. Pompalarda kullanılan enerjinin iyi bir sistem tasarımı ve uygun pompaların seçilmesiyle %30 kadar azalacağı varsayılmaktadır. Bu durum daha verimli pompaların üretilmesi ve işletilmesi için araştırmaların yapılmasına sebep olmuştur [29]. Endüstriyel tesislerde kullanılan pompaların da enerji tüketiminde büyük payı olduğu bilinmektedir. Pompalar ve pompalama sistemleri Dünya genelinde üretilen elektrik enerjisinin %10'unu tüketmektedirler [30]. Elektrik enerjisi sarfiyatında pompaların yüksek payı olduğu bilinen bir gerçektir. Bu sebeple pompaların daha az enerji tüketmesi amacıyla enerji verimliliği uygulamaları geliştirilmektedir. Pompalarda enerji verimliliği sağlamanın en etkili yolu frekans konvertörü kullanımınıdır. Yapılan bazı çalışmalara göre frekans konvertörü kullanılan pompaların harcadıkları enerji miktarında %50 civarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.1 Pompaların Sınıflandırılması

Pompalar kullandıkları uygulamalara, imal edildikleri malzemeye ve enerji aktardıkları akışkanın türüne göre kategorilere ayrılabilirler. Ayrıca pompanın akışkana hangi yolla kinetik enerji transferi yaptıkları ve pompaların bu enerji transferini hangi sıklıkla ve hangi geometrik şekli kullanarak yaptığını anlamak pompaların sınıflandırılmasında yol gösterici öğe olmaktadır. Aşağıdaki şemada pompa çeşitleri ve alt grupları yer almaktadır [31].

Pompalarının sınıflandırılması pompanın çalışma biçimini nitelemekten ziyade hangi tür pompanın hangi alanlarda (petrokimya, atık su, ısıtma vb.) kullanılmasının uygunluğunu da anlamaya yardımcı olur.

Örneğin bir ısıtma tesisatında kazandan ısı enerjisi alan suyun mahallerdeki radyatörlere ulaştırılması için santrifüj pompa tercih edilirken endüstride yüksek viskoziteye sahip sıvıların yüksek basınçta taşınmasında dişli pompalar tercih edilir.



Şekil 4.12 Pompaların sınıflandırılması [31]

4.2.2 Rotadynamik Pompalar

Bu tür pompalarda akışkan çarkın oluşturduğu santrifüj kuvvetin etkisiyle pompa emişinden alınarak pompa çıkışına itelenir ve bu sırada akışkana kinetik enerji aktarılır. Rotadynamik pompalara en iyi örnek santrifüj pompalardır. Bu tür pompalarda sıvı akışında herhangi bir kesinti söz konusu değildir. Büyük hacimlerdeki sıvıların transferi için ideal pompalardır.

4.2.2.1 Santrifüj Pompalar

Rotadinamik pompalar sınıfında en çok kullanılan pompa türüdür. Bu tür pompaların çalışma prensibi dış ortamda bir güç kaynağına (genellikle elektrik motorları) bağlı olan çark milinin dönmesiyle birlikte çarkın dönme esnasında merkez kaç kuvveti oluşturması temeline dayanır. Böylece akışkan merkez kaç kuvvetinin etkisiyle pompa çıkışına hareket ettirilir. Bu sayede gövde içerisinde akışkana hidrolik enerji aktarımı olur.

Santrifüj pompanın en temel elemanları gövde ve çarktır. Çarkın üzerinde çoklu sayıda kanat yer alır. Kanatların yapısı akışkanı pompa gövdesinden dışarıya göndermek için eğimli olarak tasarlanmıştır. Çarkın temel görevi akışkana hız ve basınç kazandırmaktır. Basma yüksekliği, çarkın dönme hızıyla, çark çapıyla, çarkın kanat sayısı ile ilişkilidir. Ayrıca çarkın çıkış genişliği pompa kapasitesiyle alakalıdır. Çark çapı büyüdükçe ve devir sayısı arttıkça dolaşım sıvısına verilen hidrolik enerji artar.

Pompa gövdesi (salyangoz) ise sisteme verilecek akışkanı içerisinde tutar ve çarktan çıkan akışkanın toplanmasını sağlar. Ayrıca akışkanı pompa çıkışına yönlendirir.

Difüzör ise çarktan çıkan akışkanın enerjisini belirli bir oranda basınç enerjisine dönüştürür. Böylece akışkanın basıncı bir miktar artar.

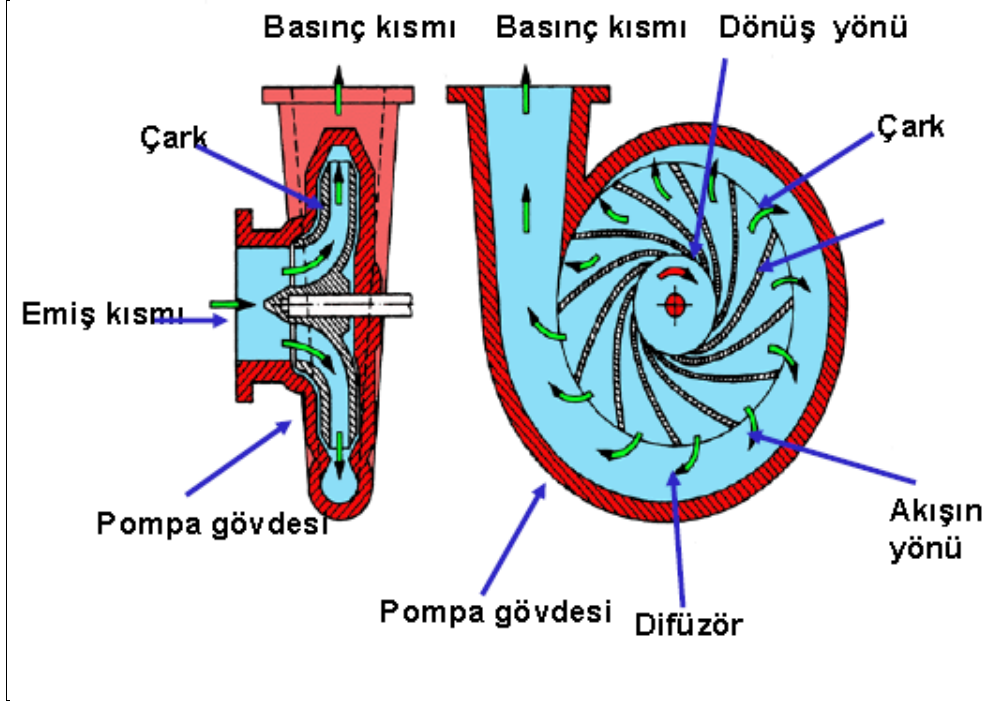
Çark genellikle dökme demir, paslanmaz çelik ve bronz gibi malzemelerden imal edilir. Gövde ise genellikle dökme demirden imal edilmektedir.

Santrifüj pompalar yapılarda ve endüstriyel tesislerde yaygın olarak bulunurlar ve akışkanı bir yerden başka bir yere göndermek için kullanılırlar. Bu pompalar farklı uygulamalar için uyumlu olana kadar uzun bir süre yapısal değişikliğe uğramışlardır. Santrifüj pompaların fiziksel prensibi yüzyıllar öncesinde Euler tarafından tanımlanmıştır, sonrasında turbo makineler için Euler Denklemi adıyla bilinmiştir [32].

Birçok santrifüj pompa uygulaması pompanın çıkış parametresi, verimi ve basma yüksekliği göz önüne alınarak analiz yapılmadan yerine getirilemez.

Santrifüj bir pompada çarkın dönme hareketi sonucunda akışkan bulunduğu noktadan uzağa hareket ettirilir.

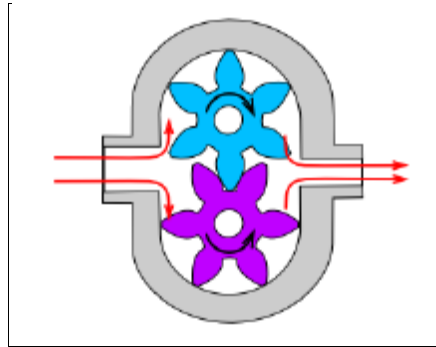
Aşağıdaki şekilde bir santrifüj pompanın iki farklı görünüşü verilmiştir.



şekil 4. 13 Santrifüj pompa

4.2.3 Hacimsel Pompalar

Bu tür pompaların başlıca özelliği pompa içerisinde sıvı akışının sürekli olmamasıdır. Pompa içerisinde akışkanın sıkıştırılarak debi ve basma yüksekliği elde edilmesi ilkesiyle çalışırlar. Hacimsel pompalarda çok yüksek basiñlar elde edilebilir. Bu nedenle yüksek basiñ gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Ayrıca emiř kabiliyetleri çok iyidir ve rotadinamik pompalara göre düşük devirde çalışırlar. Dişli pompa ve pistonlu pompa gibi sınıflara ayrılırlar. Aşağıdaki şekil dişli pompanın çalışma prensibi hakkında fikir vermektedir.



şekil 4. 14 Dişli pompa

4.2.4 Pompalarda Temel Kavramlar

Pompaların enerji verimliliği analizinde pompaların doğru seçilmesi ilk koşul olarak karşımıza çıkmaktadır. Gereğinden büyük seçilen pomplar her zaman daha fazla elektrik enerjisi tüketecektir. Bunun için öncelikle pompalarla ilgili terminolojiye hakim olmak gerekir.

4.2.4.1 Viskozite

Akışkanın akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozite basınçtan bağımsızdır. Pompa seçiminde sıvıların viskoziteleri pompanın verimli çalışması açısından önemlidir. Çünkü santrifüj pompalar sadece belli bir viskozite değerine kadar kullanıma uygundur. Sıvıların viskoziteleri arttıkça pompanın güç gereksinimi artar. Ayrıca sıcaklık yükseldikçe sıvılarda viskozite azalır. Her sıvının viskozitesi farklıdır.

4.2.4.2 Basma Yüksekliği

Basma yüksekliği pompanın akışkana verdiği faydalı mekanik enerji olarak düşünülebilir. Pompa seçiminde göz önünde ilk bulundurulması gereken kriterlerden biridir. Genellikle mSS'la gösterilir. Basma yüksekliği ve basınç arasındaki ilişki denklem (4.3)'te açıklanmaktadır.

$$P = \rho g H \text{ [Pa]} \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'te P (Pa) basınç, ρ (kg/m^3) sıvı yoğunluğu, g (m/s^2) yer çekim ivmesi ve H (m) basma yüksekliği olarak tanımlanır.

4.2.4.3 Debi

Pompadan birim zamanda çıkan sıvı miktarıdır. Birimi (m^3/h) ve sembolü Q'dür.

$$Q_2 n_1 = Q_1 n_2 \quad (4.4)$$

Denklem (4.4)'te devir sayısı (n) ile debi (Q) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu denkleme göre pompa milinin devir sayısındaki artış, pompanın daha büyük debiler üretmesine neden olur.

