

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



YÜKSEK VERİMLİ AKILLI SU POMPASI KONTROL CİHAZI

Yavuz SÜMER

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

OCAK 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



YÜKSEK VERİMLİ AKILLI SU POMPASI KONTROL CİHAZI

Yavuz SÜMER

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

OCAK 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK VERİMLİ AKILLI SU POMPASI KONTROL CİHAZI

**Yavuz SÜMER
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**Bu tez Aryas Arge Mühendislik Şirketinde yürütölmüş ve TÜBİTAK tarafından
2180736 nolu proje ile desteklenmiştir.**

OCAK 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK VERİMLİ AKILLI SU POMPASI KONTROL CİHAZI

Yavuz SÜMER
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 21/01/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR (Danışman)

Prof. Dr. Faruk ŞEN

Prof. Dr. Burçin DEDA ALTAN

Doç. Dr. Emre ARABACI

Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER

ÖZET

YÜKSEK VERİMLİ AKILLI SU POMPASI KONTROL CİHAZI

Yavuz SÜMER

Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Ocak 2025; 77 sayfa

Küresel iklim değişikliği, enerji ve su kaynaklarının verimli yönetimini zorunlu kılan en önemli küresel sorunlardan biridir. Son yıllarda, iklim değişikliğiyle mücadele ve küresel enerji krizine yönelik çözüm arayışları, net sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda dünya genelinde öncelikli bir konu haline gelmiştir. Enerji tüketiminde kayda değer bir paya sahip olan pompa sistemleri, yalnızca enerji tüketimi açısından değil, aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi bakımından da stratejik bir rol oynamaktadır. Özellikle ev tipi su pompaları, su basıncının düzenlenmesi, atık su yönetimi ve sulama gibi alanlarda geniş kullanım alanı bulmakta ve bireysel enerji tüketimi üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır.

Hidromat, su şebekesindeki basıncın yetersiz olduğu durumlarda, suyun kullanıcıya ulaşmasını sağlamak amacıyla su pompalarına entegre edilen ve denge tankı ile basınç şalterine ihtiyaç duymadan pompayı otomatik olarak kontrol eden bir elektronik ünedir. Bu sistemler, analog kontrol mekanizmalarıyla çalışmakta olup, su yüksekliğine bağlı basıncı hidromattaki diyafram aracılığıyla yayı sıkıştırarak dengelemektedir. Su kullanımı başladığında bu denge bozulmakta, diyaframın hareketi elektromekanik basınç anahtarını tetikleyerek pompanın devreye girmesini sağlamaktadır. Ancak, geleneksel analog hidromat sistemleri, düşük hassasiyetli mekanik çalışma prensipleri ve çevresel değişimleri algılayamamaları nedeniyle pompayı etkin şekilde kontrol edememekte; bu durum, hem elektrik ve su israfına yol açmakta hem de pompa ile hidromatın kullanım ömrünü olumsuz etkilemektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, geleneksel ev tipi pompa kontrol sistemleri ekonomik bir yöntemle dijitalleştirilmiş ve enerji ile su tasarrufu sağlayan yenilikçi bir pompa kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde, elektromekanik basınç anahtarı yerine patentli bir teknoloji yardımıyla uygun maliyetli bir elektronik sensör kullanılmış; bu sayede geleneksel sistemlerdeki eksiklikler giderilerek pompayı etkin kontrol eden bir kontrol kartı ve yazılım oluşturulmuştur.

Çalışma, TÜBİTAK 1512 Girişimcilik Desteği ile Aryas Ar-Ge Mühendislik Şirketi bünyesinde gerçekleştirilmiş ve tüm araştırma-geliştirme faaliyetleri şirket ortamında tamamlanmıştır. Geliştirilen ürün, TEKNOFEST Gaziantep 2020 Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışması'nda finalist olarak başarı göstermiş ve "Akıllı Hidromat" başlıklı buluşun patent başvurusu yapılmıştır. ISIF20 Uluslararası Buluş Fuarı'nda Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından gümüş madalya ile ödüllendirilen bu buluş, TR 2020 04680 B numaralı patentiyle 2022 yılında tescillenmiştir. Ayrıca, ürün TEKNOFEST 2022 Karadeniz Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışması'nda finalist olarak bir kez daha

başarı elde etmiş ve sanayiye uyarlanarak akademi-sanayi iş birliği kapsamında kullanıma sunulmuştur.

Pompa sistemlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik bu yenilikçi yaklaşım, yalnızca elektrik ve su tasarrufu sağlamakla kalmayıp, iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik bir adım teşkil etmekte ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Geliştirilen sistem, enerji kaynaklarının etkin kullanımını destekleyerek çevresel etkileri azaltmakta ve sosyoekonomik gelişime önemli katkılar sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Analog kontrol, Basınç anahtarı, Binalarda enerji verimliliği, Dijital kontrol, Hidromat, Pompa kontrol sistemleri, Su verimliliği.

JÜRİ: Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Faruk ŞEN

Prof. Dr. Burçin DEDA ALTAN

Doç. Dr. Emre ARABACI

Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER

ABSTRACT

HIGH-EFFICIENCY SMART WATER PUMP CONTROL DEVICE

Yavuz SÜMER

PhD Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

January 2025; 77 pages

Global climate change is one of the most pressing global challenges, necessitating the efficient management of energy and water resources. In recent years, efforts to combat climate change and address the global energy crisis have emerged as a top priority worldwide, aligned with net-zero emission targets. Pump systems, which account for a significant share of energy consumption, play a critical role not only in energy efficiency but also in the sustainable management of water resources. Domestic water pumps are widely used in applications such as pressure regulation, wastewater management, and irrigation, significantly impacting individual energy consumption.

A fluid control device is an electronic unit integrated into water pumps to automatically control their operation without requiring a pressure tank or switch, particularly in cases where water pressure in the network is insufficient. These systems operate with analog control mechanisms, balancing pressure based on the water height between the pump and the user's valve through a diaphragm that compresses a spring. When water use begins, this balance is disrupted, prompting diaphragm movement to activate an electromechanical pressure switch and engage the pump. However, traditional analog hydromate systems are limited by their low precision mechanical operating principles and inability to effectively detect environmental changes. Consequently, these systems fail to control pumps efficiently, resulting in wasted electricity and water, as well as reduced operational lifespan of pumps and fluid control device.

Within the scope of this thesis, conventional domestic pump control systems were digitized through an economical approach, resulting in the development of an innovative pump control system that achieves energy and water savings. The developed system replaces the electromechanical pressure switch with a patented technology utilizing a cost-effective electronic sensor. This improvement addresses the shortcomings of traditional systems, enabling effective pump control through a custom-designed control board and software.

This study was conducted under the auspices of Aryas R&D Engineering Company with support from TÜBİTAK 1512 Entrepreneurship Grant, and all research and development activities were completed within the company. The developed product achieved notable success as a finalist in the TEKNOFEST Gaziantep 2020 Environment and Energy Technologies Competition, and a patent application was filed for the invention titled "Smart Hydromate." The invention was awarded a silver medal by the Turkish Patent and Trademark Office at the ISIF20 International Invention Fair and was officially patented under TR 2020 04680 B in 2022. Furthermore, the product was again

recognized as a finalist at the TEKNOFEST 2022 Karadeniz Environment and Energy Technologies Competition and has since been adapted for industrial use as part of academia-industry collaboration.

This innovative approach to enhancing energy efficiency in pump systems not only saves electricity and water but also represents a strategic step in combating climate change and contributing to sustainable development goals. The developed system supports the efficient use of energy resources, reduces environmental impacts, and offers significant contributions to socio-economic development.

KEYWORDS: Analog control, Digital control, Energy efficiency in buildings, Fluid control device, Pressure switch, Pump control systems, Water efficiency.

COMMITTEE: Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Faruk ŞEN

Prof. Dr. Burçin DEDA ALTAN

Assoc. Prof. Dr. Emre ARABACI

Asst. Prof. Dr. Abdülkadir KOÇER

ÖNSÖZ

Oğullarıma...



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Küresel Su Kaynakları.....	4
2.2. Pompa Sistemlerinin Sürdürülebilirliğe Etkileri	5
2.2.1. Pompaların küresel enerji ve su tüketimine etkisi	5
2.2.2. Pompaların farklı sektörlerde kullanım alanları	6
2.2.3. Verimli pompaların elektrik ve su tasarrufu üzerindeki etkisi	7
2.2.4. Ev tipi kullanımlarda verimli pompaların sağladığı avantajlar	7
2.2.5. Pompaların sınıflandırılması ve kontrol sistemleri.....	7
2.3. Analog ve Dijital Pompa Kontrol Sistemleri	8
2.4. Ev Tipi Pompa Kontrol Sistemleri Üzerine Literatür Araştırması	8
2.4.1. Depolama temelli kontrol sistemleri.....	9
2.4.1.1. Sıvı ile doğrudan temas eden seviye kontrol mekanizmaları.....	10
2.4.1.2. Sıvı ile temas etmeyen seviye kontrol mekanizmaları.....	10
2.4.2. Şebeke hattına doğrudan bağlı kontrol sistemleri.....	11
2.4.2.1. Akış bazlı kontrol sistemleri	12
2.4.2.2. Basınç bazlı kontrol sistemleri.....	13
2.4.3. Basınç kontrol sistemlerinde kullanılan teknolojiler	13
2.4.3.1. Basınç sensörleri	13
2.4.3.2. Basınç anahtarları (presostat).....	15
2.4.3.3. Basınç sensörleri ve basınç anahtarlarının karşılaştırılması	16
2.5. Hidrofor ve Hidromat Sistemleri.....	17
2.5.1. Hidrofor	17

2.5.2. Hidromat	18
2.5.3. Hidromatın eksikleri	19
2.5.4. Tez çalışmasının amacı ve çözüm önerisi	21
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1. Elektronik Sensör Geliştirilmesi.....	22
3.2. Elektronik Devre Tasarımı	25
3.2.1. Güç kaynağı blok devre şematik tasarımı.....	26
3.2.2. Basınç sensörü ve sıcaklık sensörü blok şematik tasarımı	27
3.2.3. Akım ve motor kontrolü	29
3.2.4. Ekran ve kontrol düğme blokları	30
3.2.5. Mikrodenetleyici kontrol blok tasarımı	32
3.3. Sistem Kontrolü.....	34
3.3.1. Ana menü.....	35
3.3.2. Gösterge 1: Basınç ve manuel kontrol.....	36
3.3.3. Gösterge 2: Mod seçimi.....	37
3.3.4. Gösterge 3: Pompayı devreye alma	42
3.3.5. Gösterge 5: Kaçak testi.....	43
3.3.6. Gösterge 6: Motor akım ayarı.....	44
3.4. Arıza Tespiti ve Hata Kodları.....	45
3.4.1. Su kesintisi tespiti	45
3.4.2. Motor anomali tespiti.....	46
3.4.3. Donma olayı tespiti.....	47
3.4.4. Su kaçağı testi	48
3.5. Geliştirilen Tasarımların Üretilmesi.....	49
3.6. Test Çalışmaları.....	50
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	53
4.1. Test Sonuçları.....	53
4.2. Analog Hidromatlar ile Karşılaştırılması	54
5. SONUÇLAR	62
6. KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yüksek Verimli Akıllı Su Pompası Kontrol Cihazı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/01/2025

Yavuz SÜMER



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Alan (m^2)
B	: Manyetik akı yoğunluğu (T)
F	: Kuvvet (N)
H_{ab}	: Akma basıncı (mSS)
H_{alt}	: Alt basınç (bar)
H_{sb}	: Statik yükseklik etki basıncı (mSS)
H_{sk}	: Sayaç kaybı (mSS)
$H_{üst}$	: Üst basınç (bar)
I	: Sensörden geçen akım (A)
k	: Sertlik katsayısı (N/m)
L	: Mesafe (m)
P	: Basınç (Pa)
R_H	: Hall etkisi katsayısı
t	: Sensör kalınlığı (mm)
V_H	: Hall voltajı (V)
x	: Mesafe (m)

Kısaltmalar

ADC	: Analog-Digital Converter (Analog-Dijital Dönüştürücü)
ISP	: In-System Programming
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
GND	: Ground (Toprak)
LED	: Light Emitting Diode
MEMS	: Mikro Elektro Mekanik Sistemler

NPN	: Negatif-Pozitif-Negatif
SSR	: Solid State Relay (Katı Hal Rölesi)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VCC	: Voltage at the Common Collector (Ortak Toplayıcıdaki Voltaj)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Küresel su kullanım istatistikleri	4
Şekil 2.2. Küresel elektrik motorlarının uygulamalara göre dağılımı	6
Şekil 2.3. Ev tipi pompa kontrol sistemlerinin sınıflandırılması	9
Şekil 2.4. a) Paket hidrofor örneği; b) Kademeli hidrofor örneği	18
Şekil 2.5. Pompa üzerine monte edilmiş bir hidromat.....	19
Şekil 2.6. Geleneksel hidromatın iç yapısı.....	19
Şekil 3.1. Hidromatın iç yapısı	23
Şekil 3.2. Hidromatta kullanılan mıknatıs ve sensörün konuma bağlı akı yoğunluğu değişimi	25
Şekil 3.3. Güç kaynağı blok devre şematik tasarımı.....	26
Şekil 3.4. Basınç ve sıcaklık sensör şematigi	28
Şekil 3.5. Akım sensörü ve motor kontrol devresi	29
Şekil 3.6. Buton şematik tasarımı	31
Şekil 3.7. Ekran devre şematigi	32
Şekil 3.8. Mikrodenetleyici kontrol blok tasarımı	33
Şekil 3.9. Wathdog mekanizması.....	34
Şekil 3.10. Akıllı hidromat kullanım menü içeriği	35
Şekil 3.11. Ana menü şematigi	36
Şekil 3.12. Basınç gösterge ve manuel kontrol şematigi	37
Şekil 3.13. Mod ayar şematigi	38
Şekil 3.14. a) Hidromat ayarı; b) Tolerans ayarı.....	39
Şekil 3.15. Hidrofor modu	40
Şekil 3.16. Otomatik ayar şematigi.....	41
Şekil 3.17. Pompayı devreye alma işlemi.....	43
Şekil 3.18. a) Kaçak testi; b) Motor akım yarı	44
Şekil 3.19. Su kesintisini algılama şematigi	46
Şekil 3.20. Motor arızası algılama şematigi.....	47
Şekil 3.21. Su donması tespit şematigi	48
Şekil 3.22. Su kaçağı algılama şematigi	49
Şekil 3.23. Geliştirilen kartın a) Devre çizimi; b) PCB tasarımı; c) Devre çiziminin üretimi; ç) Prototipi	50
Şekil 3.24. a) Geleneksel hidromatın revize edilmesi; b) Kartın ön çalışma kontrolü; c) Ürünün temel işlevsellik ofis ortamı test düzeneği; ç) Ürünün test edilmesi	51
Şekil 3.25. a) Saha test düzeneği; b) Ürünün test düzeneğine entegrasyonu; c) Test düzeneğinin şematik tasarımı	52
Şekil 4.1. Geliştirilen basınç sensörünün değerlerinin gerilim ile ilişkisi	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Basınç anahtarları karşılaştırması	16
Çizelge 2.2. Basınç sensörü ve anahtarının karşılaştırılması	17
Çizelge 4.1. Akıllı hidromat ile geleneksel hidromatın karşılaştırılması.....	60



1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus, sanayileşme ve ekonomik büyüme, doğal kaynakların hızla tükenmesine ve çevresel etkilerin giderek daha yıkıcı hale gelmesine yol açmaktadır (Singh 2021). Bu süreç, enerji ve su kaynaklarının verimli kullanımını zorunlu kılmaktadır (Jha vd. 2017). Tarih boyunca medeniyetler hayatta kalmak ve varlıklarını sürdürebilmek için karbon yakıtlarına bağımlı kalmışlardır (Sümer ve Karaman 2021). Günümüzde küresel enerjinin büyük bir kısmını sağlayan fosil yakıtlar tükenmekte olup, kontrolsüz tüketimi atmosfere büyük miktarda sera gazı salınmasına yol açarak küresel ısınmayı hızlandırmaktadır (Ahmad vd. 2023). Fosil yakıt tüketiminin yol açtığı sera gazı salınımı, atmosferdeki sera gazlarının yoğunluğunu artırarak iklim değişikliğini tetikleyen temel unsurlardan biri haline gelmiştir (Wang ve Azam 2024).

İklim değişikliği, uzun vadede sıcaklıkların ve hava koşullarının değişmesi anlamına gelmektedir ve hem doğal süreçlerden hem de insan faaliyetlerinin sonuçlarından kaynaklanabilmektedir (İrfan vd. 2024; Wuebbles vd. 2017). Sanayi devriminden bu yana fosil yakıtların yakılması, iklim değişikliğinin temel nedeni haline gelmiştir (Umar vd. 2021). Fosil yakıtların yanması, atmosferde Güneş ısısını tutan ve dünya yüzeyini ısıtan sera gazlarının salınımına yol açmaktadır (Yoro ve Daramola 2020). Özellikle, karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının atmosferde yoğunlaşması, yalnızca ekosistemler üzerinde değil, aynı zamanda insan sağlığı, tarımsal üretim, su kaynakları ve dünya ekonomisi üzerinde de derin etkiler oluşturmaktadır (Kabir vd. 2023).

Küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin giderek daha büyük tehditler oluşturduğu günümüzde, enerji verimliliği sadece bir seçenek değil, stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir (Sümer ve Güngör 2021). Sanayi devrimi sonrası insan faaliyetleri nedeniyle atmosfere salınan sera gazları, Dünya yüzeyinin hızlı bir şekilde ısınmasına neden olmuştur (Hassan vd. 2021). Günümüzde Dünya yüzeyinin sıcaklığı, sanayi devrimi öncesine kıyasla yaklaşık 1,2 °C artmış durumdadır (Holechek vd. 2022). Birleşmiş Milletler'in ve diğer uluslararası kuruluşların hazırladığı raporlarda, küresel sıcaklık artışının 1,5 °C seviyesinin üzerine çıkmaması gerektiği, aksi takdirde felaket düzeyinde çevresel etkilerle karşılaşılacağı açıkça vurgulanmaktadır (Masson-Delmotte vd. 2022). Ancak mevcut politikalar, yüzyılın sonuna kadar 3°C'lik bir sıcaklık artışına işaret etmektedir (Armstrong-McKay vd. 2024; Anonymous 1). İklim değişikliğinin sonuçları arasında şiddetli kuraklıklar, su kıtlığı, orman yangınları, yükselen deniz seviyeleri, sel baskınları, eriyen buzullar, yıkıcı fırtınalar ve biyolojik çeşitlilikte azalma yer almaktadır (Kumar vd. 2021).

Bu küresel tehdide karşı, uluslararası düzeyde alınan en büyük adım, 1992 yılında kabul edilerek atılan ilk adım olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nden (UNFCCC) sonra 1997 yılında kabul edilen Kyoto Protokolü olmuştur. Bu çerçevede, sera gazı emisyonları üzerine sınırlamalar getiren düzenlemeler ve uluslararası standartlar belirlenmiştir (Naser ve Pearce 2022). İklim değişikliği ile küresel ölçekte mücadelede önemli bir başka adım, 2015 yılında kabul edilen Paris Anlaşması olmuştur. Bu anlaşma, küresel ısınmanın sınırlandırılmasına yönelik sayısal ve somut hedefler ortaya koymuştur (Mor vd. 2023). Örneğin, Avrupa Komisyonu'nun "Fit for 55" teklif paketi, Avrupa Birliği'nin iklim, enerji ve vergilendirme politikalarının 2030 yılına kadar %55 emisyon azaltımını sağlayacak şekilde yenilenmesini öngörmektedir.

(Schlacke vd. 2022). 2023 itibarıyla 195 ülkenin taraf olduğu Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılmasını hedeflemekte ve bu doğrultuda önümüzdeki beş yıl içerisinde %45 emisyon azaltımının gerçekleştirilmesi, önümüzdeki çeyrek asır süre içerisinde ise net sıfır emisyona ulaşılması gerektiğini vurgulamaktadır (Coppenolle vd. 2023; Sugsaikakon ve Kittipongvises 2024). Bu gelişmelerle birlikte, dünya genelinde yeni bir yeşil dönüşüm dönemi başlamış ve ülkelerin en önemli gündem maddesi net sıfır emisyon hedefi ile karbon ayak izinin azaltılması olmuştur (Pak ve Özdemir 2023). Türkiye de bu kapsamda, çevre, enerji ve ticaret politikalarında kapsamlı düzenlemeler yaparak uluslararası hedeflere uyum sağlamaya yönelik adımlar atmaktadır (Anonim 1; Anonim 2; Anonim 3).

İklim değişikliği ile mücadele ve küresel enerji krizi kapsamında net sıfır emisyon hedefleri, enerji ve su verimliliği konularının anahtar bir rol oynamasına neden olmaktadır. Bu çerçevede, enerji verimliliğini artıran sistemlerin geliştirilmesi yalnızca enerji maliyetlerini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda karbon ayak izini düşürerek çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkıda bulunmaktadır. Öte yandan, Dünya yüzeyinin büyük bir kısmı suyla kaplı olmasına rağmen tatlı su kaynaklarının sınırlı olması, su yönetiminin iklim değişikliğiyle mücadelede ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde kritik önem taşımaya yol açmaktadır (Chen vd. 2022).

Su temini sağlayan pompa sistemleri, hem küresel enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmakta hem de tatlı su kaynaklarının etkin kullanımında hayati bir rol üstlenmektedir. Özellikle enerji yoğun cihazlar olarak bilinen su pompalarının verimli çalıştırılması hem enerji hem de su tasarrufu açısından büyük bir potansiyel sunarak çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu doğrultuda, pompa kontrol sistemlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik her yenilik, iklim değişikliğiyle mücadele sürecinde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Enerji kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılması, güvenli ve sürdürülebilir bir tedariki mümkün kılarak çevreye verilen zararları azaltmakta ve sosyoekonomik kalkınmaya ivme kazandırmaktadır. Ayrıca, yenilikçi su pompası teknolojileri, suyun israfını önleyerek tarım, sanayi ve evsel uygulamalarda daha verimli kullanım olanakları sunmaktadır. Avrupa’da binalar, toplam enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %40’ını oluşturduğundan, bina ölçeğinde enerji verimliliği sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir öneme sahiptir (Januário vd. 2024).

Günümüzde, konut ve iş yerlerinde, fabrikalarda ve endüstriyel tesislerde; şebeke, kuyu veya depodaki yetersiz basınçta olan suyun yüksek katlardaki kullanıcıya ulaşması adına genleşme tankı ve basınç şalteri olmadan su pompasına takılarak pompayı suyun kullanılacağı durumda otomatik çalıştıran kontrol üniteleri hidromat olarak adlandırılmaktadır (Anonim 4). Bu sistemler genellikle analog kontrol mekanizmalarına sahiptir ve çalışma prensipleri, pompa ile kullanıcı katındaki vana arasındaki suyun yüksekliğine bağlı olarak oluşan basıncın, hidromat içerisindeki diyafram ve yay yardımıyla dengelenmesine dayanmaktadır. Su kullanılmaya başlandığında, bu denge bozulur ve diyaframın hareketi manyetik anahtar tetikleyerek ve röleyi çalıştırarak pompayı otomatik kontrol etmektedir. Bu sistemlerdeki mekanik çalışma prensibinin hassas olmaması ve ortamdaki değişiklikleri algılayamaması ile analog hidromat kartlarının pompa ve hidromatı koruma konusundaki yetersizliği, başlıca elektrik ve su israfına ve aynı zamanda pompa ile hidromatın ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

Bu doğrultuda, tez kapsamında geliştirilen çözüm geleneksel ev tipi pompa kontrol sistemlerinin ekonomik bir yöntemle dijitalleştirilmesini ve binalarda enerji ile su tasarrufunu hedefleyen bir pompa kontrol sistemi geliştirilmesini amaçlamaktadır. Söz konusu tez, TÜBİTAK 1512 proje desteği ile tamamlanmış ve ortaya konulan yenilikçi yaklaşım patentle tescillenmiştir. Geliştirilen sistem, enerji verimliliğini çevresel sürdürülebilirlikle bütünleştirerek küresel iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir çözüm sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca etkin pompa kontrol mekanizması, su kıtlığı yaşanan bölgelerde kaynakların daha bilinçli kullanılmasını teşvik ederek sürdürülebilirlik hedeflerine küresel ölçekte yaklaşılmasını kolaylaştırmaktadır (Kumar vd. 2021).

Bu tez çalışması kapsamında, ikinci bölümde yapılan kaynak taraması, küresel su kaynaklarının kullanımı ve pompa sistemlerinin bu kaynaklar üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Ardından, tez konusu olan ev tipi analog ve dijital kontrol sistemlerine ilişkin genel bilgilere yer verilmektedir. Bu bölümde ayrıca, ev tipi pompa kontrol uygulamalarında kullanılan pompa anahtarlama algılayıcılarının, depolama tabanlı ve şebeke tabanlı kontrol sistemleriyle ilişkisi ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Son olarak, binalarda sıklıkla kullanılan hidrofor ve hidromat sistemlerinden bahsedilerek, bu sistemlerde karşılaşılan eksikler ve geliştirilen çözümün avantajları tartışılmıştır.

Üçüncü bölüm olan “Materyal ve Metot” kısmında, elektromekanik basınç anahtarına sahip geleneksel hidromat (analog pompa kontrol ünitesi) ürünlerinin yapısına zarar vermeksizin ekonomik bir yöntemle nasıl dijitalleştirildiği açıklanmıştır. Bu bağlamda, basınç sensörünün geliştirilme süreci, pompanın etkin kontrolünü sağlamak amacıyla tasarlanan elektronik devre kartları ve bunları çalıştıran algoritmalar ayrıntılı şekilde sunulmuştur. Ardından, dijital kontrol kabiliyetine sahip ürünün verimli kontrol algoritmalarına yer verilerek, tasarımın üretim ve test sürecine ilişkin bilgiler paylaşılmıştır. Dördüncü bölüm olan Bulgular ve Tartışma kısmında, akıllı hidromat sisteminin deneysel verileri geleneksel hidromatlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonraki Sonuç bölümünde ise tez çalışması kapsamında elde edilen temel çıktılar ve gelecekte yapılması öngörülen çalışmalar değerlendirilmiştir. Böylece, sürdürülebilir enerji ve su yönetimi alanında yeni bir yaklaşım sunularak, iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir yol haritası çizilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen teknolojilerin hem bireysel hem de küresel ölçekte sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmaya katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

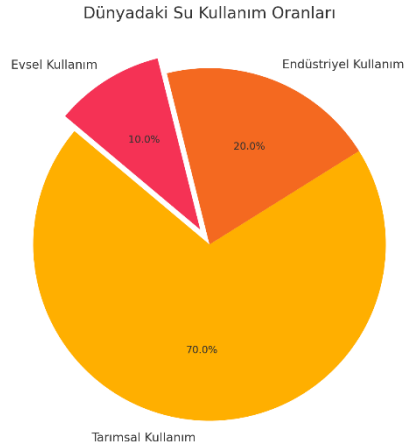
2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Küresel Su Kaynakları

İklim değişikliğinin olumsuz etkileri yirmi birinci yüzyılda küresel ölçekte somut bir şekilde kendini göstermiştir. Aşırı sıcaklar ve kuraklık gibi olağandışı ve yaşamı tehdit eden meteorolojik olayların hem bölgesel hem de makro ölçekte sıklığında belirgin bir artış eğilimi yaşanmıştır (Li ve Wu 2024). Tatlı su kaynaklarının sınırlılığı özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Dünya yüzeyinin %70'i su ile kaplı olmasına rağmen, bu suyun yalnızca %2,5'i tatlı su kaynaklarından oluşur ve bu kaynakların yalnızca %1'i insan faaliyetleri için erişilebilir durumdadır (Baggio vd. 2021). Su kaynaklarının sınırlı ve düzensiz dağılımı, hızla artan insan nüfusu ve sanayi faaliyetleri nedeniyle giderek daha kritik bir sorun haline gelmektedir.

İklim değişikliği su döngüsünü olumsuz yönde etkileyerek, yağış düzenlerinde değişikliklere ve su kıtlığını artırmaya neden olmaktadır. Özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika gibi su kıtlığı yaşayan bölgelerde, yeraltı su seviyelerinin düşmesi ve kuraklık gibi sorunlar giderek daha büyük bir tehdit haline gelmektedir (Namdar vd. 2021).

Su kaynaklarının kullanımı açısından, dünya genelinde su tüketiminin yaklaşık %70'i tarımsal sulamaya ayrılmaktadır (Heinke vd. 2020). Küresel su kullanım istatistiklerinde Şekil 2.1'de gösterildiği üzere, endüstriyel kullanım toplam su tüketiminin %20'sini ve evsel kullanım ise %10'unu oluşturmaktadır (Ungureanu vd. 2020).



Şekil 2.1. Küresel su kullanım istatistikleri

Her ne kadar evsel kullanım, toplam su tüketimi içinde nispeten küçük bir paya sahip gibi görünse de bireysel davranış değişiklikleri ve yenilikçi teknolojilerin uygulanabilirliği açısından en dinamik ve dönüştürülebilir alanlardan biridir. Evsel su tüketiminde sağlanacak verimlilik, yalnızca su tasarrufuna değil, aynı zamanda enerji tüketiminin azaltılmasına da doğrudan katkı sağlayabilir. Bu bağlamda, su kaynaklarının daha etkin yönetimi ve verimli kullanımı, sürdürülebilir enerji tüketimine de katkıda

bulunan yenilikçi su pompası teknolojileriyle mümkün hale gelmektedir. Özellikle evsel uygulamalarda enerji verimli pompaların kullanımı, bu küçük ölçekli görünen payın küresel anlamda büyük bir etki yaratmasını sağlayabilir.

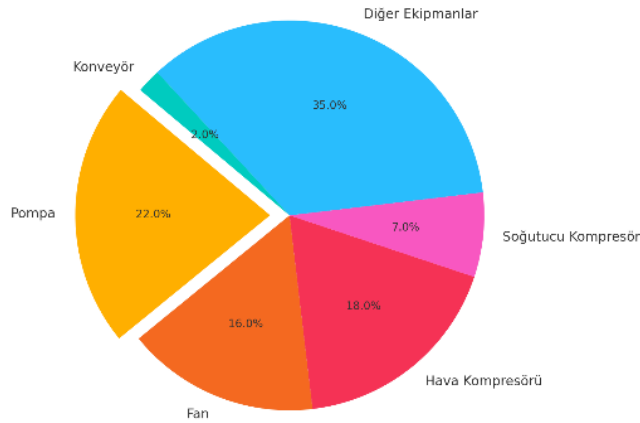
2.2. Pompa Sistemlerinin Sürdürülebilirliğe Etkileri

Su pompaları, bir kaynaktan suyun çekilerek başka bir noktaya taşınması veya basınçlandırılması amacıyla kullanılan temel ekipmanlardır (Ngancha vd. 2020). Bu cihazlar, suyun doğal akışını kontrol etmek ve yönlendirmek açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu veya eşitsiz dağıldığı bölgelerde, su pompaları hayati bir rol üstlenerek tarım, sanayi ve yerleşim yerlerine sürekli ve güvenilir su teminini mümkün kılmaktadır. Küresel ölçekte, pompaların hem elektrik hem de su tüketimindeki payı oldukça dikkate değerdir. Bu nedenle, pompaların enerji verimliliklerinin artırılması, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik tasarruf açısından stratejik bir gereklilik haline gelmiştir (Saidur 2010).

