



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KONVANSİYONELDEN AKILLIYA
ÇEVİRİLMİŞ OLAN BİR POMPANIN
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ
ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA**

Mehmet Fatih POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Fatih POLAT tarafından hazırlanan “Konvansiyonelden Akıllıya Çevrilmiş Olan Bir Pompanın Performansının Belirlenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma.” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Numan KAYA

.....

Danışman

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sadık ATA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Fatih POLAT

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONVANSİYONELDEN AKILLIYA ÇEVİRİLMİŞ OLAN BİR POMPANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Mehmet Fatih POLAT

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

2023, 38 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Numan KAYA

Dr. Öğr. Üyesi Sadık ATA

Ekonominin en önemli girdilerinden biri enerjidir. Santrifüj pompalar genel bir ifadeyle akışkanlara enerji kazandıran makinelerdir. Dünyada elektrik tüketiminin yaklaşık %20'sinin, Türkiye'de ise %10'unun pompalar tarafından gerçekleştirildiği, ayrıca dünyada üretilen asenkron elektrik motorlarının %65 'inin pompalarda kullanıldığı göz önüne alındığında, pompaların yüksek enerji tüketimine sahip önemli makineler oldukları anlaşılmaktadır. Enerji tüketimlerinin oldukça yüksek olması nedeniyle CO₂ salınımına ve iklim değişikliklerine etkileri de fazladır. Pompaların enerji sarfıyatı haricinde karşılaştıkları sorunların maliyetleri de yüksektir. Tüm bu kriterler göz önüne alındığında, pompaların değişken debilerde çalışma gereksiniminde veya çalışma şartlarına uygun seçilmemiş pompalarda by-pass vanası ve vana kısmadan dolayı oluşan enerji sarfıyatının önüne geçilmesi ve ömür boyu maliyetlerinin en aza indirgenmesi için frekans konvertörü kullanılmıştır. Pompanın akıllandırılmasında kullanılan ekipmanların başında frekans konvertörü bulunmaktadır. Konvertör sayesinde istenilen çalışma devirleri elde edilebilmekte dolayısı ile farklı çalışma şartlarında pompanın yüksek verimde çalışması sağlanabilmektedir. Bu çalışma için 3000 devir, 50 m³/h debi ve 75 mss basma yüksekliğine sahip Sempa Pompa firmasına ait düşey milli üç kademeli santrifüj pompa seçilmiştir. Çalışmada frekans konvertörü yardımıyla santrifüj pompa farklı devirlerde çalıştırılmış ve %6-10 gibi önemli oranında enerji tasarrufu elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı-Zeki Pompa, Değişken Debili sistemler, Enerji Tasarrufu, Santrifüj Pompa.

ABSTRACT

MS THESIS

AN EXPERIMENTAL STUDY ON DETERMINING THE PERFORMANCE OF A PUMP CONVERTED FROM CONVENTIONAL TO INTELLIGENT.

Mehmet Fatih POLAT

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

2023, 38 Pages

Jury

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Assist. Prof. Mehmet Numan KAYA

Assist. Prof. Sadık ATA

One of the most important inputs of the economy is energy. Centrifugal pumps are machines that give energy to fluids in general terms. Considering that approximately 20% of electricity consumption in the world and 10% in Turkey is realized by pumps, and 65% of asynchronous electric motors produced in the world are used in pumps, it is understood that pumps are important machines with high energy consumption. Due to their high energy consumption, they have a great impact on CO₂ emissions and climate changes. Apart from the energy consumption of the pumps, the costs of the problems they encounter are also high. Considering all these criteria, frequency converter has been used in order to prevent energy consumption due to by-pass valve and valve throttling in pumps that are required to operate at variable flow rates or in pumps that are not selected in accordance with the operating conditions and to minimize lifetime costs. Frequency converter is one of the equipments used in the smartening of the pump. Thanks to the converter, the desired operating cycles can be obtained, so the pump can be operated at high efficiency under different operating conditions. For this study, a vertical shaft three-stage centrifugal pump belonging to Sempa Pump company with 3000 rpm, 50 m³/h flow rate and 75 mss head was selected. In the study, the centrifugal pump was operated at different speeds with the help of frequency converter and it was determined that significant energy savings such as 6-10% were achieved.

Keywords: Centrifugal Pump, Energy Saving, Smart-Intelligent Pump, Variable Flow Systems.

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinde, araştırma aşamasında, bana yol gösteren, desteğini esirgemeyen değerli danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Ali KAHRAMAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Osman BABAYİĞİT'e, tez sürecinde tezime katkıda bulunan iş arkadaşım Mekatronik Mühendisi Emre Atay'a, Sempa Pompa A.Ş'ye, desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Fatih POLAT
KONYA-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Frekans Konvertörü	18
3.1.2. Sıcaklık Sensörleri	19
3.1.3. Basınç Sensörü.....	20
3.1.4. Titreşim Sensörü	20
3.1.5. Enerji Analizörü.....	21
3.1.6. Debimetre.....	22
3.1.7. Hidrofor Pompa	22
3.2. Deneysel Yöntem.....	23
3.2.1 Debinin Hesaplanması	23
3.2.2 Basma Yüksekliğinin Hesaplanması	24
3.2.3 Gücün Hesaplanması	24
3.2.4 Verimin Hesaplanması.....	24
3.2.5 Sıcaklığın Ölçülmesi.....	24
3.2.6 Titreşimin Ölçülmesi	25
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	32
5.1 Sonuçlar	32
5.2 Öneriler	32
6. KAYNAKLAR	33
7.EKLER	35
7.1 EK-1 (KONVANSİYONEL POMPA TEST RAPORU)	35
7.2 EK-2 (AKILLANDIRILMIŞ POMPA TEST RAPORU)	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Akım (Amper)
$\cos \varphi$	Güç faktörü
d	Rotor çapı (m, ft)
dp	Basma yüksekliği ve basınç (m,mss)
H	Toplam kayıp-kaçak.
Hg	Statik yükseklik (kot farkı),m
Hm	Basma yüksekliği, (m,mss)
n	Rotor hızı – dakikadaki devir sayısı – (rpm)
P	Güç (W)
Pd	Basma tankında bulunan basınç,
Ph	Hidrolik güç
Pm	Mil gücü
Ps	Emme tankında bulunan basınç,
Q	Hacimsel debi (m ³ /s)
V	Gerilim (Volt)
v	Akışkanın hızı, (m/s)
Vd	Basma tankında akışkanın hızı, m\
H	Verim
η_g	Genel verim
η_h	Hidrolik verim
η_k	Kaçak verimin
η_m	Mekanik verim

Kısaltmalar

MEI	Minimum Efficiency Index
-----	--------------------------

1. GİRİŞ

Santrifüj pompalar genel bir ifadeyle akışkanlara basma yüksekliği kazandıran makinalardır. Dünyada elektrik sarfiyatının %20'sinin santrifüj pompalarda kullanıldığı düşünülürse, ne kadar önemli ve gerekli makineler oldukları daha kolay anlaşılır. Pompalar, ısıtma ve su tesisatından, endüstrideki asit transferlerine; su çekmek için derin kuyularda kullanılan derin kuyu pompalarına, yangın söndürme tesisatında kullanılan yangın pompalarından özel otomasyon gerektiren tiplerine kadar çok farklı kullanım alanlarına sahiptirler. Yukarıda örneklendirilen pompaların kullanım alanlarını genel anlamda araştırdığımız zaman santrifüj pompaların kullanım sıklığını görebiliriz. Santrifüj pompaların çalışması, salyangoz gövdenin içerisinde bulunan çarkın akışkana merkezkaç kuvveti kazandırması ve bu sayede basınçlandırması prensibiyle çalışan pompa çeşididir. Çark gövdesinin ortasından içeri giren akışkan çarka bağlı kanatların yardımıyla döndürülerek yani merkezkaç kuvveti kazandırılarak pompa çıkışına doğru gönderilir (Polat, 2022).

Santrifüj pompa çeşitleri; akışkanın debisi, çarkın çapı, kanatların boyutları, kanat sayıları, salyangoza benzeyen gövdelerinin ölçüleri ve bunun gibi kriterlere bağlı olarak farklılaşmaktadır. Santrifüj pompanın kendi içerisinde çeşitlendiği diğer kriterler ise sızdırmazlığın nasıl sağlandığı ve pompanın hangi akışkanlar için üretildiğidir.

Tezin kapsamında yapılacak olan çalışma suyun iletilmesinde ve basınçlandırılmasında kullanılan düşey milli çok kademeli santrifüj pompalarda, akıllı pompa sistemleri tasarlamayı, üretmeyi ve test etmeyi kapsayan tez çalışması bütünüdür. Böylelikle pompaların enerji sarfiyatının önemli ölçüde azaltılması ve kestirimci bakım sayesinde ömürlerinin uzatılması ve yüksek katma değerli teknolojik ürünler olması öngörülmektedir. Enerji verimliliğini ön plana alarak veri odaklı inovasyon boyutu, erişilebilir ve birlikte uyum içinde çalışılabilen verilere yer vermesi nedeniyle AB Paris İklim Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Döngüsel Ekonomi Eylem Planı gibi önemli amaçlara da katkı sağlaması tezin özel amaçlarından birisidir.

Avrupa Birliği Paris vb. iklim anlaşmalarında bazı şartları şu şekilde benimseme stratejisi kararı almıştır; bu strateji ilk olarak sürdürülebilir yatırımın temellerini güçlendirecektir, bu stratejide Horizon Europe programı kapsamında mevcut olan tüm araçlar, ihtiyaç duyulan araştırma ve yenilik çabalarını destekleyecektir. Yeşil Mutabakat Görevi, iklim değişikliğine uyum, okyanuslar, şehirler ve toprak gibi alanlarda büyük ölçekli değişiklikler yapılmasına yardımcı olacaktır. Veri odaklı

inovasyonun merkezinde, erişilebilir ve birlikte uyum içinde çalışılabilen veriler yer alır. Dijital altyapı (ör. süper bilgisayarlar, bulut bilişim, ultra hızlı ağlar) ve yapay zekâ çözümleriyle birleştirilen bu veriler, kanıta dayalı kararları kolaylaştırır ve çevresel zorlukları anlama ve bunlarla mücadele etme kapasitesini genişletir (Birleşmiş Milletler Çevre emisyon açığı raporu 2019). Kurulan Komisyon, 2022 yılının mart ayına kadar, iklim eyleminde halkla etkileşime girmenin üç yoluna odaklanmak için bir Avrupa İklim Paktını başlatacaktır. Örneğin temiz pişirme için yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği, karbon emisyonunda gerekli azaltımı sağlamaktadır ve Afrika'daki enerjiye erişim açığını kapatmanın da kilit noktasındadır. AB, yaban hayatı korumak ve yerel nüfusa yeşil sektörlerde fırsatlar sunmak için korunan alanlar ağı oluşturarak biyoçeşitlilik kaybı ile mücadele etmek amacıyla “NaturAfrica” girişimini başlatacaktır.