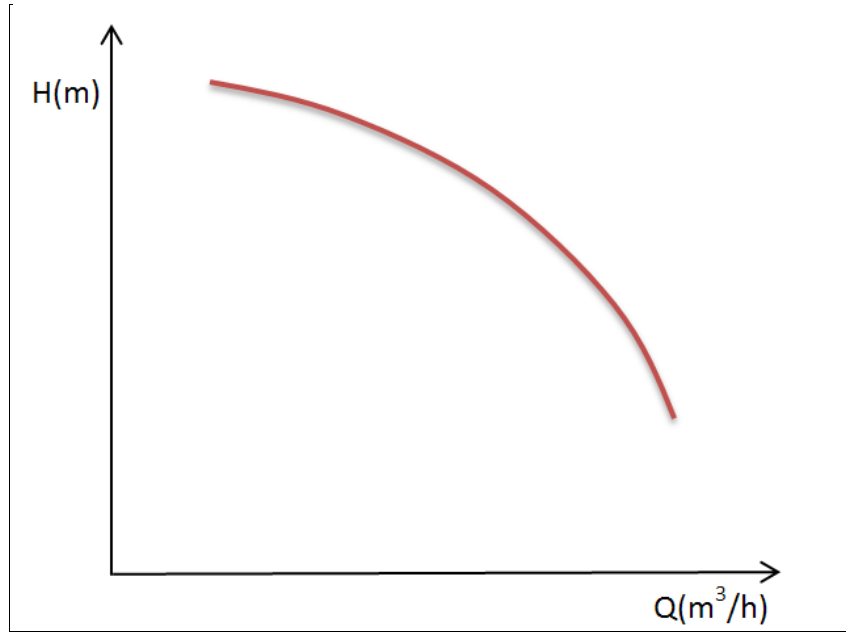
4.2.4.4 Hidrolik Güç

Denklem (4.5)'te ρ (kg/m^3) sıvı yoğunluğu, g (m/s^2) yer çekim ivmesi, H (m) basma yüksekliği ve Q (m^3/s) debi olarak ifade edilir. P_{hid} ise pompanın hidrolik gücü olarak adlandırılır.

$$P_{\text{hid}} = \rho g H Q \text{ [W]} \quad (4.5)$$

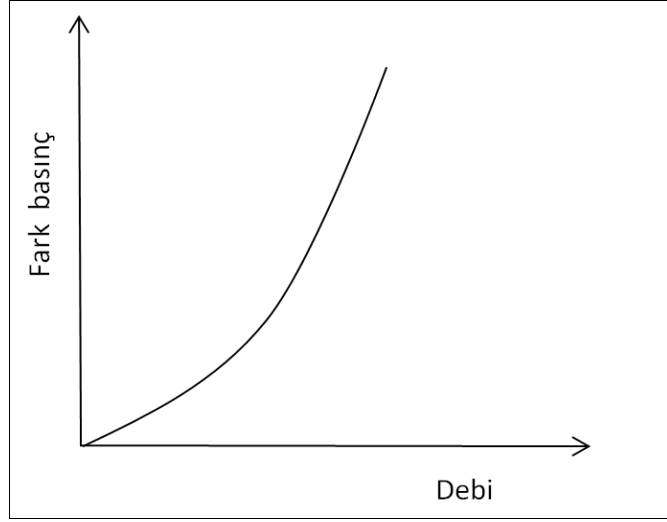
4.2.4.5 Pompa Eğrileri

Pompaların verimli çalışmalarının ilk şartı ihtiyaca ve sisteme uygun seçilmeleridir. Pompa karakteristik eğrileri bir pompanın sabit devirde çalışması halinde basma yüksekliği, pompa verimi ve pompa mil gücü gibi parametrelerin debiye göre değişimlerini gösterirler. Her pompanın kendine özel karakteristik eğrileri vardır. Bu eğriler pompa seçiminde kullanılmaktadır. Şekil 4.15'de bir pompanın karakteristik eğri örneği yer almaktadır.



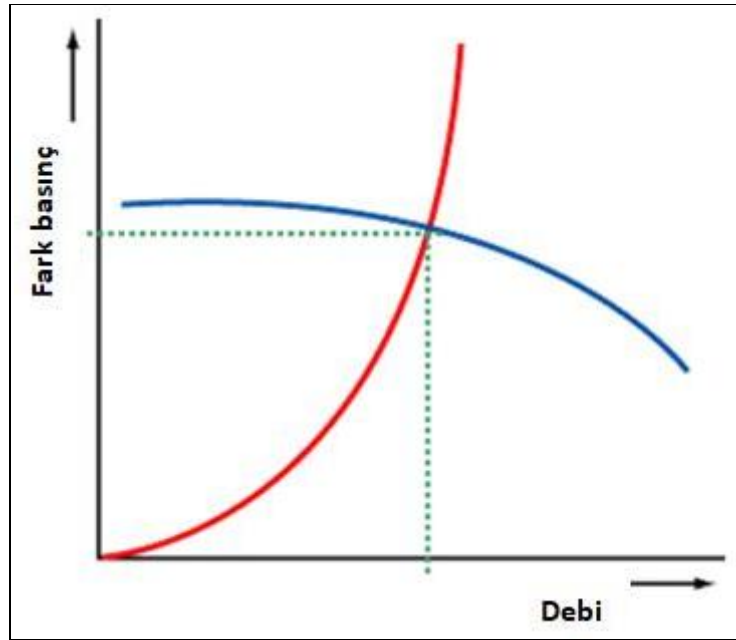
Şekil 4. 15 Bir pompada H-Q eğrisi

HVAC sistemlerinde genellikle borular, dirsekler, vanalar ve terminal üniteler (FCU, AHU vb.) gibi bileşenler de bulunur. Bu bileşenler, sistem üzerinde bir miktar direnç oluştururlar. Şekil 4.16'da sistem üzerinde direnç meydana getiren elemanların eğrisi verilmiştir. Tesisat direnci artan debi ve hızın karesi ile değişmektedir.



Şekil 4. 16 Sistem elemanları eğrisi

Şekil 4.17'de pompa eğrisi ile sistem elemanları eğrisinin kesiştikleri nokta görülmektedir. Bu nokta sistemin çalışma noktasıdır ve bu noktada pompa tam açık halde yani %100 kapasiteyle çalışır.



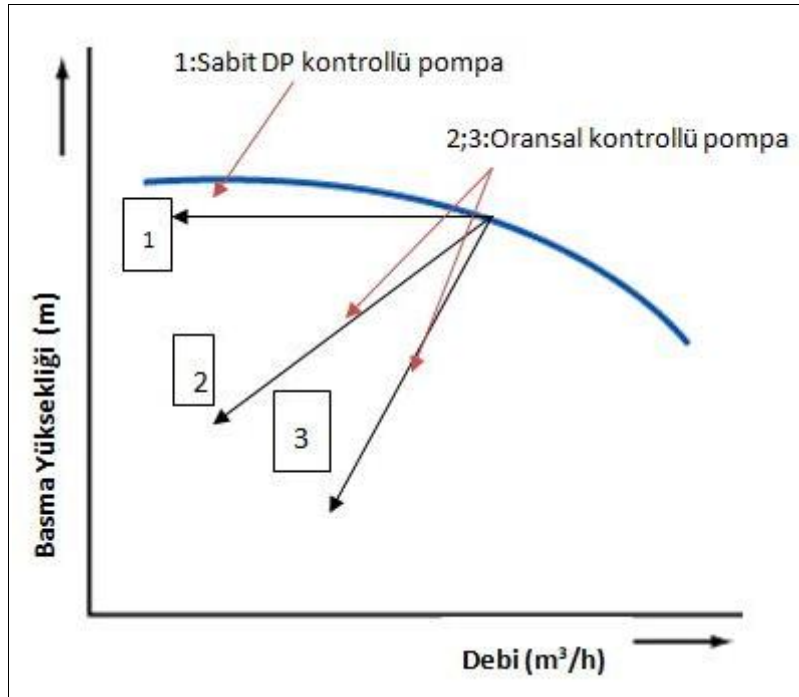
Şekil 4. 17 Pompanın tam kapasitede çalışma noktası

Yapılan araştırmalara göre santrifüj pompalar ömürleri boyunca çalıştıkları toplam sürelerin sadece küçük bir kısmında tam kapasitede çalışırlar. Isıtma-soğutma sistemlerinde bu durumun başlıca nedeni mevsimsel değişikliklere bağlı olarak son

kullanıcı talebinin artması ya da azalmasıdır. Örneğin binalarda ısıtma amaçlı enerji kullanımı Ocak ayında maksimum değerine ulaşırken soğutma amaçlı enerji kullanımının ise Temmuz ayında en yüksek değerine ulaştığı görülmektedir.

Şekil 4.18’de frekans konvertörlü bir pompaya ait farklı eğriler yer almaktadır. Buna göre 1 rakamıyla ifade edilen yatay çizgi sabit DP’de çalışan bir pompayı göstermektedir. Frekans konvertörlü pompaların büyük çoğunluğu sabit basınçta çalışmaktadır. Bu durumda pompa, ısıtma-soğutma sisteminin artan ya da azalan enerji talebi karşısında debiyi ayarlamaktayken pompanın ürettiği fark basınç sabit kalır.

2 ve 3 rakamıyla gösterilen pompalar ise sistemin değişen enerji talebi karşısında hem debiyi hem de akışkan basıncını değiştirebilmektedir. Bu tür kontrol yöntemine oransal kontrol adı verilir. Oransal kontrollü pompalar tam kapasitede ürettikleri debinin %25’ine kadar inebilirler, bu değerın aşağısına inemezler. Çünkü düşük devirlerde çalışan elektrik motorları aşırı ısınır. Bu durumda motorun yanma riski ortaya çıkar. Enerji verimliliği açısından en uygun kontrol yöntemi oransal kontroldür. Bu yüzden yakın gelecek zamanda oransal kontrollü pompa uygulamalarının yaygınlaşması tahmin edilmektedir.



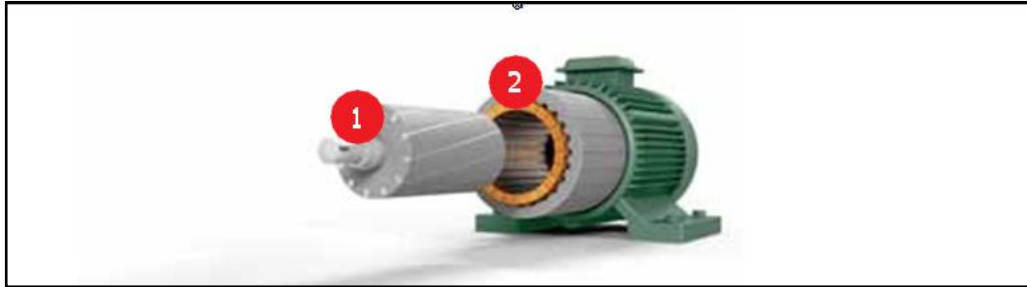
Şekil 4. 18 Frekans konvertörlü pompanın kontrol eğrileri [30]

4.2.5 Pompalarda Kullanılan Elektrik Motorlarında Verim

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektromekanik cihazlardır. Bunun tersi proses olan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme fonksiyonu ise jeneratörler tarafından gerçekleştirilir. Elektrik motorunun çalışma ilkesi manyetik alanda bulunan ve üzerinden akım geçen iletkenlerin tork üretmesine ve böylece mekanik enerji elde edilmesine bağlıdır.

Elektrik motorlarının kullanım alanları çok geniştir. Çamaşır makinesi ve saç kurutma makinesi gibi elektrikli ev aletlerinde, kompresörlerde, fanlarda, pompalarda, vinçlerde, kompresörlerde, torna tezgahlarında, preslerde ve daha bir çok yerde kullanılmaktadır.

Elektrik motoru rotor ve stator olmak üzere iki temel parçadan oluşur. Stator sabit bir parçadır ve tel sargısını içinde tutar. Ayrıca manyetik alan statorda oluşur. Rotor ise hareketlidir ve motor milinin üzerine oturtulur. Şekil 4.19'da elektrik motorunun statoru "2" rotoru ise "1" rakamıyla gösterilmektedir.