2.2.1. Pompaların küresel enerji ve su tüketimine etkisi

Pompa sistemleri dünya genelinde enerji tüketiminde kayda değer bir rol oynamaktadır. Küresel enerji tüketiminin yaklaşık %7'si su dağıtım sistemlerine atfedilmekte olup (Coelho ve Andrade-Campos 2014), gelişmiş ülkelerde tüketilen enerjinin yaklaşık %20'si pompalar tarafından kullanılmaktadır (Kaya vd. 2021). Ayrıca dünya genelinde kullanılan elektrik motorlarının yaklaşık %22'si Şekil 2.2'de gösterildiği üzere pompa sistemlerinde kullanılmaktadır (Napierała 2022; Oshurbekov vd. 2020). Pompa sistemleri, su dağıtım sistemlerinde tüketilen enerjinin yaklaşık %90'ını oluşturarak enerji tüketiminde baskın bir rol oynamaktadır. Bu durum, su tesislerindeki enerji kullanımının büyük ölçüde pompalama işlemlerine dayandığını ve işletme maliyetlerinin önemli bir kısmının bu tüketimden kaynaklandığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, pompa sistemlerinin enerji verimliliğini artırmaya yönelik iyileştirmeler hem enerji tüketimini azaltmak hem de işletme maliyetlerini düşürmek için kritik bir öneme sahiptir (Abdelsalam ve Gabbar 2021).

Elektirik Motorlarının Çeşitli Uygulamalardaki Tüketim Oranları



Şekil 2.2. Küresel elektrik motorlarının uygulamalara göre dağılımı

Bununla birlikte, su pompaları yalnızca enerji tüketimi açısından değil, aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi açısından da merkezi bir yere sahiptir (Luna vd. 2019). Su pompaları, farklı sektörlerde suyun etkin bir şekilde taşınması ve kullanımı için kritik bir araçtır. Örneğin, tarım sektöründe yer altı sularının çıkarılması ve sulama sistemlerinde kullanımı su israfını önlemek açısından önem taşırken, şehir altyapılarında içme suyu temini ve atık suyun yönetimi için kullanılan pompalar, kamu sağlığını ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Siddiqi ve Fletcher 2015). Bu bağlamda, su pompalarının enerji verimliliğini artırmaya yönelik çözümler hem enerji tüketimini ve ilişkili sera gazı emisyonlarını azaltmada hem de su kayıplarını azaltma açısından vazgeçilmezdir.

2.2.2. Pompaların farklı sektörlerde kullanım alanları

Su pompaları, endüstriyel, ticari, tarımsal ve evsel uygulamalarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Endüstriyel alanda, pompalar su, kimyasallar, gazlar ve diğer sıvıların taşınmasında kullanılır ve özellikle enerji yoğun sektörlerde yüksek miktarda elektrik tüketimi ile dikkat çekmektedir (Wakeel vd. 2016). Ticari alanlarda, su temini ve atık su yönetimi için kullanılan pompalar, altyapı sistemlerinin sürdürülebilir şekilde çalışmasını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Stefanakis 2019). Tarımsal uygulamalarda, sulama pompaları tarım arazilerinin verimli bir şekilde sulanmasında ve su kıtlığı çeken bölgelerde yer altı sularının dikkatli bir şekilde çıkarılmasında kilit rol oynamaktadır (Knox vd. 2012). Evsel kullanımda ise su pompaları, su basıncının düzenlenmesi, atık suyun yönetimi ve küçük ölçekli sulama sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar ev tipi pompaların enerji tüketimi endüstriyel uygulamalara göre daha düşük olsa da bu sistemlerin verimliliği, bireysel enerji tüketimi üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir (Souza vd. 2021). Bu bağlamda, ev tipi pompalar da en az endüstriyel uygulamalar kadar önem arz etmektedir. Bu bağlamda, her bir kullanım alanında pompaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik çözümler hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamak hem de enerji ve su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir.

2.2.3. Verimli pompaların elektrik ve su tasarrufu üzerindeki etkisi

Pompaların verimli çalıştırılması, küresel ölçekte hem elektrik hem de su tasarrufu sağlama açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Augustyn 2012). Verimsiz çalışan pompalar, yüksek enerji tüketimine ve su kaynaklarının israfına neden olmaktadır. Buna karşın, enerji verimliliği yüksek pompalar, enerji tüketimini azaltarak çevresel sürdürülebilirliği teşvik eder. Bu bağlamda, değişken hızlı sürücüler, akıllı kontrol sistemleri ve enerji verimli motorlar gibi teknolojiler, pompa sistemlerinin daha verimli çalışmasını sağlayarak enerji kayıplarını en aza indirir (Beck vd. 2018). Akıllı pompa kontrol sistemleri, pompanın yaşam döngüsü boyunca %70'e kadar maliyet tasarrufu sağlayabilmektedir (Mutchek ve Williams 2014). Bu tür yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu, enerji tüketimini optimize ederek küresel enerji talebini azaltmada ve çevresel etkileri en aza indirmede stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir.

2.2.4. Ev tipi kullanımlarda verimli pompaların sağladığı avantajlar

Ev tipi su pompalarının enerji verimliliği hem bireysel kullanıcılar hem de küresel enerji politikaları açısından önemli kazanımlar sunmaktadır. Verimli su pompaları, yalnızca ihtiyaç duyulduğunda çalışarak enerji tüketimini en aza indirir ve bu durum elektrik maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf edilmesini sağlamaktadır (DeBenedictis vd. 2013; Howe 2005). Bunun yanı sıra, suyun daha dikkatli kullanılması, özellikle su kıtlığı yaşayan bölgelerde su israfının önlenmesine katkıda bulunur (Cheng 2002). Çeşitli çalışmalar, verimli pompa sistemlerinin enerji tüketiminde %30'a varan tasarruf sağlayabildiğini ortaya koymuştur (Şenol ve Karakuş 2017). Bu durum bireysel kullanıcılar için maliyet avantajı yaratırken, toplam enerji talebini azaltarak küresel enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır.

Su tasarrufu açısından, enerji verimli su pompalarının kullanımı avantajlar sunmaktadır. Bu tür pompalar, suyun gereksiz yere ve aşırı pompalanmasını önleyerek yalnızca ihtiyaç duyulan miktarda suyun kullanılmasını sağlamaktadır (Mukherjee vd. 2024). Geleneksel pompaların sıkça gereğinden fazla su kullanımına ve kaçaklara yol açtığı bilinirken, verimli pompa sistemleri bu sorunları önemli ölçüde azaltmaktadır (Lakshmanan vd. 2021). Su israfını önleyici sistemler ile donatılmış akıllı su pompaları, ev tipi uygulamalarda %15 ila %40 arasında su tasarrufu sağlayabilmektedir (Palermo vd. 2022). Özellikle bahçe sulama, konut su temini ve atık su yönetimi gibi uygulama alanlarında bu sistemlerin sağladığı tasarruf, su kaynaklarının korunmasına ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına anlamlı katkılar sağlamaktadır (AlGhamdi ve Sharma 2022).

2.2.5. Pompaların sınıflandırılması ve kontrol sistemleri

Su pompaları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek suyu belirli bir noktadan diğerine taşıyan elektro-mekanik cihazlardır. Pompa sistemlerinin verimliliği ve etkinliği, tasarım, kontrol ve enerji yönetimi ile doğrudan ilişkilidir. Uygulama türlerine göre tasarlanan pompalar hem mekanik hem de elektriksel özellikleri bakımından sınıflandırılabilir.

Su pompaları, mekanik açıdan sıvıyı taşıma yöntemine göre santrifüj pompalar ve pozitif yer değiştirme pompaları gibi farklı türlere ayrılır. Santrifüj pompalar, sıvıyı

çarkların dönme hareketiyle taşırken, pozitif yer değıştirme pompaları sıvıyı kapalı bir alanda hareket ettirmektedir (Bachus ve Custodio 2003).

Pompaların elektriksel sınıflandırılması genellikle giriş voltajına (örneğin, 230 V, 380 V, 400 V gibi), faz tipine (tek faz veya üç faz) ve gücüne (kW veya hp) göre yapılmaktadır. Tek fazlı pompalar, genellikle 1 hp ila 3 hp arasında güç gereksinimi olan evsel uygulamalar için uygunken, üç fazlı pompalar daha yüksek kapasite gerektiren endüstriyel işlemlerde tercih edilmektedir (Hughes ve Drury 2019).

Pompaların çalışma süreçleri genellikle elektrik kontrol üniteleri aracılığıyla yönetilmektedir. Manuel kontrol müdahalesini azaltmayı hedefleyen gelişmiş pompa kontrol sistemleri hem enerji tasarrufu sağlamak hem de sistem performansını optimize etmek için tasarlanmıştır.

Endüstriyel süreçlerde kullanılan yüksek güçlü pompalar için motor hızının ayarlanabildiği frekans kontrollü sürücüler yaygın bir çözümdür (Ahonen vd. 2014). Bu teknoloji, özellikle yüksek kapasiteli sistemlerde büyük enerji tasarrufu sağlamaktadır; ancak düşük ölçekli uygulamalardaki monofaz ev tipi pompalar için otomatik açma/kapama yapabilen analog kontrol sürücüleri düşük maliyetle yüksek performans sunması ve pratik bir çözüm olması ile öne çıkmaktadır. Son yıllarda, ev tipi uygulamalarda kullanılan 3 hp gücüne kadar olan tek fazlı pompalar için geliştirilen kontrol kartları, pompanın etkin bir şekilde kontrol edilmesini sağlamakta ve operasyonel doğruluğu artırmaktadır. Bu teknolojiler, pompa çalışma süresini optimize ederek hem enerji tasarrufu sağlamakta hem de pompanın kullanım ömrünü uzatarak uzun vadede maliyet avantajı sunmaktadır.

2.3. Analog ve Dijital Pompa Kontrol Sistemleri

Analog pompa kontrol sistemleri, düşük maliyetli ve daha basit yapıları sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Fadali ve Visioli 2020). Bu sistemler, mikroişlemci veya yazılım tabanlı dijital kontrol yöntemlerinden farklı olarak, daha basit elektronik bileşenlerle çalışır ve yönetilir. Literatürde yaygın olarak kullanılan analog kontrol sistemleri arasında basınç anahtarı kontrollü sistemler, seviye şalteri kontrollü sistemler, termal röle ile kontrol ve akım kontrollü röle sistemleri bulunmaktadır (Liptak ve Eren 2012). Analog kontrol sistemlerinin en belirgin avantajları, düşük maliyetli olmaları, kurulumu ve kullanımı kolay bir yapıya sahip olmaları, enerji yoğun işlemlerde dayanıklı olmaları ve karmaşık elektronik bileşenler içermediğinden bakım gereksiniminin düşük olmasıdır. Bu avantajlar özellikle enerji ve maliyetin kritik olduğu küçük ve orta ölçekli uygulamalarda ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin bazı sınırlamaları da vardır. Dijital sistemlere kıyasla programlanabilirlik ve özelleştirme esnekliği düşük olan analog kontrol sistemleri, hassas veri izleme ve kontrol yeteneklerinden yoksun olmaları nedeniyle ileri düzey otomasyon ve izleme gereksinimi olan uygulamalarda yeterli performansı sağlayamayabilmektedirler (Fadali ve Visioli 2009).

2.4. Ev Tipi Pompa Kontrol Sistemleri Üzerine Literatür Araştırması

Şehir su şebekelerinden gelen suyun, özellikle yüksek katlı binaların üst katlarına etkin bir şekilde ulaştırılması, basınç kaybı nedeniyle zorlaşmaktadır. Şebeke basıncının yetersiz olduğu durumlarda, suyun binanın tüm katlarına ulaştırılabilmesi için ek

pompalama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Wang vd. 2020). Bu nedenle, suyun basınçlı bir şekilde dağıtılmasını sağlayan kontrol ve iletim sistemlerinde yaygın olarak (i) su tankları ile depolama yapılarak dağıtılması sağlayan depolama temelli seviye bazlı pompalama sistemleri veya (ii) depolama yapılmadan şebekeye doğrudan bağlanarak dağıtım sağlayan basınç temelli pompalama sistemleri kullanılmaktadır (Binggeli 2003) (Şekil 2.3). Literatür çalışması su teminindeki verimliliği artırmak, su kesintilerini önlemek ve enerji kullanımını optimize etmek amacıyla bu sistemlerin farklı yapılandırmalarını incelemektedir. Yüksek katlı binalarda, doğru seçilen ve iyi yönetilen pompalama sistemleri hem kullanıcı konforunu artırmakta hem de sürdürülebilir su yönetimine katkı sağlamaktadır (Müller vd. 2021).



Şekil 2.3. Ev tipi pompa kontrol sistemlerinin sınıflandırılması

2.4.1. Depolama temelli kontrol sistemleri

Depolama temelli seviye bazlı kontrol sistemleri, tank veya depodaki su seviyesini sensörler aracılığıyla sürekli olarak izleyip, su seviyesinin belirli bir eşiğe ulaşması durumunda pompanın otomatik olarak çalışmasını veya durmasını sağlayan sistemlerdir (Nørgaard ve Nielsen 2023). Bu sistemler, evsel kullanımların yanı sıra büyük ölçekli tarım ve sulama projelerinde de yaygın olarak tercih edilmektedir. Seviye bazlı sistemlerin en büyük avantajları arasında, su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamaları ve pompanın sürekli çalışmasına gerek kalmadığından dolayı enerji tasarrufu sağlaması bulunmaktadır. Sensörler aracılığıyla yapılan sürekli izleme, su seviyesinin her an takip edilmesine olanak tanır ve gerektiğinde otomatik müdahale edilmesini mümkün kılmaktadır (Loizou ve Koutroulis 2016). Ancak, bu sistemlerin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Yüksek kurulum maliyetleri, fiziksel depolama alanı gereksinimi ve suyun uzun süre tanklarda beklemesi nedeniyle hijyenik kontrol ihtiyacı, önemli dezavantajlar arasında yer almaktadır (Butler 2010). Ayrıca, kullanılan sensörlerin bakım ve kalibrasyonu düzenli olarak yapılmadığında sistemin etkinliği azalabilir ve arızalar meydana gelebilir (Soriano vd. 2016). Özellikle sensörlerdeki hata ya da çevresel faktörler (kireçlenme veya aşırı sıcaklık gibi) nedeniyle performans kaybı yaşanması, manuel müdahale gerektirerek sistemin otomasyon avantajlarının bir kısmını ortadan kaldırabilmektedir. Bu nedenle, sistemin güvenilirliğini artırmak için düzenli bakım ve sensör kalibrasyonları kritik öneme sahiptir (Korhonen 2021). Depolama temelli seviye bazlı sistemlerde kullanılan sensör teknolojisi, işlevsellik açısından (i) sıvı ile doğrudan temas eden sensörler ve (ii) sıvı ile temas etmeyen sensörlerle geliştirilen kontrol sistemleri olarak iki ana kategoride toplanabilir (Bera vd. 2006).

2.4.1.1. Sıvı ile doğrudan temas eden seviye kontrol mekanizmaları

Sıvı ile doğrudan temas eden sensörler arasında şamandıralar, iletkenlik temelli sensörler ve hidrostatik basınç sensörleri öne çıkmaktadır (Mandal ve Bera 2014; Wu vd. 2012). Bu sensörler, sıvının fiziksel olarak sensörle etkileşime girmesiyle su seviyesini izler ve bu verilere dayalı olarak pompanın çalışma durumu düzenlenir. Özellikle şamandıra sensörleri düşük maliyetli ve basit yapılarıyla yaygın olarak kullanılmakta, iletkenlik sensörleri ise sıvının elektrik iletkenliğine dayanarak seviye ölçümü yapmaktadır (Jin 2024).

Literatürde seviye ölçümü yardımı ile otomatik pompa kontrolü sağlayan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada Reza vd. (2010) yaptıkları çalışmada, mikrodeneleyici kullanarak su seviyesini otomatik algılayan ve su depolarının otomatik doldurulmasını sağlamayan kablolu ve kablosuz haberleşme sağlayan bir kontrol sistemi geliştirilmiş olup, ilgili sistem kuru çalışmaya karşı motoru korumamaktadır. Band ve Anyasi (2014) yaptıkları çalışmada, manuel tank doldurma işlemlerinde su israfını azaltmak için genleşme tanklarında kullanılmak üzere civalı seviye anahtarına bağlı bir pompa kontrol sistemi geliştirilmiştir. Yapılan bir çalışmada (Gonzalez ve Weeks 2016), araştırmacılar geliştirdiği pompa kontrol ünitesiyle hidrofor sistemlerinde zemin seviyesindeki depolama tankında su seviyesi azaldığında pompanın havayı çekerek arıza yapmasını engellemek için sıvı seviye sensörleri sayesinde otomatik kontrol sistemi geliştirilerek su pompası koruması ve verimlilik sağlamışlardır. Diğer bir çalışmada (Jamal 2016), su pompası analog kontrol sistemlerindeki hassas olmayan su yönetim sistemi sonucu olarak su pompalarının aşırı debili su basmasına ve büyük ölçüde su israfına neden olması sebebiyle, sıvı seviye göstergelerine bağlı aşırı akışı önleyen bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Başka bir çalışmada (Getu ve Attia 2016), depodaki su seviyesini çoklu sıvı seviye sensörleri ile tespit edip pompayı ardışık mantık ile çalıştıran bir kontrol mekanizması geliştirilmiştir.

2.4.1.2. Sıvı ile temas etmeyen seviye kontrol mekanizmaları

Sıvı ile temas etmeyen sensörler, ultrasonik, radar veya lazer temelli ölçüm teknolojileri kullanarak su yüzeyine gönderilen dalgaların geri dönüş süresini hesaplamak suretiyle seviye tespiti yapmaktadır (Wu vd. 2023). Ultrasonik sensörler, ses dalgaları aracılığıyla geri dönüş süresine bağlı olarak su seviyesini belirlerken, radar sensörleri elektromanyetik dalgaları kullanarak benzer bir prensiple çalışmaktadır (Pereira vd. 2022). Bu sensörler, sıvıya doğrudan maruz kalmadıkları için, özellikle kimyasal maddelerin bulunduğu veya yüksek sıcaklıkların görüldüğü endüstriyel ortamlarda tercih edilmektedir. Sağladıkları dayanıklılık, düşük bakım gereksinimi ve uzun ömürlülük, onları zorlu koşullarda daha güvenilir bir seçenek haline getirmektedir (Kuswidiyanto vd. 2021).

Temassız sensörlerin bir diğer avantajı, hassasiyet ve doğruluk seviyelerinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle, büyük hacimli tanklardaki su seviyesinin izlenmesi gereken uygulamalarda sıklıkla tercih edilirler (Blanco-Gómez vd. 2024; Zhang vd. 2024). Ayrıca, çevresel koşulların sıvının fiziksel özelliklerini değiştirdiği durumlarda bile güvenilir sonuçlar vermeleri, bu sensörleri endüstriyel su yönetimi süreçlerinde kritik bir araç haline getirmiştir (Ranieri vd. 2024).

Literatürde yapılan araştırmalar, ultrasonik ve radar sensörlerinin temassız ölçüm yaparak sıvı taşması veya sıvı eksikliği gibi risklerin minimize edilmesine yardımcı olduğunu göstermektedir. Örneğin, yapılan bir çalışmada (Shah vd. 2017), tanklardaki sıvı seviyesinin hassas ölçülmemesi nedeniyle oluşan su taşmasını önlemek için ultrasonik sensörle izleme ve yazılım tabanlı kontrol sağlayan bir ürün geliştirilmiştir. Prima vd. (2017) yaptıkları araştırmada, ultrasonik sensör, akış sensörü ve mikrodnetleyici kullanarak su deposunun otomatik doldurulmasını ve su kullanımını analiz eden bir sistem geliştirmiştir. Durga vd. (2018), gerçek zamanlı görüntüleme için ultrasonik sensör, GSM modülü ve mikrodnetleyiciyle nesnelerin interneti teknolojisini entegre ederek esnek ve ekonomik bir kontrol sistemi geliştirmiştir. Benzer şekilde bir diğer çalışmada (Varun vd. 2018), ultrasonik sensörle deponun seviyesini belirli yüzdelik oranlara ayırarak bir Arduino tabanlı kontrol sistemi oluşturulmuştur. Ayrıca yapılan bir araştırmada (Mohammed vd. 2019), küçük tanklarda sıvı seviyesini ve hacmini ölçmek için mikrodnetleyici ve ultrasonik sensör kullanan bir erken uyarı sistemine sahip kontrol kartı tasarlanmıştır. Akinwale (2020), Arduino mikrodnetleyici ile pompanın kuru çalışmasını önlemek için algoritma sunan ve aşırı yük kesici ile faz hatası rölesi ekleyerek pompa ömrünü uzatmayı hedefleyen bir su seviyesi kontrol sistemi geliştirmiştir. Reddy vd. (2021), yaptıkları çalışmada IoT tabanlı sensörler kullanılarak su seviyesini algılayan ve su pompasını otomatik olarak kontrol eden, düşük maliyetli, bakımı kolay ve enerji tasarruflu bir sistem geliştirmiştir. Son olarak, başka bir çalışmada (Agada vd. 2024), pompayı kuru çalışmaya karşı koruyan ve su kullanımını optimize eden mikrodnetleyici tabanlı bir kontrol sistemi geliştirilmiştir.

2.4.2. Şebeke hattına doğrudan bağlı kontrol sistemleri

Yüksek katlı binalarda ve büyük yapılarda suyun etkin dağıtımı önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Şehir su şebekelerinden gelen suyun özellikle üst katlara ulaşmasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, basınç kayıplarının yönetimidir. Geleneksel olarak bu sorunun çözümü, su tanklarıyla çalışan seviye temelli pompalama sistemleriyle sağlanmıştır (Korhonen 2021). Ancak günümüzde daha kompakt ve enerji verimli çözümler sunan, tank kullanmadan şebeke hattına doğrudan bağlanan basınç temelli hidrofor sistemleri yaygınlaşmıştır. Bu sistemler, su basıncını düzenlemek için basınç sensörleri ve otomatik kontrol mekanizmalarından faydalanarak, suyun bina içinde ihtiyaç duyulan seviyede ve sürekli olarak iletilmesini sağlamaktadır (Todorov ve Tonkov 2024). Böylece hem kesintisiz su akışı sağlanır hem de enerji tüketimi optimize edilir. Literatürde bu tür sistemlerin, su dağıtımında sağladığı verimlilik ve enerji tasarrufu, su kesintilerini en aza indiren ve sürdürülebilir bir çözüm sunan önemli teknolojiler olarak ele alındığı görülmektedir.

Tank kullanmayan pompa sistemleri, geleneksel tank tabanlı sistemlerin sağladığı tampon işlevinden yoksun olduğu için su basıncı ve debi dalgalanmalarını anlık olarak izlemek ve kontrol etmek amacıyla gelişmiş sensörler ve kontrol mekanizmaları kullanmaktadır (Akpan ve Osakwe 2015). Bu sensörler, su basıncı belirli bir seviyenin altına düştüğünde pompayı otomatik olarak devreye sokar ve istenilen basınca ulaşıldığında pompa otomatik olarak kapatır. Ayrıca akış (debi) temelli kontrol sistemleri, su dağıtımında değişken talep koşullarına uyum sağlamak için suyun akış hızını izleyerek optimum çalışma sunar. Bu sistemler, genellikle kesintisiz su akışı gerektiren endüstriyel alanlarda tercih edilmektedir ve basınç ile debiyi birleştiren hibrit kontrol mekanizmaları da kullanılmaktadır (Page ve Creaco 2019). Genel olarak, bu tür sistemler sabit su

kaynaklarına veya doğrudan şebeke hattına bağlanarak yer tasarrufu sağlarken enerji verimliliğini de artırır. Modern su yönetim teknolojilerinden biri olarak bu yaklaşımlar, su dağıtımında verimliliği artırmak ve enerji tasarrufunu maksimize etmek amacıyla geliştirilmiş sürdürülebilir çözümler sunmaktadır.

2.4.2.1. Akış bazlı kontrol sistemleri

Akış (debi) bazlı pompa kontrol sistemleri, su dağıtımında akış hızının sürekli olarak izlenmesi ve talebe bağlı olarak pompaların devreye girip çıkmasının yönetilmesine dayanır. Bu sistemlerde kullanılan akış sensörleri, suyun belirli debi aralıkları içinde kalmasını sağlamak amacıyla pompayı gerektiğinde çalıştırır ya da durdurur. Özellikle değişken su talebinin olduğu sistemlerde, akış bazlı kontrol, suyun kesintisiz iletilmesini sağlarken enerji verimliliğini artırır. Bu sistemler, anlık su taleplerini karşılayarak dinamik talep yönetimi sunar ve bu yönüyle ticari binalar, oteller, endüstriyel tesisler ve tarımsal uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir (Kumar ve Sarangi 2022).

Genellikle basınç temelli kontrol sistemleriyle kombine edilen akış bazlı sistemler, basıncı ve debiyi eş zamanlı olarak yöneterek optimum performans sağlar. Bu kontrol mekanizması, yalnızca gerekli durumlarda pompanın devreye girmesini sağlayarak enerji tasarrufu sunar ve sistemin çalışma ömrünü uzatır. Bu nedenle, sabit debi gereksinimi veya değişken su talebinin olduğu yapılarda akış bazlı pompa sistemleri ideal bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, literatürde akış temelli kontrol sistemlerinin yalnızca pompa kontrolü değil, aynı zamanda valf kontrolü gibi işlemleri de gerçekleştirebildiği, nem, kapasite, akım ve termal sensör verileri gibi farklı girdilere dayalı kontrol mekanizmalarıyla entegre edilebildiği belirtilmektedir (Coates vd. 2013).

Çeşitli uygulama örnekleri bu sistemlerin etkili kullanımını göstermektedir. Bu çalışmada, Hall etkisi (Hall-Effect) su akış sensörü ve AT89S52 mikrodenetleyici kullanılarak, tarımsal sulamada yalnızca gerekli miktarda su sağlayarak hem su hem de enerji tasarrufu yapan, düşük maliyetli otomatik bir su akış ölçer sistemi tasarlanmış ve otomatik pompa kontrol sistemi geliştirilmiştir (Sood vd. 2013). Benzer şekilde (Uday ve Aravind 2020), su akış sensörü ve su dedektörü kullanarak su pompasını otomatik olarak açıp kapatan bir elektronik kontrol sistemi geliştirilmiş olup; mikrodenetleyici borudaki su varlığını ve akış hızını değerlendirerek ve motoru kontrol eden röleyi çalıştırarak şebekeden gelen düzensiz debideki suyun oluşturduğu su israfını azaltmaya yardımcı olmuştur. Bu çalışmada (Karadöl 2023), santrifüj pompa sisteminde akış sensöründen elde edilen verilerle debiyi sabit tutmak adına PWM yöntemi kullanılarak bir pompa kontrol sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada tarımsal sulama amaçlı kullanılmak üzere toprağın nemine göre zaman ayarı yapılarak pompanın otomatik sulamasını sağlamak amacıyla su pompasının güç devresini kontrol etmek için röle sistemini gerekli zamanda çalıştıran bir kontrol sistemi geliştirilmiştir (Getu ve Attia 2015). Ayrıca Anisha vd. (2017), evlerde belirli bir su hacmine ulaşıldığında suyun çıkış hızını otomatik olarak azaltan bir su tasarruf sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, su akış sensörü ve mikrodenetleyici yardımıyla suyun tüketimini izlerken selenoid valf kullanarak suyun çıkış hızını elektronik olarak kontrol etmiştir. Başka bir araştırmada (Caya vd. 2019), değişken su akışına uyum sağlayabilen, donanım ve yazılım geliştirmeleri ile otomatik vana ayarı sayesinde hassas su kontrolü sağlayan bir damla sulama sistemi geliştirilmiş ve test sonuçları sistemin su çıkışını belirlenen eşik değerine göre doğru miktarda

sağladığını göstermektedir. Bu örnekler, akış temelli kontrol sistemlerinin su yönetiminde hem tasarruf hem de verimlilik sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır.

2.4.2.2. Basınç bazlı kontrol sistemleri

Basınç temelli pompa kontrol sistemleri, şehir şebekesinden gelen suyun yüksek katlara ulaşması için depolama tankına ihtiyaç duyulmadan, su basıncını izleyip bina için ayarlanan basınca göre pompayı otomatik olarak kontrol eden kompakt ürün çözümleridir. Düşük maliyetli ve kolay kurulabilir yapıları sayesinde genellikle konutlarda ve küçük ölçekli sulama uygulamalarında tercih edilen bu sistemler, sabit su kaynaklarına veya doğrudan şebekeye bağlanarak çalışabilmektedir (Rathod vd. 2023). Analog pompa kontrol sistemlerinde su basıncının belirli bir değer altına düştüğünde pompayı açıp belirli bir değere ulaştığında kapatan basınç anahtarları kullanılırken, dijital pompa kontrol sistemlerinde basınç sensörleri kullanılarak mikrodenetleyici yardımıyla pompanın etkin kontrolü sağlanmaktadır. Tez çalışmasında geliştirilen çözüm basınç sensörü ile ilgili olduğundan dolayı, yeniliğin daha iyi vurgulanması adına basınç bazlı kontrol sistemlerinde kullanılan teknolojiler bir sonraki üst başlıklı bölümde (Bölüm 2.4.3) detaylandırılmıştır.

2.4.3. Basınç kontrol sistemlerinde kullanılan teknolojiler

2.4.3.1. Basınç sensörleri

Endüstriyel ve ev tipi uygulamalarda sürecin verimliliğini sağlamak için basıncın ölçümü ve kontrol edilmesi bir gerekliliktir. Basınç sensörleri, referans noktasına göre basıncı ölçerek mutlak, atmosferik ve diferansiyel şekilde ölçüm türleri sunmaktadır (Ferrero Martín 2019). Mekanik prensiple çalışan basınç göstergelerinde belirli basınçta şekil değiştirerek bir kadradaki işaretçiyi hareket ettiren bir diyafram veya bordon tüpü gibi mekanizmalar kullanılmaktadır (Tandeske 2002).

Literatürde, bu mekanik yer değiştirmelerin elektronik sinyallere dönüştürülmesi için çeşitli tekniklerin geliştirildiği görülmektedir. Bu bağlamda, farklı algılama yöntemlerine dayanan kapasitif, piezorezistif ve piezoelektrik basınç sensörleri sıklıkla tercih edilmektedir (Abacus 2021; Xu vd. 2018). Ayrıca, basınç sensörlerinin iyileştirilmesine yönelik olarak ölçüm doğruluğu ve hassasiyetinin artırılması, sensör boyutunun küçültülmesi ve güç tüketiminin azaltılması gibi konularda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Chiou ve Chen 2007; Liu vd. 2019; Nadezhdin ve Goryunov 2020; Yenuganti vd. 2018; Zhu vd. 2016). Sanayi uygulamalarında üretim yöntemlerinin gelişmesi nedeniyle ölçüm cihazlarının da iyileşmesi ve kullanım amacına göre geliştirilmesi de kaçınılmazdır. Sonuç olarak, kapasitif, piezorezistif ve piezoelektrik basınç sensörleri algılama tabanlı farklı ölçme teknolojileri sunarak geniş bir kullanım yelpazesi sağlamaktadır.