Daha genel olarak, AB, yeşil ittifakların Afrika ve diğer paydaş ülkeler ve bölgelerle, özellikle Latin Amerika, Karayipler, Asya ve Pasifik'teki ilişkilerinin bir parçası olmasını sağlamak için diplomatik ve finansal araçlarını kullanacaktır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı, bu zorluklara bir cevap niteliğindedir. 2050 yılına kadar AB'yi net sera gazı emisyonlarının olmadığı ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıştırıldığı modern, kaynak açısından verimli ve rekabetçi bir ekonomiye sahip adil ve müreffeh bir topluma dönüştürmeyi amaçlayan yeni bir büyüme stratejisidir. AB doğal sermayesini koruyup geliştirirken, aynı zamanda vatandaşlarının sağlığını ve refahını çevre kaynaklı risk ve etkilerden korumayı da amaçlamaktadır. Bu geçiş adil ve kapsayıcı olmalıdır. Temiz enerji geçişi, tüketicileri sürece dahil etmeli ve onlara fayda sağlamalıdır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve karbon sera gazı etkisini azaltan, cihazların kullanılması önemli bir rolü olacaktır. Döngüsel ekonomi eylem planı tüm sektörlerin döngüsel ekonomiye rehberlik edecek; ancak özellikle tekstil, inşaat, elektronik ve plastik gibi kaynak-yoğun sektörlerle odaklanacaktır.

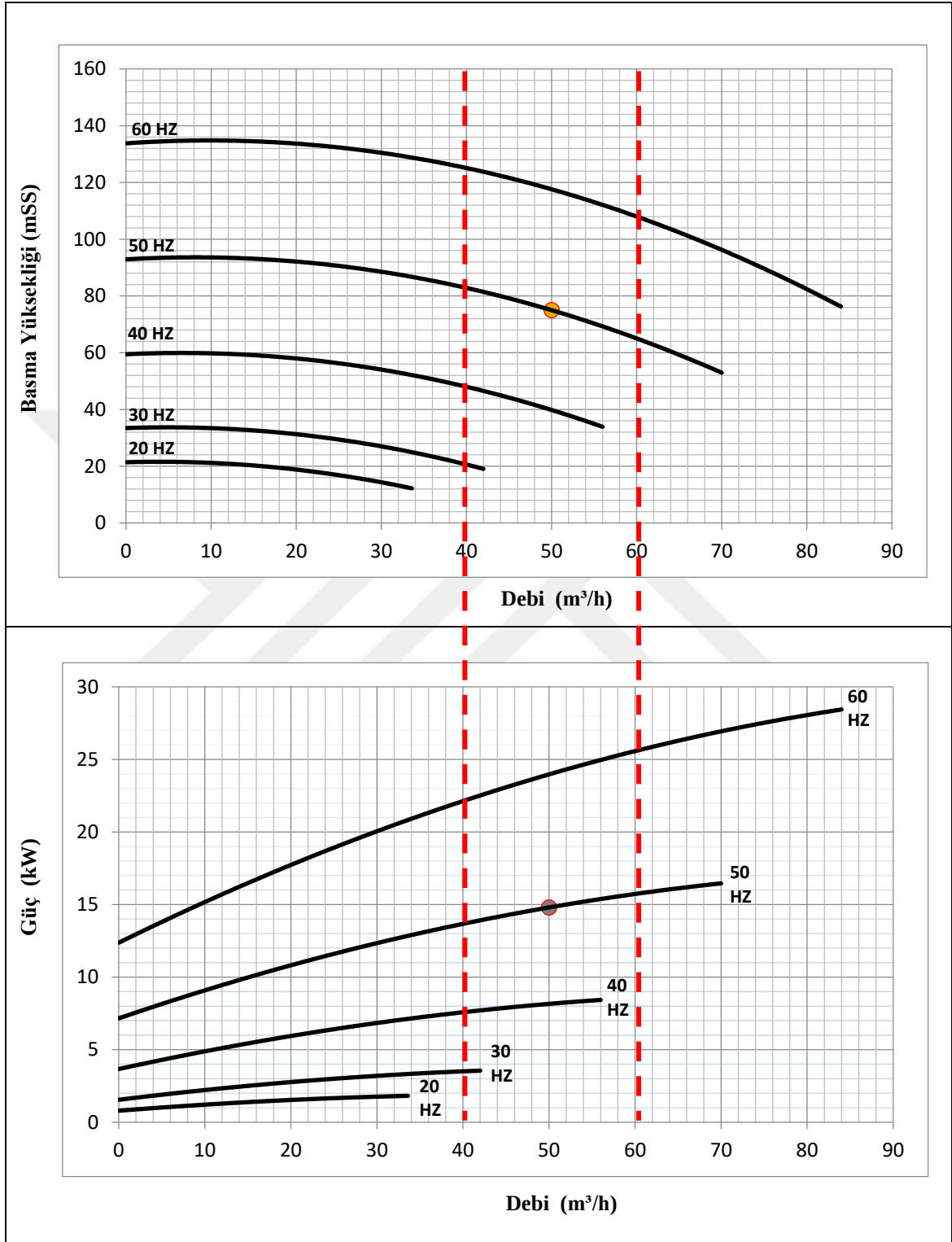
Döngüsel ekonomi eylem planı, aynı zamanda işletmelerin tüketicilere tekrar kullanılabilir, dayanıklı ve tamir edilebilir ürünler sunmasını ve tüketicilerin bu ürünleri seçmesini sağlayan, özendirici önlemler içerecektir. ‘Onarım hakkı’ ihtiyacını analiz edecek ve özellikle elektronik cihazlar için cihazların planlı olarak kendiliğinden eskimesini engelleyecektir. Tüketici politikası, tüketicileri bilinçli seçimler yapmaları için cesaretlendirir ve ekolojik dönüşümde aktif bir rol oynar. Kiralamaya, ürün ve servislerin paylaşılmasına dayanan yeni iş modelleri, gerçekten sürdürülebilir ve uygun fiyatlı oldukları sürece önemli bir rol oynayacaktır. Güvenilebilir, karşılaştırılabilir ve

doğrulanabilir bilgi, alıcıların daha sürdürülebilir kararlar almalarını sağlamada önemli bir rol oynar ve “yeşil badana” (greenwashing) riskini azaltır. Yeşil oldukları iddiasında bulunan şirketler, bu iddialarını, çevre üzerindeki etkilerini değerlendiren standart bir metodolojiye göre kanıtlamalıdır. Dijitalleşme, aynı zamanda AB’ye satılan ürünlerin özelliklerine ilişkin bilgilerin geçerliliği ve erişilebilirliğinin iyileştirilmesine yardımcı olacaktır.

Örneğin, elektronik ürün enerji bandı, pasaportu, ürünün menşei, içeriği, onarım ve söküm olanakları ve kullanım sonunda nasıl bertaraf edileceği ile ilgili bilgileri içerecektir. Buna paralel olarak, Komisyon 2020’de yenileme konusunda yeni bir girişim için paydaşlarla birlikte çalışmayı önermektedir. Bu, yapı ve inşaat sektörünü, mimarları, mühendisleri ve yerel yönetimleri yenileme engellerini ele almak için bir araya getiren açık bir platformu içerecektir. Bu girişim aynı zamanda “InvestEU”26 altında yenilikçi finansman şemalarını da içerecektir. Bunlar, konut derneklerini (housing associations) veya enerji performansı sözleşmeleri de dâhil olmak üzere yenileme çalışmaları yapabilecek enerji hizmeti şirketlerini hedefleyebilir.

AB’nin sera gazı emisyonlarının çeyreği ulaşımdan kaynaklanmakta ve giderek artmaktadır. İklim nötr olma hedefi için ulaşımdan kaynaklanan emisyonların 2050 yılına kadar %90 azalması gerekmektedir. İnşaat – makine- taşımacılığının tümü, azaltıma katkıda bulunmalıdır. Sürdürülebilir hizmeti gerçekleştirmek demek, tüketicileri ilk sıraya koymak ve onlara mevcut mobilite alışkanlıklarına göre daha uygun maliyetli, erişilebilir, daha sağlıklı ve daha temiz alternatifler sunmak anlamına gelir. Komisyon, 2020’de, sürdürülebilir ve akıllı sistemlerin hareketlilik için bu zorluğu aşacak ve tüm emisyon kaynaklarını ele alacak bir strateji benimseyecektir. Pompaların yüksek verimde çalışmasının temin edilmesi büyük bir katma değer sağlayarak ülkemizin uluslararası alandaki rekabet gücünü artırmasına katkı sağlamış olacaktır.

Aşağıda örnek bir pompanın H_m/Q ve kW/Q eğrileri verilmiştir (Şekil 1.1.) bu eğrilerde görüldüğü gibi frekans düşürüldüğünde harcanan enerji miktarı da düşmektedir. Buradan yola çıkılarak pompa en verimli noktalar arasında (iki kesik çizgi arası) çalıştırılması ve bu sayede enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir.



Şekil.1.1 Örnek Bir Pompanın Hm/Q ve kW/Q Eğrileri

Kavitasyon; santrifüj pompa içerisindeki akışkanın bulunduğu şartlardaki mutlak basıncının, aynı şartlardaki buharlaşma basıncının altına düşmesidir. Bu şartlarda akışkan içerisinde gaz kabarcıkları oluşur. Bu oluşan kabarcıklar basıncın, buharlaşma basıncından daha yüksek bölgeye geldiğinde şiddetle patlayarak pompada kullanılan metallerin yüzeyine zarar verir ve zamanla pompaların verimini düşürür. Dolayısıyla santrifüj pompalarda kavitasyon pompanın ömrünü kısaltır aynı zamanda gürültülü çalışmasına neden olur (Şenoğlu, 2019).

Pompa sistemlerindeki kabarcık sesi taşın çevresine çarptığı sese benzemektedir ve bu şekilde kavitasyon tespit edilebilmektedir. Aynı zamanda kavitasyon titreşim ve gürültülü sesle de tespit edilebilir. Kavitasyon pompa veriminin düşmesine neden olmaktadır (Bayram, 2019).

Suyun kaynama sıcaklığı ortamın basıncına göre değişmektedir. Basınç ve kaynama sıcaklığı doğru orantılıdır. Su, düşük basınçlarda düşük sıcaklıkta kaynayacağından dolayı emme basıncı düşecek ve bu da kavitasyon problemine sebep olacaktır (Bayram, 2019).

Kavitasyon problemini oluşturan etkenleri aşağıda görüleceği gibi sıralayabiliriz;

1. Rakımın yükselmesi, santrifüj pompalarda kavitasyonun oluşma riskini artırır.
2. Çark girişinde düşük basınç olması kavitasyon riskini artırır.
3. Çalışan pompanın ani bir şekilde durdurulması kavitasyon riskini artırır.
4. Giriş borusunda yük kayıplarının yüksek olması kavitasyon riskini artırır.
5. Akışkan içerisinde erimiş olarak bulunan havaların miktarı ne kadar artarsa kavitasyon riski de aynı oranda artar.
6. Akışkan sıcaklığının artması, buharlaşma basıncını da artıracığından kavitasyon riski de artar (Lobanoff, 2013) .