Şekil 4. 19 Elektrik motorunun stator ve rotor örneği

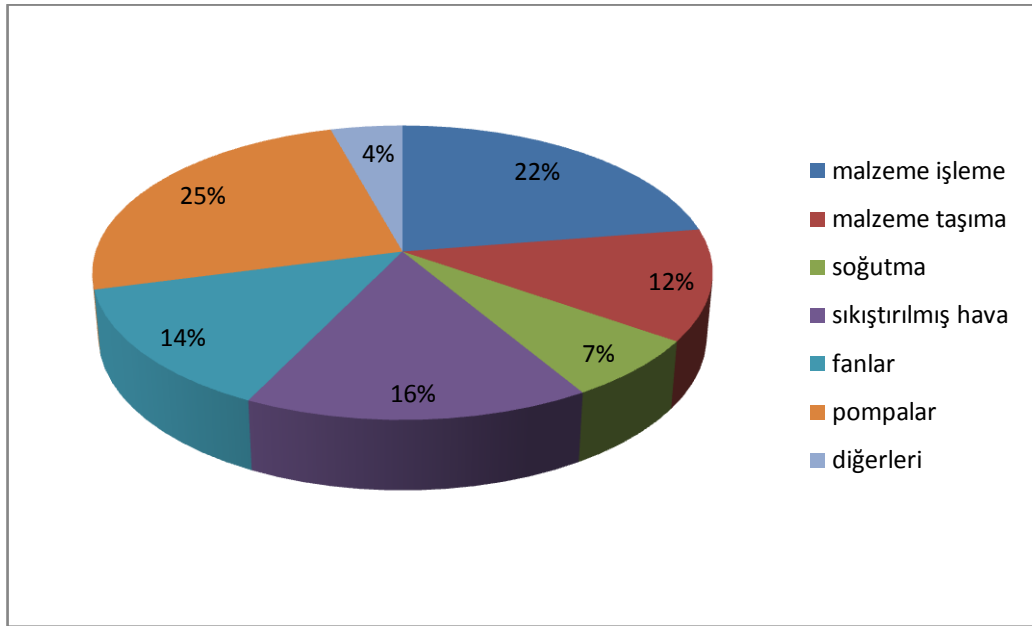
Aşağıdaki formülde elektrik motorları için güç, tork ve devir sayısı arasındaki ilişkiyi veren formül yer almaktadır. Bu formülde P (kW) gücü, T (Nm) ve n (d/d) ise devir sayısını göstermektedir.

$$P = \frac{Tn}{9550} \quad (4.6)$$

Elektrik motorları hem kullanım alanlarının genişliği hem de tükettikleri elektrik enerjisinin toplam büyüklüğü nedeniyle enerji verimliliği açısından büyük bir öneme sahip olmaktadır. Bu sebeple elektrik motorlarının verimini arttırmak için birçok

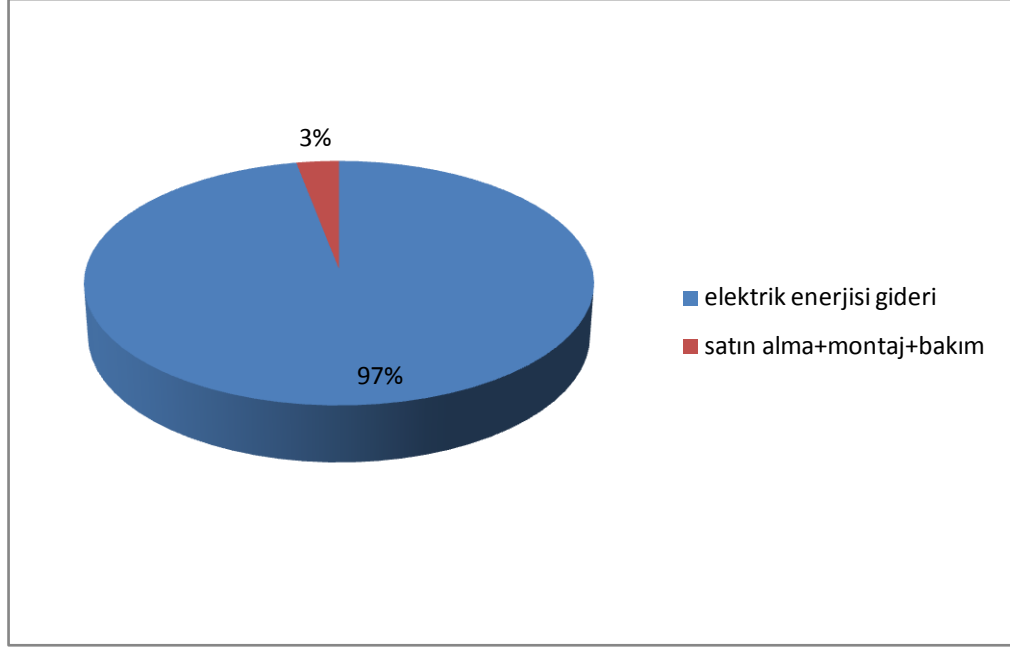
araştırma ve deney yapılmıştır. Ayrıca elektrik motorlarında kayıplara neden olan etkenler detaylı olarak incelenmiştir.

Yapılan araştırmalara göre elektrik motorları Dünya'nın toplam elektrik enejsi tüketiminin yaklaşık %40'dan sorumludur. Sanayileşmiş ülkelerde ise toplam elektrik enerjisinin %70'ten fazlası elektrik motorları tarafından harcanmaktadır [33]. Endüstriyel motorların kullanıldığı alanlara göre dağılımı Şekil 4.20'de verilmiştir. Buna göre elektrik motorları %22.5'ünü malzeme işlemede, %12.2'si malzeme taşımada, %6.7'si soğutmada, %15.8'i sıkıştırılmış havada, %13.7'si fanlarda, %24.8'i pompalarda ve %4.3'ü diğer sektörlerde kullanılmaktadır [34].



Şekil 4. 20 Endüstriyel motorların enerji kullanım dağılımı [34]

Bir elektrik motorunun çalıştığı toplam süredeki giderlerin %97'sini elektrik enerjisi masrafı, %3'ünü ise satın alma, montaj ve bakım giderleri oluşturur [35]. Şekil 4.21 bu durumu açıklamaktadır.



Şekil 4. 21 Elektrik motorunun toplam giderleri [35]

Elektrik motorlarının verimlilik durumu eskiden EFF1, EFF2, EFF3 gibi sınıflara ayrılırdı. Burada, EFF1 yüksek verimli motoru, EFF2 iyileştirilmiş verimli motoru, EFF3 ise düşük verimli motoru ifade ediyordu. Bu yeni standartlar 0.75 kW-375 kW güç aralığında olan 3 fazlı motorlara IE1, IE2 ve IE3 verim sınıflarını tanımlar. Yeni uluslararası standartlara göre IE1 standart verimi, IE2 yüksek verimi, IE3 çok yüksek verimi ve IE4 süper çok yüksek verimi ifade eder. Standart motorların verimleri %83-%92 arasındadır [33].

Motor verimini yükseltmenin tek yolu motor kayıplarını azaltmaktır. Motor kayıplarını azaltmak sadece enerji tasarrufu sağlamaz aynı zamanda tesisin iklimlendirme sistemindeki soğutma yükünü de düşürür çünkü motor kayıpları ısı enerjisi açığa çıkarır.

Bir elektrik motorunda oluşan kayıplar bakır kaybı, sargı kayıpları, sürtünme kaybı, rüzgar kaybı ve girdap kayıpları olarak sınıflandırılabilir. Genellikle IE2 ve IE3 verimlilik sınıfına sahip motorlar parçalı ve düşük işletme hızlarında daha yüksek performans özellikleri gösterirler [36].

Denklem (4.6)'da η_{em} elektrik motorlarındaki verimi ifade etmektedir. Bir elektrik motorunda çıkış gücünün giriş gücüne oranı verim olarak tanımlanmaktadır.

$$\eta_{em} = \frac{P_{em2}}{P_{em1}} \quad (4.7)$$

Pompa sistemlerinde enerji verimi elektrik motorlarının veriminden kısmen etkilenir. Seçilen elektrik motoru türü pompa sistemi için güvenilir olmalıdır. Verimli bir sistem tasarlamak için uygun güçteki elektrik motoru seçimi çok önemlidir. Tasarım hesaplarından daha büyük güçte seçilen motorlar en çok karşılaşılan yanlış uygulamalardır ve düzeltilmesi zordur. Çünkü tolerans değerleri fazla tutularak büyük güçte seçilen motorlar düşük yüklerde verimsiz çalışırlar. Elektrik motorları tam kapasitelerinin %75'i ve üzeri yüklerde verimli çalışırlar. Diğer taraftan elektrik motorlarının düşük yükler altında çalışma hem gereksiz enerji tüketimine hem motorunun yanma tehlikesi geçirmesine neden olur. Elektrik motorlarının sürekli olarak verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için motorların çektiği akım değerleri daima ölçülmeli ve periyodik bakım çalışmaları zamanında yapılmalıdır. Böylece hem elektrik motorunun ömrü uzar hem de motor verimli bir şekilde çalışarak işletmenin enerji politikasını destekler.

4.2.6 Pompalarda Kullanılan Frekans Konvertörlerinde Verim

Santrifüj pompaların birçoğu değişken yük altında çalışmaktadır. Bu durum enerji verimliliği açısından incelendiğinde elektrik motorunun hızını (devir sayısını) pompanın yük durumuna göre ayarlamanın büyük bir enerji tasarrufu getirdiği ortaya çıkmıştır. Elektrikli sürücü teknolojisi dünya çapında enerji sarfiyatını azaltmak için büyük bir öneme sahiptir. Frekans konvertörleri, daha verimli motor teknolojilerinin geliştirilmesini ve mevcut olanların iyileştirilmesini mümkün hale getirir.



Şekil 4. 22 VSD yöntemiyle kontrol edilen bir pompa grubu

Frekans konvertörlerinin ortaya çıkması ayarlanabilir hız kontrolünü beraberinde getirmiştir. Bir pompanın hızını kontrol etmek, hem proses optimizasyonu sağlamasına yardımcı olur hem de motorun optimum hız ve tork üretmesini sağlar. Daha doğrusu frekans konvertörleri pompanın yüke bağlı olarak çalışmasını sağlar. Bir diğer ifadeyle frekans konvertörleri pompanın yük miktarına göre elektrik motorunun güç üretmesini sağlar. Örneğin pompanın yüksek debi ürettiği bir zaman diliminde elektrik motorunun devir sayısı da yüksek olmaktadır. Böylece elektrik motoru pompa yüküne karşılık gelecek kadar elektrik harcayacağından büyük bir miktar enerji tasarrufu elde edilir.

Frekans konvertörlerinin bir diğer görevi ise elektrik motorunun aşırı yüklenmesi durumunda pompa sisteminin hasar görmesini önlemek için hızı sabitlemesidir. Bunun haricinde FC kullanılan sistemlerde pompa mili gibi mekanik parçaların üzerinde oluşan gerilmelerin azaldığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca sistemin daha gürültü seviyesinin düştüğü de gözlemlenmiştir.

Değişken hızlı sürücü (VSD) kullanılarak kontrol edilen bir pompa sisteminde kısma vanası, on-off kontrol vanası ve by pass vanası gibi pompa kontrol yöntemlerine gerek kalmaz. Bu sebeple değişken hızlı sürücülerin geleneksel pompa kontrol yöntemlerinin yerini aldığı söylenebilir.

Frekans konvertörleri pompa, fan ve kompresör gibi mekanik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

FC kullanılan bir pompada devir sayısının değişimiyle ilgili formül (4.8)'de verilmiştir. Bu formüle göre f frekansı, η_0 devir sayısını, P_n ise kutup sayısını gösterir. Frekansın birimi Hertz, devir sayısının birimi ise (d/d)'dir.

$$\eta_0 = \frac{120f}{P_n} \quad (4.8)$$

Örneğin 2 kutuplu motorlar için;

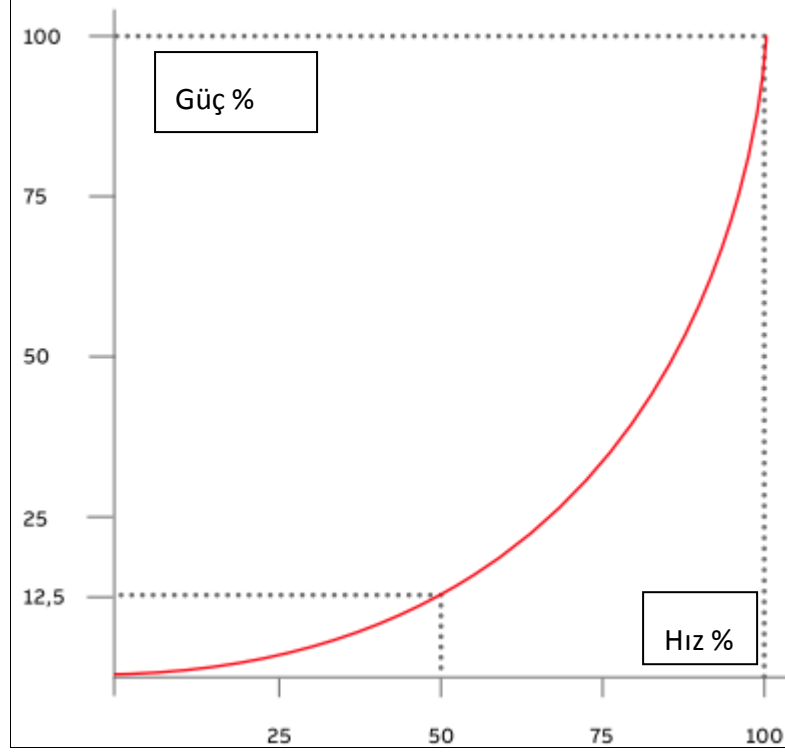
$$\frac{60\text{Hertz} * 120}{2} = 3600 \text{ d/d}$$

$$\frac{50\text{Hertz} * 120}{2} = 3000 \frac{d}{d}$$

$$\frac{40\text{Hertz} * 120}{2} = 2400 \text{ d/d}$$

Yapılan araştırmalara göre VSD'yle kontrol edilen elektrik motorlarının birçoğunda enerji sarfiyatının %30-50 arasında azaldığı gözlemlenmiştir. Bazı özel durumlarda ise VSD'lerin kullanıldığı elektrik motorlarında %90 civarında enerji tüketiminde düşüş gerçekleşmiştir. Küresel çapta bütün pompalara VSD'lerin kurulması halinde yıllık ortalama %40 tasarruf sağlanacağı ve pompalardan meydana gelecek bu tasarruf miktarının yıllık 740 milyar kWh olacağı hesap edilmiştir [38].

