

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



IOT YAPISINA UYUMLU AKILLI VANA CİHAZ TASARIMI
VE VERİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE ALGORİTMA
OLUŞTURULMASI

DOKTORA TEZİ

YAKUP EGE

İSTANBUL, 2022

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



IOT YAPISINA UYUMLU AKILLI VANA CİHAZ TASARIMI
VE VERİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE ALGORİTMA
OLUŞTURULMASI

DOKTORA TEZİ

YAKUP EGE

İSTANBUL, 2022

KABUL VE ONAY

YAKUP EGE tarafından hazırlanan “**IoT Yapısına Uyumlu Akıllı Vana Cihaz Tasarımı ve Veri Analizi Yöntemiyle Algoritma Oluşturulması**” adlı tez çalışmasının savunma tarihi 14.06.2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yok Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Osman YILDIRIM

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Oya DEMİRER T.C.

İstanbul Arel Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ömer IŞIK T.C.

İstanbul Arel Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ATEŞ T.C.

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Serdar KARGIN

Beykent Üniversitesi

.....

İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Ali AKDEMİR

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “**IoT Yapısına Uyumlu Akıllı Vana Cihaz Tasarımı ve Veri Analizi Yöntemiyle Algoritma Oluşturulması**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

29.06.2022

YAKUP EGE

ÖZET

IOT YAPISINA UYUMLU AKILLI VANA CİHAZ TASARIMI VE VERİ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE ALGORİTMA OLUŞTURULMASI

DOKTORA TEZİ

YAKUP EGE

**İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(DANIŞMAN: PROF. DR. OSMAN YILDIRIM)

İSTANBUL, 2022

Günümüzde IoT (Nesnelerin İnterneti) sistemler oldukça yaygın bir biçimde araştırılmakta ve kullanılmaktadır. Akış kontrolünde de IoT yapısına uyumlu vana çeşitleri kullanılmaktadır. Belirli ölçüm ve kontrol algoritmaları barındıran vanalara, Akıllı vanalar denilmektedir.

Tezin amacı, akışın kontrolünü, takibini amaçlayan bir otomasyon sistemi oluşturmak ve fark basınç, sıcaklık, debi ölçüm sensörleri (algılayıcıları) ve oransal pozisyonlama yapan küresel vana aktuatör kısımlarını bütünleştirerek, debi, fark sıcaklık, iklimlendirme sistemlerine yönelik enerji ve fark basınca göre kontrol yapabilecek algoritmaları oluşturmaktır. IoT monitörleme (izleme) ve kontrol özellikleri sayesinde kullanıcısı ile etkileşime geçebilmesi hedeflenmektedir.

Bu amaçla, IoT mimarileri, akış hesaplamaları ve vanalar ile ilgili literatür incelenmiş, sistem mimarisi, 3D mekanik modelleme ve elektronik kart tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sistemle bütünleşik çalışacak kontrol hesaplamaları ile algoritmalar oluşturulması yöntemi uygulanmıştır. IoT mimarisi ve kart tasarımları ile vana otomasyonu gerçekleştirilmiş. Fark basınç, sıcaklık, debi ölçümleri yapılmış, vana oransal pozisyonlama kontrolü gerçekleştirilmiş ve söz konusu fonksiyonlara ilişkin algoritmalar oluşturularak, doğrulama testleri uygulanmıştır.

Tez çalışmasında önerilen senaryolar yardımıyla ve gerçekleştirilen elektronik kart tasarımı ile ortaya çıkan akıllı vana, tesisat sektöründe çok sayıda uygulama alanı bulacak ve cihaz kontrol ile otomasyonu bakımından önemli bir ihtiyacı karşılayacaktır.

Ayrıca gerçekleştirilen akıllı vana tasarımı ve otomasyon özellikleri, saha profesyonellerine ve tasarımcılara önemli bilgiler sunulacaktır.

Tez çalışmasıyla tasarlanan akıllı vana cihazı, literatürde elektronik tasarım çalışmaları, algoritmaları ve testleri ile boşluğu dolduracak ve akış kontrol uygulamaları için orijinal bir uygulama olacaktır. Ancak, tasarımda elektrikli aktuatör seçimi yapılmış ve güvenlik ile enerji durum kriterlerine yer verilmemiştir.



Anahtar Kelimeler: IoT, Akıllı Vana, Aktuator, Algoritma, Otomasyon

ABSTRACT

SMART VALVE DEVICE DESIGN COMPATIBLE WITH IOT STRUCTURE AND CREATING ALGORITHM WITH DATA ANALYSIS METHOD

PH.D THESIS

YAKUP EGE

**GRADUATE SCHOOL, ISTANBUL AREL UNIVERSITY
ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF.DR. OSMAN YILDIRIM)

İSTANBUL, 2022

Today, IoT systems are widely researched and used. Valve types compatible with the IoT structure are also used in flow control. Valves with certain measurement and control algorithms are called Smart valves.

The aim of the thesis is to create an automation system that aims to control and monitor the flow, and to create algorithms that can control flow, differential temperature, air conditioning systems according to energy and differential pressure by integrating differential pressure, temperature, flow measurement sensors and proportional positioning ball valve actuator parts. It is aimed to interact with the user through IoT monitoring and control features.

For this purpose, literature on IoT architectures, flow calculations and valves has been reviewed, system architecture, 3D mechanical modeling and electronic board design have been carried out. In addition, the method of creating algorithms with control calculations that will work integrated with the system has been applied. Valve automation was realized with IoT architecture and card designs. Differential pressure, temperature, flow measurements were made, valve proportional positioning control was carried out, and verification tests were applied by creating algorithms for the mentioned functions.

The smart valve, which emerged with the help of the scenarios suggested in the thesis study and the electronic card design realized, will find many application areas in the installation sector and will meet an important need in terms of device control and automation in the installation sector. In addition, with the smart valve design and

automation features that emerged with this thesis, important information was presented to field professionals and designers.

The smart valve device, designed with the thesis study, will fill the gap in the literature with electronic design studies, algorithms and tests and will be an original application for flow control applications. However, electric actuator selection was made in the design and safety and energy status criteria were not included.



Key Words: IoT, Smart Valve, Actuator, Algorithm, Automation

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ.....	xv
1 GİRİŞ	16
1.1 Tezin Konusu ve Amacı.....	16
1.2 Tezin Yöntemi.....	17
2 LİTERATÜR.....	20
2.1 Akış Parametreleri.....	20
2.2 Vana ve Vana Çeşitleri.....	26
2.2.1 Sürgülü Vanalar	27
2.2.2 Karınlı Vanalar (Glob Vanalar)	28
2.2.3 Tapalı ve Küresel Vanalar.....	28
2.2.4 Kelebek Vana, Eksantrik Tapalı Vana	29
2.2.5 Pinch ve Diyaframlı Vana.....	30
2.2.6 Kesme Vanası.....	31
2.2.7 Kontrol Vanası	31
2.3 Dönel Kontrol Vanası İçin Kontrol Modeli ve Hesaplamaları	34
2.4 Akış ve Kontrol Karakteristikleri.....	39
2.5 Akıllı Kontrol Vanaları	43
2.6 IoT Kavramı, Mimarisi ve Vanalarda Kullanım Örnekleri.....	50
2.6.1 IoT Mimari Örnekleri ve Parametreler	52
2.6.2 Vana Sistemlerinde Kullanılan IoT Çözüm Örnekleri.....	55
3 AKILLI VANA CİHAZ TASARIMI	59
3.1 Akıllı Vana Cihaz Tanımlanması.....	59
3.2 Akıllı Vana Cihazı Elemanları, Fonksiyonları ve Sistem Mimarisi	61
3.3 Oransal Vana Hareket Mekanizması (Aktuatör) Tasarımı.....	64
3.3.1 Vana Hareket Mekanizması Mekanik Tasarım.....	65
3.4 Akıllı Vana Elektronik Tasarım	72
3.5 Sensör Özellikleri.....	91
3.6 Bütünleşik Akıllı Cihaz Tasarımı.....	94
3.7 Cihaz Kontrol Hesaplamaları, İzleme Senaryoları ve Yazılımlar.....	99
3.8 Ara yüz Tasarımı	123
4 PROTOTİP OLUŞTURULMASI ve TESTLER	127
4.1 Prototip Oluşturulması	127
4.2 Cihaz Testleri	132
4.3 IoT Testleri.....	136
4.4 Debi Tahmin Algoritması Testleri	138
4.5 Vana Karakteristiği Algoritma Testleri.....	139
4.6 PID Kontrol Testleri.....	141
5 SONUÇ.....	142
5.1 Elde Edilen Sonuçlar.....	142
5.2 Gelecek Durum Çalışmaları ve Öneriler	143

6	KAYNAKLAR	145
7	EKLER.....	149
	EK A Teknik Resimler.....	149
	EK B Matlab Hesaplamalar	151
	EK C Node-Red Yazılımlar	156
	EK D HTML Arayüz Programı.....	163
	EK D Kullanılan Elektronik Kart Elemanların Teknik Özellikleri.....	165
	EK E Kullanılan Analog Sinyal Jeneratörü	167
	EK F Uygulama ve Test Görselleri	168
8	ÖZGEÇMİŞ.....	170



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Bernoulli Denklemi İçerisinde Temsil Edilen İki Noktanın Hat Üzerinde Gösterimi (Çengel ve Cimbala,2021)	21
Şekil 2.2 Statik Basınç ve Dinamik Basınç Ölçüm Tesisatı Görseli (Çengel ve Cimbala,2021).....	22
Şekil 2.3 Akış Profilleri (Laminer ve Türbülanslı Akış).....	22
Şekil 2.4 Sınırlandırılmış Kontrol Hacmi İçin Toplam Enerji Gösterimi.....	23
Şekil 2.5 Kontrol Hacmine Etki Eden Enerjilerin Sembolik Olarak Gösterilmesi	24
Şekil 2.6 Sürgülü Vana Görseli.....	27
Şekil 2.7 Glob Vana Görseli	28
Şekil 2.8 Küresel Vana Görseli.....	29
Şekil 2.9 Örnek Kelebek Vana Görseli	30
Şekil 2.10 Örnek Diyaframlı Vana Görseli.....	30
Şekil 2.11 a) Pnmatik Aktuatör b) Hidrolikl Aktuatör c) Elektrikli Aktuatör (Elektro-Mekanik Aktuatör) d) Selenoid Aktuatör (Elektro-Manyetik Aktuatör)	32
Şekil 2.12 a) Lineer (Doğrusal) Aktuatör b) Rotary (Dönel) Aktuatör	33
Şekil 2.13 Kontrol Vanaları Temsili Blok Diyagramı	33
Şekil 2.14 Kapalı Çevrim Örnek Blok Diyagramı	34
Şekil 2.15 İki Yönlü Doğru Akım Motoru Pozisyon Kontrol Blok Diyagramı.....	34
Şekil 2.16 Motor Modeli ve Parametreler (Gürgöze ve Türkoğlu, 2022).....	37
Şekil 2.17 Akış Karakteristiği Eğrileri.....	39
Şekil 2.18 Doğal Karakteristik ve Tipik Zorunlu Karakteristik Grafiği	40
Şekil 2.19 Vana sabitinin vana açılma kesitine göre değişimi (Leephakpreeda, 2004)	40
Şekil 2.20 Küresel Vananın Açılma Kesitinin Geometrik Düzlemde Gösterilmesi ..	41
Şekil 2.21 Küre Açılışa Geçme Modellemesi	42
Şekil 2.22 Akıllı Sistemlerin 2000’li Yıllara Kadar Olan Gelişim Piramidi Görseli.	43
Şekil 2.23 Endüstriyel Otomasyon Sistemi Mimarisi	44
Şekil 2.24 M. Bayart’ın Akıllı Vana Sistemi Mimarisi (Bayart,1997)	45
Şekil 2.25 Akıllı Su Sayacı Çalışması Metot Diyagramı (Jahromia, Hamedania, Dolatabadia, Abbasia, 2014).....	46
Şekil 2.26 Harita Üzerinden İzleme ve Yüksek Hızlı Çözünürlükteki Basınç Oranları Veri Analizi Görselleri (Mounce, Pedraza, Jackson, Linford, Boxall, 2015).....	46

Şekil 2.27 Aura Sistemi Mimarisi (Mounce, Pedraza, Jackson, Linford, Boxall, 2015)	47
Şekil 2.28 Ani Su Kaçak Tespit Sistemi Mimarisi (Fikejz, Roleček,2018).....	47
Şekil 2.29 Ani Su Kaçak Tespit Sistemi Mobil Arayüz Görseli (Fikejz, Roleček,2018)	48
Şekil 2.30 Endüstri 4.0 Sistem Kontrol Şeması (Sangolt, BjorØy,Erstad,2019).....	49
Şekil 2.31 Akıllı Su Dağıtım Hattı Şematik Gösterimi (Mohandoss, Paul,2018).	50
Şekil 2.32 IoT Sistem Mimari Örneği.....	53
Şekil 2.33 Vanilla Tip Sistem Örneği	53
Şekil 2.34 Hola Tip Sistem Örneği	54
Şekil 2.35 Hola ve Vanilla Sistem Enerji Tüketim Kıyaslama Grafiği	54
Şekil 2.36 Sistem Mimari Örneği Yer Altı/Yer Üstü Su Depoları	55
Şekil 2.37 Sensörlü Aktuatör Yapısı Endüstri 4.0 Mimarisi Görseli (Sangolt,BjorØy,Erstad,2019).....	56
Şekil 2.38 : IoT Tarım Uygulama Sistem Mimari Görseli (Wong,2018)	57
Şekil 2.39 Belimo Enerji Vanası Bus Sistemi.....	57
Şekil 2.40 Belimo Web Arayüzü Temsili Gösterimi	58
Şekil 3.1 Bölümlere Ayrılmış Sistemin Enerji Kontrolü Şematik Gösterimi	60
Şekil 3.2 Akıllı Vana Cihazı Elemanları Şematiği.....	62
Şekil 3.3 Akıllı Vana Sistemi Mimari Yapısı	63
Şekil 3.4 Küresel Vana Kesit Görseli ve Özellikleri.....	65
Şekil 3.5 Elektrikli Motor Fonksiyon İlişkisi.....	66
Şekil 3.6 MG.311 Motor Görseli	66
Şekil 3.7 Sonsuz Dişli ve Karşılık Dişlisi Takımı (KHK Gears,2021).....	68
Şekil 3.8 Sonsuz Dişli ve Karşılık Dişlisi Görselleri (FramoMorat, bt)	69
Şekil 3.9 Potansiyometre Görseli	70
Şekil 3.10 Mekanik Anahtar Görseli ve Mekanizması	71
Şekil 3.11 Motor-Dişli Kutusu-Potansiyometre Mekanizması Tasarım Görseli	71
Şekil 3.12 Elektronik Devre Kartı ve Elemanları Fonksiyonları	72
Şekil 3.13 LMD 18200T Fonksiyon Diyagramı (Texas Insturement,1999).....	73
Şekil 3.14 LMD 18200T için Bağlantı Noktaları ve Boyutları (Texas Insturement,1999)	74
Şekil 3.15 LMD18200T Motor Sürme Devre Şeması ve Elemanları	75
Şekil 3.16 Analog Pozisyon Okuma Potansiyometre Devresi	75
Şekil 3.17 Opto-küplör Temel Çalışma Prensipleri Şeması.....	76
Şekil 3.18 PC817 Optoküplör Devre Elemanı Temsili Görseli (Sharp,2006)	76

Şekil 3.19 Alçak Geçiren Filtre Temsili Devresi ve Çalışma Prensibi	77
Şekil 3.20 Limit Anahtarlama Devresi ve Devre Elemanları	78
Şekil 3.21 Manuel Kontrol Anahtarlama Devresi ve Devre Elemanları.....	79
Şekil 3.22 İzleme Sinyalleri için Tasarlanan Devre Görseli	80
Şekil 3.23 Debimetre Giriş Sinyal Devre Tasarımı	81
Şekil 3.24 Çıkış Sinyalleri Devre Tasarımı	81
Şekil 3.25 Rs-485 Hat Yapısı Görseli (Anonim)	82
Şekil 3.26 Max-485 Paket Yapısı (Maxim Integrated, 2014)	82
Şekil 3.27 Max-485 Entegreli RS-485 Haberleşme Devre Tasarımı Görseli	83
Şekil 3.28 ESP-32 WROOM-32D Paket Yapısı ve Tasarımı (Espressif Systems,2018)	84
Şekil 3.29 Güç Kaynağı Devresi 12VDC-5VDC.....	84
Şekil 3.30 Bütünleştirilmiş Devre Tasarımları Şeması.....	85
Şekil 3.31 Termistör Koruma Elemanı Blok Gösterimi.....	86
Şekil 3.32 Pcb Kart İletim Yol Tipleri, a: İç katman yol, b:dış katman yol	86
Şekil 3.33 Bütünleşik Devre Kart Tasarımı Ön Görünüş	88
Şekil 3.34 Bütünleşik Devre Kart Tasarımı Arka Görünüş	89
Şekil 3.35 Fark Basınç Sensörü 4-20 ma Görseli	92
Şekil 3.36 Debimetre Ölçüm Sensörü Görseli (SIKA Dr. Siebert & Kühn GmbH & Co. KG,2020).....	93
Şekil 3.37 Sistem devre tasarımı	94
Şekil 3.38 Aktuatör Eleman Görselleri ve Montaj Görseli	95
Şekil 3.39 Elektronik Kart Gurubu, ve Debimetre Yerleşimlerinin Kesit Görünümü	98
Şekil 3.40 Sistem Bütünleşik Tasarımı ve Ölçüleri	98
Şekil 3.41 Motor Parametreleri Ölçüm Düzenek Blok Diyagramı	99
Şekil 3.42 Ölçüm Düzenegi	99
Şekil 3.43 Girişi Geriliminin Açısal Hıza Bağlı Değişimi.....	101
Şekil 3.44 V_t Geriliminin Açısal Hıza Bağlı Değişimi.....	102
Şekil 3.45 T_m momentinin açısal hıza bağlı değişimi	103
Şekil 3.46 Açısal hızın zamana bağlı değişim grafiği ve denklem gösterimi	104
Şekil 3.47 PID kontrol Parametrelerine Göre Sistem Birim Basamak Cevabı.....	105
Şekil 3.48 Kesit Yüzde-Derece Yüzde Değişim Grafiği	107
Şekil 3.49 Teorik debi% ve açılma derece % grafiği.....	108
Şekil 3.50 Eşit Oransal Debi (Mavi)- Normal Karakteristik Debi (Yeşil) ile Açıklık Yüzdesi Kıyaslama Grafiği.....	109
Şekil 3.51 PID Algoritması Blok Diyagramı	110

Şekil 3.52 Debi Hesaplamaları Algoritmaları	110
Şekil 3.53 Tanımlama ve fonksiyon algoritması	113
Şekil 3.54 Mesaj ve karar algoritmaları	114
Şekil 3.55 Karar algoritmaları devamı	115
Şekil 3.56 Algoritma içerisindeki hesaplama fonksiyonları	116
Şekil 3.57 PID kontrol algoritması	117
Şekil 3.58 Mail fonksiyonları algoritmaları	117
Şekil 3.59 El ile kontrol fonksiyonu algoritması	118
Şekil 3.60 Senaryo Sıcaklı Farkı-Vana Pozisyon Kontrol Grafiği	119
Şekil 3.61 Örnek Tesisat Devre Şeması	120
Şekil 3.62 Basınç Farkı Kontrol Senaryosu Kontrol Grafiği	121
Şekil 3.63 Akış Takibi Senaryosu Kontrol Grafiği	121
Şekil 3.64 Enerji Senaryosu Kontrol Grafiği	122
Şekil 3.65 Json Format Dönüşüm ve Mesaj Bilgileri Alma Fonksiyon Örnekleri ..	123
Şekil 3.66 Node-red Programlama Örneği Görseli	124
Şekil 3.67 Kullanıcı Ara-yüzü Düzenleme Ekranı Çalışması	125
Şekil 3.68 Kullanıcı Ön-yüz Tasarım Görseli	125
Şekil 3.69 Wi-Fi ve Mail Ayarları Giriş HTML Ekranı	126
Şekil 4.1 Aktuatör Devre Kartı Görseli (Ön-Arka Görünüş)	127
Şekil 4.2 Komponentlerin Lehimleme İşlemi Yapılmış Elektronik Kart	128
Şekil 4.3 Elektronik Kart Enerjili Motor testleri	129
Şekil 4.4 Kapak Plastik Parça İmalatlarında Kullanılan 3D Yazıcı Görseli	129
Şekil 4.5 3D Yazıcı İmalatı Yapılan Kapak Görselleri	129
Şekil 4.6 Aktuatör Vana, Motor, Dişli Mekanizması ve Pozisyon Takip Mekanizması Görseli-1	130
Şekil 4.7 Aktuatör Vana, Motor, Dişli Mekanizması ve Pozisyon Takip Mekanizması Görseli-2	130
Şekil 4.8 a) Debimetre Sensörü bulunduğu Alt Şase Görünümü, b) Elektronik Kartın Yerleşimi	131
Şekil 4.9 Bütünleştirilmiş Akıllı Vana Cihazı Görseli	131
Şekil 4.10 Test Düzeneği Görseli	132
Şekil 4.11 Açıklık Derecesi- Debi Değerleri Grafiği	133
Şekil 4.12 Sistem IoT Yapısı Görseli	137
Şekil 4.13 ΔT Alarm	138
Şekil 4.14 Eşit Oransal ve Normal Karakteristik Kıyaslama Grafiği	141
Şekil 4.15 PID Kontrolünde Hata Farkı Gösterimi	141



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Ziegler-Nichols Yöntemine Göre PID Kontrol Parametreleri Katsayıları (Çakmak,2011).....	36
Tablo 3.1 MG.311 Motor Özellikler Tablosu	67
Tablo 3.2 Sonsuz Dişli ve Karşılık Dişlisi Denklemleri (KHK Gears,2021)	68
Tablo 3.3 A25U40 Sonsuz Dişli ve Karşılık Dişlisi Özellikleri (FramoMorat, bt) ...	69
Tablo 3.4 KW12 Anahtar Özellikleri Tablosu	71
Tablo 3.5 PC817 Özellik Tablosu (Sharp,2006)	77
Tablo 3.6 Devre Elemanları ve Akımları	87
Tablo 3.7 Hesaplanan Devre Yol Genişlikleri Tablosu	88
Tablo 3.8 Devre Eleman Listesi.....	89
Tablo 3.9 Basınç Sensörü Özellikleri Tablosu.....	92
Tablo 3.10 Debimetre Özellikleri Tablosu (SIKA Dr. Siebert & Kühn GmbH & Co. KG,2020).....	93
Tablo 3.11 Aktuatör Eleman Listesi	96
Tablo 3.12 Devamı.....	97
Tablo 3.13 Test Düzeneğine Göre Ölçüm Değerleri	100
Tablo 4.1 Açıklık Derece Debi Değerleri Tablosu	133
Tablo 4.2 Basınç Farkı Senaryosuna Göre Analog Sinyal Çıkışları.....	134
Tablo 4.3 Enerji Ölçüm Sonuçları	135
Tablo 4.4 Akış Senaryosunda Elde Edilen Ölçüm Değerleri.....	135
Tablo 4.5 Sıcaklık Farkı Senaryosuna göre Pozisyon ve Debi Değerleri Değişim Tablosu.....	136
Tablo 4.6 Debi Tahmin Algoritma Sonuçları	139
Tablo 4.7 Eşit Oransal Algoritma Test Ölçüm Sonuçları	140

KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ

P_x	: Noktasal Statik Basınç
V_x	: Noktasal Akış Hızları
g	: Yer Çekimi İvemesi
z_x	: Noktasal Potansiyel Yükseklikler
ρ	: Sıvı Yoğunluk (Sıcaklığa Göre)
V_{ort}	: Ortalama Akış Hızı
Re	: Reynold Katsayısı
D	: Çap (Genellikle Boru Çapı)
ν	: Kinematik Vizkozite
μ	: Dinamik Vizkozite
$\dot{m}$	: Debi (m^3/h)
α	: Kinetik Enerji Düzeltme Faktörü
$\dot{W}_x$	: Cihaza Göre Akış Yapılan İş
E_x	: Tipe göre Enerji İfadesi
c_v	: Özgül Isı
T_x	: Sıcaklık, ($^{\circ}C$) Ölçülen Noktaya Göre
K_L	: Akış Direnci Katsayısı
h_L	: Basınç Kaybı
C_v	: Akış Katsayısı
K_v	: Akış Katsayısı
Q	: Debi
Av	: Akış Katsayısı
SI	: Uluslararası Birimler Sistemi
Δp_0	: Referans diferansiyel basınç
Δp	: Çalışma fark basıncı
ρ_0	: Sıvı referans yoğunluğu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
Aktuatör	: Aktüatör ya da eyleyici, bir mekanizmayı veya sistemi kontrol eden veya hareket ettiren bir tür motordur. Bir enerji kaynağı tarafından çalıştırılır.
H	: Entalpi
U	: İç Enerji Miktarı

P	: Basınç
V	: Hacim
IoT	: Nesnelerin İnterneti
BT	: Data Büyüklüğü
T	: Süre, Periyod
ZOK	: Sistem Çalışma Koşulu
FMEA	: Hata Modu ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis Method)
OHSR	: Yer Üstü Depolama Tankları
UGSR	: Yer Altı Depolama Tankları
HMI	: İnsan Makine Ar-yüzü (Human Machine Interface)
MES	: Üretim Yönetim Sistemi (Manufacturing Execution System)
MRP	: Malzeme İhtiyaç Planlaması
SCADA	Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition)
3D	: Üç Boyutlu

ÖNSÖZ

Tez çalışmam yaklaşık iki buçuk senelik bir araştırma ve çalışma periyodunu içermektedir. Tez proje fikrimi en başta destekleyen ve geliştirmemde katkıda bulunan tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Osman YILDIRIM' a teşekkürlerimi sunarım. Hiç şüphe yok ki şu an Ar-Ge Direktörlüğü görevinde olduğum DUYAR VANA MAK. SAN. A.Ş'nin bu projenin hayata geçirilmesi adına verdiği destek olmasaydı, bu kadar verimli bir proje olmayacaktı. Benzer sistemlerin yurt-dışında yaygınlaşmaya başladığı bir dönemde böyle bir projeyi ülkemizde gözde firmalardan biriyle ele almaktan gurur duyuyorum. Projemizin kullanılacak bir ürüne dönüşmesi, araştırmanın gelecek içerisinde farklı ekiplerle tartışılması ve devam edecek olması en büyük mutluluğumdur. Bu sebeple bir aile olarak gördüğüm tüm ekibimize, başta Genel Müdürümüz Faruk ÇİZMECİOĞLU olmak üzere, teşekkürlerimi sunarım. Akıl hocası olarak gördüğüm ve düşünceleri ile her girdiğim yolda cesaretimi alevlendiren Üretim Direktörü Levent GÜNAYDIN' a da teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımız ve beyin fırtınalarımızın her zaman zevk verdiği ilerde çok iyi yerlere gelmesini temenni ettiğim mühendis Emre ZENGİN'e yoldaşlığı ve ekip arkadaşlığı için ayrıca teşekkür ederim. Yüksek disiplin ve yoğun çalışma gerektiren bu dönemde motivasyonumun ana kaynağı olan biricik eşim ve eşsiz çocuklarıma sevgilerimi sunarım. Eğitim ve öğretim hayatımda emeklerinden ötürü bütün öğretmenlerimin önünde saygı ile eğiliyorum. Hayatımda fark yaratan ve yerleri benim için çok ayrı olan ilk okul öğretmenim Fatma ÜK ve Prof. Dr. Semra AKSOYLU' a derin şükran ve saygılarımı sunarım.

29.06.2022

YAKUP EGE

1 GİRİŞ

Günümüzde elektronik kart tasarımı ve IoT çalışmaları tüm sistemler için hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. Bir cihaza ilave edilecek bir elektronik kart o cihazın kontrol özelliklerini arttırmaya ve daha fazla fonksiyonu gerçekleştirmesine imkân verecektir. Diğer taraftan yine bir cihazı yazılım desteği ile geliştirmek o cihazı diğerlerinden daha farklı bir yapıya getirebilir. Bu kapsamda çalışmada küresel akış vanasının geliştirilebilecek yönleri tespit edilmiş ve aynı zamanda akışkan dinamiği teorik altyapısı incelenmiştir. Örneğin mekanik olarak akış kontrolü yapılan küresel vana için elektronik kart tasarlanmış ve Bernoulli denklemlerini temel alan yeni fonksiyonlar ve algoritmalar türetilmiştir. Böylece akış parametreleri, kontrol parametreleri dikkate alınarak yenilikçi bir küresel vana (akıllı vana) tasarlanmıştır. Tezde, tasarım çalışmaları, algoritmaların oluşturulması işlemleri ve ortaya çıkan prototipin testleri yapılmıştır.

1.1 Tezin Konusu ve Amacı

IoT, yapısına uyumlu akıllı vana cihaz tasarımı ve veri analizi yöntemi ile algoritma oluşturulması başlıklı tez, akışın kontrolünü, takibini amaçlayan bir otomasyon sistemidir. Bu tez çalışması, basınç, sıcaklık, debi ölçüm sensörleri (algılayıcıları) ve oransal pozisyonlama yapan küresel vana aktuatör (tepkileyici) kısımlarının bütünleşmesinden oluşmaktadır. Ayrıca tezde fark sıcaklık, iklimlendirme sistemlerine yönelik enerji ve fark basınç hesaplamalarına göre kontrol yapabilecek algoritmalar yer almaktadır.

IoT, izleme (monitörleme) ve kontrol özellikleri sayesinde kullanıcısı ile etkileşime geçebilmektedir. Araştırmada debi ölçüm sensörünün gerekliliği irdelenmiştir. Bu sensör yerine fark basınç sensörleri ve teorik hesaplamalar ile, alınan veriler ışığında, debi tahmin ve hesaplamalarının yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca akış karakteristiğinin değiştirilmesine yönelik algoritma, veri analizi metodu ile oluşturulmuş ve testleri yapılmıştır.

Tez çalışması beş bölüm halindedir. Birinci bölümde giriş, konu, amaç ve kullanılan yöntemler açıklanmıştır. İkinci bölümde temel kavramların tanıtılması ve

literatür taramalarındaki tanımlamaların yer aldığı kısımdır. İkinci bölümün ilk ana başlığı altında kısaca temel akış parametreleri, vana çeşitleri, kontrol vanaları, akıllı vana sistemleri tanıtılmıştır. Sonraki kısımlarında, IoT kavramı, IoT mimari örnekleri ve tesisat sistemlerinde kullanılan başlıca sistemler tanıtılacak ve çalışma senaryolarına örnekler verilmiştir. Pozisyon kontrolüne yönelik PID (Oransal-İntegral-Türevsel denetleyici) kontrol ve teorik debi hesaplamasında kullanılacak metotlar anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde tasarımı yapılacak akıllı vana cihazının tanımı, elemanları ve belirlenen fonksiyonlar ile kurgulanan IoT mimari tasarımı sunulmuştur. Çalışma prensipleri anlatılmıştır. İleriki aşamalarda cihaz tasarım çalışmaları, mekanik, elektronik ve programlama çalışmaları verilmiştir. Daha sonra belirlenen, devre elemanları ve sensör elemanları tanıtılmış ve tasarımı yapılan oransal aktüatör mekanizması ile haberleşme bağlantıları anlatılmıştır. Veri analizi metodu ile PID için gerekli olan motor parametrelerinin belirlenmesi, fark basınç debi tahmin algoritması oluşturulması ve vana akış karakteristiğinin değiştirilmesi algoritmaları oluşturulmuştur. Bu bölümde ayrıca web üzerinden kontrolü gerçekleştirecek ara-yüz tasarımları yapılmıştır.

Dördüncü bölümde sistemin tasarıma göre bütünleştirme uygulama aşaması anlatılmıştır. Test aşamasında debi ölçümleri yapılmış pozisyonlama, debi kontrol ve analog kontrol sinyal çıkışları ölçümleri ve hassasiyetleri ortaya koyulmuştur. Sonrasında veri analizi metodu ile oluşturulan algoritmaların hesaplamalı test sonuçları verilmiştir.

Son bölümde ise tasarımı yapılan sistemin test verileri yorumlanmıştır. Ayrıca ileri araştırmalar hakkında bilgiler sunulmuştur.

1.2 Tezin Yöntemi

Araştırma yöntemleri sırasıyla ; (1) elektronik kart tasarımı, (2) mekanik tasarım, (3) küresel vana akış fonksiyonlarının türetilmesi, (4) algoritma oluşturmadır. İlk olarak akış ve vana kavramları araştırılmış, sonrasında benzer sistemlere ilişkin literatür taranmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak literatürde bulunan yöntemler

incelenmiştir. Sonrasında IoT sistem mimarileri ile ilgili modeller incelenmiştir. Tasarım aşamasında sistem mimarileri, 3D mekanik modelleme ve elektronik tasarım çalışmaları yapılmıştır. Algoritmalarda kullanılacak kontrol algoritmaları ve hesaplamaları yapılmıştır. Ortaya çıkan model için testler belirlenmiş ve uygulanmıştır. Elektronik kart tasarımları Proteus programı ile yapılmıştır. Mekanik tasarımlar NX programı ile yapılmıştır. Teorik debi algoritması, akış karakteristiği değişimi algoritması ve PID kontrol hesaplamalarında Matlab programı kullanılmıştır. Ayrıca bu işlemler için matlab ve excel ile birlikte, doğrusal en küçük kareler metodu alt yapısı ile veri analizi metodu kullanılmıştır. Bu tasarımlar ve hesaplamalar yapılırken mevcut araştırma projeleri incelenmiştir.

Literatür taramalarında tesisat sektöründe IoT ve tesisat otomasyonu üzerine yapılan çeşitli uygulamaların olduğu gözlemlenmiştir. IoT mimarileri çeşitliliği ve bu çeşitliliğin sebepleri gözlemlenmiştir. Tesisat otomasyonunda kullanılan elemanlar, tasarım çeşitleri ile ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Otomasyon cihazlarının nasıl belirlendiği ve tasarlandığı konusunda ayrıntılar incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde IoT mimari oluşturulmuş ve IoT mimariye uygun otomasyon sistem mekanik ve elektronik tasarımlar oluşturulmuştur. Testler neticesinde fark basınca göre analog sinyal kontrolü, enerji hesaplamaları, debi kontrolü yapılabildiği görülmüş ve hata oranları ölçülmüştür. Ayrıca oluşturulan iki özgün algoritma olan debi tahmin ve hat karakteristiğinin değiştirilmesi algoritmaları ile testler gerçekleştirilmiş ve ölçümleri verilmiştir.

Tezde, mevcut otomasyon sistemleri ve akış kontrolünde kullanılacak bir küresel vanada IoT sistemin nasıl bir yöntemle tasarlanabileceği ve uygulanabileceği aşamaları ve sonuçları verilmiştir. Uygulamalı bir çalışma olduğu, veri analizi metodu ve teorik hesaplamalar kullanılıp programlama algoritmaları hem elektronik hem de mekanik sistemlerle buluşturduğu için orijinallik göstermektedir. Bu anlamda oluşturulan algoritmalar ve oluşturulan sistem ve testleri ile akış kontrol uygulamaları alanında literatüre katkı sağlanmıştır.

Tez çalışmasında, akışkan tipi belirtilmemiştir. Aktuatör tipi seçimi ve örneklendirmeleri elektrikli aktüatörler üzerinden verilmiştir. Güvenlik sorunları ve çözümleri üzerine bir çalışma içermemektedir. Elemanların enerji durum yapılarına

göre ve mekanik özelliklerine göre sınıflandırılmasına da ilgili araştırmada yer verilmemiştir.



2 LİTERATÜR

Akışkan kontrol sistemlerinde vana kullanımı çok yaygındır. Özellikle küresel vana akışkan kontrol uygulamalarında yaygın olarak mekanik veya otomasyon ile kontrol edilmektedir. Küresel vana tasarımlarında motor kontrolü için elektronik kart kullanılmaktadır. Ancak tez çalışmasında, üretilen elektronik kart, motor kontrolünün yanı sıra, mikro işlemci yardımıyla ile basınç, sıcaklık, debiye bağlı algoritmalar ile kontrol yapmaktadır. Böyle bir model literatürde yer almamaktadır.

Üretilen bu model çalışmasında, elektronik kart tasarımı yanı sıra, uzaktan erişimi ve kontrolü sağlayacak şekilde, IoT mimarisine uygun, literatürde olmayan, algoritmalar türetilmiştir. Bu nedenle literatür çalışması sırasıyla (a) akış parametreleri, (b) vana ve vana çeşitleri (c) dönel kontrol vanası için kontrol modeli ve hesaplamaları, (d) akış ve kontrol karakteristikleri (e) akıllı kontrol vanaları, (f) IoT kavramı, mimarisi ve vanalarda kullanım örnekleri başlıkları altında, yapılmıştır.

2.1 Akış Parametreleri

Akışkanlar mekaniği içerisinde hareketli akışın incelendiği, genel enerji denklemleri dikkate alınarak parametreler belirlenmiştir. Akış analizlerimizde enerji denklemleri üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda Bernoulli Denklemlerini incelenir ise, akışın aynı hat üzerinde iki nokta için verilen denklem gösterimi (2.1) yapılmıştır.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (2.1)$$

$$V_{1,2} * A_{1,2} = \dot{m}_{1,2}$$

Burada;

$P_{1,2}$ = 1. ve 2. noktadaki statik basınç,

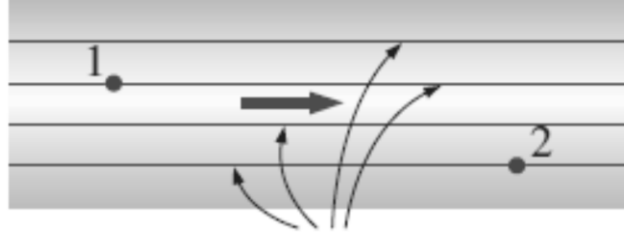
$V_{1,2}$ = 1. ve 2. noktadaki akış hızları

$A_{1,2}$ = 1. ve 2. Noktadaki kesit alanları

$\dot{m}_{1,2}$ = 1. ve 2. Noktadaki ortalama debi

g = Yer çekimi İvmesi,

$z_{1,2}$ = 1. ve 2. noktadaki potansiyel yükseklikleri, olarak ifade etmektedir.

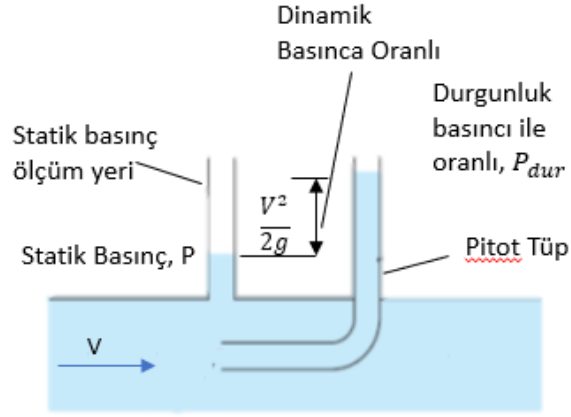


Şekil 2.1 Bernoulli Denklemi İçerisinde Temsil Edilen İki Noktanın Hat Üzerinde Gösterimi (Çengel ve Cimbala,2021)

Bu denklemdeki akış hattı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu denklemlerin daimî sıkıştırılmaz akış için olduğunu vurgulamakta fayda vardır. Bu nedenle gaz akışkanlarında uygulanamaz. Denklemler “ ρ ” ile ifade edilen akışkan yoğunluğu ile çarpılır ise, her toplanan terim bir basınç ifadesine dönüşür. İlk terim statik basınca, ikinci terim dinamik basınca, son terim ise hidrostatik basınca dönüşür. Dönüşüm denklemi (2.2) de verilmiştir. Bu basınçların akış tesisatındaki gösterimi Şekil 2.2’deki gibidir (Çengel ve Cimbala,2021).

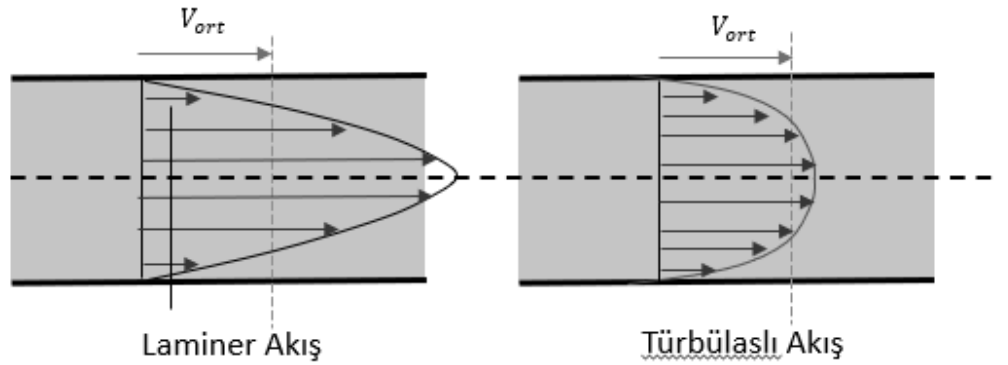
$$P + \rho \frac{v^2}{2} + \rho g z = \text{Sabit (Aynı Akış Hattı Boyunca)} \quad (2.2)$$

İki noktadan alınan fark basınçlar yardımıyla akış miktar ölçümü yapılabilmektedir. Burada ölçümü belli olan bir orifis (kalibre delik) yardımıyla hesaplamalar yapılmaktadır. Bulunan ölçüm neticeleri belirlenen bir debi katsayısı ile çarpılarak işlemler tamamlanmaktadır (Çengel ve Cimbala,2021).



Şekil 2.2 Statik Basınç ve Dinamik Basınç Ölçüm Tesisatı Görseli (Çengel ve Cimbala,2021)

Akış profilleri iç akış için incelendiğinde, laminar veya türbülanslı olarak sınıflandırılmaktadır. Tesisat boru hatlarında hız profilleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bir tesisat sisteminden söz ediliyorsa karmaşık akış çizgileri de olabilmektedir.



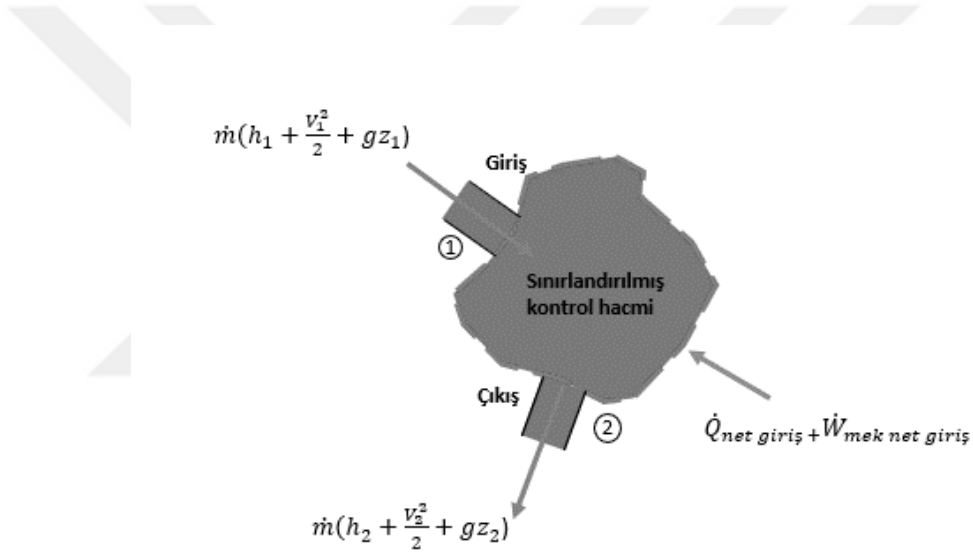
Şekil 2.3 Akış Profilleri (Laminer ve Türbülanslı Akış)

Bu akış profillerini sınıflandırmada Reynold katsayısı kullanılır ve Re sembolü ile ifade edilir (Çengel ve Cimbala,2021).

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetler}} = \frac{\rho \cdot V_{ort} \cdot D}{\mu} \quad (2.3)$$

ρ/μ ‘ ifadesi “ ν ” sembolü ile ifade edilen akışkanın kinematik viskozitesidir. Dairesel borular için kritik Reynold katsayısı 2300 olarak belirlenmiştir. Diğer boru kesitleri için bu değer değişkendir. Borular için Reynold katsayısının bu değerin altında kalan akışlar laminar, üstünde olan akışlar türbülanslı akış olarak kabul edilmektedir. Laminer akışlarda boru kesit tipi, hattın eğimi, hattın uzunluğu, hatta oluşan sürtünme kuvvetleri ortalama hızın (V_{ort}) değişimine etki eder. Türbülanslı akış için de Reynold katsayısına bağlı olarak V_{ort} hız değişkenlik gösterir.

Akış profillerindeki değişkenlikler, tesisatın her noktasında olabilir. Bu sebeple yaklaşımlar enerji denklemleri ile de gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşımlarda bir kontrol hacmi üzerinden giren ve çıkan enerjiler ile toplam enerji hesaplanması yapılmaktadır.



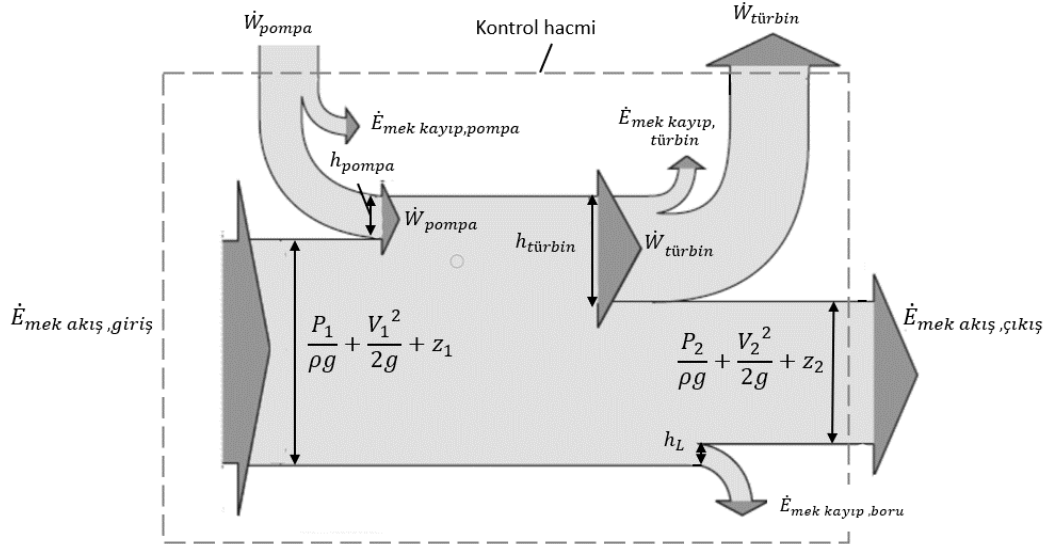
Şekil 2.4 Sınırlandırılmış Kontrol Hacmi İçin Toplam Enerji Gösterimi

Sınırlandırılmış kontrol hacmi için enerji hesaplaması yapıldığında Bernoulli denklemi enerji denklemi olarak, denklem (2.4)’ de ki gibi ifade edilir. Burada $\dot{m}$ giriş ve çıkış kütlelerini ifade etmektedir. α ise kinetik enerji düzeltme faktörüdür ve laminar olan akışlarda 2 olarak kabul edilirken türbülanslı akışlarda 1.04 ile 1.1 arasında kabul edilmektedir (Çengel ve Cimbala,2021).

$$\dot{m} \left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + g z_1 \right) + \dot{W}_{pompa} = \dot{m} \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \right) + \dot{W}_{türbin} + \dot{E}_{mek,kayıp} \quad (2.4)$$

Tesisat sistemlerinde kayıplar $E_{mek,kayıp}$, türbin enerji kaybı $W_{türbin}$ ve hatta besleme yapan pompanın enerjisi W_{pompa} olarak gösterilmiştir. Kontrol hacmine etki eden enerjilerin şematik gösterimi Şekil 2.5 'de gösterilmiştir. $E_{mek,kayıp}$ olarak ifade edilen kayıp, eğer ısı transferinden kaynaklanıyor ise denklem (2.5)'de ki gibi ifade edilebilir. Denklemde c_v özgül ısı değişkeni katsayısıdır (Çengel ve Cimbala,2021).

$$E_{kayıp,ısı} = c_v (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$



Şekil 2.5 Kontrol Hacmine Etki Eden Enerjilerin Sembolik Olarak Gösterilmesi

Dinamik akışın tanımlanması için sürtünme kayıpları, tesisatların içerisindeki yükseklik (potansiyel enerji) farkları, türbülans ve diğer enerji kaynakları ile olan enerji transferleri temel akış parametrelerimiz olarak verilebilir.