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Santrifüj pompaların kullanım alanlarının fazla ve maliyetlerinin azımsanamayacak seviyede olduğu için santrifüj pompalar ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda, santrifüj pompaların performansının geliştirilmesi üzerine odaklanılmış olduğu görülmüştür. Genel olarak santrifüj pompanın verimliliği ve akıllandırılması ile ilgili çalışmalar irdelenmiştir. Bu konuda yapılan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Çuha, (2017) konvertörlü sistemler için statik basma yüksekliğinin olmadığı, az olduğu ve değişken debiyle çalışma gerektiren sistemlerde, frekans kontrollü pompa sistemleriyle önemli ölçüde tasarruf sağlanabileceğini söylemiştir.

Karaca, (2012) pompaların verimli olabilmesi için, santrifüj pompaların kontrol yöntemlerinin enerji tasarrufuna etkisinin yanında pompa seçiminin doğru yapılmasının da enerjinin verimli kullanılması açısından önemli bir etken olduğunu belirtmiştir. Sistem için en uygun pompa seçildikten sonra yine sistem için en uygun ve en verimli kontrol yöntemi seçilmelidir. Basma yüksekliği ve debi değişikliği için vana kısma vb. kontrollere göre frekans konvertörüyle yapılan kontrolün yüksek ölçüde enerji tasarrufu sağladığı yapılan taramalarda görülmektedir.

Karaca, (2012) yüksek lisans tezinde enerji tasarrufu hakkında santrifüj pompa karakteristik eğrisine göre, üç benzer santrifüj pompanın sürekli olarak sabit 50 Hz frekansta ve paralel olarak çalıştığı kabul edilerek, belirlenen debi talepleri için, harcanan toplam güç çıkarılmaktadır. Edinilen sonuçlara göre, üç benzer pompanın sürekli olarak sabit 50 Hz’de çalıştığı durumda toplam güç, 14,7 ton /h debi için 1,56 kW, 19,7 ton/h debi için 1,65 kW ve 24,6 ton /h debi için 1,77 kW olarak ortaya çıkmaktadır. Pompa karakteristik eğrisine göre, 3 pompanın sürekli ve sabit çalışma koşuluyla sistem ihtiyacına göre çalışacak değişken devirli pompa kullanılması durumu karşılaştırılmaktadır. Sistemin ihtiyacını karşılayacak en az pompa kullanılması ve 72 eşit frekansta pompaların çalıştırılmaları ile 14,7 ton /h debi için %70, 19,7 ton /h debi için %42 ve 24,6 ton/h debi için %8,5 güç tasarrufu yapılmaktadır demiştir.

Bayram, (2019) yüksek lisans tezinde enerji tasarrufu ve çevre kirliliğini incelemiştir. Yüksek lisans tezinde enerji tasarrufunun mali katkısının yanı sıra CO2 emisyonunun verdiği zararın azaltılması üzerine durmuştur ve yatırımların bu yönde olması gerektiğinin önemini vurgulamıştır.

Şenol, (2017) santrifüj pompalarda gereğinden büyük seçilmiş veya değişken debi kullanılan sistemlerde debi değiştirme by-pass hattı kullanımı, vana kısma ve devir kontrolü uygulamalarından en verimlisi devir-frekans kontrolüdür.

Yumurtacı, (2011) makalesinde 2008 yılı EİEİ raporlarından aldığı bilgilere göre ülkemizin toplam kurulu gücünü, toplam elektrik üretimini, elektrik enerjisi tüketimini ve tüketilen bu enerjinin yüzde 20' sinin pompalarda tüketildiğini açıklamış ve bahsedilen yöntemler ile pompalarda tüketilen enerjinin yüzde 30' unun tasarruf edilmesi durumunda ise yıllık tasarruf miktarının 2,16 milyar TL olacağını bildirmiştir.

Sharma vd. (2020) makalelerinde bir IoT uygulaması olarak Arduino tabanlı akıllı su yönetim sisteminin tasarımını önermektedirler. Bu tasarımda kullanılamayan yağmur sularının depolanmasını ve sensörler aracılığıyla akıllı bir sistem kullanıp pompayı toprağın ihtiyacı kadar çalıştırarak enerji tasarrufu yapmayı hedeflemişlerdir. Aynı zamanda IoT teknolojisini kullanarak kullanıcıya bir uygulama ile anlık bilgileri vermektedirler.

Samanipour vd. (2017) araştırma makalelerinde pompalardaki en yaygın arızalardan biri, pompada mekanik arızalara neden olabilen kavitasyonun üzerinde durmuşlardır. Ve kavitasyonun tespiti için kullanılan yöntemleri karşılaştırmışlardır. Ayrıca bu yazıda, bir elektro-pompada kavitasyonu tespit etmek için basit bir yüksek hassasiyetli yöntem sunulmaktadır. Bu yöntemde bir kalıntı tanımlanır ve kalıntının en önemli özelliği bozulmalara karşı sağlamlığıdır. Bu yöntem titreşim vb. sensörler gerektirmez ve basınç sensörü ile uygulanabilir.

Dutta vd. (2018) araştırmalarında santrifüj pompalarda kavitasyon probleminin makine öğrenimi kullanılarak tespit edilmesi üzerinde durmuşlardır. Ve kullanılan yapay sinir ağ modellerinden bahsetmişlerdir. Pompa herhangi bir hızda dönebilir. Ancak Her Pompanın bir nominal hızı vardır. Yani bu hızın ötesinde hız arttırılabilirse Debi yüksek olacak ve vakum oluşacaktır. Bu nedenle hava kabarcıkları oluşacak ve kavitasyon oluşacaktır. Bu nedenle kavitasyonu önlemek için esas olarak hız düşürülmeli, ardından akış hızı da azaltılacak ve kavitasyon önlenecektir. Hız, pompanın basıncına, debisine ve basma yüksekliği değerine bağlıdır. Kavitasyon, boru hattında kabarcık oluşumunu artıran ve pompanın verimliliğini azaltan pompalama sistemindeki en büyük dezavantajlardan biridir. Bu nedenle tespit edilip önlem alınmalıdır. Makine Öğrenimi, pompalama sistemindeki herhangi bir hatayı kolayca tespit edebilen hızlı ve hesaplamalı bir yöntemdir. Halen pompalama sistemindeki bir arızanın tespiti için pek çok çalışma

yapılmıştır, ancak bu çalışmalar esas olarak titreşim ayrıntılarına ve hız değişimine dayalı olarak yapılmıştır. Makale, hız ve basınç kavitasyonunu değiştirerek makine öğrenme algoritması yardımıyla nasıl tanımlanabileceğini sunmaktadır. Titreşim ve hızın birlikte kavitasyon sonucunu nasıl etkilediği ile hız ve basınç değişiminin kavitasyonu nasıl etkilediği arasındaki karşılaştırmalı çalışmadır.

Arslan ve Sahib, (2016) Yaptıkları çalışmada sabit frekans testlerinde bulunan düşük sistem verimi, kullanılan pompa ve hidrolik sistemin küçük basınçlı çalışmalar için uygun olmadığını göstermişlerdir. Sabit basınç testlerine göre, DHS'nin sistem verimi (%26-29.1), by-pass vanasından (%21,3-25.5) daha yüksektir. Sonuç olarak, DHS enerji yönüyle en etkin yöntemdir ve küçük debili sistemlerde önemli oranda enerji kazancı sağlayabilmektedir.

İskender, (2017) elektrikli Su Pompalarının Enerji Verimlilik İzleme Cihazının Tasarımı ve Prototip Yapımı TÜBİTAK projesinde Modüler gömülü elektronik bir cihaz geliştirilmiş sensörler aracılığıyla elektrikli su pompa sistemlerinde enerji verimliliğinin izlenmesini sağlamışlardır.

Yegül vd. (2019) araştırma makalelerinde geliştirdikleri matematiksel eşitliklerle elektrik motorunun devir sayısı ve yükleme oranı değerleri kullanılarak anlık devir sayısı hesaplanabildiğini açıklamışlardır.

Sengupta vd. (2019) yaptıkları projede Akıllı telefonlarla yapılabilecek su pompalarını kontrol etmek için bir teknoloji geliştirmeyi amaçlıyor. NodeMCU ve Wi-Fi router gibi bir mikro denetleyici yardımıyla su pompasının çalışmasının kontrol edilebildiği bir model görevi gören Android tabanlı bir uygulama yapılmıştır. Proje, gerekli ekipmanlar arasındaki bağlantıları kısaca göstermektedir. Öneri, uygulamada su ve elektrik israfını önlemeye yardımcı olabilir. Ayrıca diğer modellerde olmayan normalde ne kadar elektrik tüketildiğini de fark etmemizi sağlamaktadır. Herhangi bir tankta veya yer altında bulunan su miktarını bulmak zor bir iştir. Halihazırda piyasada bulunan sistemlerin çoğu, genellikle uzun vadede baş ağrısına neden olabilecek daldırma elektrotlar veya şamandıralı anahtarlar kullanır. Arduino yardımıyla ultrasonik modül kullanarak su seviyesini bulmanın farklı bir yolunu sunuyoruz. Yöntem temassız olduğu için elektrotlarla ilgili çeşitli sorunlar, örneğin korozyon bu sistemi etkilemeyecektir, Ayrıca, bu Arduino su seviye göstergesinin kurulumu normal sistemlere göre çok daha kolaydır.

Padalalu vd. (2017) projelerinde su kıtlığının tarımda büyük bir sorun olmasından yola çıkarak PH, nem ve sıcaklık sensörlerinden faydalanarak su ihtiyacını