Şekil 4.23'te frekans konvertörü bulunan bir pompada güç-hız arasındaki ilişki gösterilmiştir [38]. Artan hıza bağlı olarak çekilen elektrik gücünde meydana gelen artış sonucunda şekil 4.23'teki parabolik eğri ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. 23 VSD'li bir pompada güç-hız grafiği [38]

Frekans konvertörlü pompaların 2 farklı çalışma prensibi vardır. 1. prensipte pompanın debisi sistemin enerji talebine göre artar ya da azalır, pompanın DP'si ise sabit kalır. 2. prensipte ise pompa hem DP'yi hem de debiyi arttırabilmekte veya azaltabilmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında değişen devir sayısı, debi, basma yüksekliği ve güç ile ilgili formüller denklem (4.9), (4.10) ve(4.11)'de verilmiştir. Buna göre;

$$\frac{Q_n}{Q_x} = \frac{n_n}{n_x} \quad (4.9)$$

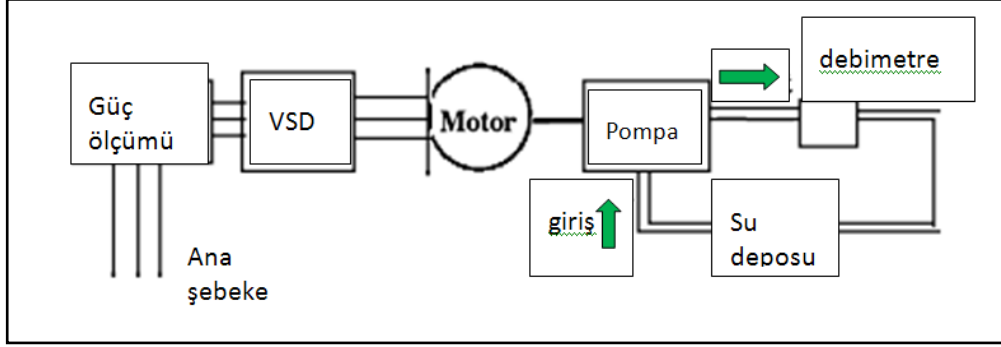
$$\frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{n_n}{n_x} \right)^2 \quad (4.10)$$

$$\frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{n_n}{n_x} \right)^3 \quad (4.11)$$

Sistemde 2 yollu kontrol vanaları sistemde varsa oransal kontrolün olduğu bir pompa kullanılmalıdır. Bu durumda vana kapatırsa pompanın hızı azalacaktır. Oransal kontrollü pompada debinin değişmesine göre basma yüksekliği ayarlanır [39].

Oransal pompa kontrol eğrisinin belli bir sapması kullanılıyorsa, pompanın belli bir yük değerine karşılık gelen elektrik tüketimini analiz etmek için değerlendirilir.

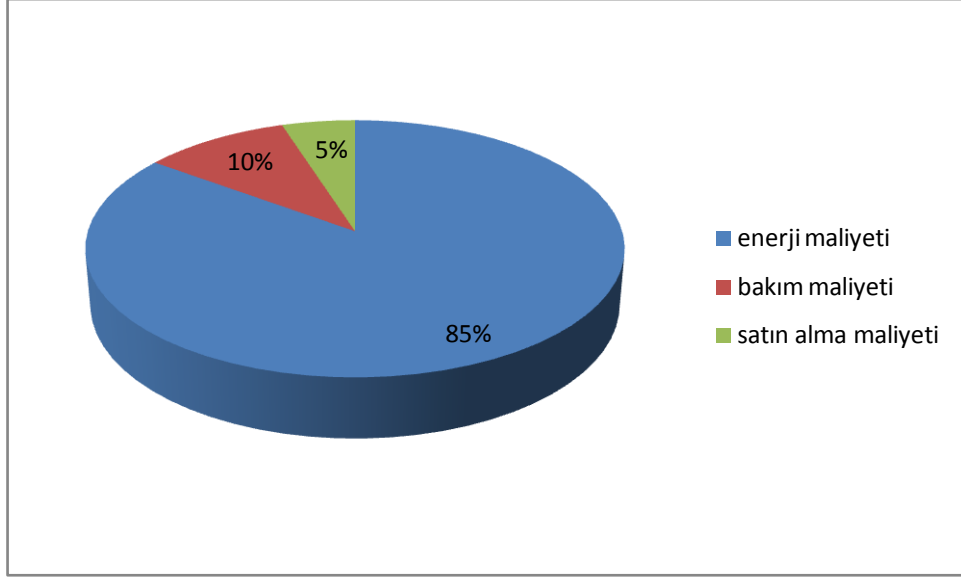
Şekil 4.24'te VSD'yle kontrol edilen bir pompa sistemi şeması gösterilmiştir. Bu şemaya göre şebekeden elektrik akımı önce VSD'ye gelir. VSD'de frekansı değiştirilen akıma göre elektrik motorunun hızı belirlenir. Böylece elektrik motorunun hızı pompanın kapasite ihtiyacıyla eşleştirilmiş olur [40].



Şekil 4. 24 VSD'li bir pompa şeması [40]

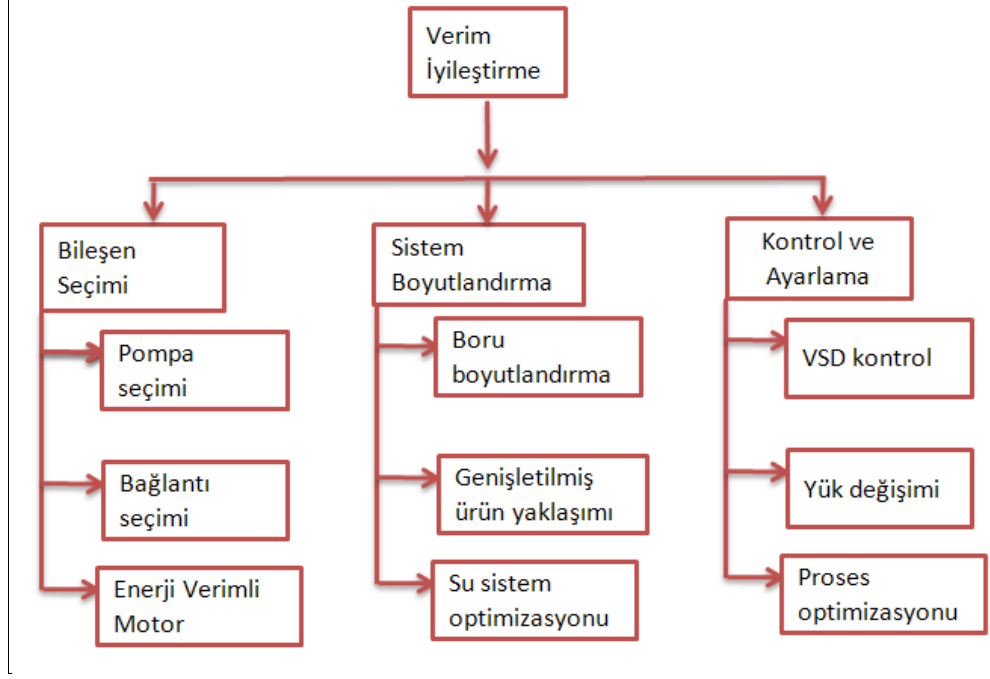
4.2.7 Santrifüj Pompalarda Verim Önlemleri

Pompalar sürekli olarak elektrik enerjisi tüketen hidrolik makinelerdir. Bu yüzden bir pompa sisteminde verim analizi yapılırken bütün olasılıklar değerlendirilmelidir. Yapılan araştırmalara göre bir pompa ömründeki toplam maliyetlerin %85'i elektrik enerjisi maliyeti, %5'i satın alma maliyeti, %10'u ise bakım maliyetidir [41]. Bu durum şekil 4.25'te gösterilmiştir. Bir santrifüj pompanın enerji maliyeti satın alma maliyetinin 17 katına kadar çıkabilmektedir. Bu durumda pompayla ilgili detaylı bir verim analizi yapmak önemli bir miktarda enerji tasarrufu sağlayacaktır. Santrifüj pompalarda sadece yeni devreye alınacak pompalarla ilgili enerji verimliliği çalışması yapılmaz aynı zamanda uzun süredir kullanılan pompa grupları üzerinde de verimlilik analizi yapılır.



Şekil 4. 25 Bir pompanın çalıştığı toplam süre boyunca maliyet dağılımı [41]

Bir pompa sisteminin verimli çalışabilmesi için sadece elektrik motorunun veya VSD'nin analizi yeterli olmaz. İlk olarak bütün sistemin doğru analiz edilmesi gerekir. Şekil 4.26'da bir pompada verim iyileştirme süreçleri yer almaktadır. Bir pompa grubunda verimlilikle ilgili yapılacak ilk çalışma uygun ekipman (VSD, elektrik motoru, boru hattı, pompa, vb.) seçimidir. Mühendislik hesaplarına bağlı olarak aynı zamanda sistem durumuna ve ihtiyacına göre yapılan bileşen seçimleri enerji verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin enerji verimli motorların tercih edilmesi verimlilik yönünden önemlidir [36].



Şekil 4. 26 Pompalarda verim iyileştirme adımları [36]

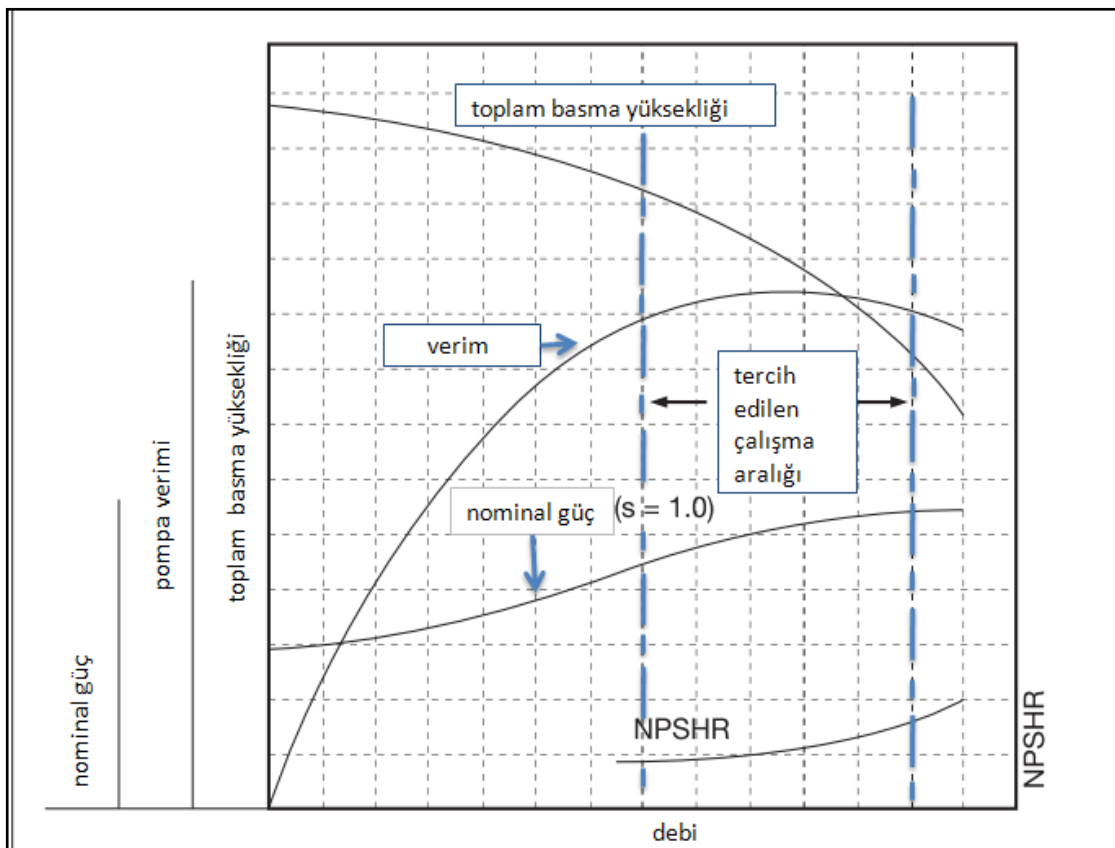
Birçok pompa sisteminde zaman içinde tesisatın yük profili değişmiş, pompanın verimi düşmüş ve tesisat borularında tıkanma meydana gelmiş olabilir. Bu nedenle pompa grubunda önceden seçilen pompaların enerji verimliliği analizi yapılmalıdır. Bunu yapmak için işletmelerde ve ticari binalarda bulunan, uzun yıllar kullanılan santrifüj pompaların ürettikleri debi ve basma yüksekliği, elektrik motorunun çektiği akım ve güç değeri, boru içindeki akışkan hızı gibi parametreler belli bir süre boyunca ölçülür. Bunun yanında tesisatın tasarımı ve işleyişi de incelenir. Elde edilen ölçümler ve analizler göz önüne alınarak tesisata yapılacak yatırımın geri ödeme süresi, enerji tasarruf miktarı ve CO₂emisyon miktarındaki düşüş belirlenir. Böylece hatalı seçilen, verimli çalışmayan pompalar tespit edilerek gerekli değişiklikler hayata geçirilir.