Vanalar üzerindeki akış incelendiğinde önemli parametreler tesisatlar üzerinde de etkisini incelediğimiz, kesit daralmaları, sürtünme kayıpları gibi yük kayıpları olacaktır. Vanalarda kesit daralması etkisi ile oluşan direnç ve kayıpları ifade edebilmesi için K_L katsayısı kullanılmaktadır.

$$K_L = \frac{h_L}{V^2/(2g)} \quad (2.6)$$

$$h_L = P_{vanacıkış} - P_{vanagiriş}$$

h_L vanada olan basınç kaybını ifade etmektedir. Vana giriş akışkan hızı V olarak ifade edilmiştir. Giriş ve çıkış çapları eşit olarak kabul edildiğinde,

$$KL = \Delta P_L \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) \quad (2.7)$$

denklemini elde edilir ve $\left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right)$ ifadesi dinamik basıncı ifade etmektedir. Vana kataloglarında K_v , C_v veya A_v olarak ifade edilen bu katsayıları kısaca ne anlamlara geldiğini açıklayalım (Çengel ve Cimbala, 2021).

C_v Akış katsayısı, belirli bir açma konumunda inç kare başına bir pound basınç kaybı olan bir valften akacak olan ve 60 °F sıcaklıkta galon /dakika su cinsinden bir valfin akış kapasitesini belirtir (Zappe, 1999).

$$C_v = Q \left(\frac{\Delta p_0}{\Delta p} \times \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/2} \quad (2.8)$$

Burada,

Q = Debi (gal/dak.)

Δp_0 = Referans diferansiyel basınç = 1 lb/in.²

Δp = Çalışma fark basıncı (lb/in.²),

ρ_0 = Sıvı referans yoğunluğu (su için 62,4 lb/ft³),

ρ = Çalışma sıvısı yoğunluğu (lb/ft³),

Akış katsayısı K_v , karışık SI birimlerinde C_v katsayısının bir versiyonudur. Belirli bir açma pozisyonunda vanadan bir bar basınç kaybıyla akacak 5° ile 40°C arasındaki sıcaklıkta saatte metreküp su miktarını belirtir (Zappe, 1999).

$$K_v = Q \left(\frac{\Delta p_0}{\Delta p} \times \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/2} \quad (2.9)$$

Burada,

Q= Debi (m³/saat)

Δp_0 = Referans diferansiyel basınç = 1 bar

Δp = Çalışma fark basıncı (bar)

ρ_0 = Sıvı referans yoğunluğu (su için 1 kg/m³)

ρ = Çalışma sıvısı yoğunluğu (kg/m³)

Akış katsayısı A_v , tutarlı SI birimlerinde akış katsayısı K_v 'nin bir versiyonudur. A_v , belirli bir açma konumunda bir Pascal basınç kaybıyla vanadan akacak 5° ile 40°C arasındaki sıcaklıkta saniyede metreküp su miktarını belirtir ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Zappe,1999:34).

$$A_v = Q \left(\frac{\rho}{\Delta p} \right)^{1/2} \quad (2.10)$$

Burada,

Q= Debi (m³/sn.),

Δp = Çalışma fark basıncı (bar),

ρ = Çalışma sıvısı yoğunluğu (kg/m³),

Akış parametrelerini tanımlamanın ardından vana ve vana çeşitleri konusu incelenecektir.

2.2 Vana ve Vana Çeşitleri

Vana, genel olarak akışın basıncını, hızını, yönünü, sıcaklığını, enerjisini ve daha birçok akış parametrelerini değiştirebilen bir mekanik kontrol cihazıdır

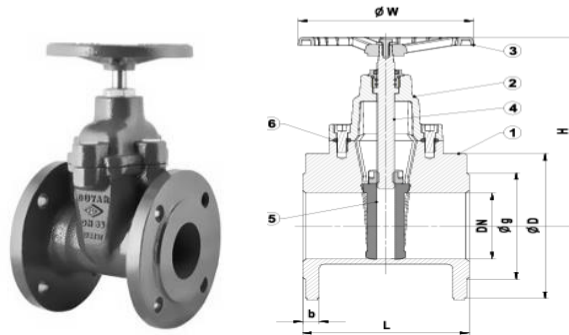
(Tokay,2013). Başlıca görevleri akışın durdurulması, başlatılması, akış miktarının değiştirilmesi, akışın yönlendirilmesi, ters akışı engellemek, basıncı kontrol etmek veya rahatlatma amaçlı kullanımlarıdır. Vana bu işlemleri içerisindeki kapatma elemanı vasıtasıyla gerçekleştirir. İşlemler elle veya otomatik olarak yapılabilmektedir (Zappe,1999). Vanalar tarih boyunca çeşitli alanlarda kullanılmıştır. İlk kullanım yeri olarak Rönesans dönemindeki Leonardo Da Vinci'nin tarımda sulama amaçlı kullanımı işaret edilmektedir. Modern yapılarda kullanılması 1705 yılında buhar türbinlerinin icadı ile başladığı aktarılmaktadır (Enekçi ,2018).

Vanaların sınıflandırmaları çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Örnek olarak, kullanım yerleri, kullanım basınç sınıfları, akışkan cinsleri ve kontrol ettikleri fonksiyonlarına göre sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Üzerinde durulacak sınıflandırma tipi Türk Standartları Enstitüsü standartlarında bahsedilen sınıflandırma tipleri olacaktır (TSE, 1996).

Vanalar tasarımlarına göre aşağıdaki başlıklar altında gösterilecektir.

2.2.1 Sürgülü Vanalar

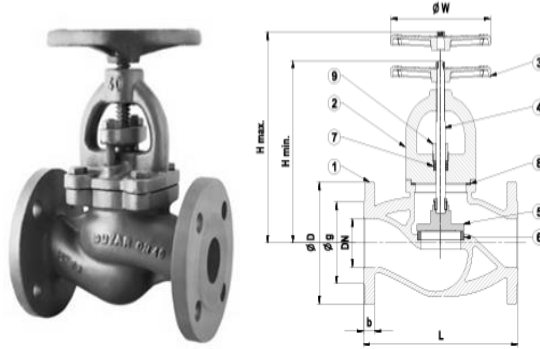
Örnek görsel Şekil 2.6'dadır. Bu vanalar en eski vana türü olarak bilinmektedir. Genellikle tam açık veya tam kapalı pozisyonlarında kullanılırlar. Tam açık pozisyonda vana direncinin düşük olması, yüksek debi geçiş kapasitesi, fiyat uygunluğu, tasarımsal bilinirliği, yer altında özel ekipmanlar ile çalıştırılabilmesi bilinen avantajlarıdır (Tokay,2013).



Şekil 2.6 Sürgülü Vana Görseli

2.2.2 Karınlı Vanalar (Glob Vanalar)

Örnek görsel Şekil 2.7’dedir. Glob Vanalarında kapama elemanı akışa doğru ilerleme yapar. Genel olarak metal metale sızdırmazlık sağlayan vana çeşidinde bazen yumuşak sızdırmazlık elemanları da kullanılmaktadır. Kapama elemanı akışkana karşı doğru ilerlemesinden dolayı yaşanabilecek zorlanmayı, akışkanın vana içerisindeki 90°’lik yolları iki sefer kat etmesi nedeniyle, azaltır. Vana direnci yüksek olduğu için ayar vanası olarak çok sık kullanılırlar. Kontrol vanalarında da en çok kullanılan vana tiplerinden biridir. Karınlı vanalar, düşük kapatma-açma moment değeri nedeniyle çok sık açma kapama yapılan proseslerde kullanılabilir. Bunun yanında debi kontrolü sağlama, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi, kapatma elemanı hareket mesafesinin (strok mesafesi) kısa olması, sızdırmazlığının iyi olması gibi sebepler avantajları arasındadır (Tokay,2013).

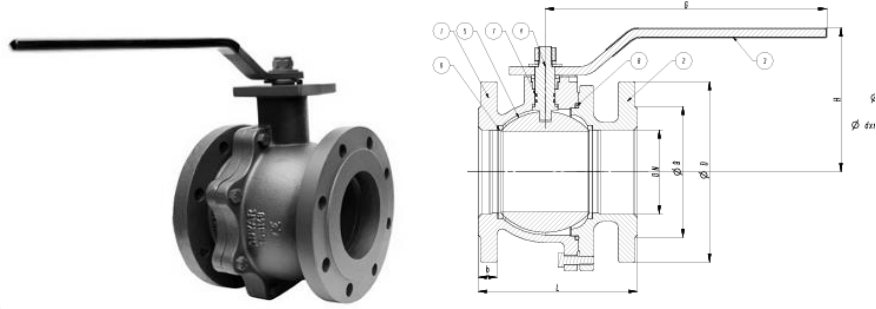


Şekil 2.7 Glob Vana Görseli

2.2.3 Tapalı ve Küresel Vanalar

Örnek görsel Şekil 2.8’dedir. Küresel Vanalar her iki yönde de akışa izin verir. Genel olarak 90 derece açılarda, tam açık veya tam kapalı pozisyonda çalıştırılırlar. Küresel vanaların kapama elemanının küre şeklinde olması nedeniyle, bu forma uygun sızdırmazlık elemanı gerilimi düzenli bir şekilde tüm çevreye yayılır. Aşındırıcı malzemelerin kullanımı hem kapatma elemanına hem sızdırmazlık elemanına zarar verebilir. Küresel Vanalarda sızdırmazlık elemanı olarak yumuşak malzemeler

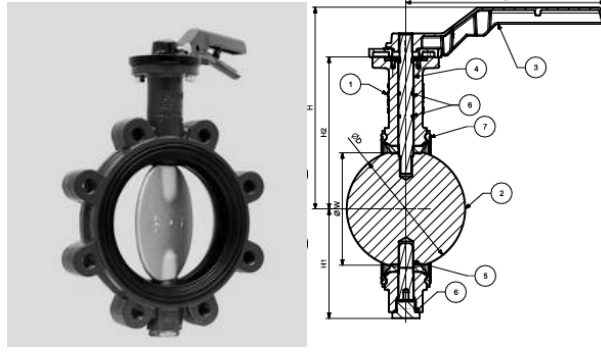
kullanılır. En üst çalışma sıcaklığı sızdırmazlık elemanına göre belirlenir. Düşük seviyelerde olan basınç düşümü, sızdırmazlık seviyesi, açma-kapama kolaylığı gibi sebepler avantajları arasındadır (Tokay,2013).



Şekil 2.8 Küresel Vana Görseli

2.2.4 Kelebek Vana, Eksantrik Tapalı Vana

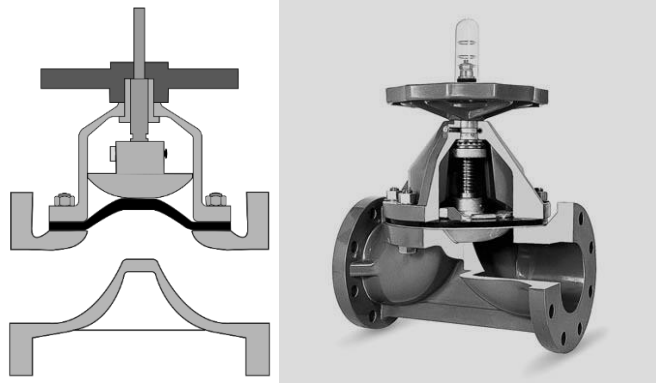
Örnek Şekil 2.9’dadır. Genel olarak tamamen açık veya tamamen kapalı konumlarda çalıştırılır, ama ara açi değerlerinde de akışkan kontrolü için kullanıla bilinir. Kelebek Vanalar her eksen de rahatlıkla çalıştırılabilir. Aynı küresel vanalarda olduğu gibi kapatma elemanı, bir eksen etrafında 90° hareket ederek, çalışır. Klapenin belli pozisyonda sabit tutulması ile akış miktarının ayarlanmasına imkân verir. Formlu olarak klape tipleri de mevcuttur. Vana boyu kısalığı, vana tam açık pozisyonda iken yarattığı düşük basınç düşümü, sızdırmazlık derecesi, diğer vana tiplerinden daha hafif olması nedeni ile montaj kolaylığı, debi kontrolü yapabilmesi avantajları arasındadır. Sızdırmazlık derecesini arttırmak ve daha yüksek basınçlarda çalıştırmak için eksantrik tipleri tercih edilmektedir (Tokay,2013).



Şekil 2.9 Örnek Kelebek Vana Görseli

2.2.5 Pinch ve Diyaframlı Vana

Örnek Şekil 2.10’da gösterilmiştir. Pinch vanalar adından da anlaşılabilir olduğu gibi sıkıştırılarak ya da katlanarak akış hattını kesen vanalardır. Bazı vana yapıları kauçuk boru olarak görev yapan ve akış hatlarındaki titreşimi alan kompensatörlere benzemektedir. Yapı olarak farklı yapı örnekleri de mevcuttur. Diyafram kısmı kapatma elemanı olarak esneyerek, metal sızdırmazlık elemanına baskı yaptığı yapılarda mevcuttur. Bu özelliklerini basınç ayar vanalarında görmekteyiz. Genellikle esnek olan malzemeye, sıkı malı ya da yay baskılı bir düzenek ile merkezden sıkıştırma yapılarak fonksiyonunu yerine getirir. Katı olan ufak taneli akışkanlarda kullanılabilmektedir. (Tokay,2013).



Şekil 2.10 Örnek Diyaframlı Vana Görseli

2.2.6 Kesme Vanası

Tamamen akışı kesme veya açma amacıyla kullanılan vana fonksiyonunu ifade etmektedir (TSE, 1996). Bu fonksiyon içerisinde sızdırmazlık seviyesi ve basınç kaybı gibi vana karakteristiğini belirleyen konulardan bahsedilecektir. Genel olarak ayar ve kesme vanalarında bu iki karakteristik oldukça önemlidir.

Basınç kaybı, genel olarak vanalarda K_v veya C_v terimi ile ifade edilir. Vananın yaşatacağı basınç kaybıdır. Genelde ölçümleri, vanaya akışkanın giriş basıncı ve çıkış basıncı ölçülerek yapılır. Basınç kaybının fazla olması istenmez. Eğer basınç kayıpları fazla olan vanalardan bir sistem kurgulanır ise, bu sistemi besleyecek daha büyük pompalara ihtiyaç duyulacaktır. Bu da daha fazla enerji ve işletme maliyetleri anlamına gelmektedir.

Sızdırmazlık seviyesi, akışkanın tipine göre vanalarda belirtilen bir başka karakteristik özelliktir. Genelde akışkan tipine göre sıfır sızdırmazlık değerleri istenmektedir. Bir akışkana göre sızdırmaz olan bir vana başka bir akışkan tipinde sızdırma yapabileceği bilinmelidir.

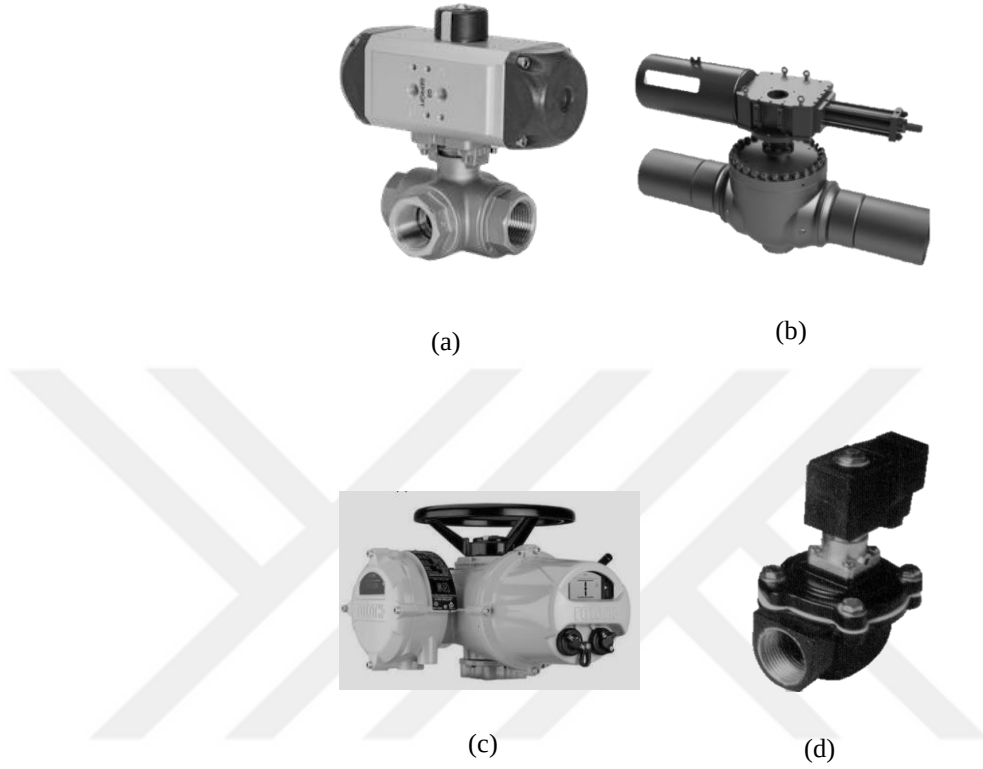
Ayrıca kullanılan iç malzeme tiplerine göre akışkanlar kimyasal tepkimeler ile vana iç malzemelerine de zarar verebildiği durumlar oluşmaktadır. Bu sebeple akışkan tipine göre vana iç malzemeleri seçilmelidir.

2.2.7 Kontrol Vanası

Kontrol vanaları genel tanım itibariyle, bir güç ile akışın miktarını (debisini) ayarlayan, bir proses içerisinde kullanılan vanaları ifade etmektedir. Vanaya bağlı bir aktuatör aracılığıyla, kontrol sisteminden gelen sinyale göre, kapatma elemanı konum değiştirerek ilgili fonksiyonu yerine getirir. Pozisyon göstergesi bazı uygulamalarda tercih edilmektedir (TSE, 1996).

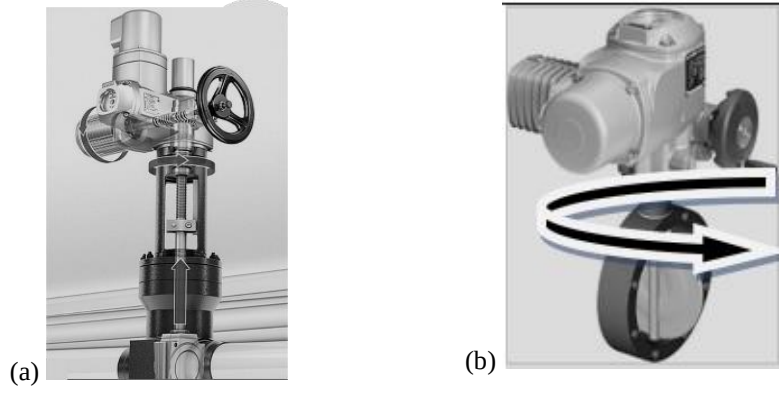
Güç tanımında karşımıza çıkan güç tipleri başlıca, hidrolik güç, Pnomatik güç, elektro mekanik güç, elektromanyetik güç sistemleri olarak tanımlanabilir. Şekil 2.11'de bu güç sistemlerine örnek olacak kontrol vanaları gösterilmiştir.

Araştırmamızda elektro-mekanik güç sistemine giren elektrik motor tahrikli kontrol vanası üzerinde durulacaktır.



Şekil 2.11 a) Pnömatik Aktuatör b) Hidrolik Aktuatör c) Elektrikli Aktuatör (Elektro-Mekanik Aktuatör) d) Selenoid Aktuatör (Elektro-Manyetik Aktuatör)

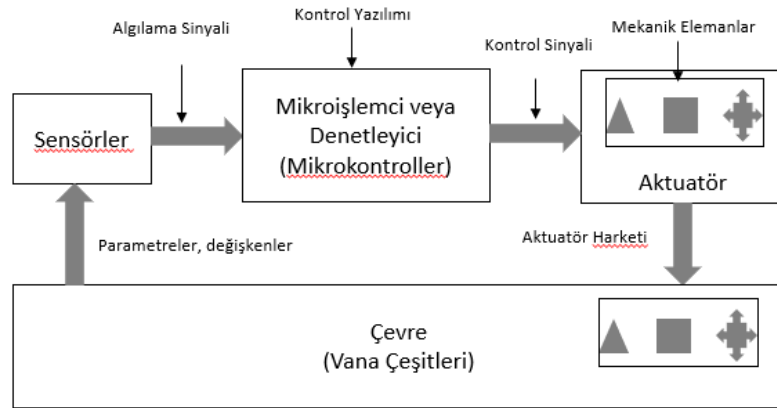
Kontrol vanaları, aktuatör sistemleri aynı zamanda vananın çalışma tiplerine göre de farklı mekanizmalara sahip olabilmektedir. Bu tipler başlıca doğrusal hareket yapan aktuatörler ve dönel hareket yapan aktuatörler olarak ilk sınıflandırması yapıla bilinir. Bahsedilen iki tip için temsili görseller Şekil 2.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 a) Lineer (Doğrusal) Aktuatör b) Rotary (Dönel) Aktuatör

Kontrol vanaları, pozisyonlama kabiliyetlerine göre; oransal kontrol (her açı derecesini tarayabilme), açık-kapalı kontrol (iki konum), çok konumlu kontrol (ikiden den fazla konum kontrol) sağlayabilmesine göre sınıflandırılabilir.

Tüm güç tiplerine ve çalışma şekillerine göre kontrol vanaları, genel olarak algılayıcı sensörleri işlemci devresi, mekanik elemanlar, çalıştırılan veya kontrol edilen elemanlardan oluşur. Blok diyagram, Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

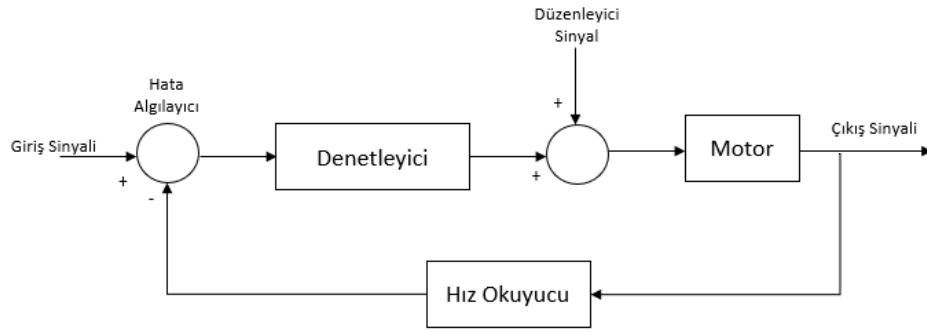


Şekil 2.13 Kontrol Vanaları Temsili Blok Diyagramı

Bu araştırmamızda dönel kontrol vanaları için bir tasarım yapılacaktır. Fonksiyon ve karakteristik parametrelerinin iyi anlaşılması için başlıca terimler açıklanacaktır.

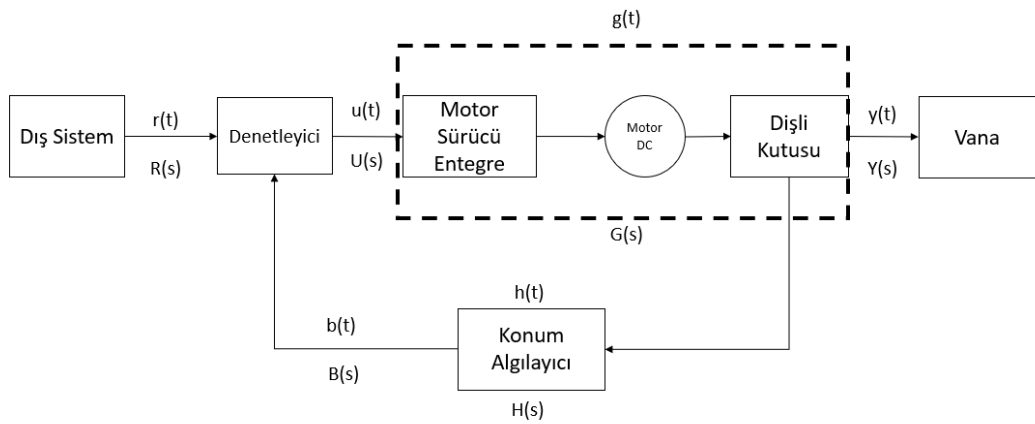
2.3 Dönel Kontrol Vanası İçin Kontrol Modeli ve Hesaplamaları

Kontrol sistemleri ile ilgili sınıflandırma içerisinde dönel kontrol vanası, kapalı döngü kontrol sistemi olarak sınıflandırılabilir. Basit gösterimi Şekil 2.14'te verilmiştir. Kapalı çevrim sistem, sistem çıkışından bir geri besleme alması ile açık sistemden ayrılır. Daha doğru bir kontrol çıkışı sağlamak için, kontrol edilen sinyal, çıkıştan geri beslenir ve giriş sinyali ile kıyaslanır (Kuo,2005).



Şekil 2.14 Kapalı Çevrim Örnek Blok Diyagramı

Dönel kontrol vanası için, bir dc motorun iki yönlü pozisyon kontrolü söz konusu olduğunda, blok elemanları, dc motor, motor sürücü devresi, pozisyon sensörü, dişli kutusu, çıkış yükü olan vana ve denetleyicidir (işlemcidir). Şekil 2.15'te örnek blok diyagramı gösterilmiştir. Motor sürücü, entegre denetleyici gelen sinyale göre motor dönüş yönünü ayarlamaktadır. Aynı zamanda motorun güç kontrolünü, denetleyiciden gelen sinyale göre sağlamaktadır.



Şekil 2.15 İki Yönlü Doğru Akım Motoru Pozisyon Kontrol Blok Diyagramı

Bu kontrol modelinde dış sistemden gelen kontrol sinyali işlemciye aktarılır. Bu referans sinyale göre kontroller sürekli olarak geri besleme sinyaline göre çıkış sinyali üretir. Geri besleme sinyali ile referans sinyal sürekli olarak kıyaslanır. Hata istenilen aralıkta olduğunda veya sıfırlandığında çıkış sinyali aktarımı kesilir.

Giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki bağlantıyı ifade etmek için transfer fonksiyonları kullanılmaktadır. Transfer fonksiyonu, Laplace dönüşümü ile $M(s)$ olarak ifade edilir. Referans sinyalini zamana bağlı olarak $r(t)$ olarak isimlendirsek, çıkış sinyalini de zamana bağlı olarak açıcı değeri $y(t)$ olarak ifade edebiliriz. Bu durumda transfer fonksiyonu Laplace dönüşümlü ifadesi denklem (2.11)'de gösterilmiştir. Kapalı döngü çalışan, geri beslemeli bir sistem olduğu için geri besleme fonksiyonu gösterimi denklem (2.13) de gösterilmiştir.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (2.11),$$

ve

$$H(s) = \frac{B(s)}{Y(s)} \quad (2.13),$$

Hata fonksiyonu $B(s)$ ise,

$$U(s) = R(s) - B(s) \quad (2.14),$$

olarak ifade edilir. Bu ifade denklem (2.11) ve (2.13) ile genişletilirse,

$$Y(s) = G(s)R(s) - G(s)B(s) \quad (2.15),$$

$R(s)$ referans sinyali denklemini denklem (2.11) ile genişletilirse,

$$R(s) = \frac{Y(s) + G(s)H(s)Y(s)}{G(s)} \quad (2.16),$$

denklemini $Y(s)$ çıkış sinyaline oranladığımızda,

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\cancel{Y(s)}}{\cancel{Y(s)} + \frac{G(s)H(s)Y(s)}{G(s)}} \quad (2.17),$$

olur, sistemin transfer fonksiyonu tanımı ise,

$$M(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (2.18),$$

olarak elde edilir. Burada $G(s)$ diye ifade edilen bölge kendi içerisinde bir açık sistem olarak ele alınabilir ve farklı değişkenler ile ifade edilebilir. Bu transfer fonksiyonu sistemin sadeleştirilmiş hali için geçerlidir. Bu fonksiyonda $G(s)$ fonksiyonuna kontrollerden gelen çıkış sinyali giriş yapar ve vanaya iletilen dönüş hareketi çıkışı değişkeni olur. Geri besleme sinyali ise dişli kutusundan alınan geri beslemenin, $H(s)$ olarak ifade edilen fonksiyona diğer bir ifadeyle konum algılayıcıya girerek, çıkan sinyal olarak ifade edilmiştir. Dönel kontrol vanası sistemi için her bir blok elemanının etkisi olan fonksiyonlar tanımlanabilirse, gelen referans sinyale göre tanımlamalar yapılabilir. Burada izlenecek yöntem gelen birim basamak değerlere göre bilinen fonksiyonlarla çıkış değerlerinin gözlemlenmesi ve PID kontrol olarak bilinen kapalı döngü sabitlerinin hesaplanması olacaktır.

$$G(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (2.19)$$

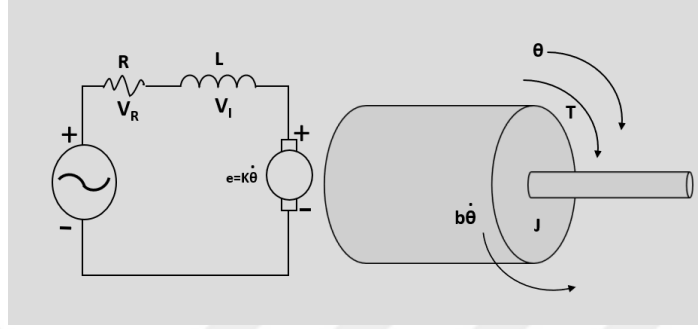
olarak ifade edilen formül oransal, türev ve integral katsayılarını içermektedir. Karmaşık blokların transfer fonksiyonlarını belirlemek zordur. Bu sebeple en uygun parametrelerin tespit edilmesi için deneysel metotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu sağlamak adına en bilinen yöntemlerden biri Ziegler-Nichols yöntemi (Acıman,2019). Bu yöntemde PID katsayılarını belirlemek amacıyla Basamak Yanıtı Yöntemi ve Frekans Yanıtı Yöntemi kullanılmaktadır (Develi, 2004). Bu yönteme göre katsayılar Tablo 2.1’de belirtilen katsayılar ile hesaplanabilmektedir (Çakmak, 2011).

Tablo 2.1 Ziegler-Nichols Yöntemine Göre PID Kontrol Parametreleri Katsayıları (Çakmak,2011)

Kontrolörler	PID Kontrol Parametreleri		
	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 k_u$		
PI	$0.45 k_u$	$0.8 t_u$	
PID	$0.6 k_u$	$0.5 t_u$	$0.125 t_u$

Motor parametreleri, bilinmeyen yöntemler için benzetme yöntemi ile yaklaşımlar incelenmiştir. Bu doğrultuda PID parametrelerinin tespiti ve simülasyon

yöntemleri araştırılmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda, dc motor modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. Bu modellemede θ açısal yer değiştirmeyi ifade etmektedir. T motor momentini, b sürtünme katsayısı ile açısal yer değiştirmesi (θ) türevinin çarpımı ise sürtünme momentini göstermektedir. J, iç ataleti temsil etmektedir. (Gürgöze ve Türkoğlu, 2022)



Şekil 2.16 Motor Modeli ve Parametreler (Gürgöze ve Türkoğlu, 2022)

Kirchoff elektrik devre yasasına göre ilgili model analiz edildiğinde, denklem (2.20) toplam gerilimi vermektedir (Gürgöze ve Türkoğlu, 2022).

$$V_{in} = V_R + V_L + \text{zıtEMK} \quad (2.20),$$

Burada V_{in} güç kaynağı, V_R direnç, V_L endüktans uçlarındaki gerilim düşümünü ifade etmektedir. R_a armatür direnci (ohm), L_a armatür endüktansı (mH) ve üzerinden geçen akım ise, I_a armatür akımıdır (A). Denklemdaki gerilimler akıma bağlı ifade edilir (Gürgöze ve Türkoğlu, 2022);

$$V_{in} = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e(t) \quad (2.21),$$

$e(t)$, emk'ı (elektromotor kuvvetini) ifade etmektedir.

Aşağıdaki denklem ile açısal hız ve konuma göre açıklanır. Denklemden bulunan K_t , motor moment sabiti (Nm/A), K_e , elektromotor sabitidir (Vs/rad). $\omega(t)$ açısal hızı rad/sn olarak ifade etmektedir.

$$e(t) = K_t \omega(t) = K_e \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2.22),$$

Denklem (2.21)'in denklem (2.22) ile genişletilmiş ve Laplace dönüşümlü ifadesi ise;

$$V_{in} = I_a(s) \cdot (R_a + L_a \cdot s) + K \cdot \omega(s) \quad (2.23),$$

olur. Newton'un toplam kuvvet yasasına göre kuvvetler aşağıdaki denklem ile açıklanır;

$$T_m = T_L + T_a + T_s \quad (2.24),$$

Denklem (2.24)'te T_m toplam motor momentinin, T_a armatür atalet momentini, T_L yükten kaynaklı gelen momenti, T_s sürtünmeden gelen momenti ifade etmektedir. Birimleri 'Nm' olarak ifade edilmektedir. Bu denklemler zamanın fonksiyonu olacak şekilde açıklanırsa (Gürgöze ve Türkoğlu, 2022);

$$T_m = K_t \cdot I_a = T_L + J_m \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + b_m \omega(t) \quad (2.25),$$

eşitliği elde edilir. Bu denklemde J_m motor atalet katsayısıdır (Nm/(rad/s²)). b_m vizkoz sürtünme katsayısıdır (Nms/rad). Denklemin Laplace dönüşümü;

$$T_m = T_L + J_m \cdot s \cdot \omega(s) + b_m \cdot \omega(s) \quad (2.26),$$

eşitliği şeklinde olur. Denklem (2.23), denklem (2.25) ve denklem (2.26) yardımıyla genişletilirse ve motor yüksüz durum ($T_L = 0$) için;

$$V_{in} = \left[(R_a + L_a \cdot s) \cdot \frac{(J_m \cdot s + b_m)}{K} + K \right] \cdot \omega(s) \quad (2.27),$$

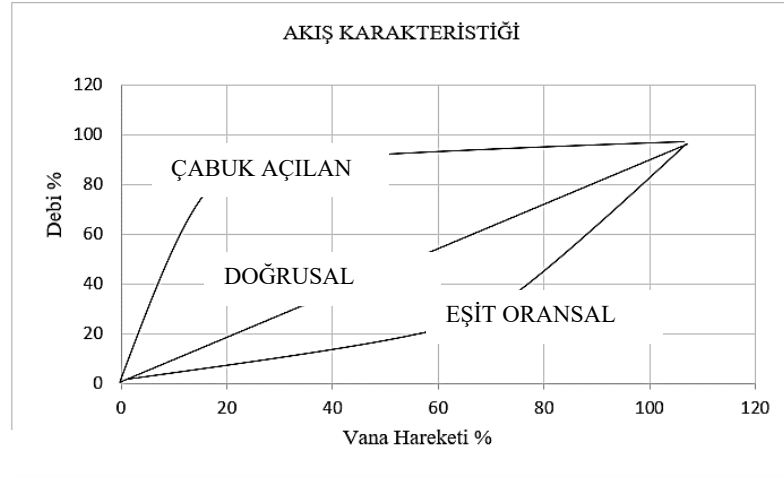
olur. Bu denklemlerle sonucunda elde edilen transfer fonksiyonu motor yükü ile aşağıdaki gibidir.

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{(L_a \cdot s + R_a)(J_m \cdot s + b_m) + K^2} + T_L \quad (2.28),$$

Elde edilen transfer fonksiyonuna göre motorun PWM gerilim değerlerinin yüzdelere göre, gerilim değeri, akım değeri, PWM (pulse-s), Açısal hız değerleri tablolayacaktır. Ayrıca motordan R_a ve L_a değerleri ölçülerek elde edilecektir. Bu aşamadan sonra zamana bağlı yukarıdaki denklemler yardımıyla motor parametrelili tahmin yapılmıştır.

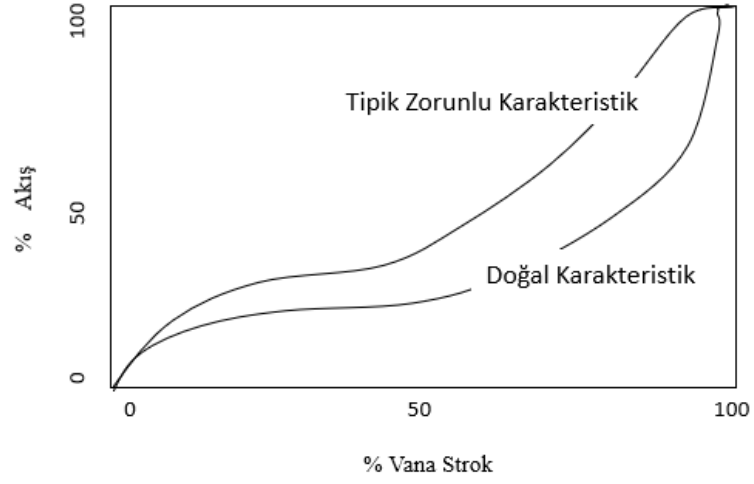
2.4 Akış ve Kontrol Karakteristikleri

Vana kontrolü genelde debi ayarı, basınç ayarı olarak örneklendirilebilir. Debi ayarı ile vana kontrolü; çabuk açılan, lineer, eşit oransal olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.17’de ilgili akış karakteristikleri grafiksel olarak gösterilmiştir (Tokay,2013:13).



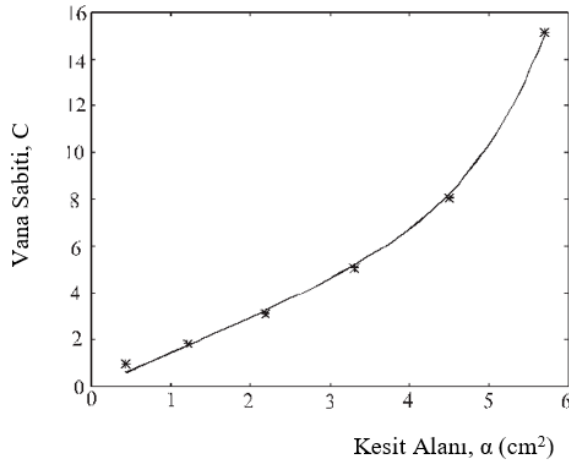
Şekil 2.17 Akış Karakteristiği Eğrileri

Debi, ayar vanalarında tercih edilen karakteristik tipi, eşit oransal olanıdır. Bunun sebebi vana içerisindeki basınç düşümü ve tesisat elamanlarından kaynaklanan basınç değişimlerinin, yani vananın bağlı olduğu ortamdaki karakteristiği genel olarak zorlanmış şekilli lineer akış karakteristiğine yaklaşmaktadır. Doğal karakteristik ve tipik zorunlu karakteristik grafiği Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Doğal Karakteristik ve Tipik Zorunlu Karakteristik Grafiği

Küresel vananın akış karakteristiği incelendiğinde kesit değişimine göre Şekil 2.19'daki gibi bir akış karakteristiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.19 Vana sabitinin vana açılma kesitine göre değişimi (Leephakpreeda, 2004)

Küre açıklık alanı hesaplanırken integral ile sınır alanları hesaplanacaktır. Burada daire denklemini dikkate alınır (Leephakpreeda, 2004).

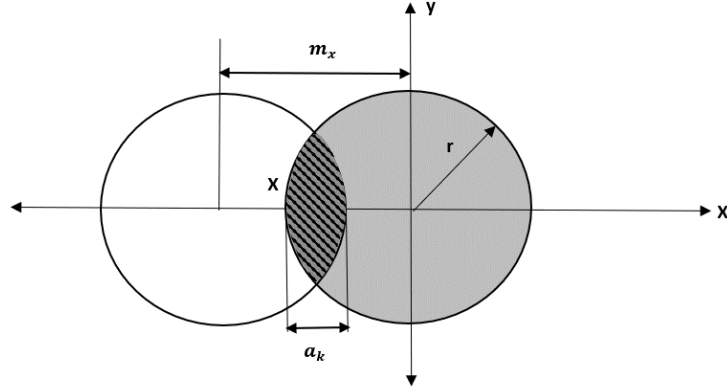
$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (2.29),$$

Daire alanının koordinat düzleminde x değişkenine göre hesaplanması integral işlemi ile denklem (2.30)'de belirtilmiştir.

$$\frac{A}{4} = \int_0^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \quad (2.30),$$

Denklemler aşağıdaki şekilde belirtilen iki birbirine göre hareket eden dairenin kesişim alanını hesaplamak üzere düzenlendiğinde denklem (2.31) elde edilecektir. Kesişim miktarı x düzleminde a_k olarak ifade edilirse, alan A_k alan denklemi aşağıdaki şekilde olmaktadır. m_x iki daire merkezleri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

$$A_k = 2 \int_{(r-a_k/2)}^r (\sqrt{r^2 - x^2}) dx + \int_{(m_x-r)}^{(r-a_k/2)} \sqrt{(r^2 - (x - m_x)^2)} dx \quad (2.31),$$



Şekil 2.20 Küresel Vananın Açılma Kesitinin Geometrik Düzlemde Gösterilmesi

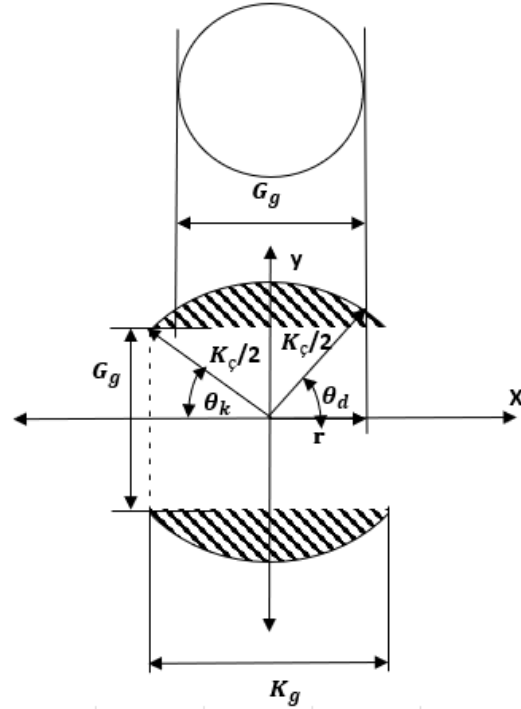
Şekil 2.20'de belirtilen modele göre, küresel vananın geçiş ve kesit genişliğinin aynı olduğunu kabul eder, G_g olarak isimlendirirsek, küresel vananın küre genişliğini de K_g ve kürenin çapının $K_ç$ olarak tanımlarsak, vana kapalı pozisyon açısı olan θ_k denklem (2.32) ile ifade edilebilir.

$$\theta_k = \sin^{-1}\left(\frac{G_g/2}{K_g/2}\right) \quad (2.32),$$

$$\theta_d = \cos^{-1}\left(\frac{G_g/2}{K_c/2}\right) \quad (2.33),$$

Şekil 2.21'deki modele göre, vananın denklem (2.34)'da belirtilen açıklıkta θ_d açısında, açılma pozisyonuna geçmesi beklenir. Şekil 2.21'de " r " ifadesi, $G_g/2$ 'i ifade etmektedir. Yani açılma kesişmesi bu açıdan sonra gerçekleşecektir. Kartezyen koordinatlara göre bu açının x pozisyon konumu ile, θ_d açılmaya geçiş derecesi x eksen pozisyonları farkları bize, kesişim mesafesini a_k 'ı verecektir. Denklem aşağıdaki şekilde ifade edilebilecektir. " a_k " kesişimi ifade edebilmesi adına $\theta_d > \theta_k$ olmalıdır.

$$a_k = [(K_c/2) \cdot \cos(\theta_d)] - [(K_c/2) \cdot \cos(\theta_k)] \quad (2.34),$$



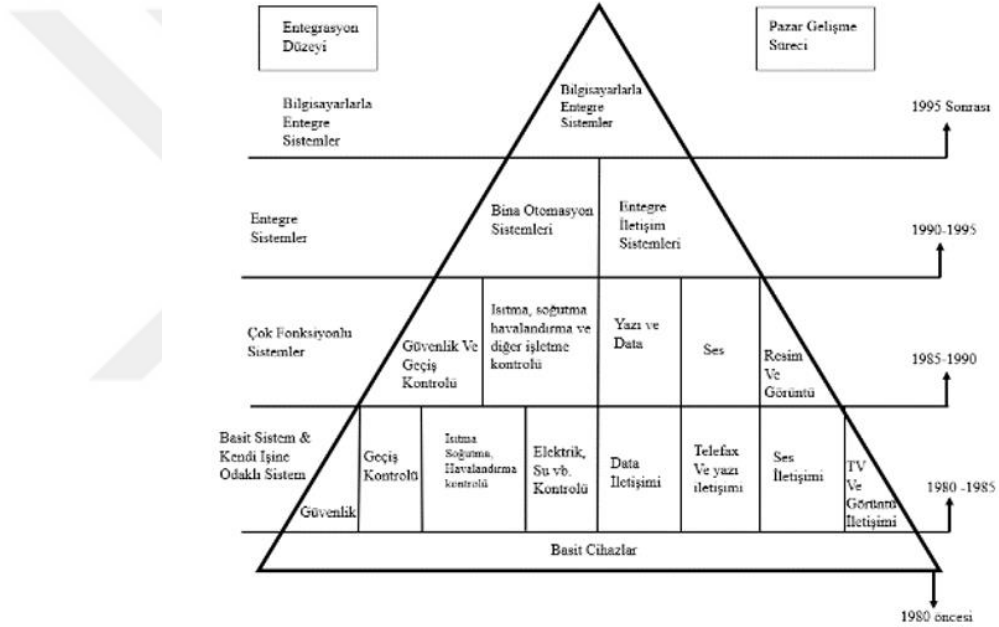
Şekil 2.21 Küre Açılışa Geçme Modellemesi

Çalışmada küresel vananın kesit alanları hesaplanacak ve Bernoulli denklemleri ile teorik debi hesaplamaları yapılacaktır. Bu teorik hesaplamalar ile reel ölçüm sonuçları kıyaslanacak ve vananın akış karakteristiğinin kontrol algoritmaları ile değişimi gözlemlenecektir.

2.5 Akıllı Kontrol Vanaları

İlk olarak 1982 yılında, Ko ve Fung akıllı dönüştürücüler (intelligent transducers) terimini ortaya çıkarmıştır (Ko, Fung,1982).

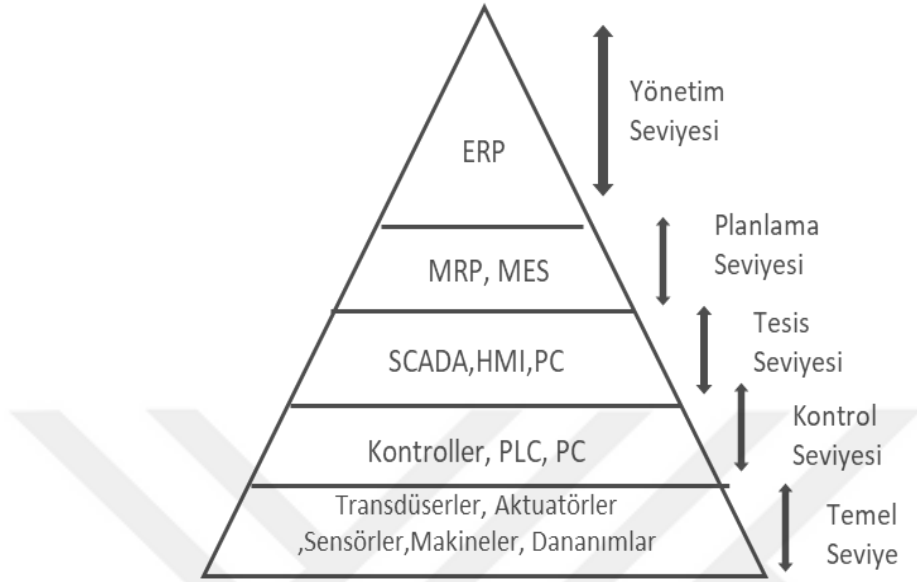
Bu kapsamda sistemler kurgulayabilmek için algılayıcılar, kontrol organları ve senaryoları (algoritmaları) istenilen çıkış için tasarlama ihtiyacı vardır. Bu tür sistemler, ilk olarak tesisat sektöründeki geleneksel sistemlerden açıklamaya başlanacaktır. 2000li yıllara kadar sistemlerin gelişimi Şekil 2.22’de gösterilmiştir (Kılıç, 2007).