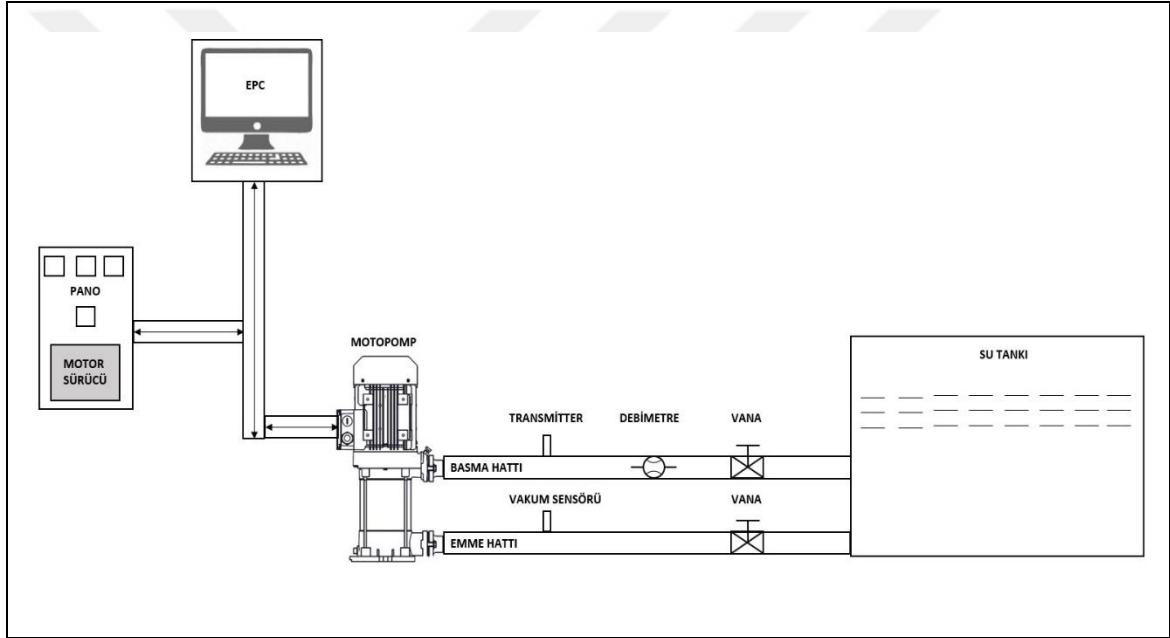
gösteren, toprağın ve mahsulün türüne bağlı olarak, veri tabanında Naive Bayes algoritması uygulanarak gübreler öneren, şiddetli bir yağış tahmin edilirse, mahsullere verilen suyu otomatik olarak azaltan Arduino tabanlı bir tarımsal sulama sistemi geliştirmişlerdir. Aynı zamanda Android tabanlı bir uygulama geliştirerek uzaktan açma – kapama yapabilen ve sulama ihtiyacını gösteren özellikleri de içermektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasında, Sempa Pompa AŞ’de tasarlanan ve üretilen ARS 50-03 22 kW 3000 d/d isimli dik milli çok kademeli santrifüj pompanın konvansiyonel ve akıllandırılmış pompa olarak performans kriterleri ve verimlilik değişimleri TS EN ISO 9906 ve TS EN ISO 9908 standartlarına uygun olarak kurulan deney hattında (Şekil 3.1.) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kestirimci bakıma katkı sağlaması beklenen; kavitasyon durumu, rulman sıcaklıkları vb. durumlarda akıllandırılmış pompa üzerinde okunan değerler karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında gerekli olan materyaller ve kullanımları aşağıda detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Konvansiyonel ve akıllandırılmış santrifüj pompa testinin yapılacağı test merkezi.

3.1.1. Frekans Konvertörü

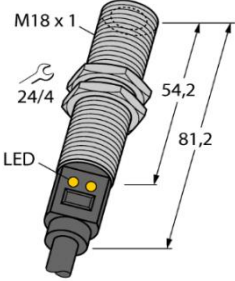
Frekans konvertörü pompanın istenilen aralıkta çalıştırılması için kullanılacaktır. Bu sayede pompa gereğinden fazla enerji harcamayacak ve by-pass hattı, kısma vanası gibi yöntemlerin kullanılmasına ihtiyaç kalmayacaktır. Frekans konvertörü 10-50 Hz arası frekanslarda çalıştırılmış ve performans kriterleri ölçülmüştür. Deney hattında kullanılan frekans konvertörü görüntüsü ve teknik özellikleri aşağıda (Şekil 3.1.1.) verilmiştir.

	Programlanabilir kontrol bağlantıları	
	İki analog giriş	0 (2) - 10 V, $R_{in} > 312 \text{ kohm}$ tek uçlu
	Gerilim sinyali	0 (4) - 20 mA, $R_{in} = 100 \text{ ohm}$ tek uçlu
	Akım sinyali	Potansiyometre
	Maksimum gecikme zamanı	Maksimum 10 V $\pm$ %2 10 mA, $R < 10 \text{ kohm}$
	Çözünürlük	12 - 32 msn
	Hassasiyet	% 0,1
	İki analog çıkış	$\pm$ %1
	Hassasiyet	0 (4) - 20 mA, yük $< 500 \text{ ohm}$
	Yardımcı gerilim	$\pm$ %3
	Altı dijital giriş	24 V DC $\pm$ %10, maksimum 250 mA
	Giriş empedansı	12 - 24 V DC dahili veya harici güç kaynaklı, PNP ve NPN
	Maksimum gecikme zamanı	2,4 kohm
	Üç röle çıkışı	5 msn $\pm$ 1 msn
	Maksimum anahtarlama gerilimi	250 V AC/30 V DC
	Maksimum anahtarlama akımı	6 A/30 V DC; 1500 V A/230 V AC
	Maksimum sürekli akım	2 A rms
	Seri haberleşme	
	RS 485	Modbus protokolü

Şekil 3.1.1. ABB ACS550-01 Frekans konvertörü (Kaynak: <https://new.abb.com/products/tr>).

3.1.2. Sıcaklık Sensörü

Sıcaklık sensörü sisteme yüklenen rulman sıcaklık değerleri arasında değilse sisteme uyarı vermesi ve sistemin zarar görmesini engellemek için kullanılacaktır. Rulman çalışma sıcaklığı maksimum 120°C olacak şekilde ayarlanacak ve rulman sıcaklığı 120°C ölçüldüğü zaman sisteme uyarı gönderecektir. Kullanılan sensörün detayları Şekil 3.1.2.'de gösterilmiştir.

	Ölçüm aralığı	-50...150 °C
	Daldırma derinliği (L)	16 mm
	İşlem bağlantısı	G 1/2" erkek diş
	Çalışma gerilimi	17...33 VDC
	Electrical output	Switching output, Akım çıkışı (3 telli), Gerilim çıkışı (3 telli), IO-Link
	Gerilim çıkışı	0...10 V
	Akım çıkışı	4...20 mA
	İletişim protokolü	IO-Link

Şekil 3.1.2. Pasif kızılötesi sıcaklık sensörü (Kaynak: <https://www.turck.com.tr/>).

3.1.3. Basınç Sensörü

Basınç sensörleri sistemin basıncını ölçmek ve kestirimci bakıma yardımcı olmak için kullanılacaktır. Sisteme doymuş su – sıcaklık ve doymuş su – basınç tabloları yüklenir. Su sıcaklık ve basınç sensörleri (Şekil 3.1.3.) anlık olarak bu bilgileri sisteme gönderir. Alınan bu anlık değerler tablolarla kıyaslanır ve kavitasyon tespit edilir. Ayrıca bu iki sensörden yararlanarak; basınç farkına göre sabit çalışma, basınç farkına göre değişken çalışma ve sıcaklık farkına göre çalışma modları eklenecektir.

	Akışkan sıcaklık aralığı [°C] [Maks.]	125 °C
	Akışkan sıcaklık aralığı [°C] [Min.]	-40 °C
	Doğruluk, maks. +/- FS [%]	1 %
	Doğruluk, tipik +/- FS [%]	0.5 %
	Doğrusalsızlık BFSL ±FS [%]	0.2 %
	Basınç aralığı [bar] [Maks.]	16 bar
	Basınç aralığı [bar] [Min.]	0 bar

Şekil 3.1.3. DANFOSS 0-16 bar basınç transmitteri

(Kaynak: <https://store.danfoss.com/en/Sensing-Solutions/>).

3.1.4. Titreşim Sensörü

Titreşim sensörü sistemdeki titreşimi ölçmek ve kestirimci bakıma yardımcı olmak için kullanılacaktır. Akıllandırılmış pompa sistemine, titreşim şiddetine göre makinaların durumunu gösteren çizelge (ISO 10816) (Çizelge 3.1.4) yüklenir. Eğer sensör ile ölçülen değer aralıklar dışına çıkarsa pompada oluşabilecek problemleri tespit edecek ve daha büyük problemlere yol açmadan arızayı kullanıcıya bildirecektir. Ayrıca kavitasyonun tespitine de yardımcı olacaktır. Sistemde kullanılan titreşim sensörü (Şekil 3.1.4.) de gösterilmiş ve özelliklerinden bahsedilmiştir.

Tablo 3.1.4. ISO 10816'ya göre, titreşimlerin şiddetlerine göre makinaların durumu (Kaynak: Saygılı Rulman).

Makine Sınıfı	Ölçülen Titreşim Değerleri (mm/sn)			
	İyi	Orta	Kötü	Tehlikeli
Sınıf1	0-0.7	0.7-1.8	1.8-4.5	>4.5
Sınıf2	0-1.1	1.1-2.8	2.8-7.1	>7.1
Sınıf3	0-1.8	1.8-4.5	4.5-11	>11
Sınıf4	0-2.8	2.8-7.1	7.1-18	>18

Sınıf 1: 20 Hp'den küçük motor,

Sınıf 2: 20-100 Hp arası esnek ve 400 Hp'ye kadar sabit bağlantılı makine,

Sınıf 3: Sabit bağlantılı büyük makine,

Sınıf 4: Esnek bağlantılı büyük makine.

Bu tablo 599-11999 d/d çalışma aralığında geçerlidir.

Tez çalışmasında kullanılan pompamız 22 kW yani yaklaşık 30 Hp olduğundan

Sınıf 2'ye göre değerlendirilecektir.

	Çıkış	Analog: 4-20mA
	Ölçüm Aralığı	0-50 mm/sn
	Besleme Gerilimi	15-30 Vdc
	Çalışma Sıcaklık Aralığı	-25°C ile 90°C
	Mekanik Montaj Bağlantısı	M8 x 1.25mm Erkek
	Kablo Boyu / Tipi	5 metre / Zırlı Kablo

Şekil 3.1.4. Titreşim sensörü (Kaynak: <https://imbelectric.com/product/>).

3.1.5. Enerji Analizörü

Enerji analizörü elektrik enerjisini sürekli analiz ederek çekilen amperin ani olarak yükselmesi veya düşmesi durumunda pompa tıkanma durumunu kontrol edecek ve bu tıkanıklığı gidermeye yardımcı olacaktır. Sistemde kullanılan enerji analizörü ekran görüntüleri Şekil 3.1.5. de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.5. Enerji analizörü.

3.1.6. Debimetre

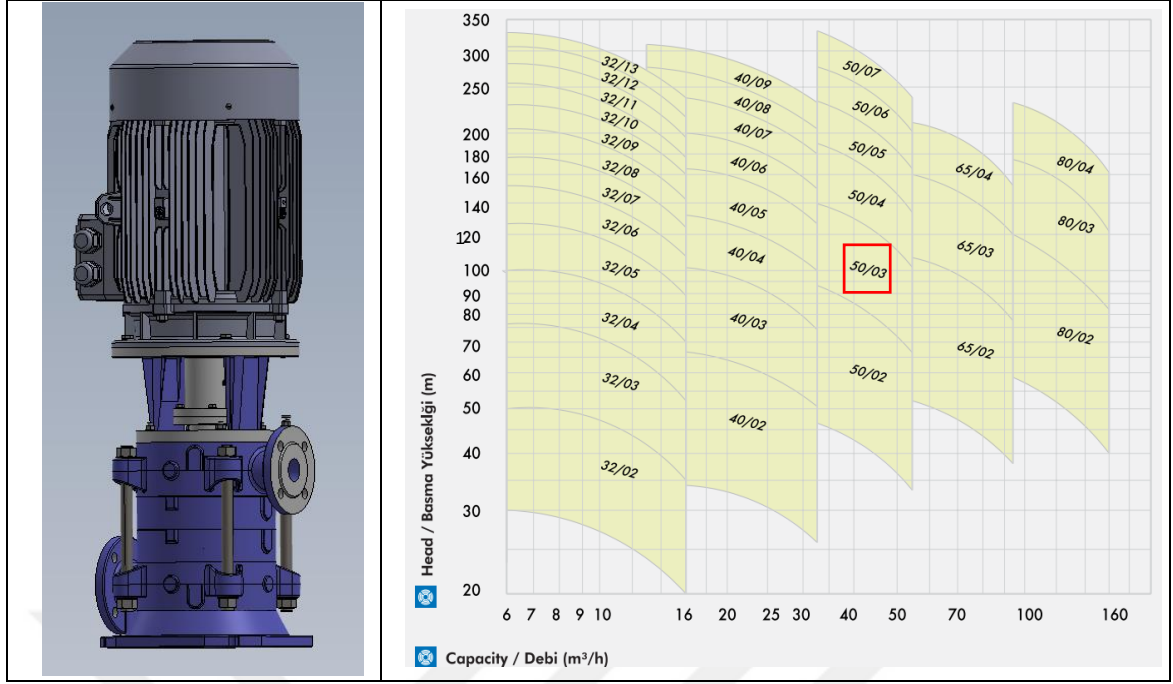
Debimetre, tesisat üzerinden birim zamanda geçen sıvı veya hava miktarını ölçen cihazlardır. Deneyimizde başlangıç olarak konvansiyonel pompanın performans kriterlerini ölçmede ve akıllandırılmış pompanın ise doğruluğunu test etmede kullanılmıştır. Sistemde kullanılan debimetre Şekil 3.1.6. da gösterilmiştir.