4.2.7.1 Santrifüj Pompanın Seçiminde Verim Analizi

Santrifüj pompaların operasyonel çok yönlülüğü onların geniş bir yelpazedeki uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bir santrifüj pompa çok farklı çalışma şartlarında kullanılsa da, bunların tamamında uygun ve memnun edici performanslar veremezler [42].

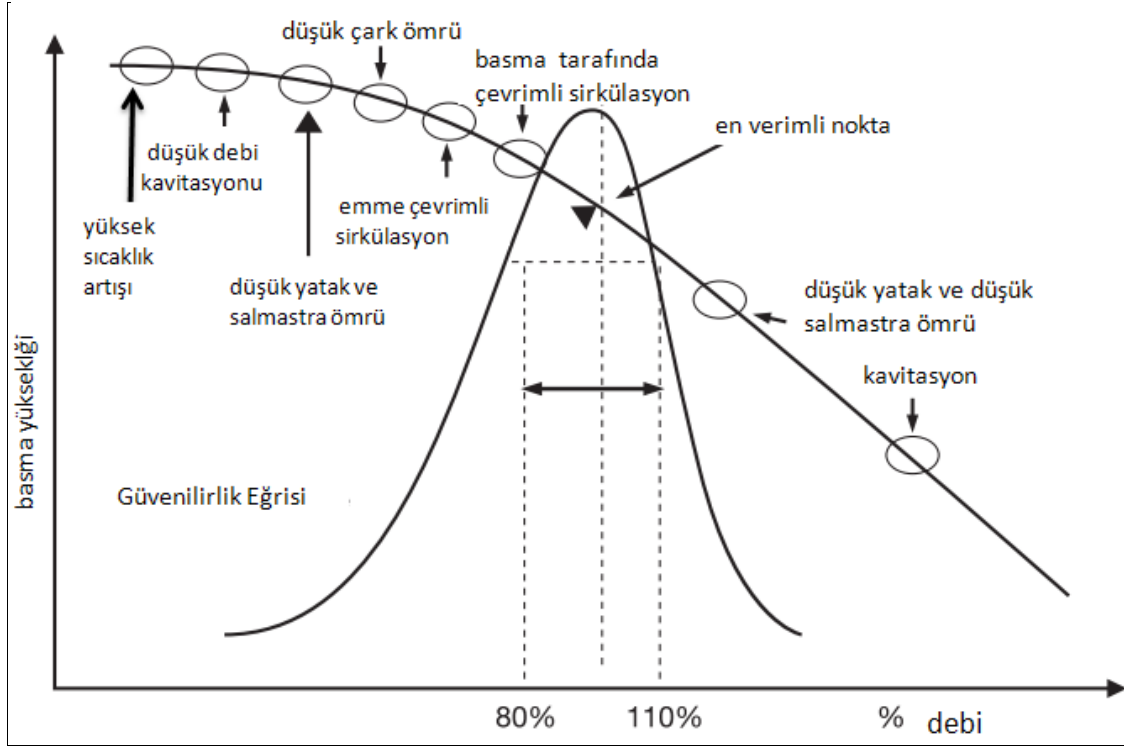
Santrifüj pompaların optimum enerji harcaması, güvenilir şekilde çalışması ve maksimum kullanım ömrüne sahip olması için pompa özelliklerinin hedef prosese uygun olması şarttır. Bu şartı sağlamak için sistemde kullanılan akışkanın viskozitesi, yoğunluğu ile sıcaklığı, akışkan türü, basma yüksekliği, NPSH değeri ve sistem ihtiyacı olan debinin bilinmesi optimum pompa seçilmesi için şarttır [42].

Bunun yanında pompa seçimi sırasında tolerans değerlerin yüksek tutularak sistem kapasite ihtiyacının üzerinde pompa seçmek yapılan en yaygın hatalardan biridir. Çünkü kapasite ihtiyacının üzerinde, büyük seçilen pompaların verimleri düşük olur [42].



Şekil 4. 27 Pompalarda tercih edilen çalışma aralığı [42]

Bazı sistemlerde enerji ihtiyacının değişkenlik göstermesi veya pompa eğrisinin değişmesi gibi durumlar gözlemlenebilir. Bu sonuca göre uygun pompanın seçilmesi zorlaşabilir. Değişen bu durumlar için pompa performansını ayarlamak gerekir. Bunun için uygulanan temel yöntemler ise kısma kontrolü, by pass kontrolü, çark çapının değişimi ve hız kontrolü gibi yöntemlerdir [43].



Şekil 4. 28 En verimli nokta dışında çalışmanın olumsuz etkileri [42]

Minimum kapasitede çalışan pompalarda yatak problemleri, gürültü, titreşim ve salmastra problemleri ortaya çıkar. Uygun bir pompa seçimi için öncelikle kapasiteyi, basma yüksekliğini, akışkanın yoğunluk, sıcaklık ve viskozite durumunu ayrıca emme tarafındaki su seviyesini bilmek gereklidir. Aksi takdirde seçilen pompa verimsiz çalışabilir.

Pompaların, verimli motorların ve mekanik bağlantıların uygun seçilmesi enerjiden, enerji maliyetinden ve sera gazlarından elde edilecek tasarrufun belirlenmesinde hayati rol oynar.

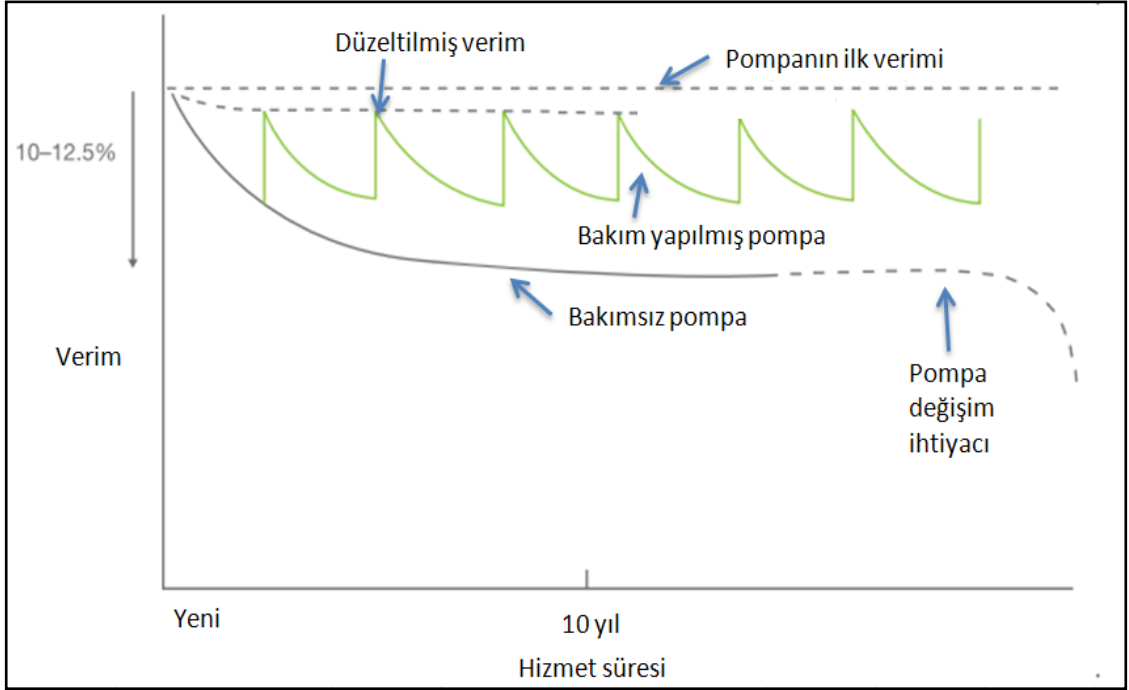
4.2.7.2 Santrifüj Pompada Verimlilik ve Bakım İlişkisi

Santrifüj pompalarda bakım, verimi etkileyen önemli bir unsurdur. Düzenli pompa bakımı pompaların verimli çalışmasını sağlar ve problemlerin erken tespit edilerek bakım programına alınmasını mümkün kılar. Böylece pompanın devre dışı kalması önlenir. Ayrıca düzenli bir bakım çalışması, pompa arızalanmadan çok önce meydana gelen verim ve kapasite kayıplarını engeller.

Pompalarda aşınmanın ve korozyonun nedeni yüksek yoğunluklu partiküller ve düşük PH değeridir. Aşınma, bakımsız pompaların su veriminde %10-%12.5 kadar bir düşüşe neden olur [44].

Pompalarda aşınma olaylarının çoğu ilk yıllarda meydana gelir ve oluşan boşluklar, aşındırıcı tanelerle benzer büyüklüğe gelene kadar devam eder. Bu durum 10 yıl sonra Şekil 4.29'da olduğu gibi yatay düz çizgi halinde olur. 20 yıl sonra ise pompa aşınmadan dolayı tamamiyle servis dışı kalır. Bu durumda yeni bir pompaya ihtiyaç duyulur [44].

Şekil 4.29'da bakımı yapılan ve yapılmayan bir pompaya ait verim değerleri verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.29'da bakımı yapılan pompanın veriminde meydana gelen artış gösterilmektedir.



Şekil 4. 29 Bakımı yapılan ve yapılmayan pompalar için ortalama aşınma eğrileri [44]

Santrifüj pomplarda aşınma daha çok çarkta, gövde üzerinde, salmastra ve yatak bölgelerinde görülür [44].

Aşınma gözlenen bir pompada BEP (en verimli çalışma noktası) pompa karakteristik eğrileri üzerinde sola kayma eğilimi gösterir [44].