Şekil 2.22 Akıllı Sistemlerin 2000’li Yıllara Kadar Olan Gelişim Piramidi Görseli

Bilgisayar entegreli sistemler hala yaygın olarak kontrol yazılımları ile kullanılmaktadır. Belirli haberleşme protokolleri ile bilgi transferini yapan ve kontrol izleme organlarını birbirine bağlayan sistemlerdir. Otomatik kontrol sistemleri kendi içerisinde çeşitli algılayıcılar kontrol organlarını barındırırlar. Aynı zamanda mantık kontrolü yapan cihazlar olarak bilinen kontrol aygıtları kullanıcı ara-yüz yazılımlarına bilgi aktarımını yaparlar, yazılımdan alınan verileri kendi algoritmaları içerisinde çalıştırarak istenilen çıkış sinyallerini, kontrol organlarına iletirler. Kullanıcı

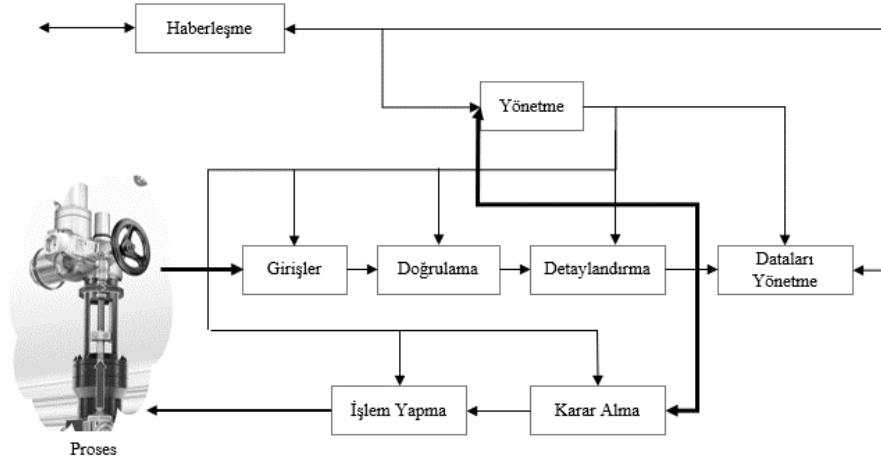
etkileşimi sağlayan ve mantık kurguları yazılımları her proses için özel olarak yazılmalıdır. Endüstriyel otomasyon sistemleri mimarisi Şekil 2.23’ de gösterilmiştir. (Hashim, Tee ve Haron, 2007)



Şekil 2.23 Endüstriyel Otomasyon Sistemi Mimarisi

Ayrı bir açıklamada endüstriyel haberleşme protokolleri için yapmak gerekmektedir. Yaygın olarak kullanılan haberleşme protokolleri Modbus, Hart, Profibus FieldBus olarak tanımlanan protokollerdir. Günümüzde internet altyapısı ile hizmet veren Profinet, Modbus TCP/IP, Bacnet, Ethercat gibi protokoller bulunmaktadır. İlgili protokoller birbirleri ile dönüştürücüler ile haberleşebilmektedir. Analog/dijital sensör ve aktuatör grupları mantık kontrol cihazları ile sinyal alışverişini yapar. Bu cihazlar uygun haberleşme protokolleri ile ara-yüzüne bilgiyi aktarırlar (Bayart, 1997).

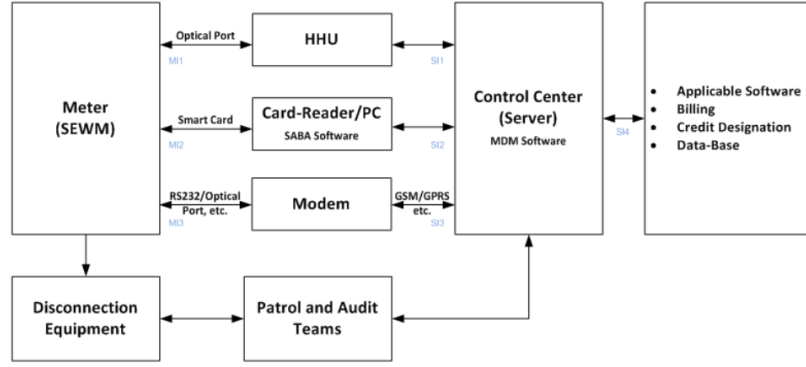
Akıllı vanalar üzerine yapılan incelemelerde M.Bayart’ın çalışmasında, 1997 yılında mimari ve modelleme üzerinde durulmuştur. Basit olarak aktuatör ve sensörlerin bütünleştirilmesi ve algoritmaların oluşturulması çalışmada incelenmiştir. Limit siviçleri, pozisyon sensörü ve aşırı sıcaklık algılaması sensörleri bulunmaktadır. Sensör kısımlarına pozisyon bilgisi veren anahtarlamaların tercih edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.24 M. Bayart'ın Akıllı Vana Sistemi Mimarisi (Bayart,1997)

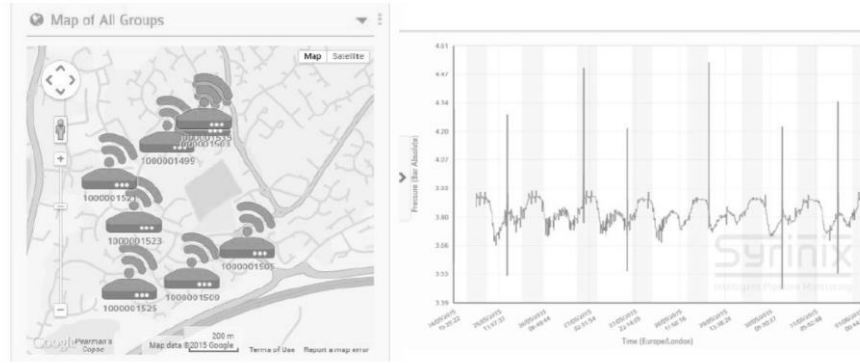
Fonksiyonel yapısına ait blok diyagramı Şekil 2.24'te ki gibi verilebilir. Bu çalışmada açık-kapalı kontrolü yapılan vana seçilmiştir. FieldBus ile haberleşmesi ve veri aktarımları yapmaktadır. Fonksiyon yapısında haberleşme, veri bankası ve mantık yazılımları kullanılmıştır.

2013 yılında yapılan bir çalışmada “Akıllı enerji ve su sayacı çalışmasında”, verimli veri görselleştirilmesi ile kontrol sağlanarak tarım sektörüne yönelik çalışma yapılmıştır. Fazla sulamanın önüne geçmek amaçlanmıştır. Ölçüm Cihazı, İletişim Cihazı ve Yazılım kısımları ile sistem kurgulanmıştır. Ölçüm cihazı ile alınan ölçüm verileri telekomünikasyon yoluyla kontrol merkezine aktarılması, daha sonra kontrol merkezinde veri derleme, bilgi işleme ve raporlama işlemi gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Metot diyagramına göre akıllı sayaç aldığı verileri veri tabanına iletmede ve görüntüleme, raporlama gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir (Jahromi, Hamedani, Dolatabadi, Abbasi, 2014).

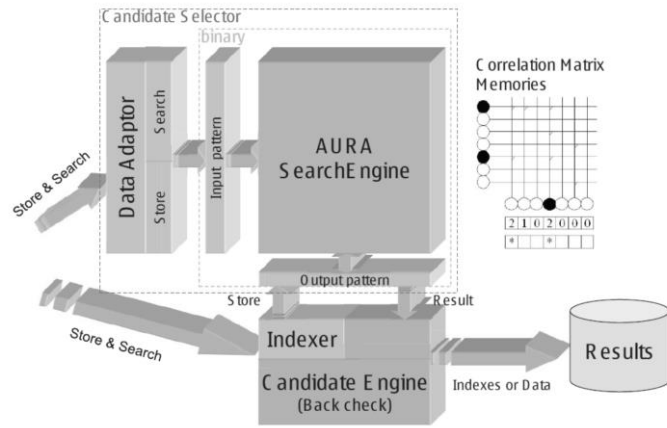


Şekil 2.25 Akıllı Su Sayacı Çalışması Metod Diyagramı (Jahromia, Hamedania, Dolatabadia, Abbasia, 2014)

2015 yılında yapılan akıllı su tesisat ağlarına yönelik çalışma, su kaçaklarının analizi ve önlenmesine yöneliktir. Aura-Alert simindeki sistem ile bu anomalileri analiz ile tespit edebilmektedir. Çalışmada yüksek hızlı çözünürlükte basınç oranları okunmuştur (Mounce, Pedraza, Jackson, Linford, Boxall, 2015).



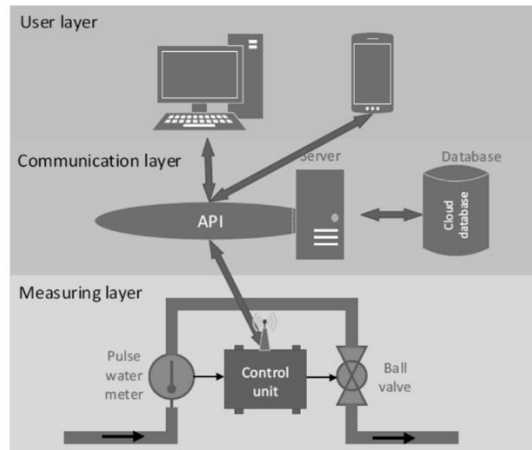
Şekil 2.26 Harita Üzerinden İzleme ve Yüksek Hızlı Çözünürlükteki Basınç Oranları Veri Analizi Görselleri (Mounce, Pedraza, Jackson, Linford, Boxall, 2015)



Şekil 2.27 Aura Sistemi Mimarisi (Mounce, Pedraza, Jackson, Linford, Boxall, 2015)

Veriler Aura-Alert mimari yapısına göre analiz edilip, sonuç analizlerine ulaşılmıştır. Cassandra veri tabanı kullanılarak veriler depolanmıştır. Anormal aralıklar örnekleme sinyali ile tespit edilerek, alarmlar oluşturulmuştur. Bu sayede su kaynaklarının daha anlık ve hassas takip edilebileceği bir model ortaya koyulmuştur (Mounce, Pedraza, Jackson, Linford, Boxall, 2015).

Akıllı sistemler üzerine bir diğer çalışma 2018 yılında yayınlanmıştır. Ani su kaçaklarının tespiti üzerinedir. Su kaçağı tespit edildiğinde kesici vananın kapatılması üzerine çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda çalışma periyodunda kendi kendine öğrenme yaparak, kendi limit değerlerini belirleyebilmektedir (Fikejz, Roleček, 2018).



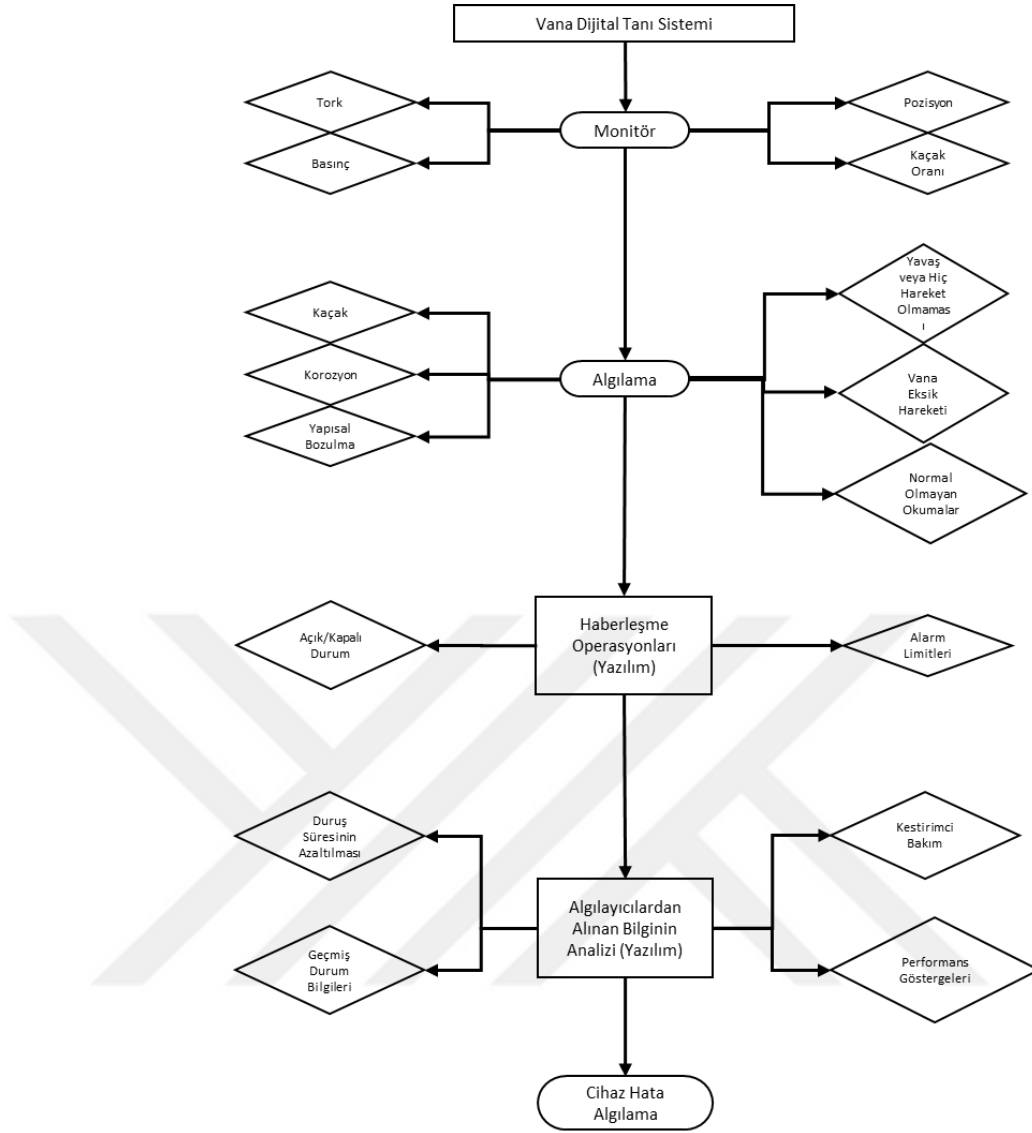
Şekil 2.28 Ani Su Kaçak Tespit Sistemi Mimarisi (Fikejz, Roleček, 2018)

Donanım için Raspery Pi, pulse tipi debimetre kullanılmıştır. Vana seçimi olarak iki yollu küresel vana seçilmiştir. Sistem bataryalı olarak çalışmaktadır. Yazılım tarafında Java platform tercih edilmiş ve MySql veri tabanı kullanılmıştır. Kendi limitlerini öğrenme kısmında ortalama, ağırlıklı ortalama, yayılma, standart sapma analizleri tercih edilmiştir. Oluşturulan ara-yüz Şekil2.29'da gösterilmiştir (Fikejz, Roleček,2018).



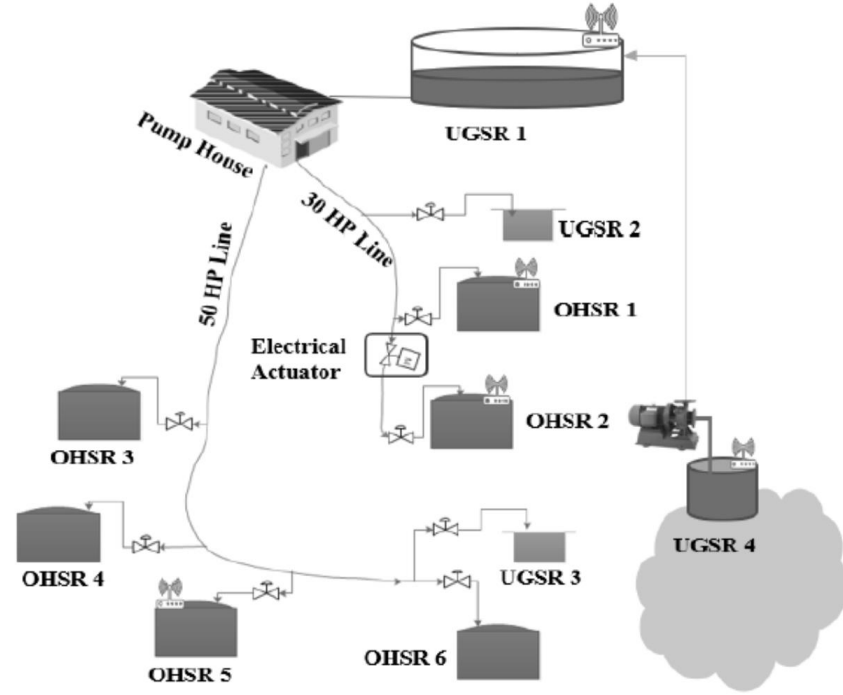
Şekil 2.29 Ani Su Kaçak Tespit Sistemi Mobil Arayüz Görşeli (Fikejz, Roleček,2018)

Bu sistemlere bir diğör örnek yapılan bir endüstri 4.0 çalışması olan vana arızalarının tespiti ile ilgili geliştirilen sistem örneğidir. Şekil 2.30'da sistem proses kontrol şeması bulunmaktadır (Sangolt, BjorØy, Erstad,2019).



Şekil 2.30 Endüstri 4.0 Sistem Kontrol Şeması (Sangolt, BjorØy,Erstad,2019)

Diğer bir örnek olarak su dağıtım sistemlerinde akıllı kontrolü sağlayan sistem gösterilebilir. Bu sistem yer altı ve yer üstü su tanklarının seviyelerini okuyarak, valf aktuatörlü sistemler ile ihtiyaç duyulan bölgelere kablosuz haberleşme ile su takviyesi yapılması sağlamaktadır (Mohandoss, Paul,2018).



Şekil 2.31 Akıllı Su Dağıtım Hattı Şematik Gösterimi (Mohandoss, Paul,2018).

Örneklendirilen sistemlerin hepsi istenilen proses çıkışını sağlayabilmek adına senaryo kontrolünü gerçekleştirmektedir. Kullanıcılarını izleme ve kontrol yapacak ara yüzleri ile sistemleri ile bütünleştirmişlerdir.

Günümüzde gömülü sistemlerin artması ve internet teknolojisinin yaygınlaşması ile, kontrol vanaları bütünleşik bulut tabanlı sistemlere doğru evrimleşmiştir.

2.6 IoT Kavramı, Mimarisi ve Vanalarda Kullanım Örnekleri

Internet of things (IOT), Nesnelerin interneti ilk olarak Kevin Ashton tarafından 1998 yılında bahsedilmiş bir terimdir. IOT temel olarak her nesneyi, kullanıcı olan insan ile her yerde, her zaman, diğer kişi ve diğer şeyler ile internet servisi ve ağı ile bağlayan sistemdir (Kelly,2013). Avrupa Birliği tarafından yayınlanan Dijital Ajanda'da nesnelerin ve uygulamaların kendileri arasında iletişim kurmalarını, veri üretmelerini, bu verilerin paylaşımını sağlayan gelişmekte olan bir

teknoloji olarak ifade edilmiştir (Turak, 2015). Uygulamalar bir taraftan insanlar ile etkileşim sunarken, diğer yönü daha da önemli ve farklı olan, çevredeki makinalar ve cihazlar ile bağlanmasını ve de haberleşmesini içermektedir. Bu felsefe endüstriyel nesnelerin İnternet'inin temelini oluşturmaktadır (Dhondge 2016).

IoT sistemlerinde Sean Kelly ev otomasyonu tasarım ve dizayn adlı çalışmasında bahsedildiği gibi;

- Adreslenebilirlik,
- Ölçeklendirilebilirlik ve esneklik,
- Haberleşme protokollerine hakimiyet,
- Büyük data yönetimi,

özelliklerine sahip olması istenmektedir (Kelly, 2013).

Bahsedilen özelliklere sahip cihazların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu özelliklerde kontrol vanalarının tasarlanması ile istenilen proses çıkışlarının elde edilmesine daha da yaklaşılabileceği düşünülmektedir. Kurgulanan sistem cihazları yaygın olarak kullanılan protokoller ile haberleşmesi hem de internet üzerinden erişilebilir olması gerekmektedir. Diğer nesneler ile tesisat ağının bütünleştirilmesi ve günümüzde en yaygın bilgi ağına bu sistemlerin dahil edilmesi sağlanması büyük bir gelişimi sağlayacaktır.

Böyle bir sistemin kurgulanmasında Web uygulamalarında kullanılan sensörler için karşılaşılan zorluklar hakkında araştırmalar yapılması gerekmektedir.

I. Sensör Verilerinin Soyutlama Seviyesi ve Seviyelendirme (Cihazda yönetilecek kısmın seviyesinin belirlenmesi, buna göre kullanıcıya veya istemciye göre seviyelendirme.)

II. Sensör Verilerinin Kalitesinin Yeterli Karakterizasyonu ve Yönetimi (Hangi verinin, hangi kalitede istendiğinin belirlenmesi, kalitesiz verinin ne yapılacağına belirlenmesi, veri sınıflandırmasının yapılması),

III. Entegrasyon ve Verilerin Birleştirilmesi (Farklı koşullar altında çalışan sensörlerden gelen verilerin, belli bir statik veri veya karar ağacına göre sınıflandırılması ve statik veriler ile kaynaşık verinin oluşturulması),

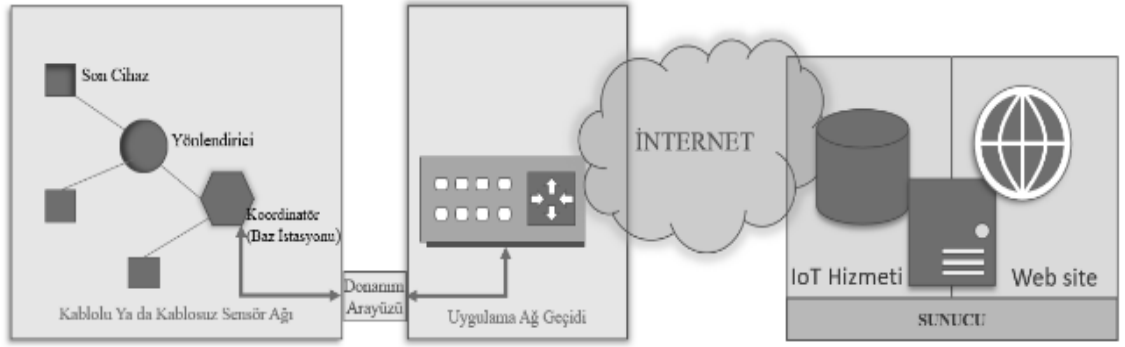
IV. Sensör Tabanlı Veri Kaynaklarının Konumu Ve Tanımlanması (Sensör ağlarının sayısının artması ile farklı konumlardaki veri kaynaklarının nasıl birlikte çalışacağının belirlenmesi),

V. Sensör Verilerini İşleyen Uygulamaların Hızlı ve Kolay Geliştirilmesi (Uygulamalar, Veri tabanları, sensör ağları vb. gibi sistem elemanları arasında ortak ara yüzlerin ve formatların geliştirilmesi, kullanıcı gözünde etkileşimi kolaylaştırmak) (Corcho, Castro 2010).

Bu zorlukları aşmak için mimari yapıyı doğru bir şekilde tasarlamak gerekmektedir.

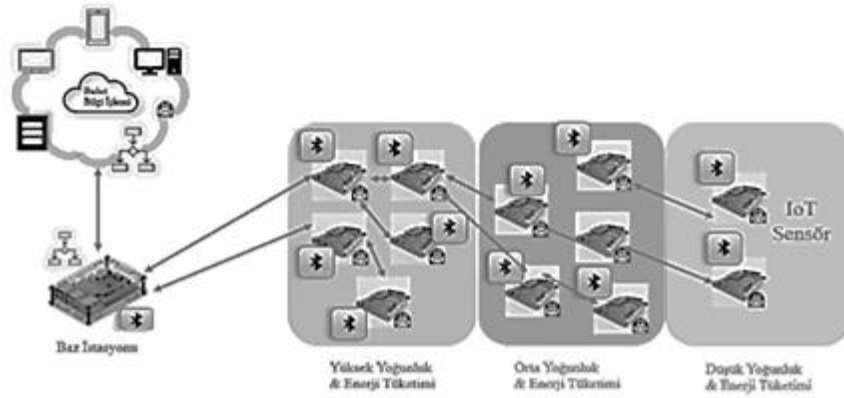
2.6.1 IoT Mimari Örnekleri ve Parametreler

IoT mimarisinde incelemelerinde sistem dört ana katmandan oluşmaktadır. Şekil 2.32’de şematik gösterimi yapılmıştır. İlk katman cihazlar veya algı katmanı, ikinci katman network veya ağ geçidi (gateway) katmanı, üçüncü katman sunucu katmanı, dördüncü katman uygulama katmanıdır. Ağ geçidi, cihaz ağına internet bağlantısını sağlar. Üçüncü katman, internet üzerinden uygulama ağ geçidine bağlanan ve sunucuda çalışan bir hizmet olarak tanımlanabilir. Böylece, sunucu, cihaz ağından elde edilen dataları depolar ve bu depolanan datalara erişimi sağlar. Dördüncü katman ise sunucuda depolanan datalara ve cihaz ağına erişim sağlayan web sitesidir. IoT için entegre edilmiş platform olarak cihaz ağı ve internet ağı bulunmaktadır. Uygulama ağ geçidi bu iki etki ağı arasında köprü görevi görmektedir (Kelly, 2013).



Şekil 2.32 IoT Sistem Mimari Örneği

Diğer IoT sistem mimari örnekleri incelendiğinde, çeşitli ihtiyaçlar gözetilerek mimarilerin değişebildiği gözlemlenmektedir. Enerji tüketimleri ve kablosuz cihaz ağı için Vanilla tipi ve Hola tipi cihaz kümeleme örneklerine ilişkin örnekler ile sistem yapıları Şekil 2.33 ve Şekil 2.34’te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.33 Vanilla Tip Sistem Örneği

Vanilla Sisteminde, ana bileşenler baz istasyonu ve bulut hizmeti sağlayıcısı olarak görülmektedir. Bu tür dağılımlardaki IoT cihazları genellikle mikro denetleyiciler tarafından desteklenmektedir. Cihazlar tak ve çalıştır özelliğine sahip olması nedeniyle enerji kaynağı olarak piller kullanılmaktadır. Bu enerjiyi korumak için IoT cihazları düşük güç ile çalışan, kablosuz iletişim protokolü olan Bluetooth

Hola tipi sistemde IoT cihazları birbiri arasındaki bağlantıyı akıllı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Bu cihazlar, iletilmesi gereken veri miktarını azaltmak için filtreleme kullanır, böylece verim arttırılarak cihaz datalarının birleştirilmesini sağlar.

The graph illustrates the power consumption of two models, Vanilla and HOLA, over a 22-hour period. The Y-axis represents power consumption in mW, ranging from 0 to 2.5. The X-axis represents time in hours, ranging from 6 to 22. The Vanilla model (black line) shows a steady increase in power consumption, starting at 0.2 mW at 6 hours and reaching 2.2 mW at 22 hours. The HOLA model (grey line) shows a more gradual increase, starting at 0.1 mW at 6 hours and reaching 1.5 mW at 22 hours.

Saat (h)	Vanilla (mW)	HOLA (mW)
6	0,2	0,1
8	0,3	0,18
10	0,4	0,25
12	0,5	0,3
14	0,7	0,4
16	0,9	0,5
18	1,3	0,8
20	1,8	1,1
22	2,2	1,5

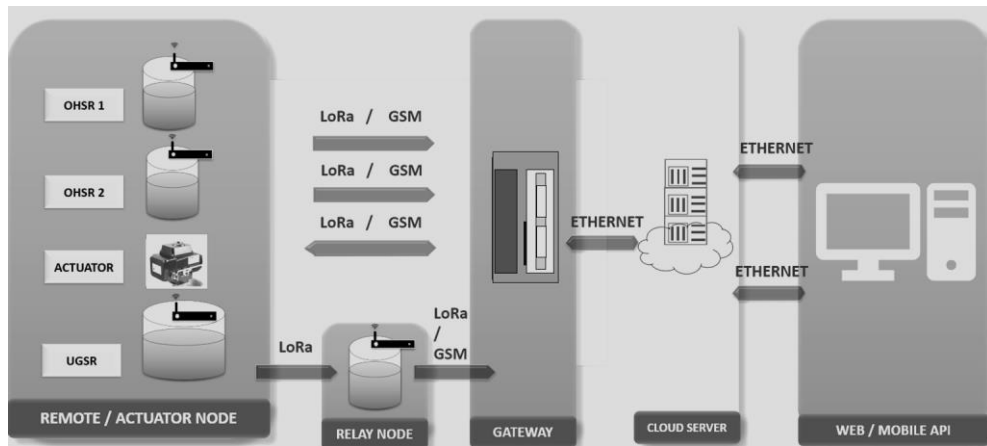
54

Bir IoT mimarisi kurgulanması için, ihtiyaçların ve önceliklerinin iyice belirlenmesi gerekmektedir.

2.6.2 Vana Sistemlerinde Kullanılan IoT Çözüm Örnekleri

Vana alanında yapılan IoT araştırma ve örneklemelere bakıldığında sistemlerin daha çok kablosuz mimariler ve ağ geçitleri ile tanımlandığını görülmektedir. Bu bir amaç değil ama bir yöntemdir.

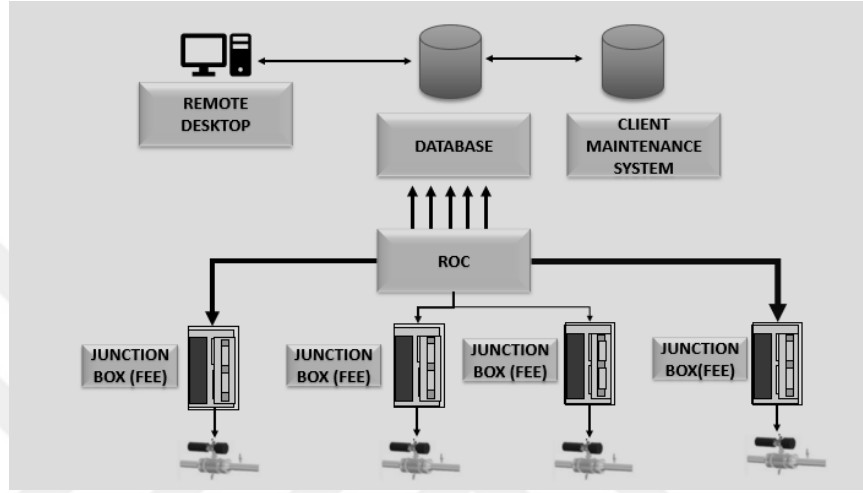
İlk uygulama su dağıtım hatları için yapılan bir projedir. “Akıllı Kontrol Vanaları” kısmında sistem yapısı ele alınmıştır. Eleman yapısında su depoları, seviye ölçüm sensörleri, aktuatörlü kontrol vanaları, kontrol sinyalizasyon kartları, IoT gateway cihazları, web server ve kontrol bilgisayarı bulunmaktadır. Uygulama senaryosunda, en optimum enerji tüketimine göre, yer altı su depolarının On-off aktuatörlü vana yönetimini ve kullanıma göre depo yönetimlerinin uzaktan yapılmasını ve izlenmesini içermektedir. Su depo seviyeleri sensörler yardımıyla ölçülmektedir. OHSR tanklar yer üstü veya yüksekte olan su rezervuarlarını, UGSR ise yer altı su kaynaklarını temsil etmektedir. IoT çözümüne sahip, bu mimari Şekil 2.36’da gösterilmiştir (Mohandoss, Paul,2018).



Şekil 2.36 Sistem Mimari Örneği Yer Altı/Yer Üstü Su Depoları

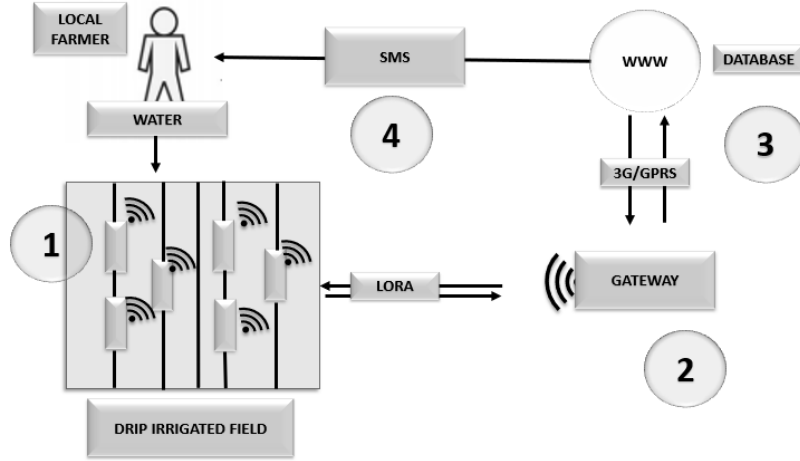
Diğer incelenen tesisat sektörüne özgü endüstri.4.0 örneğinde, aktuatörlü küresel vanaların, yüksek öneme sahip olduğu ağlarda hata durumlarının tespiti, tanımlanmasını ve iletimini içermektedir. Bu örnek proje de vana kaçak durumları,

mekanik hatalar, ölçüm sensörleri bozulması gibi durumlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Aktuatörlü vana ile pozisyon sensörü, fark basınç sensörü, akustik kaçak sensörlerinden veri alınmaktadır. Mimaride kullanılan elemanlar; Roc, okuma yapan ve server'a iletim yapan kontroller, Fee ise sensörlerden aldığı veriyi Roc'a iletimde kullanılan kartlardır (Sangolt, Bjorøy, Erstad,2019). Sistem kablolu ethernet altyapısı kullanılmaktadır.



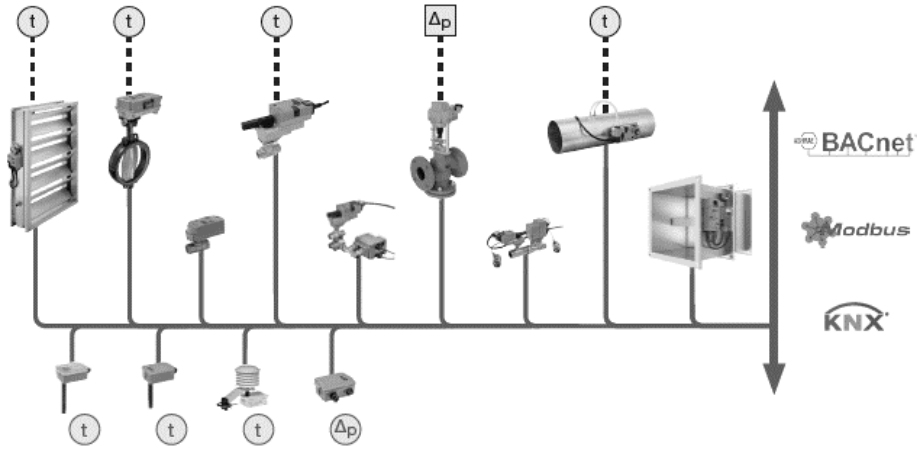
Şekil 2.37 Sensörlü Aktuatör Yapısı Endüstri 4.0 Mimarisi Görseli (Sangolt,Bjorøy,Erstad,2019)

Soil Sense -MIT D- Laboratuvar kaynaklı bir sosyal girişim projesidir. Bu proje işbirlikçi yaklaşımlar yoluyla küresel yoksulluk sorunları için pratik çözümler geliştirmek ve bu çözümleri teknolojik gelişmeler sayesinde küresel su krizini önlemeyi hedeflemektedir. Bu çalışmalara yönelik olarak Şekil 2.38'de Soil Sense'in sensör sistemi, geleneksel (alışlagelmiş ve mevcutta kullanılan sensör sistemleri) ve LoRa gibi IoT cihazları ile modernize edilmiş olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistem dört aşamalı olarak ele alınmıştır. Birinci aşamada, toprağın nemini ölçen kablosuz sensörler bulunmaktadır. Bu sensörler, ikinci aşamada bulunan bir IoT cihazı ile haberleşerek veriler buluta gönderilir. Üçüncü aşamada bulunan bir ağ geçidi ile bu veriler analiz edilerek kullanıcının istediği veriler paylaşılmaktadır. Son aşamada ise artık kullanıcıya sms yolu ile bilgiler gönderilmektedir. Basit dört yöntem ile gereksiz su harcamalarının önüne geçilmektedir (Wong,2018).



Şekil 2.38 : IoT Tarım Uygulama Sistem Mimari Görseli (Wong,2018)

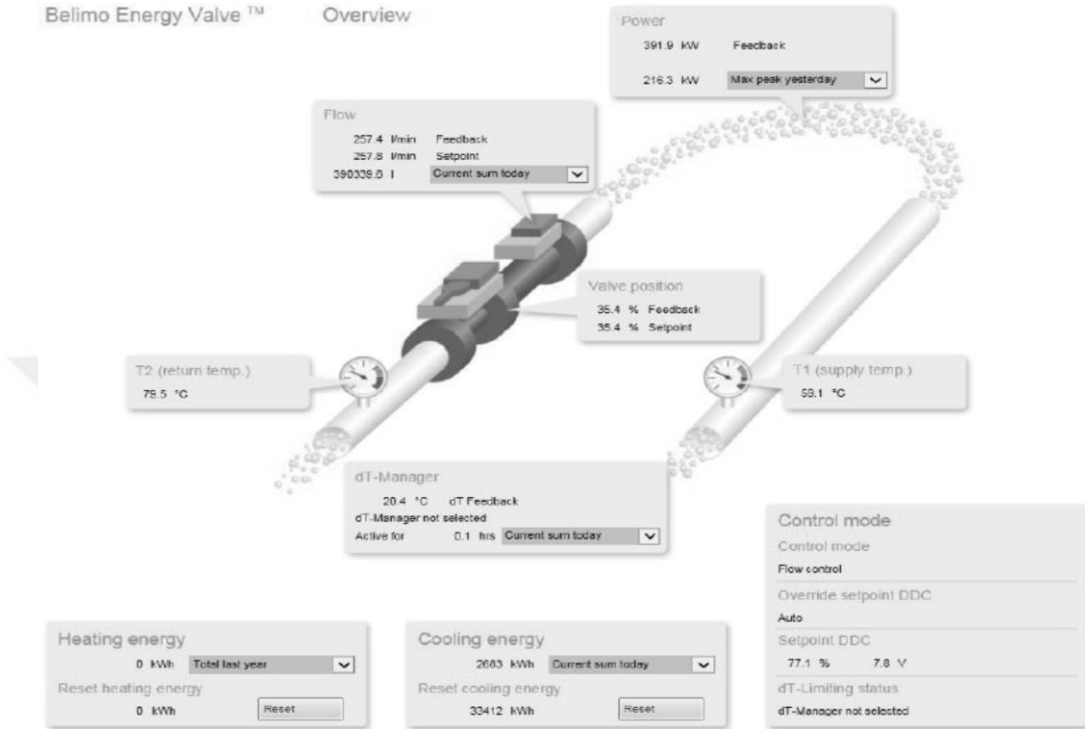
Akıllı vana bir türü olarak Belimo enerji vanası incelendiğinde, çeşitli endüstriyel protokoller ile haberleşme yapabildiği görülmektedir. Bu protokollere örnek olarak Modbus, Bacnet ve KNX verilebilir. Şekil 2.39 ‘da ilgili protokol ağında kullanılan cihazlar gösterilmiştir.



Şekil 2.39 Belimo Enerji Vanası Bus Sistemi

Buradaki ağ üzerindeki cihazlardan özellikle enerji vanası aşağıdaki web ara-yüz ile etkileşime girebilmektedir. İzleme ve senaryo seçimlerine olanak sağlamaktadır. Şekil

2.40'ta web arayüzü temsili olarak gösterilmiştir. Bu ara yüz sayesinde debi, sıcaklıklar, vana açıklık pozisyonu, enerji tüketimi gibi değerler izlenebilmektedir. Ayrıca kontrol senaryoları ile debi, enerji gibi kontroller sağlanabilmektedir (Belimo,2021).



Şekil 2.40 Belimo Web Arayüzü Temsili Gösterimi

3 AKILLI VANA CİHAZ TASARIMI

3.1 Akıllı Vana Cihaz Tanımlanması

Bu bölümde tez konusu olan akıllı vana cihazı kurgulanması ve tanımlamaları yapılacaktır. Cihaz tanımlaması yapılırken öncelikle cihazın fonksiyonları belirlenecektir. Fonksiyonlar izleme ve kontrol fonksiyonları olarak iki kısımda ele alınacaktır.

Kontrol fonksiyonları;

- 1- Bölümlere ayrılmış kısımlar için debi kontrolünü sağlama,
- 2- Bölümlere ayrılmış kısımlar için enerji kontrolünün sağlanması,
- 3- Fark basınca göre analog sinyal kontrolünün sağlanması,
- 4- IoT haberleşmesi,

İzleme Fonksiyonları:

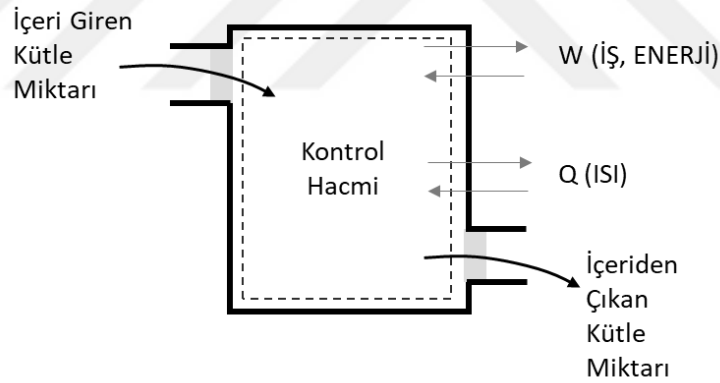
- 1- Fark Basınç İzleme,
- 2- Debi İzleme,
- 3- Sıcaklık İzleme,
- 4- Enerji izleme,
- 5- Diğer cihaz analog sinyal izleme,

olarak belirlenmiştir. Fonksiyonlar belirlenirken sistemin temel akış karakteristik parametrelerine hâkim olması ve çevresindeki cihazlar ile bilgi transferi yapabilmesi amaçlanmıştır. Çevresindeki cihazlar, sensörler, pompalar, diğer kontrol vanaları ve diğer kontrol gurupları olarak örneklendirile bilinir. İzleme fonksiyonlarını kullanıcının kolay erişimi için bir web ara yüzü hedeflenmektedir. Kullanıcıya alarm bilgilerinin iletilmesi kullanıcı-yazılım bütünlüğünü sağlayacaktır.

Bölümlere ayrılmış kısımlar için debi kontrolü sağlanması, aslında tesisat sistemlerinde balanslama denilen bir kontrol şeklidir. Akış kontrolünde balanslama ihtiyacı farklı yüksekliklerde, farklı diferansiyel basınç nedeni ile oluşan debi ayarlamasının stabil olamamasından kaynaklıdır. Bunu sağlamak için hatların dengelenmesi gerekmektedir. Bu da farklı diferansiyel basınçlar altında, farklı vana

kapatma elemanı açıklıkları ile sağlanabilmektedir. Örneğin üç katlı bir binada en alt kat en az açıklıkta, orta kat biraz daha açık pozisyonda, en üst kat ise en büyük açıklıkta ayarlanır. Akıllı vana sistemi elemanlarının olduğu bir tesisatta her vana kendi açıklık pozisyonunu ihtiyaç duyulan debi için otomatik olarak ayarlayacaktır. Bu farklı fark basınç değerleri için vana pozisyonu, kapama ve açma hareketleri ile istenilen diferansiyel basınç altında kalma sağlanır.

Bölmelere ayrılmış kısımların enerji kontrolünün sağlanması, daha çok hvac (iklimlendirme/Isıtma soğutma) sistemlerinde kullanılan bir fonksiyondur. Burada amaç ısıyı kontrol edilen ortamlara gereksiz ısı transferini engellemek ya da optimum seviyede tutmaktır (Çengel ve Boles ,2006). Termodinamiğin 1. Kanununda enerji transferleri içerisinde teorisini açmak gerekirse, kütle akışı veya sıvı geçen tesisatlarda su debisi miktarınca bir enerji transferi olmaktadır. Temsili görsel Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Bölümlere Ayrılmış Sistemin Enerji Kontrolü Şematik Gösterimi

Bölümler arası fark basınç kayıplarının hesaplanması, bu ölçümler sayesinde giriş basıncı ve çıkış basınçları arası yük kayıpları hesaplanabilecektir. Bu özellik sayesinde toplam yük değişimleri belirlenebilecektir. Bu parametre takibi ile değişim oluşması halinde, tasarlanan senaryolar ya da alarm bildirimleri yapılabilecektir.

Basınç koruma fonksiyonunda, akışkanın geçtiği hattın maksimum basınca ulaşması durumunda hat tahliye özelliğine geçerek hattın basıncındaki ani yükselmelerin önüne geçebilecektir.

Diğer cihazlar ile olan sinyal veya haberleşme aktarımları, bu tasarlanacak sistem ile diğer cihazların kontrol sinyalleri izlenebilecektir. Ya da sistem içerisinde oluşturulan senaryolara göre bu cihazlara kontrol sinyalleri yollanabilecektir.

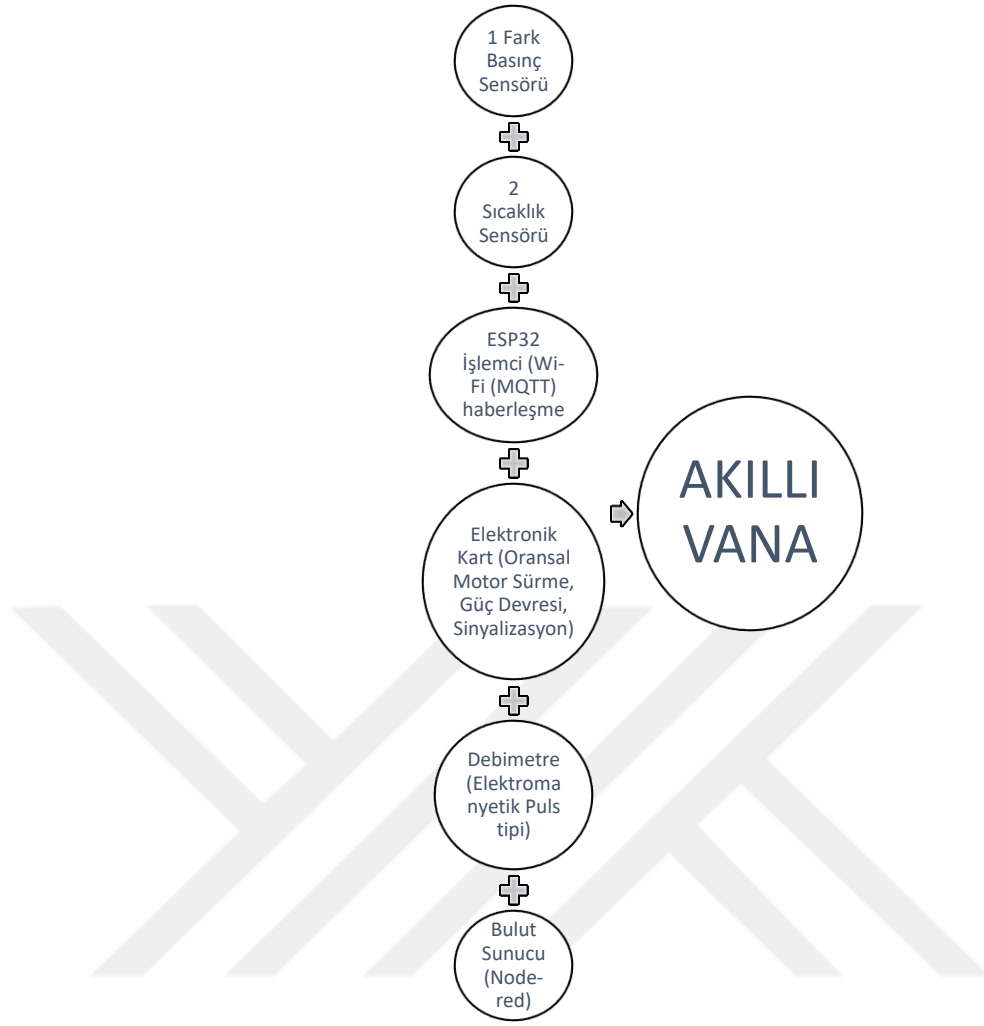
MQTT protokolü sayesinde Ethernet altyapısı ile sistem dahilinde bulunan bu protokol ile haberleşme yapan cihazlar ile iletişim sağlanabilecektir. Bu özellikler haricinde, IoT altyapısı ile diğer sistemlerden internet üzerinden veri transferi yapması mümkün olacaktır. İzleme yapılan değerler vasıtasıyla kritik değerler ya da aralıklar belirtilerek oransal ya da açık-kapalı (on-off) çıkışlar akıllı vana sistemi, cihazları ile iletilebilecektir.