Kapasitif basınç sensörleri: Kapasitif basınç sensörleri, basıncı algılamak için iki paralel iletken plaka arasındaki kapasitans değişimini kullanır. Plakalardan biri sabitken, diğer plaka basınç değişimlerine duyarlıdır ve uygulanan basınçla birlikte bükülerek plakalar arasındaki mesafeyi değiştirir. Bu mesafe değişimi, kapasitansın artmasına veya azalmasına neden olur ve bu değişim, bir mikrodenetleyici tarafından elektrik sinyaline dönüştürülerek ölçüm yapılmasını sağlar. Kapasitif sensörler, yüksek

hassasiyetle düşük basınç uygulamalarında güvenilir ölçümler sunar ve düşük güç tüketimleri sayesinde uzun süreli kullanım için idealdir. Bu özellikleri, sensörleri endüstriyel ve tıbbi uygulamalarda, özellikle hassas ölçümlerin kritik olduğu alanlarda yaygın bir şekilde tercih edilen bir teknoloji haline getirmiştir (Kubba vd. 2016; Li vd. 2018).

Piezorezistif sensörler: Piezorezistif sensörler, malzemenin mekanik gerilime maruz kaldığında direnç değişimi göstermesi prensibine dayanır (Lang 2022). Bu sensörlerde, silikon bir diyafram üzerine yerleştirilen dirençler, uygulanan basınca bağlı olarak direnç değişimi oluşturur (Fraden ve King 2004). Direnç değişimleri, Wheatstone köprü devresiyle çıkış voltajına dönüştürülerek ölçülür (Regtien ve Dertien 2018). Yüksek basınç ve geniş sıcaklık aralıklarında stabil performans sundukları için yaygın olarak kullanılır. Bu teknoloji, kapasitif ölçüm yöntemlerinden önce geliştirilmiş olup, MEMS (Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler) teknolojisinin ilk ölçüm prensiplerinden biri olarak kabul edilmektedir. Düşük maliyetli üretim avantajı sayesinde tüketici elektroniği, otomotiv ve ev aletleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Literatürde, yüksek doğruluk ve güvenilirlik sunan piezorezistif sensörlerin geliştirilmesine yönelik birçok araştırma yürütülmüştür (Alfaro vd. 2017; Nguyen vd. 2018; Soy and Toy 2021; Takahashi vd. 2012; Yu ve Huang 2015).

Piezoelektrik basınç sensörleri: Piezoelektrik basınç sensörleri, kuvars veya özel seramikler gibi piezoelektrik malzemelerin basınç uygulandığında elektrik yükü üretme özelliğine dayanır. Bu malzemeler, uygulanan kuvvetle orantılı bir elektrik yükü oluşturur ve bu yükün polaritesi kuvvetin yönünü belirler. Oluşan yük, bir yük amplifikatörü aracılığıyla basınca orantılı bir voltaj sinyaline dönüştürülür. Piezoelektrik sensörler, dinamik ölçümler için ideal olup, hızlı değişen basınçları yüksek hassasiyetle algılayabilir. Ancak, üretilen yük zamanla kaybolduğundan, uzun süreli statik basınç ölçümlerinde performansları sınırlıdır. Bu sensörler, titreşim analizi, şok dalgaları ve ani basınç değişimlerinin izlenmesi gibi dinamik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hızlı tepki süreleri sayesinde otomotiv, havacılık ve endüstriyel süreç kontrolü gibi alanlarda önemli bir seçenek olarak öne çıkmaktadırlar (Eaton ve Smith 1997; Shirinov ve Schomburg 2008; Venugopal vd. 2014).

Özetle, piezorezistif ve kapasitif basınç sensörleri mutlak, bağıl ve diferansiyel ölçümler için kullanılabilirken, piezoelektrik basınç sensörleri basınçtaki değişimlere duyarlı yapısıyla, genellikle piezoelektrik malzemenin başlangıç noktasına dayalı bağıl ölçümler sunar. Kapasitif basınç sensörleri, piezorezistif sensörlere kıyasla daha yüksek doğruluk, düşük hata aralığı ve düşük enerji tüketimi avantajlarına sahiptir; ancak, daha karmaşık sinyal işleme ve kalibrasyon gerektirir. Piezorezistif sensörler ise düşük maliyetleri ve sinyal işleme kolaylıkları sayesinde geniş bir uygulama yelpazesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, kapasitif sensörler hassasiyet ve enerji verimliliği açısından öne çıkarken, piezorezistif sensörler ekonomik ve pratik çözümler sunmaktadır (Baney vd. 1997; Czarnocki ve Schuster 1999; Wang vd. 2015).

Mikroelektromekanik sistemler: MEMS, piezorezistif, kapasitif ve piezoelektrik sensörlerin mekanik gerilime dayalı elektriksel çıktılarının silikon üretim teknikleriyle minyatürleştirilmesi ve elektronik bileşenlerle entegre edilmesi temeline dayanmaktadır (Pallay vd. 2020). MEMS teknolojisi, küçük algılama elemanlarını sinyal işleme ve okuma devreleriyle birleştirerek yüksek doğruluk ve hassasiyetle gerilim

ölçümünü mümkün kılar. Bu sensörler, silikon üzerinde mikron seviyesinde çözünürlükle üretilmiş algılama mekanizmalarını içerir ve genellikle 2-3 mm boyutlarında kompakt cihazlar olarak tasarlanır. MEMS sensörler, ürettikleri küçük elektrik sinyallerini analog veya dijital sinyallere dönüştürerek farklı sistemlerle entegrasyona olanak tanır. Minyatür yapıları sayesinde dar alanlarda kullanılabilir, yüksek hassasiyetli ölçümler sunar ve düşük enerji tüketimiyle öne çıkar. Ayrıca, düşük üretim maliyetleri ve geniş uygulama alanları nedeniyle MEMS sensörler, otomotiv, tıp, tüketici elektroniği ve endüstriyel süreç kontrolü gibi birçok sektörde tercih edilen kritik bir teknolojidir (Christ vd. 2017; Dennis vd. 2011; Liu, vd. 2018; Nguyen vd. 2017; Phan vd. 2017; Piotto vd. 2016).

2.4.3.2. Basınç anahtarları (presostat)

Basınç anahtarları (şalterler veya presostatlar), sıvı ve gaz formundaki akışkanların belirli bir basınç seviyesinde hareketini açıp kapatan mekanik veya elektronik cihazlardır. Bu cihazlar, sistemdeki basınç seviyesinin önceden ayarlanmış eşik değerinin üzerine çıkması veya altına düşmesi durumunda, bileşenlerinin mekanik hareketiyle bir devreyi açar veya kapatır (Sahoo vd. 2016). Geniş bir kullanım alanına sahip olan basınç anahtarları, ısıtma, havalandırma ve klima sistemlerinden su ve hava pompalarına, gaz iletim hatlarından otomotiv sistemlerine kadar pek çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pashkov vd. 2020). Bu anahtarlar, sistemdeki basıncın bileşenlere zarar vermesini önleyerek kritik bir koruma sağlar ve farklı akışkan türlerine uygun malzemelerle tasarlanarak ilgili sistemlere entegre edilir. Basınç anahtarları, mekanik ve elektronik prensiplerle basınç seviyelerini izleyip kontrol etmeleri nedeniyle elektromekanik ve elektronik olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

Elektromekanik basınç anahtarı: Elektromekanik basınç anahtarları, mekanik bileşenlerin hareketiyle tetiklenerek elektrik devrelerini kontrol etme prensibine dayanır; diyafram, piston veya bordon tüpü gibi bileşenlerin kullanımıyla istenen basınca ayarlanarak pompayı açar veya kapatır (Cabrera 2003). Diyafram tipi anahtarlar vakum ve düşük basınçlı sistemlerde, piston tipleri yüksek basınçlı uygulamalarda, bordon tüpleri ise hassas basınç uygulamalarında tercih edilmektedir. Doğru tasarım ve malzeme seçimi, kullanılan akışkanın türüne uygun olarak uzun ömürlü kullanım sağlar. Elektromekanik anahtarlar, yüksek elektrik yüklerini destekleyebilme kapasitesiyle kesintisiz enerji gereksinimi olan endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılırken, mekanik bileşenlerin zamanla aşınması ve yıpranması bir dezavantaj olarak öne çıkmaktadır (Benfell vd. 2008; Jones ve Nenadic 2013)

Elektronik basınç anahtarları: Elektronik basınç anahtarları, kapasitif, piezorezistif ve piezoelektrik gibi yarı iletken teknolojilerini kullanarak, istenilen basınca göre meydana gelen elektriksel değişiklikleri algılayarak mekanik bileşenlere ihtiyaç duymadan devreyi açıp/kapatır ve böylece hassas ve tekrarlanabilir sonuçlar sunmaktadır (Chen ve Yan 2020; Shalabi vd. 2022). Küçük basınç değişimlerini algılama yeteneğiyle yüksek doğruluk sağlar ve dijital sistemlerle kolaylıkla entegre edilerek kapsamlı otomasyon imkanları sunmaktadır (Shen vd. 2022). Hareketli mekanik parçaların olmaması, aşınma riskini düşürürken daha az bakım gereksinimi ve daha uzun kullanım ömrü sağlamaktadır. Ancak, elektromekanik anahtarlara kıyasla daha karmaşık devreler içerdiğinden maliyetlidir ve yüksek elektrik yüklerini doğrudan kontrol edemediği için ek röleler gerektirebilir (Çizelge 2.1). Genellikle doğruluk ve hassasiyetin gerektirdiği tekrarlanabilir ölçüm kontrolüne sahip endüstriyel sistemlerde tercih edilmektedir.

Çizelge 2.1. Basınç anahtarları karşılaştırması

Özellik	Elektromekanik Basınç Anahtarı	Elektronik Basınç Anahtarı
Hassasiyet	Orta	Yüksek
Tekrarlanabilirlik	Düşük	Yüksek
Aşınma riski	Yüksek	Düşük
Bakım ve maliyet	Düşük	Yüksek
Kullanım ömrü	Düşük	Yüksek
Elektrik yükü yönetimi	Yüksek	Düşük

Özetle basınç anahtarları, endüstriyel ve ticari sistemlerde güvenlik ve verimliliğin sağlanmasında kritik bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Elektromekanik ve elektronik olmak üzere iki ana türde sınıflandırılan bu cihazların seçimi, sistem gereksinimleri, maliyet, güvenilirlik ve kullanım ömrü gibi faktörlere bağlılık göstermektedir (Çizelge 2.1). Elektromekanik anahtarlar, yüksek elektrik yüklerini yönetme kapasiteleri ve dayanıklılıklarıyla maliyetin ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilmekte olup, elektronik anahtarlar ise hassas ölçüm kabiliyeti, dijital entegrasyon ve uzun kullanım ömrü avantajlarıyla modern otomasyon sistemlerine uyum sağlamaktadır.

Doğru basınç anahtarının seçimi, sistemin yük taşıma kapasitesi ve hassasiyet ihtiyaçlarının yanı sıra cihazın uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlamak açısından önem taşımaktadır. Uygun bir seçim hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de uzun vadede maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

2.4.3.3. Basınç sensörleri ve basınç anahtarlarının karşılaştırılması

Basınç sensörleri, sistemdeki basıncı sürekli olarak ölçen ve bu verileri analog veya dijital sinyallere dönüştüren cihazlardır. Bu sensörler, kontrol sistemlerine, veri kayıt cihazlarına veya göstergelere bilgi sağlayarak basınç değişimlerini kesintisiz bir şekilde izleme ve analiz etme imkânı sunmaktadır (Çizelge 2.2). Yüksek hassasiyet ve doğruluk oranlarıyla, özellikle basınç seviyelerinin sürekli takip edilmesi gereken uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Fraden 2016).

Çizelge 2.2. Basınç sensörü ve anahtarının karşılaştırılması

Özellik	Basınç Sensörü	Basınç Anahtarı
Kullanım amacı	İzleme ve veri toplama	Kontrol ve tetikleme
Çıkış tipi	Analog veya dijital sinyal	Açık/Kapalı
Hassasiyet	Yüksek	Orta
Uygulama alanı	Basınç izleme	Pompa kontrolü, basınç eşik tetiklemesi

Elektronik basınç anahtarları ise, sistemdeki basıncın önceden belirlenen bir eşik değerine ulaşmış olup olmadığını tespit ederek elektrik devresini açma veya kapama işlevi gören kontrol cihazlarıdır. Genellikle pompa gibi bileşenlerin çalışmasını veya durmasını tetiklemek için kullanılan bu cihazlar, hassas kontrol imkânı sunan elektronik yapıları ve kullanıcı tarafından ayarlanabilir basınç eşik değerleriyle dikkat çekmektedir. Ayrıca, dijital ekran ve kontrol çıkışları gibi özellikleri sayesinde otomasyon ve endüstriyel sistemlerde önemli bir rol oynamaktadır (Sinclair ve Dunton 2011).

Basınç sensörleri daha çok veri toplama ve izleme amacı taşıırken, elektronik basınç anahtarları belirli bir eylemi tetiklemek için tasarlanmıştır. Bu işlevsel farklılıklar, her iki cihazın seçiminde ihtiyaçlara uygun tercihler yapılmasını gerektirmektedir (Doebelin ve Manik 2011).

2.5. Hidrofor ve Hidromat Sistemleri

2.5.1. Hidrofor

Hidroforlar, binalarda ve endüstriyel tesislerde suyun belirli bir basınç altında sabit bir akışla iletilmesini sağlamak için kullanılan kompakt pompa sistemleridir. Su deposu veya şehir şebekesi ile entegre çalışan bu cihazlar, suyu depolardan veya şebeke hatlarından alarak istenilen basınç seviyesinde tesisata iletir. Özellikle yüksek katlı binalarda, yetersiz şebeke suyu basıncının karşılanamadığı durumlarda veya suyun depolardan basınçla çekilmesi gerektiğinde hidrofor sistemleri vazgeçilmez bir çözüm sunmaktadır (Şekil 2.4).



(a)



(b)

Şekil 2.4. a) Paket hidrofor örneği (Anonim 5); **b)** Kademeli hidrofor örneği (Anonymous 2)

Hidrofor sistemleri; pompa, genişleme tankı, manometre, çek valf ve basınç anahtarı gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Genişleme tankı, sistemdeki basıncı sabit tutarak basınç dalgalanmalarını minimize eder ve aç-kapa şeklinde çalışan basınç kontrol ünitelerinin pompayı sık aralıklarla devreye sokmasını önleyerek daha verimli bir çalışma sağlar. Genellikle ekonomik nedenlerle elektromekanik türde tercih edilen hidrofor basınç anahtarları, alt ve üst basınç değerlerinin ayarlanmasına imkân tanır (Todorov ve Tonkov 2024). Sistem basıncı, ayarlanan minimum değerin altına düştüğünde basınç anahtarı elektrik kontaklarını birleştirerek pompayı devreye alır ve suyun basınçlandırılmasını sağlar. Basınç maksimum değere ulaştığında ise elektrik bağlantısını keserek pompanın durmasını sağlar.

Hidroforlar, kullanım alanına göre farklı boyut ve kapasitelerde tasarlanır. Doğru şekilde boyutlandırılmış ve düzenli bakımı yapılmış bir hidrofor, su temininde sürekliliği ve kullanıcı konforunu artırırken, aynı zamanda enerji tasarrufu sağlayarak işletme maliyetlerinin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sunar. Modern su yönetiminde hidrofor sistemleri, verimli ve sürdürülebilir çözümler sunan kritik bileşenler arasında yer almaktadır.

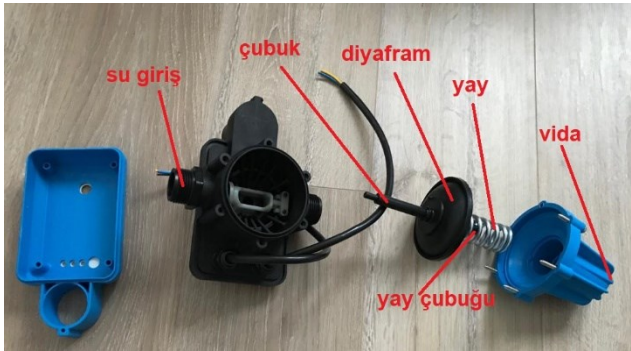
2.5.2. Hidromat

Hidromat, hidrofora benzer şekilde binalarda su temininde düşük basınçtaki suyun kesintisiz akışını sağlamak için kullanılan bir cihazdır. Ancak hidromatlar, genişleme tankı ve basınç şalteri gerektirmeden çalışmasıyla hidroforlardan ayrılmaktadır ve genellikle maksimum 3 hp gücündeki (tek faz) pompalara entegre edilmektedir (Anonim 6) (Şekil 2.5). Kompakt bir analog pompa kontrol cihazı olan hidromat, belirli bir eşik basınç değerine göre pompayı açıp kapatarak sistemin düzenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.5. Pompa üzerine monte edilmiş bir hidromat (Anonim 7)

Hidromatlar, basit ve güvenilir analog bir kontrol mekanizmasına sahiptir. Çalışma prensibi, pompa ile kullanıcı arasındaki su yüksekliğine bağlı olarak oluşan basıncın dengelenmesine dayanır. Bu dengeleme işlemi, hidromat içerisinde bulunan yay ve diyaframın su basıncıyla sıkışarak bir denge oluşturmasıyla gerçekleştirilir (Şekil 2.6). Su kullanılmaya başlandığında bu denge bozulur, diyafram hareket ederek röleyi tetikler ve pompa devreye girerek su akışını sağlar. Bu tetikleme, pompanın devreye girerek su akışını sağlamasını mümkün kılar.



Şekil 2.6. Geleneksel hidromatın iç yapısı

2.5.3. Hidromatın eksikleri

Hidromat sistemlerinin çalışma prensiplerindeki yetersizlikler, pompa kontrolünün etkin bir şekilde sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Elektromekanik basınç anahtarının mekanik yay ve diyaframı sıkıştırarak manuel manometreden basıncın ilgili manyetik anahtara göre diyaframa bağlı çubuktaki mıknatısın konumuna bağlı şekilde röleyi çalıştırmasından kaynaklı basınç algılama ve yorumlama konusunda sınırlı bir

hassasiyet bulunmaktadır. Bu durum, sistemin gereksiz yere çalışmasına ve dolayısıyla hem elektrik hem de su israfına neden olmaktadır. Ayrıca, analog hidromat kartlarının pompa ve sistem bileşenlerini korumadaki sınırlılıkları, uzun vadede bakım ve yenileme maliyetlerini artırarak işletme verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Geleneksel hidromatlarda karşılaşılabilecek bazı eksikler şunlardır (Anonim 4; Anonim 8; Anonim 9):

- Manuel ayar: Geleneksel analog sistemlerde basınç ayarlarının manuel yapılması, kullanıcı için zahmetli ve hataya açık bir yapı sunmaktadır; ayrıca, ayar sırasında pompanın çalışır durumda olması verimsizlik yaratmaktadır.
- Dengesiz basınç ayarı: Hidromatın sınırlı basınç ayar aralığı, basınç dalgalanmalarının geniş bir yelpazede gerçekleşmesine ve yüksek basınç aralıklarında kullanımın mümkün olmamasına neden olmaktadır.
- Voltaj Dalgalanma: Geleneksel hidromatlar, voltaj dalgalanmalarına karşı hassastır; bu durum kırsal alanlar ve apartmanlarda ana kart arızalarına neden olarak sistem performansını düşürmektedir.
- Arıza kodu: Bu sistemlerde kullanıcıya olası arıza durumlarında kullanıcının kolay müdahale etmesi amacıyla hata kodlarını gösteren bir gösterge uyarı sistemleri yoktur. Arıza teşhisi ve çözümü sırasında teknik bilgi gerektirmesi, kullanıcı dostu olmayan bir deneyim ve zaman kaybı yaratmaktadır.
- Motor koruma: Geleneksel hidromatlarda motorun çektiği akımın ölçülmesine ve motor arızalarına karşı koruma sağlanmasına yönelik bir sistem bulunmamaktadır. Bu durum, motorun aşırı yüklenme veya arıza durumunda zarar görmesine, hatta yanmasına yol açabilmekte; uzun vadede bakım maliyetlerini artırmakta ve sistem bileşenlerinin ömrünü kısaltmaktadır.
- Pompa gücü: Hidromatların 1,5 hp'den daha güçlü pompalarda kullanılabilmesi için kontaktörlü bir pano gerekliliği, ek maliyet ve sistem kurulumunda ek donanım ihtiyacı yaratarak kullanımını daha karmaşık ve maliyetli hale getirmektedir.
- Sıcaklık koruması: Geleneksel analog hidromatlar, su sıcaklığını algılama ve don tehlikesine karşı önlem alma yeteneğinden yoksundur. Bu eksiklik, don olaylarının sık yaşandığı bölgelerde motorun ve su hattının zarar görmesine, sistemin fonksiyonlarını kaybetmesine ve uzun vadede onarım maliyetlerinin artmasına yol açabilmektedir.
- Kuru çalışma: Geleneksel hidromatlar, su kesintisi durumlarını algılama ve pompayı kuru çalışmaya karşı koruma özelliğinden yoksundur. Bu eksiklik, motorun su bulunmadığı halde çalışmaya devam etmesine yol açarak enerji israfına ve motorun ciddi hasar görmesine neden olabilir.
- Nem koruma: Geleneksel hidromatlar, elektronik kart yapılarında neme karşı koruma sağlamadıkları için aşırı nemli bölgelerde ve mahallerde kart arızası riski taşımaktadır.

- Şalt sayısı: Su kullanımının sık olduğu bölgelerde hidromat yapısı itibari ile genleşme tankı olmadan kullanıldığından dolayı basınç dengesinin sık bozularak pompayı sık aç kapa yaparak çalıştırması hem normalin üstünde başlangıç akımı çekerek enerji kaybı ve gürültü oluşumuna hem de geniş yelpazedeki basınç aralığında su basıncı oluşturarak kullanıcıya dengesiz basınçta su sunması binada su kullanımında su kaybına da yol açmaktadır. Motorun şalt sayısını azaltmak adına kimi hidromatlarda zamanlayıcı kullanılarak pompanın her devreye girişinde fazla sürece çalışması uygulaması önlemi veya ek genleşme ünitesi eklenmesi tercih edilmektedir.

Tüm bu zorluklara rağmen, hidromatların basit yapısı, düşük maliyetli kontrol mekanizmaları, bütünleşmiş çek valfli yapısı ve yaylı diyafram mekanizması sayesinde bakım ihtiyacı (membran vb.) gerektirmeyen mini bir genleşme ünitesi içermesi, küçük ölçekli uygulamalarda ekonomik bir çözüm olarak dikkat çekmektedir. Ancak bu avantajların tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için, mevcut teknik eksikliklerin giderilmesi ve sistemin hassasiyetinin artırılması gerekmektedir.

2.5.4. Tez çalışmasının amacı ve çözüm önerisi

Tez çalışmasının amacı, TÜBİTAK 1512 desteği ile geliştirilmiş ve patente sahip Akıllı Hidromat teknolojisi kullanılarak, geleneksel hidromatların mekanik yapısına zarar vermeden mekanik basınç anahtarlarının basınç sensörlerine dönüştürülmesi, dijital bir elektronik kart ve yazılım geliştirerek pompa kontrolünün optimize edilmesi ve bu sayede hem bu sistemlerin yol açtığı sorunlara çözüm sunulması hem de enerji ve su tasarrufu sağlanmasıdır.

Akıllı Hidromat sayesinde dijitalleşen geleneksel hidromatlar ile su kesintisi, su kaçağı, su donması ve kısa süreli kullanım gibi dış etkiler algılanarak motorun gereksiz yere çalıştırılması önlenmiş ve şalt sayısı azaltılarak gürültü oluşumu ve enerji kaybı azaltılmıştır. Motorun her devreye girişinde yumuşak başlangıç ve her kapandığında yumuşak kapanış yapmasını sağlayarak uzun ömürlü olmasına katkıda bulunmuştur. Voltaj dalgalanmalarının sık yaşandığı ve nemli bölgelerde kullanımı için elektronik kartı güçlendirilmiştir. Pompanın etkin kontrolü ve dengeli basınç aralığı sağlanarak elektrik ve su tasarrufuna katkı sunması hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, analog kontrol sistemlerinin dijitalleştirilmesini içeren süreçler detaylandırılmış olup; elektronik sensör geliştirilmesi, elektronik devre tasarımı, sistem kontrolü, hata tespit algoritmalarının oluşturulması, elektronik devre kartı üretimi, deney düzeneklerinin hazırlanması ve saha testleri konularına yer verilmiştir. Projenin geliştirilmesi için gerekli olan materyaller ve deneysel çalışmalar, TÜBİTAK 1512 desteği kapsamında Aryas Ar-Ge Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından tamamlanmıştır. Saha çalışmaları, Antalya Teknokent A.Ş. binasında yürütülen test düzenekleri ile gerçekleştirilmiş; nihai testler tamamlanarak raporlanmıştır.

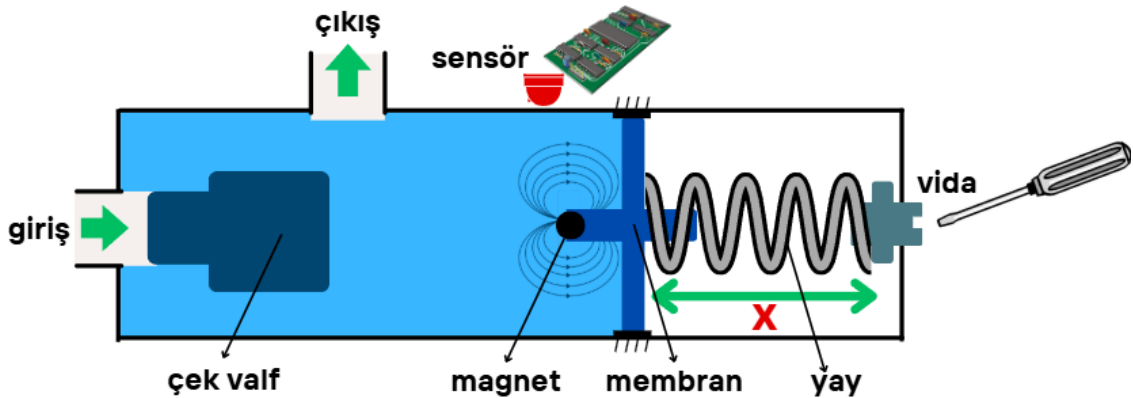
Materyal ve metot çalışmaları kapsamında; birincisi, elektronik sensör geliştirilmesi bölümünde, piyasada yaygın olarak kullanılan elektromekanik basınç anahtarlı analog hidromatın yapısına zarar verilmeden, maliyet etkin ve yenilikçi bir yöntemle basınç sensörüne dönüştürülmesi süreci detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. İkincisi, elektronik devre tasarımı bölümünde, analog verilerin dijitalleştirilmesini sağlayan elektronik devre kartının bilgisayar destekli tasarım programında oluşturulan şematik tasarımları, kullanılan elektronik bileşenler ve devrenin çalışma prensipleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur. Üçüncüsü, sistem kontrolü bölümünde geliştirilen cihazın çalışma prensipleri, kullanım yöntemleri, ayar mekanizmaları ve şematik çizimleri aktarılmaktadır.

Dördüncüsü, arıza tespit ve hata kodları bölümünde, geliştirilen akıllı hidromatın analog ürünlere kıyasla sağladığı avantajlar, sistem verimliliğini artıran hata tespit algoritmaları ve oluşturulan hata kodlarının çalışma prensiplerine dair bilgiler sunulmuştur. Son olarak, elektronik devre kartı üretimi ve saha performans testleri bölümünde, tez kapsamında geliştirilen elektronik ve mekanik çıktıların üretim süreçleri, bileşenlerin bir araya getirilerek prototip bir ürün haline getirilmesi ve bu prototipin deneysel ve saha testlerinden elde edilen veriler detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Bu kapsamlı süreç, hem inovatif elektronik tasarımların geliştirilmesini hem de saha koşullarında test edilerek sistemin verimliliğinin kanıtlanmasını hedeflemektedir.

3.1. Elektronik Sensör Geliştirilmesi

Geleneksel hidromatlar, pompa çıkış ağzına bağlanarak pompanın bastığı suyun çıkış hattından tesisata iletilmesini sağlar. Bu sistemler, içerdiği genleşme haznesi sayesinde suyun basınçlandırılmasına da katkıda bulunur. Şekil 3.1’de, geleneksel hidromatların çalışma prensibini gösteren temsili bir şematik sunulmaktadır. Hidromat

içerisinde, giriş ve çıkış olmak üzere iki bağlantı noktası, çek valf, membran, mıknatıs (magnet), yay, vida, sensör ve elektronik kart bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Hidromatın iç yapısı

Şekilde görüldüğü üzere, pompanın basınçlandığı su, hidromatin giriş bağlantısından girerek çıkış bağlantısından tesisat aracılığıyla kullanıcıya ulaşmaktadır. Pompa çalışmadığı durumlarda, yüksek katlardaki basınçlı suyun geri kaçmasını önlemek amacıyla, doğrusal hareket eden bir çek valf bulunmaktadır. Hidromatin içerisinde bulunan basınçlı su, dış çeperine sabitlenmiş olan membranla temas etmektedir.

Membranın uç çubukları üzerinde bir mıknatıs ve bir yay yer almakta olup, mekanik yay membran ile vida parçası arasında konumlandırılmıştır. Çalışma prensibi olarak, P basıncındaki su, membranın yüzey alanına temas etmekte ve Pascal prensibine göre (Denklem 3.1), yüzey alanına etki eden basıncın yüzey alanı ile çarpımı sonucu dik yönde bir F kuvveti oluşmaktadır (Xiong vd. 2012). Şekilde görüldüğü üzere, yatay yönde etki eden bu F kuvveti (Denklem 3.2), membran ile hidromatın sabit yüzeyi arasında bulunan hareketli vidaya temas etmekte ve yayı, k sertlik katsayısına bağlı olarak bir x mesafesi kadar sıkıştırmaktadır (Hooke Kanunu) (Atanackovic ve Guran 2000).