	<table> <tr> <td>Giriş / çıkış</td><td>1 akım çıkışı, 1 dijital çıkış, 1 röle çıkışı</td></tr> <tr> <td>İletişim</td><td>HART</td></tr> <tr> <td>Ekran</td><td>Alfanümerik metin ile arka plan aydınlatması, 3 x 20 karakter</td></tr> <tr> <td>Muhafaza</td><td>IP67 (NEMA 4x/6), IP20 (NEMA 2)</td></tr> <tr> <td>Güç kaynağı</td><td>12-24 V a.c./d.c.</td></tr> <tr> <td>"</td><td>115-230 V a.c.</td></tr> <tr> <td>Eski onaylar</td><td>FM/CSA Sınıf 1, Bölüm 2</td></tr> </table>	Giriş / çıkış	1 akım çıkışı, 1 dijital çıkış, 1 röle çıkışı	İletişim	HART	Ekran	Alfanümerik metin ile arka plan aydınlatması, 3 x 20 karakter	Muhafaza	IP67 (NEMA 4x/6), IP20 (NEMA 2)	Güç kaynağı	12-24 V a.c./d.c.	"	115-230 V a.c.	Eski onaylar	FM/CSA Sınıf 1, Bölüm 2
Giriş / çıkış	1 akım çıkışı, 1 dijital çıkış, 1 röle çıkışı														
İletişim	HART														
Ekran	Alfanümerik metin ile arka plan aydınlatması, 3 x 20 karakter														
Muhafaza	IP67 (NEMA 4x/6), IP20 (NEMA 2)														
Güç kaynağı	12-24 V a.c./d.c.														
"	115-230 V a.c.														
Eski onaylar	FM/CSA Sınıf 1, Bölüm 2														

Şekil 3.1.6. SIEMENS MAG 5000 Debimetre (Kaynak: <https://mall.industry.siemens.com>).

3.1.7. Hidrofor Pompa

Konvansiyonel ve akıllandırılmış pompa deneyleri için, Sempa Pompa AŞ'de tasarlanan ve üretilen ARS-D 50-03 22 kW 3000 d/d isimli dik milli çok kademeli santrifüj pompa (Şekil 3.1.7.) kullanılmıştır.



Şekil 3.1.7. Tez çalışmasında kullanılacak olan pompa.

3.2. Deneysel Yöntem

Deneysel yöntemde yapılacak olan çalışmalar; mevcut pompanın ve akıllandırılmış pompanın performans testlerinin yapılması ve karşılaştırılması aşamalarından oluşmaktadır. Bu çalışmalar esnasında incelenen parametreler; debi, basma yüksekliği, güç, verim, sıcaklık ve titreşimdir. Belirlenen bu parametreler firmada oluşturulan deney seti kullanılarak yapılmıştır. Bu deney setinde yapılan çalışmalarda debi, basınç, elektrik tüketimi, sıcaklık ve titreşim değerleri deney setinde ilgili noktalara yerleştirilen sensör ve ölçüm cihazları yardımıyla tespit edilmiştir. Elde edilen çıktılar yardımıyla pompalara ait temel karakteristik özellikler (debi, basma yüksekliği, güç, verim, kavitasyon durumu) hesaplanarak mevcut pompa ile proje kapsamında elde edilen pompa karşılaştırmaları yapılmıştır. Konvansiyonel ve akıllandırılmış pompa deneme sonuçları EK-1 ve EK-2 olarak tez sonuna eklenmiştir.

3.2.1. Debinin Hesaplanması

Hacimsel debi, santrifüj pompalarda basılan sıvının akım oranı olup genellikle m^3/h birimiyle ölçülür ve pompalama esnasında meydana gelen değişimlere göre değişkendir. Debi, test-deney merkezimizde debimetre yardımıyla ölçülmüştür.

3.2.2 Basma Yüksekliğinin Hesaplanması

Pompaya istenilen debide istenilen noktaya getirmesi için akışkana verilmesi gereken basınçtır. Sistemde bulunan basma yüksekliği "H_m" aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$H_m = H_{geo} + \frac{P_d - P_s}{\rho \cdot g} + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + \sum H \quad (1)$$

3.2.3 Gücün Hesaplanması

Elektrik motorlarının birim saniyede yaptıkları işe güç denir. Deney hattımızda, ölçülen gerilim, akım ve güç faktörü (cos φ) değerleri otomatik olarak ölçülür. Bu değerler kullanılarak şebeke gücü (P_s) ve pompa mil gücü (P_m) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$P_s = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi = \text{Şebeke Gücü} \quad (2)$$

$$P_m = P_s \cdot \text{Motor Verimliliği} = \text{Mil Gücü} \quad (3)$$

$$P_h = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m}{100} = \text{Hidrolik Güç} \quad (4)$$

3.2.4 Verimin Hesaplanması

Hidrolik verim veya genel verimin hesaplanabilmesi için öncelikle hidrolik güç ve mil gücü yukarıdaki gibi hesaplanmıştır. Bu değerler hesaplandıktan sonra pompa için hidrolik verim değerleri aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır (Babayigit, 2017).

$$\eta_g = \eta_h \cdot \eta_k \cdot \eta_m = \frac{P_h}{P_m} \quad (5)$$

3.2.5 Sıcaklığın Ölçülmesi

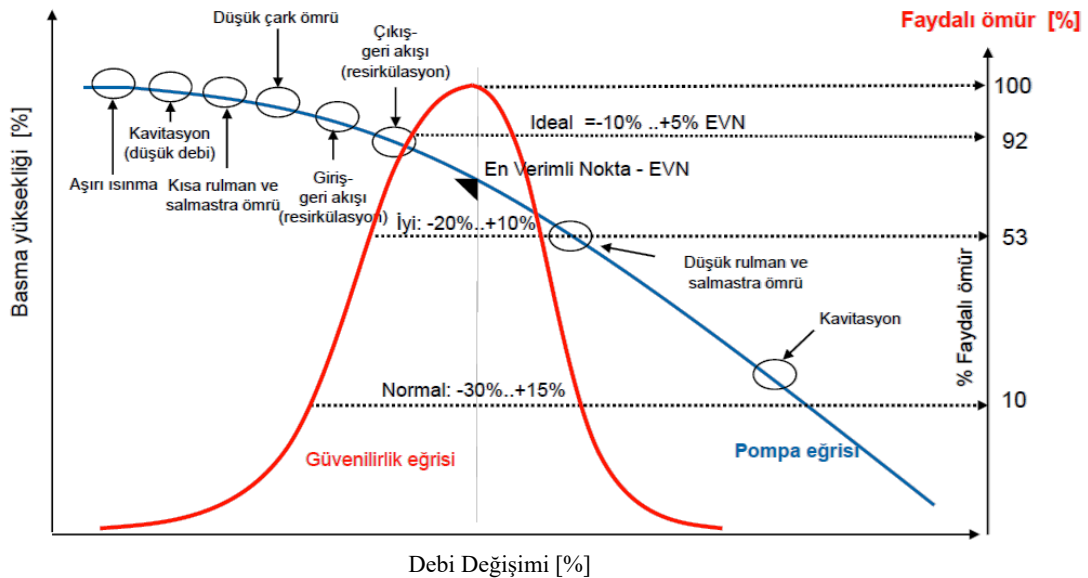
Santrifüj pompalarda kullanılan rulmanların bakımlarının zamanında yapılması gerekmektedir. Uyarılanacak sisteme çalışma saatine göre bakım hatırlatması, sıcaklık sensörüyle ısındığını ön görüp sisteme müdahale edebilmesi ve ömür hesaplarının tutulup ömürleri dolduğunda değiştirilmesi için uyarı vermesi ve santrifüj pompanın kullanım ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. Deney merkezimizde infrared termometre

ile manuel olarak rulman sıcaklıkları ölçülmüş ve otomatik olarak sistem tarafından okunan değerler kıyaslanmıştır. Bu sayede sistem doğruluğu kontrol edilmiştir.

Ayrıca ARS-D 50-03 pompasında kullanılan 6310 ZZ rulmanı için ömür hesabı sonucu yaklaşık olarak 27400 saat olarak bulunmuştur. Hesap sonucu sisteme yüklenilmiş ve kestirimci bakım çalışmalarında kullanılabilecektir.

3.2.6 Titreşimin Ölçülmesi

Santrifüj pompaların karşılaştıkları en büyük problemlerden biri de kavitasyon problemidir. Pompalar kavitasyona girdiklerinde veya girmeden önce titreşim sensörü ve basınç transmitterlerinden aldığı bilgileri deney hattında titreşim sensörüyle ölçülen değerlerle karşılaştırarak; kavitasyonun ve diğer arızaların önüne geçilmesi ve pompa elemanlarının zarar görmesini engellemek hedeflenmiştir. Deney hattında ölçülen ve akıllandırılmış pompadan gelen değerler karşılaştırılmış doğruluğu kontrol edilmiştir. Ayrıca konvansiyonel pompa deney istasyonunda Şekil 3.2.6. da görülen noktalarda çalıştırılmış ve kavitasyona karşı gösterdiği tepkiler kontrol edilmiştir. Bu değerlere ve kıyaslamalara sonuç bölümünde yer verilmiştir.



Şekil 3.2.6. Kaviteasyon bölgeleri (Kaynak: Predicting Maintenance Costs Accurately, Pumps & Systems).