Sistem kullanıcısı uyarı mesajları ve izleme yapılan parametreler sayesinde sistem ile bütünleşecektir. Ayrıca kurgulanan senaryo seçimleri ile tesisat ağını yönetebilecektir.

3.2 Akıllı Vana Cihazı Elemanları, Fonksiyonları ve Sistem Mimarisi

Akıllı vana cihazını oluşturan elemanlar, Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Ölçüm sensörleri grubunda; sıcaklık sensörleri, basınç sensörleri, elektromanyetik debimetre bulunmaktadır.

İşlemci olarak ESP32 seçilmiştir. Elektronik kart ise tüm sensörlerden verilerin işlemciye ulaştırılması ve istenilen analog sinyal çıkışlarının sağlanmasını sağlayacaktır. Cihazın bağlı olacağı Bulut sunucu ise verilerin görüntülenmesi, depolanması, kullanıcı girişlerinin yapılmasını sağlayacaktır. Seçilen işlemci haberleşme katmanında Wi-Fi kablosuz iletişim altyapısı haberleşmede ile MQTT protokolü kullanacaktır.



Şekil 3.2 Akıllı Vana Cihazı Elemanları Şematiği

Kontrol yapılarını yaptıkları işlemlere göre sınıflandırırsak aşağıdaki iki adet fonksiyondan bahsedebiliriz;

- Debi kontrol vanası,
- Analog sinyal kontrolü.

Ölçüm elemanları da gene benzer şekilde işlem sınıflarına göre aşağıdaki şekilde gruplandırabiliriz,

- Debi ölçüm elemanı,
- Fark basınç ölçüm elemanı,
- Sıcaklık ölçüm elemanları,

olarak belirtilebilir. Sinyalizasyon yapısında ise Wi-Fi haberleşme ve analog giriş-çıkış sinyalleri olarak sınıflandırma yapılmıştır.

Buradaki yapıdan görüldüğü gibi akıllı kontrol vana sistemi haberleşme katmanı ile, İzleme ve ölçme elemanlarına bağlanmaktadır. İzleme ve ölçme elemanlarının temel akış parametrelerinin takip edildiği ve tasarımı yapılacak olan Akıllı vana cihazı, debi ölçme, basınç ölçme, sıcaklık ölçme, diğer cihazlardan sinyal izleme ve kontrol sinyalleri üretme işlemlerini gerçekleştirecektir. Diğer cihaz bağlantıları haberleşme protokolleri ile direk sisteme olabilmekte, ya da akıllı kontrol vanaları aldıkları sinyalleri çevirici (gateway) fonksiyonu ile sisteme iletebilmektedir.

Sistemde vurgulanan bir diğer yapı ise, internete bağlı diğer sunucular ya da lokal veri sistemlerinden veri transferi yapılabilmesidir. Bu sayede diğer konumlarda bulunan veri merkezleri ile iletişim Ethernet altyapısı ile belirlenen protokoller ile sağlanabilecektir. Bu yapının katmanlı mimarisi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Akıllı Vana Sistemi Mimari Yapısı

3.3 Oransal Vana Hareket Mekanizması (Aktuatör) Tasarımı

Akıllı vana cihazı için debi kontrolünü yapacak olan Aktuatör sistemi tasarımı ele alınacaktır. Tasarım çalışmaları üç kısım halinde ele alınacaktır. Mekanik tasarım, Elektronik tasarım ve yazılım tasarımları incelenecektir. Sistemin kabul edilen özelliklerin şöyle sıralayabiliriz. 24V dc enerji ile besleme gerilimi seçilecek, ortalama 15sn ile 90sn. arasında açma/kapama yapacak, gene her tasarım çalışmasında olduğu gibi sistemin bütününe sahip olması gereken fonksiyonlar incelenerek tasarım çalışmasına başlanacaktır.

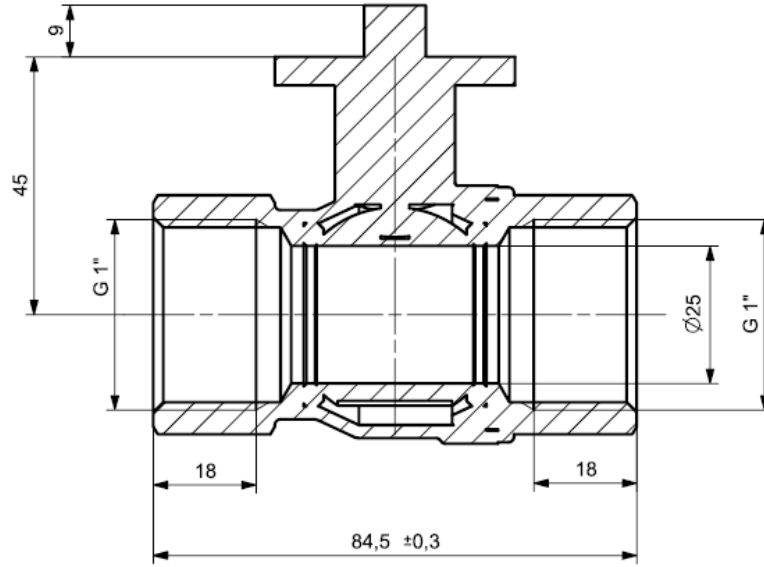
Aktuatör sisteminin sahip olması gereken fonksiyonlar,

- Debi ayarının seçilen vana türüne oransal sinyallere göre yapılması,
- Pozisyon takibinin seçilen vana türüne göre yapılması,
- Kritik pozisyonların açık, kapalı izlenmesi
- İstenilen sürelerde açma kapama işlemlerinin gerçekleşmesi,
- Seçilen vana türüne göre istenilen moment değerinin sağlanması,
- Haberleşme ile veri aktarımının sağlanması,
- Analog izleme ve kontrol sinyallerinin sağlanması,
- Sistemin mekanik bütünlüğünün sağlanması,

olarak belirtile bilinir. Bu fonksiyonları yerine getirecek seçilen sistem elemanlarını sınıflandırırsak;

- Elektrikli Motor,
- Vana
- Dişli kutusu,
- Mekanik anahtar ve tahrik mekanizması
- Potansiyometre ve potansiyometre mekanizması,
- İşlemci,
- Devre kartları ve elemanları,
- Algoritmalar, yazılımlar,
- Şase ve kapak tasarımları

Küresel Vana akış karakteristiğine göre incelendiğinde çabuk açılan tip akış karakteristiğine sahiptir. Tasarım aşamasında lineer ya da eşit oranlı tipe oransal sinyaller ve yazılım hesaplamaları ile ulaşılabileceği araştırılacaktır. Vana seçiminden sonra aktuatör mekanik tasarımları ele alınacaktır.



DN 25 Küresel Vana Teknik Özellikleri		
Aktuatör Bağlantısı	Flanş	
Tesisata Bağlantısı	Dişli ½"	
Açma Moment	5,6	Nm
Kapama Moment	5,6	Nm
Kapatma Açısı	90	Derece

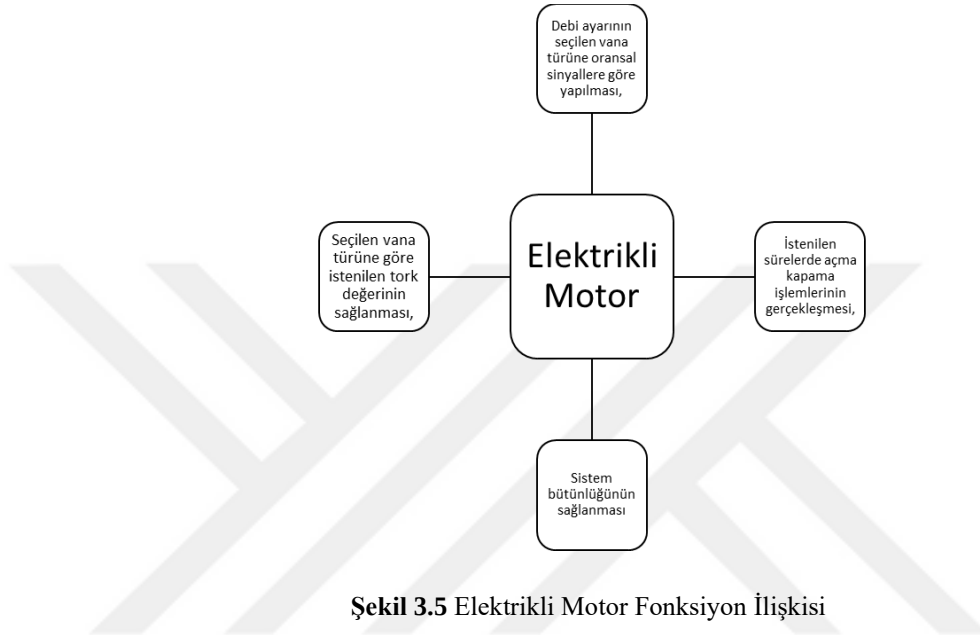
Şekil 3.4 Küresel Vana Kesit Görseli ve Özellikleri

3.3.1 Vana Hareket Mekanizması Mekanik Tasarım

Aktuatör tasarımı için istenilen çıkış momenti 5,7 Nm'dir. Moment değerini elde etmek için bağlı olan mekanik elemanlar,

- Elektrikli Motor,
- Vana,
- Dişli kutusu 'dur.

Bu denklemde iki bilinmeyen vardır. Çözümü için Elektrikli Motorun hangi fonksiyonları sağlaması gerekliliğine Şekil 3.5'te göz önünde bulundurarak bakılır ise,



Şekil 3.5 Elektrikli Motor Fonksiyon İlişkisi

olduğu gözükmemektedir. Bu fonksiyonlara göre uyum sağlayabilecek ve 24Vdc gerilim ile çalışabilecek motor olarak Şekil 3.6'da belirtilen MG.311 dişli kutulu motor seçilmiştir. Özellikleri Tablo 3.1 'de belirtilmiştir.



Şekil 3.6 MG.311 Motor Görseli

Tablo 3.1 MG.311 Motor Özellikler Tablosu

MG311 Motor Özellikleri		
Özellik Adı	Özellik Açıklama	Birim
Gerilim	24	VDC
AKIM	3	Amper
Yön	Saat Yönü ve Tersine	-
Fırça Tipi	Metal Fırçalı	-
Dişli Kutusu Dişlileri	Düz Dişli	-
Yatak Malzemesi	Bronz	-
Dişli Malzemesi	Basınçlı Kalay Döküm	-
Çıkış Momenti	9	kgcm
Devir	20	d/d

Bu özelliklere göre gerekli olacak dişli kutusu oranına düz dişlili dişli kutusu için bakılırsa,

$$T_{\text{dişlikutusu}} = T_{\text{Motor}} \times \text{Oran}_{\text{dişlikutusu}} \quad (3.1),$$

$$\text{Devir}_{\text{dişlikutusu}} = \text{Devir}_{\text{Motor}} / \text{Oran}_{\text{dişlikutusu}} \quad (3.2),$$

İstenilen çıkış momenti 5,7Nm olduğuna göre, denklem (3.1) de yerine koyulduğunda yaklaşık 6,333 oranı ortaya çıkmaktadır. Çıkış devri ise, denklem (3.2) de, aynı orana bölündüğünde yaklaşık 3,15 d/d değeri karşımıza çıkmaktadır. 90 derece olan açısal yolu kaç saniyede alacağını aşağıdaki hesaplamalar yoluyla hesaplanır.

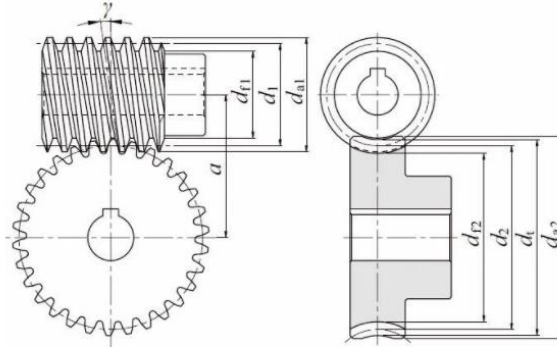
$$\frac{1}{4} \text{ Devir} = 90^\circ \quad \text{ise,}$$

3,15 d/d hız için ,1 Devir, 19 sn, olur.

$\frac{1}{4}$ Devir, yaklaşık $4,75 \cong 5$ sn'de gerçekleşir.

5sn'de 90 derecelik hareketi yakalaması hızlı bir değerdir. Ama gene de elektronik devre ile istenen yavaşlığa getirile bilinir.

Eğer diğer bir dişli aktarım sistemi olan sonsuz dişli sistemi incelenirse, bu dişli kutusu sisteminde bir sonsuz dişli, bir de karşılık dişlisi bulunmaktadır. Çalışma şekli Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Sonsuz Dişli ve Karşılık Dişlisi Takımı (KHK Gears,2021)

Bu dişli sisteminde çıkış momenti aşağıda verilen Tablo 3.2’de verilen denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

Tablo 3.2 Sonsuz Dişli ve Karşılık Dişlisi Denklemleri (KHK Gears,2021)

Özellik	Sembol	Birim	Formül	
Shaft Açısı	Σ	Derece	Önceden Belirlenmelidir.	
Eksenel/ En Modülü	$m_x * m_t$	mm		
Normal Basınç Açısı	α_n	Derece		
Diş Sayısı	z			
Referans Çap (Sonsuz Dişli)	d_1	mm		
Sürtünme Katsayısı	μ	-		
Giriş Torku	T_1	N*m		
Referans Çap (Karşılık Dişli)	d_2	mm	-	$z_2 m_t$ (3.3)
Referans Klavuz Açısı	γ	degree	$\tan^{-1} \frac{m_x z_1}{d_1}$ (3.4)	
Tanjant Kuvveti	$F_{t1} * F_{t2}$	N	$\frac{2000 T_1}{d_1}$ (3.5)	$F_{t1} \frac{\cos \alpha_n \cos \gamma_n - \mu \sin \gamma}{\cos \alpha_n \sin \gamma_n - \mu \cos \gamma}$ (3.6)
Eksenel Kuvvet	F_x		$F_{t1} \frac{\cos \alpha_n \cos \gamma_n - \mu \sin \gamma}{\cos \alpha_n \sin \gamma_n - \mu \cos \gamma}$ (3.7)	F_{t1} (3.8)
Radyal Kuvvet	F_r		$F_{t1} \frac{\sin \alpha_n}{\cos \alpha_n \sin \gamma + \mu \cos \gamma}$ (3.9)	
Verim	η_R	-	$\frac{\tan \gamma F_{t2}}{F_{t1}}$ (3.10)	
Çıkış Tork	T_2	N*m	-	$\frac{F_{t2} d_2}{2000}$ (3.11)

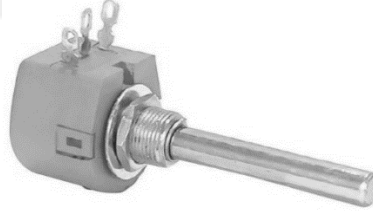
$$\text{Moment}_{\text{dişlikutusu}} = \frac{724,7 \cdot 32,04}{2000} = 11,6 \text{ Nm} \quad (3.15),$$

Denklemlerden çıkış hızına bakılırsa 1/40 oranında hız düşürmesi denklem (3.16) yardımıyla hesaplanarak,

$$20d/d \text{ için; } 20/40 = \frac{1}{2} d/d \text{ 'olarak bulunur.} \quad (3.16)$$

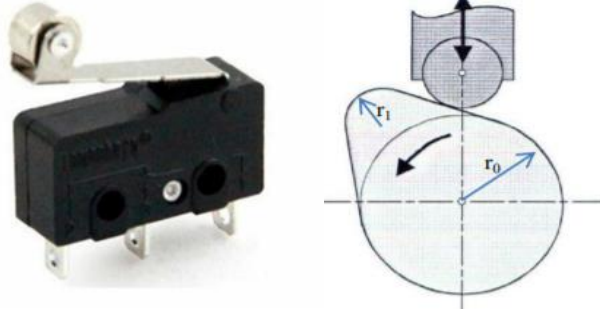
1 devir atma süresi 120 sn. olarak hesaplanır. $\frac{1}{4}$ devir süresi 30 sn. olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar neticesinde hem verilen moment oranı hem de hareket zamanı uygunluğu ve kullanılan eleman sayısı azlığı nedeniyle sonsuz dişli mekanizması seçilmiştir.

Motor ve dişli kutusu belirlendikten sonra sırada pozisyon takibi yapılacak mekanizmanın belirlenmesi gerekmektedir. Burada 10 turlu 10K direnç değerine sahip bir potansiyometre ile takip yapılması istenmektedir. Karşılık dişlimiz 90° hareket ederken potansin yaklaşık olarak 10 tur hareket elde edilmesi gerekmektedir. Seçilen potansiyometre görseli Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Potansiyometre Görseli

Kritik pozisyonların takibinin yapılabilmesi için mikro anahtar seçilmiştir. Bu anahtarların vananın 0° ve 90° pozisyonlarında mekanik tahrik alarak hareket etmesi istenmiştir. Seçilen mekanik anahtarların görselleri ve özellikleri Şekil 3.10 ve Tablo 3.4'te detaylandırılmıştır. Mikro anahtar kullanılmıştır. Bu anahtar mekanik olarak kontaklarını açma-kapama yapabilen ve uç kısmında bulunan silindir sayesinde kamlarda herhangi bir takılma olmadan rahatça hareketini tamamlayabilen bir anahtarlama elemanıdır.

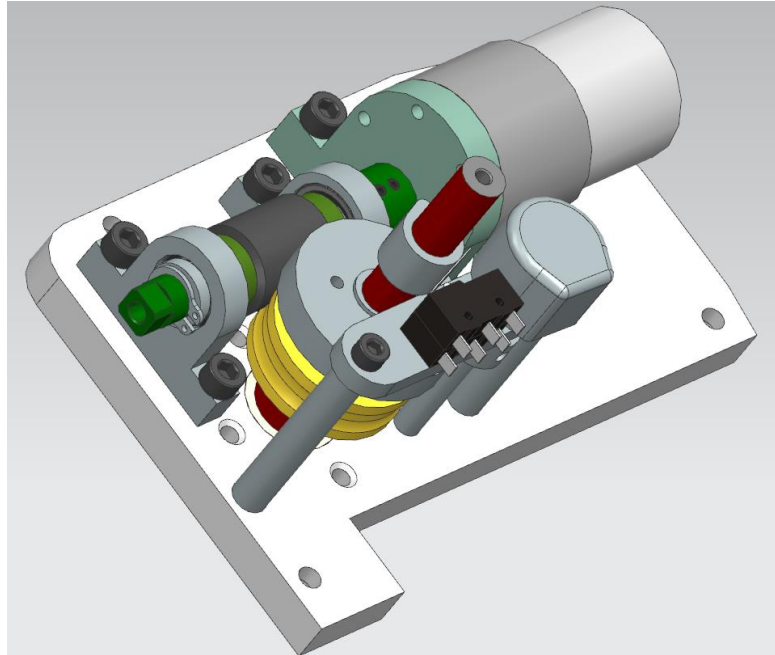


Şekil 3.10 Mekanik Anahtar Görseli ve Mekanizması

Tablo 3.4 KW12 Anahtar Özellikleri Tablosu

KW12 Siviç Özellikleri		
Anahtarlama Maksimum Gerilimi	250	VAC/DC
Anahtarlama Akımı	3 (250VAC/DC)- 5 (125VAC/DC)	Amper
Bağlantı Tipi	Şasi Bağlantılı Montaj	

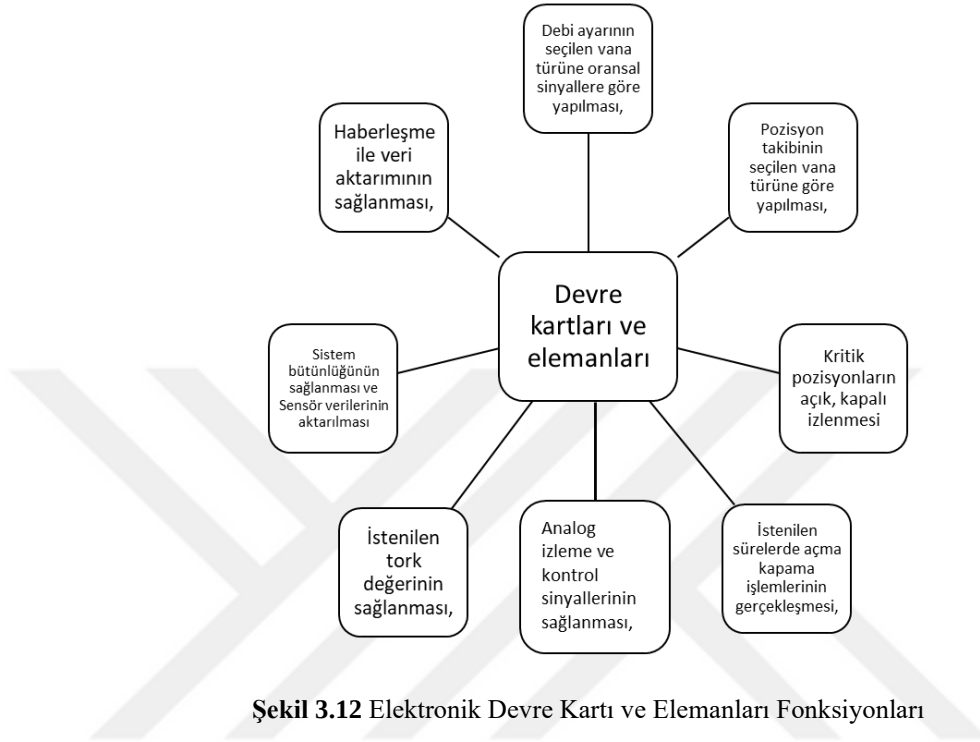
Elemanların bu özellikleri belirlendikten sonra ortaya çıkan taslak tasarım Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Motor-Dişli Kutusu-Potansiyometre Mekanizması Tasarım Görseli

3.4 Akıllı Vana Elektronik Tasarım

Seçilen motor, potansiyometre, anahtar tiplerine göre elektronik devre tasarımları ele alınacaktır. Devre kartının fonksiyonları Şekil 3.12’de belirtilmiştir,



Şekil 3.12 Elektronik Devre Kartı ve Elemanları Fonksiyonları

Devre kartı ve elemanları 6 eleman ile bağ halindedir. Bunlar;

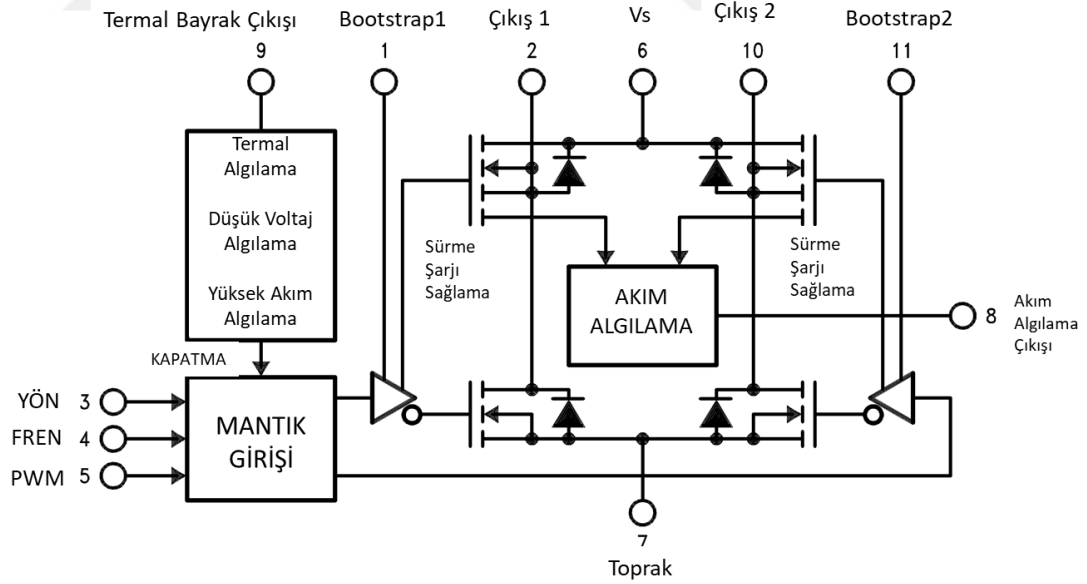
- Mekanik anahtarlar
- Potansiyometre,
- Elektrikli Motor,
- Şase ve Kapak Tasarımı,
- Algoritma ve yazılımlar,
- İşlemci, olarak belirtilmiştir.

Bu yapıda toplamda 3 eleman (Motor, Potansiyometre, Anahtarlar) belirlenmiştir. 3 eleman için daha belirleme yapılmamıştır. Şase ve kapak tasarımı en son durumda, tüm elemanlar netleştirildikten sonra ele alınacaktır. Algoritmalar istenen fonksiyonlara göre yazılacaktır. Burada en önemli konu işlemcinin istenen

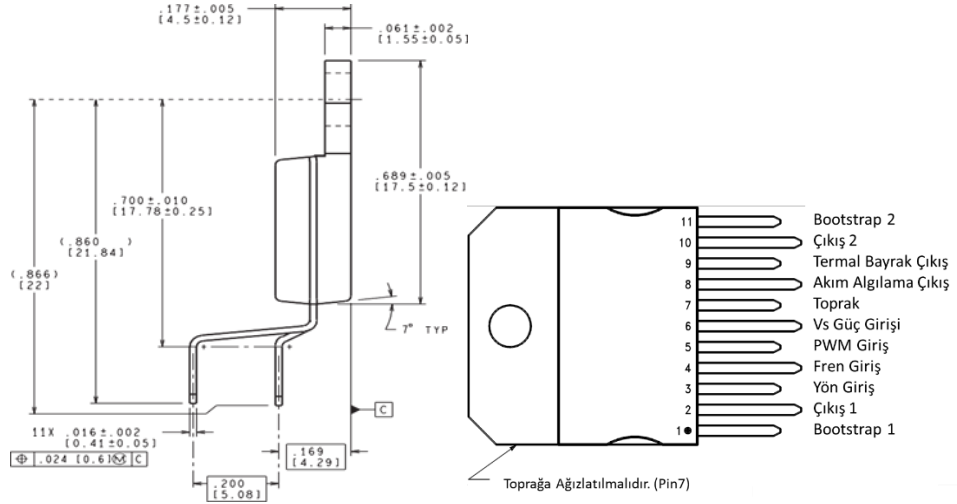
algoritmalarla göre çıkışları verebilmesidir. Bu sebeple İşlemci özelliklerini belirlerken bu kısım gözözetilecektir.

Motor sürme devresi, analog pozisyon takip devresi, analog izleme ve kontrol sinyalleri devresi, güç kaynağı devresi, gürültü engelleyici devreler, akım koruma devreleri, tasarlanacak devre kartının görev kısımları olarak belirlenmiştir.

Motor sürme entegresi, 24V, 3A olan dc motorumuzu PWM ile sürmesi ve çift yönlü hareketi komuta etmesi gerekmektedir. PWM sinyali gerekliliği istenilen zamanlarda açma ve kapama ayarlamalarını ayarlamak için gerekli olacaktır. Ayrıca işlemciden gelecek sinyaller ile çalışmaya geçmesi ve gelen sinyalle durma işlemini gerçekleştirmelidir. Bu kapsamda yapılan incelemede LMD 18200T entegresinin bu işlemleri gerçekleştirebileceği tespit edilmiştir. Şekil 3.13'te LMD 18200T entegresi fonksiyon diyagramı belirtilmiştir (Texas Instrument,1999). LMD 18200T için bağlantı noktaları ve boyutları Şekil 3.14'te belirtilmiştir.



Şekil 3.13 LMD 18200T Fonksiyon Diyagramı (Texas Instrument,1999)



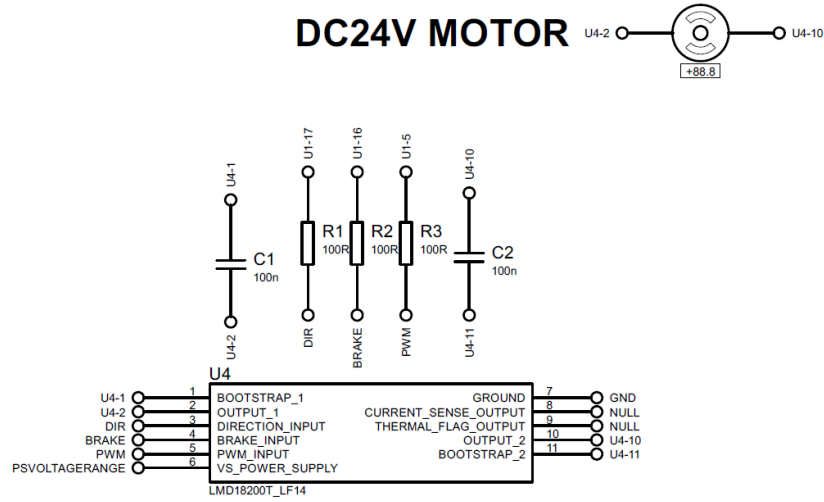
Şekil 3.14 LMD 18200T için Bağlantı Noktaları ve Boyutları (Texas Instrument,1999)

Entegre 55V ve 3A ile çalışmaya uygundur. Motor durdurma ve çalıştırma: Bağlantı noktası 4, “Fren Giriş”, Bu bağlantı noktası, Lojik 1 ve 0 vererek motorun frenlemesini sağlar ve/ya yol verir.

Yön değiştirme: Bağlantı noktası 3, “Yön” giriş sinyali. Bu bağlantı noktası, Mantık 1 ve 0 verilerek Motorun yönünün değişimini sağlamaktadır. Yön değiştirme işlemini H-köprü devresine göre gerçekleştirmektedir.

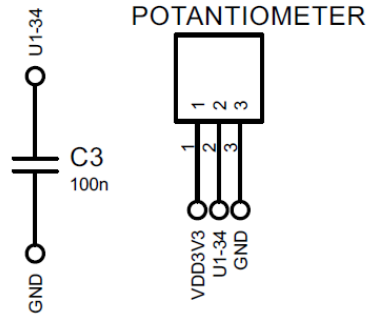
PWM ile motor devir ayarlama: Bağlantı noktası 5, “PWM Giriş”. Bu bağlantı noktasına PWM sinyali sağlanarak motorun devrini ayarlamaktadır.

Lmd 18200T entegresi ile kurulacak motor sürme devresi ve sahip olacağı elemanlardan oluşan devre şeması Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 LMD18200T Motor Sürme Devre Şeması ve Elemanları

Motor sürme devresi ve elemanları belirlendikten sonra, analog pozisyon takip devresi ele alınacaktır. Burada seçilen devre elemanı olan potansiyometre 5V dc besleme gerilim ile, analog sinyali işlemciye iletmesi istenmiştir. Potansiyometre 10k, tek turlu olarak seçilmiştir. Devre şeması olarak Şekil 3.16’da belirtilmiştir.

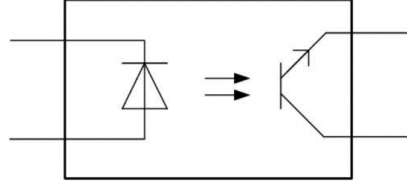


Şekil 3.16 Analog Pozisyon Okuma Potansiyometre Devresi

Kritik pozisyon takibi ile ilgili anahtarlardan sinyal aktarımını yapacak devre tasarımları için aktarımlarda devre izolasyonunu sağlamak adına opto-küplör kullanılması düşünülmüştür.

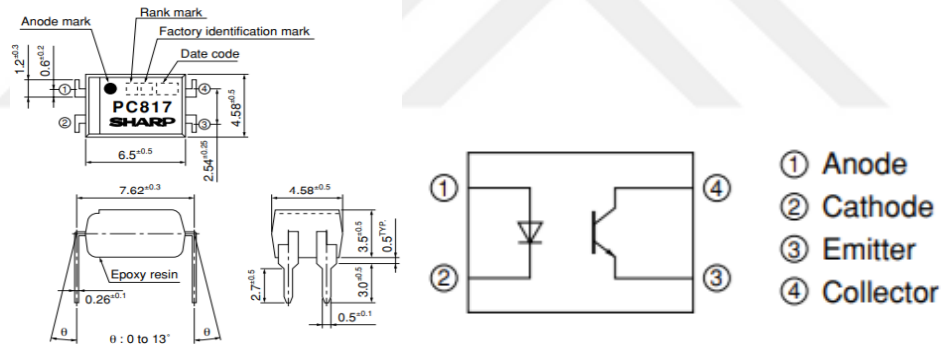
Opto-küplör kısaca, fotoküplör veya optik izolatör olarak da adlandırıla bilinmektedir. Opto-küplör, birbiri ile optik bağlantılı ışın verici ve bir foto alıcıdan

oluşacak herhangi bir elektriksel bağlantı olmadan düşük gerilimlerle, yüksek gerilim ve/ya akımları kontrol edebilmektedir. Bu devre elemanının asıl amacı ise iki devrenin birbiri ile fiziksel bağlantısını ayırmak yani elektriksel olarak yalıtım sağlamaktadır. Şekil 3.17’de temel çalışma prensibi görülmektedir.



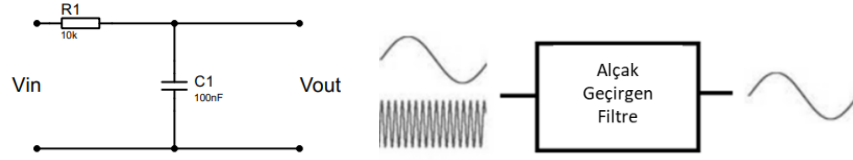
Şekil 3.17 Opto-küplör Temel Çalışma Prensibi Şeması

Kullanılacak devre elemanı olan PC817 opto-küplör, Şekil 3.18’de ve özellikler Tablo 3.5’te verilmiştir. Açık ve kapalı pozisyon bilgilerini aktaracak opto-küplörlü devre tasarımları Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 PC817 Optoküplör Devre Elemanı Temsili Görseli (Sharp, 2006)

Bu devre elemanının çalışabilmesi için 1 ve 2 numaralı bağlantı noktalarına sırasıyla Anot (+) ve Katot(-) polarma ile elektrik sinyali uygulanmasının ardından içinde bulunan ve 1 ve 2 numaralı bağlantı noktalarına bağlı olan foto diyot iletme geçecektir. 3 ve 4 numaralı bağlantı noktalarında bulunan foto-transistör bu iletme geçen ve ışın saçan diyotun sinyalini alarak 3 numaralı bağlı noktasına bağlı olan elektriksel sinyali 4 numaralı bağlantı noktasından geçirerek kontrolü yani anahtarlamayı sağlamaktadır.



Şekil 3.19 Alçak Geçirgen Filtre Temsili Devresi ve Çalışma Prensibi

Tablo 3.5 PC817 Özellik Tablosu (Sharp,2006)

PC 817 Özellik Tablosu							
Giriş	Parametre	Sembol	Açıklama	Min. Değer	Tipik	Max Değer	Birim
	İletim Gerilimi	V_F	$I_F=20\text{ mA}$		1,2	1,4	V
	Pik Gerilimi	V_{FM}	$I_{FM}=0.5A$			3	V
	Ters Akım	I_R	$V_R=4V$			10	μA
Çıkış	Kapasite	C_t	$V=0, f=1kHz$		30	250	pF
	Collector Karanlık Akım	I_{CEO}	$V_{CE}=50V, I_F=0$			100	nA
	Collektor-Emitter bozulma gerilimi	BV_{CEO}	$I_C=0.1\text{ mA}, I_F=0$	80			V
	Emitter-collector bozulma gerilimi	BV_{ECO}	$I_E=10\text{ }\mu A, I_F=0$	6			V
Tranfer Karakteristiği	Collector Akımı	I_C	$I_F=5\text{ mA}, V_{CE}=5V$	2,5		30	mA
	Collektor-emitter doyma gerilimi	$V_{CE(sat)}$	$I_F=20mA, I_C=1mA$		0,1	0,2	V
	İzolasyon rezistansı	R_{ISO}	DC500V, 40'tan 60%RH	5×10^{10}	1×10^{10}		Ω
	Akış kapasitesi	C_f	$V=0, f=1MHz$		0,6	1	pF
	Kesme Frekansı	f_c	$V_{CE}=5V, I_C=2mA, R_L=100\Omega, -3dB$		80		kHz
	Cevap Zamanı	Yükselme Zamanı (t_r)	$V_{CE}=2V, I_C=2mA, R_L=100\Omega$		4	18	μs
		Düşme Zamanı (t_f)			3	18	μs

Bu elemanın ortam gürültülerinden etkilenmemesi adına alçak geçirgen filtre hesaplaması yapılmış ve devreye eklenmiştir. Alçak geçirgen filtre, seçilen bir kesme frekansından daha düşük bir frekansa sahip olan sinyalleri iletmekte ve kesme

frekansından daha yüksek frekanslı sinyalleri zayıflatan bir filtredir. Şekil 3.19’da temsili devresi ve çalışma prensibi görselleştirilmiştir.

Optoküplör devresi için alçak geçiren filtre için hesaplamalar denklem (3.17)’de belirtilen eşitlik üzerinden yapılmıştır.

Kesme frekansı üzerinden hesaplamalar ile oluşturulan opto-küplör devresi şeması Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Bu devrede istenen 24VDC giriş sinyali anahtarlandığında, optoküplör devre elemanının 5VDC sinyali işlemciye iletmesidir. İşlem esnasında mekanik veya çevresel faktörlerden istenmeyen gürültüler oluşabilmektedir. Bu gürültüyü engellemek adına alçak geçiren filtre de devreye eklenmiştir.

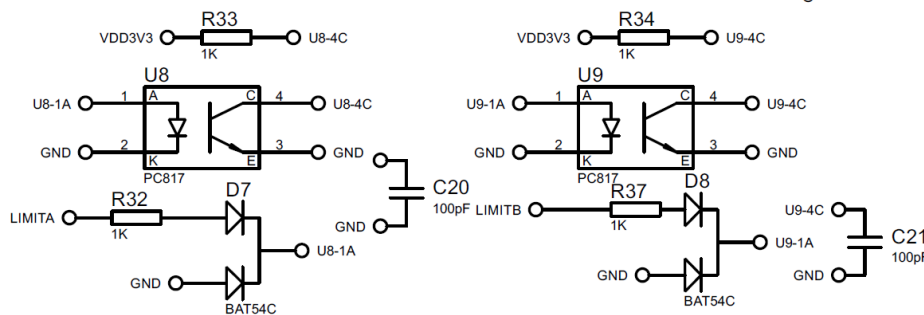
Cut-Off (Kesme) Frekansı F_c Hesaplaması için denklem (3.17) kullanılmıştır (Texas Instruments,2002);

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.17)$$

Burada R direnç değeri ve C kapasitör değerini ifade etmektedir. Denklem (3.17)’de değerler koyularak hesaplama yapılır ise;

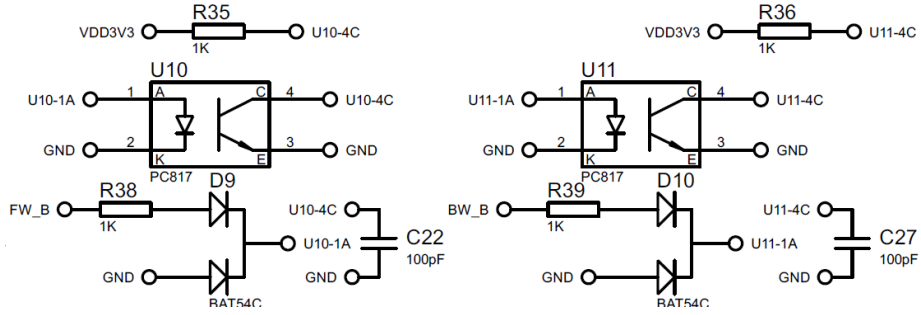
$$F_c = \frac{1}{2\pi * 10000 * 100 * 10^{-9}} = 159.23 \text{ Hz} \quad (3.18)$$

elde edilir. Bu değer sistem çalışma frekanslarını etkilemeyeceği için yeterli kabul edilmiştir.



Şekil 3.20 Limit Anahtarlama Devresi ve Devre Elemanları

Şekil 3.20'deki devre, açık ve kapalı pozisyon bilgilerini veren limit anahtarlamalar için oluşturulmuştur. El ile kontrolü yapmayı sağlayan anahtarlamaların devre tasarımı aşağıda gösterilmiştir. Bu anahtarlar ileri ve geri hareketi başlatan anahtarlardır.

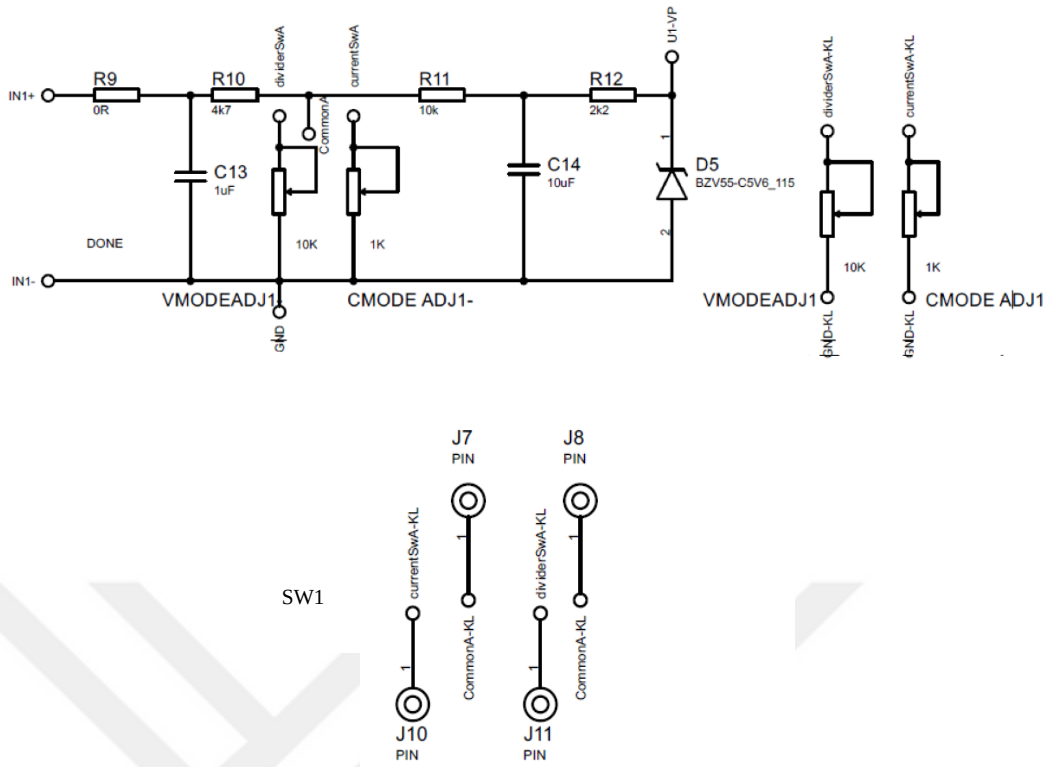


Şekil 3.21 Manuel Kontrol Anahtarlama Devresi ve Devre Elemanları

Bu devre kısmından sonra izleme analog sinyal kısmı tasarımları ele alınmıştır. İzleme vana kontrol sinyalleri, kullanıcı tercihinine göre,

- 0-3.3V,
- 4-20 mA, şeklinde tasarlanmıştır.

Şekil 3.22'de devre şeması verilmiştir. Kullanıcı seçimi devrede bulunan SW1 anahtarlamasından yapmaktadır. SW1'nin görevi gerilim veya akım miktarından hangisini izleyeceğinin seçimini yapmaktır. Devrede bulunan iki adet trimpot ise gerilim ve akım değerleri için genlik (span) ayarını yapmaktadır. İlgili devreden iki adet analog giriş sinyali için tasarlanmıştır.

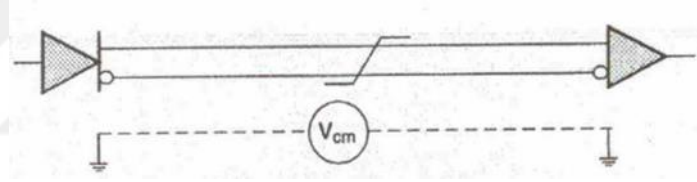


Şekil 3.22 İzleme Sinyalleri için Tasarlanan Devre Görseli

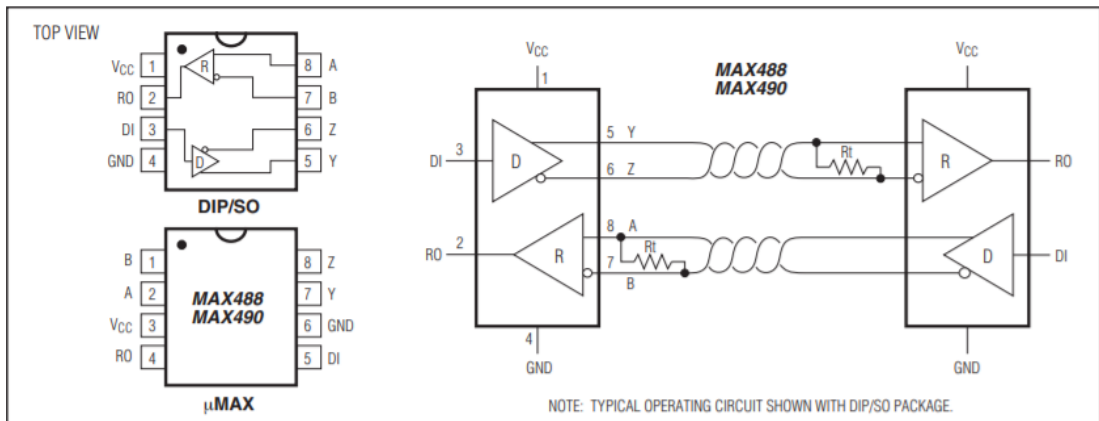
Devrenin simülasyonları ve değerlerin kontrolleri yapılmıştır. Seçimi yapılan diyot (D5) ters akımları engellemek amacıyla devreye eklenmiştir.