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

$$F = kx \quad (3.2)$$

Geleneksel hidromatlarda, çalışma basıncı manuel yöntemlerle ayarlanmaktadır. Öncelikle pompa çalıştırılır ve hidromat üzerindeki manometre yardımıyla anlık basınç takip edilir. Membranın ucundaki mıknatıs, hidromat içerisindeki manyetik anahtarın (reed anahtar) sabitlendiği konuma göre belirli bir pozisyonda yer alır. Manyetik anahtar, mıknatısın hareketini algılayarak röleyi aktif hale getirir ve pompayı kontrol eder. Kullanıcı, istenilen basınç değerinde pompayı çalıştırmak için bir tornavida yardımıyla vidayı sıkarak veya gevşeterek yayı doğrusal olarak gerer veya gevşetir. Böylece, manometre üzerinden takip edilen basınç değerine göre tornavida ile yapılan ayarlarla mıknatısın konumu değiştirilir ve denge noktası belirlenir.

Pompanın basınçlandırma işlemi sona erdiğinde, tesisattaki suyun basıncı giriş basıncından büyük olduğu için çek valf hareket ederek girişi kapatır. Su kullanılmaya başlandığında, sistemdeki su basıncı düşer ve denge noktası bozulduğunda reed anahtar bu durumun etkisiyle tetiklenerek röleyi kontrol eder ve pompayı tekrar çalıştırır. Bazı hidromat modellerinde ise çek valf içerisinde de mıknatıs ve elektronik kart üzerinde reed anahtar kullanılarak farklı çalışma prensipleri geliştirilmiştir. Ancak genel olarak, hidromatların çalışma prensibi, manuel ayarlamalarla yapılan aç/kapa şeklindeki analog kontrol mekanizmasına dayanmaktadır.

a. Hall etkisi basınç sensörüne dönüştürülmesi

Manyetik alanların algılanması ve ölçülmesi, modern elektronik ve endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yarı iletken tabanlı Hall etkisi sensörleri, manyetik alanları hassas ve güvenilir bir şekilde ölçme kabiliyetleri sayesinde mühendislik ve teknolojinin farklı alanlarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Hall etkisi, ilk olarak 1879 yılında Edwin Hall tarafından keşfedilmiş olup, elektrik akımı ile manyetik alanın etkileşimi sonucunda bir iletkenin kenarlarında oluşan Hall voltajı fenomenine dayanmaktadır (Hall 1879). Bu temel prensip, zamanla daha gelişmiş algılama teknolojilerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamış ve Hall etkisi sensörleri, düşük maliyetleri, yüksek hassasiyetleri ve geniş uygulama alanları sayesinde hızla yaygınlaşmıştır (Ramsden 2006).

Günümüzde Hall etkisi sensörler, temassız algılama, geniş çalışma sıcaklık aralığı, yüksek hassasiyet ve gelişmiş gürültü önleme özellikleri ile dikkat çekmektedir. Bu sensörler; akım ölçümü, pozisyon algılama, hız tespiti ve manyetik alan haritalama gibi alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Popović 1991). Sahip oldukları bu avantajlar, onları modern endüstriyel ve elektronik uygulamalarda vazgeçilmez hale getirmiştir.

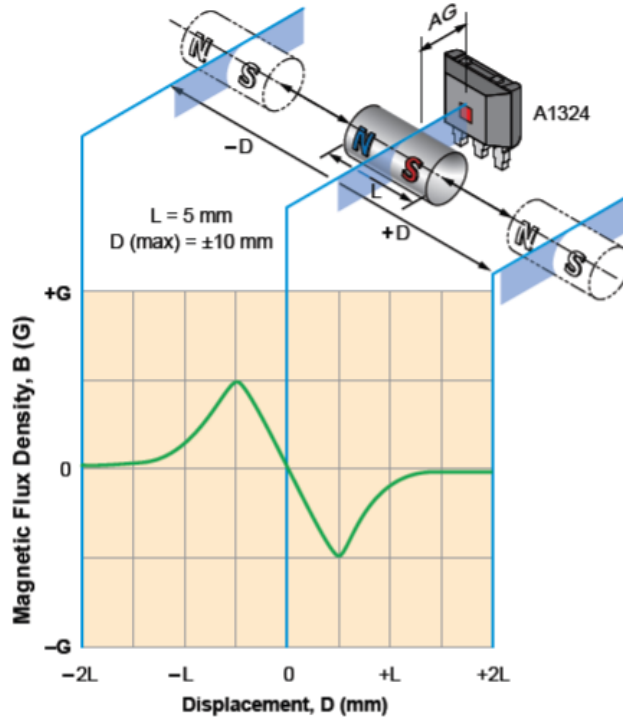
Hall etkisi sensörlerinin temel çalışma prensibi, sensörden geçen akım ile uygulanan manyetik alanın etkileşimi sonucunda bir potansiyel farkının, yani Hall voltajının (V_H), oluşmasına dayanır. Bu süreçte, sensör içerisindeki yük taşıyıcıları manyetik alanın etkisiyle sapmaya uğrar ve bu sapma, cihazın uçları arasında bir voltaj farkı oluşturur. Bu voltaj farkı, manyetik alanın yoğunluğu ve yönü ile orantılıdır. Hall etkisi sensörleri, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak analog ya da dijital çıkış verecek şekilde tasarlanabilir. Doğrusal analog sensörlerde, çıkış sinyali genellikle Hall voltajını ifade eden matematiksel denklemlerle modellenir (Anonymous 3) (Denklemler 3.3).

$$V_H = R_H \left(\frac{I}{t} \times B \right) \quad (3.3)$$

Buradaki denklemlerde V_H : Hall voltajını, R_H : Hall etkisi katsayısını, I : Sensörden geçen akımı, t : Sensörün mm cinsinden kalınlığını ve B : Tesla cinsinden manyetik akı yoğunluğunu ifade etmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan A1324 serisi Hall etkisi sensörü, hidromatın iç mekanizmasında yer alan ve basınca bağlı olarak x eksenini boyunca hareket eden bir mıknatısa paralel şekilde konumlandırılmıştır. Mıknatısın x eksenini boyunca gerçekleştirdiği pozisyon değişimleri, sensörün mıknatısa olan mesafesine bağlı olarak

sensör üzerine düşen manyetik akı yoğunluğunu belirli sınırlar içerisinde doğrusal bir şekilde artırmakta veya azaltmaktadır. Manyetik akı yoğunluğundaki bu doğrusal değişim sonucunda, sensörün çıkış sinyali olan V_H , doğrusal bir şekilde artmakta veya azalmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Hidromatta kullanılan mıknatıs ve sensörün konuma bağlı akı yoğunluğu değişimi (Andrea vd. 2022)

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, mıknatısın x eksenı boyunca artı ve eksi yönde L kadar hareket etmesi, manyetik akı yoğunluğunda belirli sınırlar dahilinde doğrusal bir artış ve azalmaya neden olmaktadır. Hidromatın içerisinde bulunan mıknatısın, basınca bağlı olarak konum değiştirmesi sonucunda oluşan manyetik alan değişimi, Hall etkisi sensörü tarafından algılanarak V_H gerilimine dönüştürülmekte ve bu değişim kolaylıkla okunabilmektedir. Böylelikle, hidromatın yapısına zarar verilmeden ve ek herhangi bir sisteme ihtiyaç duyulmadan reed anahtar manyetik alan sensörü ile değiştirilerek inovatif bir şekilde basınç sensörüne dönüştürülmüştür.

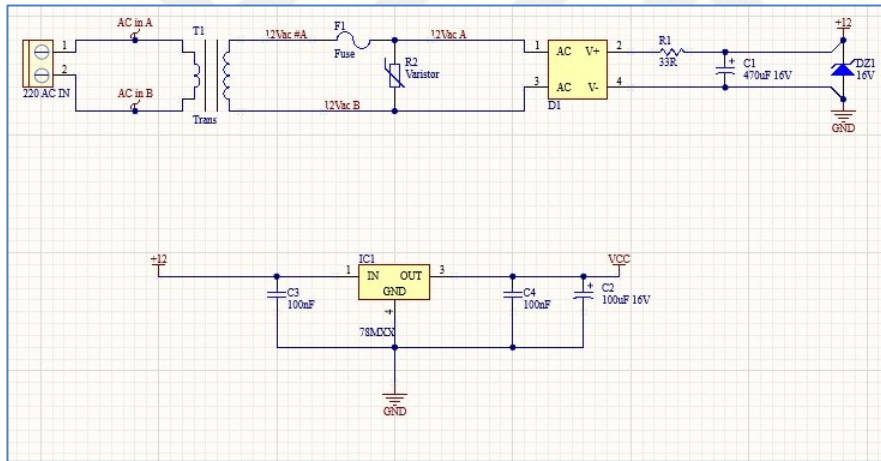
3.2. Elektronik Devre Tasarımı

Bu bölümde, güç kaynağı, basınç sensörü, sıcaklık sensörü, akım ve motor kontrolü, ekran ve kontrol düğmeleri ile mikrodenetleyici kontrol bloklarının şematik tasarımları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Güç kaynağı blok devresi, giriş gerilimini kullanarak elektronik devre elemanları için gerekli olan uygun gerilim seviyelerini sağlamaktadır ve sistemin kesintisiz çalışmasını desteklemektedir. Basınç ve sıcaklık sensör devresi, basınç sensörünün sistemde oluşan basıncı ölçmesini ve sıcaklık sensörünün ortam sıcaklığını okumasını mümkün kılan şematik tasarımları içermektedir.

Akım ve motor kontrolü bölümünde, motorun çektiği akımın izlenmesini ve katı hal rölesi aracılığıyla etkin bir şekilde kontrol edilmesini sağlayan devre tasarımları açıklanmıştır. Ekran ve buton kontrolü, iki adet 7 segment gösterge ile dört adet kontrol butonunun kullanıcı arayüzüne yönelik kontrol devrelerini kapsamaktadır. Mikrodenetleyici bloğunda ise elektronik devrenin genel kontrolünü sağlayan işlemci tanıtılmaktadır; bu işlemci, sensörlerden gelen verileri işleyerek ve motor kontrol sinyallerini yöneterek sistemin merkezi kontrol birimi işlevini üstlenmektedir.

3.2.1. Güç kaynağı blok devre şematik tasarımı

Bu devre şeması, AC 220 V giriş gerilimini kullanarak çıkışta sabit 5 V DC gerilim üretmek amacıyla tasarlanmış bir güç kaynağı sistemini temsil etmektedir (Şekil 3.3). Devre, gerilim dönüşümü, doğrultma ve regülasyon olmak üzere üç temel işlevsel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, gerilim dönüşümü gerçekleştirilerek girişteki yüksek alternatif gerilim, uygun bir seviyeye indirilmektedir. İkinci aşamada, doğrultma işlemi uygulanarak alternatif akım (AC), doğru akıma (DC) dönüştürülmektedir. Üçüncü ve son aşamada ise, çıkış gerilimindeki dalgalanmalar filtrelenerek sabit ve kararlı bir 5 V DC gerilim elde edilmektedir. Bu sistem, doğrultma, filtreleme ve voltaj regülasyonu işlemlerini bir araya getiren bütünleşmiş bir güç yönetim çözümü olarak işlev görmektedir.



Şekil 3.3. Güç kaynağı blok devre şematik tasarımı

a. Gerilim dönüşüm aşaması

Devrenin girişinde, AC 220 V şebeke gerilimi bulunmaktadır ve bu yüksek gerilim, bir transformatör (trafo) aracılığıyla daha güvenli bir seviyeye düşürülmektedir. Kullanılan transformatör, 220 V-12 V dönüşüm oranına sahiptir; bu sayede girişteki 220 V AC gerilim, çıkışta 12 V AC seviyesine düşürülmektedir.

Güç devresinin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak ve potansiyel arızalara karşı koruma mekanizması oluşturmak amacıyla transformatör çıkışında iki önemli bileşen yer almaktadır. Bileşenlerden birisi transformatör çıkışında kullanılan 1 A cam sigortası, ani aşırı akım durumlarında devreyi keserek bileşenlerin zarar görmesini önlemektedir. İkinci bileşen olan varistör, şebeke geriliminde meydana gelebilecek ani

yükselmeleri (voltaj darbelerini) absorbe ederek devreyi gerilim dalgalanmalarına karşı koruma altına almaktadır. Bu iki bileşen, güç devresinin giriş aşamasında etkili bir koruma mekanizması oluşturmakta ve devrenin güvenilir çalışmasını sağlamaktadır.

b. Doğrultma aşaması

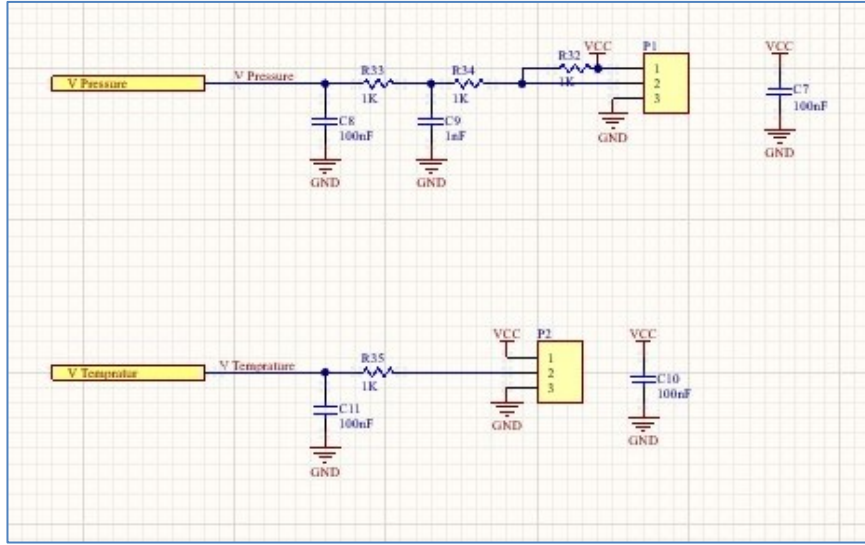
Transformatör tarafından 12 V seviyesine düşürülen AC gerilim, doğrudan elektronik cihazlarda kullanıma uygun değildir; bu nedenle AC gerilimin DC gerilime dönüştürülmesi (doğrultulması) gerekmektedir. Bu işlem, devrede yer alan köprü diyot (D1) kullanılarak gerçekleştirilir. Köprü diyot, AC gerilimin her iki yarı dalgasını kullanarak tam dalga doğrultma işlemi uygular ve bunun sonucunda çıkışta dalgalı bir DC gerilim elde edilir. Ancak, doğrultma işlemi sonrası elde edilen DC gerilim dalgalı bir yapıya sahip olduğundan, stabilize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, doğrultucu çıkışına 16 V, 470 μ F kapasitans değerine sahip C1 kapasitörü eklenmiştir. C1 kapasitörü, gerilimdeki dalgalanmaları absorbe ederek daha düzgün ve stabil bir DC gerilim sağlar. Yüksek kapasitans değeri (470 μ F), özellikle düşük frekanstaki dalgalanmaların etkili bir şekilde filtrelenmesine olanak tanımaktadır. C1 kapasitöründen sonra kullanılan zener diyot, 16 V üzerindeki gerilimleri sınırlandırarak devreyi aşırı gerilime karşı daha korunaklı hale getirmektedir. Bu aşamada, köprü diyot ve filtre kapasitörünün birlikte çalışması sonucunda 12 V DC gerilim elde edilmektedir.

c. Regülasyon aşaması

Doğrultma ve filtreleme aşamaları sonucunda elde edilen 12 V DC gerilim, elektronik sistemlerde doğrudan kullanıma uygun olmayabilmektedir. Özellikle mikrodenetleyiciler ve lojik devreler gibi bileşenler için sabit 5 V DC gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gerilim düşürme ve sabitleme işlemi, devrede yer alan 78M05 lineer voltaj regülatörü kullanılarak gerçekleştirilir. 78M05 voltaj regülatörü, giriş gerilimindeki küçük dalgalanmalara rağmen çıkışta sabit 5 V DC gerilim sağlayabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca çıkış geriliminin daha kararlı ve gürültüsüz olmasını sağlamak amacıyla regülatörün giriş ve çıkış uçlarına çeşitli filtre kapasitörleri eklenmiştir. Yüksek frekanslı gürültülerin filtrelenmesi amacıyla, regülatör girişine ve çıkışına C3 ve C4 (100 nF) kapasitörleri yerleştirilmiştir. Bu kapasitörler, ani gerilim değişimlerine karşı devreyi stabilize ederek gerilim kararlılığını artırmaktadır. Ayrıca, düşük frekanslı dalgalanmaların giderilmesi için kullanılan C2 (100 μ F, 16 V) kapasitörü, çıkış gerilimini daha düzgün bir hale getirmektedir. Bu düzenleme sayesinde, çıkışta sabit 5 V DC gerilim elde edilerek lojik devreler ve diğer hassas elektronik bileşenler için güvenli bir güç kaynağı sağlanmış olmaktadır.

3.2.2. Basınç sensörü ve sıcaklık sensörü blok şematik tasarımı

Akıllı Hidromat sisteminde basıncı okumak için Hall etkisi, akım ve sıcaklık sensörlerinin yanı sıra motor kontrolü için Katı hal rölesi (SSR: Solid State Relay) gibi akıllı bileşenler kullanılmıştır. Bu tasarım, sistemin daha hassas, güvenilir ve uzun ömürlü çalışmasını sağlamaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Basınç ve sıcaklık sensör şematigi

a. Basınç sensör şematik tasarımı

Şematik basınç sensörü tasarımında, basınç ölçümünün gerçekleştirilmesi amacıyla A1324UA Hall etkisi sensörü kullanılmıştır. Bu sensör, hidromat içerisinde bulunan pistonun ucundaki metalin manyetik alan üzerinde oluşturduğu değişiklikleri algılayarak 0-5 V aralığında bir analog voltaj çıkışı üretmektedir.

Sensör çıkışı, R32 pull-up direnci (1 kΩ) aracılığıyla 5 V VCC (Voltage at the Common Collector: Ortak Toplayıcıdaki Voltaj) kaynağına bağlanmıştır. Bu düzenleme, sensör çıkışını dijital mantık seviyesinde yüksek voltajda (5 V- mantık 1) tutarak, sinyal üzerindeki küçük dalgalanmaların etkisiz hale getirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, sensör devresinde kullanılan C8 ve C9 kondansatörleri, parazit (gürültü) sinyallerini süzerek sensör çıkışının daha hassas ve kararlı bir şekilde ölçüm yapmasına olanak tanımaktadır. Bu yapı, manyetik alan değişimlerinin doğru ve güvenilir bir şekilde algılanmasını sağlayarak, basınç sensörünün sistem tarafından işlenebilir veri üretmesine olanak tanımaktadır.

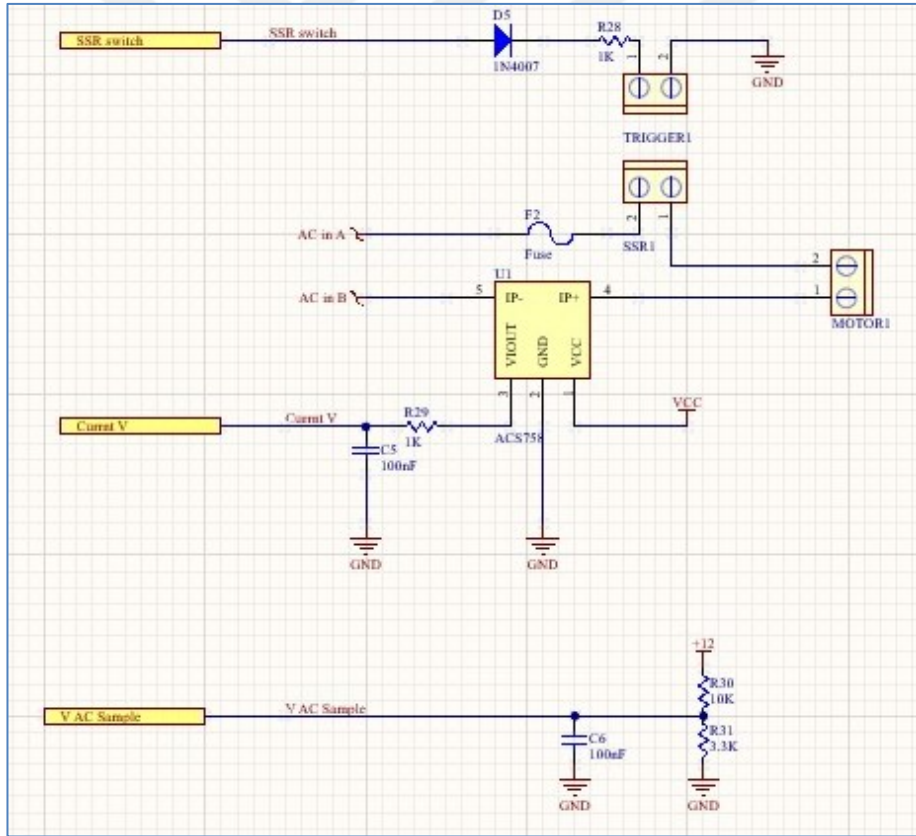
b. Sıcaklık sensörü şematik tasarımı

Devrede sıcaklık ölçümü için LM35 sıcaklık sensörü kullanılmıştır. LM35, ortam sıcaklığına bağlı olarak 0-5 V aralığında bir analog çıkış gerilimi oluşturur. Sensör çıkışı, mikroişlemcinin analog-dijital dönüştürücü (ADC: Analog Digital Converter) bacağı üzerinden okunarak sıcaklık değeri hesaplanır. Bu yapı, sistemin hava sıcaklığı veya su sıcaklığı değişimlerini sürekli olarak takip etmesine ve sıcaklık kaynaklı arızaların önlenmesine katkıda bulunur.

3.2.3. Akım ve motor kontrolü

a. Akım sensörü şematik tasarımı

Motorun çektiği akımı ölçmek amacıyla ACS758 serisi akım sensörü kullanılmıştır. Bu sensör, Hall etkisi prensibi ile çalışmakta olup elektriksel ve elektronik devreler arasında yüksek izolasyon sağlamaktadır (Şekil 3.5). Sensör, AC giriş ve çıkış hatlarına seri olarak bağlanarak üzerinden geçen akımı ölçmekte ve 0-5 V aralığında bir analog çıkış sinyali üretmektedir. Hall etkisi prensibi sayesinde, elektriksel ve elektronik devreler arasında doğrudan bir temas bulunmadığından parazitlenme riski büyük ölçüde minimize edilmektedir. Sensörün ürettiği 0-5 V aralığındaki gerilim sinyali, mikroişlemcinin analog-dijital dönüştürücü (ADC) giriş pinine iletilerek 1024 çözünürlük seviyesinde okunmaktadır. Bu düzenleme, motorun çektiği akımın hassas bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır. Sistemin güvenliğini artırmak amacıyla, sensör girişine 10 A cam sigorta eklenmiştir. Bu sigorta, aşırı akım durumunda devreyi koruyarak bileşenlerin zarar görmesini engellemektedir. Bu tasarım, motorun anlık akım tüketimini yüksek doğrulukla ölçerek sistem kontrolünü optimize etmekte ve olası arızaların önlenmesine önemli katkı sağlamaktadır.



Şekil 3.5. Akım sensörü ve motor kontrol devresi

b. Katı hal rölesi (SSR) ile motor kontrolü

Geleneksel hidromat sistemlerinin motor-çıkış bloğunda genellikle mekanik röleler tercih edilmektedir. Ancak bu rölelerin işleyiş prensibinden kaynaklanan bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Mekanik röleler, anahtar kontaklarının birleşmesi sırasında meydana gelen kıvılcım oluşumu sebebiyle, anahtar bileşenlerinde arızalara neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, mekanik parçaların yoğun kullanıma maruz kalması, sistemin arıza olasılığını artırmakta ve bakım gerekliliğini hızlandırmaktadır.

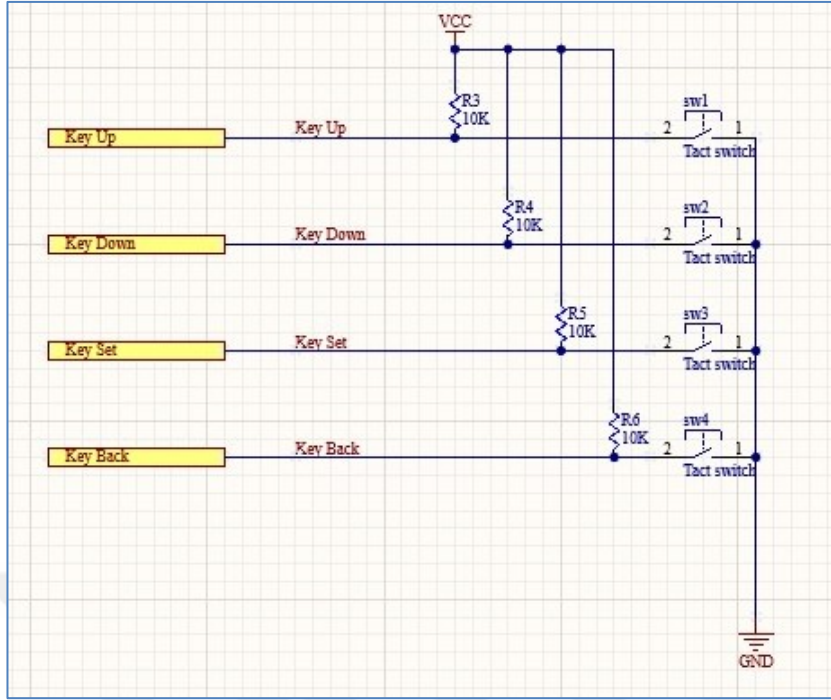
Akıllı Hidromat sisteminde ise bu dezavantajları gidermek amacıyla mekanik röle yerine SSR tercih edilmiştir. SSR'ler, mekanik kontak içermemesi nedeniyle kıvılcım oluşumunu tamamen ortadan kaldırarak güvenilirlik seviyesini artırmaktadır. Bunun yanında, SSR'lerin optik izolasyon tabanlı yapısı, elektriksel güvenliği artırarak kullanıcı ve sistem açısından ek koruma sağlamaktadır. SSR, pompa devreye alındığında veya devreden çıkarıldığında, anahtar mekanizmasına zarar verme riskini ortadan kaldırarak sistemin genel ömrünü uzatmaktadır. Özellikle, motorun durdurulması sırasında SSR kullanımı, motoru ani darbe akımlarına karşı koruma altına almaktadır. Geleneksel mekanik rölelerde sıkça rastlanan kıvılcımlar ve motor darbelenmesi gibi olumsuz etkiler, SSR'lerin sunduğu modern teknolojilerle bertaraf edilmektedir. SSR'nin sıfır geçiş anahtarlama (zero-cross switching) teknolojisi, açma ve kapama işlemlerinin yumuşak bir şekilde gerçekleşmesini sağlayarak motorun darbe akımlarından korunmasına katkı sunmaktadır.

SSR devresinde kullanılan D5 diyotu, elektromanyetik kuvvet kaynaklı gerilim dalgalanmalarına karşı mikroişlemciyi etkin bir koruma bileşeni olarak işlev görmektedir. Bu koruma mekanizması, SSR'nin kararlılığını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sistemin güvenilirliğini ve kullanım ömrünü de önemli ölçüde iyileştirmektedir.

3.2.4. Ekran ve kontrol düğme blokları

a. Buton kontrolü

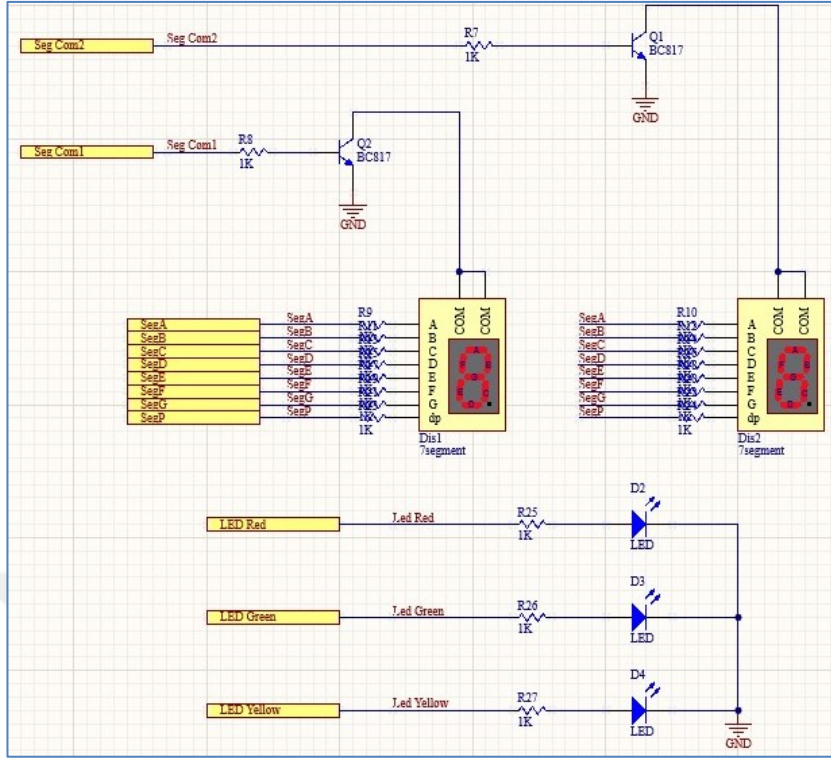
Ekran ve kontrol düğme bloklarında artı (up), eksi (down), geri(back) ve ayar(set) olmak üzere dört adet tuş mevcuttur (Şekil 3.6). Bu dört tuş mikro denetleyicilere bağlanarak tuşlara dokunulduğunda komutlar alınıp fonksiyonlar yerine getirilmektedir. Tüm tuşlar (up-down-back-set) 10K ohm pull-up dirençleri ile 5 V VCC 'ye bağlanarak devredeki parazitleri (noise) kaldırarak tuşlara basıldığında direk olarak GND (Ground: Toprak) ile işlemciye bağlanmaktadır.