Kestirimci bakıma etkisi Şekil 3.2.6. üzerinden incelendiğinde pompaya karşı bir direnç (kısmı vanası, vb.) uygulanırsa pompa kaviteasyon bölgelerinde çalışacaktır. Bunun yerine frekans değiştirildiğinde pompa hala normal bölgede çalışmaya devam edecek kaviteasyon, düşük rulman ömrü vb. problemlerin önüne geçecektir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

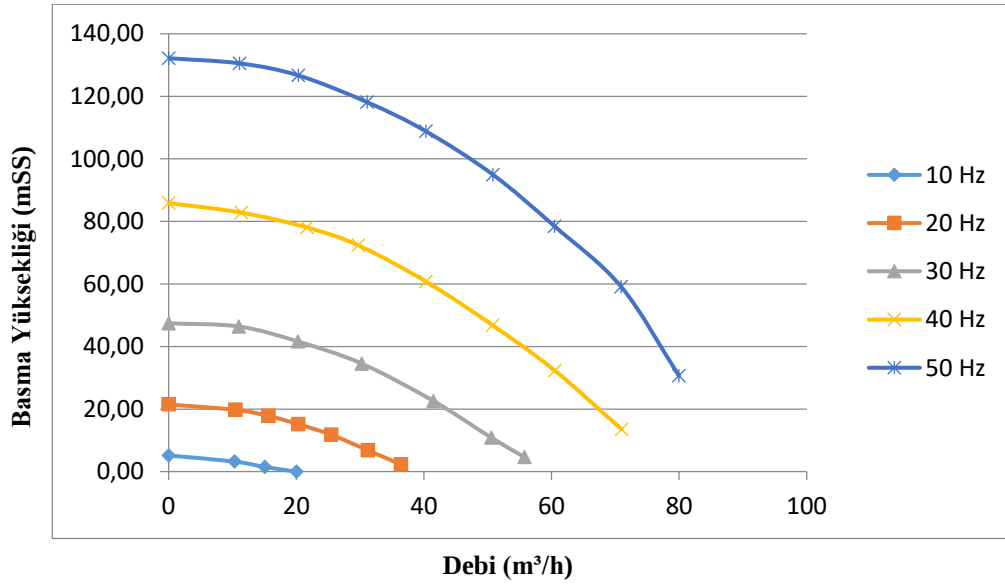
Bu tez çalışmasında; çalışma noktası 50 m³/h debi, 75 mSS basma yüksekliği ve 3000 d/d devir olan pompa seçilmiştir. Pompa tasarım şartları için çalışma frekans değeri 50 Hz olarak tespit edilmiştir ve mevcut durumda pompa sabit frekansta çalışmaktadır. Çalışma kapsamında pompaya frekans konvertörü dahil edilerek 5 farklı frekansta pompa çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında ölçülen Ek -2 de ve ölçümler sonucunda hesaplanan bazı değerler Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler yardımı ile farklı frekanslarda çalışan pompanın karakteristik eğrileri elde edilerek Şekil 4.1. – Şekil 4.4. arasında gösterilmiştir.



Tablo 4.1. Farklı frekanslarda ölçülen titreşim ve sıcaklık değerleri.

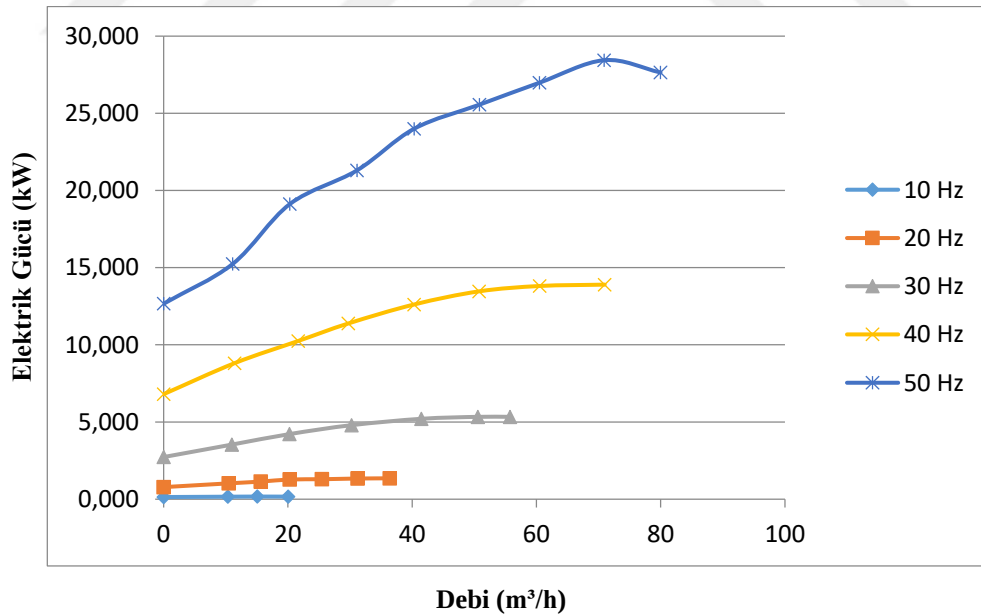
Debi	Basma Yüksekliği	Devir	Sıcaklık	Titreşim	Genel Verim	Frekans
m ³ /h	m	d/d	°C	m/s ²	%	Hz
10,34	3,23	595	60,000	2,0	56,867	10
15,08	1,49		60,000	1,8	36,190	
20,05	0,00		60,000	2,0	0,000	
10,49	19,76	1190	60,000	2,5	55,500	20
15,65	17,82		60,000	2,2	67,043	
20,31	15,19		60,000	2,0	66,293	
25,49	11,80		60,000	2,2	63,661	
31,22	6,84		60,000	3,0	43,718	
36,41	2,31		60,000	7,1	17,031	
10,98	46,39	1773	60,000	2,5	39,246	30
20,24	41,61		60,000	2,2	54,454	
30,24	34,54		60,000	2,0	59,400	
41,49	22,59		60,000	2,2	49,089	
50,56	10,87		60,000	3,0	28,105	
55,75	4,66		60,000	7,1	13,286	
11,4	82,81	2377	60,000	3,0	29,213	40
21,67	78,06		60,000	2,5	44,982	
29,72	72,36		60,000	2,4	51,493	
40,32	60,77		60,000	2,3	52,940	
50,78	46,79		60,000	2,4	48,093	
60,52	32,30		60,000	3,0	38,578	
70,98	13,54		60,000	7,1	18,846	
11,1	130,54	2964	60,000	3,3	29,130	50
20,31	126,68		60,000	2,6	44,250	
31,11	118,11		60,000	2,6	52,300	
40,32	108,81		60,000	2,6	57,410	
50,82	94,94		60,000	2,6	55,800	
60,49	78,41		60,000	3,0	53,400	
70,91	59,13		60,000	4,0	47,200	
79,97	30,67		60,000	5,2	34,590	

Örneğin Tablo 4.1. incelendiğinde debi ihtiyacının 30 m³/h olduğu bir durumda 40 Hz ve 30 Hz frekans değerlerinde pompa basma yüksekliği ve pompa genel verim değerleri yaklaşık sırasıyla 72 / 34 mSS ve % 51 / 59 civarındadır. Böyle bir durumda frekans düşürüldüğünde basma yüksekliği yeterli ise pompa 30 Hz frekansta çalışacak ve enerji verimliliği sağlanacaktır.



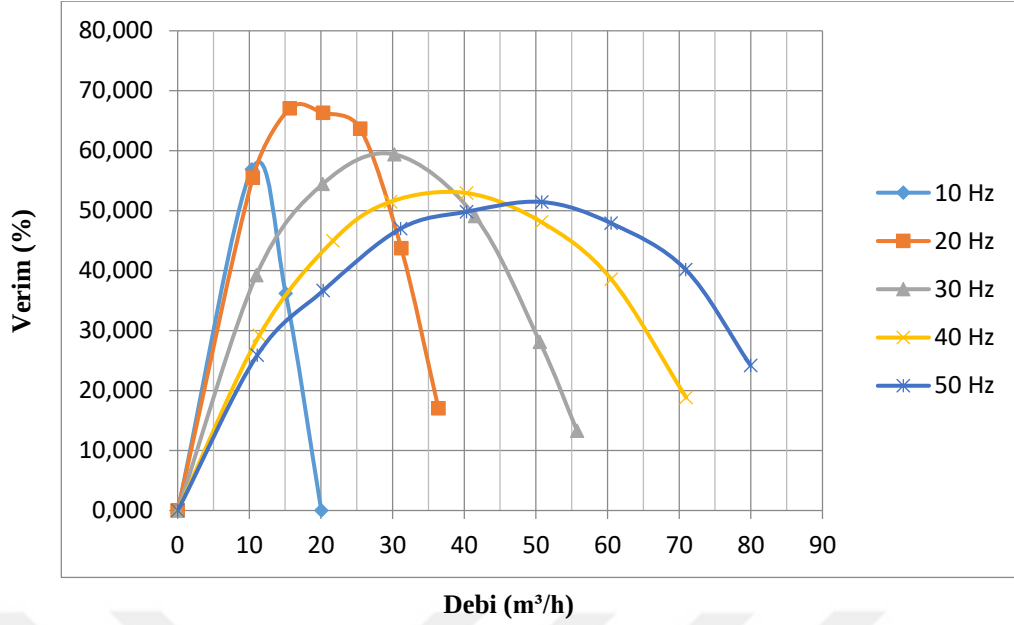
Şekil 4.1. Farklı frekanslarda debi-basma yüksekliği eğrileri.

Şekil 4.1.'de bulunan eğriler 0-50 Hz arası beş farklı frekansta (10Hz - 20Hz - 30Hz - 40Hz - 50Hz) ölçülen akıllandırılmış pompanın debi-basma yüksekliğine ait eğrileridir. Aynı zamanda 50 Hz akıllandırılmış pompa ve konvansiyonel pompanın performans eğrilerinde bir değişiklik tespit edilmemiştir.



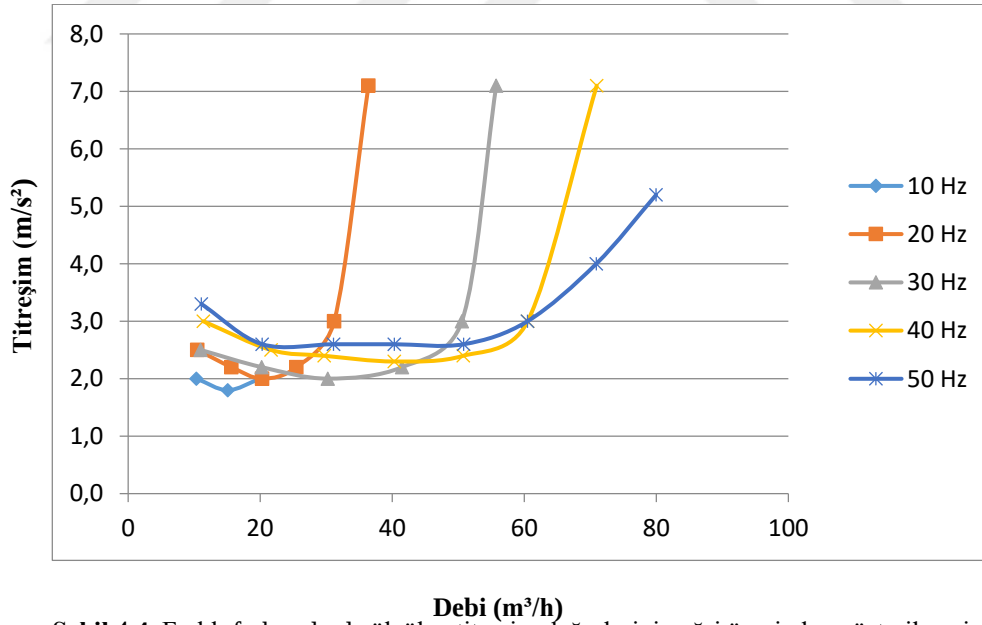
Şekil 4.2. Farklı frekanslarda debi-elektrik gücü eğrileri.