Giriş sinyallerinden olan debi sinyallerinin izlenmesi için ayrı bir devre tasarımı yapılmıştır. Sinyal yapısı birim basamak ve yüksek frekanslı bir sinyal olduğu için yüksek frekansa uygun bir optoküplör (4N35 entegre) yapısı tercih edilmiştir. Tasarımı yapılan devre Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

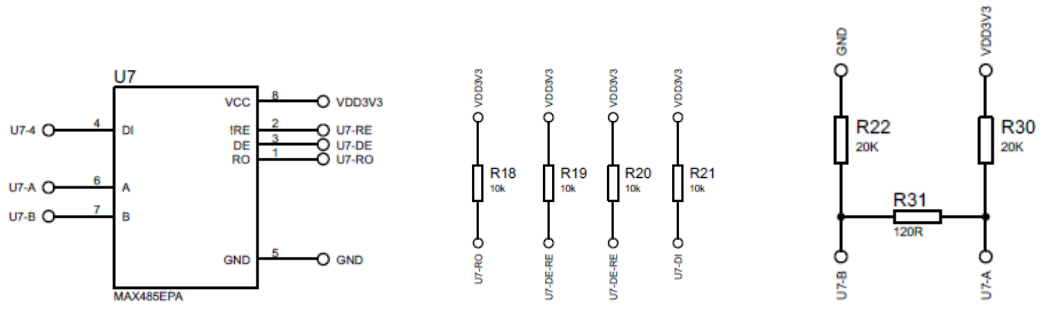
Analog sinyal izleme devresinin ardından haberleşme devresi tasarımına geçilmiştir. Devrenin, çevre ile Rs-485 altyapısı ile Modbus haberleşme protokolü kullanılarak haberleşmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Max485 entegresi incelenmiştir. RS-485 haberleşme protokolü genellikle daha uzun mesafelerde, gürültülü ortamlarda, daha yüksek hız ile haberleşme sağlanması gereken yerlerde, çok alıcı ve vericinin haberleşme sağlanması gerektiren yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir seri iletim ortamı olarak da adlandırılabilir. RS-485'in temeli hat üzerinden verilerin iletilmesi mantığına dayanmaktadır. Bu haberleşme protokolü, A ve B olarak adlandırılan iki kablo üzerinden haberleşme sağlanmaktadır. Bu iki uç dengelenmiş hatlardır. Bu dengelenmiş hatların vericilerinde fark kuvvetlendirici sürücüler, alıcılarda ise fark alıcı sürücüler bulunmaktadır. Örnek olarak bu hat Şekil 3.25'te ki gibidir. Bu özelliği sağlayan Max-485 entegresi iç yapısı Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Rs-485 Hat Yapısı Görseli (Anonim)



Şekil 3.26 Max-485 Paket Yapısı (Maxim Integrated, 2014)

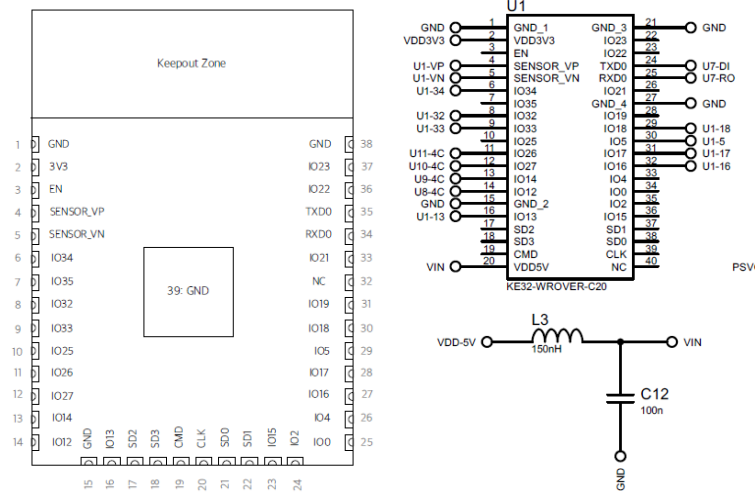


Şekil 3.27 Max-485 Entegreli RS-485 Haberleşme Devre Tasarımı Görseli

Max-485 entegresi için oluşturulan devre tasarımı Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Devre ile bütünleşik yapıda çalışacak işlemci ve işlemci yapısının seçimi ve tasarımlara eklenmesi gerekmektedir. Bunun için toplam ihtiyaç duyulan dijital giriş, çıkışların sayısı, analog giriş ve çıkışların sayısı ve haberleşme devresi için gerekli haberleşme pimleri dikkate alınarak, Espressif sisteme ait ESP32 işlemcisine sahip ESP-32 WROOM-32D paket seçilmiştir. Özellikleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir (Espressif Systems,2018);

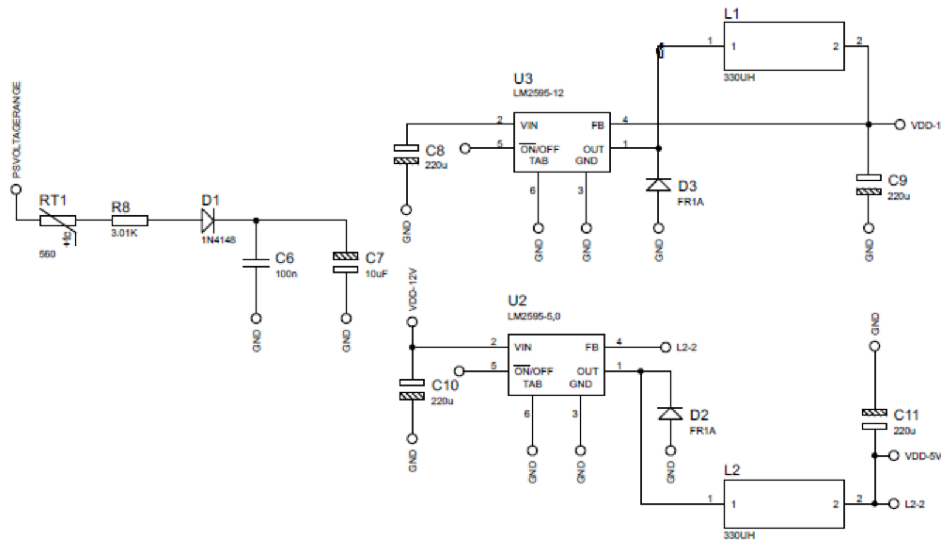
- Wi-Fi protokol uygunluğu,
- Wi-Fi Bant aralığı 2.4...2,5 GHz,
- Bluetooth radio ve audio girişi,
- SD kart, Uart, SPI, SDIO, I2C, PWM Sürme veya giriş, I2S ve IR arayüzleri,
- 40MHz kristal hızı,
- İşlemcide hall ve sıcaklık sensörleri,
- Çalışma gerilimi 2.7...3,6V
- Çalışma akımı ortalama 80mA,
- Minimum güç kaynağı dağıtım akımı 500 mA,
- Çalışma sıcaklığı -40°...+85°,
- Wi-Fi modları; Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
- Wi-Fi Güvenlik: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Network protokolleri: IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
- 32 adet ADC veya DAC giriş çıkış imkânı,

İşlemci paket yapısı Şekil 3.28’de belirtilmiştir.

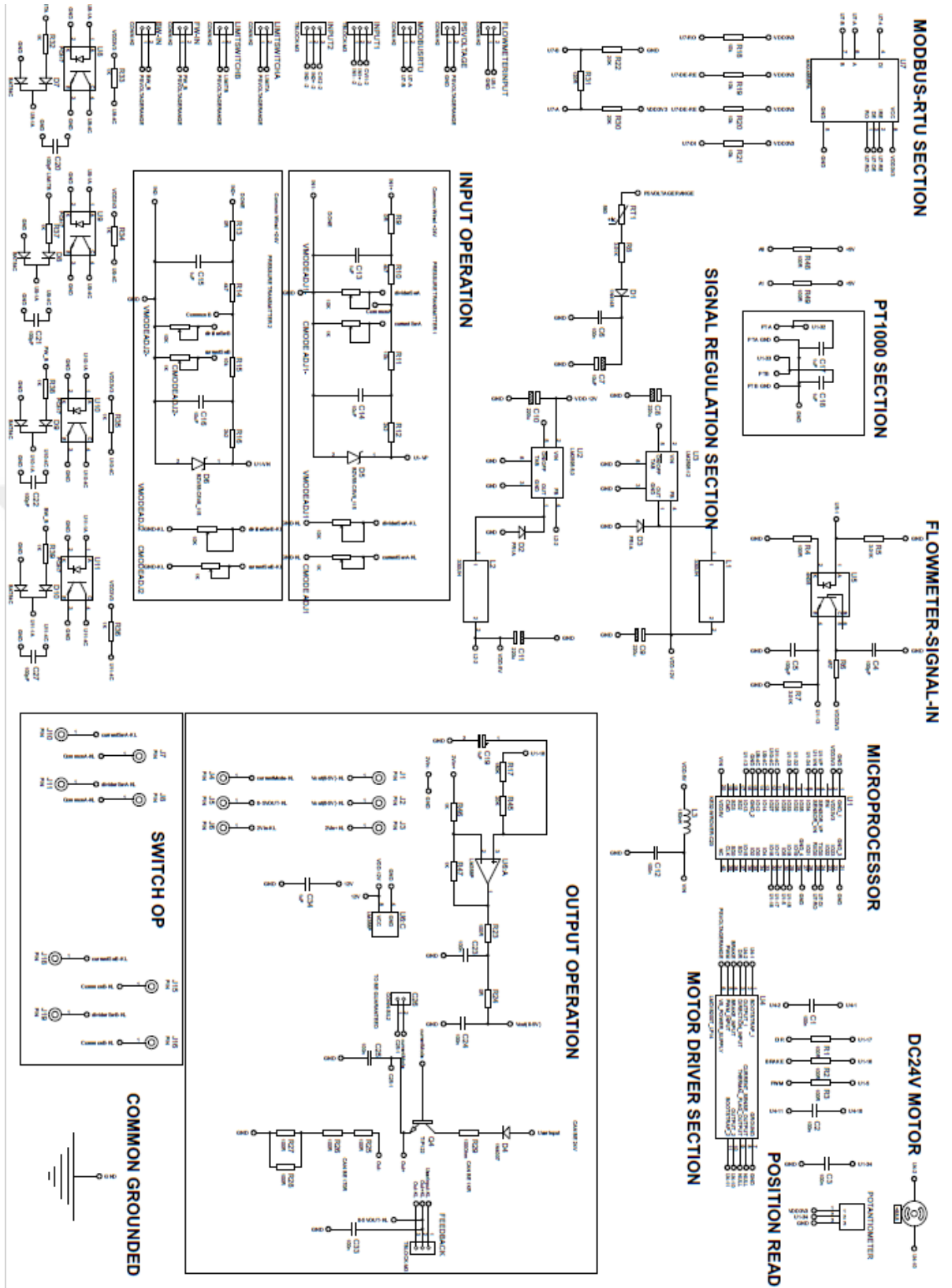


Şekil 3.28 ESP-32 WROOM-32D Paket Yapısı ve Tasarımı (Espressif Systems,2018)

Devrede hem 5V dc hem de ESP32 beslemeleri için farklı dc gerilimlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sebeple güç kaynağı tasarımları yapılmıştır. Bu devre tasarımında kullanılan regülatör entegresi LM2596-12 etiketli 12V çıkış veren entegre tipi tercih edilmiştir. Bu entegre ve kurulan devre ile birlikte 3A akım, %90 verimle alınabilmektedir (Texas Instruments,2021). Kurulan güç kaynağı DC-DC regülasyon devresi Şekil 3.29’da görseli verilmiştir.

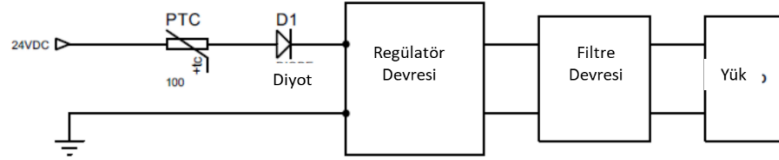


Şekil 3.29 Güç Kaynağı Devresi 12VDC-5VDC



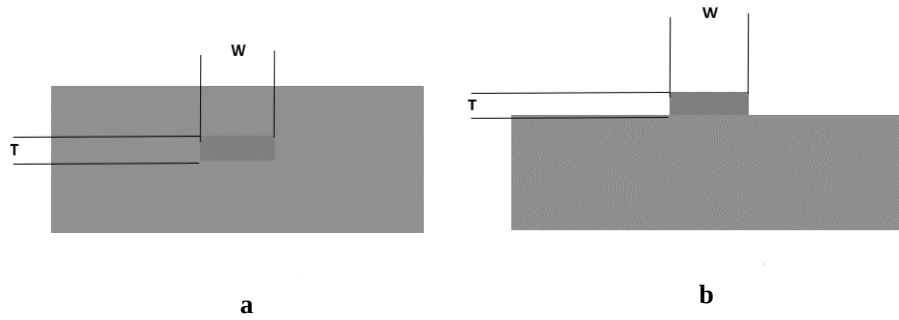
Şekil 3.30 Bütünleştirilmiş Devre Tasarımları Şeması

Şekil 3.30’da bütünleştirilmiş devre yapıları gösterilmiştir. Elektronik kart PCB, tasarımlarında ayrıca koruma devre elemanı olarak, Termistör(PTC) seçimi yapılmıştır. Sistemde eğer bir hata var ise PTC’nin direnci artarak ve akımın azalmasına yol açarak ve hatta doyum noktasında akımı tamamen keserek sistemin geri kalan kısmını koruma işlemini gerçekleştirecektir.



Şekil 3.31 Termistör Koruma Elemanı Blok Gösterimi

Pcb tasarımlarında iç katman yol tipleri ve dış katman yol tipleri olmak üzere iki tip iletim yolu bulunmaktadır. Bu tasarımda Şekil 3.32’de belirtilen, b tipi, dış katman yol kullanılmıştır.



Şekil 3.32 Pcb Kart İletim Yol Tipleri, a: İç katman yol, b:dış katman yol

Kart tasarımlarında uygun devre yol kalınlıkları hesaplamaları aşağıda belirtilen denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Yol Kesit Alanı} = A = W * T, (\text{mil}^2) \quad (3.19)$$

$$W = \frac{A}{T}, (\text{mils}) \quad (3.20)$$

$$Yol\ Genişliği = W\ (mils), Akım = I(Amper), Sıcaklık\ Artışı = T_{art}(^{\circ}C) \quad (3.21)$$

$$A = \left(\frac{I}{k(T_{art})^b}\right)^{1/c} \text{ ve } k=0.048, b= 0.44, c= 0,725 \quad (3.22)$$

Sabitler olan k, b ve c IPC-2221 standardına göre dış katman yol tipine göre değerlerdir (IPC, 2003).

Devre elemanlarının çalışma akımları aşağıdaki Tablo 3.6’de belirtilen şekilde belirlenmiştir. Tablo 3.7’de belirtilen devre yol kalınlıkları hesaplanmıştır.

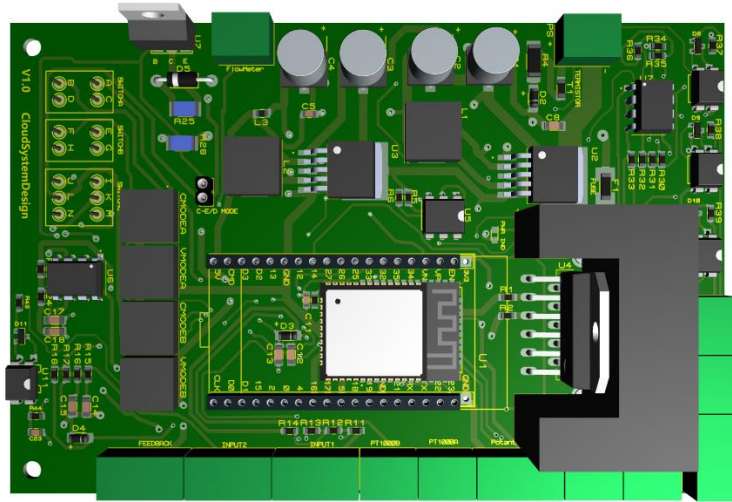
Tablo 3.6 Devre Elemanları ve Akımları

Devre Elemanları Akım Değerleri		
Devre Elemanı İsmi	Miktar	Birim
ESP32 WROOM 32D Toplam	580	mA
PC817 Optoküplör	50	mA
SP485CS Kısa Devre Akımı	250	mA
SP485CS alışma Akımı	0,9	mA
24VDC motor 9 Kgcm	3000	mA
Hesaplanan Ana Toprak Akımı	3880,90	mA
Emniyetli Ana Toprak Akımı	5821,4	mA
Motor ground(peak)	3000	mA
Motor current	5911,5	mA
ESP32 WROOM 32D ground	580	mA
ESP32 WROOM 32D current	870	mA
LMD18200		
Logic Low Input Current 3, 4, 5 pins	0,01	mA
Current Sense Output 8 pin	0,45	mA
Quiescent Supply Current	25	mA
Supply current(Supply Voltage 24V)	12	mA
Supply current	0,9	mA
PC817		
Input forward current	50	mA
Output collector current	50	mA
ESP WROOM 32D		
DC Current on I/O Pins	80	mA
DC Current per VCC and GND Pins	500	mA

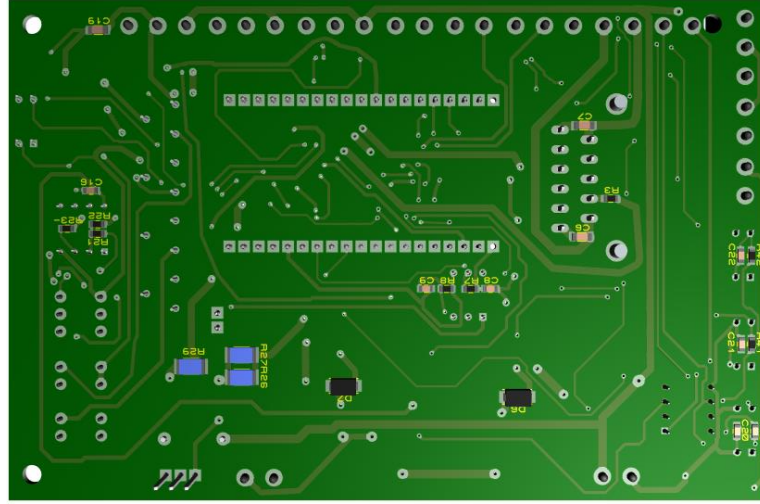
Devre tasarımları ve devre elemanları, işlemci seçimi ile yol kalınlıkları hesaplamalarına göre Şekil 3.33 ve Şekil 3.34’te belirtilen devre kart tasarımı tamamlanmıştır.

Tablo 3.7 Hesaplanan Devre Yol Genişlikleri Tablosu

Devre Yol Genişliği Tablosu (W)		
Topraklama		
Emniyet Katsayısı	1,970516	k
Min Yol Kalınlığı	2,6	mm
Yol Kalınlığı	4,55	mm
Motor Güç		
Emniyet katsayısı	1,5	k
Min yol kalınlığı	2,035	mm
Yol kalınlığı	4,01	mm
Sinyalizasyon		
Min yol kalınlığı	0,217	mm
Yol kalınlığı	0,762	mm



Şekil 3.33 Bütünleşik Devre Kart Tasarımı Ön Görünüş



Şekil 3.34 Bütünleşik Devre Kart Tasarımı Arka Görünüş

Devre üzerinde bulunan elemanlara ait eleman listesi Tablo 3.8’de belirtilmiştir.

Tablo 3.8 Devre Eleman Listesi

Parça Numarası	Açıklama	Yerleşim Tipi	Miktar
U1	ESP-32 WROOM	TH	1
U2	LM2575_12V	SMD	1
U3	LM2575_5V	SMD	1
U4	LMD18200T	TH	1
U5	4N35	TH	1
U6	LM358P	TH	1
U7	TIP122	TH	1
U8	PC817	TH	1
U9	PC817	TH	1
U10	PC817	TH	1
U11	PC817	TH	1
L1	330uH	SMD	1
L2	330uH	SMD	1
L3	120R	SMD	1
R1	100R	SMD	1
R2	100R	SMD	1
R3	100R	SMD	1
R5	10K	SMD	1
R6	100R	SMD	1
R7	4R7	SMD	1
R8	22K	SMD	1
R9	100R	SMD	1
R10	100R	SMD	1
R11	0R	SMD	1
R12	1K	SMD	1
R13	2K	SMD	1
R14	1K	SMD	1

Tablo 3.8 Devamı			
R15	0R	SMD	1
R16	1K	SMD	1
R17	2K	SMD	1
R18	1K	SMD	1
R19	22K	SMD	1
R20	10K	SMD	1
R21	1K	SMD	1
R22	2K2	SMD	1
R23-	10K	SMD	1
R23	100R	SMD	1
R24	0R	SMD	1
R25	100R	SMD	1
R26	100R	SMD	1
R27	100R	SMD	1
R28	100R	SMD	1
R29	100R	SMD	1
R30	10K	SMD	1
R31	10K	SMD	1
R32	10K	SMD	1
R33	10K	SMD	1
R34	20K	SMD	1
R35	20K	SMD	1
R36	120R	SMD	1
R37	1K	SMD	1
R38	1K	SMD	1
R39	1K	SMD	1
R40	1K	SMD	1
R41	1K	SMD	1
R42	1K	SMD	1
R43	1K	SMD	1
R44	1K	SMD	1
C1	220u/50V	SMD	1
C2	220u/50V	SMD	1
C3	220u/50V	SMD	1
C4	220u/50V	SMD	1
C5	1u	SMD	1
C6	100nF 50V	SMD	1
C7	100nF 50V	SMD	1
C8	100p	SMD	1
C9	100p	SMD	1
C10	1u	SMD	1
C11	1u	SMD	1
C12	10u	SMD	1
C13	10u	SMD	1
C14	10u	SMD	1
C15	10u	SMD	1
C16	100p	SMD	1
C17	100n	SMD	1
C18	100n	SMD	1
C19		SMD	1

Tablo 3.8 Devamı			
C20	100p	SMD	1
C21	100p	SMD	1
C22	100p	SMD	1
C23	100p	SMD	1
T1	PTC TERM	SMD	1
D2	1N4148	SMD	1
D3	3v9ZENER	SMD	1
D4	3v9ZENER	SMD	1
D5	1N4007	TH	1
D8	BAT54C	SMD	1
D9	BAT54C	SMD	1
D10	BAT54C	SMD	1
D11	BAT54C	SMD	1
F1	500mA	SMD	1
PWR IND LED	LED	SMD	1
TRIMPOT / CMODEA	1K	TH	1
TRIMPOT / CMODEB	1K	TH	1
TRIMPOT / VMODEA	10K	TH	1
TRIMPOT / VMODEB	10K	TH	1
DIP-SWITCH / SWITCHA	2 SWITCH	TH	1
DIP-SWITCH / SWITCHB	2 SWITCH	TH	1
DIP-SWITCH / SWITCHC	2 SWITCH	TH	1
DIL-08	CASE	SMD	1
DIL-08	CASE	SMD	1
TERMINAL-LIMIT SWITCH A	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-LIMIT SWITCH B	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-A RTU B	TERMINAL	TH	1
TERMINAL- DC MOTOR	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-PT1000A	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-PT1000B	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-FLOWMETER	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-PS+	TERMINAL	TH	1
TERMINAL F-B	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-POTANTIOMETER	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-INPUT1	TERMINAL	TH	1
TERMINAL-INPUT2	TERMINAL	TH	1
POTANTIOMETER	10K	TH	1

3.5 Sensör Özellikleri

Tasarlanan aktuatör mekanizması, akıllı vana sistem mimarisinde bahsedilen ölçümleri gerçekleştirebilmek adına farklı sensörler ile bütünleştirilmesi gerekmektedir. Yapılacak ölçümler, sıcaklık, basınç ve debi üzerine olacaktır.

Aşağıdaki Şekil 3.35’de seçilen basınç sensörü ve tablo 3.9’da özellikleri yer almaktadır.



Şekil 3.35 Fark Basınç Sensörü 4-20 ma Görseli

Tablo 3.9 Basınç Sensörü Özellikleri Tablosu

MPS550 Serisi Basınç Sensör Bilgileri Tablosu				
Dayanım Derecesi	Min.	-40 °C	Maks.	125 °C
Sıfırlama Toleransı	0,1%			
Oranlama Toleransı	0,25%			
Cevap Zamanı	1	ms		
Ömür	100	Milyon Çevrim		
IP sınıfı	IP67			
Akım Çıkış Gerilimi	Min.	4ma	Maks.	20ma
Besleme Gerilimi	Min.	8V dc	Maks.	36V dc
Basınç Alanı	Min.	0 Bar	Maks.	300 mbar

Debi ölçme sistemi için pulse çıkışlı, işlemciye veri aktarımını yapacak debimetre cihazı seçimi yapılmıştır. Seçilen debimetrenin görseli Şekil 3.36’da ve debimetrenin özellikleri Tablo 3.10’da belirtilmiştir.



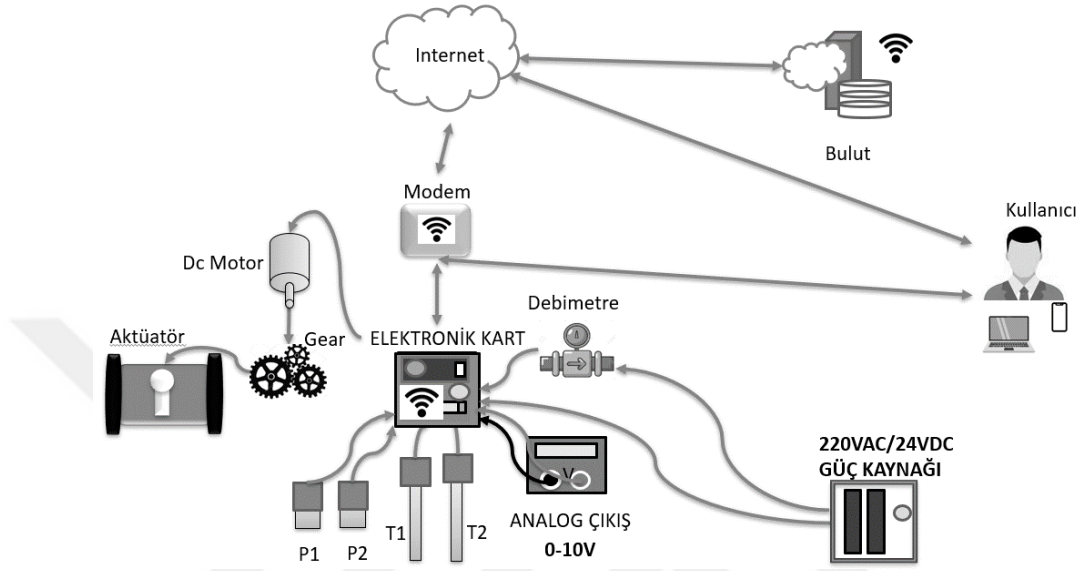
Şekil 3.36 Debimetre Ölçüm Sensörü Görseli (SIKA Dr. Siebert & Kühn GmbH & Co. KG,2020)

Tablo 3.10 Debimetre Özellikleri Tablosu (SIKA Dr. Siebert & Kühn GmbH & Co. KG,2020)

Debimetre Özellikleri Tablosu				
Bağlantı Ölçüsü	G 1" ISO 228 Erkek			
İç çap	DN 20			
Akış Aralığı	Min.	5 lt/dk	Maks.	250 lt/dk
Hassasiyet	±%1.8			
Tekrarlanabilirlik	1%			
Cevap Zamanı	<500ms			
Sıcaklık Aralığı	Min.	-20 °C	Maks.	90 °C
Çalışma Basıncı	16 bar			
Besleme Gerilimi	24VDC			
Çalışma Akımı	<150mA			
Çıkış Sinyal Tipi	Pulse			
Pulse Aralığı	100		pulse/lt	
Çözünürlük	10		ml/pulse	
Sinyal Akımı Miktarı	<100 ma			
Sinyal tipi	Kare dalga sinyal	Görev Oranı 50:50, Çekme- itme		

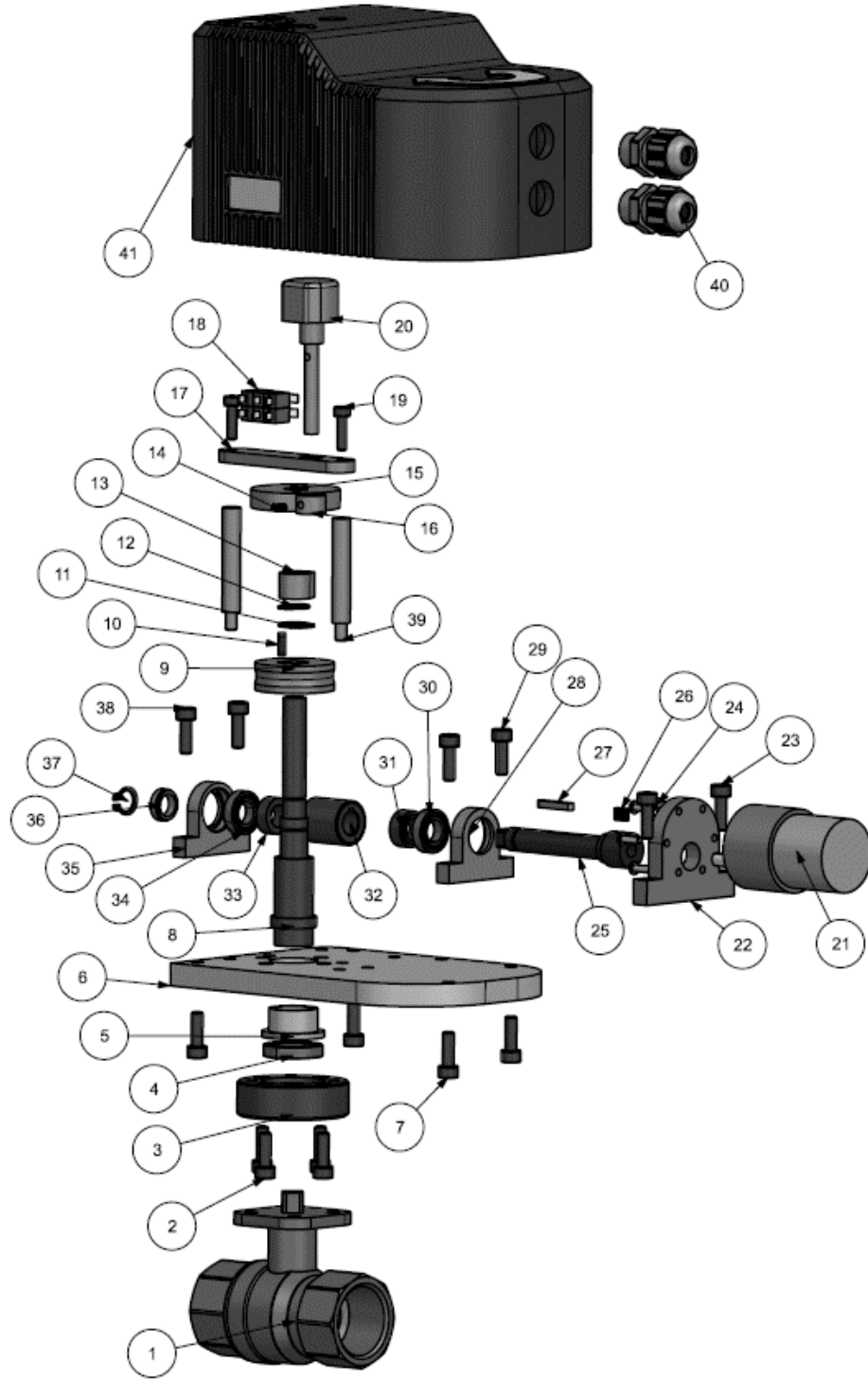
3.6 Bütünleşik Akıllı Cihaz Tasarımı

Sistemin, debi ölçme cihazı, sıcaklık ölçme modülü ve sıcaklık, basınç sensörlerinden kurulan devre tasarımı Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



Şekil 3.37 Sistem devre tasarımı

Aktüatör sistemi ile ilgili kapak imalatları ile eleman dağılım görseli Şekil 3.38’de gösterilmiştir. Bu görselde belirtilen eleman numaralarına göre eleman listesi Tablo 2.16’da belirtilmiştir.



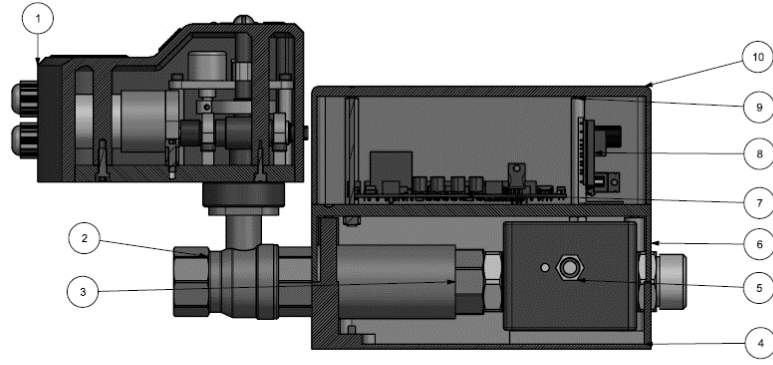
Şekil 3.38 Aktuatör Eleman Görselleri ve Montaj Görseli

Tablo 3.11 Aktuatör Eleman Listesi

Parça Numarası	Parça Adı	Parça Adedi	Açıklama
1	TEPE FLANŞLI KÜRESEL VANA	1	STANDART MALZEME
2	M5x15 6.8 IMBUS CİVATA GALVANİZLİ	4	STANDART MALZEME
3	VANA BAĞLANTI FLANŞI	1	TEKNİK RESİM
4	61803-2RS1 RULMAN	1	STANDART MALZEME
5	MİL MERKEZLEME BURCU	1	TEKNİK RESİM
6	AKTÜATÖR GÖVDE	1	TEKNİK RESİM
7	M5x15 6.8 IMBUS CİVATA GALVANİZLİ	4	STANDART MALZEME
8	MERKEZ MİLİ	1	TEKNİK RESİM
9	A25U40 KARŞILIK DİŞLİSİ	1	STANDART MALZEME
10	3x3 x10 KAMA	1	TEKNİK RESİM
11	Ø12 SEGMAN	1	STANDART MALZEME
12	Ø10 SEGMAN	1	STANDART MALZEME
13	SWITCH KAMI	1	TEKNİK RESİM
14	M3x5 SETSKUR 6.8 GALVANİZLİ	1	STANDART MALZEME
15	POTANS DİŞLİSİ 1	1	TEKNİK RESİM
16	POTANS DİŞLİSİ 2	1	TEKNİK RESİM
17	POTANS-SWITCH SACI	1	TEKNİK RESİM
18	SWITCH	2	STANDART MALZEME
19	M4x15 6.8 IMBUS CİVATA GALVANİZLİ	2	STANDART MALZEME
20	POTANS	1	STANDART MALZEME
21	MOTOR MUGUL MG311	1	STANDART MALZEME
22	MOTOR BAĞLANTI SACI	1	TEKNİK RESİM

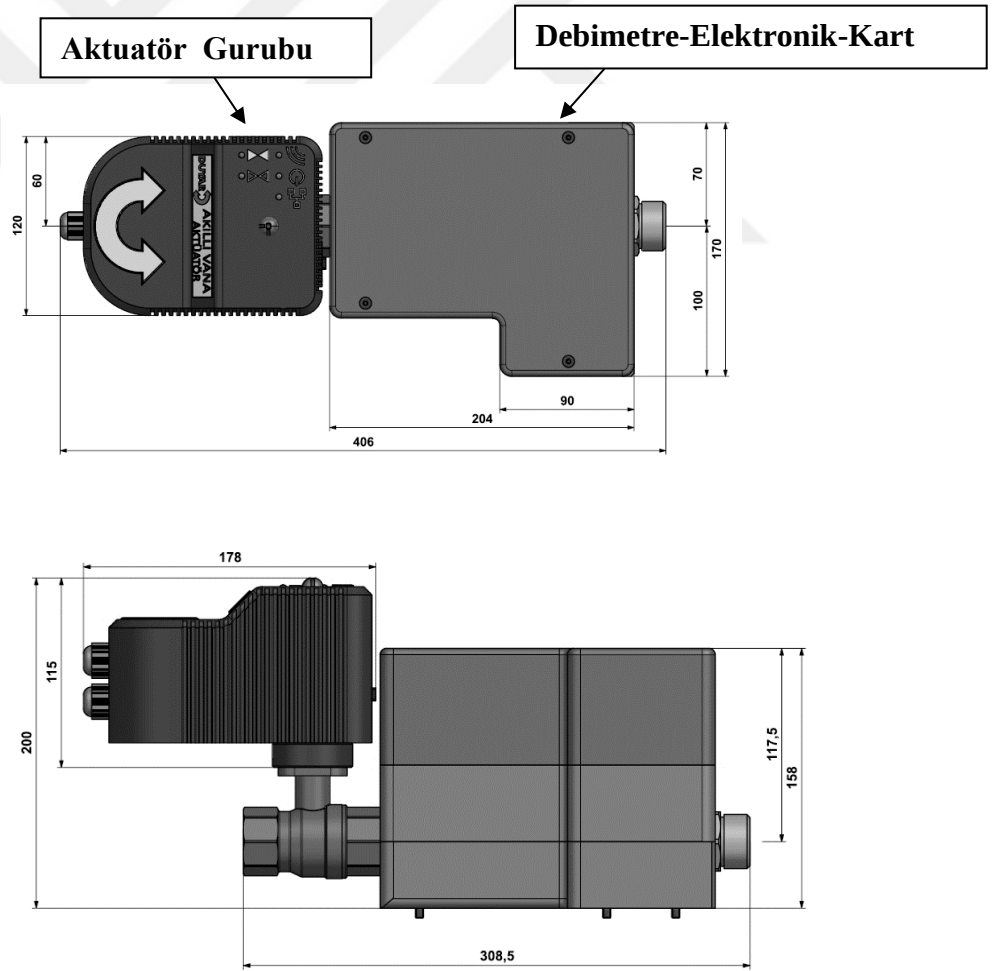
Tablo 3.12 Devamı			
23	M5x15 6.8 IMBUS CİVATA GALVANİZLİ	2	STANDART MALZEME
24	M3x10 6.8 SOKET BAŞLI İMBUS CİVATA GALVANİZLİ	6	STANDART MALZEME
25	MOTOR TAHRİK MİLİ	1	TEKNİK RESİM
26	M3x5 SETSKUR 6.8 GALVANİZLİ	2	STANDART MALZEME
27	3x3x20 KAMA	1	TEKNİK RESİM
28	RULMANLI MERKEZLEME SACI 1	1	TEKNİK RESİM
29	M5x15 6.8 IMBUS CİVATA GALVANİZLİ	2	STANDART MALZEME
30	6800 ZZ RULMAN	1	STANDART MALZEME
31	RULMAN BASKI PULU 1	1	TEKNİK RESİM
32	A25U40 SONSUZ DİŞLİ	1	STANDART MALZEME
33	RULMAN BASKI PULU 2	1	TEKNİK RESİM
34	6800 ZZ RULMAN	1	STANDART MALZEME
35	RULMANLI MERKEZLEME SACI 2	1	TEKNİK RESİM
36	MİL BOŞLUK ALMA PULU	1	TEKNİK RESİM
37	Ø10 SEGMAN	1	STANDART MALZEME
38	M5x15 6.8 IMBUS CİVATA GALVANİZLİ	2	STANDART MALZEME
39	POTANS-SWITCH SACI BAĞLANTI MİLİ	2	TEKNİK RESİM
40	PG7 KABLO RAKORU	2	STANDART MALZEME
41	AKTÜATÖR GÖVDE KAPAĞI	1	TEKNİK RESİM

Oluşturulan tasarımlara göre aktuatör sistemi, elektronik devre gurupları, debimetre ile bütünleştirilmiş tasarım, Şekil 3.40'ta gösterilmiştir. Kesit Görünümü Şekil 3.39'da gösterilmiştir.



NO	İSİM
1	Aktuatör
2	DN25 Tepe Flanşlı Küresel Vana
3	Ara Bağlantı Parçası
4	Gövde
5	Debimetre
6	Gövde Ara Kapak
7	Elektronik Kart
8	Power Supply
9	Bağlantı Mili
10	Gövde Üst Kapak

Şekil 3.39 Elektronik Kart Gurubu, ve Debimetre Yerleşimlerinin Kesit Görünümü

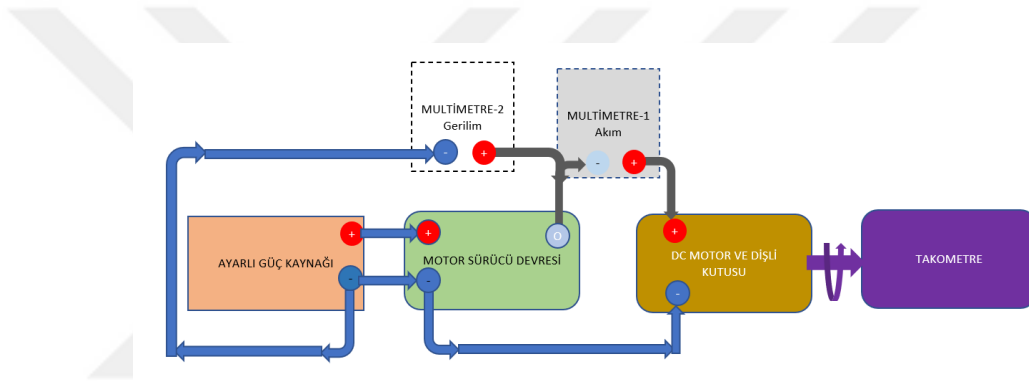


Şekil 3.40 Sistem Bütünleşik Tasarımı ve Ölçüleri

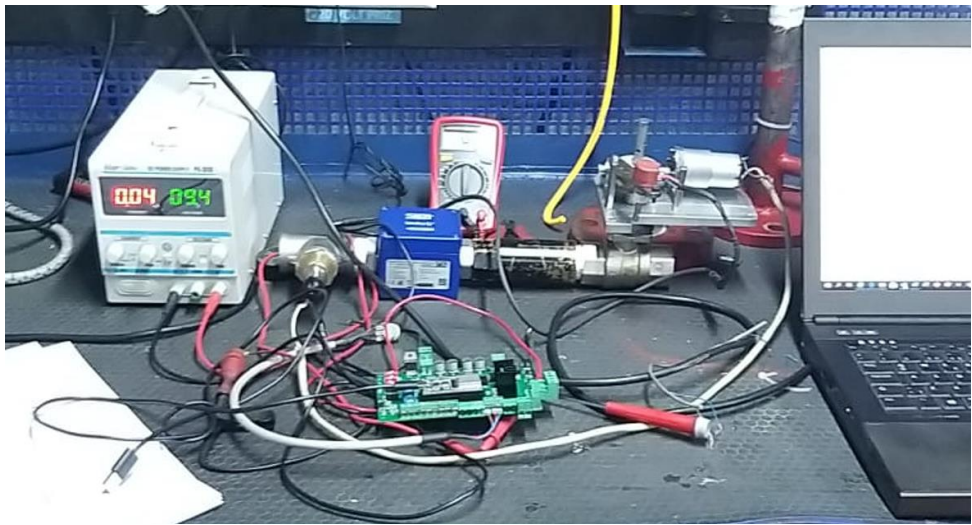
3.7 Cihaz Kontrol Hesaplamaları, İzleme Senaryoları ve Yazılımlar

Kontrol hesaplamaları için ilk olarak PID hesaplamaları ve Teorik Debi hesaplamaları ele alınmıştır. Burada bulunan kontrol denklemlerine göre yazılım algoritmaları gerçekleştirilip tamamlanmıştır.

PID kontrol hesaplamalarında ilk olarak motor parametreleri belirlenmiştir. Kurulan düzenek ile birlikte motorun akım, gerilim ve devir değerleri ölçülmüştür. Kurulan düzenek blok diyagramı Şekil 3.41’de verilmiştir. Blok diyagramına göre ölçümlerin gerçekleştirildiği düzenek Şekil 3.42’de bulunmaktadır.



Şekil 3.41 Motor Parametreleri Ölçüm Düzenek Blok Diyagramı



Şekil 3.42 Ölçüm Düzeneği

Yapılan ölçümler ve alınan sonuçlar tablo 3.13'te gösterilmiştir. Motor endüktansı 36.6 mH olarak ölçülmüştür. Durma akımı da motor data sayfasından 120 mA olarak alınmıştır. Denklem (2.21)'e göre hesaplamalar yapılacaktır. Bu denklemdaki endüktans değeri ihmal edilecektir. Buna göre elde edilen yeni denklem (3.23) aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir. Burada zıt EMK kuvveti açısal hıza göre bağlı olarak yazarsak denklem (3.24) elde edilir. Denklemin iki tarafı akım değerlerine bölüldüğünde denklem (3.25) elde edilmektedir. (Gürgöze G., Türkoğlu İ, 2022)

$$V_{in} = R_a * I_a(t) + e(t) \quad (3.23)$$

$$V_{in} = R_a * I_a(t) + K_e * \omega(t) \quad (3.24)$$

$$\frac{V_{in}}{I_a(t)} = R_a + K_e * \frac{\omega(t)}{I_a(t)} \quad (3.25)$$

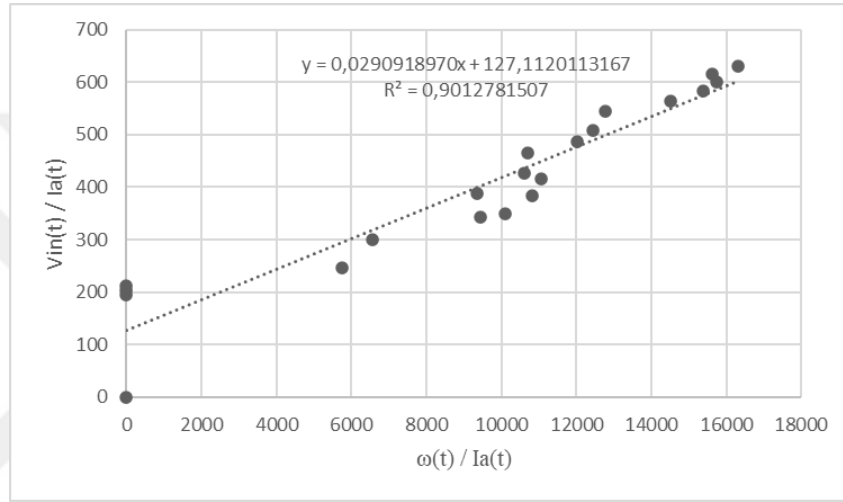
Tablo 3.13 Test Düzenine Göre Ölçüm Değerleri

YÜZDE (%)	GERİLİM(V)	AKIM (mA)	TAKOMETRE ÖLÇÜM (rpm)
100	24	38	22,2
95	22,8	37	20,7
90	21,6	36	20,3
85	20,4	35	19,3
80	19,2	34	17,7
75	18	33	15,1
70	16,8	33	14,7
65	15,6	32	13,8
60	14,4	31	11,9
55	13,2	31	11,8
50	12	31	10,4
45	10,8	26	10,3
40	9,6	25	9,7
35	8,4	24	8,7
30	7,2	21	7,1
25	6	19,95	4,7
20	4,8	19,44	4
15	3,6	17,78	0
10	2,4	11,34	0
5	1,2	6,14	0
0	0	0	0

Ölçülen değerlere göre Şekil 3.43'te gösterilen grafik üzerinden eğri uydurma yöntemi uygulandığında lineer denklem olarak denklem (3.26) elde edilir. Eğri uydurma yönteminde doğrusal en küçük kareler metodu Excel programı ile kullanılmıştır.

$$y = 0,0290918970x + 127,1120113167 \quad (3.26)$$

Böylece sistemimiz için, $K_e = 0,0290919$ ve direnç değeri $R_a = 127 \, \Omega$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.43 Giriş Geriliminin Açısal Hıza Bağlı Değişimi

Motorlarda güç denklemi motorun çektiği akım ile gerilimin çarpımına eşittir.

$$P = V \text{ (Gerilim)} \times I \text{ (Akım)} \quad (3.27)$$

Motorun harcadığı gücü motorun momenti ile açısal hızının çarpımı ile de elde edebiliriz.

$$P \text{ (Güç)} = T \text{ (Tork)} * w \text{ (Açısal hız)} \quad (3.28)$$

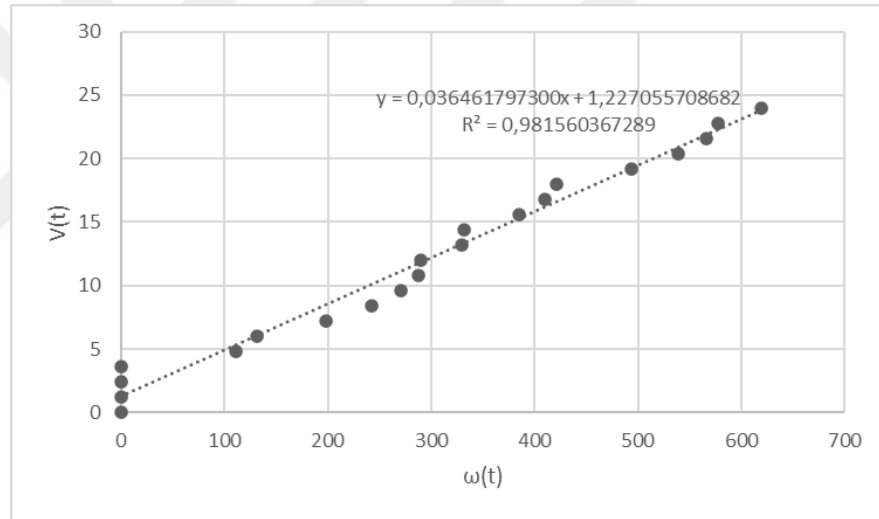
Denklem (3.27) ve Denklem (3.28)'i aşağıdaki gibi denkleştirir ve Denklem (2.25)'te yerine yazarsak Denklem (3.29) elde edilir. İlgili denklemden moment sabiti K_t çekilirse denklem (3.30) elde edilir. (Gürgöze G., Türkoğlu İ., 2022)

$$P = V(t) * I_a(t) = T_m * \omega(t) = K_t * I_a(t) * \omega(t) \quad (3.29)$$

$$K_t = \frac{V(t)}{\omega(t)} \quad (3.30)$$

$V(t)$ 'nin $\omega(t)$ 'e göre değişimi çizdirilip, eğri uydurma yöntemi uygulanması ile denklem (3.31) elde edilir. Bu denkleme göre K_t değeri 0,0364617973 olarak elde edilir.

$$y = 0,036461797300x + 1,227055708682 \quad (3.31)$$



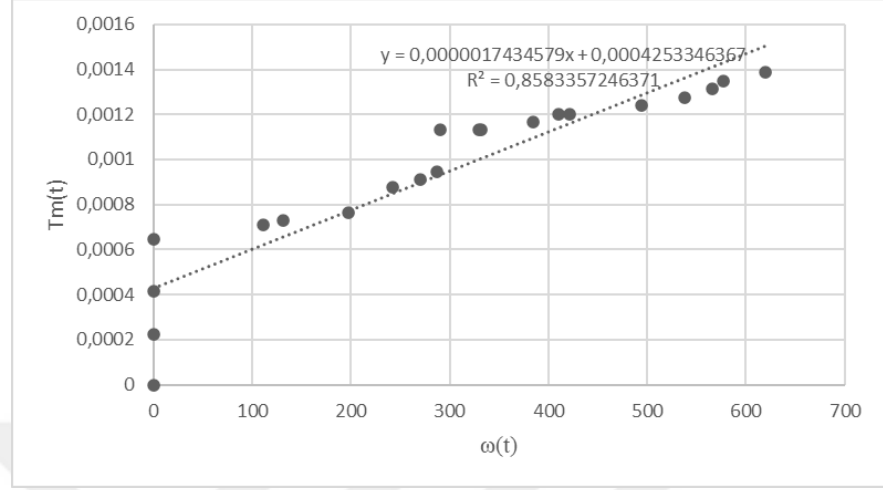
Şekil 3.44 $V(t)$ Geriliminin Açısal Hıza Bağlı Değişimi

Denklem (2.25)'de belirtilen eşitlik sürekli zamanda ele alındığında $\frac{d\omega(t)}{dt} = 0$ olur,

$$T_m = T_L + b_m \omega(t) \quad (3.32)$$

Yapılan ölçümler ile T_m 'in $\omega(t)$ 'ye göre değişimi için yapılan hesap sonucu b_m , 0,0000017434579 ve T_L de 0,0004253346367 elde edilir.