Şekil 3.6. Buton şematik tasarımı

b. Ekran Kontrolü

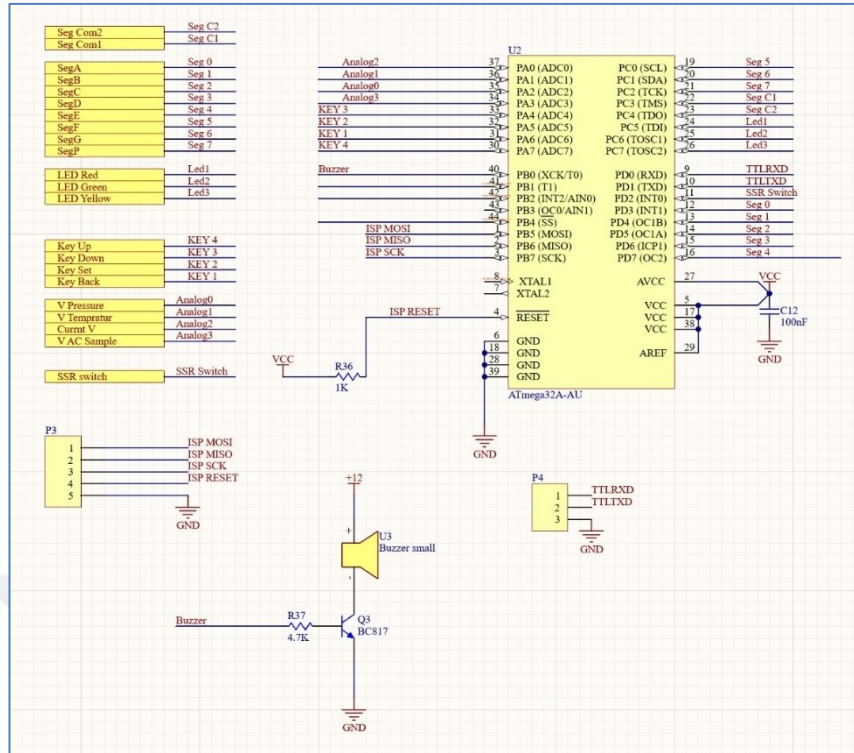
Devrede iki adet 7 segment gösterge kullanılmıştır (Şekil 3.7). Her iki gösterge, (ortak katot) (common cathode) tipi olup, ortak uçları BC817 NPN (Negatif-Pozitif-Negatif) transistörleri ile toprağa çekilerek kontrol edilmektedir. Segment hatları ise dirençler üzerinden sürülerek segmentlerin bağımsız olarak kontrolü sağlanmıştır. BC817 transistörleri (Q1 ve Q2) 7 segment göstergelerin ortak katot uçlarının (COM1 ve COM2) GND'ye bağlanması için anahtar görevi görmektedir. Baz dirençleri (R7 ve R8 - 1K ohm) transistörlerin baz akımını sınırlayarak transistörlerin anahtarlama (switching) modunda çalışmasını sağlar. Seg Com1 veya Seg Com2 hatlarına lojik 1 (yüksek gerilim) uygulandığında, ilgili transistör iletime geçer ve ortak katot ucu GND'ye çekilir. Böylelikle ilgili 7 segment gösterge aktif hale gelir. Lojik 0 uygulandığında ise transistör kesime girer, dolayısıyla ilgili gösterge devre dışı kalır. Segment hatlarına bağlanan (R9 ve R10- 1K ohm) dirençler, segment LED (Light Emitting Diode) üzerinden geçen akımı sınırlandırarak LED'lerin güvenli çalışmasını sağlar. 7 segment göstergenin her bir segmenti, mikrodenetleyici tarafından lojik seviyelerle kontrol edilir. Segmentlere uygulanan lojik seviyelerin kombinasyonu ile sayılar (0-9) veya harfler (A-F gibi) ekrana yansıtılabilir. Kullanılan iki adet 7 segment gösterge aynı segment hatlarını paylaşmaktadır. Zaman paylaşımli kontrol yöntemi (multiplexing) kullanılarak, tek bir zamanda yalnızca bir gösterge aktif edilir. İki gösterge sırayla aktif edilir ve gözle görülmeyen bir hızda dönüşümlü olarak çalışır. Bu yöntem, mikrodenetleyici pin tasarrufu sağlar ve görünürde iki gösterge aynı anda çalışıyormuş gibi bir algı oluşturur.



Şekil 3.7. Ekran devre şematığı

3.2.5. Mikrodenetleyici kontrol blok tasarımı

Bu devrede kullanılan ATmega32A-AU mikrodenetleyici, sistemin merkezi kontrol birimi olarak görev yapmaktadır (Şekil 3.8). Mikrodenetleyici, farklı giriş ve çıkış birimlerini koordine ederek sistemin doğru, güvenilir ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Dijital ve analog sinyalleri işleme yeteneği sayesinde hem kullanıcı girdilerini değerlendirmekte hem de ilgili çıkış birimlerini kontrol etmektedir.

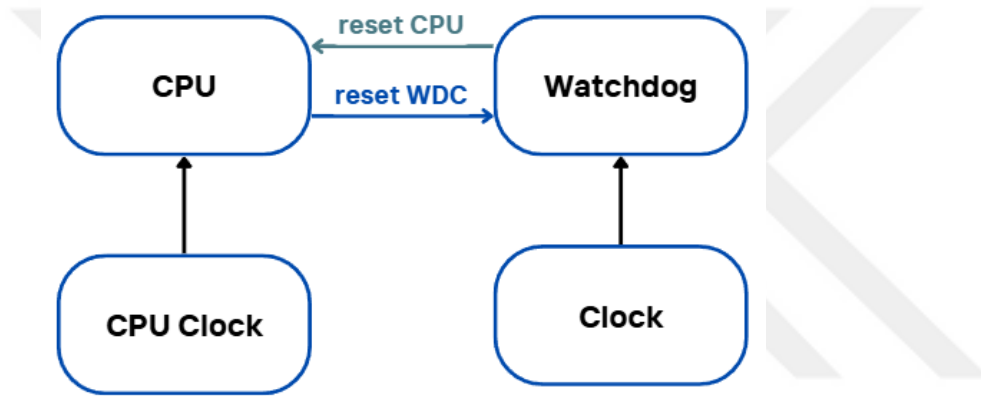


Şekil 3.8. Mikrodenetleyici kontrol blok tasarımı

Analog sensör girişlerinde basınç, akım ve voltaj gibi fiziksel büyüklüklerden gelen analog sinyaller, mikrodenetleyicinin Analog-Dijital Dönüştürücü (ADC) birimi tarafından dijital verilere dönüştürülmektedir. Bu işlem, "V Pressure," "Current V" ve "V AC Sample" gibi ölçüm verilerinin mikrodenetleyici tarafından işlenmesini ve sistemin diğer birimlerine referans oluşturmaları mümkün kılmaktadır. Dijital girişler biriminde ise, "Key Up," "Key Down," "Key Set" ve "Key Back" gibi kullanıcı komutları, mikrodenetleyiciye lojik sinyaller olarak iletilmektedir. Mikrodenetleyici, bu girişlerden gelen sinyalleri değerlendirerek 7 segment göstergede bir değeri değiştirme, LED durumlarını güncelleme veya röle kontrolü gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

Mikrodenetleyici, giriş birimlerinden aldığı verileri işleyerek çıkış birimlerini kontrol etmekte ve böylece hem kullanıcıya geri bildirim sağlanmakta hem de harici yüklerin yönetimi gerçekleştirilmektedir. Örneğin, mikrodenetleyici tarafından Seg0-Seg7 pinlerine gönderilen lojik sinyaller, 7 segment gösterge üzerinde sayı veya sembol oluşturulmasını sağlamaktadır. Birden fazla gösterge kullanımı durumunda, zaman paylaşımli kontrol (multiplexing) yöntemi uygulanarak hem pin sayısında tasarruf edilmekte hem de görüntüleme işlemi sorunsuz bir şekilde sürdürülebilmektedir. Ayrıca, sistem durumunu göstermek için kullanılan LED Red, LED Green ve LED Yellow gibi çıkışlar mikrodenetleyici tarafından etkin bir şekilde kontrol edilmektedir. Bunun yanında, SSR çıkışları, mikrodenetleyici tarafından yönetilmekte ve motor veya pompa gibi harici yüklerin açma-kapama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sesli geri bildirim için kullanılan zil (buzzer) ise, mikrodenetleyicinin transistör tabanlı bir kontrol mekanizması ile çalıştırılması sayesinde sistemin hata, uyarı veya işlem bildirimlerini etkili bir şekilde kullanıcıya iletmektedir.

Zamanlama ve işlem kapasitesinin artırılması için mikrodenetleyici, kristal osilatör aracılığıyla çalıştırılmaktadır. XTAL1 ve XTAL2 uçlarına bağlanan bu osilatör, hassas zamanlama gerektiren işlemleri, örneğin 7 segment gösterge kontrolü veya SSR zamanlamasını desteklemektedir. Sensör verilerinin düzenli periyotlarla örneklenmesi ve işlenmesi de bu sistemin bir parçası olmaktadır. Programlanabilirlik açısından mikrodenetleyici, devre üzerinde kolaylıkla güncellenebilir bir yapıya sahiptir. Sistem içinde programlama (ISP: In-System Programming) pinleri sayesinde sistemin yazılımı, yeni işlevler eklenerek veya mevcut işlevler geliştirilerek güncellenebilmektedir. Bu yazılım, sensör verilerinin işlenmesini, kullanıcı girdilerinin değerlendirilmesini, çıkış birimlerinin kontrolünü ve hata tespit mekanizmalarının çalıştırılmasını sağlamaktadır. Sistemin güvenilirliği, watchdog (izleme) mekanizması ile desteklenmektedir (Şekil 3.9). Watchdog, mikrodenetleyicinin herhangi bir yazılım hatasında takılmasını engelleyerek sistemi otomatik olarak yeniden başlatmaktadır. Bu süreçte kaydedilen veriler hafızada tutulmakta ve böylece sistemin sürekliliği ve güvenilirliği sağlanmaktadır.



Şekil 3.9. Watchdog mekanizması

Ek olarak, harici saat (external clock) ve osilatör kullanımı sayesinde mikrodenetleyicinin en yüksek verimlilikte çalışması desteklenmektedir. Tüm bu yapılar bir araya gelerek sistemin güvenilir, esnek ve etkili bir şekilde çalışmasını mümkün kılmaktadır.

3.3. Sistem Kontrolü

Cihaz çalıştığında basınç sensöründen okunan basıncı anlık olarak iki adetli 7 segment ekran üzerinde göstermektedir. Cihazın üzerinde yukarı (up), aşağı (down), ayar (set) ve geri (back) tuşları bulunmaktadır. Ayrıca cihazda görsel uyarı vererek kullanıcıyı bilgilendiren kırmızı, sarı ve yeşil ışıklar da bulunmakta olup, cihaz kullanıma hazır olana kadar sarı ışık yanmaktadır. Cihazın kontrol ve uyarılarına ilişkin içerik tanıtım menü şematığı Şekil 3.10'da verilmiştir. Ekran menüsünde (i) basıncın gösterilmesi ve manuel çalıştırma; (ii) pompa kontrol mod seçimi, (iii) pompayı devreye alma, (iv) hata kodlarını gösterme, (v) kaçak testinin yapılması ve (vi) motor bilgisi giriş bölümleri bulunmaktadır.

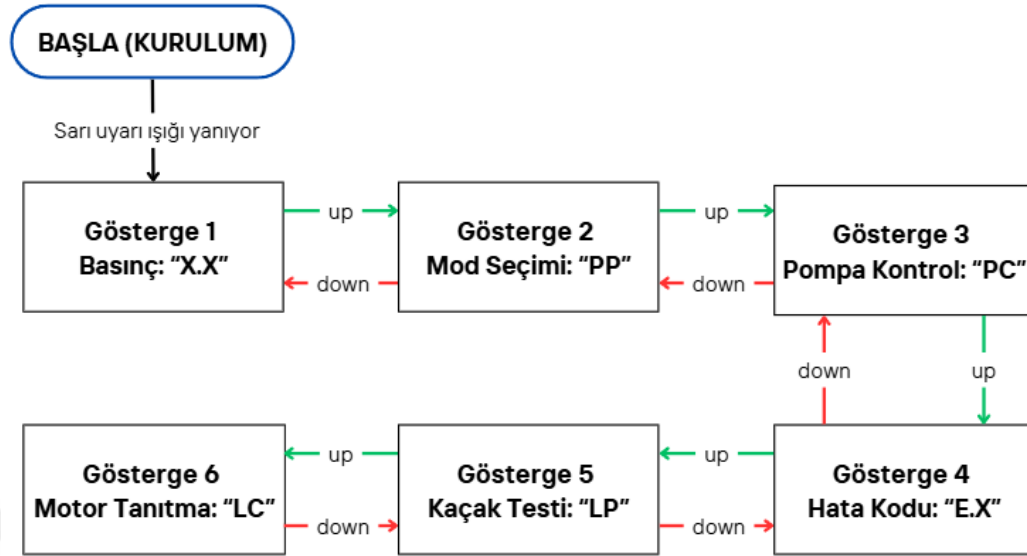
Menü Tanıtım						
	Gösterge 1 Basınç	Gösterge 2 Mod	Gösterge 3 Pompa Devreye Alma	Gösterge 4 Hata Kodları	Gösterge 5 Kaçak Testi	Gösterge 6 Motor Bilgisi
	Pompayı çalıştır	Mod 1: Hidromat	PC1: Kuru çalışma	E1: Su kesintisi	LP: Kaçak Testi	LC: Limit Akım
		Mod 2: Hidrofor		E2: Motor arızası		
	Pompayı durdur	Mod 3: Otomatik ayar	PC2: Normal çalışma	E3: Su donması		
		Mod 4: Hassasiyet		E4: Su kaçağı		

Şekil 3.10. Akıllı hidromat kullanım menü içeriği

3.3.1. Ana menü

Cihaz ilk çalıştığında ekrandaki ilk göstergede (Gösterge 1) anlık basınç değerlerini yansıtmaktadır. Bu durumda iken ana menüler arasında geçiş yapmak için bir ileriye “up” ve bir geriye “down” tuşları (diğer adıyla yön tuşları) kullanılmaktadır (Şekil 3.11). İkinci göstergeye (Gösterge 2) yön tuşları geçiş yapıldığında ekrana yanıp sönen “PP” simgesi (Program Progress) çıkmakta ve pompanın çalışacağı modun seçilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Yön tuşları ile bir sonraki göstergeye (Gösterge 3) gelindiğinde ise ekranda yanıp sönen “PC” simgesi (Pump Control) gelmekte olup, mod seçimi yapıldıktan sonra hidromatın pompayı kontrol ederek devreye alınmasını işaret etmektedir. Bir sonraki göstergeye (Gösterge 4) gelindiğinde ise hata kodlarını yansıtan “EX” işareti (Error) bulunmakta olup, hata olmadığında sadece “E” yansıtmakta ve ilgili hata koduna göre yanına sayısal değer yansıtılmaktadır. Bir sonrakine (Gösterge 5) yön tuşları ile geçi yapıldığında ekranda yanıp sönen “LP” simgesi (Leakage Program) bulunmakta olup, tesisatta su kaçağının olup olmadığını test eden program kayıtlıdır. Son göstergeye (Gösterge 6) gelindiğinde ise ekrana yanıp sönen “LC” simgesi (Limit Current) çıkmakta olup, motorun maksimum akım değerinin girilmesini gerektiğini ifade etmektedir.

Ana Menü Çizelgesi

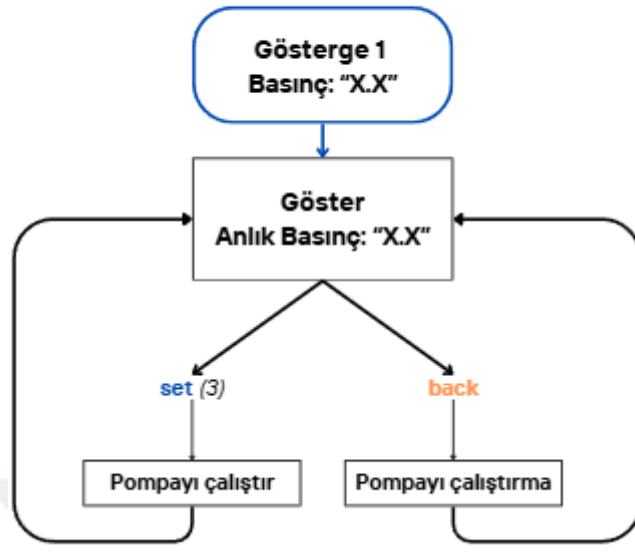


Şekil 3.11. Ana menü şematifi

3.3.2. Gösterge 1: Basınç ve manuel kontrol

Ana menüler içerisindeki ilk gösterge hidromatın okuduğu anlık basınç değerini ("X.X") iki haneli bir şekilde bar cinsinden onda bir hassasiyetle ekrana yansıtmaktadır (Şekil 3.12). Kullanıcı herhangi bir mod seçimi yapmadan pompayı manuel olarak çalıştırmak ve basıncı da anlık okumak istediğinde bu gösterge üzerinde 'set' tuşuna en az üç saniye süre ile bastığında pompa çalışmaya başlayacaktır. Pompanın çalışmasını durdurmak için ise 'back' tuşuna basması yeterlidir ve ekranda anlık basınç değerleri gösterilmeye devam edecektir.

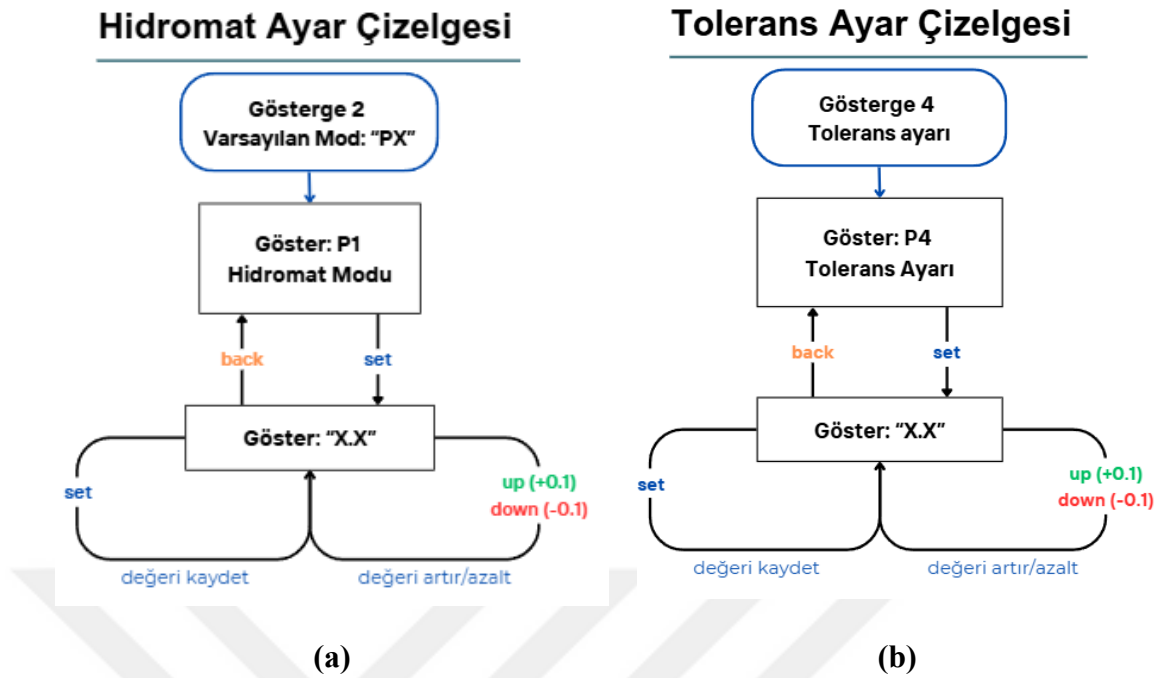
Manuel Kontrol Çizelgesi



Şekil 3.12. Basınç gösterge ve manuel kontrol şematığı

3.3.3. Gösterge 2: Mod seçimi

Cihaz ayarlanan basınca göre çalışmakta olduğundan dolayı çalışma modunun seçilmesi gerekmektedir. Bu durumda yön tuşları ile ikinci göstergeye gidilir ve ayarlanmadığı takdirde 'PP' şeklinde yanıp sönen bildirim alınmaktadır (Şekil 3.13). Çalışma modunun seçilmesi için alt menüye giriş yapılması gerekmektedir. Bunun için ekranda 'PP' simgesi varken 'set' tuşuna üç saniye süre ile basılır ve ekrana yanıp sönen 'P1' simgesi çıkmaktadır. Bu bölümde yön tuşları ile geçiş yapılabilecek sırasıyla 'P2', 'P3' ve 'P4' modları da bulunmaktadır (Şekil 3.13). 'P1' modu hidromat modu olmakla birlikte kullanıcı tarafından belirlenen basınca göre pompayı kontrol etmektedir. 'P2' modu ise hidrofor modu olmakla birlikte kullanıcı tarafından ayarlanan en az ve en yüksek basınç değeri aralığında pompayı çalıştırmaktadır. Üçüncü mod olan 'P3' ayarında ise otomatik basınç ayarı yapabilen parametre girişine olanak sağlayan algoritmalar mevcuttur. Sisteme bina kat sayısı ve yüksekliği girilerek hidromatin otomatik olarak basınç ayarı yapmasını sağlamaktadır. Son olarak 'P4' ayar bölümünde ise basıncın duyarlılık ayar bölümü bulunmaktadır.

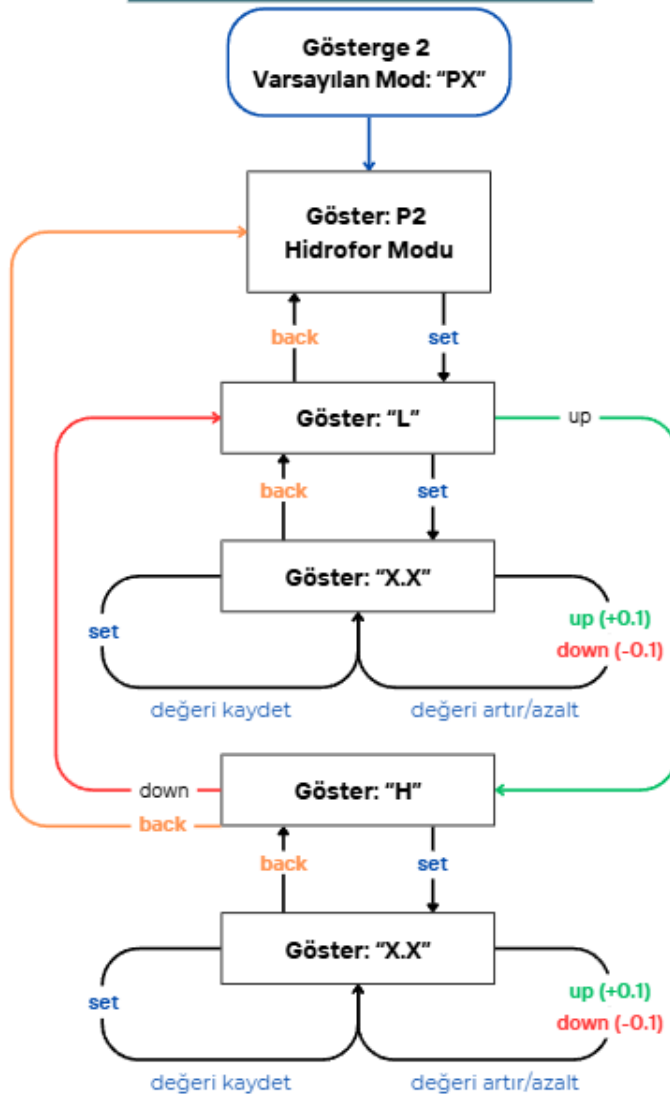


Şekil 3.14. a) Hidromat ayarı; b) Tolerans ayarı

b. Mod 2: Hidrofor

Tekrardan mod ayarı yapılmak istendiğinde ise 'P1' simgesi varken en az 3 sn 'set' tuşuna basılarak mod menüsüne giriş yapılır. Önceden ayarlanan mod örneğin 'P1' artık yanıp sönmemektedir ve sabit durmaktadır. Bir sonraki moda (mod 2) yön tuşları ile geçiş yapılır ve ekranda yanıp sönen 'P2' simgesi çıktığında 'set' tuşuna basılarak mod ayar menüsünün içine girilmektedir (Şekil 3.15). 'P2' modu ise hidrofor modu olup bu ayarda sistemin çalışacağı en düşük ve en yüksek basınç değerleri ayarlanarak pompanın kontrol edileceği basınç eşikleri belirlenmektedir. Bu moda girildiğinde ekrana sırasıyla en düşük ve en yüksek basınç değerini ifade eden ve yanıp sönen 'L' ve 'H' simgeleri gelmektedir. Burada 'L' veya 'H' simgesi ekranda iken 'set' tuşuna basılarak basınç ayar bölümüne gidilmektedir. Ekranda yanıp sönen '0.0' sayıları bulunmaktadır ve yön tuşları ile istenilen basınç değerleri ayarlandıktan sonra 'set' tuşuna basıldığında artık değerler sabit şekilde durmaktadır. Bu aşamadan sonra 'back' tuşuna basılarak bir üst menüye ve tekrardan 'back' tuşuna basıldığında ise bir üst menü olan mod seçim menüsüne dönmekte ve ekranda yanıp sönen 'P2' simgesi bulunmaktadır. Cihaz bu modda kullanılmak istendiğinde 'set' tuşuna en az üç saniye basılarak ana menüye dönlür. Ana menüde artık ekranda 'P2' simgesi sabit durmaktadır ve tekrar mod ayarına girmek için 'set' tuşuna üç saniye süre ile basıldığında alt menüde yanıp sönen "P1" simgesinden sonra yön tuşları ile gidildiğinde sabit yanan 'P2' simgesi bulunmaktadır.

Hidrofor Ayar Çizelgesi



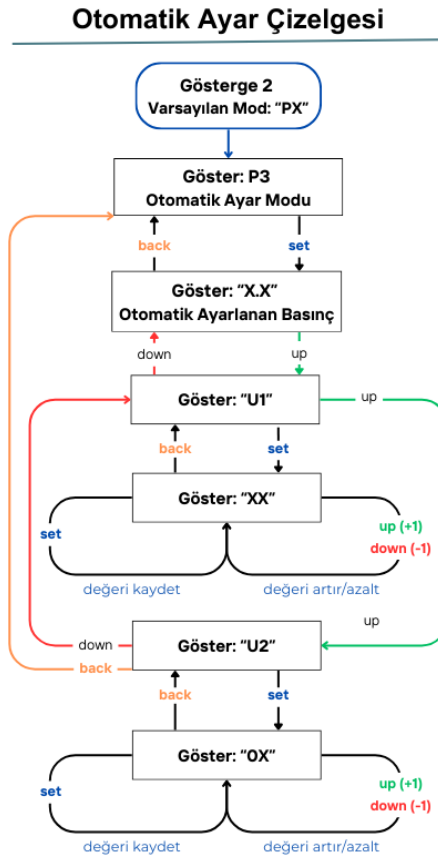
Şekil 3.15. Hidrofor modu

c. Mod 3: Otomatik ayar

Yön tuşları kullanılarak bir sonraki otomatik basınç ayarı olan ‘P3’ moduna geçiş yapılır. Ekranda yanıp sönen ‘P3’ simgesi belirlediğinde, ‘set’ tuşuna basılarak menüye giriş yapılır (Şekil 3.16). İlk ekranda, sistem tarafından otomatik atanan ve müdahale edilemeyen değerleri temsil eden yanıp sönen ‘88’ rakamları görüntülenir. Parametre ayarlarına erişmek için ‘up’ veya ‘down’ tuşları kullanılarak sırasıyla U1 ve U2 simgelerine geçiş yapılır. Bu simgeler henüz ayarlanmadıkları için yanıp sönmektedir.

U1 simgesi, binadaki kat sayısını temsil eder. ‘Set’ tuşuna basıldığında ekranda yanıp sönen ‘00’ değerleri belirir. Yön tuşlarıyla istenilen değer seçilir ve ‘set’ tuşuna basıldığında bu değer sabitlenir. ‘Back’ tuşuna basılarak bir üst menüye döndüğünde, artık U1 simgesinin sabit yandığı görülür. Ardından yanıp sönen U2 simgesine yön tuşlarıyla gelinir ve ‘set’ tuşu ile ayar ekranına girilir. U2, kat yüksekliğini temsil eder.

Ekranda yanıp sönen ‘00’ değeri, yön tuşlarıyla istenilen değere ayarlanır ve ‘set’ tuşu ile sabitlenir. ‘Back’ tuşu ile çıkıldığında ekranda sabit yanan U2 simgesi görülür. Bu işlemlerin ardından otomatik basınç ayarı tamamlanmış olur. Yön tuşları ile basınç göstergesine gidildiğinde, ekranda artık ‘88’ yerine ayarlanmış basınç değeri sabit olarak görüntülenir. ‘Back’ tuşu ile geri döndüğünde ekranda yanıp sönen ‘P3’ simgesi belirir. ‘Set’ tuşuna en az 3 saniye basıldığında ana ekrana dönülür ve sabit yanan ‘P3’ simgesi, cihazın otomatik basınç ayar modunda olduğunu ifade eder.



Şekil 3.16. Otomatik ayar şematığı

ç. Hesaplama metodolojisi

Hidromatın kullanılacağı binalar kullanılan tek faz pompanın gücü itibarıyla 4-5 katlı binalar olmakla birlikte alt basıncı (*Halt*) binanın kat yüksekliği ve kat sayısı baz alınarak sistemdeki kayıplar da ele alınarak pratik bir şekilde aşağıdaki denklemle hesaplanabilmektedir (Anonim 10):

$$Halt = (Hsb + Hsk) \times 1,15 + Hab \quad (3.4)$$

$$Hüst = Halt + 18 mSS \quad (3.5)$$

Statik yükseklik etki basıncı kat sayısı ve kat yüksekliği bilgileri ile elde edilecek olup, kat sayısı parametrelerden seçilen ‘U1’ değişkeninden gelecektir ve kat yüksekliği standart olarak üç metre alınmakta olup ‘U2’ değişkeninden gelebilecektir.

$$Hsb = Kat \text{ sayısı} \times Kat \text{ Yüksekliği} \quad (3.6)$$

Su sayaç kaybı (Hsk) standart olarak birim metre başına su yüksekliğinin tabana olan basınç değeri olarak 5 mSS olarak alınmaktadır. Akma basıncı (Hab) daire içerisinde kullanılan standart cihazlar için gerekli basınç olup 15 mSS olarak alınmaktadır.

d. Mod 4: Tolerans

Analog kontrol sistemlerinde, motorun her küçük basınç değişiminde sürekli olarak devreye girip çıkması, mekanik aşınmaya, enerji kaybına ve sistemin kararsız bir şekilde çalışmasına neden olabilir. Bu sorunları önlemek amacıyla histerezis veya tolerans aralığı adı verilen bir ayar mekanizması kullanılmaktadır. Histerezis, pompanın çalışmasını sağlayan basınç değerinin çevresinde bir tolerans aralığının tanımlanması anlamına gelir. Örneğin, hedef basınç 4 bar ise, sistem basıncın 3,8 bar seviyesine düşene kadar pompayı çalıştırmaz ve basınç 4,2 bar seviyesine çıkana kadar pompayı durdurmaz.

Tolerans ayarının yapılması için yön tuşları kullanılarak ilgili ayar moduna, yani 'P4' moduna geçiş yapılır (Şekil 3.14.b). Sistem ana ayarlarında tolerans değeri varsayılan olarak 0,3 bar şeklinde tanımlanmıştır. Ekranda sabit olarak yanan 'P4' simgesi belirlediğinde, 'set' tuşuna basılarak alt menüye giriş yapılır. Bu aşamada ekranda sabit yanan "0.3" değeri görülür ve yön tuşları ile istenen tolerans değeri seçilir. Seçim tamamlandıktan sonra 'set' tuşuna basılarak belirlenen değer kaydedilir. Ayar işlemi tamamlandıktan sonra, 'back' tuşuna basılarak bir üst menüye geri dönülür ve ekranda sabit yanan 'P4' simgesi görülür.

Bu ayarın, bir tolerans ayarı olması sebebiyle, ana menüde varsayılan modlar arasında görünmediği not edilmelidir. Tolerans aralığı, sistemin kararlı ve enerji verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kritik bir parametre olarak kabul edilir.