Şekil 4.2.'de bulunan eğriler 0-50 Hz arası beş farklı frekansta (10Hz - 20Hz - 30Hz - 40Hz - 50Hz) ölçülen akıllandırılmış pompanın debi-elektrik gücüne ait eğrileridir. Yapılan incelemeler sonucu elektrik tüketimlerinin azımsanamayacak şekilde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı frekanslarda debi-verim eğrileri.

Şekil 4.3.'te bulunan eğriler 0-50 Hz arası beş farklı frekansta (10Hz - 20Hz - 30Hz - 40Hz - 50Hz) ölçülen akıllandırılmış pompanın debi-verimine ait eğrileridir. Her frekansın debi ihtiyacına göre en verimli noktaları görülmektedir.



Şekil 4.4. Farklı frekanslarda ölçülen titreşim değerlerinin eğri üzerinden gösterilmesi.

Şekil 4.4.'de bulunan eğriler 0-50 Hz arası beş farklı frekansta (10Hz - 20Hz - 30Hz - 40Hz - 50Hz) ölçülen akıllandırılmış pompanın debi-titreşimine ait eğrileridir. Tüm frekanslarda pompanın çalışma aralığı dışında kalan debilerde titreşim değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 4.1 incelendiğinde pompanın farklı frekanslarda birbirinden oldukça farklı karakteristik değerlere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Farklı frekanslarda maksimum genel verim değerleri 10 Hz'den 50 Hz'e kadar sırasıyla yaklaşık; %57, %67, %59, %53 ve %57 olarak hesaplanmıştır. Farklı frekanslar için hesaplanan maksimum genel verim değerlerinde pompanın sahip olduğu basma yüksekliği, debi ve güç değerleri ise oldukça farklılık göstermektedir (Şekil 4.1 – Şekil 4.3). Çalışma kapsamında kullanılan pompa daha çok mesken ve otel gibi yerlerde kullanım suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Bu tür sistemler sabit bir basınç için anlık ihtiyaca göre gerekli debiyi sağlamak prensibi ile çalışmaktadır. Bu nedenle de gün içerisinde farklı zamanlarda farklı su debileri ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Özellikle de düşük debi ihtiyacı olan durumlarda frekans konvertörü olmadığı durumda (50 Hz) pompa düşük verimde çalışmak durumunda kalmaktadır (Şekil 4.3).

Şekil 4.3 de verilen verim eğrileri incelendiğinde gerekli basıncın karşılanması kaydı ile belirli bir debide pompanın daha yüksek verimde çalışabilmesi için kullanılması gereken frekanslar aralıkları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Yaklaşık 45 m³/h değerinden daha yüksek debi ihtiyacında 50 Hz frekans değeri tercih edilmelidir.
- Yaklaşık 38-45 m³/h aralığındaki debi ihtiyacında 40 Hz frekans değeri tercih edilmelidir.
- Yaklaşık 27-38 m³/h aralığındaki debi ihtiyacında 30 Hz frekans değeri tercih edilmelidir.
- Yaklaşık 12-27 m³/h aralığındaki debi ihtiyacında 20 Hz frekans değeri tercih edilmelidir.
- Yaklaşık 12 m³/h değerinden daha düşük debi ihtiyacında 10 ve 20 Hz frekans değerlerinde verimler birbirine çok yakın olsa da 10 Hz frekans değeri tercih edilebilir.

Tablo 4.1.'de farklı frekans değerlerinde yapılan sıcaklık ölçümlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.4.'de farklı frekanslar için elde edilen titreşim değerleri incelendiğinde tüm frekanslarda pompanın benzer karakter sergilediği görülmektedir. Tüm frekanslarda pompanın çalışma aralığı dışında kalan düşük ve yüksek debilerde titreşim değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. Bu da kavitasyon vb. etkilerden dolayı beklenen bir durumdur.

Örneğin debi ihtiyacının $40 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu bir durumda 50 Hz (mevcut durumda) ve 40 Hz frekans değerlerinde pompa basma yüksekliği ve pompa genel verim değerleri yaklaşık sırasıyla 108 / 61 mSS ve % 50 / 53 civarındadır. Böyle bir durumda frekans düşürüldüğünde basma yüksekliği yeterli ise yaklaşık % 6 verim artışı elde edilebilmektedir. Titreşim değerlerine bakıldığında ise sırasıyla 2,6 ve 2,3 değerleri ölçüldüğü görülmektedir. Frekansın düşmesiyle titreşimde de az da olsa azalma meydana geldiği görülmektedir. Her iki titreşim değeri de kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Debi ihtiyacı azaldıkça ise elde edilecek verim artışı daha da yüksek olacaktır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Belirlenen hidrofor tipi bir pompada frekans konvertörü kullanımı ile farklı frekanslarda gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Pompanın çalışma frekansının artmasına bağlı olarak pompa devrinin de artması nedeniyle pompa basma yüksekliği değeri ve harcanan elektrik gücü önemli ölçüde artmaktadır.
- Çalışma frekansının artması ile pompa genel veriminin artan debi ile arttığı, azalan debi ile ise azaldığı görülmektedir.
- Farklı frekans değerleri için çalışma sıcaklığında herhangi bir değişim meydana gelmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle sıcaklık değişimine bağlı bir kavitasyon riski bulunmadığı tespit edilmiştir.
- Farklı frekans değerlerinde ölçülen titreşim değerleri tüm frekanslarda düşük ve yüksek debilerde artış göstermek suretiyle benzer bir karakter göstermektedir. Bu da pompanın çalışma aralığında çalışmamasından kaynaklanan ve beklenen bir durumdur.
- Bir sistemde belirli bir basınçta değişen debi ihtiyacına göre pompanın farklı frekanslarda çalıştırılmasının sistem verimini artırarak elektrik tüketimini önemli ölçüde azaltacağı açık bir biçimde ortaya çıkmaktadır.

5.2 Öneriler

Yapılan tez çalışması sonuçları, tartışma ve sonuç bölümünde gösterilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak pompa seçimlerinde en uygun pompanın seçilmesi veya değişken debili sistem kullanılacaksa frekans konvertörlü pompaların kullanılmasının önemli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca frekans konvertörü haricinde pompaların akıllandırılması için uzaktan pompaya erişebilme, sistem verilerinin anlık takibi, verilerdeki değişikliğe bağlı olarak kestirimci bakım uyarıları oluşturma gibi farklı özellikler de pompa sistemlerine kazandırılabilir. Ayrıca endüstri 4.0 ile entegreli çalışan bir sistem oluşturmak, yapılabilecek çalışmalar ile sağlanabilir fakat daha fazla zaman ve ek maliyet gerekecektir.

6. KAYNAKLAR

- Arslan, S., & Sahib, A. (2016). Comparison of energy efficiencies of a small centrifugal pump at constant and variable speed operations. *Tarım Bilimleri Dergisi*.
- Babayigit, O. O. (2017). Experimental and CFD investigation of a multistage centrifugal pump including leakages and balance holes. *Desalination and Water Treatment*, 28-40.
- Bayram, O. (2019). Endüstrilerde Kullanılan Santrifüj Pompaların Enerji Verimliliklerinin Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Çuha, D. (2017). Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 58(687), 1-16.
- Dutta, N., Umashankar, S., Shankar, V. K., Padmanaban, S., Leonowicz, Z., & P. Wheeler. (2018). Centrifugal Pump Cavitation Detection Using Machine Learning Algorithm Technique. *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*. doi:10.1109/EEEIC.2018.8494594.
- G. K. Şenol, C. K. (2017). Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, cilt 58, sayı 687, s. 1-16.
- Karaca, M. (2012). Değişken Devirli Sirkülasyon Pompalarında Enerji Verimliliği. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Karadaş, G. (2014). Pompalı Sistemlerde Enerji Verimliliği Ve Ömür Boyu Maliyet Analizi İçin Yaklaşımlar. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Lobanoff, V. S. (2013). Centrifugal pumps: design and application. *Elsevier*.
- Padalalu, P., Mahajan, S., Dabir, K., Mitkar, S., & D. Javale. (2017). Smart water dripping system for agriculture/farming. *2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 659-662. doi:10.1109/I2CT.2017.8226212.
- Polat, M. K. (2022). Akıllandırılmış Bir Santrifüj Pompanın Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma [Özet]. *Özet Bildiri*. Kocaeli. <https://www.imascon.com>. adresinden alındı
- Samanipour, P., Poshtan, J., & Sadeghi, H. (2017). Cavitation Detection In Centrifugal Pumps Using Pressure Time-Domain Features. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer (TUBITAK)*. doi:10.3906/elk-1701-2
- Sharma, V., Nayanam, K., & Himani. (2020). Arduino based Smart Water Management. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT)*, 9(8).

- Şenoğlu, G. (2019). Kavitasyon Nedir? *Pump&Valve Systems*.
- Türkmen, B. (2017). Santrifuj Pompalar. *Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi* .
- Yegül, U., Orel, O., Eminoğlu, M. B., & Vatandaş, M. (2019). Elektrik motorunun parametrelerinden yararlanarak pompa devir sayısının tahmini. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*(16), 156-162.
- Yumurtacı, Z. (2011). Santrifuj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları. *TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi*(122), 49-58.