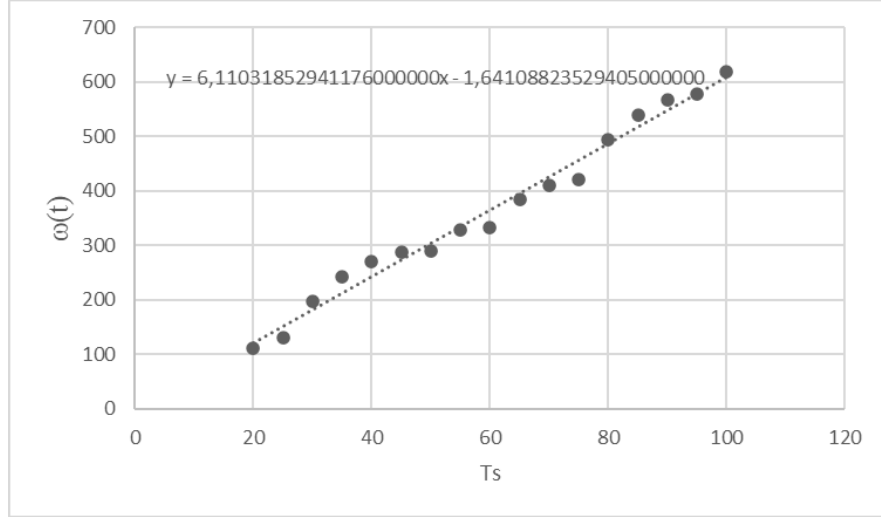
$$y = 0,0000017434579x + 0,0004253346367 \quad (3.33)$$



Şekil 3.45 T_m momentinin açısal hızı bağlı değişimi

$$T_a = K_t * I_a \quad (3.34)$$

Motor atalet momenti T_a değeri durma akımına ve K_t 'e göre hesaplandığında, T_a değeri 0,004375416 olarak hesaplanır. Açısal hızın zamana bağlı değişiminden açısal ivme ile ilgili değer elde edilir. Şekil 3.46'de grafik gösterimi ve denklemi verilmiştir. $\dot{\omega}=6,11031852941176$ ortalama değer olarak bulunmuştur. Denklem (2.24)'te bulunan eşitliğe göre J_m değeri çekildiğinde Denklem (3.35) elde edilir. Buna göre J_m değeri hesaplandığında 0,000716107 Nm/(rads²) değeri elde edilir.



Şekil 3.46 Açısal hızın zamana bağlı değişim grafiği ve denklem gösterimi

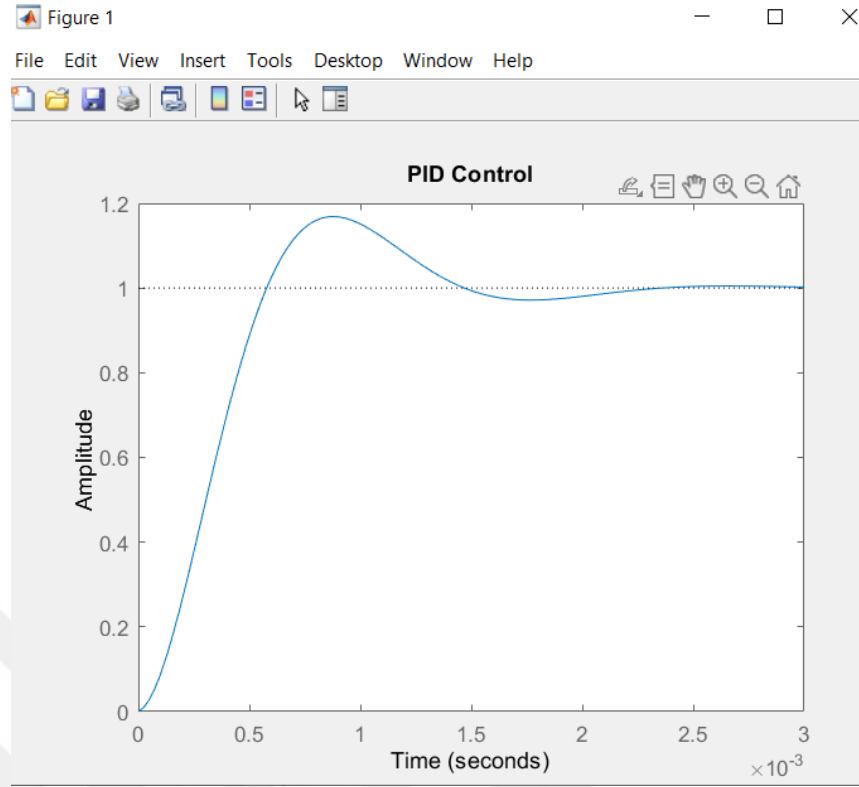
$$J_m = \frac{T_a}{\dot{\omega}} \quad (3.35)$$

Bağıntılardan elde edilen katsayılar denklem (2.28)'de yerine koyulduğunda

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{0,0290919}{(0,0366 \cdot s + 127,112)(0,000716107 \cdot s + 0,0000017434579) + 0,0290919^2} + 0,0004253346367 \quad (3.36)$$

elde edilir. Bu denklem aynı zamanda motorun transfer fonksiyonu olmaktadır.

Bulunan transfer fonksiyonuna göre PID parametreleri belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Yazılan Matlab programı ile Tablo 2.1'deki Ziegler-Nichols metoduna göre katsayılar hesaplanmıştır. Hesaplama programı (Ek-1)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.47 PID kontrol Parametrelerine Göre Sistem Birim Basamak Cevabı

Yazılım programımızda bu hesaplamalar PID parametreleri olarak denenmiştir. Sistem cevabının kısa süreli cevap süresi ve hata sinyali genliğinin düşük olması nedeniyle bu parametreler tercih edilmiştir.

PID parametreleri belirlenmesinden sonra bir diğer kontrol parametremiz olan akış karakteristiği hesaplamalarına geçilmiştir. Küre pozisyonuna göre, Bölüm 2.1 ve 2.2.7’de belirtilen akış denklemlerine göre teorik hesaplamalar yapılacak ve elde edilen denklemler oluşturulan yazılımın içerisinde test edilecektir. Hesaplamalar için vana ölçülerine göre hesaplama programı oluşturulmuştur. (EK-2) İlk kısımda tanımlamalar yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre vana kapalı pozisyondan açık pozisyona geçme açısı 10.9° olarak hesaplanmıştır. Bu değere göre vananın açıklık kesit alanı değişimi 76° aralığında olmaktadır. Bu kesit değişiminin denklem (2.31)’de gösterilen integral ile hesaplanması ve değişim yüzdesi grafik olarak Şekil 3.48’de gösterilmiştir.

Doğrusal en küçük kareler metodu, matlab ile uygulanarak, eğri uydurma ile elde edilen denklem (3.37) aşağıdaki gibidir.

$$y = 0,00000030174010886425x^4 - 0,00042179368105355100x^3 + 0,07900704280933720000x^2 + 0,89303286300310000000x - 0,90310097316978500000 \quad (3.37)$$

Denklem (2.1) aşağıdaki şekilde genişletilir ise denklem (3.38) elde edilir. İlgili denklemde iki noktadaki yoğunlukların aynı olduğu düşünülmüştür. İki nokta arasında potansiyel fark olmayacağı kabul edilmiş ve hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

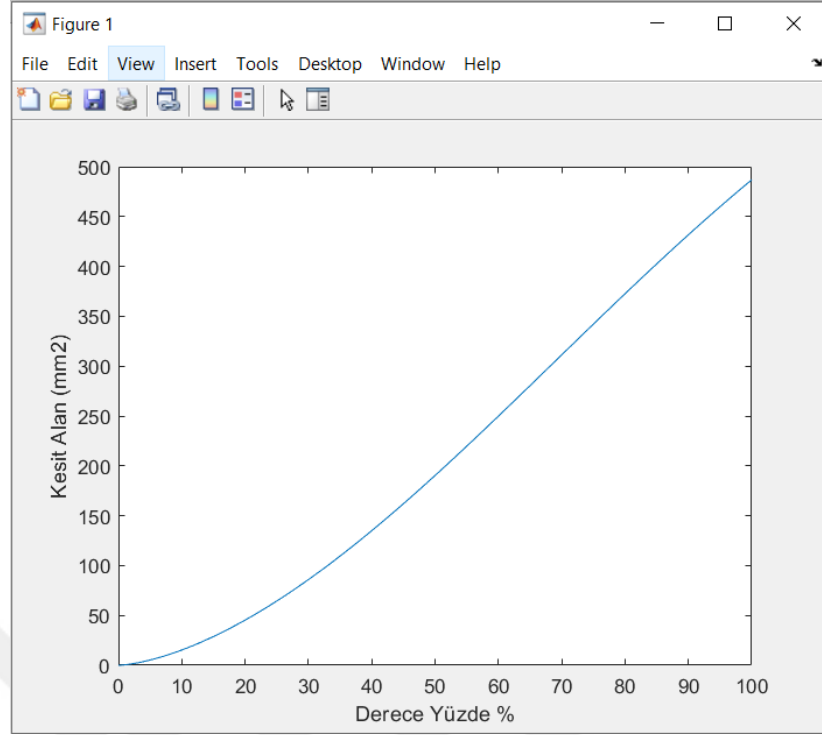
$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (3.38)$$

Kesit alanına bağlı olarak ifade edilir ve iki nokta arasında debi kaybı olmadığı kabul edilirse;

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{\dot{m}^2}{2} * \left[\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right] \quad (3.38)$$

Denklem debi için düzenlenirse teorik debi eşitliğine ulaşılmış olur;

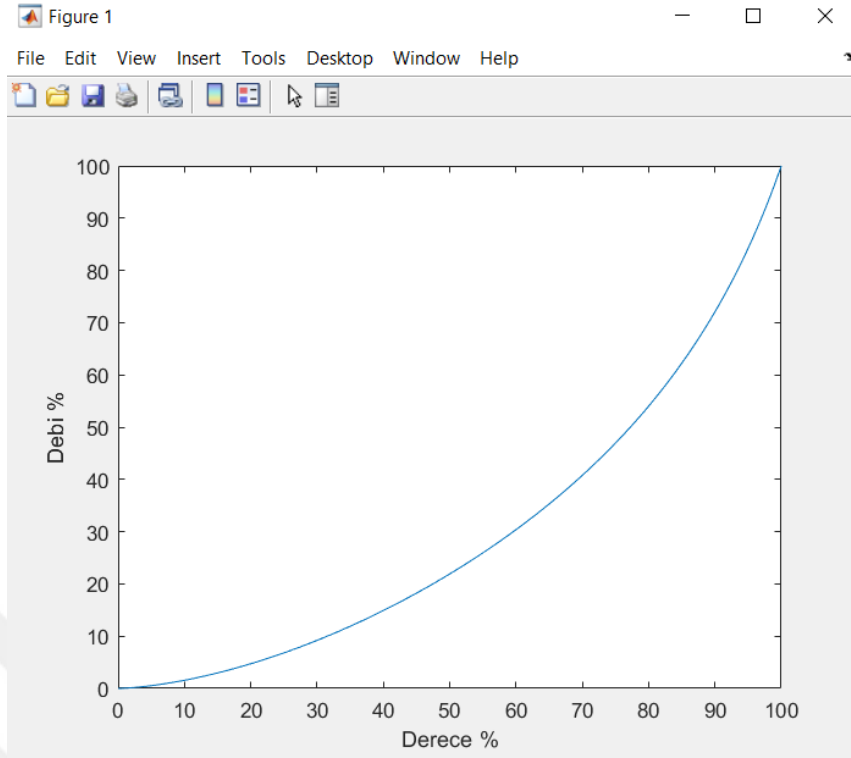
$$\dot{m} = \sqrt{2 * \frac{\Delta P_{1,2}}{\rho} * \left[\frac{A_1^2 * A_2^2}{A_1^2 - A_2^2} \right]} \quad (3.39)$$



Şekil 3.48 Kesit Yüzde-Derece Yüzde Değişim Grafiği

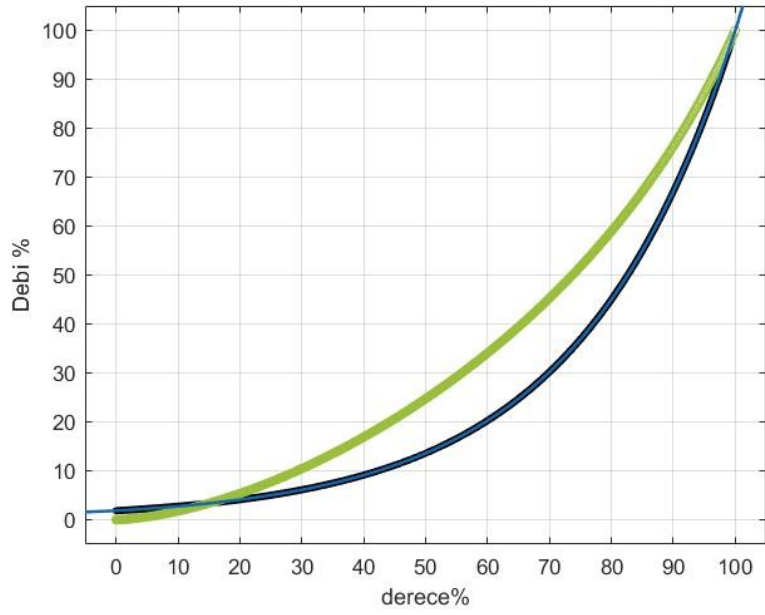
A_1 boru giriş çapı olarak kabul edilmiştir. Kullanıcının ara-yüzden girmesi istenecektir. Bu değere göre yapılan debi hesaplamalarında ΔP değeri 100kpa olarak kabul edilmiştir. Algoritmelerde gene bu değer sürekli ölçülecektir ve debi hesaplamalarında kullanılacaktır. Matlab programında hesaplanan debiye göre elde edilen grafik Şekil 3.49’da gösterilmiştir. Ayrıca vananın akış karakteristiğinin bu grafiğe göre vananın dönüş derecesine bağlı ifadesi Denklem (3.41)’de verilmiştir. Denklem yüzde debiye göre gidilmesi gereken dereceyi vermektedir. Algoritmelerde farklı akış karakteristiklerine göre hesap yapmak için kullanılacaktır.

$$\begin{aligned}
 y = & -0,000000002032325839112750x^6 + \\
 & 0,000000643418698067361000x^5 - 0,000079449725694624700000x^4 + \\
 & 0,004917147854698100000000x^3 - 0,172452135936965000000000x^2 + \\
 & 4,456186299841650000000000x + 3,227825787082110000000000 \\
 R^2 = & 0,9999993256105590000000
 \end{aligned} \tag{3.41}$$



Şekil 3.49 Teorik debi% ve açılma derece % grafiği

Akış karakteristikleri ile ilgili algoritma için gelen kontrol sinyalinin yüzdesine göre olması gereken teorik debinin hesaplanması, eşit oransal debi karakteristiği polinomu ile yapılır. Bu polinomda bulunan debi değerine göre, normal karakteristik polinomu ile açıklık derece yüzdesi hesaplanır. İki karakteristiğin kıyaslamalı gösterimi Şekil 3.50’de yapılmıştır. Ayrıca eşit oransal debi akış karakteristiğine karşılık gelen denklem (3.42) eğri benzetme metodu ile hesaplanmıştır.

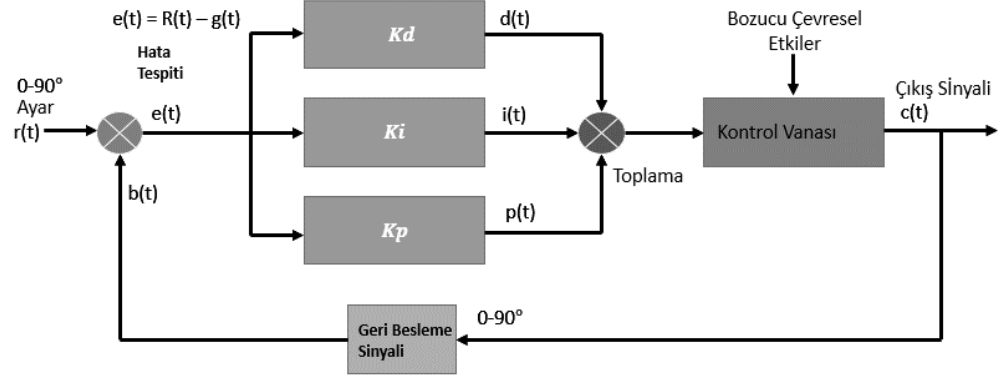


Şekil 3.50 Eşit Oransal Debi (Mavi)- Normal Karakteristik Debi (Yeşil) ile Açıklık Yüzdesi Kıyaslama Grafiği

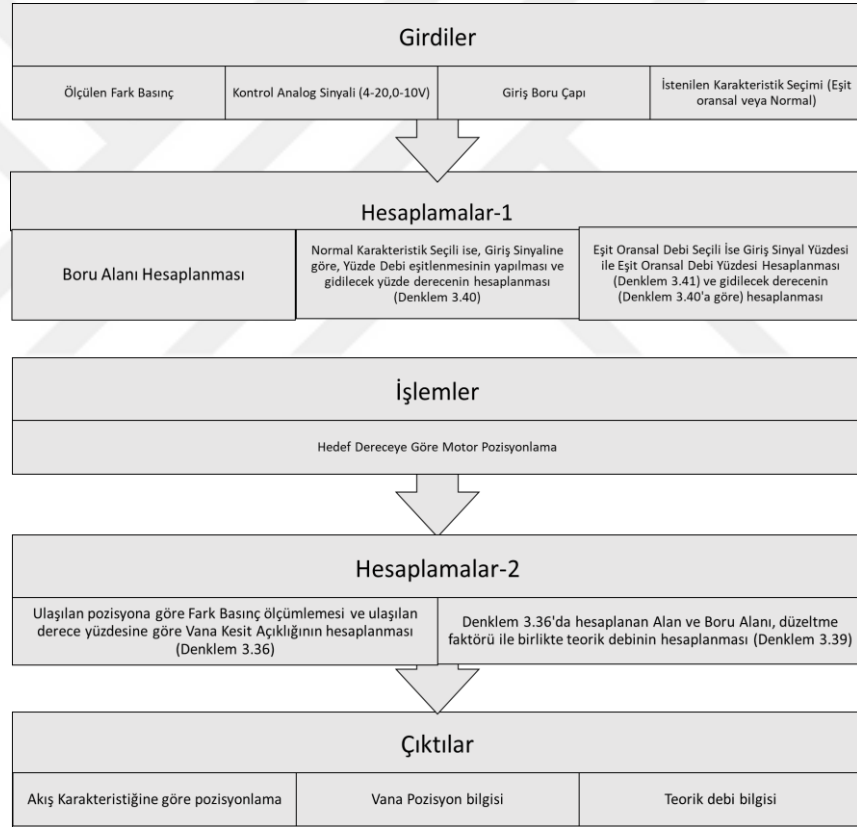
$$\begin{aligned}
 y = & 0,0000000111419849610711x^5 - 0,00000127564399413083x^4 \\
 & + 0,0001109392938047900000x^3 \\
 & - 0,0008323774001155470000x^2 \\
 & + 0,1122692929529880000000x \\
 & + 2,2170896522620800000000
 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,9999993256105590000000 \quad (3.42)$$

Algoritmelerde Şekil 3.51’de belirtilen durum motor pozisyonlaması, Şekil 3.52’de belirtilen durum debi ayar fonksiyonları için belirlenmiştir.



Şekil 3.51 PID Algoritması Blok Diyagramı



Şekil 3.52 Debi Hesaplamaları Algoritmaları

Akış karakteristiği algoritması, eşit oransal karakteristiğe göre vana dönüş pozisyonun ayarlanmasını içermektedir. Bu algoritma ilk olarak denklem (3.42)'de verilen, gelen sinyal yüzdesine göre, debi yüzdesini hesaplayacaktır. Sonrasında bu debi yüzdesi, denklem (3.41)'de yerine koyularak gidilmesi gereken derece yüzdesi

normal karakteristiğe göre hesaplanacaktır. Bu sayede eşit oransal karakteristiğe göre, normal karakteristikteki bir vana çalıştırılması sağlanacaktır.

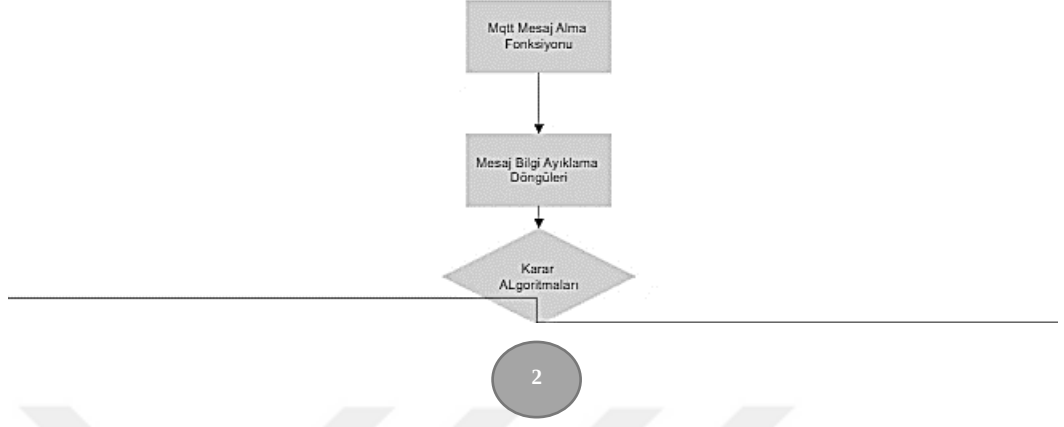
Fonksiyonel işlem algoritmaları ardından genel yapı algoritmaları dizayn edilmiştir. ESP-32 yazılımında Arduino C++ kod yapısı kullanılmıştır. Yazılımda ilk olarak kütüphaneler yüklenmiştir. Aşağıda kütüphanelerin sınıflandırması verilmiştir.

- IoT platform sertifika kütüphanesi,
- Arduino dili kütüphanesi,
- Analog çıkış kütüphanesi,
- IoT (MQTT protokolü) cihaz yayınlama ve yazma kütüphanesi
- Json dili kütüphanesi,
- Wi-Fi protokolü kütüphanesi,
- Asenkron Web-server ve TCP kütüphaneleri,
- SPI haberleşme dosyalama kütüphanesi,
- Mail müşteri kütüphanesi,

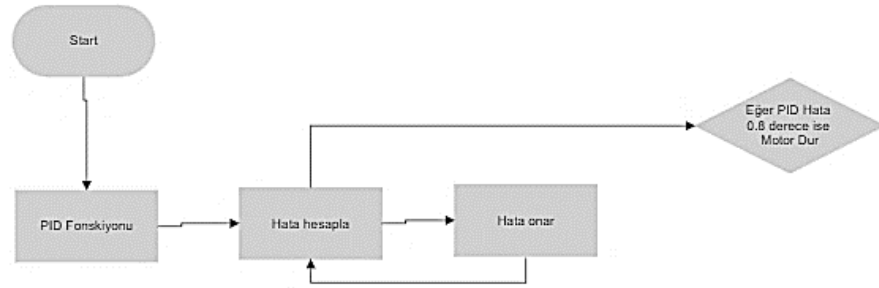
İlgili kütüphaneler yardımıyla IoT haberleşme, Analog işlemler, Kablosuz iletişim ve mail yollama işlemleri yapılabilecektir. Bu aşamadan sonra cihazın IoT'e göre nesne isimlendirmesi yapılmıştır. Daha sonrasında motor giriş ve çıkış bağlantıları tanımlamaları yapılmıştır. E-mail ayarlamaları için yazılımlar tasarlanmıştır. Kullanıcının kendi Wi-Fi ayarlamalarını ve mail bilgilerini girebilmesi adına HTML kodların tanımlamaları yapılmıştır. E-mail'lerde kullanılacak tanımlara geçilmiştir. IoT sertifikalarına göre tanımlamalar yapılmıştır. Yazma ve yayınlama 'Başlık' (Topic) belirlenmiştir. Aç-kapa anahtarlama, motor pozisyon sensörü, sıcaklık sensörleri, basınç sensörleri, limitleme anahtarları ve debimetre giriş çıkış bağlantıları tanımlanmıştır. IoT platform bulut tabanlı ara-yüz kontrol ve izleme noktaları için tanımlamalar yapılmıştır. Bu tanımlamalar, kontrol senaryoları, sıcaklık, basınç, debi, teorik debi, enerji izleme ve hesaplamalarında kullanılacaktır. PWM motor kontrol sinyali, geri besleme sinyalleri için tanımlamalar yapılmıştır. Kontrol senaryolarına göre parametre tanımlamaları yapılmıştır. PID parametreleri tanımlanmıştır. Tanımlamalardan sonra fonksiyonlar ve döngüler tanımlanmıştır. Debi sensörü okuma döngüsü yazılmıştır. Seri haberleşme HTML kodları ile ara-yüz bağlantı fonksiyonu yazılmıştır. Wi-Fi kablosuz haberleşme fonksiyonu yazılmıştır. MQTT protokolüne göre mesaj alma fonksiyonu ile birlikte kablosuz haberleşme

kontrol edilmektedir. E-mail yapısına göre, e-mail atılması fonksiyonu yazılmıştır. MQTT protokolüne göre başlıklar (topic) ile mesajlar için yayınlama fonksiyonları oluşturulmuştur. Basınç, sıcaklık, pozisyon, fark basınç, fark sıcaklık, debi, enerji, senaryo mesajları için fonksiyonlar oluşturulmuştur. Mesaj yayınlama fonksiyonlarından sonra mesaj alma fonksiyonları oluşturulmuştur. Ara-yüz anahtar fonksiyonları, senaryo fonksiyonları oluşturulmuştur. Daha sonradan analog ve dijital değer hesaplamaları ve mantıları için fonksiyonlar oluşturulmuştur. Ara-yüz mesaj başlık tanımlamaları yapılmıştır. Yapılan tüm bu işlemler için tasarlanan algoritma diyagramları Şekil 3.53, Şekil 3.54, Şekil 3.55, Şekil 3.56, Şekil 3.57, Şekil 3.58 ve Şekil 3.59'da verilmiştir.

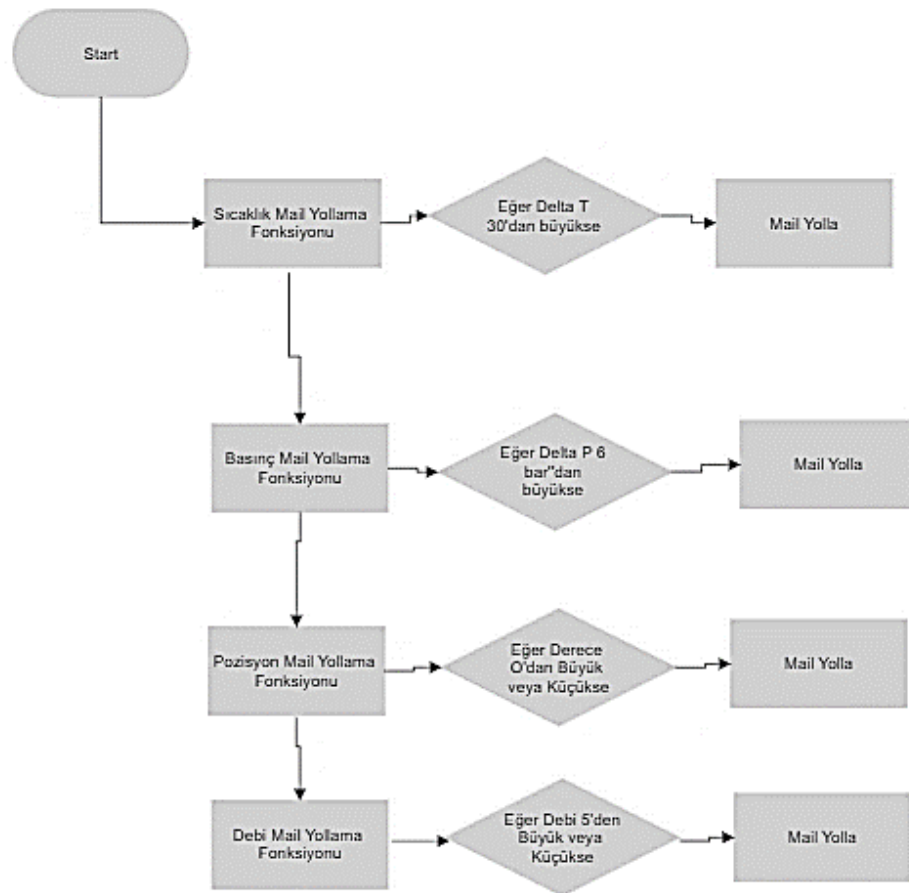




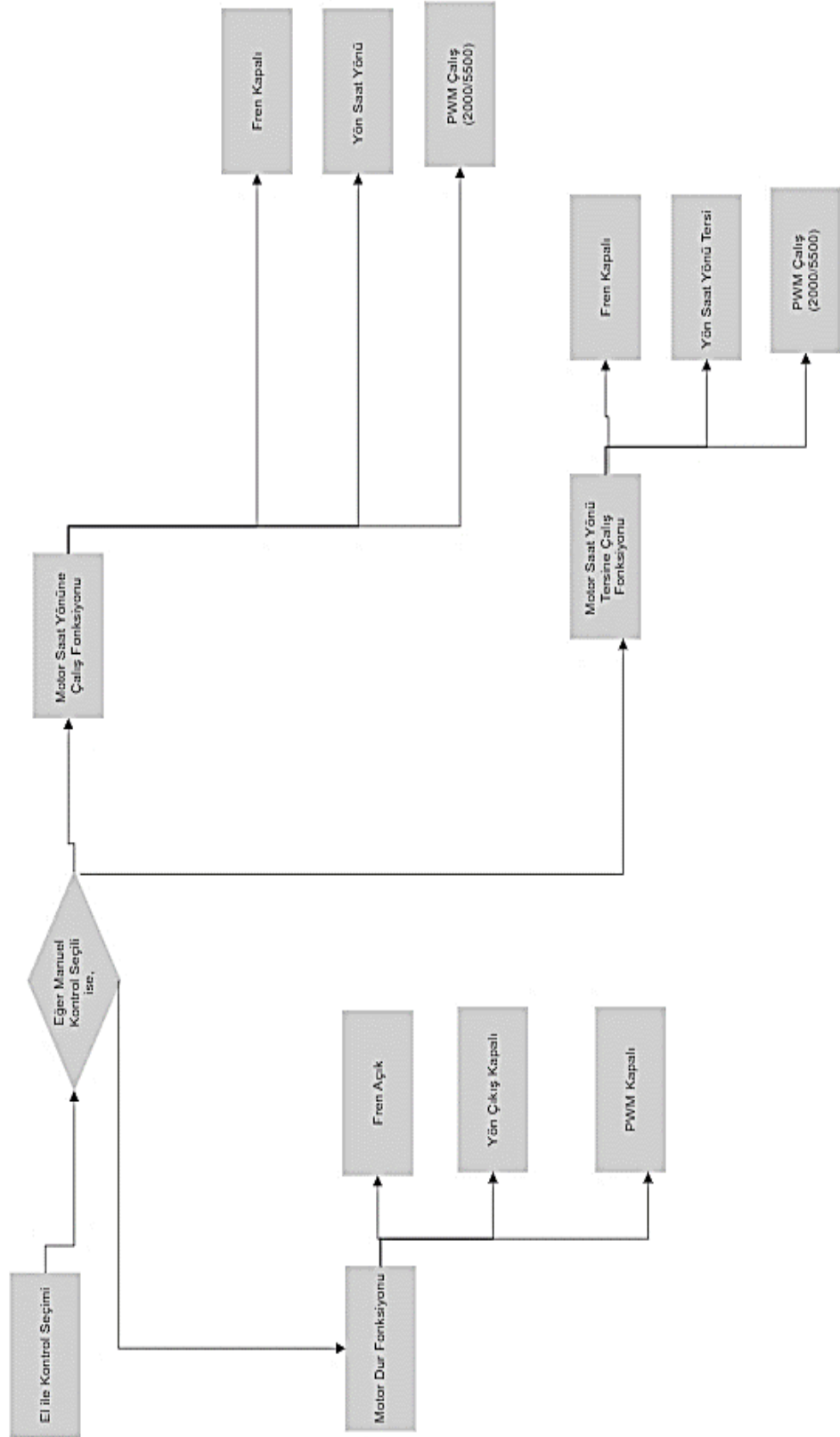
Şekil 3.54 Mesaj ve karar algoritmaları



Şekil 3.57 PID kontrol algoritması



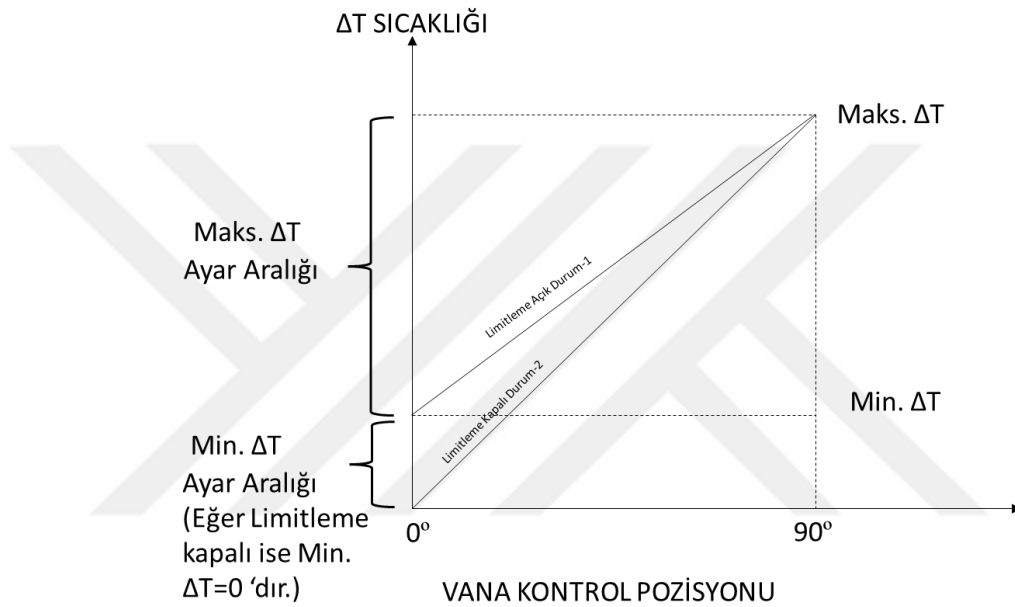
Şekil 3.58 Mail fonksiyonları algoritmaları



Şekil 3.59 El ile kontrol fonksiyonu algoritması

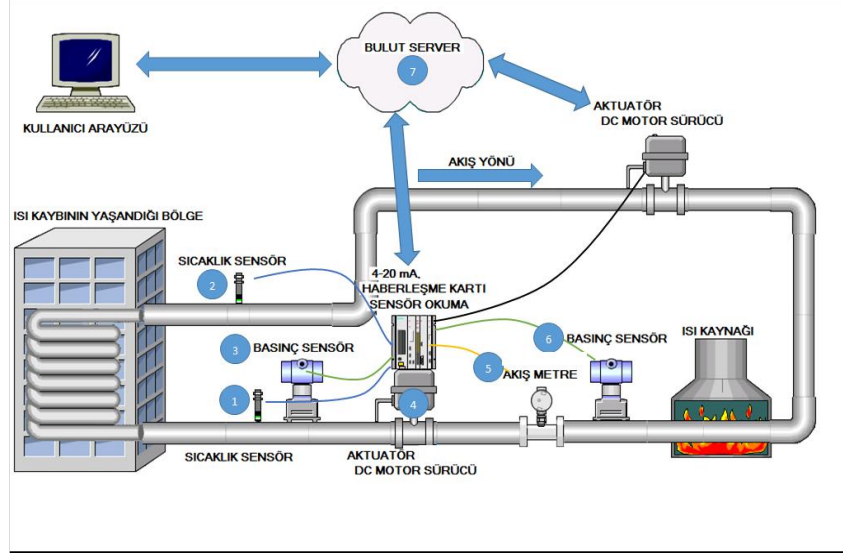
Yazılım kısmında yazılan algoritmalar senaryo yönetimlerini sağlayacaktır. Başlıca senaryolar sıcaklık farkı senaryosu, enerji senaryosu, debi takip senaryosu ve basınç takip senaryosudur.

Sıcaklık farkı senaryosunda maksimum ve minimum sıcaklık farkı değerleri girilir. Vana pozisyonunun bu değerler arasında kalmasını sağlamaya çalışır. Maksimum değerde, maksimum açıklığa minimum değerde minimum açıklığa doğru hareketini yapar. Grafikselsel gösterimi Şekil 3.60'ta gösterilmiştir.



Şekil 3.60 Senaryo Sıcaklık Farkı-Vana Pozisyon Kontrol Grafiği

Şekil 3.61'de senaryosu gösterilen bir tesisat devresinde, sıcaklık farkı arttıkça vana sıcak su girişini açarak sıcaklık farkını kapatmaya çalışır. Bu senaryoda sisteme giren boru sıcak su besleme borusudur. Sistemde daha fazla ısı kaybı olduğunda sıcaklık farkı artmaktadır. Bu sebeple sisteme giren ısıyı arttırmak için debiyi arttırmak gerekmektedir. Bu sayede ortama giren enerji ile çıkan enerji ile eşitlenmeye çalışacaktır.

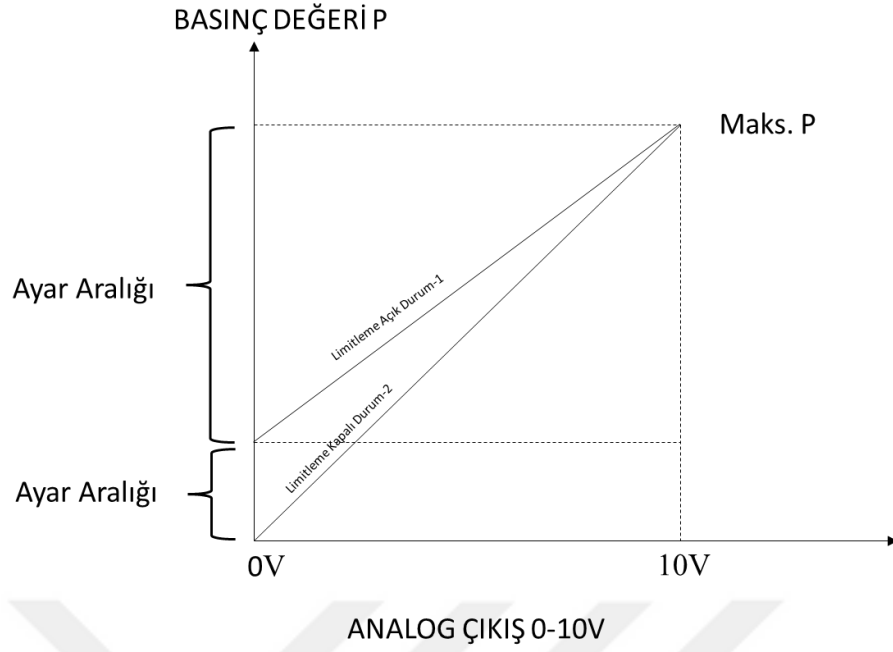


Şekil 3.61 Örnek Tesisat Devre Şeması

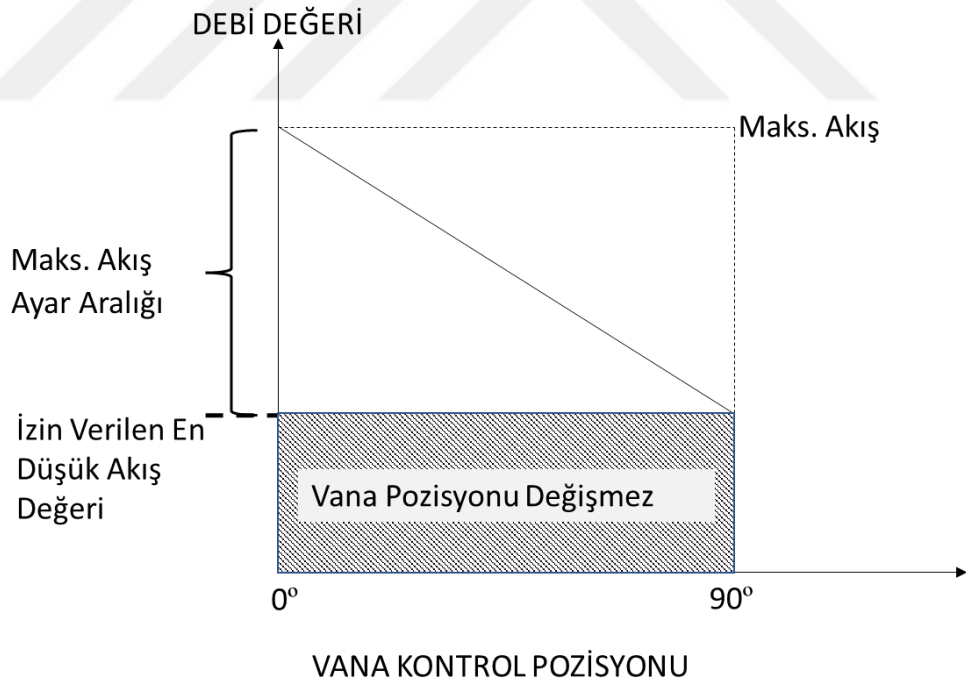
Diğer senaryo, basınç farkı takibi üzerine olacaktır. Basınç farkı değeri maksimum değerine (6 bar) gelindiğinde 10V maksimum çıkış değeri verilir. Basınç değeri minimum değeri 0 bar olarak belirlenmiştir. Bu değerlerde ise minimum ayarlı çıkış değeri olan 0V kontrol sinyali verilecektir. Bu senaryonun kontrol grafiği Şekil 3.62’de gösterilmiştir.

Bu senaryo sayesinde basınç farkı arttıkça, bunun oransal gösterimi bir cihaz vasıtasıyla yapılabilir. Maksimum değere ulaşıldığında ise devreye girmesi gereken cihaz aktif hale getirilebilir. Örneğin, bir pislik tutucu için cihaz basınç farkını ölçer, pislik haznesinin boşaltımını sağlayacak valf devreye sokula bilinir, ya da pompa bu değer de durdurulabilir.

Üçüncü senaryo olarak akış takibi senaryosu incelenecektir. Akış senaryosunda maksimum akış değeri set edilir. Bu değere göre vana pozisyonu 0-90° arasında pozisyonunu oransal olarak ayarlaması istenmektedir. Senaryonun grafiği Şekil 3.63’te gösterilmiştir.



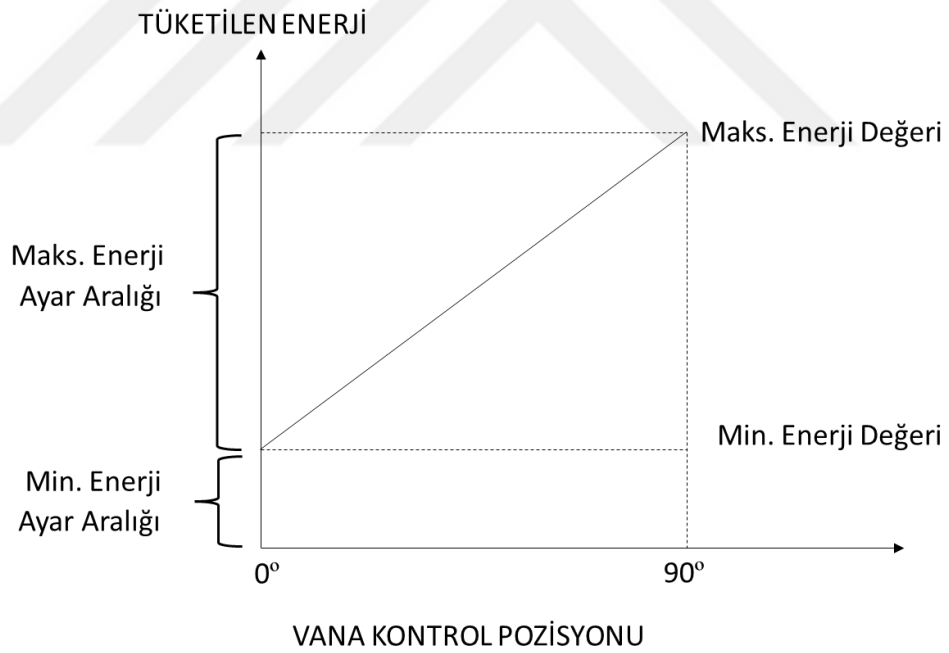
Şekil 3.62 Basınç Farkı Kontrol Senaryosu Kontrol Grafiği



Şekil 3.63 Akış Takibi Senaryosu Kontrol Grafiği

Bu senaryoya göre akış maksimum değerine ulaştıkça vana maksimum kapalılığa ulaşmaya çalışacaktır. Bu sırada debi azalacağı için maksimum değere doğru akışı düşürecekler. Eğer akış set edilen değerin altında ise vana, izin verilen en düşük akış ile maksimum değer arasında açıklığını oranlayacaktır. Set değerine yaklaştıkça vana kapalıya doğru hareket edecektir, bu değerden uzaklaştıkça açıklığa doğru hareketini yapacaktır.