3.3.4. Gösterge 3: Pompayı devreye alma

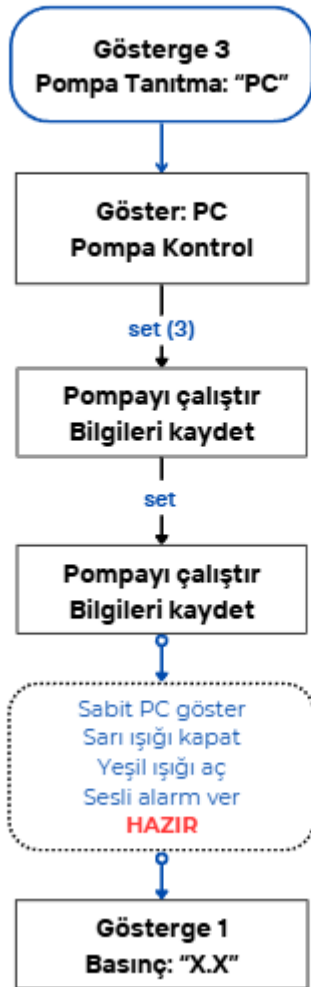
Mod ayarının tamamlanmasının ardından, ana ekranda yön tuşları kullanılarak üçüncü göstergeye erişilir ve bu aşamada pompanın hidromata tanıtım süreci başlatılır. Ekranda yanıp sönen "PC" simgesi, pompa kontrolü (pump control) durumunu temsil etmektedir (Şekil 3.17). Bu aşamada pompa çalıştırılarak akım bilgileri sisteme kaydedilir.

İlk olarak, pompanın su girişini sağlayan vana kapalı konumdayken, "set" tuşuna en az 3 saniye süreyle basılır. Bu işlem, pompanın yaklaşık bir dakika boyunca çalışmasını tetikler. Bu süre sonunda ekranda "PC" simgesi yanıp sönmeye devam ederken, aynı zamanda sesli bir alarm devreye girer. Ardından, pompanın su basmasını sağlamak amacıyla vana açılır. Sonraki adımda, tekrar "set" tuşuna 3 saniye süreyle basılarak pompanın en az 30 saniye süreyle normal çalışma koşullarında çalışması sağlanır ve gerekli veriler kaydedilir.

Son aşamada, ekranda "PC" simgesi sabit bir şekilde görünür ve 1 saniyelik aralıklarla uzun ve kısa alarm sesleri duyulur. Bu işlemlerin ardından ekran otomatik

olarak anlık basınç değerlerini göstermeye başlar. Cihaz bu şekilde kullanıma hazır hale gelir; sarı uyarı ışığı söner ve yeşil ışık yanarak sistemin aktif olduğunu belirtir.

Pompa Devreye Alma Çizelgesi



Şekil 3.17. Pompayı devreye alma işlemi

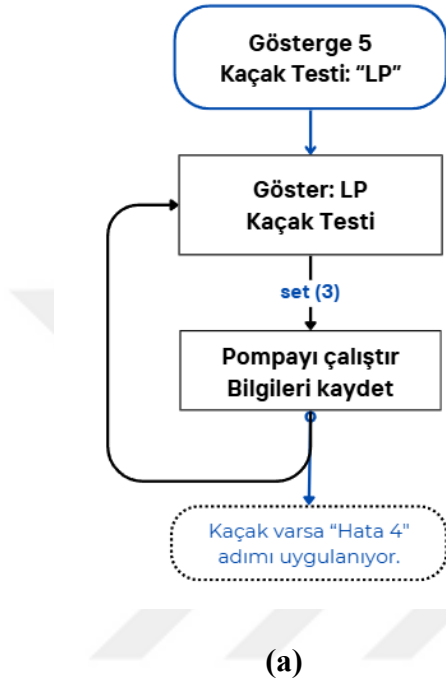
3.3.5. Gösterge 5: Kaçak testi

Yön tuşları kullanılarak ileriye doğru devam edildiğinde, bir sonraki gösterge olan Gösterge 5 su borularına uygulanan kaçak testi işlemine yönlendirme yapar (Şekil 3.18.a). Bu test, sistemin hatalı bölgelerini tespit etmek amacıyla, hat kapalı haldeyken pompanın çalıştırılmasıyla suyu basınçlandırmayı ve zamana bağlı basınç düşüşlerini izleyerek kaçak olup olmadığını belirlemeyi hedefler.

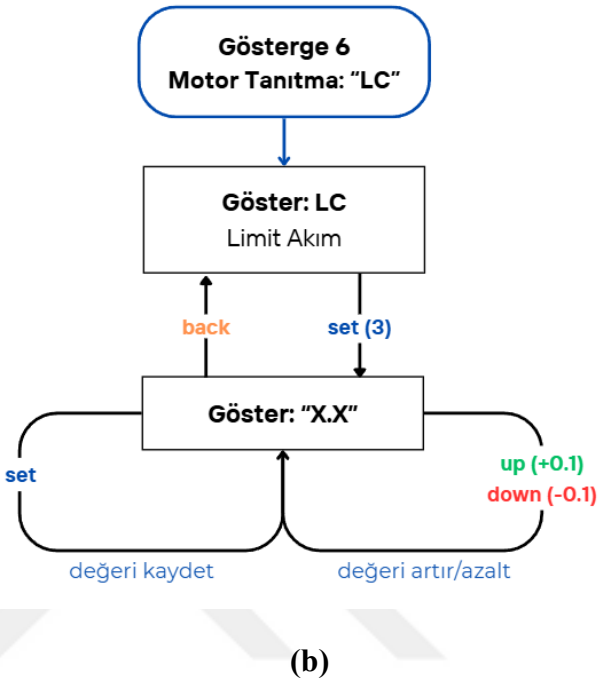
Kaçak testi başlatıldığında, ekranda sabit bir şekilde 'LP' simgesi görünür. Test işlemini başlatmak için 'set' tuşuna 3 saniye boyunca basıldığında, pompa belirli bir süre çalışır ve basınç değişimleri sistem tarafından kaydedilir. İşlem sırasında, programın aktif olduğunu göstermek amacıyla ekrandaki 'LP' simgesi yanıp sönmeye başlar. Eğer test sırasında sistemde su kaçağı tespit edilirse, ekranda otomatik olarak 'E4' hata kodu

görsütülenir ve kullanıcı, belirlenen işlem adımlarını takip ederek gerekli müdahaleyi yapabilir. Kaçak tespit edilmediği durumlarda, test başarıyla tamamlanır ve ekranda sabit olarak ‘LP’ simgesi görsütülenir. Bu test, su borularının güvenilirliğini sağlamak ve olası sistem kayıplarını önlemek için kritik bir öneme sahiptir.

Kaçak Testi Çizelgesi



Motor Akım Tanıtma



Şekil 3.18. a) Kaçak testi; b) Motor akım ayarı

3.3.6. Gösterge 6: Motor akım ayarı

Son gösterge olan Gösterge 6 (LC göstergesi), motorun maksimum akım ayarının gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir. Bu ayar, motorun güvenli çalışma sınırlarının belirlenmesini ve ani durumlarda meydana gelebilecek aşırı akım nedeniyle oluşabilecek potansiyel arızaların önlenmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

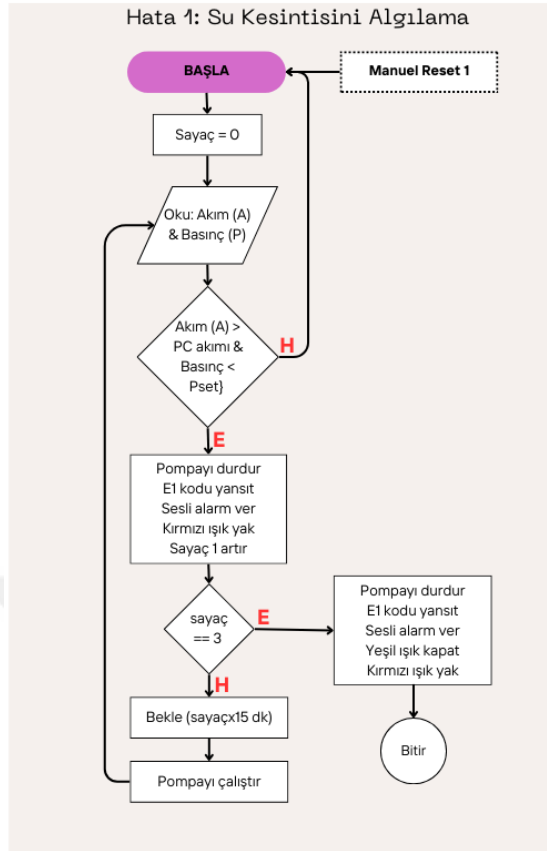
Yön tuşları ile ilerlenerek LC göstergesi seçildiğinde, ekranda yanıp sönen bir şekilde ‘LC’ simgesi görsütülenir (Şekil 3.18.b). Ayar işlemine başlamak için ‘set’ tuşuna 3 saniye boyunca basılır. Bu işlem sonrasında ekranda yanıp sönen “0.0” değerleri belirir. Kullanıcı, yön tuşları yardımıyla motorun maksimum akım değerini seçer. İstenen değer belirlendikten sonra, tekrar ‘set’ tuşuna basılarak yapılan ayar sisteme kaydedilir. Ayarın başarılı bir şekilde kaydedilmesiyle birlikte, seçilen sayı değeri ekranda sabit olarak görünür. Kullanıcı ‘back’ tuşu ile menüden çıktığında, motorun maksimum akım değeri sisteme tanımlandığı için ekranda sabit yanan ‘LC’ simgesi görsütülenmeye devam eder. Bu ayar, motor çalışma sırasında akımın tanımlanan maksimum sınırın üzerine çıkması durumunda sistemin otomatik olarak motoru durdurmasını sağlar. Böylece, motorun arıza yapması önlenirken cihazın ömrü uzatılır ve olası enerji kayıpları minimize edilir. Bu özellik, sistemin güvenli, verimli ve kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak açısından hayati bir öneme sahiptir.

3.4. Arıza Tespiti ve Hata Kodları

Sistem pompanın ve hidromatın etkin kontrolü sayesinde pompayı kuru çalıştırmaya karşı yani su kesintisine, motorun anormal davranışlarında yüksek akım çekmesine karşı ve son donmalarına karşı korumalıdır.

3.4.1. Su kesintisi tespiti

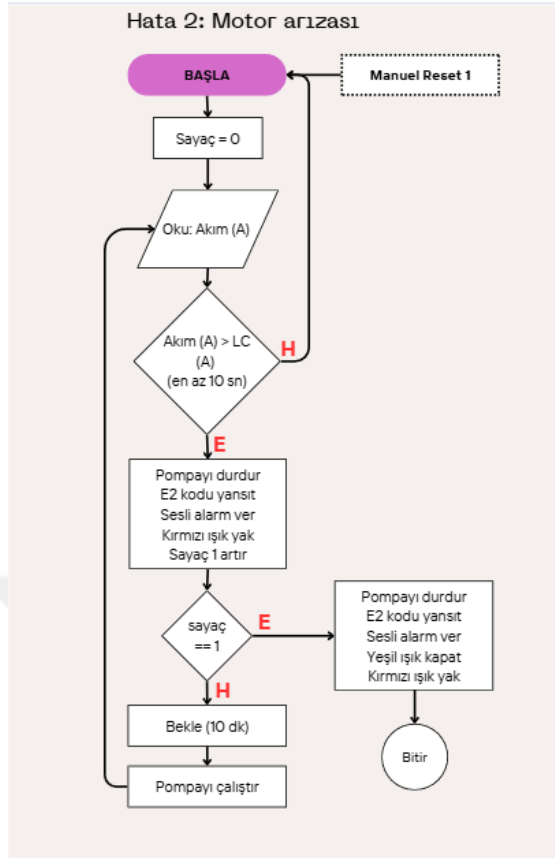
Binada su kesintisi meydana geldiğinde sistem durumu anlayarak motoru gereksiz çalıştırmamakta ve kuru çalıştırmaya karşı korumalıdır. Hidromat bu işlemi pompa akım ve sistem basınç değerlerini kullanarak algılamaktadır; ayrıca ek bir akış sensörü ile bu durum algılanabilirdi. Örnek senaryoda su kesintisi olduğunda ve hidromattaki ayarlanan basınç değeri düştüğünde sistem binaya su pompalamak zorunda olacağından pompa susuz çalışmaya başlayacaktır (Şekil 3.19). Pompa boşta çalıştığı durumda mikrodenetleyici üzerinden saniyede bir akım sensöründen geçen akım okunmaktadır. Bu akım pompanın ilk ayar yapılırken elde edilen akım (PC) ile karşılaştırılır ve nominal çalışma akımının üstündedir. Ek olarak basınç sensöründen okunan değer ayarlanan basınç değeri ile karşılaştırılması yapılır. Eğer bir dakika süresince pompanın akımı yükseliyor ve kuru çalışma akımına (PC) ulaşmışsa; ayrıca su basıncı yükselmiyor ve ayarlanan basınca da ulaşmıyorsa su kesintisi olduğunu sistem yorumlayarak ekranda E1 hata kodunu yansıtmaktadır. Bu durumda pompa kendini korumaya alır ve kırmızı arıza ışığını da yakarak sesli alarm vermektedir. Pompa 15 dk sonra yeniden çalışarak suyun olup olmadığını yorumlamaya çalışır ve tekrar aynı senaryo oluşursa bu sefer tekrar sesli alarm vererek pompayı korumaya alır. İkinci olarak da 30 dk sonra yeniden durumu kontrol eder ve su kesintisi devam ettiğinde pompayı kapatır ve son olarak 45 dk sonra aynı işlemleri tekrarlar. Bu durumda da su kesintisini algılayarak sistemi korumaya alarak yeşil ışığı kapatarak sadece kırmızı ışığı yakarak ve ekranda E1 hata kodu ile sesli alarm vermekte olup kullanıcının problemi çözerek müdahalesini beklemektedir. Eğer bu süre içerisinde veya sonrasında problem çözüldüğünde kullanıcının manuel müdahalesi ile pompayı çalıştırması gerektiğinde ise ekranda hata kodu varken 3 sn süre ile 'back' tuşuna basılarak reset atılmış olup sistemin tekrar çalışması ve hatanın giderilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.19. Su kesintisini algılama şematığı

3.4.2. Motor anomali tespiti

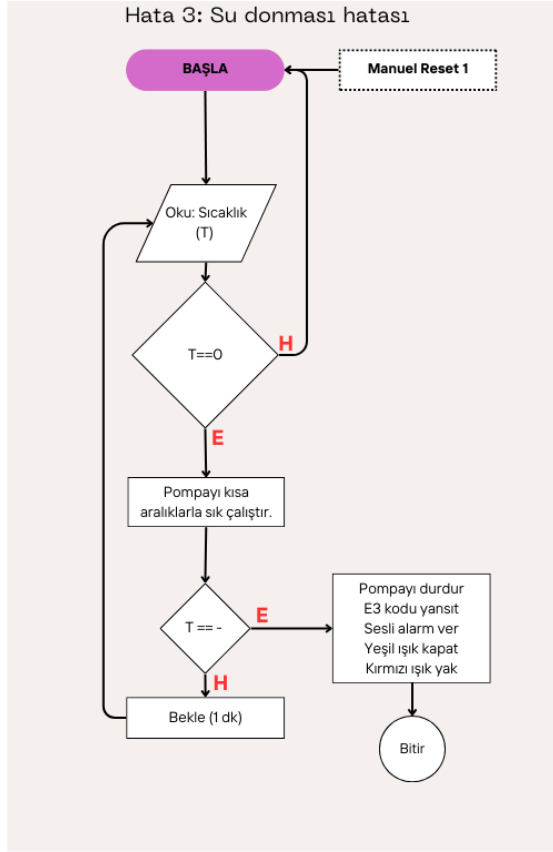
Sistem motor arızalanmasına karşı da motorun yanmasını önlemekte ve sistemi korumaktadır (Şekil 3.20). Örneğin, motor arızalandığında çektiği akım ölçülmektedir ve ilk başta hidromata tanıtılan motorun akım verilerine göre karar vermektedir. Maksimum motor yükünün üzerine çıkıldığı ve en az 10 sn sürede düşmediği görüldüğü zaman otomatik olarak sistem kapatılmaktadır. Hata kodu E2 (hata 2) olarak ekranda belirlemekte, kırmızı ışık yanmakta ve sesli alarm vermektedir. Sistem 15 dk bekledikten sonra tekrar aynı işlemi tekrar etmekte ve yine benzer sonuçlar oluştuğunda ise pompayı kapatmakta, E2 hata kodunu yansıtmakta, yeşil ışığı kapatıp kırmızı ışığı yakmakta ve sesli alarm vererek kullanıcının müdahalesini beklemektedir.



Şekil 3.20. Motor arızası algılama şematifi

3.4.3. Donma olayı tespiti

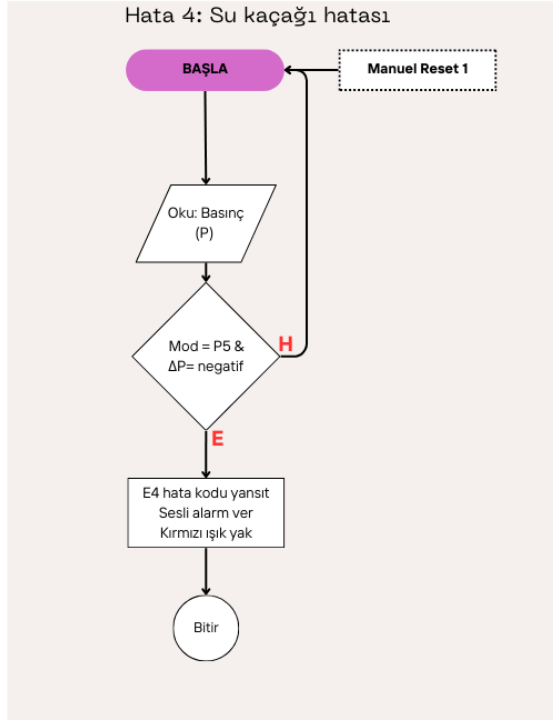
Özellikle soğuk bölgelerde don olayının sık yaşandığı durumlarda pompa içerisinde su donmasına karşı borularında su sirkülasyonu sağlanarak önlem alınabilmektedir. Sistem sıcaklık sensöründen aldığı veriye göre işlem yaparak (su sıcaklığı eksiye düştüğünde) motoru belli aralıklarda peş peşe çok kısa açıp-kapatarak pompanın içerisindeki su sirkülasyonunu sağlamaktadır (Şekil 3.21). Pompanın zarar görmesini önlemek amacı ile bu koruma sağlanarak ekranda E3 (hata 3) kodu yansıtılmaktadır.



Şekil 3.21. Su donması tespit şematığı

3.4.4. Su kaçağı testi

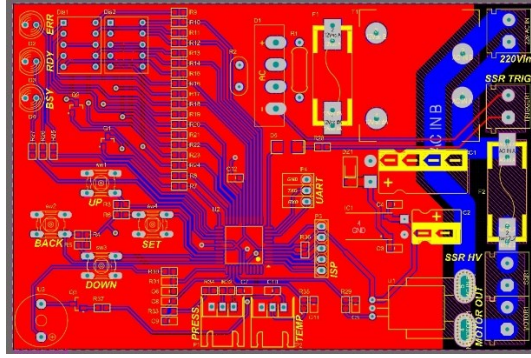
Sistemde, borularda su kaçağı olup olmadığını çözümlemeye yarayan ayar modu da mevcuttur (Şekil 3.22). Sistem kontrolünde kapalı hatta bir saat basınç değişimi negatif bir eğimde olduğunda sistem su kaçağı olarak yorumlamaktadır. Bu durumda pompa çalışarak borularda basınç oluşturmaktadır. Eğer bir saat süresince periyodik olarak basınç düşümü meydana gelmiş ise hatta bir kaçak olduğunu ekranda E4 hata kodu ile yansıtarak, kırmızı ışık ve sesli alarm ile kullanıcıyı uyarmaktadır.



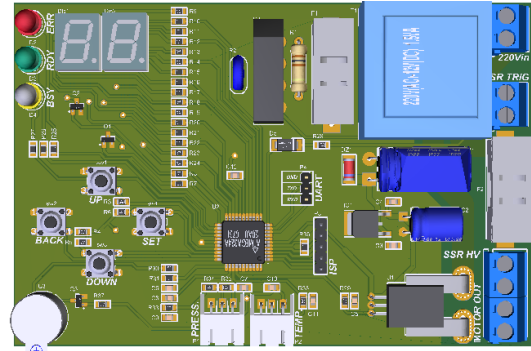
Şekil 3.22. Su kaçağı algılama şematifi

3.5. Geliştirilen Tasarımların Üretilmesi

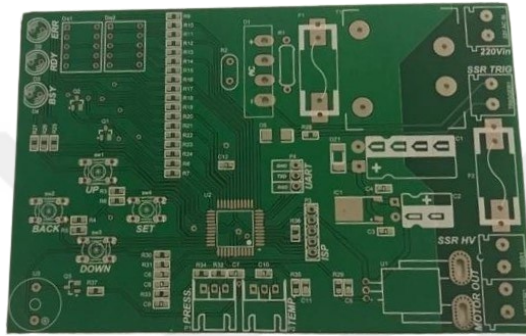
Şematikleri detaylı bir şekilde açıklanan PCB kartın elektronik devre tasarımı bilgisayar destekli tasarım (CAD) programında tamamlanmıştır. Şekil 3.23.a'da devre tasarımı gösterilmekte, Şekil 3.23.b'de ise elektronik devre elemanları ile birlikte PCB kartın tamamlanmış tasarımı sunulmaktadır. Geliştirilen kartın devresi, elektronik dizgi makinesinde üretilmiş olup (Şekil 3.23.c) ve devre elemanları karta lehimlenerek prototip haline getirilmiştir (Şekil 3.23.ç).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.23. Geliştirilen kartın **a)** Devre çizimi; **b)** PCB tasarımı; **c)** Devre çiziminin üretimi; **d)** Prototipi

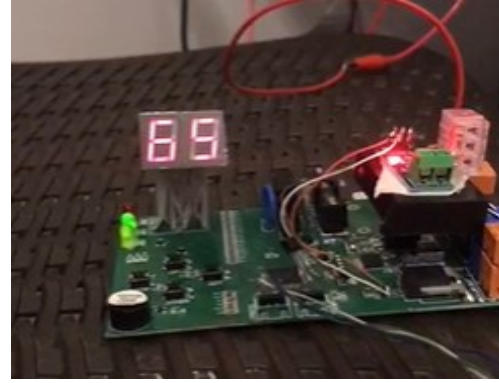
3.6. Test Çalışmaları

Bu bölümde, geliştirilen tasarımların birleştirilerek prototip haline getirildiği ve deney düzeneklerinde test edildiği süreçler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere (Şekil 3.24.a), piyasada kullanılan analog hidromatin elektronik kartı demonte edilmiş ve mıknatıslı çubuğun hareket ettiği bölgedeki manyetik alan değişimini tespit etmek amacıyla bir manyetik alan sensörü entegre edilmiştir. Sensörün dış manyetik alanlardan etkilenmemesi için ilgili bölge alüminyum folyo ile izole edilmiştir.

Sonraki aşamada, PCB kartın elektriksel bağlantıları tamamlanmış ve tuş takımı ile ekranın görsel kontrolleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.24.b). Kartın işlevselliğini doğrulamak amacıyla öncelikle ofis ortamında oluşturulan bir test düzeneğinde temel işlevsellik testleri yapılmıştır (Şekil 3.24.c). Testler sonucunda kartın tasarım gereksinimlerini karşıladığı gözlemlenmiştir. Devamında, kartın dış ortam koşullarından etkilenmesini önlemek amacıyla plastik bir kutuya yerleştirilmiş, ekran ve tuş takımı kutu üzerine monte edilmiştir (Şekil 3.24.d).



(a)



(b)



(c)



(ç)

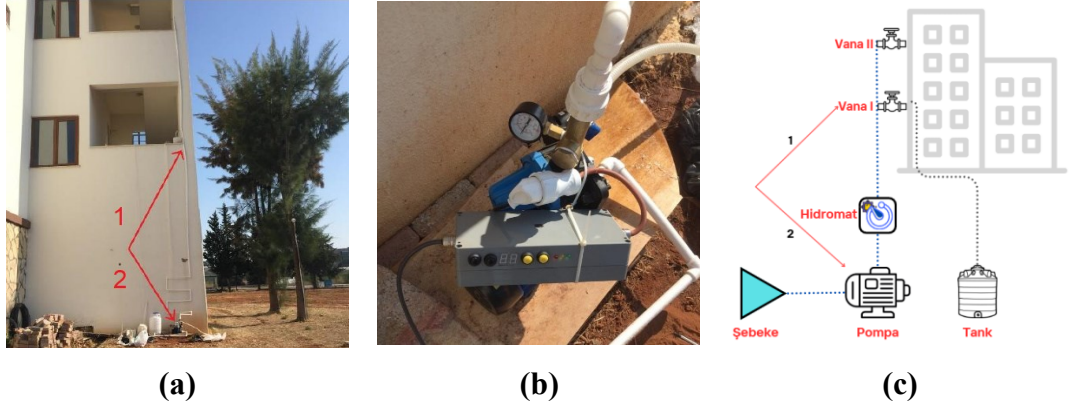
Şekil 3.24. a) Geleneksel hidromatin revize edilmesi; b) Kartın ön çalışma kontrolü; c) Ürünün temel işlevsellik ofis ortamı test düzeneği; ç) Ürünün test edilmesi

Bu süreçte, elektronik ve mekanik bileşenlerin entegrasyonu titizlikle gerçekleştirilmiş ve sistemin uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla gerekli yazılım güncellemeleri yapılmıştır. Geliştirilen prototip, bu entegrasyon işlemlerinin ardından performans testlerine tabi tutulmuştur. Elektronik bileşenlerin, mekanik sistemlerle senkronize bir şekilde çalışması için tasarım sürecinde tüm olası senaryolar ve çevresel etkiler dikkate alınmıştır.

Nihai ürün tasarımında, elektronik kart ve kabloların yer aldığı bir elektronik kutu hazırlanmıştır. Sistemin basınç bilgisini algılaması için özel olarak tasarlanmış bir basınç sensörü ayrı bir modül olarak entegrasyona dahil edilmiştir. Bu sensör, pompa ile tesisat hattına seri bir şekilde bağlanmış ve hattaki basınç değişimlerini yüksek doğrulukla algılayarak kablo aracılığıyla elektronik kutuya veri iletmıştır. Elektronik sistemlerin dış etkenlerden, özellikle nem, toz ve mekanik darbelerle karşı korunmasını sağlamak amacıyla elektronik kutunun dış yüzeyi silikon kaplama ile izole edilmiştir. Bu kaplama, sistemin uzun ömürlü ve kararlı bir şekilde çalışmasına olanak tanımıştır.

Son aşamada, prototipin saha testleri için Antalya Teknokent Ar-Ge-3 binasının yangın merdiveninde, üç katlı bir bina simülasyonunu temsil eden özel bir model tesisat hazırlanmıştır (Şekil 3.25.a,b). Bu model, ürünün gerçek kullanım senaryolarında performansının ve güvenilirliğinin değerlendirilebilmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Test düzeneğinde, basınç sensörü, pompa ve tesisat sisteminin birbirleriyle uyumu ve

verimliliği kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, prototipin tasarım ve performans hedeflerine uygunluğu detaylı testlerle doğrulanmıştır.



Şekil 3.25. a) Saha test düzeneği; b) Ürünün test düzeneğine entegrasyonu; c) Test düzeneğinin şematik tasarımı

Şekil 3.25.c’de test düzeneğinin şematik tasarımı sunulmuştur. Bu düzenekte, şebekeden gelen su 2 numara ile gösterilen pompa aracılığıyla basınçlandırılarak, 1 numara ile gösterilen vana yardımıyla bina ortamı simüle edilmiştir. Boru tesisatı, bina içerisinde üst bir katta sonlandırılmış, ancak sistemin kontrolü ve müdahalesi kolaylaştırmak adına suyun akışı birinci kattan yönetilmiştir. Bu tasarım, hem sistemin işlevselliğini gerçek kullanım koşullarında test etmek hem de binanın farklı katlarındaki basınç farklarının etkilerini analiz etmek için geliştirilmiştir.

Test sürecinde kullanılan suyun israfını önlemek adına, sistemden çıkan su tankta toplanmıştır. Bu tank, suyun depolanmasını sağlamakla kalmayıp, çevresel sürdürülebilirlik amacıyla sulama gibi ikincil uygulamalarda kullanılmak üzere yeniden değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, test düzeneğinin çevre dostu bir tasarım olduğunu ve aynı zamanda ekonomik kaynak kullanımına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Düzeneğin tasarımı, suyun basınçlandırılması ve dağıtımı sırasında karşılaşılabilecek olası sorunları tespit etmeyi, bu sorunlara çözüm üretmeyi ve sistem performansını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Şematik tasarım ayrıca, gerçek bina koşullarında suyun kontrolünün, dağıtımının ve geri dönüşümünün entegrasyonunu sağlayarak, gelecekteki uygulamalar için kapsamlı bir test ortamı oluşturmuştur.

Simülasyon düzeninde yapılan testler, ürünün tasarım gereksinimlerini karşıladığını ve saha koşullarında güvenilir bir şekilde çalıştığını ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, saha testleri sırasında elde edilen veriler, sistemin daha ileri optimizasyonu ve geliştirilmesi için değerli geri bildirimler sunmuştur. Bu süreç, nihai ürünün hem endüstriyel standartlara hem de müşteri beklentilerine uygunluğunu sağlamış ve prototipin gerçek saha uygulamaları için hazır hale getirilmesine olanak tanımıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

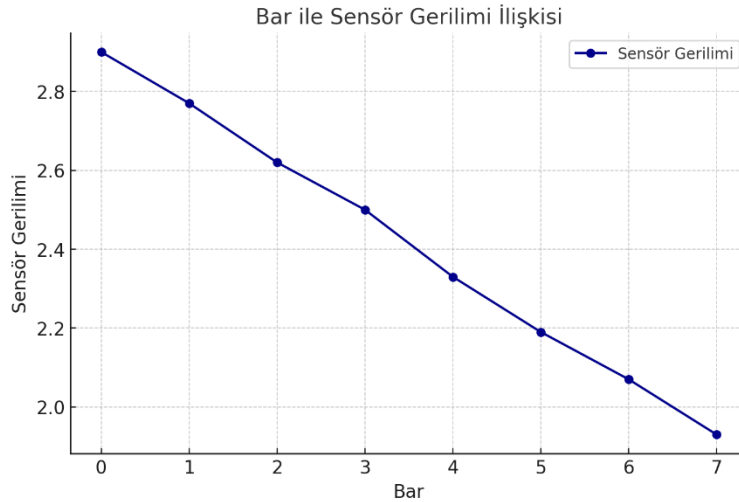
Analog pompa kontrol ünitelerinin inovatif bir yaklaşımla dijitalleşmesini inceleyen bu tez çalışmasında, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen tüm bulgular ve değerlendirmeler bu bölümde detaylı olarak sunulmuştur. Bu kapsamda, geliştirilen sistemin performansı çeşitli testlerle analiz edilmiş ve analog kontrol ünitelerine kıyasla sağladığı avantajlar ortaya konulmuştur. Bulgular, sistemin etkinliğini artıran dijital yeniliklerin ve hassasiyetin önemini vurgulamaktadır.