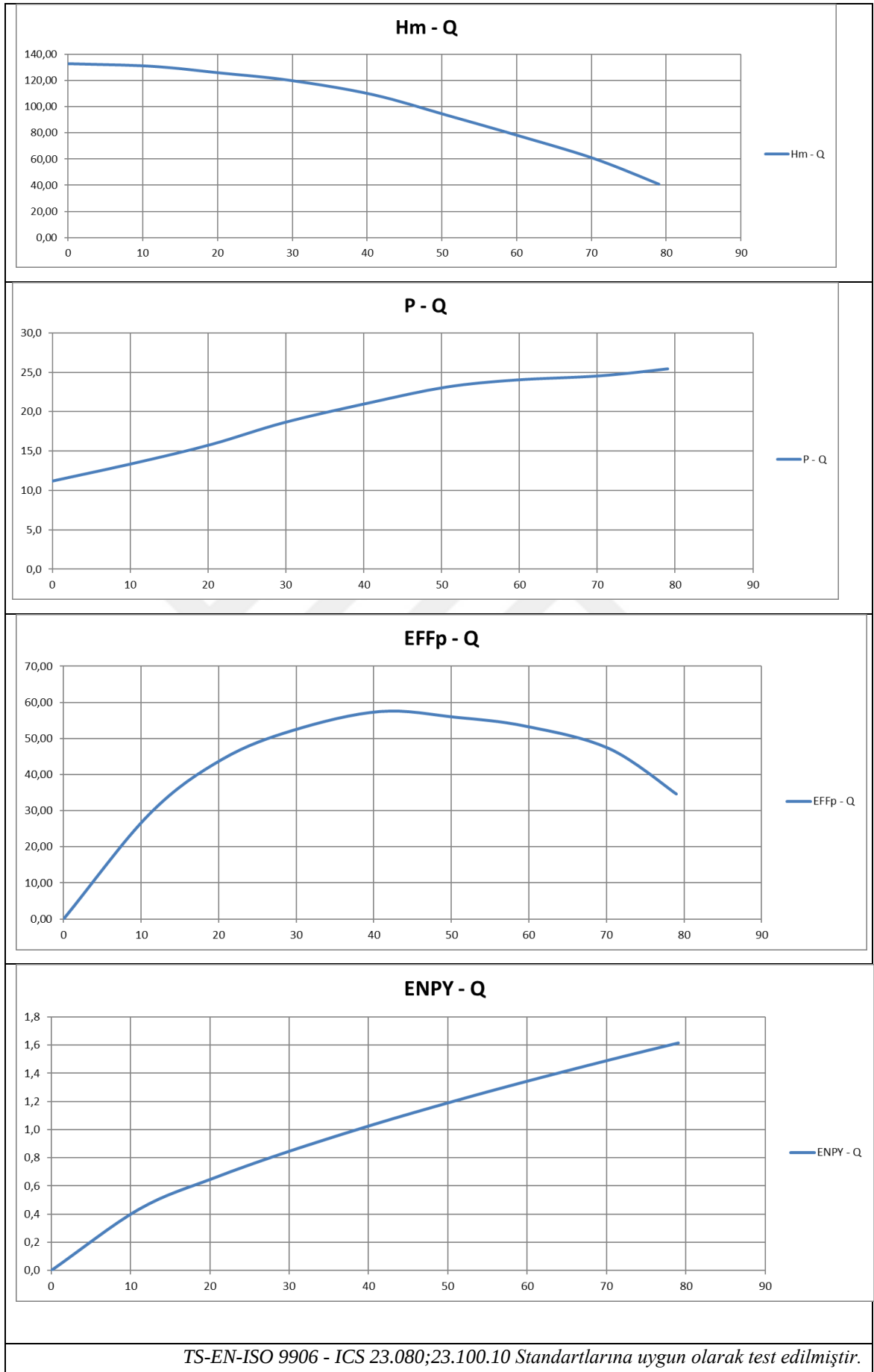


7.EKLER

7.1 EK-1 (KONVANSİYONEL POMPA TEST RAPORU)

 SEMPA LİMİTED ŞİRKETİ	POMPA DENEY RAPORU / PUMP TEST REPORT				3687	TARİH / Date	09.11.2022
MÜŞTERİ BİLGİLERİ / CUSTOMER INFORMATION							
MÜŞTERİ / Customer				ADRES / Address			
MOTOR ÖZELLİKLERİ / MOTOR SPECIFICATIONS				DENEY STANDI BİLGİLERİ / TEST UNIT INFORMATION			
MOTOR MARKA & TİPİ / Motor Manf. & Type	ELK				DENEY STAND NUMARASI / Plant no.		2
MOTOR ÖLÇÜSÜ / Motor frame	180M2A				DEBİMETRE / Flowmeters		SIEMENS DN 150
Mot. Verim / Motor effien. (%)	Load 100%	Load 75%	Load 50%	Load 25%	MANOMETRE / Manometer		DANFOSS 0/25
	91,5	91,8	91,4	91,4	VAKUMMETRE / Vacuum meter		DANFOSS -1/5
Motor Verim Sınıfı / M.Effic. Class	IE2		Test devri / Test speed d/dak. / rpm		KAYIP DEĞERLERİ / Loss parameters		
KW / KW	22				STAND VERİM DEĞ. / Plant effien. (%)		100
d/dak. / rpm	2940		2940		MEKANİK VERİM DEĞ. / Mechanic effien. (%)		100
HP / HP	30				STAND PARAMETRELERİ / Plant parameters		
Cos ϕ / Cos ϕ	0,9				Giriş boru Çapı DN / inlet pipe dia. (DN)		65
In (Nominal Amp) / In(nom. Current)	38				Çıkış boru Çapı DN / outlet pipe dia. (DN)		50
Mot. Seri.No / Mot. Serial no.					Geometrik yükseklik / Geom. Height (mt.)		0,5
Motor üretim class değeri / M.M. C					Emme suyu hat yüks. / Suc. Height (mt.)		
POMPA TEKNİK BİLGİLERİ / PUMP TECHNICAL INFORMATION							
POMPA TİPİ / Pump type	ARS-D 50-03				GÖVDE MALZEMESİ / Body material		GG 25
POMPA SERİ NO / Pump ser. no.					MİL MALZ. / Shaft material		AISI 420
POM. EM. ÇAP. / Pump suct. DN	65				MONTAJ ŞEKLİ / Coupling design		COUPLING
POM.BAS.ÇAP. / Pump disc. DN	50				ÇARK MALZ. / Imp. Mater.		GG 25
SALMASTRA TİPİ / Packing type	GLAND PACKING				ÇARK ÇAP. / Impeller dia.		180 mm.

No	ENPYg NPSHr	DEBi Flow		TOPLAM BASINÇ / Total mamometric height					GÜÇ / Power rate					POM. VERİM Pum. Eff.
				ENPYm NPSHs (Widden)	He	Hb	HIZ KAYIPLARI velocity Loss	Hm	cos Fı	V	I	Nş	Np	
	mss	lt/sn	m³/h	mss	mss	mss	mss	mss	cos c	volt	Amper	KW	KW	%
1	8,3	0,00	0	0,0	5,51	137,8	0,00	132,79	0,76	382,53	24,18	12,18	11,2	0,00
2	8,3	3,08	11,1	0,4	5,1	135,35	0,08	130,85	0,78	382,35	28,64	14,79	13,6	29,13
3	8,4	5,69	20,5	0,7	4,79	129,64	0,28	125,66	0,8	381,24	32,8	17,33	15,9	44,25
4	8,6	8,29	29,83	0,8	4,39	123,22	0,59	119,99	0,85	380,64	36,31	20,35	18,6	52,36
5	8,8	11,34	40,81	1,0	3,88	111,28	1,10	109,15	0,87	378,88	40,45	23,09	21,1	57,41
6	9,2	14,05	50,59	1,2	3,47	94,66	1,70	93,60	0,88	380,03	43,6	25,25	23,1	55,81
7	9,5	16,52	59,47	1,3	2,86	78,85	2,35	79,13	0,81	379,38	45,85	24,40	24,0	53,40
8	10,0	19,53	70,3	1,5	2,14	58,45	3,28	60,49	0,86	379,76	47,4	26,81	24,5	47,20
9	10,5	21,95	79,03	1,6	1,43	37,13	4,14	40,86	0,89	380,17	47,41	27,78	25,4	34,59



7.2 EK-2 (AKILLANDIRILMIŞ POMPA TEST RAPORU)

Debi		Basma Yüksekliği	Devir	Akım	cosφ	Gerilim	Açıl Hız	Elektrik Gücü	Hidrolik Güç	Sistem Verim	
m³/h	m³/s	m	d/d	Amper	cosφ	Volt	1/s	kW	kW	%	
Q		Hm	n	I	cosφ	V	w	Pe	Ph	ηh	FREKANS
0	0,0000	5,19	596	11	0,059	120	62,44	0,135	0,000	0,000	10HZ
10,34	0,0029	3,23	595	11	0,07	120	62,33	0,160	0,091	56,867	
15,08	0,0042	1,49	595	11	0,074	120	62,33	0,169	0,061	36,190	
20,05	0,0056	0,00	595	11	0,072	120	62,33	0,165	0,000	0,000	
0	0,0000	21,51	1190	12	0,18	207	124,67	0,774	0,000	0,000	20HZ
10,49	0,0029	19,76	1190	12,45	0,228	207	124,67	1,018	0,565	55,500	
15,65	0,0043	17,82	1190	12,8	0,247	207	124,67	1,134	0,760	67,043	
20,31	0,0056	15,19	1190	13,1	0,27	207	124,67	1,268	0,841	66,293	
25,49	0,0071	11,80	1190	13,3	0,27	207	124,67	1,287	0,820	63,661	
31,22	0,0087	6,84	1190	13,5	0,275	207	124,67	1,331	0,582	43,718	
36,41	0,0101	2,31	1190	13,55	0,277	207	124,67	1,346	0,229	17,031	
0	0,0000	47,42	1773	14	0,416	271	185,74	2,734	0,000	0,000	30HZ
10,98	0,0031	46,39	1773	15,6	0,483	271	185,74	3,537	1,388	39,246	
20,24	0,0056	41,61	1773	17,3	0,519	271	185,74	4,214	2,295	54,454	
30,24	0,0084	34,54	1773	18,8	0,543	271	185,74	4,792	2,846	59,400	
41,49	0,0115	22,59	1773	19,9	0,557	271	185,74	5,203	2,554	49,089	
50,56	0,0140	10,87	1773	20,2	0,562	271	185,74	5,329	1,498	28,105	
55,75	0,0155	4,66	1773	20,2	0,562	271	185,74	5,329	0,708	13,286	
0	0,0000	85,87	2377	18	0,653	334	249,02	6,800	0,000	0,000	40HZ
11,4	0,0032	82,81	2377	21,5	0,708	334	249,02	8,806	2,572	29,213	
21,67	0,0060	78,06	2377	24,1	0,735	334	249,02	10,247	4,610	44,982	
29,72	0,0083	72,36	2377	26,3	0,748	334	249,02	11,381	5,860	51,493	
40,32	0,0112	60,77	2377	28,8	0,757	334	249,02	12,612	6,677	52,940	
50,78	0,0141	46,79	2377	30,5	0,763	334	249,02	13,463	6,475	48,093	
60,52	0,0168	32,30	2377	31,2	0,765	334	249,02	13,808	5,327	38,578	
70,98	0,0197	13,54	2377	31,4	0,765	334	249,02	13,896	2,619	18,846	
0	0,0000	132,18	2964	24,3	0,76	396	310,51	12,667	0,000	0,000	50HZ
11,1	0,0031	130,54	2964	28,6	0,777	396	310,51	15,242	3,949	25,905	
20,31	0,0056	126,68	2964	32,8	0,85	396	310,51	19,123	7,011	36,664	
31,11	0,0086	118,11	2964	35,7	0,87	396	310,51	21,303	10,013	47,001	
40,32	0,0112	108,81	2964	39,9	0,877	396	310,51	24,001	11,955	49,811	
50,82	0,0141	94,94	2964	42,2	0,883	396	310,51	25,558	13,148	51,442	
60,49	0,0168	78,41	2964	44,4	0,886	396	310,51	26,982	12,925	47,901	
70,91	0,0197	59,13	2964	46,8	0,886	396	310,51	28,440	11,426	40,174	
79,97	0,0222	30,67	2964	45,8	0,88	396	310,51	27,644	6,684	24,177	
TS-EN-ISO 9906 - ICS 23.080;23.100.10 Standartlarına uygun olarak test edilmiştir.											