BİR SANTRİFÜJ POMPANIN ENERJİ TÜKETİM ANALİZİ

5.1 Santrifüj Pompada Enerji Tüketim Analizinin Amacı

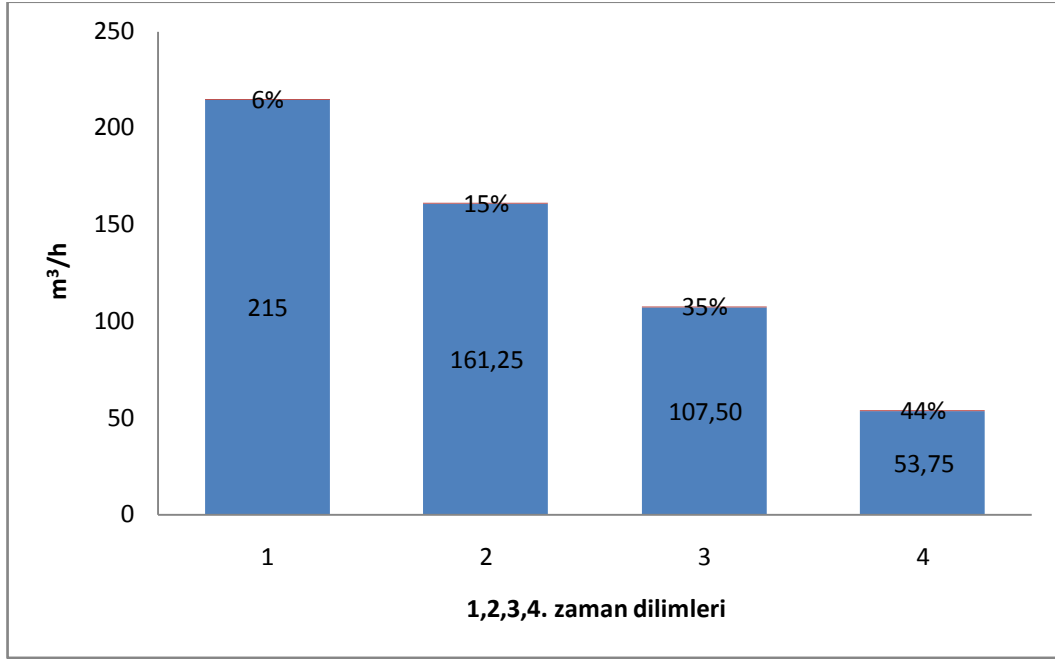
Bir ticari binada bulunan, ısıtma-soğutma sistemini besleyen bir santrifüj pompanın çektiği güç ve elektrik maliyeti sabit debili sistem, sabit DP'li sistem ve oransal kontrollü pompa grupları için ayrı ayrı hesaplanacaktır ve ortaya çıkan enerji tüketim değerleri birbiriyle kıyaslanacaktır.

5.2 Gözlemlenen Binanın Isıtma-Soğutma Tesisatı

Pompanın enerji tüketiminin inceleneceği ticari bina 9.5 katlıdır. Bu binanın bir katında ısıtılan-soğutulan 1940 m² alan bulunmaktadır. Bütün binada toplam ısıtılan-soğutulan toplam alan ise 18430 m² 'dir. Binada senede 200 gün boyunca günde 18 saat soğutma yapılmaktadır. Bu binada 941 adet FCU bulunmakta ve ısıtma-soğutma fonksiyonunu yerine getirmektedir.

5.2.1 Gözlemlenen Binanın 200 Gün-Saatlik Debi İhtiyacı

Şekil 5.1'de hedef binanın 200 gün boyunca ortalama debi ihtiyacı verilmiştir. Sistemin %100 yükte yani tam yükte ihtiyacı olan debi 215 m³/h'dir. Şekil 5.1'de 3600 h'lik süre boyunca sistem ihtiyacı olan ortalama debiler yer almaktadır. Buna göre sistemin tam yük ihtiyacı (215 m³/h) toplam zaman olan 3600 h'nin sadece %6'sıdır. Gözlem süresi boyunca sistem en çok %44'lük oranla 53,75 m³/h'lik debiye ihtiyaç duymuştur.



Şekil 5. 1 3600 h'lik sürede debi kullanma sıklıkları

5.2.2 Gözlemlenen Binada Kullanılan Pompa

Enerji tüketim analizi yapılan binada TPE 150-280/4-S kodlu Grundfos marka pompa kullanılmıştır. Bu pompa sisteme tam yükte (%100 kapasitede) 215 m³/h debi ve 250 kPa basma yüksekliği vermektedir. Ayrıca bu pompa %100 kapasitedeyken 20.1 kW elektrik harcamaktadır.

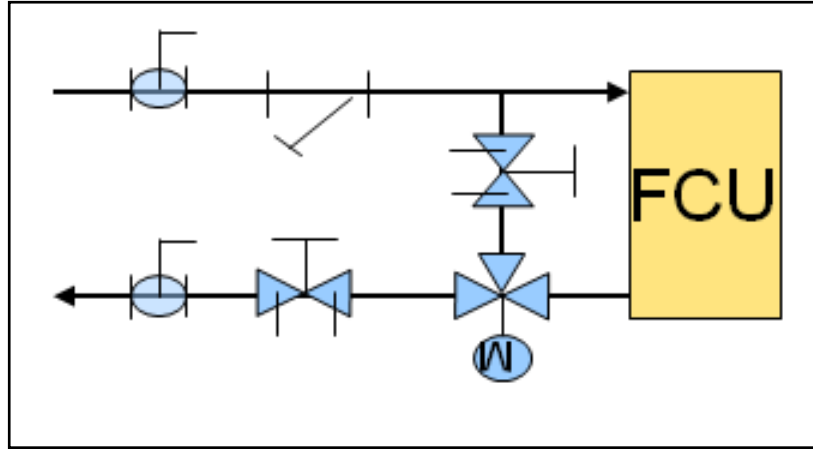
5.3 Pompanın Enerji Sarfiyatının İncelenmesi

Sistemin aynı debi ve basma yüksekliği ihtiyaçları doğrultusunda 3 farklı pompa grubunun elektrik sarfiyatları analiz edilecektir. Bu pompanın verimi; $\eta_p = \% 82.7$ ve motor verimi ise $\eta_{em} = \% 72.8$ 'dir.

5.3.1 Sabit Debili Pompada Enerji Sarfiyatı

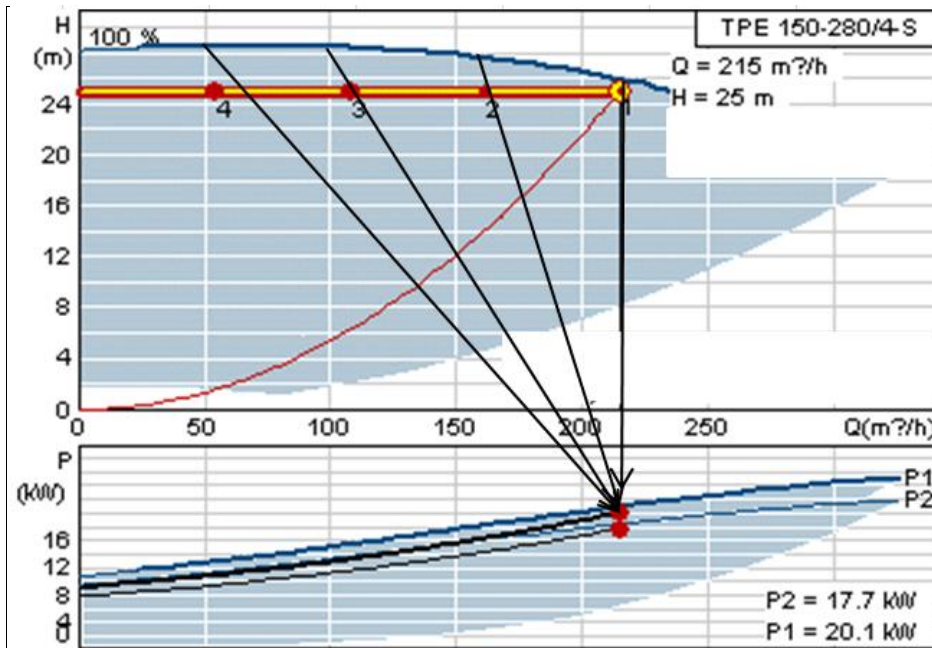
Sabit debili pompalar sürekli aynı debide çalışırlar. Bu sebeple değişen enerji talebi karşısında sabit debili pompaların enerji tüketimi yüksek olmaktadır. Sabit debili pompalarda frekans konvertörü bulunmaz.

Analizi yapılan binada pompa sabit devirli çalıştığı zamanda FCU'ların kontrolü 3 yollu motorlu vanalarla yapılmaktadır. Ayrıca her FCU hattında 2 adet statik balans vanası bulunmaktadır. Statik balans vanaları FCU'nun ihtiyacı olan maksimum debiye kadar olan akışların geçmesini sağlamaktadır. Bu debiden daha fazlası ise geçmez.



Şekil 5. 2 Sabit debide FCU kontrolü

Şekil 5.3'te incelenen pompanın sabit debili çalışma durumunu gösteren şekil yer almaktadır.



Şekil 5. 3 Sabit debili pompa eğrisi

Çizelge 5.1’de Sabit debili pompada debi, güç ve tüketilen elektrik enerjisi değerleri verilmiştir. Pompa sabit debide çalıştığı için enerji talebi azalsa bile pompanın ürettiği debide bir değişiklik olmamıştır. Bu debi değerleri bulunurken sistemde oluşabilecek düşük dT sendromu ihmal edilmiştir.

Çizelge 5. 1 Sabit debili pompada enerji tüketimi

Yüzdesel Nominal Debi Talebi	Gerçek Debi [m3/h]	Pompa Enerji Tüketimi [kW]	Sıklık Oranı	Toplam Saat [h]	Enerji Tüketimi [kWh]
100%	215,00	20,10	6,00%	216	4341,6
75%	215,00	20,10	15,00%	540	10854
50%	215,00	20,10	35,00%	1260	25326
25%	215,00	20,10	44,00%	1584	31838,4
Toplam			100,00%	3600	72360[kWh]
Pompalama masrafı					14472[\$]
Birim FCU enerji pompalama masrafı					15,379[\$]

2017 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde (U.S) elektrik fiyatı 0.21 \$/[kWh], İngiltere’de ise 0.24 \$/[kWh]’dir [45]. Bu durumda elektrik fiyatının 0.2 \$/[kWh] olduğu kabul edilirse;

Toplam enerji sarfiyatı [kWh]= Pompa enerji tüketimi [kW]*toplam saat [h]

Toplam enerji sarfiyatı [kWh]= 20.1*3600= 72360 [kWh]

Toplam enerji sarfiyatı tutarı= Birim enerji sarfiyatı ücreti \$/[kWh]*Toplam enerji sarfiyatı

Toplam enerji sarfiyatı tutarı= 0.2 \$/[kWh]*72360 [kWh]= 14472 [\$]

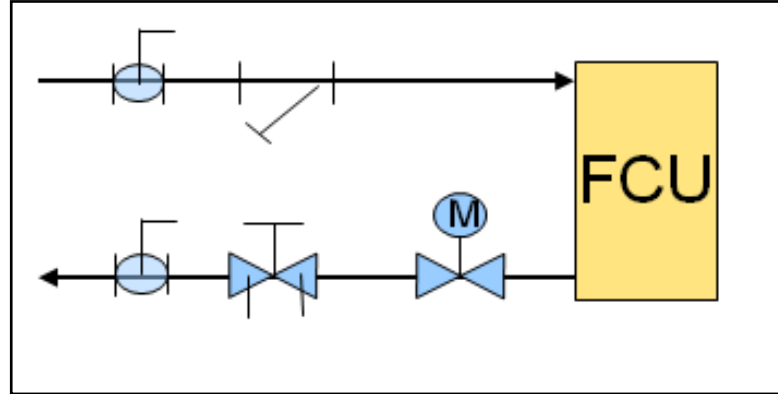
Birim FCU başına pompalama masrafı= Toplam enerji sarfiyatı tutarı/ Toplam FCU adedi

Birim FCU başına pompalama masrafı= 14472 [\$]/941= 15.379 [\$]

5.3.2 Sabit DP'li Pompa Enerji Sarfiyatı

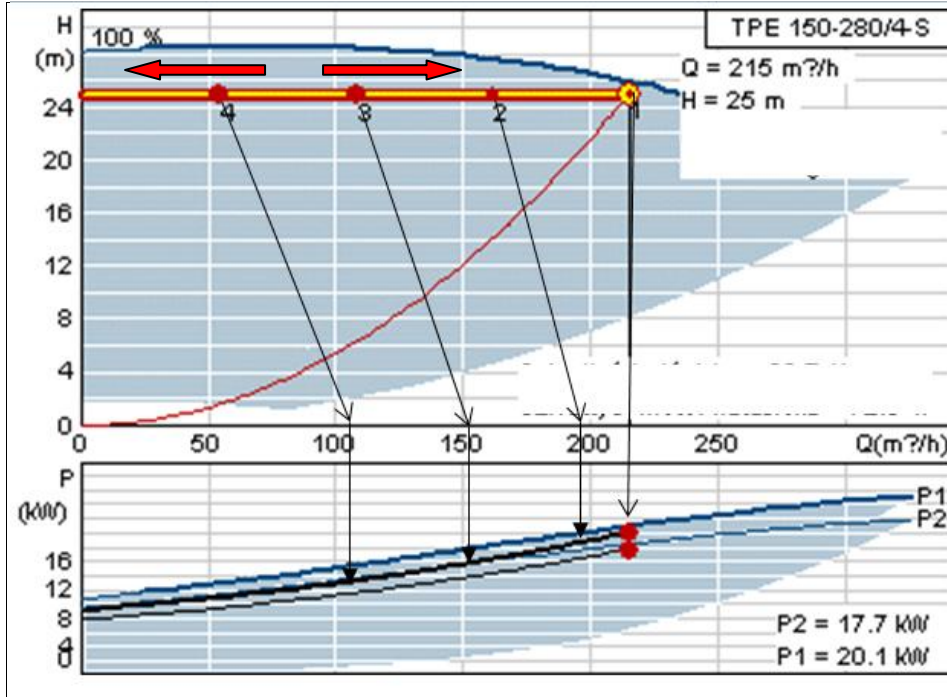
Sabit DP'li pompalar sistemin enerji talebine göre debiyi arttırıp azaltabilirken DP ise sürekli olarak aynı değerde kalır. Frekans konvertörü debi değişimine olanak sağlamaktadır.

Şekil 5.4 'te sabit fark basınçta çalışan FCU'ların motorlu vana ile kontrol edildikleri ve aynı hat üzerinde statik balans vanasının da olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 4 Sabit DP'de FCU kontrolü

Şekil 5.5'te sabit DP'de çalışan pompanın çalışma eğrileri görülmektedir. Ayrıca debi değişimine bağlı olarak çekilen güç miktarları gösterilmiştir.



Şekil 5. 5 Sabit DP'de çalışma eğrisi

Çizelge 5.2'de sabit DP'li pompada pompanın kısmi yüklerde ürettiği debi miktarları, kısmi yüklerle bağlı olarak pompanın çektiği güç değerleri, toplam pompalama gideri ve birim FCU başına pompalama giderleri verilmiştir.

Çizelge 5. 2 Sabit DP'li pompada enerji tüketimi

Yüzdesel Nominal Debi Talebi	Gerçek Debi [m3/h]	Pompa Enerji Tüketimi [kW]	Sıklık Oranı	Toplam Saat [h]	Enerji Tüketimi [kWh]
100%	215,00	20,10	6%	216	4341,6
75%	193,50	19,20	15%	540	10368
50%	152,65	16,30	35%	1260	20538
25%	112,88	13,90	44%	1584	22017,6
Toplam			100%	3600	57265,2[kWh]
Pompalama masrafı					11453[\$]
Birim FCU enerji pompalama masrafı					12.17[\$]

Toplam enerji sarfiyatı [kWh]= Pompa enerji tüketimi [kW]* toplam saat [h]

Toplam enerji sarfiyatı = 20.1*216+19.2*540+16.3*1260+13.9*1584=57265.2 [kWh]

Toplam enerji sarfiyatı tutarı=Birim enerji sarfiyatı ücreti \$/[kWh]*Toplam enerji sarfiyatı

Toplam enerji sarfiyatı tutarı= 0.2 \$/[kWh]*57265.2 [kWh]= 11453 [\$]

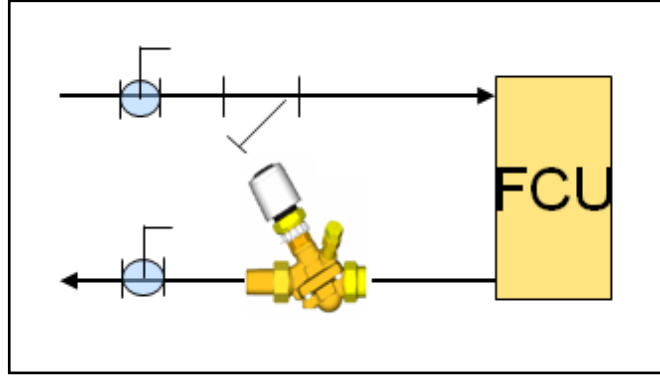
Birim FCU başına pompalama masrafı=Toplam enerji sarfiyatı tutarı/ Toplam FCU adedi

Birim FCU başına pompalama masrafı= 11453 [\$]/941= 12.17 [\$]

5.3.3 Oransal Kontrollü Pompada Enerji Sarfiyatı

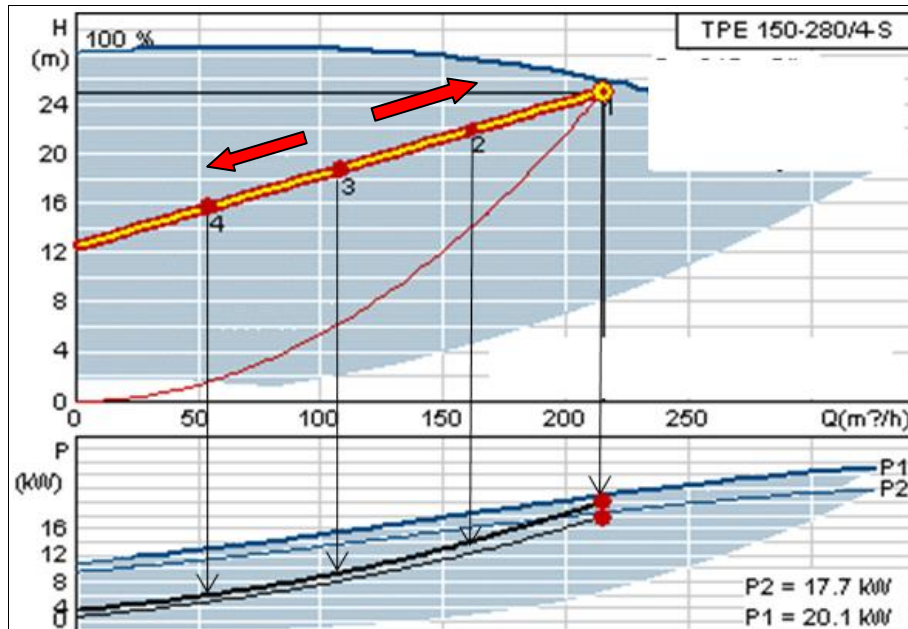
Oransal kontrollü pompalar artan-azalan debi ihtiyacı karşısında hem debiyi hem DP'yi değiştirilebilen pompalardır. Oransal kontrolün meydana gelmesi için hem frekans konvertörü hem de basınç sensörlerinin kullanılması gereklidir.

Şekil 5.6'da sistemin oransal kontrollü çalışması durumunda bütün FCU'ların dönüş hatlarına konulan balans vanası görünmektedir. Bu balans vanasının hem debiyi en üst sınırdan limitleme hem de cihaz fark basıncını sabit tutma özelliği vardır. Ayrıca vananın üzerinde bulunan motor oda termostatından sinyal alarak FCU'ya debi geçişine izin verir ya da debi geçişini kısar.



Şekil 5. 6 Oransal kontrollü FCU

Şekil 5.7'de oransal kontrollü olarak çalışan pompanın 1, 2, 3 ve 4 noktalarında ürettiği debi ve çektiği güç miktarları oklarla gösterilmiştir. Oransal kontrollü pompa, sistem ihtiyacı kadar debi ve DP üretebilme özelliğine sahiptir. Böylece tesisatın ihtiyacı olan debiye pompadan çıkan debi miktarı eşit olur.



Şekil 5. 7 Pompada oransal kontrol eğrisi

Çizelge 5.3'te ise oransal kontrollü pompaya ait olan debi ve pompa enerji tüketim miktarları yer almaktadır. Oransal kontrollü pompada hem üretilen debinin hem de pompanın tükettiği enerji miktarının sabit DP'li pompaya göre daha az olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5. 3 Oransal kontrollü pompada enerji tüketimi

Yüzdesel Nominal Debi Talebi	Gerçek Debi [m3/h]	Pompa Enerji Tüketimi [kW]	Sıklık Oranı	Toplam Saat [h]	Enerji Tüketimi [kWh]
100%	215,00	20,10	6%	216	4341,6
75%	161,25	14,70	15%	540	7938,0
50%	107,50	9,31	35%	1260	11730,6
25%	53,75	6,03	44%	1584	9551,5
Toplam			100%	3600	33561.7 [kWh]
Pompalama masrafı					6712.34[\$]
Birim FCU enerji pompalama masrafı					7.133 [\$]

Toplam enerji sarfiyatı [kWh]= Pompa enerji tüketimi [kW]*toplam saat [h]

Toplam enerji sarfiyatı = 20.1*216+14.7*540+9.31*1260+6.03*1584= 33561.72 [kWh]

Toplam enerji sarfiyatı tutarı= Birim enerji sarfiyatı ücreti \$/[kWh]*Toplam enerji sarfiyatı

Toplam enerji sarfiyatı tutarı=0.2 \$/[kWh]*33561.72 [kWh]= 6712.344 [\$]

Birim FCU başına pompalama masrafı=Toplam enerji sarfiyatı tutarı/ Toplam FCU adedi

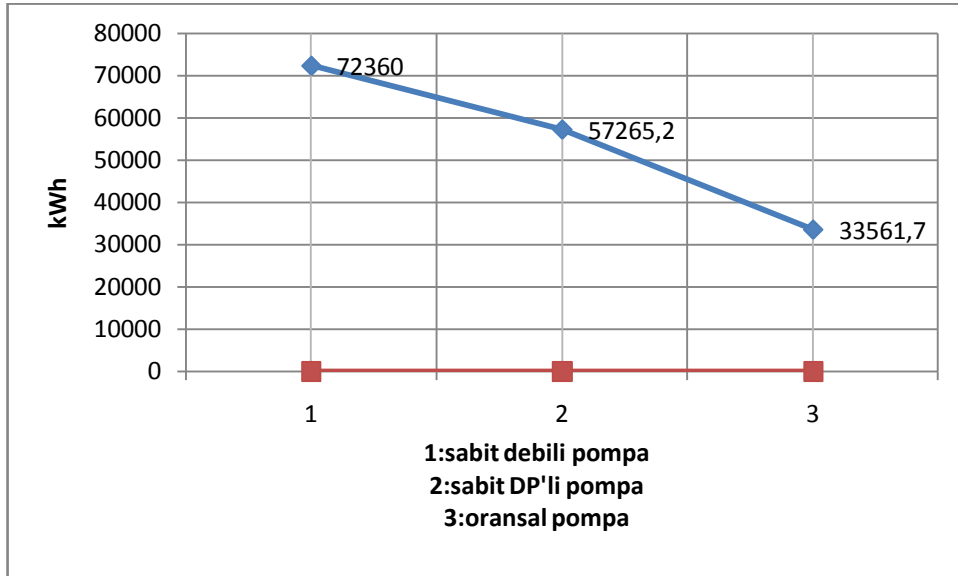
Birim FCU başına pompalama masrafı=6712.344 [\$]/941=7.133 [\$]

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sabit debili, sabit DP'li ve oransal kontrollü bir pompa aynı sistem ihtiyaçları (debi talepleri) için kullanılmış bunun sonucunda farklı enerji tüketimleri ortaya çıkmıştır. Aynı pompanın aynı sistem parametrelerinde fakat farklı kontrol yöntemlerinde olması enerji verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Yapılan enerji tüketimi ölçümlerine göre;

- Sabit debili çalışan pompa 72360 [kWh],
- Sabit DP'li çalışan pompa 57265,2 [kWh],
- Oransal kontrollü pompa ise 33561,7 [kWh] enerji tüketmiştir.



Şekil 6. 1 Pompanın farklı kontrol yöntemlerinde enerji tüketimleri

Çizelge 6.1’de sabit debili sistem en çok enerji tüketen grup olduğu için enerji tasarrufu için referans kabul edilmiştir. Buna göre sabit DP kontrollü pompa sabit debili kontrole göre %20.8 daha az enerji tüketmiştir. Oransal kontrollü pompa ise sabit debili kontrole göre %53.8 daha az enerji tüketmiştir.

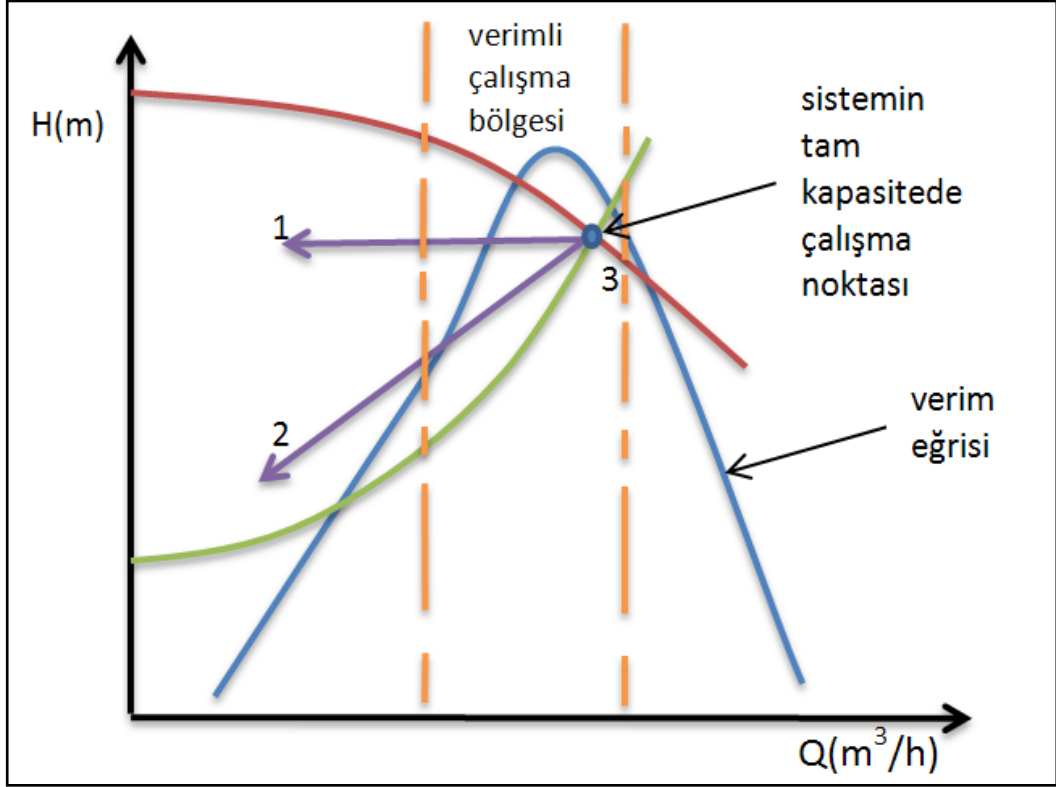
Çizelge 6. 1 Farklı kontrol gruplarında enerji tüketiminin karşılaştırılması

	Enerji Tüketimi [kWh]	Enerji Tasarruf Miktarı [%]
Sabit debide	72360	
Sabit DP’de	57265.2	20.86
Oransal Kontrol	33561.7	53.618

Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak sürekli olarak sabit debi ihtiyacı olan sistemlerde enerji verimliliği açısından frekans konvertörü kullanmak enerji sarfiyatını etkilemez. Kısmi yükler altında çalışan pompa gruplarında oransal kontrollü sistem, sabit debili sisteme ve sabit DP’li sisteme göre daha az enerji tüketmektedir. Pompa sistemlerinin birçoğunun kısmi yükler altında çalıştığı düşünülürse böyle durumlarda frekans konvertörü kullanmanın %50’lere kadar daha az elektrik enerjisi sarfiyatına neden olduğu ortaya çıkar. Bu durumda kısmi yük altında çalışan pompalarda frekans konvertörleri kullanılarak oransal kontrol oluşturulmalıdır.

Şekil 6.2’de 1 numaralı yatay doğru sabit DP’li kontrolü, 2 numaralı doğru oransal kontrolü, 3 noktası ise pompanın %100 debi talebinde çalışma durumunu yani bir anlamda sabit debili sistemi ifade eder. Buna göre sabit DP’li kontrol grubunda ve sabit debili kontrol grubunda çalışan pompanın verimi oransal kontrolde çalışan pompaya göre daha yüksektir. Ayrıca hem sabit DP’li pompa hem de oransal kontrollü pompa

verimli çalışma bölgesinin dışına çıkabilmektedir. En az enerji tüketimi oransal kontrollü pompada gerçekleşmektedir.



Şekil 6. 2 Pompada kontrol gruplarına göre verim durumu

KAYNAKLAR

- [1] Maccarini, A., Wetter, M., Afshari, A., Hultmark, G., Bergsøea, C.N. ve Vorre, A., (2017). "Energy Saving Potential of a Two-Pipe System for Simultaneous Heating and Cooling of Office Buildings", *Energy and Buildings*, 134: 234-247.
- [2] Huo, H., Shao, J. Ve Huo, H., (2017). "Contributions of Energy Saving Technologies to Building Energy Saving in Different Climatic Regions of China", *Applied Thermal Engineering*, 124: 1159–1168.
- [3] Zhu, J. ve Li, D., (2015). "Current Situation of Energy Consumption and Energy Saving Analysis of Large Public Building". *Procedia Engineering*, 21: 1208-1214.
- [4] Truong, L.N., Dodoo, A. ve Gustavsson, L., (2018). "Effects of Energy Efficiency Measures in District-heated Buildings on Energy Supply", *Energy*, 142: 1114-1127.
- [5] Sheng, X. ve Duanmu, L., (2017). "Energy Saving Factors Affecting Analysis on District Heating System with Distributed Variable Frequency Speed Pumps", *Applied Thermal Engineering*, 121: 779-790.
- [6] Mukashev, A., Pugovkin, A., Kuprekov, S., Petrova, N. ve Abramchuk, S., (2017). "Dynamic Method of the Heating Devices Efficiency Measurement", *Energy Procedia*, 128: 86-91.
- [7] D'Agostino, D., Cuniberti, B. ve Bertoldi, P., (2017). "Energy Consumption Technology Measures in European non-Residential Buildings", *Energy and Buildings*, 153: 72-86.
- [8] Simona, L.P., Spiru, P. ve Ion V. I., (2017). "Increasing the Energy Efficiency of Buildings by Thermal Insulation", *Energy Procedia*, 128: 393-399.
- [9] Liu, Y. ve Zhi, B., (2011). "Application and Energy Saving Analysis of Permanent Magnetic Speed Control in The Pump System", *Energy Procedia*, 15: 549-553.
- [10] Annus, I., Uibo, D. ve Koppel, T., (2014). "Pumps Energy Consumption Based on New EU Legislation", *Procedia Engineering*, 89: 517-524.
- [11] Arslan, S. ve Sahib, A. A., (2016). "Comparison of Energy Efficiencies of a Small Centrifugal Pump at Constant and Variable Speed Operations", *Tarım Bilimleri Dergisi*, 22: 444-454.

- [12] Feng, C. ve Wang, M., (2017). "Analysis of Energy Efficiency and Energy Savings Potential in China's Provincial Industrial Sectors", Journal of Cleaner Production, 164: 1531-1541.
- [13] Botaş, Sektör Raporu 2016, <http://www.botas.gov.tr>, 10 Ocak 2017.
- [14] British Petrol (BP), (2017). Statistical Review of World Energy 2017, Yayın No:66, London.
- [15] Henbest, S., (2017), Energy to 2040 – Faster Shift to Clean, Dynamic, Distributed, <https://about.bnef.com/blog/henbest-energy-2040faster-shift-clean-dynamic-distributed/>, 10 Ocak 2017.
- [16] T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik, <http://www.enerji.gov.tr>, 12 Ağustos 2017.
- [17] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/UEVEP_TASLAK.pdf, 18 Ağustos 2017.
- [18] Kanoğlu, M., (2010), Enerji Verimliliği Örnek Projeleri, http://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_mehmet-kanoglu-enerji-verimliliği-ornek-projeleri.pdf, 2 Eylül 2017.
- [19] Aydın M., (2016). "Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü:Türkiye Değerlendirmesi", Yönetim Bilimleri Dergisi, 14(28): 409-441.
- [20] Doğan H. ve Yılankırkan N., (2015). "Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(1): 375-383.
- [21] Yapraklı, S. ve Bayramoğlu, T., (2017). "Türkiye'de Enerji Kullanımı ve İklim Değişikliği: 1990-2030 Dönemine İlişkin Tanımsal Bir Uygulama", Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(2): 430-453.
- [22] Özyurt G., (2009). "Enerji Verimliliği, Binaların Enerji Performansı ve Türkiye'deki Durum", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 457: 32-34.
- [23] T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Kanunu. (26510), 18.04.2007, 46.
- [24] ISO 50001, (2011). Enerji Yönetim Sistemi, ISO, 1. Baskı, Cenevre.
- [25] Pekaçar M., (2011). "ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi", II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27.11.2011, İzmir.
- [26] Yakut, K.A., Koru, M. ve Şencan, A., (2001). "HVAC Sistemlerinde Kontrol Yöntemleri ve Enerji Tasarrufu", V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 3-6 Ekim 2001, İzmir.
- [27] Arısoy, A., (1993). Motorlu Vanalarla Sistem veya Zon Kontrolü, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a75910166da03ff_ek.pdf?dergi=147, 12 Ağustos 2017.
- [28] Doğan, V. ve Kolsuk, B. (2015). "Hidronik Dengesizlik (Balanslama)", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015, İzmir.

- [29] Kaya, D., Yağmur, E.A., Yiğit, K.S., Kılıç F.C., (2008). Eren A.S. ve Çelik C., "Energy Efficiency in Pumps", Energy Conversion and Management, 49: 1662-1673.
- [30] Pilscikovs, D. ve Dzelzitis, E., (2013). "Evaluation of Efficiency Improvement Potential Applying Proportional Pressure Control for Variable Speed Pumps in Water Supply", International Journal of Engineering Science Invention, 2: 29-38.
- [31] Özumar, L., (2008). Santrifüj Pompa Çıkış Boğaz Boyunun Uzatılarak Pompa Çalışma Değerlerine Etkisinin Tespiti, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [32] Šavar, M., Kozmar, H. ve Sutlović, I., (2009). "Improving centrifugal pump efficiency by impeller trimming", Desalination, 249: 654-659.
- [33] Teke, A. ve Timur, O., (2013). "Electric Motors and Variable Speed Drives at the Hospitals: An Overview", Majlesi Journal of Energy Management, 2: 5-16.
- [34] Creamer, J. ve Steele, R., (2012), "Pumps and Process Energy Optimization", World Pumps, 2012: 38-41.
- [35] Cengiz, M. S. ve Mamiş, M. S., (2015). "Endüstriyel Tesislerde Verimlilik ve Güneş Enerjisi Kullanımı", VI. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 4-6 Haziran 2015, Sakarya.
- [36] Shankar, A., Kalaiselvan, V., Subramaniam, U., Shanmugam, P. ve Hanigovszki, N., (2016). "A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system", Applied Energy, 181: 495-513.
- [37] Alarko Carrier, (2006). Teknik Bülten, Yayın No:10, İstanbul.
- [38] ABB, Energy Efficiency a Solution, <http://new.abb.com/drives/energy-efficiency>, 13 Ekim 2017.
- [39] Pilscikovs, D. ve Dzelzitis, E., (2014). "Efficiency Evaluation of Proportional Pressure Control for Centrifugal Pumps with Variable-Speed Motors" ASHRAE, 120: 382-385.
- [40] Saidur, R., Mekhilef, S., Ali, B.M., Safari, A. ve Mohammed, A.H., (2012). "Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 543-550.
- [41] Ertöz, Ö. A., (2003). "Pompalarda Enerji Verimliliği", VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Ekim 2003, İzmir.
- [42] Larralde, E. ve Ocampo, R., (2010). "Centrifugal pump selection process", World Pumps, 2010: 24-28.
- [43] Yumurtacı Z. ve Sarıgül A., (2011). "Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları", Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, 122: 49-58.
- [44] Sustainability Victoria, (2009). Energy Efficiency Best Practice Guide Pumping Systems, Yayın No:6, Melbourne.

- [45] The Statistics Portal, Global electricity prices by select countries in 2017, <https://www.statista.com/statistics/263492/electricity-prices-in-selected-countries/>, 10 Şubat 2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Aytunç BABADAĞ
Doğum Tarihi ve Yeri :07.11.1987- İzmit
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :aytuncbabadag@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Fatih Sultan Mehmet Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2017	Danfoss Otomasyon	Proje ve Dizayn Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Babadağ, A. and Yumurtacı, Z., "Energy Saving and Applications In Heating and Cooling Systems In Buildings", International Conference On Advances In Mechanical Engineering (ICAME'16), May 10-13, 2016, İstanbul, Turkey.
2. Babadağ, A. and Yumurtacı, Z., "Energy Efficiency In Pumps With Variable Speed", International Conference On Energy System (ICES'16), December 21-23, 2016, İstanbul, Turkey.