4.1. Test Sonuçları

Bu çalışmada, geliştirilen inovatif basınç sensörü, referans basınç sensöründen alınan değerler temel alınarak kalibre edilmiş ve hidromatın elektromekanik basınç anahtarı elektronik basınç anahtarına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm, sistemin doğruluğunu artırırken basınç değişimlerine hızlı ve hassas bir şekilde tepki vermesini sağlamıştır.

Test sürecinde belirlenen senaryolar özenle uygulanarak hidromatın çalışma performansı titizlikle değerlendirilmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen veriler, tasarım aşamasında hedeflenen fonksiyonların başarıyla sağlandığını göstermiştir ve bu bulgular detaylı olarak açıklanmıştır.

Test sürecinde, basınç sensöründe okunan değerlerin yayın hareketine bağlı olarak manyetik alan değişiminin oluşturduğu gerilim grafiksel olarak analiz edilmiştir (Şekil 4.1). Bu analiz, sensör performansını değerlendirmek ve doğruluk oranını optimize etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen grafikler, sensörün doğrusal tepki verdiğini ve manyetik alan değişimlerine karşı hassas ölçümler yapabildiğini göstermiştir.



Şekil 4.1. Geliştirilen basınç sensörünün değerlerinin gerilim ile ilişkisi

Manyetik basınç sensörü, 0-7 bar ölçüm aralığında, 100 milisaniye tepki süresi, 0,1 bar hassasiyet ve %0,5 hata payı ile başarılı bir şekilde ölçüm gerçekleştirmiştir. Bu sonuçlar, sensörün hassas basınç ölçümünü etkin bir şekilde yapabildiğini ve hızlı tepki süresi ile yüksek doğruluk seviyesini koruduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada geliştirilen Akıllı Hidromat, motorun yumuşak başlangıç ve kapanış yapmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemde kullanılan SSR ve kapasitör bileşenleri, motorun darbeli çalışmasını önlemiş ve başlangıç akımının en az %30 oranında azaltıldığını ortaya koymuştur. Bu özellik, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra motorun ömrünü uzatmasıyla da önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Akıllı Hidromat, voltajda meydana gelebilecek ani düşüş ve yükselmelere karşı yalnızca 10 milisaniye gibi kısa bir sürede tepki verebilme yeteneğine sahiptir. Bu hızlı tepki mekanizması, motorun zarar görmesini önlemek amacıyla sistemi güvenli bir şekilde kapatarak koruma sağlamaktadır.

Akıllı Hidromat, don olaylarının sık yaşandığı bölgelerde motoru etkin bir şekilde koruma amacıyla su sıcaklığını $0,1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetinde algılamaktadır. Bu özellik sayesinde sistem, donma öncesinde devreye girerek suyun sirküle edilmesini sağlamakta ve donmayı geciktirmektedir. Ayrıca donma olayı gerçekleştiğinde motoru kuru çalışmaya karşı korumaktadır.

Su kesintisi yaşandığında ise Akıllı Hidromat, su basıncı ve motorun boşa çalışma akımı gibi parametreleri kullanarak bu durumu algılamakta ve motoru kuru çalışma riskine karşı korumaktadır.

Sistemde yer alan kaçak testi algoritması, hat üzerindeki basınç düşüşlerini algılayabilmekte ve su kaçağı durumunda basıncın kademeli olarak azalmasını yorumlayarak hata uyarısı verebilmektedir.

Akıllı Hidromat, sistemde meydana gelen hataların dijital ekran aracılığıyla kullanıcıya hızlı bir şekilde (en fazla 3 saniye içinde) iletilmesini sağlayan gelişmiş bir hata kodu gösterim sistemi ile donatılmıştır. Bu özellik, kullanıcı deneyimini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Hata kodlarının hızlı bir şekilde iletilmesi sayesinde, kullanıcılar sistemde oluşan sorunları doğrudan teşhis edebilmekte ve çözüm sürecine daha hızlı bir şekilde müdahil olabilmektedir. Böylelikle, arızaların daha uzun süre devam etmesi sonucu oluşabilecek motor hasarı, enerji kayıpları ve sistem verimliliğinde azalma gibi olumsuz etkilerin önüne geçilmiştir.

4.2. Analog Hidromatlar ile Karşılaştırılması

Tez kapsamında geliştirilen ürün, sanayide kullanıma hazır bir prototip haline getirilmiştir. Geleneksel olarak evlerde kullanılan analog hidromatlar, yaylı diyafram ve kendi entegre çek valfli mekanik yapıları sayesinde, karmaşık hidrofor sistemlerine alternatif olarak pratik ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Ancak, hidromatların dijitalleşmesi için hat üzerinde hazır bir basınç ve debi sensörünün eklenmesi ve buna uygun bir kart geliştirilmesi mümkün olmasına rağmen, bu tür bir yaklaşım ürünün işlevselliğini azaltabilir ve maliyet-etkinliğini olumsuz etkileyebilirdi.

Bu nedenle, bu tez çalışmasında, piyasada yaygın olarak kullanılan elektromekanik basınç anahtarına sahip hidromatların mekanik yapısını ve çalışma prensibini koruyarak, basit, ekonomik ve etkili bir çözüm sunulması amaçlanmıştır.

Çalışma, mevcut analog hidromat yapısını dijital bir kontrol sistemi ile donatarak, basınç kontrolünü daha hassas ve etkin hale getiren elektronik bir basınç anahtarına dönüştürmeyi hedeflemiştir. Bu süreçte, mevcut mekanik sistemin avantajlarını kaybetmeden ve karmaşıklığı artırmadan, pompanın etkin bir şekilde kontrolünü sağlayacak bir kart geliştirilmiştir. Geliştirilen “Akıllı Hidromat” ile analog hidromatın karşılaştırılması bu kısımda yapılmıştır (Anonim 4; Anonim 8; Anonim 9) (Çizelge 4.1).

- **Manuel ve dijital ayar**

Geleneksel analog sistemlerde, pompa üzerinde basınç ayarlarının manuel olarak yapılması gerekmektedir. Bu sistemlerde, hidromatın arka bölümünde bulunan ve yayın diyaframa bağlandığı çubuğa entegre edilmiş bir vida mekanizması kullanılmaktadır. Basınç ayarları, bu vida mekanizmasının bir tornavida yardımıyla sıkılması veya gevşetilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Yay ve diyaframın mekanik sıkışma oranına bağlı olarak basınç değerleri ayarlanırken, pompanın çalışır durumda olması zorunludur. Bu süreç, kullanıcı açısından zahmetli olmasının yanı sıra, manuel müdahale gerektirdiği için hataya açık bir yapı sunmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen sistem, kullanıcı deneyimini önemli ölçüde iyileştiren bir dijital kontrol mekanizması ile donatılmıştır. Yeni sistemde, basınç ayarları manuel bir müdahale gerektirmeden, kontrol tuşları aracılığıyla kolayca yapılabilmektedir. Bu özellik, kullanıcıların herhangi bir mekanik ayar işlemine gerek kalmadan, istenilen basınç değerini hızlı ve doğru bir şekilde ayarlamalarına olanak tanımaktadır. Geliştirilen sistemin sağladığı bu yenilikçi yaklaşım, yalnızca kullanıcı konforunu artırmakla kalmamış, aynı zamanda kurulum süreçlerini basitleştirerek zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamıştır.

- **Voltaj dalgalanması**

Geleneksel bazı hidromatlar, voltaj dalgalanmalarının sık yaşandığı bölgelerde, özellikle kırsal alanlar ve köylerde, ana kartın zarar görmesi gibi arızalara karşı hassastır. Bu tür dalgalanmalar, apartman tipi yapılarda da sıklıkla görülebilmekte ve hidromat sistemleri üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak, geliştirilen Akıllı Hidromat, bu soruna yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Akıllı Hidromatta, geleneksel RC devresi yerine güçlendirilmiş bir kontrol devresinin kullanılması, voltaj dalgalanmalarına karşı daha yüksek bir koruma sağlamaktadır.

- **Motor koruması**

Geliştirilen Akıllı Hidromat, motor arızalarına karşı etkili bir koruma sistemi sunarak motorun yanmasını önlemektedir. Sistem, motorun çektiği akımı sürekli olarak ölçmekte ve bu verileri, ilk kurulumda hidromata tanıtılan motorun nominal akım değerleri ile karşılaştırmaktadır. Motorun çektiği akımın, tanımlı maksimum motor yükünü aşması ve bu durumun 10 saniyelik bir süre içerisinde düzelmemesi halinde, sistem otomatik olarak devre dışı kalmaktadır. Bu koruma mekanizması, motorun aşırı yüklenme veya arıza durumunda zarar görmesini engellemektedir.

- **Sıcaklık koruması**

Akıllı Hidromat, özellikle don olaylarının sık yaşandığı bölgelerde motoru etkin bir şekilde koruma amacıyla yenilikçi bir koruma mekanizması sunmaktadır. Sistem, su sıcaklığını 0,1°C hassasiyetle algılayabilmekte ve bu sayede donma tehlikesine karşı proaktif önlemler alabilmektedir. Su sıcaklığının kritik seviyelere düştüğü durumlarda, Akıllı Hidromat motoru devreye almamakta ve bu şekilde donma nedeniyle oluşabilecek zararlardan motoru korumaktadır.

Bunun yanı sıra, sistem, donma gerçekleşmeden önce devreye girerek suyu sirküle etmekte ve bu hareket ile donma sürecini geciktirerek motor ve pompa sisteminin bütünlüğünü korumaktadır. Bu özellik, motoru yalnızca korumakla kalmamakta, aynı zamanda su hattının fonksiyonel kalmasını da sağlamaktadır. Üstelik, don olayı gerçekleştiğinde su kesintisi meydana geldiğinde ise motoru kuru çalıştırmaya karşı korumalıdır.

Analog hidromatlarla karşılaştırıldığında, bu özellik önemli bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel analog hidromatlar, donma durumlarını algılama veya bu koşullara karşı önlem alma yeteneğinden yoksundur. Akıllı Hidromat ise, hassas sıcaklık algılama ve otomatik koruma mekanizmalarıyla, don tehlikesine karşı kullanıcıların ihtiyaçlarını daha güvenilir ve verimli bir şekilde karşılamaktadır.

- **Su kesintisi**

Akıllı Hidromat, su kesintisi gibi durumları algılayarak pompayı kuru çalışmaya karşı koruyan gelişmiş bir mekanizma ile donatılmıştır. Sistem hem su basıncını hem de motorun boşa çalışma akımını sürekli olarak izlemekte ve bu parametrelerden yararlanarak suyun bulunmadığı durumları tespit etmektedir. Su kesintisi algılandığında, motor otomatik olarak devre dışı bırakılmakta ve böylece kuru çalışma nedeniyle oluşabilecek hasarlar önlenmektedir.

Bazı geleneksel hidromatlar, bu özelliğe sahip olmadığından, su bulunmadığı durumlarda motor gereksiz yere çalışmaya devam edebilmekte ve hem elektrik israfına hem de motorun yanmasına neden olabilmektedir. Akıllı Hidromat, gereksiz motor çalışmasını önleyerek enerji verimliliğini artırmakta ve motorun kullanım ömrünü uzatarak kullanıcıya hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamaktadır. Bu özellik, Akıllı Hidromatın motor koruma sistemindeki yenilikçi yaklaşımını vurgulamakta ve onu geleneksel hidromatlardan ayıran önemli bir avantaj olarak öne çıkarmaktadır.

- **Kaçak testi**

Akıllı Hidromat, hassas basınç sensörü sayesinde su hattındaki basınç düşüşlerini doğru ve hızlı bir şekilde algılayabilmektedir. Sistem, basıncın yavaş ve kademeli olarak düşmesini (örneğin, suyun damlayarak akması gibi durumları) yorumlayarak, hattaki bir kaçak durumunu tespit etmektedir. Bu tespit sonucunda, pompanın gereksiz yere çalışması engellenmekte ve enerji verimliliği artırılmaktadır. Böylelikle, sistem sadece gerektiği durumlarda çalışarak hem elektrik tüketimini azaltmakta hem de pompanın ömrünü uzatmaktadır.

Geleneksel hidromatlar bu tür kaçakları algılamada yeterli değildir ve hattaki kaçakların tespit edilmesi için manometrenin fiziksel olarak uzun süre takip edilmesi gerekmektedir. Bu, kullanıcı açısından zahmetli bir süreç olmakla birlikte, olası kaçakların erken fark edilmesini zorlaştırmaktadır. Akıllı Hidromatın geliştirilmiş hassas mekanizması, kullanıcıya bu konuda önemli bir kolaylık sağlamak ve su yönetim sisteminin verimliliğini artırmaktadır. Bu yenilikçi özellik, Akıllı Hidromatı geleneksel sistemlerden ayıran bir avantaj olarak öne çıkmaktadır.

- **Dijital ekran ile hata bildirimi ve kullanıcı deneyimine katkısı**

Akıllı Hidromat, sistemde meydana gelen hataları dijital ekran aracılığıyla kullanıcıya hızlı bir şekilde (en fazla 3 saniye içinde) iletebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik, kullanıcıların sorunları anında teşhis ederek kolayca müdahale edebilmesine olanak tanımaktadır. Dijital ekran üzerinden arıza kodlarının görüntülenmesi, ürünün kullanıcı dostu bir yapıya sahip olmasını sağlamış ve müşteri memnuniyetini önemli ölçüde artırmıştır.

Arıza kodlarının hızlı bir şekilde yansıtılması, kullanıcıların teknik bilgiye ihtiyaç duymadan sorunun kaynağını anlamasını ve gerektiğinde teknik destek almasını kolaylaştırmaktadır. Bu, yalnızca müdahale süresini kısaltmakla kalmamış, aynı zamanda ürünün genel erişilebilirliğini ve kullanım kolaylığını artırmıştır.

Geleneksel hidromatlarda ise bu tür bir özellik bulunmamaktadır. Kullanıcılar, arızaların kaynağını tespit etmek için genellikle deneme-yanılma yöntemine başvurmakta ya da teknik destek birimine bağımlı hale gelmektedir. Bu süreç hem zaman kaybına neden olmakta hem de kullanım zorluğunu artırmaktadır. Akıllı Hidromatın dijital hata bildirim sistemi hem bireysel kullanıcılar hem de ticari uygulamalar için önemli bir yenilik olarak öne çıkmakta ve geleneksel sistemlerden ayrılan temel avantajlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

- **Kart nem koruması**

Geleneksel hidromatlar, elektronik kart yapısına sahip olduklarından, aşırı nemli bölgelerde ve mahallerde kart arızası riski taşımaktadır. Bu durum, cihazın uzun ömürlü kullanımını olumsuz etkileyen önemli bir sorun teşkil etmektedir. Geliştirilen Akıllı Hidromat, bu tür dış etkenlere karşı su geçirmezlik ve titreşim koruması sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Elektronik kartın dış ortam koşullarına karşı korunması için bir dizi önlem alınmıştır:

Suya dayanıklılık: Elektronik kart kutusu silikon kaplama ile izole edilmiş, su geçirmez conta kullanılmış ve kablo girişlerinde su sızdırmazlık sağlayan PG rakorlar takılmıştır. Bu önlemler, cihazın su geçirmezlik özelliğini güçlendirmiş ve ürünün aşırı nemli bölgelerde güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Bu özellik, testlerle doğrulanmış; cihaz, su altında 10 dakika bekletilmiş ve herhangi bir su sızırtı veya arıza görülmemiştir.

Titreşim ve darbe koruması: Elektronik kartın elastik silikon kaplama ile kaplanması, yalnızca su geçirmezlik sağlamakla kalmamış, aynı zamanda cihazı darbe ve titreşimlere karşı da korumuştur. Bu kaplama, dış ortam kaynaklı mekanik şokları emerek

elektronik kartın dayanıklılığını artırmıştır.

Bu koruma mekanizmaları sayesinde Akıllı Hidromat, hem nem ve suya karşı hem de mekanik etkilere karşı yüksek direnç göstermekte ve zorlu çevresel koşullarda güvenilir bir şekilde çalışabilmektedir. Bu yenilik, geleneksel hidromatlarla kıyaslandığında önemli bir avantaj sunmakta ve cihazın kullanım ömrünü ve dayanıklılığını artırmaktadır.

- **Katı hal rölesi**

Akıllı Hidromat, sistem tasarımında kullanılan SSR ve kapasitör sayesinde, motorun çalışma ve kapanış süreçlerini daha yumuşak ve verimli hale getiren yenilikçi bir teknolojiye sahiptir. Başlangıçta motor, darbelemekten devreye alınmakta ve bu süreçte başlangıç akımı önemli ölçüde azaltılarak enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu tasarım motorun gereksiz zorlanmasını önleyerek ürünün kullanım ömrünü uzatmaktadır.

Geleneksel hidromatlarda kullanılan mekanik röleler, açma ve kapama sırasında kıvılcım (spark) oluşumuna neden olmakta, bu da röle kontaklarının zamanla aşınmasına ve arızalanmasına yol açmaktadır. Mekanik rölelerde, aniden kesilen elektrik akımı, motorun darbelenmesine ve sistemin aşırı yüklenmesine neden olabilir. Bu durum hem motor hem de röle bileşenlerinin dayanıklılığını olumsuz etkiler.

Akıllı Hidromat, bu sorunlara çözüm olarak SSR teknolojisini kullanmaktadır. SSR, mekanik rölelerdeki gibi hareketli parçalara sahip olmadığından, açma ve kapama sırasında kıvılcım oluşumu tamamen engellenmektedir. Kapasitörlerle desteklenen bu yapı, motorun kapanışı sırasında da darbe oluşmasını önleyerek sistemde yumuşak bir kapanış sağlar. Bu özellik, motorun ani yüklenmelerden korunmasını ve daha uzun süre güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar.

Sonuç olarak, Akıllı Hidromatın SSR ve kapasitör temelli tasarımı, yalnızca motorun performansını artırmakla kalmayıp enerji tüketimini optimize ederek çevresel ve ekonomik faydalar da sunmaktadır. Geleneksel hidromatlarla kıyaslandığında, bu yenilikçi yaklaşım hem dayanıklılığı hem de enerji verimliliğini önemli ölçüde artırarak kullanıcıya üstün bir deneyim sunmaktadır.

- **Yüksek güçte kullanım**

Geleneksel hidromatlar, genellikle 1,5 hp gücünden daha güçlü pompalarda sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Bu tür hidromatların, daha yüksek güçlü pompalarla çalışabilmesi için ek olarak kontaktörlü bir pano kullanılması gerekmektedir. Bu durum hem kurulum sürecini karmaşıktırmakta hem de kullanıcı açısından ek maliyet ve altyapı gereksinimi doğurmaktadır.

Akıllı Hidromat ise bu sınırlamayı aşarak, 3 hp gücüne kadar olan 220 V monofaze pompalarla doğrudan çalışabilme kapasitesine sahiptir. Bu özellik, Akıllı Hidromatın geniş kullanım alanına işaret etmekte ve geleneksel sistemlere kıyasla önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kontaktörlü pano ihtiyacını ortadan kaldırarak hem kurulum sürecini basitleştirmekte hem de enerji yönetimini daha verimli hale getirmektedir.

Sonuç olarak, Akıllı Hidromat, geleneksel hidromatlara kıyasla daha yüksek güçlü pompalarda kullanılabilirliğiyle öne çıkmakta ve çeşitli uygulama alanlarında esnek çözümler sunmaktadır. Bu özellik, cihazın endüstriyel ve bireysel kullanıcılar için tercih edilmesini sağlayan temel faktörlerden biridir.

- **Dengesiz basınç aralığı**

Geleneksel hidromatların basınç ayar aralığı oldukça sınırlıdır ve bu durum, sistemde istenilen basınç dengesini sağlamayı güçleştirmektedir. Basınç dalgalanmalarının geniş bir yelpazede gerçekleşmesi nedeniyle, özellikle yüksek basınç gerektiren uygulamalarda hidromatların kullanımı sınırlı kalmaktadır. Örneğin, istenen basınç aralığının 4-6 bar olduğu bir durumda, geleneksel hidromat bu aralığı sağlamakta başarısız olmakta ve ancak 2,5-6 bar aralığında bir kontrol sunabilmektedir. Bu durum, sistemin su verimliliğini düşürmekte ve enerji kaybına neden olabilmektedir.

Geliştirilen dijital basınç sensörü, geleneksel yöntemlerin yetersizliklerini gidermek üzere tasarlanmıştır. Bu sensör, sistemde meydana gelen tüm basınç değişimlerini yüksek hassasiyetle algılamakta ve yorumlamaktadır. Bu sayede, motor yalnızca ihtiyaç duyulan zamanda devreye alınmakta, böylece dengeli ve istikrarlı bir basınç sağlanmaktadır. Dijital basınç sensörünün sağladığı bu hassasiyet, yalnızca sistem performansını artırmakla kalmamakta, aynı zamanda enerji verimliliğini de optimize etmektedir.

Sonuç olarak, Akıllı Hidromatın dijital basınç sensörleriyle donatılmış yapısı, basınç kontrolünde geleneksel hidromatların cihazlarının sınırlamalarını aşarak hem düşük hem de yüksek basınç aralıklarında güvenilir ve dengeli bir çözüm sunmaktadır. Bu yenilik, özellikle geniş basınç aralıkları gerektiren uygulamalarda sistemin performansını önemli ölçüde artırmaktadır.

- **Şalt sayısı**

Akıllı Hidromat, geleneksel hidromatlarda karşılaşılan yüksek şalt sayısının olumsuz etkilerini ortadan kaldıran yenilikçi bir tasarıma sahiptir. Şalt sayısı, motorun devreye girme ve çıkma sıklığını ifade eder ve kontrolsüz bir şekilde artması motorun ömrünü kısaltmak, aşırı ısınmaya neden olmak, enerji tüketimini artırmak ve gürültü seviyesini yükseltmek gibi ciddi sorunlara yol açar. Geleneksel sistemlerde etkin bir pompa kontrolü bulunmadığından, motorun sık devreye girmesi ve durması kaçınılmazdır. Ayrıca, geleneksel hidromatların, şalt sayısını düşürmek için her çalışma döngüsü sonunda gereksiz yere motoru çalıştırması hem enerji kaybına hem de elektrik maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Motorların her devreye girişte normalin çok üstünde akım çekmesi de bu durumu daha da maliyetli hale getirmektedir.

Akıllı Hidromat ise ayarlanabilir diferansiyel basınç aralığı ve hassas pompa kontrolü sayesinde, motorun yalnızca gerektiğinde devreye girmesini sağlayarak bu sorunları etkili bir şekilde çözmektedir. Şalt sayısının optimize edilmesi, motorun aşırı yüklenmesini önlerken sistemin daha sessiz çalışmasını sağlar ve enerji tüketimini minimum seviyeye indirir. Ayrıca, aşırı ısınma riski ortadan kaldırılarak motor ve diğer elektro-mekanik bileşenlerin kullanım ömrü uzatılır. Bu özellikler, Akıllı Hidromatı geleneksel sistemlerden ayıran önemli bir avantaj sunar hem enerji verimliliğini artırır

hem de kullanıcıya daha sürdürülebilir ve konforlu bir deneyim sağlar.

Çizelge 4.1. Akıllı hidromat ile geleneksel hidromatın karşılaştırılması

Özellik	Geleneksel Hidromat	Akıllı Hidromat
Basınç anahtarı	Elektromekanik	Elektronik
Kurulum	Manuel	Dijital
Voltaj koruması	Yok	Var
Motor akım koruması	Yok	Var
Sıcaklık koruması	Yok	Var
Kuru çalışmaya karşı koruma	Yok	Var
Kaçak testi	Yok	Var
Ekran ve hata kodu	Yok	Var
Kart nem koruması	Yok	Var
Katı hal rölesi	Yok	Var
Kapasite	1,5 hp	3 hp
Dengeli basınç aralığı	Yok	Var
Şalt Sayısı	Yüksek	Düşük

Sonuç olarak, genişleme tankı ve basınç şalteri gerektirmeyen kompakt pompa kontrol ünitesi olarak kullanılan geleneksel hidromatlar, düşük güç pompalarında ekonomik olmaları nedeniyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Bu çalışmada, geleneksel ev tipi pompa kontrol ünitelerindeki eksiklikleri gidermek, daha yüksek verimlilik sağlayan, sanayi uygulamalarına uygun ve maliyet etkin bir sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Patentli bir teknoloji kullanılarak dijitalleştirilen bu hidromatlar, ekonomik yöntemlerle iyileştirilmiş ve pazardaki rekabet gücünü artıran bir donanım haline getirilmiştir. Geliştirilen ürün, detaylı testler ve deneyler sonucunda geleneksel hidromatlarla kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.1).

Sistem, hidromat ve hidrofor uygulamalarının yer aldığı tüm tek fazlı pompa kontrol sistemlerinde uygulanabilir bir yapı sunmaktadır. Gelecekte, donanımsal ve yazılımsal açıdan geliştirilerek daha etkili su ve enerji yönetimi sağlanması öngörülmektedir. Ayrıca, ürünün gerçek kullanım alanlarındaki performansı müşteri geri bildirimleri doğrultusunda iyileştirilerek, binaların su tüketim davranışları incelenebilir

ve sağladığı verimlilik sürekli olarak takip edilebilir. Nesnelerin interneti (IoT) teknolojisiyle uyumluluk sağlanarak, ürünün akıllı ev sistemleriyle entegrasyonu mümkün kılınabilir. Bunun yanı sıra, farklı algoritmalar ve yapay zekâ yöntemleri kullanılarak, basınç ve akım sensörlerine ek olarak debimetre cihazlarıyla entegre çalışan sistemler geliştirilerek ve frekans kontrol teknolojileri aracılığıyla motor hızını optimize ederek yüksek enerji verimliliği ve su tasarrufu sağlayan yenilikçi çözümler sunulması hedeflenebilir.



5. SONUÇLAR

a. Tez Çalışmasının Kapsamı ve Başarıları

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen proje, TÜBİTAK 1512 Girişimcilik Desteği ile Aryas Ar-Ge Mühendislik şirketi bünyesinde yürütülmüş ve çalışmaya ilişkin tüm araştırma ve geliştirme faaliyetleri şirket ortamında tamamlanmıştır. Projenin iş fikri ve çıktılarına dayalı olarak, TEKNOFEST Gaziantep 2020 Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışması'nda finalist olarak başarı sergilenmiştir. Ayrıca, "Akıllı Hidromat" başlıklı buluşun patent başvurusu yapılmış ve ISIF20 Uluslararası Buluş Fuarı'nda Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından gümüş madalya ile ödüllendirilmiştir. Bu kapsamda, TR 2020 04680 B numaralı patent, 2022 yılında tescillenmiştir. Geliştirilen ürünle ilgili olarak, TEKNOFEST 2022 Karadeniz Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışması'nda da finalist olunarak bir kez daha başarı elde edilmiştir.

b. Tez Çalışmasının Teknik Kapsamı

Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalarda, pompa kontrol sistemleri ile bu sistemlerde kullanılan anahtar ve sensör teknolojileri ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. Özellikle, ev tipi pompa kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan hidromatların sahip olduğu elektromekanik basınç anahtarı, inovatif bir yöntemle basınç sensörüne dönüştürülmüş ve hidromatın mekanik yapısına zarar verilmeden patentli bir ürüne entegre edilmiştir. Bu dönüşüm hem yenilikçi bir çözüm sunmuş hem de ürünü ticarileştirme potansiyelini artırmıştır.

Tez çalışması çerçevesinde geliştirilen elektronik kartın tüm elektronik şemaları ve kullanılan algoritmalar materyal ve yöntemler bölümünde detaylıca açıklanmıştır. Nihai prototip ürün hem laboratuvar ortamında hem de saha testlerinde değerlendirilmiş, geleneksel sistemlerle karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Bu süreçte elde edilen sonuçlar raporlanmış ve ürünün performans üstünlükleri ile enerji verimliliğine olan katkıları açıkça ortaya konmuştur. Unutulmamalıdır ki, bu tez kapsamında amaçlanan, pazarda yaygın olarak kullanılan ev tipi pompa kontrol üniteleri olan geleneksel hidromatların mevcut eksikliklerini gidermek, bu sayede daha etkin ve işlevsel bir ürün geliştirilerek pompaların çalışma verimliliğini artırmak ve sanayi uygulamalarına uygun, ekonomik bir donanım ortaya koymaktır.

Geleneksel hidromatlar, genleşme tankı ve basınç şalteri gibi bileşenlere ihtiyaç duymadan kompakt bir hidrofor işlevi görmeleri nedeniyle özellikle düşük güç gereksinimine sahip pompalar için ekonomik bir çözüm olarak tercih edilmektedir. Ancak, bu cihazların pompa kontrol yeteneklerinin sınırlı olması, uzun vadede kullanım avantajlarını kaybetmelerine neden olmaktadır. Bu durum, kullanıcı deneyimi ve sistem sürdürülebilirliği açısından bir dizi zorluk ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, mevcut yapıyı koruyarak, yenilikçi bir tasarım yaklaşımı benimsenmiş ve sistemin kontrol mekanizması basınç sensörleri ile desteklenerek işlevselliği önemli ölçüde artırılmıştır. Bu yöntem, yalnızca ürünün pazarda daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamakla kalmamış, aynı zamanda ürünün genel etkinlik ve dayanıklılık seviyesini de yükseltmiştir. Geliştirilen sistem, hidrofor kontrol ünitelerinde de kullanılabilir bir yapı sunacak şekilde tasarlanmıştır ve bu, çok yönlülüğünü ve endüstriyel uygulamalar için uygunluğunu göstermektedir.

Tez kapsamında geliştirilen prototip, geleneksel hidromatlarla kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmış ve sistemin pompayı daha etkin ve hassas bir şekilde kontrol edebildiği bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Bu bulgular, ürünün performansını artırmakla kalmayıp, pazarda rekabet gücünü ve sürdürülebilirliğini de önemli ölçüde desteklemektedir. Böylelikle, bu çalışma yalnızca mevcut teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlamakla kalmamış, aynı zamanda ekonomik ve teknik açıdan yenilikçi bir çözüm sunarak gelecekteki çalışmalar için de değerli bir referans olmuştur.



6. KAYNAKLAR

- Abacus, A. 2021. Pressure sensors: The design engineers guide. *Avnet Reach Further*.
- Abdelsalam, A. A. and Gabbar, H. A. 2021. Energy saving and management of water pumping networks. *Heliyon*, 7(8): e07820.
- Agada, O., Fakoyede, P., Dike, C., Ajiboye, Q., Enabulele, E. and Adebayo, D. 2024. Design and construction of wireless water level control system with motor protector. 23: 17.
- Ahmad, M., Khan, I., Khan, M. Q. S., Jabeen, G., Jabeen, H. S. and Işık, C. 2023. Households' perception-based factors influencing biogas adoption: Innovation diffusion framework. *Energy*, 263: 126155.
- Ahonen, T., Tamminen, J. and Montonen, J. 2014. Comparison of electric motor types for realising an energy efficient pumping system. 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1–9.
- Akinwale, O. O. 2020. Design, simulation and implementation of an Arduino microcontroller based automatic water level controller with I2C LCD display. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 9(2): 77–84.
- Akpan, V. A. and Osakwe, R. O. A. 2015. Real- Time Embedded System for Online Temperature and Pressure Measurements for Automated Fluid Flow Monitoring and Control. *Instrumentation, control, engineering*, 2.
- Alfaro, F., van Sprakelaar, G. and Gaynor, J. 2017. Harsh environment piezoresistive pressure sensors. 2017 IEEE SENSORS, *IEEE*, pp. 1–3.
- AlGhamdi, R. and Sharma, S. K. 2022. IoT-Based Smart Water Management Systems for Residential Buildings in Saudi Arabia. *Processes*, 10(11).
- Andrea, F., Andreas, F. and Sanchit, G. 2022. Analysis of Hall-Effect System with Two Linear Sensor ICs for 30 mm Displacement.
- Anisha, Menon, R. A. and Prabhakar, A. 2017. Electronically controlled water flow restrictor to limit the domestic wastage of water. 2017 International conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS), pp. 1–6.
- Anonim 1: Avrupa Yeşil Mutabakatı. T.C. Ticaret Bakanlığı. <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakati> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonim 2: Avrupa Yeşil Mutabakatı. T.C. Dışişleri Bakanlığı. https://www.ab.gov.tr/avrupa-yesil-mutabakati_53729.html [Son erişim tarihi: 22.12.2024].

- Anonim 3: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonim 4: Anonim 4: Hidromat Nedir? Hidromat (Fluid Kontrol) Ne İşe Yarar?. <https://www.tesisat.org/hidromat-nedir-hidromat-fluid-kontrol-ne-ise-yarar.html> [Son erişim tarihi: 01.11.2024].
- Anonim 5: Paket Hidrofor. <https://sumakpompa.com/tr-hidroforlar/> [Son erişim tarihi: 01.11.2024].
- Anonim 6: Otomatik Hidrofor Cihazı Hidromat Nedir. <https://www.etna.com.tr/faydali-bilgiler/otomatik-hidrofor-cihaz-hidromat-nedir> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonim 7: Hidromat. (<https://www.kampa.com.tr/urun/kampa-tazyik-33h-3-kat-3-daيرهidrofor-su-pompasi-hidromatli>) [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonim 8: Hidromat Nedir Kullanım Alanları. <https://blog.kampa.com.tr/hidromat-nedir/> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonim 9: Hidromat Pompa Nedir ? Bağlantısı Nasıldır?. <https://bursay.com/hidromat-pompa-nedir-baglantisi-nasildir/> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonim 10: Su Basınçlandırma Sistemleri. <https://www.alfenerji.com.tr/alfakademi.php> [Son erişim tarihi: 27.09.2024].
- Anonymous 1: United Nations Climate Change Annual Report 2022. Bonn. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf [Son erişim tarihi: 23.10.2024].
- Anonymous 2: Stainless Steel Water Supply System with Pressure Tank. <https://www.yeschamp.com/product/multistage-pump/stainless-steel-water-supply-system-with-pressure-tank.html> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Anonymous 3: Hall Effect Sensor. <https://www.electronicstutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html> [Son erişim tarihi: 22.12.2024].
- Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J. and Lenton, T. M. 2024. Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, 377(6611): eabn7950.
- Atanackovic, T. M. and Guran, A. 2000. Hooke's Law. In: Atanackovic T. M. and Guran A. (eds), *Theory of Elasticity for Scientists and Engineers*. Birkhäuser Boston, Boston, pp. 85–111.

- Augustyn, T. 2012. Energy efficiency and savings in pumping systems — The holistic approach. *2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEEC)*, pp. 1–7.
- Bachus, L. and Custodio, A. 2003. 6. Pump classification.
- Baggio, G., Qadir, M. and Smakhtin, V. 2021. Freshwater availability status across countries for human and ecosystem needs. *Science of The Total Environment*, 792: 148230.
- Band, E. J. and Anyasi, F. I. 2014. Design of an Automatic Water Level Controller Using Mercury Float Switch. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 9: 16–21.
- Baney, W., Chilcott, D., Huang, X., Long, S., Siekkinen, J., Sparks, D. and Staller, S. 1997. A comparison between micromachined piezoresistive and capacitive pressure sensors. *SAE transactions*, 562–565.
- Beck, M., Sperlich, A., Blank, R., Meyer, E., Binz, R. and Ernst, M. 2018. Increasing Energy Efficiency in Water Collection Systems by Submersible PMSM Well Pumps. *Water*, 10(10): 1310.
- Benfell, R. S., Vause, A., Babcock, R. H., Bradner, M., Gilman, H. D., Gottliebson, M., Leach, P. C., Leak, J., Skipper, G., Smith, E. C., Taube, J. and Wasserman, H. 2008. Instrumentation and Control Devices. *Pumping Station Design: Revised 3rd Edition*. Butterworth-Heinemann, pp. 20.1-20.35.
- Bera, S. C., Ray, J. K. and Chattopadhyay, S. 2006. A low-cost noncontact capacitance-type level transducer for a conducting liquid. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 55(3): 778–786.
- Binggeli, C. 2003. *Building Systems for Interior Designers*: 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, pp. 41-42.
- Blanco-Gómez, P., Mateu-Belloch, A., Jiménez-García, J. L., Salas-Cantarellas, A. J., Pieras-Company, J. J. and Santamaría-Casals, E. 2024. Real-time ultrasonic water level IoT sensor for in-situ soil permeability testing. *HardwareX*, 19: e00541.
- Butler, R. J. 2010. Cold Water Systems. In *Plumbing Engineering Design Handbook - A Plumbing Engineer's Guide to System Design and Specifications, Volume 2 - Plumbing Systems*. American Society of Plumbing Engineers (ASPE), 1.
- Cabrera, E. 2003. *Pumps, electromechanical devices and systems applied to urban water management*. Taylor & Francis.

- Caya, M. V. C., Narciso, A. G., Roque, M. C. A. and Chung, W.-Y. 2019. Integration of Water Control with a Drip Irrigation System for Agricultural Application. 2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), pp. 1–5, 29 November–1 December, Laoag, Philippines.
- Chen, L., Msigwa, G., Yang, M., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W. and Yap, P.-S. 2022. Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4): 2277–2310.
- Chen, W. and Yan, X. 2020. Progress in achieving high-performance piezoresistive and capacitive flexible pressure sensors: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 43: 175–188.
- Cheng, C. L. 2002. Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building. *Energy and Buildings*, 34(3):261–266.
- Chiou, J. A. and Chen, S. 2007. Thermal hysteresis and voltage shift analysis for differential pressure sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, 135(1): 107–112.
- Christ, J. F., Aliheidari, N., Ameli, A. and Pötschke, P. 2017. 3D printed highly elastic strain sensors of multiwalled carbon nanotube/thermoplastic polyurethane nanocomposites. *Materials & Design*, 131: 394–401.
- Coates, R. W., Delwiche, M. J., Broad, A. and Holler, M. 2013. Wireless sensor network with irrigation valve control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96: 13–22.
- Coelho, B. and Andrade-Campos, A. 2014. Efficiency achievement in water supply systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30: 59–84.
- Coppenolle, V. H., Blondeel, M. and Graaf, V. T. 2023. Reframing the climate debate: The origins and diffusion of net zero pledges. *Global Policy*, 14(1): 48–60.
- Czarnocki, W. S. and Schuster, J. P. 1999. FEATURES-The Evolution of Automotive Pressure Sensors. *Sensors-the Journal of Applied Sensing Technology*, 16(5): 52–69.
- DeBenedictis, A., Haley, B., Woo, C. K. and Cutter, E. 2013. Operational energy-efficiency improvement of municipal water pumping in California. *Energy*, 53: 237–243.
- Dennis, J. O., Bin Mat Sihat, M. S., Ahmed, A. Y. and Ahmad, F. 2011. Piezoresistive Pressure Sensor Design, Simulation and Modification using CoventorWare Software. *Journal of Applied Sciences (JAS)*, 11(4): 1426–1430.

- Doebelin, E. O. and Manik, D. N. 2011. Measurement Systems: Application and Design: 6th ed. McGraw-Hill.
- Durga, S. N., Ramakrishna, M. and Dayanandam, G. 2018. Autonomous water tank filling system using IoT. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(9): 123–141.
- Eaton, W. P. and Smith, J. H. 1997. Micromachined pressure sensors: review and recent developments. *Smart Materials and Structures*, 6(5): 530.
- Fadali, M. S. and Visioli, A. 2020. Analog control system design. *Digital Control Engineering*. pp 141-179..
- Fadali, M. S. and Visioli, A. 2009. Introduction to Digital Control. *Digital Control Engineering*. Academic Press, Boston, pp. 1–8.
- Ferrero Martín, F. J. 2019. Sensors for the Internet of things. In: Postolache, O. A. (Ed.), *Sensors in the Age of the Internet of Things: Technologies and applications*. Institution of Engineering and Technology, pp. 35-63.
- Fraden, J. 2016. Pressure Sensors. In: Fraden, J. (Ed.), *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer International Publishing, Cham, pp. 429–451.
- Fraden, J. and King, J. G. 2004. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. Springer.
- Getu, B. N. and Attia, H. A. 2015. Automatic control of agricultural pumps based on soil moisture sensing. *AFRICON 2015*, pp. 1–5.
- Getu, B. N. and Attia, H. A. 2016. Automatic water level sensor and controller system. 2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA), pp. 1–4.
- Gonzalez, A. D. S. and Weeks, K. R. M. 2016. Automatic Water Pump Controller. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, p. 22.
- Hall, E. H. 1879. On a New Action of the Magnet on Electric Currents. *American Journal of Mathematics*, 2(3): 287–292.
- Hassan, A., Ilyas, S. Z., Jalil, A. and Ullah, Z. 2021. Monetization of the environmental damage caused by fossil fuels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17): 21204–21211.
- Heinke, J., Lannerstad, M., Gerten, D., Havlík, P., Herrero, M., Notenbaert, A. M. O., Hoff, H. and Müller, C. 2020. Water Use in Global Livestock Production—

- Opportunities and Constraints for Increasing Water Productivity. *Water Resources Research*, 56(12): e2019WR026995.
- Holechek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N. and Valdez, R. 2022. A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8).
- Howe, C. W. 2005. The functions, impacts and effectiveness of water pricing: Evidence from the United States and Canada. *International Journal of Water Resources Development*, 21(1): 43–53.
- Hughes, A. and Drury, B. 2019. Electric motors and drives: fundamentals, types and applications. Newnes.
- Irfan, M., Musarat, M. A., Alaloul, W. S. and Ghufraan, M. 2024. Radiative forcing on climate change: assessing the effect of greenhouse gases on energy balance of Earth. *Greenhouse Gases Formation and Challenges*, Elsevier, pp. 137–167.
- Jamal, H. 2016. Logical Automatic Water Control System For Domestic Applications. Sixth International Conference On Advances in Computing, Electronics and Electrical Technology- CEET 2016, pp. 159-162, 27 November.
- Januário, M., Gomes, R., Baptista, P. and Ferrão, P. 2024. Integrated Energy and Environmental Modeling to Design Cost-Effective Building Solutions at a Regional Level. *Energies*, 17(22): 5730.
- Jha, S. K., Bilalovic, J., Jha, A., Patel, N. and Zhang, H. 2017. Renewable energy: Present research and future scope of Artificial Intelligence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77: 297–317.
- Jin, W. 2024. Monitoring and management of green information in water ecological environment based on sensors and big data. *Measurement: Sensors*, 34: 101255.
- Jones, T. B. and Nenadic, N. G. 2013. Electromechanics and MEMS. Cambridge University Press.
- Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., Rios-Escalante, P. R. D. los, Farooqi, Z.-U.-R., Ali, L. and Shafiq, M. 2023. Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University - Science*, 35(5): 102693.
- Karadöl, H. 2023. Flow and pressure control of a field sprayer using pid controller. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 33(3): 562-570.
- Kaya, D., Çanka Kılıç, F. and Öztürk, H. H. 2021. Energy Efficiency in Pumps. In Kaya, D., Çanka Kılıç, F. and Öztürk, H. H. (Eds.), *Energy Management and Energy*

- Efficiency in Industry: Practical Examples. Springer International Publishing, Cham, pp. 329–374.
- Knox, J. W., Kay, M. G. and Weatherhead, E. K. 2012. Water regulation, crop production, and agricultural water management—Understanding farmer perspectives on irrigation efficiency. *Agricultural Water Management*, 108: 3–8.
- Korhonen, J. 2021. Techno-economic optimization of the water supply systems in high-rise buildings. Master's thesis, Aalto University, Espoo.
- Kubba, A. E., Hasson, A., Kubba, A. I. and Hall, G. 2016. A micro-capacitive pressure sensor design and modelling. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 5(1): 95–112.
- Kumar, A., Nagar, S. and Anand, S. 2021. 1 - Climate change and existential threats. In Singh, S., Singh, P., Rangabhashiyam, S. and Srivastava, K. K. (Eds.), *Global Climate Change*. Elsevier, pp. 1–31.
- Kumar, A. and Sarangi, A. 2022. Flow measuring devices in surface irrigation for enhancing agricultural water productivity. *Current Science*, 122(10): 1135-1144.
- Kumar, M., Sharma, A., Tabhani, N. and Otaki, Y. 2021. Indoor water end-use pattern and its prospective determinants in the twin cities of Gujarat, India: Enabling targeted urban water management strategies. *Journal of Environmental Management*, 288: 112403.
- Kuswidiyanto, L. W., Nugroho, A. P., Jati, A. W., Wismoyo, G. W., Murtiningrum and Arif, S. S. 2021. Automatic water level monitoring system based on computer vision technology for supporting the irrigation modernization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 686(1): 012055.
- Lakshmanan, V., Sæle, H. and Degefa, M. Z. 2021. Electric water heater flexibility potential and activation impact in system operator perspective – Norwegian scenario case study. *Energy*, 236: 121490.
- Lang, W. 2022. *Sensors and measurement systems*. River Publishers.
- Li, P. and Wu, J. 2024. Water Resources and Sustainable Development. *Water*, 16(1): 134.
- Li, W., Liang, T., Liu, W., Jia, P., Chen, Y., Xiong, J., Lei, C., Hong, Y. and Li, Y. 2018. Wireless passive pressure sensor based on sapphire direct bonding for harsh environments. *Sensors and Actuators A: Physical*, 280: 406–412.
- Liptak, B. G. and Eren, H. 2012. *Instrument Engineers' Handbook, Volume 3: Process Software and Digital Networks*, Fourth Edition. CRC Press, Boca Raton, FL.

- Liu, Y., Zheng, H. and Liu, M. 2018. High performance strain sensors based on chitosan/carbon black composite sponges. *Materials & Design*, 141: 276–285.
- Liu, Z., Pan, Y., Wu, P., Du, L., Zhao, Z. and Fang, Z. 2019. A novel capacitive pressure sensor based on non-coplanar comb electrodes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 297: 111525.
- Loizou, K. and Koutroulis, E. 2016. Water level sensing: State of the art review and performance evaluation of a low-cost measurement system. *Measurement*, 89: 204–214.
- Luna, T. F., Ribau, J. P., Figueiredo, D. and Alves, R. M. B. 2019. Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. *Journal of Cleaner Production*, 213: 342-256.
- Mandal, H. and Bera, S. C. 2014. An improved technique of measurement of liquid level in a storage tank. 2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES), pp. 1–7, 1-2 February, Adisaptagram, India.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J. and Shukla, P. R. 2022. Global Warming of 1.5 C: IPCC special report on impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press.
- Mohammed, S. L., Al-Naji, A., Farjo, M. M. and Chahl, J. 2019. Highly accurate water level measurement system using a microcontroller and an ultrasonic sensor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 518: 042025.
- Mor, S., Aneja, R., Madan, S. and Ghimire, M. 2023. Kyoto Protocol and Paris Agreement: Transition from Bindings to Pledges – A Review. *Millennial Asia*, 15(4): 690–711.
- Mukherjee, D., Mondal, S., Deyashi, D. and Sarker, K. 2024. Smart Water Management by Smart Sensors and IoT: Enhancing Efficiency and Sustainability with Automatic Pump Control Systems. *i-manager's Journal on IoT and Smart Automation*, 2(1): 9–26.
- Müller, T. M., Leise, P., Lorenz, I.-S., Altherr, L. C. and Pelz, P. F. 2021. Optimization and validation of pumping system design and operation for water supply in high-rise buildings. *Optimization and Engineering*, 22(2): 643–686.
- Mutchek, M. and Williams, E. 2014. Moving Towards Sustainable and Resilient Smart Water Grids. *Challenges*, 5(1): 123–137.

- Nadezhdin, I. S. and Goryunov, A. G. 2020. Differential Pressure Transmitter With Unified Electronics Unit. *IEEE Sensors Journal*, 20, 18, 10460–68.
- Namdar, R., Karami, E. and Keshavarz, M. 2021. Climate Change and Vulnerability: The Case of MENA Countries. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(11).
- Napierała, M. 2022. A Study on Improving Economy Efficiency of Pumping Stations Based on Tariff Changes. *Energies*, 15(3).
- Naser, M. M. and Pearce, P. 2022. Evolution of the International Climate Change Policy and Processes: UNFCCC to Paris Agreement. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. Oxford University Press.
- Ngancha, P. B., Kusakana, K. and Markus, E. D. 2020. Energy savings configuration for a water-pumping system. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 9(4): 805–812.
- Nguyen, T.-K., Phan, H.-P., Dinh, T., Dowling, K. M., Faisal, A. R. M., Senesky, D. G., Nguyen, N.-T. and Dao, D. V. 2018. Highly sensitive 4H-SiC pressure sensor at cryogenic and elevated temperatures. *Materials & Design*, 156: 441–445.
- Nguyen, T.-K., Phan, H.-P., Kamble, H., Vadivelu, R., Dinh, T., Iacopi, A., Walker, G., Hold, L., Nguyen, N.-T. and Dao, D. V. 2017. Superior Robust Ultrathin Single-Crystalline Silicon Carbide Membrane as a Versatile Platform for Biological Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(48): 41641–41647.
- Nørgaard, J. and Nielsen, A. 2023. Water Supply in Tall Buildings: Roof Tanks vs. Pressurised Systems. Grundfos, Denmark.
- Oshurbekov, S., Kazakbaev, V., Prakht, V., Dmitrievskii, V. and Gevorkov, L. 2020. Energy Consumption Comparison of a Single Variable-Speed Pump and a System of Two Pumps: Variable-Speed and Fixed-Speed. *Applied Sciences*, 10(24): 8820.
- Page, P. R. and Creaco, E. 2019. Comparison of Flow-Dependent Controllers for Remote Real-Time Pressure Control in a Water Distribution System with Stochastic Consumption. *Water*, 11(3): 422.
- Pak, R. B. ve Özdemir, E. 2023. Küresel İklim Mücadelesi Ekseninde Türkiye'nin Yeşil Enerji Dönüşümüne Genel Bir Bakış. *Yekarum*, 8(2): 32–53.
- Palermo, S. A., Maiolo, M., Brusco, A. C., Turco, M., Pirouz, B., Greco, E., Spezzano, G. and Piro, P. 2022. Smart Technologies for Water Resource Management: An Overview. *Sensors*, 22(16): 6225.

- Pallay, M., Miles, R. N. and Towfighian, S. 2020. A Tunable Electrostatic MEMS Pressure Switch. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(11): 9833–9840.
- Pashkov, E. V, Polivtsev, V. P., Polivtsev, V. V and Vozhzhov, A. A. 2020. Device for automatic pressure regulation in a chamber with a liquid technological medium isolated from the pressure source. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 971(4): 042100.
- Pereira, T. S. R., de Carvalho, T. P., Mendes, T. A. and Formiga, K. T. M. 2022. Evaluation of water level in flowing channels using ultrasonic sensors. *Sustainability*, 14(9): 5512.
- Phan, H.-P., Nguyen, T.-K., Dinh, T., Ina, G., Kermany, A. R., Qamar, A., Han, J., Namazu, T., Maeda, R., Dao, D. V. and Nguyen, N.-T. 2017. Ultra-high strain in epitaxial silicon carbide nanostructures utilizing residual stress amplification. *Applied Physics Letters*, 110(14): 141906.
- Piotto, M., Del Cesta, S. and Bruschi, P. 2016. A compact, dual channel flow-based differential pressure sensor with mPa resolution and sub-10 mW power consumption. *Procedia Engineering*, 168: 757–761.
- Popović, R. S. 1991. Hall Effect Devices: Magnetic Sensors and Characterization of Semiconductors. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Prima, E. C., Munifah, S. S., Salam, R., Aziz, M. H. and Suryani, A. T. 2017. Automatic Water Tank Filling System Controlled Using Arduino™ Based Sensor for Home Application. *Procedia Engineering*, 170: 373–377.
- Ramsden, E. 2006. Hall-Effect Physics. In: Ramsden, E. (Ed.), Hall-Effect Sensors, Newnes, Burlington, pp. 1-10.
- Ranieri, C. M., Foletto, A. V. K., Garcia, R. D., Matos, S. N., Medina, M. M. G., Marcolino, L. S. and Ueyama, J. 2024. Water level identification with laser sensors, inertial units, and machine learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 127: 107235.
- Rathod, P., Karambelkar, S., Khair, R., Dhavale, M. and Raut, P. 2023. Automated Water Pump System. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences*, 3(7): 247-255.
- Reddy, P. J. P., Viswanadh, G. and Singh, S. K. 2021. IOT based Smart Water Pump Switch. 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM), pp. 534–538, London, United Kingdom.
- Regtien, P. P. L. and Dertien, E. 2018. Sensors for mechatronics. Elsevier.

- Reza, S. M. K., Shah, A. T. and Reza, S. M. 2010. Microcontroller Based Automated Water Level Sensing and Controlling: Design and Implementation Issue. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol I WCECS 2010, 20-22 October, San Francisco, USA.
- Sahoo, S. R., Singh, H., Dennis, M. and Karthik, P. 2016. A case study on pressure switch. 2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), pp. 182–185, 16-17 December, Kumaracoil, India.
- Saidur, R. 2010. A review on electrical motors energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3): 877–898.
- Schlacke, S., Wentzien, H., Thierjung, E.-M. and Köster, M. 2022. Implementing the EU Climate Law via the ‘Fit for 55’ package. *Oxford Open Energy*, 1: oiab002.
- Şenol, G. K. ve Karakuş, C. 2017. Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 58(687): 1–16.
- Shah, P. P., Patil, A. A. and Ingleshwar, S. S. 2017. IoT based smart water tank with Android application. 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), pp. 600–603, 10-11 February, Palladam, India.
- Shalabi, N., Searles, K. and Takahata, K. 2022. Switch mode capacitive pressure sensors. *Microsystems & Nanoengineering*, 8(1): 132.
- Shen, Z., Yang, C., Yao, C., Liu, Z., Huang, X., Liu, Z., Mo, J., Xu, H., He, G., Tao, J., Xie, X., Hang, T., Chen, H.-J. and Liu, F. 2022. Capacitive-piezoresistive hybrid flexible pressure sensor based on conductive micropillar arrays with high sensitivity over a wide dynamic range. *Materials horizons*, 10(2): 499-511.
- Shirinov, A. V. and Schomburg, W. K. 2008. Pressure sensor from a PVDF film. *Sensors and Actuators A: Physical*, 142(1): 48–55.
- Siddiqi, A. and Fletcher, S. 2015. Energy Intensity of Water End-Uses. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2(1): 25–31.
- Sinclair, I. and Dunton, J. 2011. Sensors and Transducers. 3rd Edition. Newnes.
- Singh, S. 2021. Energy Crisis and Climate Change. In: Singh, P., Singh, S., Kumar, G. And Baweja, P. (Eds.), *Energy*. John Wiley & Sons, pp. 1–17.
- Sood, R., Kaur, M. and Lenka, H. 2013. Design and development of automatic water flow meter. *International journal of computer science, engineering and applications*, 3(3): 49.

- Soriano, J., Arregui, F. J., Espert, V. B. and García-Serra, J. 2016. Hydraulic transient in residential buildings with a direct pump connection. *Urban Water Journal*, 13(2): 81–93.
- Souza, D. F., da Guarda, E. L. A., Sauer, I. L. and Tatizawa, H. 2021. Energy Efficiency Indicators for Water Pumping Systems in Multifamily Buildings. *Energies*, 14: 7152
- Soy, H. and Toy, İ. 2021. Design and implementation of smart pressure sensor for automotive applications. *Measurement*, 176: 109184.
- Stefanakis, A. I. 2019. The Role of Constructed Wetlands as Green Infrastructure for Sustainable Urban Water Management. *Sustainability*, 11(24): 6981.
- Sugsaisakon, S. and Kittipongvises, S. 2024. Impacts of the nationally determined contribution to the 1.5 °C climate goal and net-zero target on citywide greenhouse gas emissions: a case study on Bangkok, Thailand. *Environment, Development and Sustainability*.
- Sümer, Y. and Güngör, A. 2021. Storage of Hydrogen on Metals and Porous Systems. *Novel Approaches to Engineering Sciences*. Akademisyen Yayınevi, pp. 75–89.
- Sümer, Y. and Karaman, C. 2021. The Role of Hydrogen In Global Energy, Environment, And Economic System. *Research & Reviews In Engineering*. Gece Kitaplığı, pp. 53–76.
- Takahashi, H., Dung, N. M., Matsumoto, K. and Shimoyama, I. 2012. Differential pressure sensor using a piezoresistive cantilever. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 22(5): 055015.
- Tandeske, D. 2002. Pressure Sensors: Selection and Application. *Sensor Review*, 22(3): 265.
- Todorov, T. and Tonkov, V. 2024. Water Flow Management System with Equipment Protection. *Engineering Proceedings*, 70(1): 23.
- Uday, K. and Aravind, C. 2020. Automatic sensing and switching the water pump: A new approach. 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 170-173, 13-15 May, Madurai, India.
- Umar, M., Ji, X., Kirikkaleli, D. and Alola, A. A. 2021. The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass-fossil energy consumption and growth. *Journal of Cleaner Production*, 285: 124863.

- Ungureanu, N., Vlăduț, V. and Voicu, G. 2020. Water Scarcity and Wastewater Reuse in Crop Irrigation. *Sustainability*, 12(21): 9055.
- Varun, K. S., Kumar, K. A., Chowdary, V. R. and Raju, C. S. K. 2018. Water level management using ultrasonic sensor (automation). *Int. J. Comput. Sci. Eng*, 6(6): 799–804.
- Venugopal, A., Agrawal, A. and Prabhu, S. V. 2014. Performance evaluation of piezoelectric and differential pressure sensor for vortex flowmeters. *Measurement*, 50: 10–18.
- Wakeel, M., Chen, B., Hayat, T., Alsaedi, A. and Ahmad, B. 2016. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. *Applied Energy*, 178: 868–885.
- Wang, D., Jiang, F., Liu, H. and Xiang, H. 2020. Safety guarantee technologies of water pressure and water quality: a case study in secondary water supply for high-rise buildings. *Desalination and Water Treatment*, 184: 395–407.
- Wang, J. and Azam, W. 2024. Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 15(2): 101757.
- Wang, J., Chuai, R., Yang, L. and Dai, Q. 2015. A surface micromachined pressure sensor based on polysilicon nanofilm piezoresistors. *Sensors and Actuators A: Physical*, 228: 75–81.
- Wu, A. P., Pan, H. P. and Li, Y. H. 2012. The Design of Liquid Level Detection System for Oil Tank. *Applied Mechanics and Materials*, 130–134: 2443–46.
- Wu, Z., Huang, Y., Huang, K., Yan, K. and Chen, H. 2023. A Review of Non-Contact Water Level Measurement Based on Computer Vision and Radar Technology. *Water*, 15(18): 3233.
- Wuebbles, D. J., Fahey, D. W., Hibbard, K. A., Arnold, J. R., DeAngelo, B., Doherty, S., Easterling, D. R., Edmonds, J., Edmonds, T. and Hall, T. 2017. Climate science special report: Fourth national climate assessment (NCA4), Volume I.
- Xiong, X. F., Shang, F. and Kong, D. R. 2012. A Study on Static Calibration Method for Pressure Sensor Based on Static Pressure Calibration Device. *Applied Mechanics and Materials*, 148: 121–124.
- Xu, F., Li, X., Shi, Y., Li, L., Wang, W., He, L. and Liu, R. 2018. Recent developments for flexible pressure sensors: A review. *Micromachines*, 9(11): 580.

- Yenuganti, S., Zhang, H. and Zhang, C. 2018. Langasite crystal based pressure sensor with temperature compensation. *Sensors and Actuators A: Physical*, 281: 108–116.
- Yoro, K. O. and Daramola, M. O. 2020. Chapter 1 - CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In: Rahimpour, M. R., Farsi, M. and Makarem, M. A. (Eds.), *Advances in Carbon Capture*. Woodhead Publishing, pp. 3–28.
- Yu, H. and Huang, J. 2015. Design and application of a high sensitivity piezoresistive pressure sensor for low pressure conditions. *Sensors*, 15(9): 22692–22704.
- Zhang, T., He, X., Liu, Y. and Li, B. 2024. Ultrasonic liquid level detection method based on the variation of reflected energy on the inner wall of a container. *Ultrasonics*, 139: 107290.
- Zhu, L., Xie, B., Xing, Y., Chen, D., Wang, J., Wang, Y., Wei, Q. and Chen, J. 2016. A resonant pressure sensor capable of temperature compensation with least squares support vector machine. *Procedia Engineering*, 168: 1731.

ÖZGEÇMİŞ

YAVUZ SÜMER

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2019-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans	Sabancı Üniversitesi
2017-2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi
2012-2016	Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi	Pamukkale Üniversitesi
2021-Devam Ediyor	Çardak OSB MYO, Mekatronik Programı, Denizli

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Sumer, Y., Gençer, G. M., & Gungor, A. (2024). Enhancing thermal efficiency of aluminum heat sink by reduced graphene oxide-layer coating approach. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 1-11.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Sumer Y, Design and Thermal Analysis of High Power Un-Finned Heat Sink COB LED Lighting Armature, International Congress On Engineering, Architecture and Design Book, page: 431-435, 24-26 December 2022 / İstanbul, Turkey.

Proje ve Patentler

- 1- Sumer Y. & Ravan A., (2022). Akıllı Hidromat. TR Patent No: 2020 04680 B. Antalya, TÜRKİYE, TR Patent ve Marka Ofisi. (TÜBİTAK Destekli: 2180736)
- 2- TÜBİTAK 1507 Projesi (Yürütücü), Frekans Kontrollü Yüksek Verimli Akıllı Hidromat, Proje numarası: 7218050, 01.2022-03.2023
- 3- TÜBİTAK 1512 Projesi (Yürütücü), Akıllı Hidromat, Proje Numarası: 2180736, 07.2019-09.2020