En son incelenecek senaryo, enerji senaryosu olacaktır. Bu senaryoda Şekil 3.61 'da ki tesisat örnek olarak dikkate alınacaktır. Bu senaryoda ulaşmak istenen sonuç, sistemde ısı kaybı arttığı zaman, sistemi besleyen ısı kaynağından geçen akışkanın debisinin artmasıdır. Eğer sistemde ısı kaybı azalıyor ise, minimum enerji seviyesine yaklaştıkça vana kapalı pozisyona doğru hareketini yapacaktır. Bu kontrol senaryosunu gösteren grafik Şekil 3.64'te gösterilmiştir.

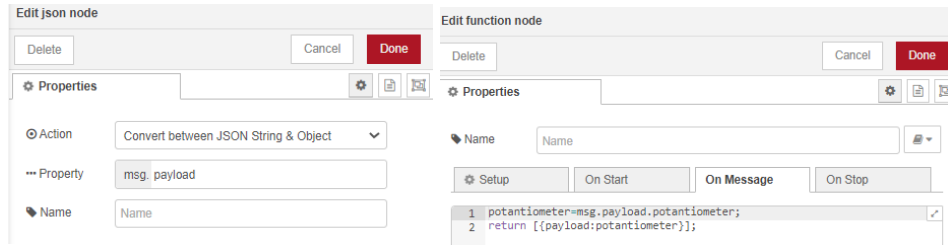


Şekil 3.64 Enerji Senaryosu Kontrol Grafiği

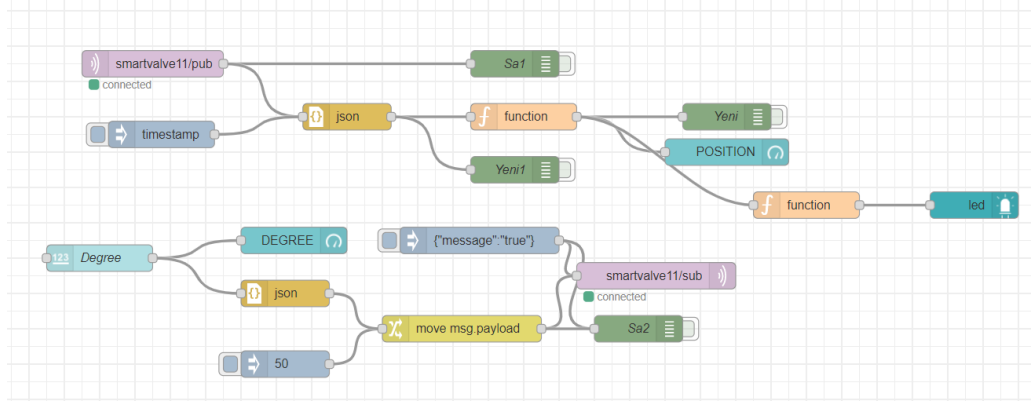
3.8 Ara yüz Tasarımı

Kullanıcı ara yüzü tasarımları için bulut sunucu üzerinde Node-red programı kullanılmıştır. Bu program web server özelliğine sahip olduğu için tasarlanan ara-yüz tasarımı ile web sayfası üzerinden kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir. Tasarımı yapılan ekranın arka planında çalışan yazılım kısımları başlıca mesaj alma, iletme, ara-yüz fonksiyonları, mesaj format dönüşümleri, ara-yüz görsel yapılandırmaları olarak sınıflandırılmıştır. Ara-yüz yazılımında MQTT protokolü sayesinde mesaj alma ve mesaj iletme mantığına göre yazılımlar kurgulanmıştır. “smartvalve/pub” ve “smartvalve/sub” olarak iki başlık “topic” belirlenerek iletişimler sağlanmıştır. Bulut nesne (things) iletişim güvenliği sertifikalı olarak sağlanmıştır. Kullanılan fonksiyonlar daha çok mesajı Json formatından dönüşümler ve mesaj içeriğindeki sayı veya yazıları almak için kullanılmıştır. Bu fonksiyonları gösteren örnekler Şekil 3.65’te verilmiştir.

Ara-yüzün temel amacı hesaplamaları yapmak değildir. Kullanıcı giriş verilerini alıp, kullanıcıya işlemciden gelen bilgileri aktarmak üzerine bir yazılım algoritması kurgulanmıştır. Programlama örnek bölüm Şekil 3.66’da gösterilmiştir.



Şekil 3.65 Json Format Dönüşüm ve Mesaj Bilgileri Alma Fonksiyon Örnekleri

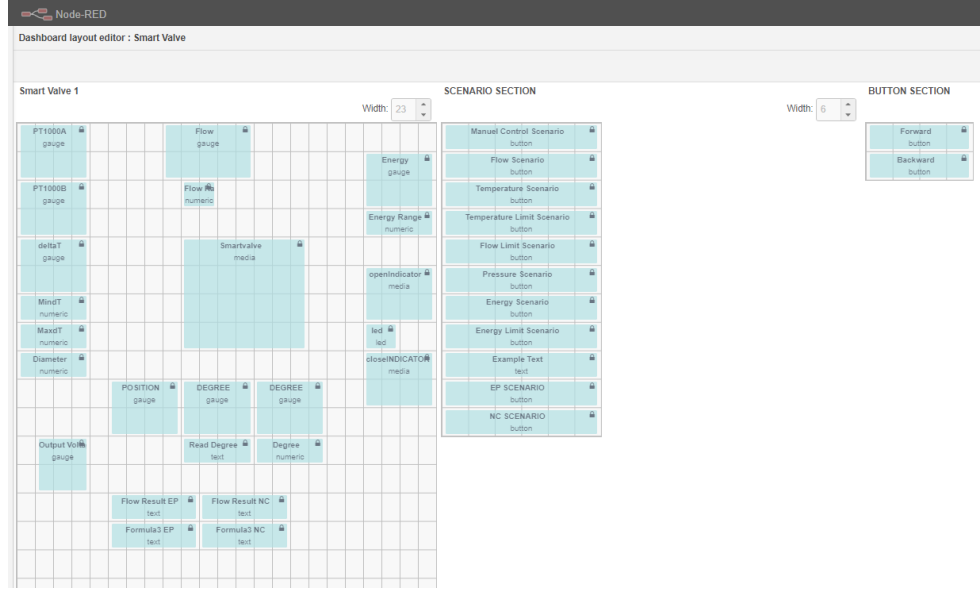


Şekil 3.66 Node-red Programlama Örneği Görseli

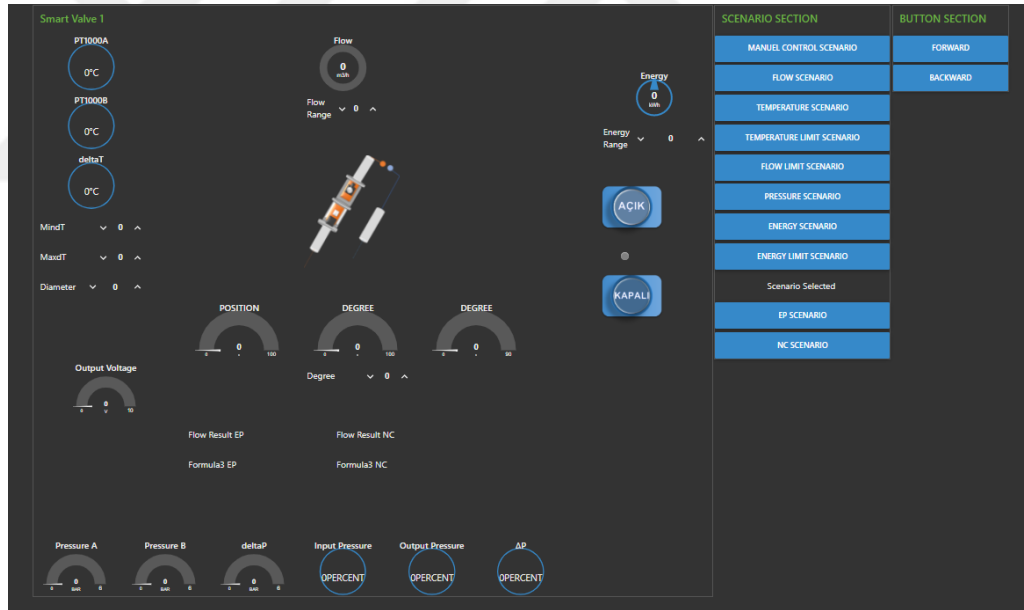
Ara-yüz tasarımlarında arka plan yazılımları tamamlandıktan sonra ön planda çalışacak kullanıcı ara-yüzü için düzenlemeler yapılmıştır. Kullanıcı ara-yüz sayesinde aşağıdaki işlemleri yerine getirebilmesi hedeflenmiştir.

- İki nokta fark basınç, sıcaklık, fark sıcaklık, enerji tüketim verilerinin izlenmesi,
- Vana pozisyon verisi izlenmesi ve manuel kontrolü,
- Akış verilerinin izlenmesi,
- Teorik akış verilerinin izlenmesi,
- Analog giriş ve çıkış sinyallerinin izlenmesi,
- Senaryo seçim işlemlerinin gerçekleştirilmesi,
- Senaryo kontrol verilerinin girilmesi,

Ara-yüz düzenleme(lay-out) işlemlerinin yapıldığı kısım Şekil 3.67 de gösterilmiştir. Ara-yüzün tasarlanan kullanıcı ön yüzü ise Şekil 3.68’de gösterilmiştir.



Şekil 3.67 Kullanıcı Ara-yüzü Düzenleme Ekranı Çalışması



Şekil 3.68 Kullanıcı Ön-yüz Tasarım Görşeli

Cihazın bilgisayara ilk bağlantısında ayarların tanıtılması adına HTML kodları kullanılarak bir iletişim ara-yüzü oluşturulmuştur. Bu ara-yüzün amacı kullanıcının ayarlı olan bir IP adresi ile iletişimi kurmasına izin vermektedir. Sonradan girilen

başka adres tanımlamaları ile iletişim kurulması Wi-Fi protokolü ile devam edebilmektedir.

Smart Valve Wi-Fi Manager

SSID

Password

IP Address

192.168.1.200

Gateway Address

192.168.1.1

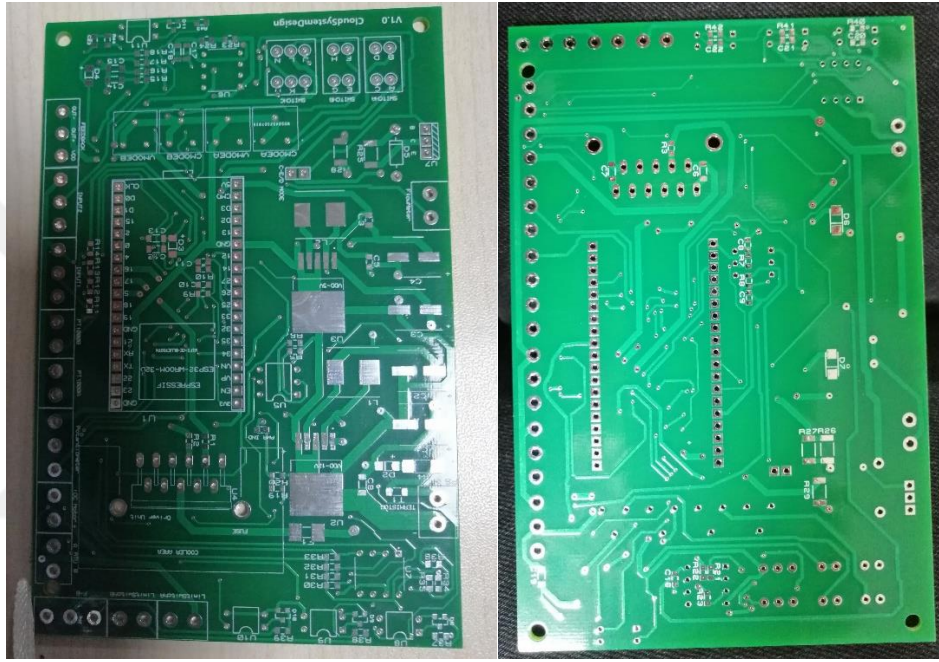
Submit

Şekil 3.69 Wi-Fi ve Mail Ayarları Giriş HTML Ekranı

4 PROTOTİP OLUŞTURULMASI VE TESTLER

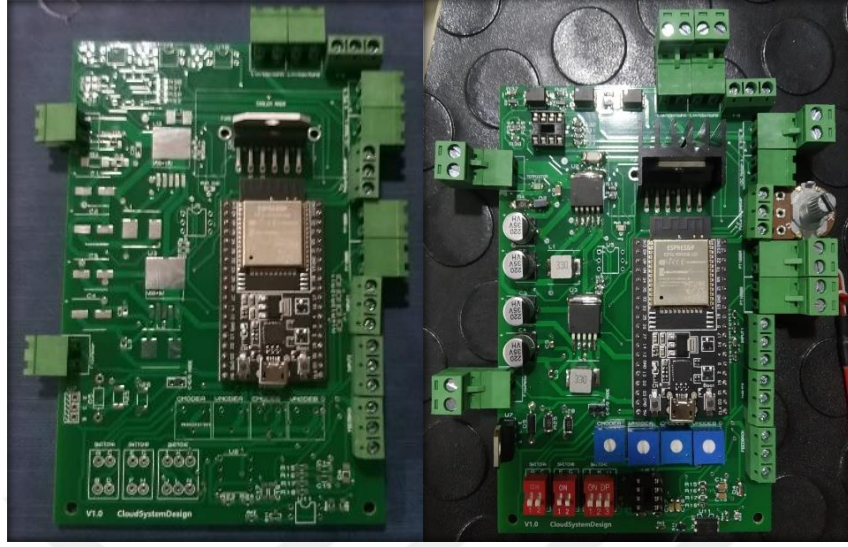
4.1 Prototip Oluşturulması

Tasarımı yapılan tüm bileşenlerin imal edilmesi, montajlarının yapılması ve çalışma kontrolleri gerçekleştirildiği kısımdır. İlk olarak elektronik kartın üretimi gerçekleştirilmiş ve motor hareketleri testleri gerçekleştirilmiştir. Elektronik kartın devre kartı basımı gerçekleştirildikten sonraki hali Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



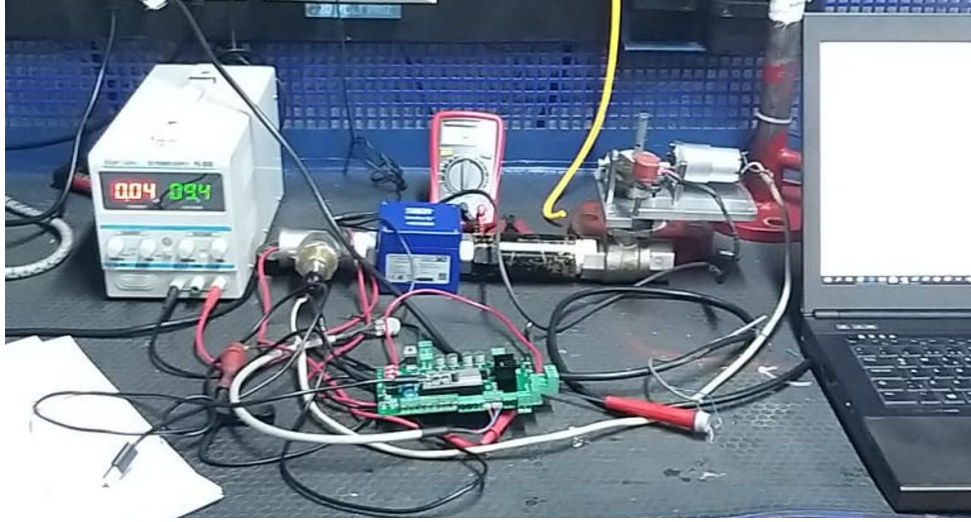
Şekil 4.1 Aktuatör Devre Kartı Görseli (Ön-Arka Görünüş)

Devre kartının komponentleri lehimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Lehimleme işlemlerinden sonra elde edilen elektronik kartların komponentleri ile lehimlenmiş görselleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Komponentlerin Lehimleme İşlemi Yapılmış Elektronik Kart

Bu işlemler tamamlandıktan sonra kısa devre kontrolleri yapılmıştır. Devre kartı enerjili testlerine başlanmıştır. İşlemci ile motor kontrolü testleri yapılmıştır. Test ortamı görseli Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Dişi kutulu motor, güç arttırıcı dişli sistemi, sistemin diğer mekanik parçaları imal edilerek montajlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Metal özel parçaların imalatları CNC tezgahlar yardımıyla yapılmıştır. Sistemi bütünleştirici kapak imalatları 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'te imalat yapılan 3D yazıcı görseli bulunmaktadır. 3D yazıcıdan alınan kapakların görselleri Şekil 4.5'te gösterildiği gibidir. Aktuatör sisteminin dişli mekanizması ve potansiyometre ile bütünleştirildiği görseli Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



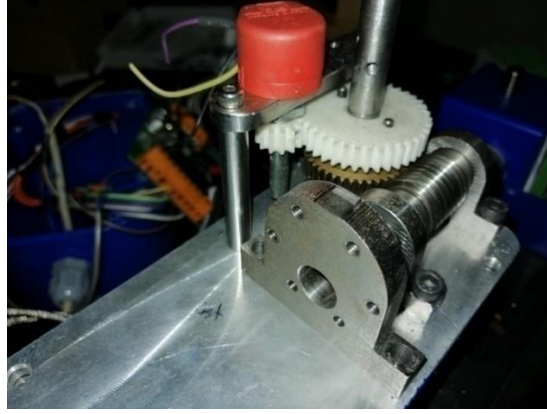
Şekil 4.3 Elektronik Kart Enerjili Motor testleri



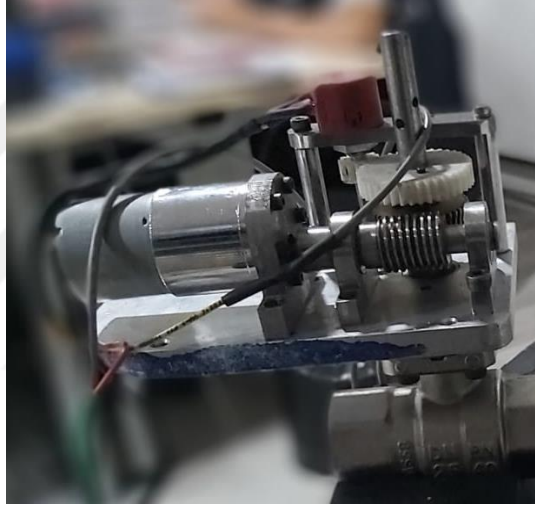
Şekil 4.4 Kapak Plastik Parça İmalatlarında Kullanılan 3D Yazıcı Görseli



Şekil 4.5 3D Yazıcı İmalatı Yapılan Kapak Görselleri



Şekil 4.6 Aktuatör Vana, Motor, Dişli Mekanizması ve Pozisyon Takip Mekanizması Görseli-1



Şekil 4.7 Aktuatör Vana, Motor, Dişli Mekanizması ve Pozisyon Takip Mekanizması Görseli-2

Aktuatör sistemi ile diğer kısım olan debi, basınç ve sıcaklık sensörleri montaj işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu montaj işlemleri sonrası oluşan sistem görseli Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



a



b

Şekil 4.8 a) Debimetre Sensörü bulunduğu Alt Şase Görünümü, b) Elektronik Kartın Yerleşimi

Daha sonra sensör ve kablolama işlemleri tamamlanmıştır. Akıllı vana sistemi bütünleştirilmiş görseli Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Bütünleştirilmiş Akıllı Vana Cihazı Görseli

Cihaz bütünleştirmesi ardından testlerin gerçekleştirilmesi aşamasına geçilmiştir.

4.2 Cihaz Testleri

Sistemin ilk testleri verilerin tasarlanan ara-yüz ekranında görüntülenmesi üzerine olmuştur. Sistem testlerinin yapıldığı düzenek şekil 4.10'da gösterilmiştir. Test düzeneğinde bir su pompası, su tankından aldığı suyu sisteme basmaktadır. Test düzeneğinin üzerinde kalibrasyonlu debimetre bulunmaktadır. Akıllı vana cihaz testleri ilk olarak pulse tipli debimetre ile yapılmış ve senaryo denemeleri yapılmıştır.

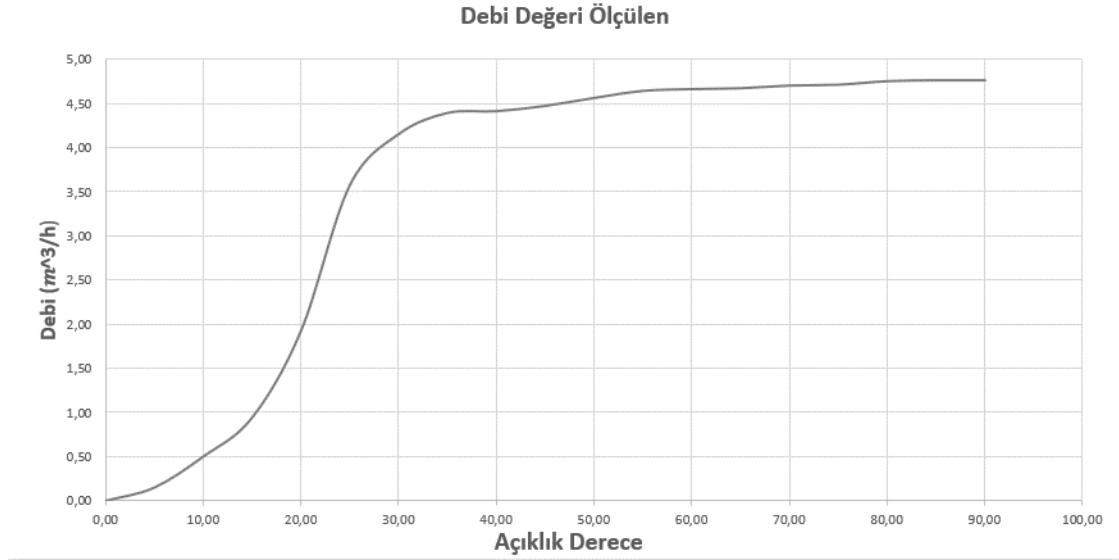
İlk olarak açıklık derecelerine göre debi akışı değerleri ölçümleri yapılmıştır ulaşılan sonuçlara göre oluşan Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Ulaşılan açıklık derecelerine göre debi akışı grafiği şekil 4.11'de gösterilmiştir.



şekil 4.10 Test Düzeneği Görseli

Tablo 4.1 Açıklık Derece Debi Değerleri Tablosu

Açıklık VANA DERECE	Debi Değeri Ölçülen [m ³ /H]
90,00	4,76
85,00	4,76
80,00	4,75
75,00	4,71
70,00	4,70
65,00	4,67
60,00	4,66
55,00	4,64
50,00	4,56
45,00	4,47
40,00	4,41
35,00	4,39
30,00	4,15
25,00	3,57
20,00	1,92
15,00	0,94
10,00	0,50
5,00	0,15
0,00	0,00



Şekil 4.11 Açıklık Derecesi- Debi Değerleri Grafiği

Bu grafiğe göre küresel vananın akış karakteristiğinin çabuk açılan tipte olduğu gözükmemektedir. Akışın %90'a yakın kısmı 30 derece açıklıkta yani %33 açıklıkta geçtiği gözlemlenmektedir.

Akış tipine göre senaryolarda sonuçları incelenmiştir. İlk olarak basınç farkı ayarı için senaryo seçimi gözlemlenmiştir. Bu senaryoda basınç farkına göre 0-10V arasında oranlanan çıkış değerleri alınmaya çalışılmıştır. Basınç farkı değeri maksimum değeri 6 bar olarak belirlenmiştir. Değer girilmediği zaman 0,38V dc değeri gözlemlenmiştir. 1 bar değerlerinde, 1,5V dc değeri gözlemlenmiştir. Olması gereken çıkış değerleri grafiği ve reel ölçüm sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Basınç Farkı Senaryosuna Göre Analog Sinyal Çıkışları

ΔP Basınç Değeri	Analog Çıkış (0-10Vdc)	Ölçülen Analog Çıkış (0-10Vdc)
0	0	0,38
0,5	1	1
1	2	2
1,5	3	3
2	4	4
2,5	5	5
3	6	6
3,5	7	7
4	8	8
4,5	9	9
5	10	10

Diğer senaryo, enerji senaryosuna göredir. Bu senaryoda sıcaklık farkını sabit tutarak, set edilen enerji düzeyine göre vana pozisyonunun ayar aralığı gözlemlenmiştir. İlgili test 10 KWh ile 15KWh arasında girilen set değerlerine göre vana pozisyonları gözlemlenmiştir. Hata payı en fazla %3,6 olarak gözlemlenmiştir. Alınan sonuçlar Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Enerji Ölçüm Sonuçları

Akış senaryosuna göre ölçümler yapılmıştır. Bu senaryoda istenen sonuç set edilen debi değerine yaklaşım aralığıdır. 5m³/h değerine kadar ayar değerleri 1m³/h saat aralığında arttırılmıştır. Gözlenen hata değeri en fazla %4 civarında olmuştur.

Hata Oranı (%)	Ayar Değeri (KWh)	Ölçülen Enerji Değeri	$\Delta T(^{\circ}C)$	Ölçülen Akış (m ³ /h)	Vana Derece
3,6%	10	10,355	30	2,969	53
0,0%	10,00	10,00	30	2,868	53
0,4%	13,00	13,05	30	3,742	69
-0,1%	13,00	12,99	30	3,726	69
0,4%	15,00	15,06	30	4,319	80
0,0%	15,00	15,00	30	4,3	80

Değerlerin oluşturduğu tablo, Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Akış Senaryosunda Elde Edilen Ölçüm Değerleri

Hata Oranı (%)	Ayar Değeri (m ³ /h)	Ölçülen Değer (m ³ /h)
0	0	0
1%	1,00	1,01
4%	1,00	1,04
0%	2,00	2,00
2%	2,00	2,03
3%	3,00	3,08
-2%	3,00	2,95
4%	4,00	4,18
-1%	4,00	3,96
2%	5,00	5,09

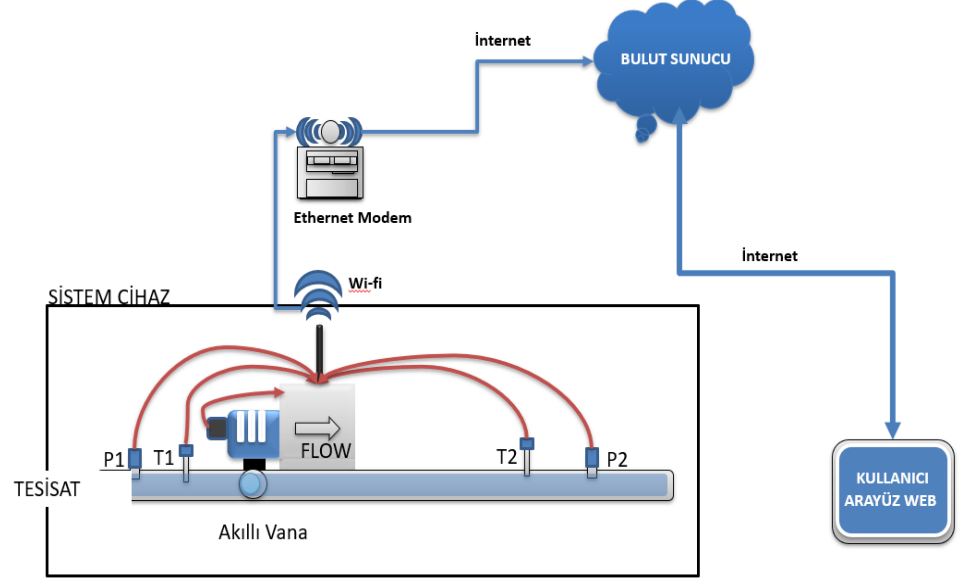
En son senaryo olarak ΔT senaryosu incelenmiştir. Minumun değer 0 °C olarak ve maksimum değer 20 °C olarak set edilmiştir. Buna göre derece değerleri 1°C aralıklarla arttırılıp, vana pozisyonları ve akış miktarları değerleri ölçülmüştür. ΔT maksimum değere yaklaştıkça vana maksimum açıklığa doğru hareket etmekte ve minimum değere doğru yaklaştıkça vana kapalı pozisyona doğru hareket etmektedir. Değerler Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Sıcaklık Farkı Senaryosuna göre Pozisyon ve Debi Değerleri Değişim Tablosu

Vana Derece Değer	Ölçülen ΔT	Ölçülen Akış m^3/h
0,00	0,00	0,00
4,50	1,00	0,22
9,00	2,00	0,79
13,50	3,00	1,44
18,00	4,00	2,32
22,50	5,00	2,82
27,00	6,00	3,29
31,50	7,00	3,49
36,00	8,00	3,55
40,50	9,00	3,60
45,00	10,00	3,67
49,50	11,00	3,70
54,00	12,00	3,86
58,50	13,00	3,87
63,00	14,00	3,98
67,50	15,00	4,00
72,00	16,00	4,01
76,50	17,00	4,08
81,00	18,00	4,09
85,50	19,00	4,10
90,00	20,00	4,14

4.3 IoT Testleri

Sistem IoT gateway ile denemesi yapılmış ve istenilen maksimum değerler aşıldığında alarm mesajlarının elektronik posta ile alınma özelliği test edilmiştir. Yapılan incelemede internet üzerinden cihaz ara-yüzüne erişim sağlanmıştır. Sistem mevcut hali ile ulaşılan IoT yapısı Şekil 4.12’de açıklandığı şekilde oluşmuştur.



Şekil 4.12 Sistem IoT Yapısı Görseli

Elde edilen sonuç sayesinde;

- Sıcaklık sensörlerinin değerleri ve bu değerlerin farkları (ΔT),
- Basınç sensörlerinin değerleri ve bu değerlerin farkları (ΔP),
- Debi değeri,
- Vana pozisyon değeri,
- Enerji değeri,

gibi unsurlar kolaylık ile izlenebilmekte ve uzaktan müdahale edile bilmektedir. Sistem tasarımında ayarlanan değerler, aşıldığında uyarı vermekte ve kullanıcıya mail göndermektedir. Kullanıcı alarm mail yapısı ve görseli Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

[ALERT] TEMPERATURE HIGH



Smart-Valve <smartvalve1965@gmail.com>

Kime Yakup EGE



Bu ileti Yüksek önem düzeyinde gönderilmiştir.



İletiyi şu dile çevir: Türkçe

Şu dili hiçbir zaman çevirme: İngilizce

Çeviri tercihleri

Smart Valve dP Is Higher than actual value: 7.60

Şekil 4.13 ΔT Alarm

4.4 Debi Tahmin Algoritması Testleri

Hazırlık olarak cihazla bütünleştirilen pulse-debimetre kısmı iptal edilerek, akıllı vana cihazı test tesisatına bağlanmıştır. Okunan fark basınç değerlerine ve algoritma denklem 3.41'e göre kesit alanı tahmin ederek debi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin hesaplanan değerleri bir düzeltme katsayısı ile çarpılmıştır. Düzeltme katsayısı 0,67 olarak belirlenmiştir. Aktuatör derece hassasiyeti seçilen potansın $\pm 5^\circ$ hata payından dolayı 90° vana hareketine etkisi yaklaşık $\pm 1.63^\circ$ derece bir yansıması olacaktır. Ölçüm değerleri Tablo 4.6 da gösterilmiş ve hata oranları verilmiştir. Tesisatın en yüksek debi değeri, cihazın bütünleştirilmesinde kullanılan tesisat elemanlarının kesit alanlarına da bağlı olduğu için ve burada 20 mm çap'a sahip bir tesisat elemanı kullanılması gerektiğinden, en yüksek debi değeri vananın 70° kesit açıklığına denk gelmektedir. Bu sebeple hesaplamalarda 70° sonraki değerler dikkate alınmamıştır. Gözlemlerde 70° sonraki açıklıklarda en yüksek debi değerinin değişmediği gözlemlenmiştir. Testlerde güncellenen algoritma denklem 4.1 de gösterilmiştir. Denklemde gösterilen $+12.5^\circ$ vana hareketsiz bölgesini temsil etmektedir. 76.5° değeri de vananın açıklığının değiştiği toplam hareket mesafesini temsil etmektedir. Bulunan "*Kesit Değişim Derece Yüzde*" değerine göre açıklık kesiti algoritma ile hesaplatılmıştır. Tahmin edilmiş, "Vana Kesit Alan" değeri denklem 4.2 ile debi değeri tahmin edilmiştir.

$$Kesit Değişim Derece Yüzde = (Vana Açıklık Derece + 12,5)/76,5 \quad (4.1)$$

$$(4.2)$$

$$Debi\ Tahmin = \sqrt{\frac{(Vana\ Kesit\ Alan^2 * Giriş\ Boru\ Kesit\ Alan^2)}{(Giriş\ Boru\ Kesit\ Alan^2 - Vana\ Kesit\ Alan^2)}} * 2 * Fark\ Basınç * Düzeltme\ Katsayısı$$

Tablo 4.6 Debi Tahmin Algoritma Sonuçları

Değer Vana	Birim	Tesisat Debimetre Değer	Tahmin Edilen Değer	Hata Yüzde	Fark Basınç Değer	Birim
13,6	Derece	0,52	--	--	Okunamadı	kpa
16,3	Derece	0,6	--	--	Okunamadı	kpa
20,4	Derece	1,55	--	--	Okunamadı	kpa
22	Derece	1,92	--	--	Okunamadı	kpa
24,2	Derece	2,72	--	--	Okunamadı	kpa
26	Derece	3,06	--	--	Okunamadı	kpa
28,6	Derece	3,12	3,11	0,32%	340	kpa
30,3	Derece	3,37	3,23	4,15%	270	kpa
32	Derece	4,04	3,44	14,85%	224	kpa
34,75	Derece	4,16	4,12	0,96%	214	kpa
36,1	Derece	4,46	4,06	8,97%	170	kpa
37,75	Derece	4,53	4,07	10,15%	138	kpa
40,5	Derece	4,46	4,4	1,35%	115	kpa
42,2	Derece	4,45	4,46	-0,22%	97	kpa
43,6	Derece	4,45	4,38	1,57%	80	kpa
45	Derece	4,48	4,45	0,67%	79	kpa
50	Derece	4,43	4,43	0,00%	52	kpa
55	Derece	4,44	4,44	0,00%	32	kpa
Tablo 4.6 Devamı						
60	Derece	4,45	4,42	0,67%	19,4	kpa
65	Derece	4,42	4,44	-0,45%	11,4	kpa
70	Derece	4,43	4,41	0,45%	9,2	kpa

Okunamayan değerler fark basınç transmitteri özelliği yetmediği içindir. Okunan değerlerde ortalama %3 lük bir ortalama farklılık bulunmaktadır. En farklı değer %14 hata payına sahiptir. Hata payındaki artışın mekanik boşluklar ve derece değerindeki hassasiyetin ± 1.63 derece olması sebebiyle olduğu düşünülmektedir. +1 derece ofset ile değer hesaplatıldığında hata değeri %1'in altına düştüğü gözlemlenmiştir.

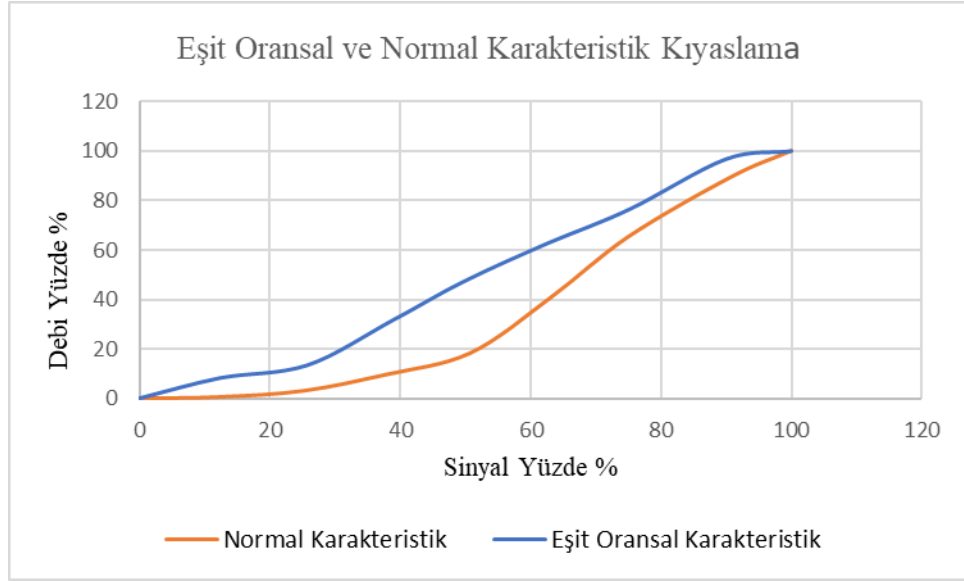
4.5 Vana Karakteristiği Algoritma Testleri

Debi tahmin algoritmasında görüldüğü gibi debi ayarlaması 42,5° mertebesinde son bulmaktadır. Küresel vana ilk 12,5° mertebelerine kadar da bir açıklık derecesi meydana getirmemektedir. Bu sebeple ayar yapılan aralık 30 ° mertebelerindedir. Bu aralık algoritmaya tanıtılmış ve denklem (3.42) yazılma eklenmiştir. Sonrasında denklem (3.41) yardımıyla küresel vananın kendi karakteristiğine göre gitmesi gereken derece değeri hesaplatılmıştır. 4-20 mA gelen sinyal yüzdesi denklem 3.42'e girdi olmaktadır. İlgili sinyal 2mA aralıklarla arttırılarak test sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir. Eşit oransal karakteristikte beklenen, hat karakteristiği, Şekil 2.28'de belirtildiği gibi lineer eğriye yaklaşması beklenmektedir.

Tablo 4.7 Eşit Oransal Algoritma Test Ölçüm Sonuçları

Ayar Akım Sinyal (mA)	Ölçülen Sinyal Değeri(mA)	Yüzde Sinyal %	Debi Değeri (m ³ /h)	Yüzde Debi %
4	4,6	0,0	0	0
6	6,6	12,4	0,38	8,2
8	8,5	25,7	0,62	13,4
10	10,5	38,8	1,46	31,5
12	12,4	50,0	2,2	47,5
14	14,4	62,6	2,9	62,6
16	16,2	75,2	3,54	76,5
18	18,0	90	4,48	96,8
20	20,0	100	4,63	100

Bu sonuçların grafik haline getirilmesi ile lineer eğri haline yaklaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.14'te ilgili eğri gösterilmiştir. Aradaki farkın görülebilmesi açısından vanaya hiçbir müdahale yapılmadan gelen sinyal yüzdesine göre çalışması ile ortaya çıkabilecek ölçümlerde eklenerek grafikte gösterimi ve kıyaslanması sağlanmıştır. 4-20mA giriş sinyali Fluke sinyal jeneratöründen sağlanmıştır.



Şekil 4.14 Eşit Oransal ve Normal Karakteristik Kıyaslama Grafiği

4.6 PID Kontrol Testleri

Vana pozisyonunun testleri, bölüm 3'te hesaplamaları yapılan katsayılar olan, $K_p = 13600$, $K_i = 1,4$, $K_d = 0,1785$ ile yapılmıştır. $0,9^\circ$ hata oranında ortalama 2 salınımda, ayar yapılan pozisyon değerlerinde kararlılığın sağlandığı görülmüştür. Şekil 4.15'te istenen pozisyon ve gidilen pozisyon arasındaki farkı gösteren görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.15 PID Kontrolünde Hata Farkı Gösterimi

5 SONUÇ

Yapılan çalışma içerisinde sistemin bir bütün olarak devreye alınması ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tesisat içerisindeki akışın kontrolünü sağlamak adına temel parametrelerin (basınç, sıcaklık, debi) izlemeleri ve senaryolara göre kontrolleri test edilmiştir. IoT sistem uyumluluğu sağlanmıştır. Bu sayede internet üzerinden farklı cihazlar ile bağlanabilmesi sağlanmıştır.

Geri beslemeli devrelerde PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrol yöntemi başta motor hassas derece pozisyonlaması olmak üzere, birçok kontrol uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır. PID kontrol ile vana konumlandırmasında bir derece mertebelerinde hassasiyet sağlanmıştır.

Algoritmalar çoğunlukla işlem basamakları ile gidilecek yolu belirlemek ve basitleştirmek hatta kontrol sürecini yönetmek amacıyla kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında, akıllı vana tasarımında iki özgün algoritma türetilmiştir. Bunlardan bir tanesi fark basınç ile debi tahmin algoritması ve diğeri eşit oransal karakteristik algoritmasıdır.

Genellikle mevcut çalışmalar ve konuya ilişkin teorik altyapı oluşturmak amacıyla literatür taraması yapılmaktadır. Literatürde yer alan Bernoulli denklemleri akıllı vana tasarımında kullanılmıştır. Bu teorik yaklaşım baz alınarak ve vana mekanik yapısı matematiksel bir şekilde açıklanması yapılmıştır. Ayrıca literatür taramasında görülen IoT ve Akıllı Vana sistemlerin yaklaşımı temel alınarak kendine özgü bir IoT Akıllı Vana tasarımı gerçekleştirilmiştir.

5.1 Elde Edilen Sonuçlar

Senaryoların kurguları sıcaklık farklılıkları, basınç farklılıkları, enerji miktarı ve akışın miktarı üzerinden kurgulanmıştır. Bu senaryolar sistem içerisinde kontrol edilmek istenen çıktıya göre farklılık gösterebilir. Çalışmada incelenen senaryolar tesisat içerisinde oluşan farklılıklar ve bu farklılıklara karşı senaryoda belirtilen mantık ile eylemlerin alınmasını, eylemlerin kontrolünü sağlamaktadır. Tesisat sektöründe bu tip uygulamaların daha kompakt yapılara gelmesi önemli bir sonuçtur. Bu sayede

sensörleri ile çalıştığı ortamı tanıyan ve tepkilerini aldığı verilere göre veren, web üzerinden kontrol edilebilen cihazlar ile tesisat sistemlerine hakimiyetin olabileceği önerilmiştir. Oluşturulan ve testleri yapılan iki algoritma ile hem debi tahmin işlemlerinin fark basınç ile yapılabileceği hem de vana karakteristik eğrilerinin istenen şekilde değiştirilebileceği ortaya koyulmuştur.

Literatürde, küresel vana için tasarlanmış bir debi tahmin algoritması yer almamaktadır. Ancak vanalarla ilgili mevcut literatüre baktığımızda debi ölçüm sistemlerinde ilave debi ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen tasarımda, küresel vana ile çalışan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu geliştirilen algoritma, fark basınç ölçümü ile alan açıklığını bir fonksiyon olarak kullanmaktadır. Akışkanlar dinamiğini açıklayan Bernoulli denklemleri ile bu fonksiyon birlikte çalıştırılarak algoritma yaratılmıştır.

Küresel vanalarda kontrol sinyaline göre lineer akış karakteristiği yoktur. Başka bir ifadeyle küresel vanalarda kontrol sinyaline göre lineer debi ayarlaması bulunmamaktadır. Tasarlanan akış karakteristiği değişim algoritmasında, eşit oransal karakteristik fonksiyonu üretilmiş, bu fonksiyonun çıktısı olan debi yüzdesine göre üretilen küresel vananın kendi karakteristik fonksiyonuna göre küresel vananın gitmesi gereken derece değeri hesaplanmıştır. Mevcut küresel vanalarda benzer özellikler, mekanik sistemle sağlanmakta iken, bu tasarımda yazılım ile akış kontrolü yapılmıştır. Hem üretilen algoritmalar hem de yapılan iyileştirmeler yardımıyla küresel vanaya yenilikçi özellikler kazandırılmıştır. Oluşturulan iki algoritma ile akıllı vana cihazı literatüre önemli bir katkı sağlamıştır.

5.2 Gelecek Durum Çalışmaları ve Öneriler

Akıllı vana cihazı ve benzer sistem elemanlarının kullanımı ile tesisat ağında kullanılacak oldukça fazla yazılım senaryoları ile elektronik kontrol sistemleri yaratılacaktır. Verilerin bulut tabanlı sistemlerde tutulması günümüzde gittikçe önem kazanan Yapay Zekâ çalışmalarının, tesisat sektörü için devreye alınmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca daha hassas ölçüm sensörleri ve daha az boşluklu mekanik sistemlerin bütünleştirilmesi ile bu çalışmaların daha hassas sonuçlar verecektir.

Akıllı vana cihazı tasarımı, özellikleri ileride daha da geliştirilebilir ve diğer tesisat elemanlarına yaygınlaştırılabilir. Örneğin tesisat sistemlerinde önemli uygulamalarda yer alan pompa, diğer vana çeşitleri gibi elemanlarda geliştirilecek yeni fonksiyonel algoritmalar ve bu algoritmaların cihazlarla entegrasyonu için bu tez çalışması önemli bir kılavuz olacaktır.

Son yıllarda büyük bir ivme kazanan başta yapay zekâ algoritmaları olmak üzere yeni yazılımlar tesisat sektörünü daha güvenli hale getirecek ve uzaktan erişime imkân sağlayacaktır. Bu nedenle, tesisat sektöründe akışkan parametreleri ve cihaz tasarımları daha çok yazılım desteği ile gerçekleştirilecektir.



6 KAYNAKLAR

Cengel Y.A., Cimbala J.M. (2021), Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları. T.Engin (çev.).Ankara: Üçüncü Baskı, Palme Yayın Evi (orijinal baskı 2014).

Zappe R.W. (1999), Valve Selection Handbook, 4th edition, Gulf Professional Publishing.

Tokay S. (2013), Vanalar ve Vana Uygulamaları, Kitap Dizisi No:1, Duyar Akademi Yayınları.

Enekçi, S. (2018). Petrol ve Doğalgaz Enerji Hat Vanalarının Üretim ve Çalışma Karakteristiğinin İncelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi FBE.

Türk Standartları Enstitüsü. Vanalar-Terminoloji Bölüm-1 Vana Tiplerinin Tarifi. Birinci Baskı (1996). Ankara: TSE.

Kuo, B.C. (2005). Otomatik Kontrol Sistemleri 7. Baskı. A.Bir (çev.). New Jersey: Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company (orijinal baskı tarihi 1995)

Acıman, T. (2019). PID Kontrol ile DC Motorun Hassas Konum Kontrolü. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Tokat: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi: FBE.

Develi, H. (2004). Ziegler Nichols Yöntemi ve Migo Yaklaşımı.Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi:FBE.

Çakmak, C. (2011). Ziegler-Nichols PID Kontrolör Parametrelerinin Bulanık Tabanlı İyileştirme Yöntemi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi:FBE.

Gürgöze G. ve Türkoğlu İ. “Mobil robotlarda kullanılan DC motorların parametrelerinin belirlenmesi için deney düzeneği geliştirilmesi”. Politeknik Dergisi, 25(1): 115-121, (2022).

Leephakpreeda, T. (2004) Design factors for “linear” ball valve: theoretical and experimental studies. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/26472630_Design_factors_for_linear_ball_valve_theoretical_and_experimental_studies (01.03.2021)

Ko. W.H, Fung C.D. (1982), VLSI and intelligent transducers. Sensors and Actuators, (2):239-250.

Kılıç, H. (2007). Akıllı Binalar Kurulumları ve İşletilmeleri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi: FBE.

Hashim H., Tee K.S., Haron Z.A. (2007) Industrial Communication Networking: An Ethernet Based Implementation. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/274458128> (01.10.2021)

Bayart M. (1997), Smart Valve Description According to The IEC 1131-3 Norm. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017432964>

Jahromi H.N., Hamedani M.J., Dolatabadi S.F., Abbasi P. (2014), Smart energy and water meter: a novel vision to groundwater monitoring and management. ScienceDirect. www.sciencedirect.com

Mounce S. R., Pedraza C., Jackson T., Linford P., Boxall J. B. (2015) Cloud Based Machine Learning Approaches for Leakage Assessment and Management in Smart Water Networks. Elsevier. www.sciencedirect.com

Fikejz J., Roleček J. (2018). Proposal of a smart water meter for detecting sudden water leakage. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8398316>

Sangolt J.-K., Erstad T., Bjørøy T. (2019). Application of Industry 4.0 Concepts for Increasing Reliability of Valves, Lisans Tezi. Bergen, Norveç: Western Norway University of Applied Sciences.

Mohandoss P. and Paul P. (2018) , IoT Enabled Monitoring and Control of Water Distribution Network. Queen's University.
<https://ojs.library.queensu.ca/index.php/wdsa-ccw/article/download/12171/7764> (01.08.2021)

Kelly S., (2013). Design and implementation of internet of things for home Environment , Yüksek Lisans Tezi , Manawatu: Massey University, Computer System Engineering

Turak Y. (2015). Nesnelerin İnterneti ve Güvenliği. Bilişim Teknolojisi Hukuku Enstitüsü, Bilişim Hukuku Anabilim Dalı, İstanbul Bilgi Üniversitesi

Dhondge, K. (2016). Internet of Things (IoT) Applications with Diverse Direct Communication Methods, partial fulfillment of the requirements for the degree Doctor, Missouri: Massey University, Telecommunications and Computer Networking and Computer Science

Corcho O., Castro R. G., (2010) Five Challenges for The Semantic Sensor Web. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/49911459_Five_Challenges_for_the_Semantic_Sensor_Web (01.04.2010)

Wong J C., (2018). Designing User-Centered IoT Solutions for Small-Scale and Mid-Scale Farmers Distinction , Yüksek Lisans Tezi , Boston: Massachusetts Institute of Technology, Engineering and Management.

Belimo Automation AG. Bus solutions from Belimo (2021). Hinwil, Schweiz.
www.belimo.cz (10.10.2021)

Çengel Y.A and Boles M. (2006), Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed, McGraw-Hill.

KHK Gears. (2021). Calculation of Gear Dimensions.
https://khkgears.net/new/gear_knowledge/gear_technical_reference/calculation_gear_dimensions.html (10.10. 2021).

KHK Gears. (2021). Gear Forces. https://khkgears.net/new/gear_knowledge/gear_technical_reference/gear_forces.html (10.10. 2021).

FramoMorat. (bt). Worm Gear Sets. https://framo-morat.com/wp-content/uploads/Worm_gear_sets_en.pdf (11.11.2021)

Texas Instruments (1999). LMD 18200 3A, 55V H-Bridge Catalog, (son güncelleme Nisan 2013). <https://www.ti.com/product/LMD18200> (12.11.2021)

Texas Instruments (2002). Active Low-Pass Filter Design, <https://www.ti.com/lit/an/sloa049b/sloa049b.pdf> (13.11.2021)

Texas Instruments (2021). LM2596 Simple Switcher Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator, www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf (13.11.2021).

Sharp Corporation, (2006). Opto-Analog Devices Division Electronic Components Group Specification, Photocoupler PC817, <https://pdf.direnc.net/upload/pc817-datasheet.pdf> (10.07.2021)

Maxim Integrated (2014). Max481/Max483/Max485/Max487–Max491/Max1487 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers, <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf> (10.07.2021)

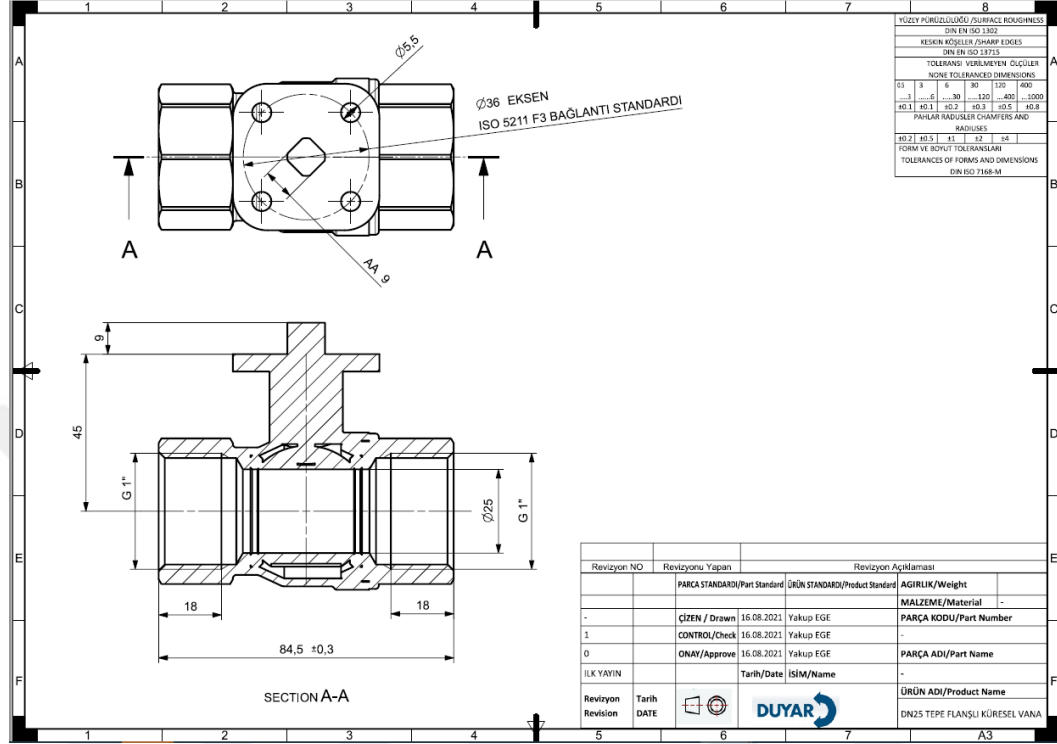
Espressif Systems (2018). Esp32-Wroom-32d/Esp32-Wroom-32u Datasheet, <https://pdf.direnc.net/upload/espressif-systems-esp32-wroom-32d-datasheet.pdf> (21.02.2021)

IPC (2003). IPC2221-A, Generic Standard on Printed Board Design, (Table-6-1).

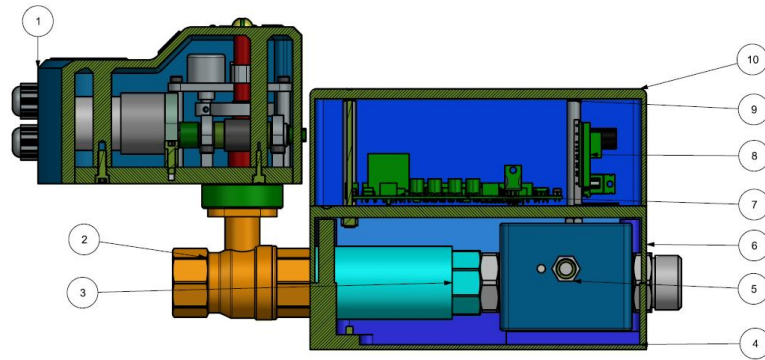
SIKA Dr. Siebert & Kühn GmbH & Co. KG (2020). Sika Flow sensors Vmi induq Technical Datasheet, www.sika.net (10.07.2021).

7 EKLER

EK A Teknik Resimler

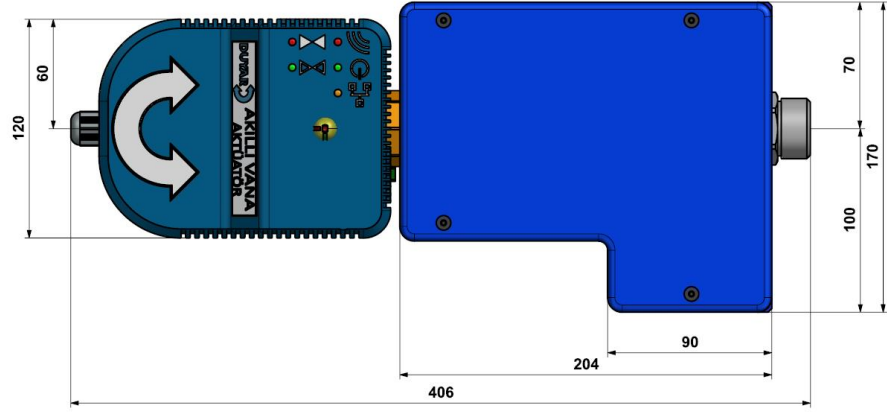


Şekil A.1 Küresel Vana Teknik Resim

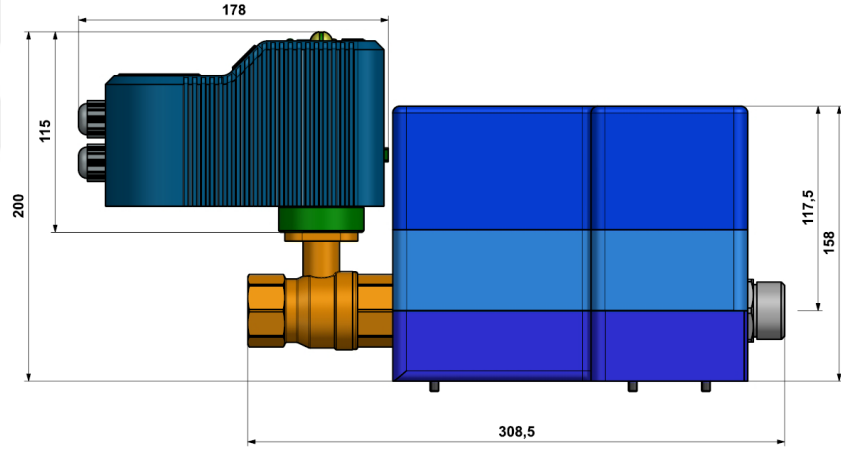


NO	İSİM
1	Aktüatör
2	DN25 Tepe Flanşlı Küresel Vana
3	Ara Bağlantı Parçası
4	Gövde
5	Debimetre
6	Gövde Ara Kapak
7	Elektronik Kart
8	Power Supply
9	Bağlantı Mili
10	Gövde Üst Kapak

(a)



(b)



(c)

Şekil A.2 Akıllı Vana Montaj Görseli ve Ölçüler (a) Kesit Görünüm (b) Üst Görünüm (c) Yan Görünüm

EK B Matlab Hesaplamalar

PID Program Matlab

```
J=0.000716107311947627;
```

```
b=0.0000017434579;
```

```
K=0.029091897;
```

```
R=127.1120113167;
```

```
L=0.0336;
```

```
num=K;
```

```
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];
```

```
Kp=13600;
```

```
Ki=1.4;
```

```
Kd=0.1785;
```

```
numc=[Kd, Kp, Ki];
```

```
denc=[1 0];
```

```
numa=conv(num,numc);
```

```
dena=conv(den,denc);
```

```
[numac,denac]=cloop(numa,dena);
```

```
step(numac,denac)
```

```
title('PID Control')
```

Küre Yazılım Matlab

```
d=0:0.1:75.8;%derecerece Vana
dereceyuzde=d/75.8*100;
R=24.9;%vana geçiş çapı
RK=40.53;%Küre Çapı
KG=30.5;%Küre Genişliği
r=R/2;% Vana geçiş yarıçapı
rK=RK/2;% Küre yarı çapı
oranrrk=r/rK; %r/rK oranı
H=asin(orannrk);
Hb=rad2deg(H);
HD=90-Hb;
HDR=deg2rad(HD);
AGD=(KG/2)/(rK); %Açılışa geçme oran
AGDR=acos(AGD); %Açılışa geçme açısı rad
AGDD=rad2deg(AGDR);%Açılışa geçme açısı derece
Bosluk=-AGDD+HD;
TD=d+HD;
TDR=deg2rad(TD);
x0=rK*cos(HDR);%açılışa geçme x değeri
xk=rK*cos(TDR);
Kesimx=x0-xk;
rkare=r^2;
Kesimxhalf=Kesimx/2; %kesişim miktarı yarısı
Dairemuz=R-Kesimx;%Daire merkezler arası uzaklık x eksen,
a1=r-Kesimxhalf;%1.integral başlangıç koş.
```

```

b1=r;% 1. integral sonuç koş.

a2=Dairemuz-r; %2. integral başlangıç koş.

b2=r-Kesimxhalf;%2. integral sonuç koş.

```

```

N=size(a1,2);

```

```

i=0:1:(N-1);

```

```

for i=i+1

```

```

    fun=@(x,i)(rkare-x.^2).^(1/2);

```

```

    q(i) = integral(fun,a1(i),b1);

```

```

    y=@(x)(rkare-(x-Dairemuz(i)).^2).^(1/2);

```

```

    QF(i) = integral(y,a2(i),b2(i));

```

```

end

```

```

q1=q*2;

```

```

QF1=QF*2;

```

```
ToplamAlan=q1+QF1;
```

```
%plot(dereceyuzde,ToplamAlan)
```

```
DeltaP=100;%kpa
```

```
Boru1Cap=0.02635;
```

```
AlanBoru1=(Boru1Cap.^2)*pi/4;
```

```
AlanBoru2=ToplamAlan/1000000;
```

```
AlanBoru1kare=AlanBoru1^2;
```

```
AlanBoru2kare=AlanBoru2.^2;
```

```
FarkAlan= (AlanBoru2kare*AlanBoru1kare);
```

```
Farklan1=(AlanBoru1kare-AlanBoru2kare);
```

```
Sonuc2=Farklan1.^(-1);
```

```
Sonuc=FarkAlan.*Sonuc2;
```

```
alfa=1.05;%kinetik düzeltme faktörü
```

```
Debikare=Sonuc.*2*DeltaP/alfa;
```

```
Debi=Debikare.^(1/2);
```

```
Debim3h=Debi*3600;
```

```
Debiper=(Debim3h/Debim3h(1,759))*100;
```

```
%plot(dereceyuzde,Debim3h)
```

```
plot(dereceyuzde,Debiper)
```

```
DebimaxEP=Debim3h(1,759);
```

```
M=759;
```

```
DebiEP(1,M)=DebimaxEP;
```

```
l=1:1:759;
```

```
for l=M-1
```

```
DebiEP(1,l)= DebiEP(1,l+1)/1.005;
```

```
DebiLin(1,l+1)= DebimaxEP/759*(l+1);
```

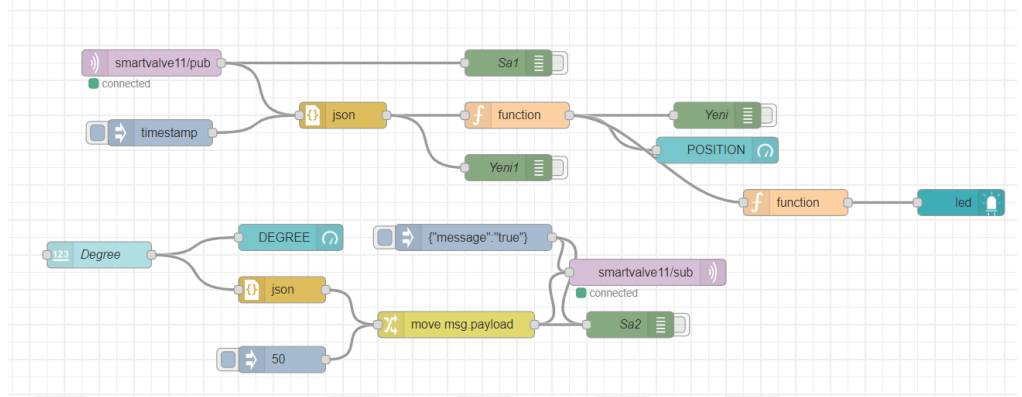
```
DebiEPper=(DebiEP/DebimaxEP)*100;
```

```
%plot(dereceyuzde,DebiEPper)
```

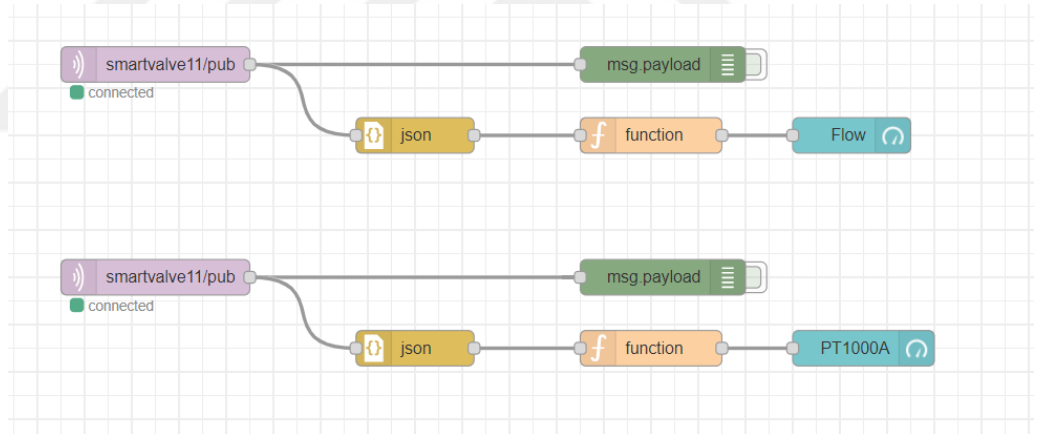
```
%plot(dereceyuzde,DebiEP)
```

```
end
```

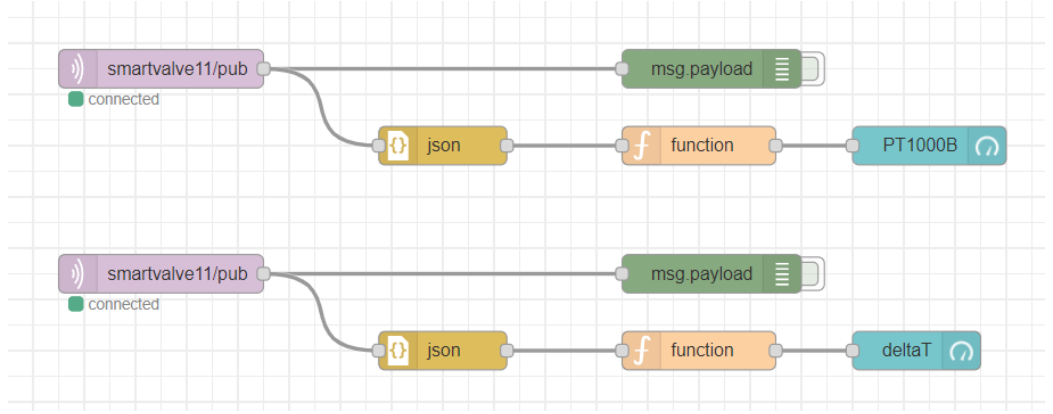
EK C Node-Red Yazılımlar



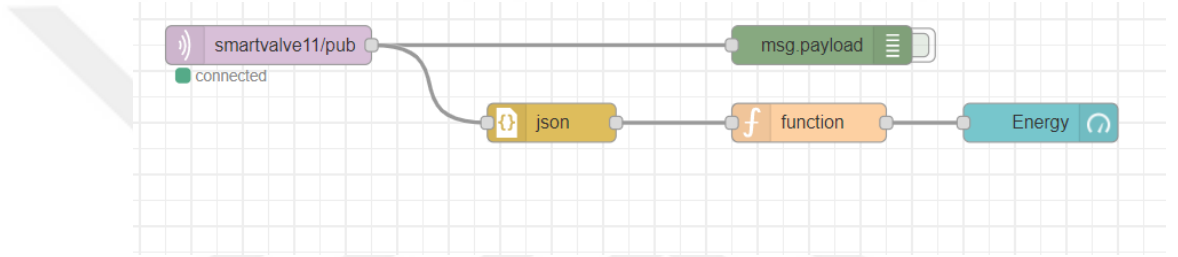
Şekil C.1 Pozisyon, Çalışma Mesajları Okunması ve Girilen Derece Değerinin Mesaja Dönüştürülmesi



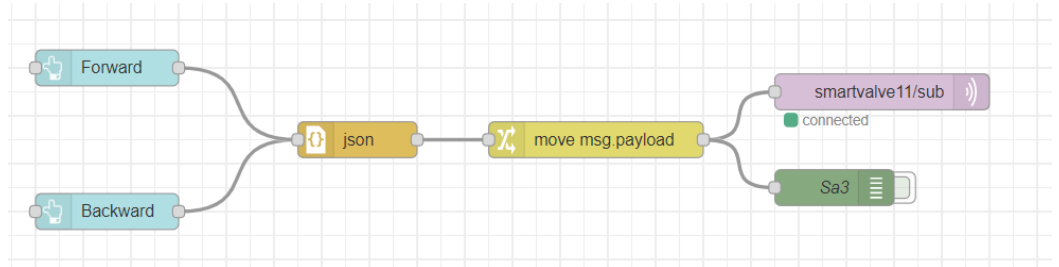
Şekil C.2 Akış ve 1. Sıcaklık Veri Mesajlarının Okunması



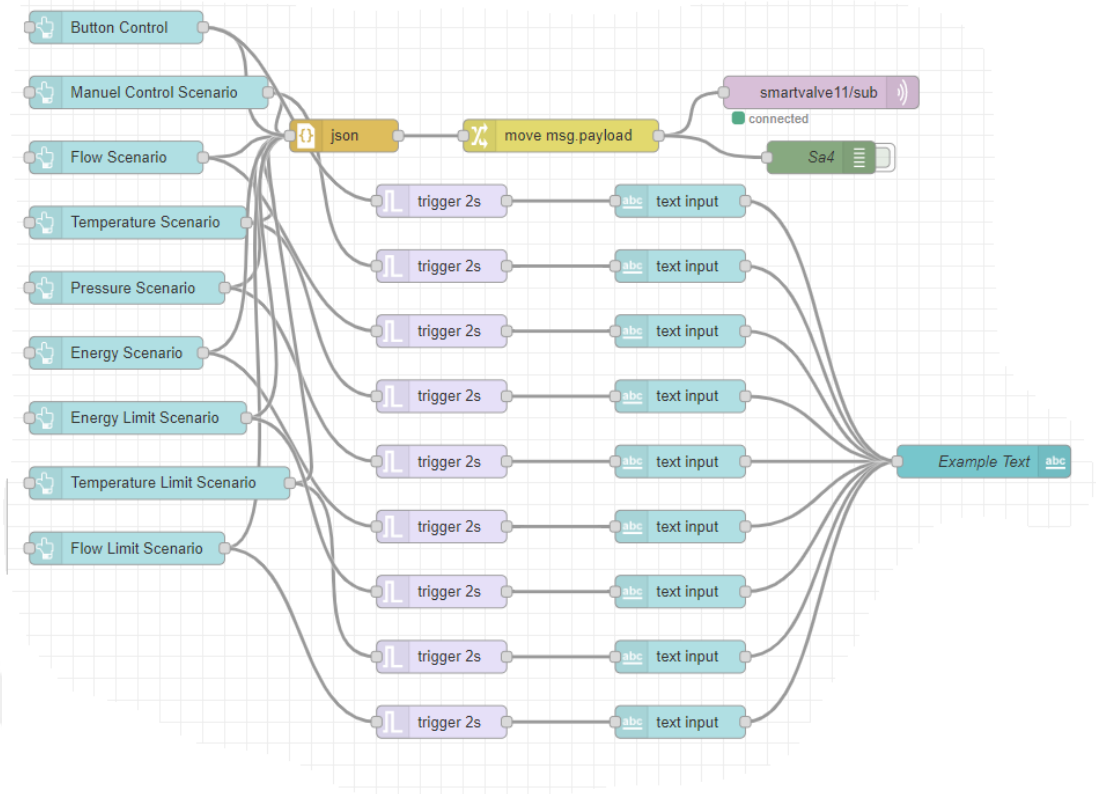
Şekil C.3 2. Sıcaklık Sensörü ve DetaT Değeri Mesajları Okunması



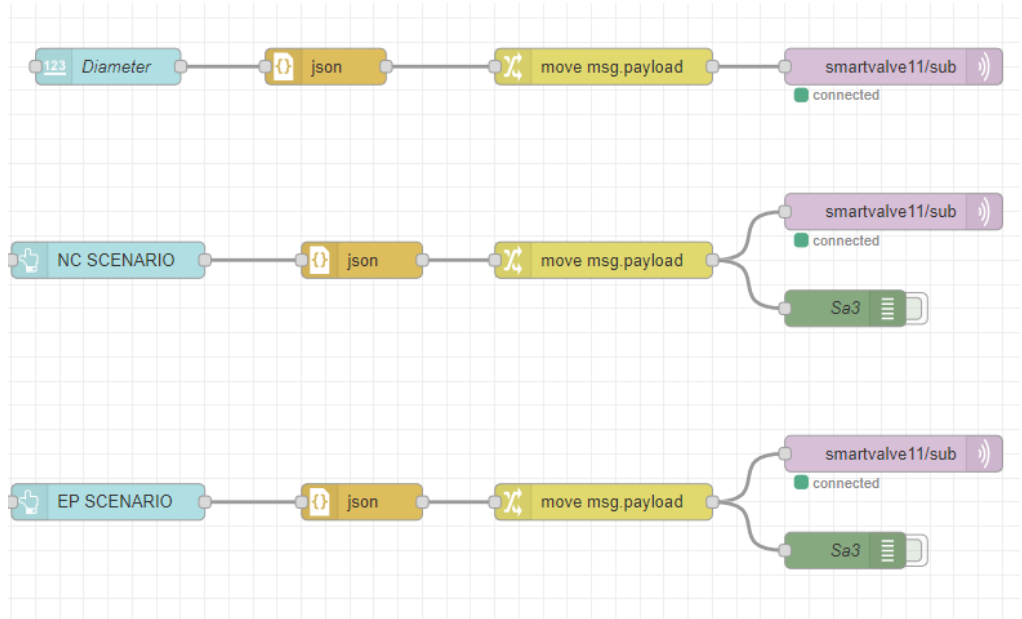
Şekil C.4 Enerji Veri Mesajının Okunması



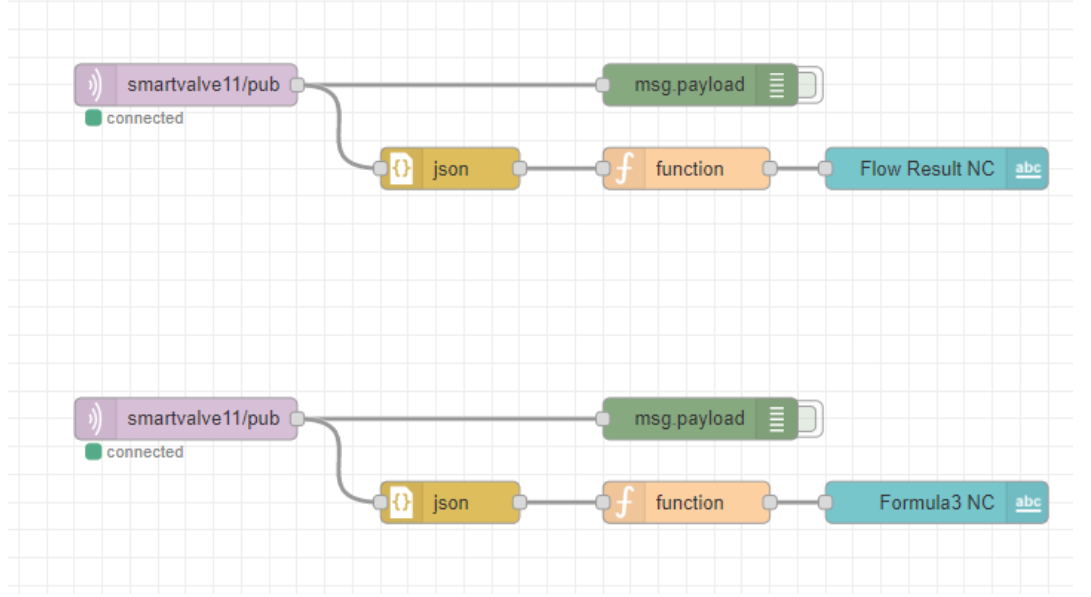
Şekil C.5 Manuel Kontrol Saat Yönü ve Ters Komutlarının Cihaza İletilmesi



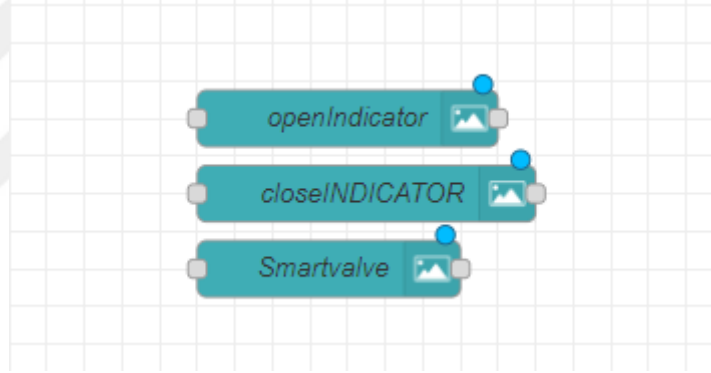
Şekil C.6 Senaryo Kontrolleri Ara-yüz Geçiş Mesajlarının Cihaza İletilmesi. Senaryolar; Manuel kontrol, Akış Kontrol, Sıcaklık Kontrol, Fark Basınç Kontrol, Enerji Kontrol, Enerji Limitleme, Sıcaklık Limitleme, Akış Limitleme



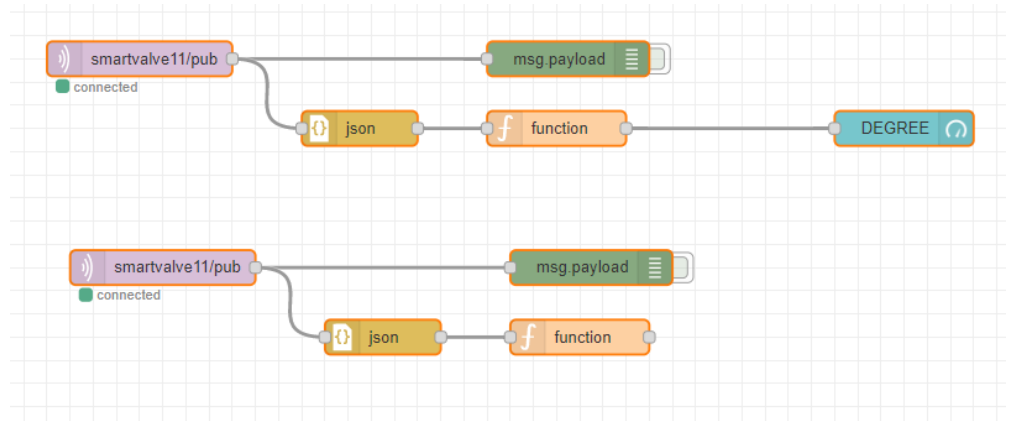
Şekil C.7 Çap Veri, Normal Karakteristik Senaryo Seçim, Eşit Oransal Karakteristik Mesajlarının Cihaza iletilmesi



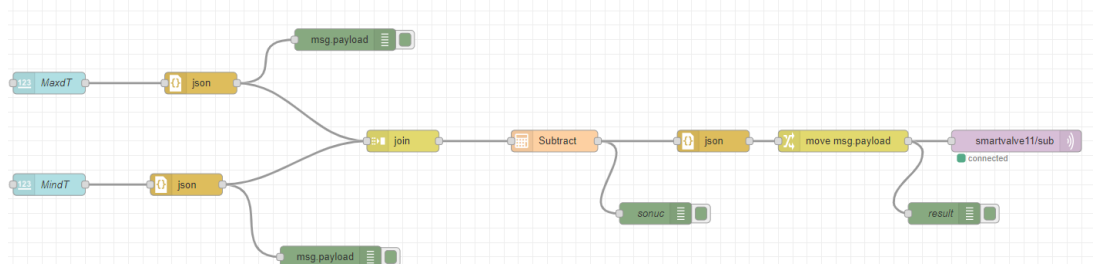
Şekil C.8 Debi Hesaplama Verilerinin Ara-yüz'e İletilmesi Mesajları



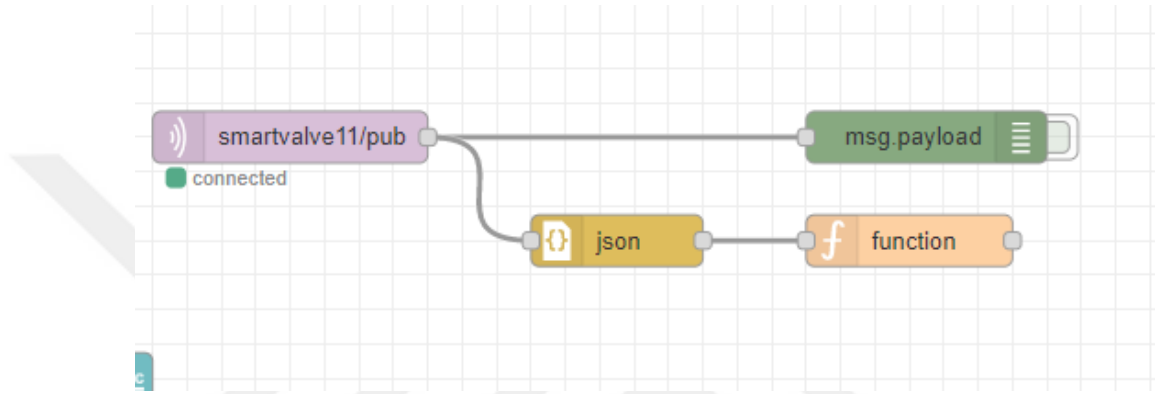
Şekil C.9 Ara-yüz Görsellerinin Eklenmesi



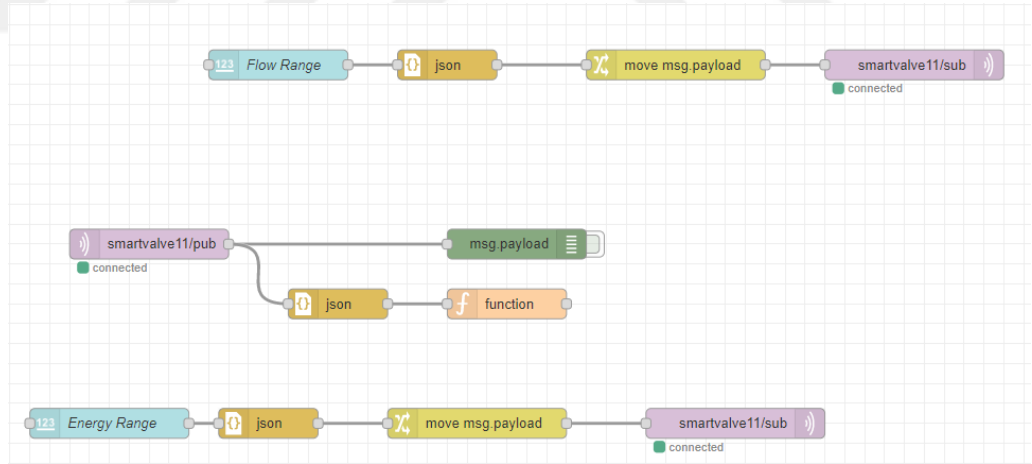
Şekil C.10 Pozisyon Değerinin Ara-yüz'e Aktarılması



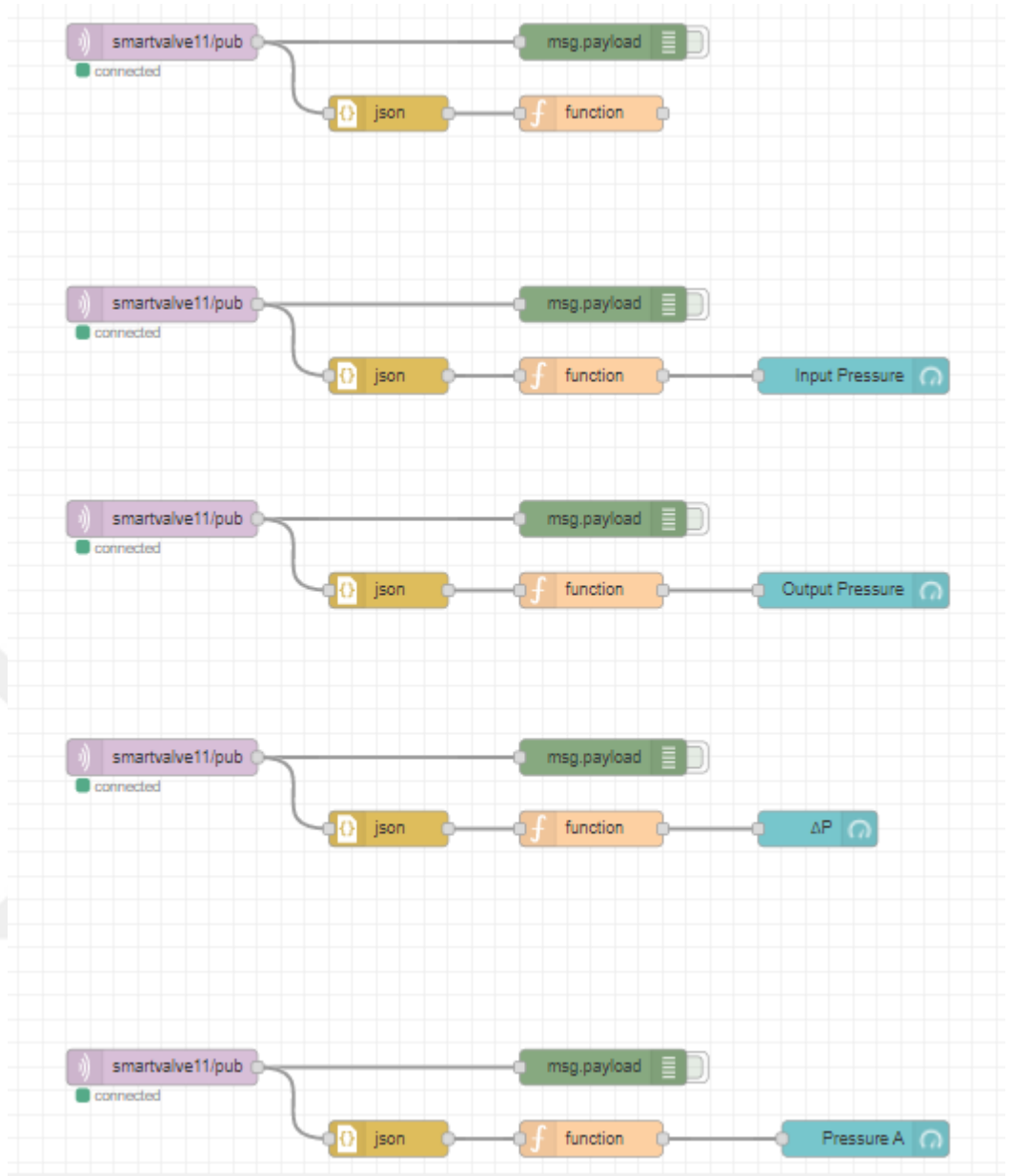
Şekil C.11 Fark Sıcaklık Limitleme Verilerinin Cihaza Aktarılması



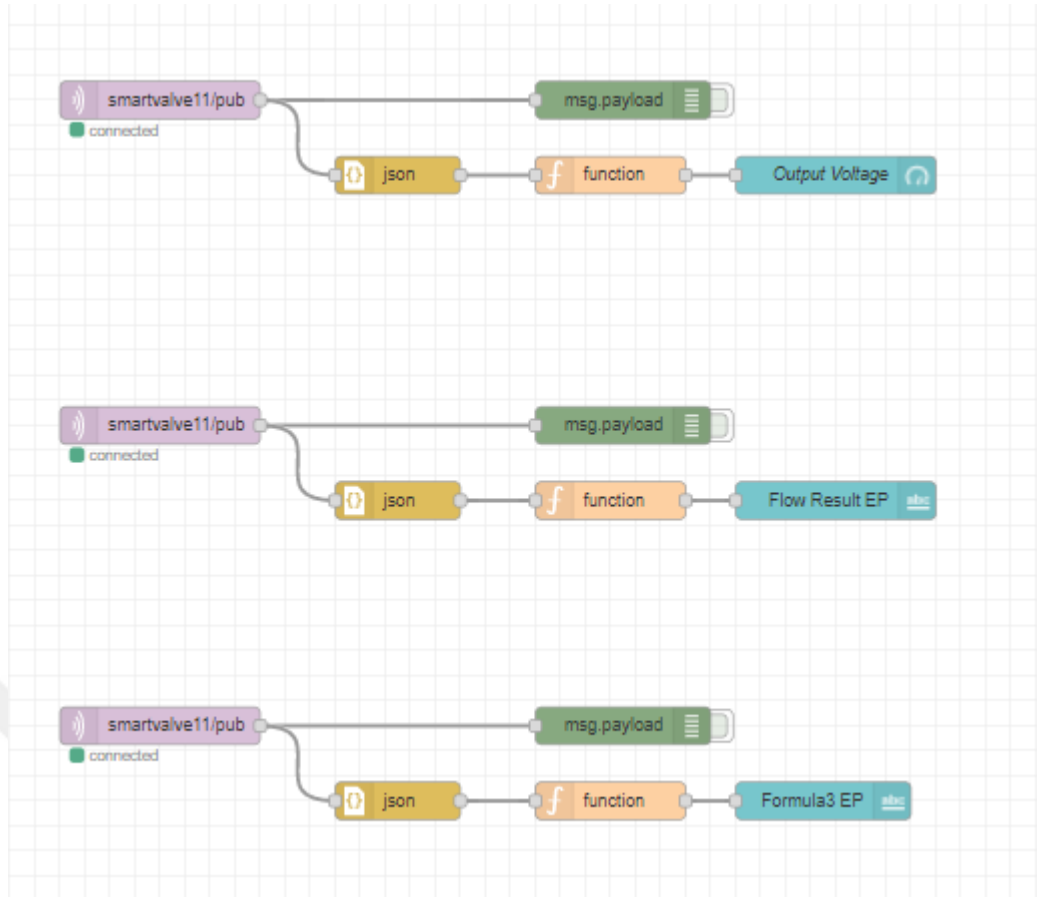
Şekil C.12 Hesaplanan fark sıcaklık verisinin Ara-yüze aktarılması Fonksiyonu



Şekil C.13 Cihazdan Enerji Senaryo Seçildi Bilgisi Alınması ve Enerji bilgisinin cihaza mesajlanması



Şekil C.14 Cihazdan Basınç Bilgilerinin Alınması



Şekil C.15 Cihazdan Analog Sinyal Çıkış ve Akış Bilgilerinin Alınması

EK D HTML Arayüz Programı

```
<!DOCTYPE html>

<html>

<head>

    <title>Smart Valve Wi-Fi Manager</title>

    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1">

    <link rel="icon" href="data:,">

    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
</head>

<body>

    <div class="topnav">

        <h1>Smart Valve Wi-Fi Manager</h1>

    </div>

    <div class="content">

        <div class="card-grid">

            <div class="card">

                <form action="/" method="POST">

                    <p>

                        <label for="ssid">SSID</label>

                        <input type="text" id ="ssid" name="ssid"><br>

                        <label for="pass">Password</label>

                        <input type="text" id ="pass" name="pass"><br>

                        <label for="ip">IP Address</label>

                        <input type="text" id ="ip" name="ip"
value="192.168.1.200"><br>

                        <label for="gateway">Gateway Address</label>
```

```
        <input type="text" id="gateway" name="gateway"
value="192.168.1.1"><br>

        <input type="submit" value="Submit">

    </p>

</form>

</div>

</div>

</div>

</body>

</html>
```


EK D Kullanılan Elektronik Kart Elemanların Teknik Özellikleri

Elektronik kart tasarımında kullanılan 4N35 optoküplör ilişkin açıklama aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link:

<https://www.tme.eu/Document/0a748d373c7be7e41c7dedbbdfadacf5/4N35-SHORT.F.pdf> (Erişim tarihi: 12.10.2021)

Elektronik Kart tasarımında kullanılan o-pamp LM358B için açıklama aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf?ts=1651117706019>

(Erişim Tarihi: 05.05.2021)

Elektronik kart tasarımında kullanılan transistör, Tip 121, ile ilgili açıklama aşağıdaki likte yer almaktadır;

Link: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tip125.pdf> (Erişim Tarihi: 01.08.2021)

Elektronik kart tasarımında kullanılan motor sürücü entegre LMD18200 ile ilgili açıklama aşağıdaki linkte yer almaktadır;

Link: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmd18200.pdf> (Erişim Tarihi: 05.07.2021)

Elektronik Kart tasarımında kullanılan motor hakkında açıklama aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link: <https://mugul.com/wp-content/uploads/2017/02/MG3xx.pdf> (Erişim Tarihi: 06.07.2021)

Elektronik kart tasarımında kullanılan optoküplör PC817 ile ilgili açıklama aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link: <https://pdf.direnc.net/upload/pc817-datasheet.pdf> (Erişim Tarihi: 09.11.2022)

Elektronik kart tasarımında kullanılan işlemci bilgileri aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf (Erişim Tarihi: 20.12.2021)

Elektronik kart tasarımında kullanılan Max 485 entegre ile ilgili bilgiler aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-AX491.pdf>

Elektronik kart tasarımında kullanılan regülatör entegresi LM2596 ile ilgili açıklama aşağıdaki linkte yer almaktadır.

Link: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1651096096186&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

Elektronik kart tasarımında kullanılan fark basınç sensörüne ilişkin açıklamalar aşağıdaki linkte yer almaktadır.

<https://bass.com.tr/Upload/Dokumanlar/3122021103330314.pdf>

EK E Kullanılan Analog Sinyal Jeneratörü



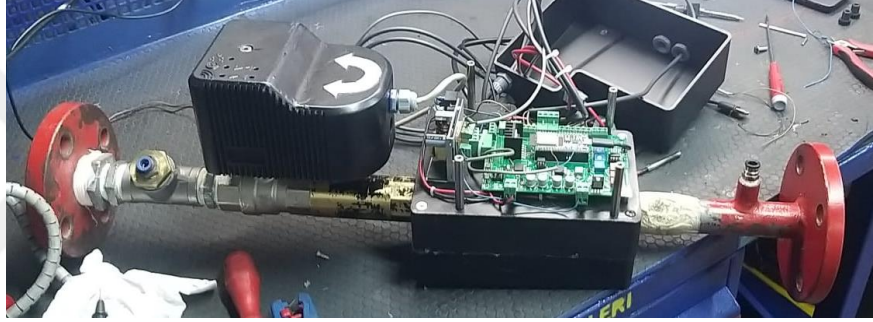
Şekil E.1 Fluke Ölçüm ve Sinyal Jeneratörü Cihazı

Link: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/715_iseng0300.pdf

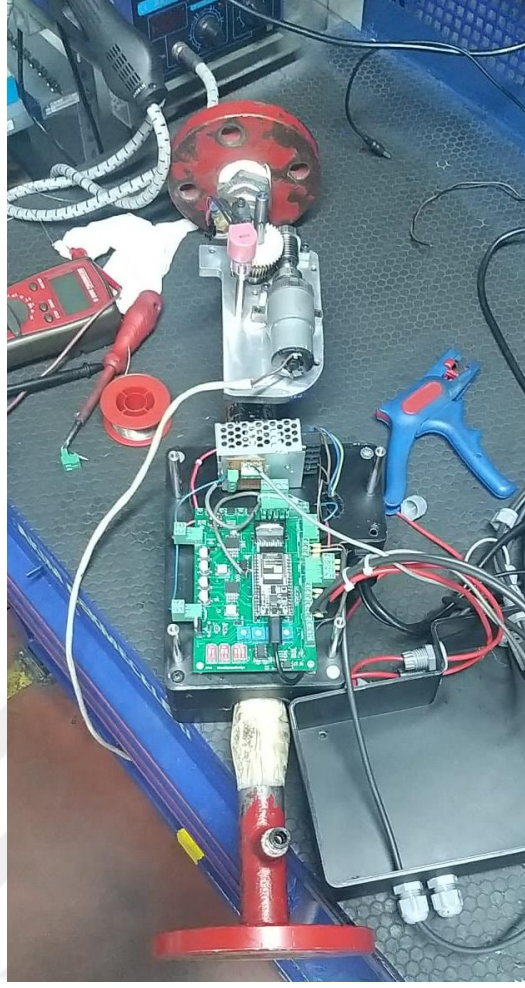
EK F Uygulama ve Test Görselleri



Şekil F.1 Akıllı Vana Cihaz Görseli



Şekil F.2 Akıllı Vana Elektronik Kart Yerleşim Görseli



Şekil F.3 Akıllı Vana Mekanik ve Elektronik Kart Yerleşim Görseli

8 ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yakup EGE

Doğum Yeri ve Tarihi :

Elektronik posta :

İletişim Adresi :

ORCID Numarası :

Öğrenim Durumu

2001 – 2006 Lisans: Erciyes Üniversitesi– Makine Mühendisliği
2015 – 2016 Yüksek Lisans: İstanbul Arel Üniversitesi – Elektrik-
Elektronik Mühendisliği

Yayın Listesi:

Ulusal/Uluslararası Bildiri Listesi: