

**ÇAMAŞIR MAKİNESİ İÇİN
BÜTÜNLEŞİK ALGILAMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF INTEGRATED SENSOR SYSTEM FOR
WASHING MACHINE**

GÖKHAN BAYRAK

Prof. Dr. MEHMET RECAİ ELLİALTIOĞLU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2014

GÖKHAN BAYRAK'ın hazırladığı "**Çamaşır Makinesi İçin Bütünleşik Algılama Sistemi Geliştirilmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Tarık REYHAN

Başkan

.....

Prof. Dr. M. Recai ELLİALTIOĞLU

Danışman

.....

Prof. Dr. Şadan ÖZCAN

Üye

.....

Doç. Dr. Abdullah CEYLAN

Üye

.....

Yrd. Doç. Dr. Akın BACIOĞLU

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15.12.2014

Gökhan BAYRAK

ÖZET

ÇAMAŞIR MAKİNESİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK ALGILAMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

GÖKHAN BAYRAK

Yüksek Lisans, Fizik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. RECAİ ELLİALTIOĞLU

Aralık 2014, 55 sayfa

Günümüz ev hayatının vazgeçilmez unsurlarından birisi olan çamaşır makinesinin insanlara sağladığı kolaylık aşikardır. Bunun yanı sıra tüketici tarafından bakıldığında, satın alınacak çamaşır makinesinin fiyat/performans oranının iyi olması istenilen bir özelliktir. Piyasadaki mevcut rekabet koşullarında yüksek fiyat/performans oranlı makine üretmek, üreticiler için zorlayıcı bir unsurdur.

Arçelik A.Ş. Ç.M.İ. Ar-Ge ile birlikte yürütülen 01212.STZ.2012-1 nolu SANTEZ projesi kapsamında yapılmış olan çalışmalardan oluşan bu yüksek lisans tezinde ilk olarak kontrol teorisi'ne yer verilmiştir. Ardından, projede kullanılan tüm sensörler sırasıyla irdelenerek deneylerde elde edilen sonuçlarla birlikte okuyucuya aktarılmıştır. Daha sonraki kısımlarda ise ön tasarım ve detay tasarıma yardımcı olarak kullanılan simülasyonlardan bahsedilmiştir.

Mevcut çamaşır makinelerinde kullanımda bulunan; basınç, sıcaklık, iletkenlik ve bulanıklık sensörlerinin tümü bir araya toplanarak kompozit bir tasarım elde edilmiştir. İndüktif basınç sensörü yerine MEMS tipi basınç sensörü kullanılmış ve hassas mikromanometre yardımıyla kalibre edilerek basınç ölçümleri daha hassas hale getirilmiştir. Bulanıklık sensörü; UV ve görünür bölge bandında çalışan spektrofotometre ve NTU standardına göre hazırlanmış bulunan formazin çözeltilisi kullanılarak yeniden kalibre edilmiştir. Sıcaklık sensörü olarak kullanılan NTC tipi termistörün karakteristik eğrisi elde edilerek, Sonlu Elemanlar Metodu ile Isı Transferi simülasyonu yapılarak deneysel sonuçlar teyid edilmiştir. İletkenlik sensörünün ölçüm karakteristikleri elde edilmiş ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Elektrodinamik simülasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkan Dinamiği, Hesaplamalı Elektrodinamik, Hesaplamalı Isı Transferi, Basınç Sensörü, Bulanıklık Sensörü, Sıcaklık Sensörü, İletkenlik Sensörü, Mikrodenetleyici

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF INTEGRATED SENSOR SYSTEM FOR WASHING MACHINE

GÖKHAN BAYRAK

Master of Science, Department of Physics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. RECAİ ELLİALTIOĞLU

December 2014, 55 pages

Washing machine is obviously one of the indispensable elements of today's home life. It is also an important point for the consumers that the ratio of price/performance of a washing machine is good. Producing a washing machine with a high price/performance ratio in the current competitive market is a compelling factor for the manufacturers.

This thesis consists of the studies that are conducted within SANTEZ (no. 01212. STZ.2012-1) project which was in collaboration with Arcelik A.S. C.M.I. R&D. It firstly focuses on the control theory, later shows the results obtained from the experiments which were conducted by respectively analysing each sensor used within this project. The rest of the thesis deals with the auxiliary simulations which are used for the preliminary and detailed designs.

A composite design was obtained by assembling pressure, temperature, conductivity and turbidity sensors which are still used in today's washing machine. MEMS type pressure sensor is preferred to inductive type pressure sensor, and pressure measurements are made more sensitive by calibrating it with the help of precise micromanometer. Turbidity sensor was recalibrated by using formazine solution prepared according to NTU standarts, and spectrophotometer which works under UV and on the visible region band. Experimental results were confirmed by making heat transfer simulation with finite element method, and obtaining characteristic curve of the NTC type thermistor which is used as the temperature sensor. Measurement characteristics of the conductivity sensor were obtained and electrostatics simulation was created with finite element method.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Computational Electrodynamics, Computational Heat Transfer, Pressure Sensor, Turbidity Sensor, Temperature Sensor, Conductivity Sensor, Microcontroller

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve bilimsel gelişimim sırasında bilgi ve deneyimlerini aktararak, her türlü araştırma olanağını sağlayan, maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen tez danışmanım, sayın Prof. Dr. M. Recai ELLİALTIOĞLU'na,

Projeye verdikleri katkıdan dolayı Arçelik A.Ş. Ç.M.İ. Ar-Ge çalışanlarına,

Projeye yaptıkları her türlü katkıdan dolayı Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na,

Deney düzeneğimin kurulumuna yaptığı katkıdan dolayı Öğr. Gör. Yavuz ÜNAL'a ve bilimsel deneyimlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Mehmet DİLAVER'e,

Proje çalışması esnasında elektronik kart tasarımı ve devre analizi konularında yardımlarını esirgemeyen şu an emekli durumda olan Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Semih BİNGÖL'e,

Deney düzeneğimin kurulumunda gerekli mekanik parçaların yapımını gerçekleştiren bölümümüz Mekanik Atölyesi çalışanı Uygur TOMBULOĞLU'na,

Tezimin yazımında motivasyonumu artıran ve desteğini hep hissettiren sayın eşim İnciser BAYRAK'a,

Ve her zaman yanımda olan sevgili annem ve babama,

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KONTROL TEORİSİ.....	3
2.1. Sensörlerin Sınıflandırılması	4
2.2. Sensörlerin Statik Karakteristikleri	4
2.2.1. Doğruluk, Kesinlik ve Duyarlılık	5
2.2.2. Diğer Karakteristikler: Doğrusallık ve Çözünürlük	6
2.3. Sensörlerin Dinamik Karakteristikleri.....	7
2.3.1. Sıfırıncı Mertebeden Sensörler	7
2.3.2. Birinci Mertebeden Sensörler.....	8
2.3.3. Transfer Fonksiyonları	9
2.3.4. Bode Diyagramları	10
3. SENSÖRLER	12
3.1. Basınç Sensörü	12
3.1.1. Basınç Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri	13
3.1.2. Basınç Sensörü'nün Statik Karakteristikleri.....	15
3.1.3. Basınç Sensörü'nün Dinamik Karakteristikleri.....	17
3.2. İletkenlik Sensörü	18

3.2.1.	İletkenlik Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri.....	18
3.2.2.	İletkenlik Sensörü'nün Statik Karakteristikleri	21
3.2.3.	İletkenlik Sensörü'nün Dinamik Karakteristikleri	25
3.3.	Bulanıklık Sensörü	27
3.3.1.	Bulanıklık Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri	27
3.3.2.	Bulanıklık Sensörü'nün Statik Karakteristikleri	28
3.3.3.	Bulanıklık Sensörü'nün Kalibrasyon Prosedürü	30
3.4.	Sıcaklık Sensörü	32
3.4.1.	Sıcaklık Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri	32
3.4.2.	Sıcaklık Sensörü'nün Statik Karakteristikleri	34
3.4.3.	Sıcaklık Sensörü'nün Dinamik Karakteristikleri.....	36
4.	KALİBRASYON DÜZENEKLERİ.....	40
4.1.	Bulanıklık Sensörü Kalibrasyon Düzeniği	40
4.2.	İletkenlik ve Sıcaklık Sensörlerinin Kalibrasyon Düzeniği.....	41
5.	PIC 18F252 MİKRODENETLEYİCİ	43
5.1.	PIC Donanım Mimarisi	43
5.1.1.	Von Neumann Mimarisi	43
5.1.2.	Harvard Mimarisi	43
5.2.	PIC Komut Seti.....	44
5.2.1.	RISC (Reduced Instruction Set Computer) Komut Seti.....	44
5.2.2.	CISC (Complex Instruction Set Computer) Komut Seti	44
5.3.	PIC 18F252 Mikrodenetleyici Özellikleri ve Yapısı.....	44
5.3.1.	PIC 18F252.....	44
5.3.2.	PIC 18F252 Pin Yapısı	45
5.3.3.	PIC 18F252 Blok Diyagramı.....	46
5.4.	PIC 18F252 Mikrodenetleyici' nin Projedeki Kullanımı	47
6.	SONLU ELEMENLAR SİMÜLASYONLARI.....	49

6.1.	Sıcaklık Sensörü Isı Transferi Simülasyonu.....	49
6.2.	BAS-Kazan Sistemi Akışkan Dinamiği Simülasyonu.....	51
6.3.	İletkenlik Sensörü Elektrodinamik Simülasyonu	52
7.	SONUÇLAR.....	53
	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kontrol sistemlerine bir örnek: Su seviyesi kontrol sistemi.....	3
Şekil 2.2. Birden fazla transdüser içeren sensörlerin çalışma biçimi. s_1 , s_2 ve diğerleri farklı formlardaki enerji uyarılarını göstermektedir.....	4
Şekil 2.3. Ölçüm doğrusallığını tanımlamak için kullanılan metodlar. (a) bağımsız doğrusallık (b) sıfır-tabanlı doğrusallık (c) başlangıç-tabanlı doğrusallık (d) son noktalarda tanımlı doğrusallık (e) teorik doğrusallık.....	6
Şekil 2.4. Sıfıncı mertebeden sensörlere bir örnek: Konum sensörü olarak kullanılan bir potansiyometre.....	8
Şekil 2.5. Bode genlik ve faz grafiği örneği.....	10
Şekil 3.1. (a) Basınç sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü (b) Basınç sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.....	12
Şekil 3.2. Basınç sensörünün basınç ölçüm bölümü: piezorezistif algılama yongası.....	13
Şekil 3.3. (a) Tipik bir malzeme için mekanik zor-zorlanma eğrisi (b) Poisson Oranı'nın şekilsel gösterimi.....	13
Şekil 3.4. Basınç sensörlerinin kalibrasyon eğrisi.....	15
Şekil 3.5. Basınç sensörünün lineer regresyonla oluşturulmuş fit eğrisi.....	16
Şekil 3.6. Basınç sensörünün lineer regresyonla oluşturulmuş eğrisinin rezidüsü.....	16
Şekil 3.7. Basınç sensörünün elektronik filtre devresi.....	17
Şekil 3.8. Basınç sensörünün Bode diyagramları.....	17
Şekil 3.9. (a) İletkenlik sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü (b) İletkenlik sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.....	18
Şekil 3.10. Alternatif akım altında iyon göçü.....	19
Şekil 3.11. İletkenlik sensörünün, elektrotlar arası direnç değeriyle çıkış voltajı değişimi...21	
Şekil 3.12. İletkenlik sensör çıkışının, fit edilmiş eğrisinin rezidü grafiği.....	22
Şekil 3.13. İletkenlik sensörünün, sıvı iletkenliğine ve sıvı sıcaklığına bağlı ölçüm yüzeyi..22	

Şekil 3.14. İletkenlik sensörünün sıcaklık ve iletkenliğe bağlı ölçüm yüzeyine, çok değişkenli non-lineer regresyon analizi ile fit edilmiş yüzey.....	23
Şekil 3.15. İletkenlik sensörünün sıcaklık ve sıvı iletkenliğine bağlı ölçüm yüzeyine fit edilmiş yüzeyin rezidü grafiği.....	23
Şekil 3.16. İletkenlik sensörünün dinamik özelliklerini araştırmak amacıyla tasarlanmış simülasyon devresi.....	24
Şekil 3.17. Simülasyon devresinde, iletkenlik sensörünün girişine uygulanan adım fonksiyonuna sensörün verdiği tepki.....	24
Şekil 3.18. İletkenlik sensörünün Bode diyagramları.....	25
Şekil 3.19. (a) Bulanıklık sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü (b) Bulanıklık sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.....	26
Şekil 3.20. Bulanıklık sensörünün çıkış voltajına göre sıvı bulanıklığı grafiği.....	27
Şekil 3.21. Bulanıklık sensörünün fit edilmiş eğrisinin rezidü grafiği.....	28
Şekil 3.22. (a) Hidrazin Sülfat molekülü (b) Heksametilentetramin molekülü.....	29
Şekil 3.23. Deneilerde kullanılan formazin çözeltisinin zamana bağlı stabilizasyon grafiği.....	30
Şekil 3.24. Formazin çözeltisinin optik transmitans (geçirgenlik) değerinin, dalgaboyuna ve bulanıklık değerine olan bağımlılığı.....	30
Şekil 3.25. (a) Sıcaklık sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü (b) Sıcaklık sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.....	31
Şekil 3.26. Termistör sıcaklığına göre elektriksel direnç değişim grafiği.....	33
Şekil 3.27. Termistörün fit edilmiş eğrisinin rezidü grafiği.....	34
Şekil 3.28. Termistörün, adım fonksiyonu şeklinde değişen sıcaklığa verdiği tepki.....	35
Şekil 3.29. Termistörün termal Bode diyagramları.....	36
Şekil 3.30. Termistör devresinin elektronik Bode diyagramını elde etmek için kullanılan simülasyon devresi.....	36
Şekil 3.31. Termistör devresinin elektronik dinamik tepkisinin zamana bağlı değişimi.....	37
Şekil 3.32. Termistör devresinin elektronik Bode diyagramları.....	37
Şekil 3.33. Sıcaklık sensörünün toplam Bode diyagramları.....	38
Şekil 4.1. Bulanıklık sensörü kalibrasyon düzeneği.....	39

Şekil 4.2. İletkenlik ve sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon düzeneği.....	40
Şekil 4.3. Sıcaklık ve iletkenlik sensörlerinin kalibrasyon düzeneğinin çalışması esnasında oluşan maksimum kap içi sıcaklık diferansiyeli değeri.....	41
Şekil 5.1. Von Neumann mimarisi.....	42
Şekil 5.2. Harvard mimarisi.....	42
Şekil 5.3. Assembly kod örneği.....	43
Şekil 5.4. PIC 18F252 DIP paket pin yapısı.....	44
Şekil 5.5. PIC 18F252 Blok Diyagramı.....	45
Şekil 5.6. PIC 18F252, Reset devresi, İletkenlik sensörü ve konnektör bağlantı çıkışlarının şematiği.....	46
Şekil 5.7. Bulanıklık sensörü, Sıcaklık sensörü ve Basınç sensörünün şematiği.....	46
Şekil 6.1. Sıcaklık sensörü ısı transferi simülasyonundan bir örnek: Sıcaklık gradyenti vektörlerinin görünümü.....	48
Şekil 6.2. Sıcaklık sensörü yüzeyinin, zamana bağlı adım fonksiyonu olarak değişmesiyle termistör elemanının sıcaklık değişimi.....	49
Şekil 6.3. BAS ve kazan yüzeyindeki relatif sıvı hızı değerleri.....	50
Şekil 6.4. BAS ve kazan yüzeyindeki relatif sıvı basıncı değerleri.....	50
Şekil 6.5. İletkenlik sensörü elektrodinamik simülasyonundan bir örnek: Elektrik vektör alanlarının görünümü.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Farklı giriş sinyalleri için birinci mertebeden sensörlerin dinamik hata ve gecikme parametreleri.....	9
Çizelge 3.1. Sıcaklık sensörlerinin karşılaştırılması.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ	Özdirenç
σ	Mekanik zor
ε	Mekanik zorlanma
ν	Poisson Oranı
G	İletkenlik
κ	Öziletkenlik
k	Boltzmann sabiti

Kısaltmalar

BAS	Bütünleşik Algılama Sistemi
CAD	Computer Aided Design
CISC	Complex Instruction Set Computer
CPU	Central Processing Unit
DIP	Dual in-line Package
IR	Infra Red
JTU	Jackson Turbidity Unit
LED	Light Emitting Diode
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
NTC	Negative Temperature Coefficient
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
PCB	Printed Circuit Board
PIC	Peripheral Interface Controller
PTC	Positive Temperature Coefficient
PVC	Poly Vinyl Chloride
RAM	Random Access Memory
RISC	Reduced Instruction Set Computer

ROM	Read Only Memory
RTD	Resistive Temperature Detectors
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter

1. GİRİŞ

Bu yüksek lisans tezi “Çamaşır Makinesi İçin Bütünleşik Algılama Sistemi Geliştirilmesi” isimli 01212.STZ.2012-1 nolu SANTEZ projesi kapsamında, Arçelik A.Ş. Ç.M.İ Ar-Ge ile ortak olarak yürütülen çalışmalardan oluşturulmuştur.

Proje kapsamında yapılmış bulunan çalışmaların üçüncü şahıslarla paylaşılmaması adına imzalanmış bulunan gizlilik protokolleri nedeniyle tüm ayrıntılar kaleme alınmamıştır. Rakip şirketlerin yararına olacak ve/veya Arçelik A.Ş.’nin yasal haklarını ihlal edecek kısımlar tezdin çıkarılarak, deneysel ve hesaplanmış verilerin bilimsel kurallar çerçevesinde okuyucuya aktarılması planlanmıştır. Söz konusu projenin amacına özet olarak bakacak olursak:

Her geçen gün zorlaşan rekabet koşulları ve yenilenen regülasyonlar sebebiyle, beyaz eşya sektöründe üretilen ürünlerin pazar paylarının korunması zorlaşmaktadır. Firmalar pazar paylarını koruyabilmek ve avantajlı duruma geçebilmek amacıyla ürünlere farklı özellikler ve teknolojiler ekleyerek akıllı makineler geliştirmektedir.

Çamaşır makinesi özelinde, akıllı ürün konseptinin oluşturulabilmesi için mekanik yapı ile elektronik yapının birbirine uyumlu hale getirilmesi ve sensör teknolojilerinin daha etkin kullanılması gerekmektedir. Mevcut durumda zaten tümleşik halde bulunan iletkenlik ve bulanıklık sensörlerinin yanına sıcaklık ve basınç sensörleri de eklenerek daha kompozit bir yapı oluşturulması planlanmıştır.

Bütünleşik hale getirilecek olan sensör yapısı Arçelik’ e özgün, beyaz eşya sektöründe bir ilk ve ürün gamının büyük bir kısmına yaygınlaştırılabilecek şekilde geliştirilmesi planlanmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

- **Sensör Haberleşmesinin Ortaklaştırılması** : Mevcut ürünlerde, kullanılan sensörlerin her birinin çıktıları ayrı kablolar vasıtasıyla ana karta aktarılmaktadır. Tasarlanmış olan yapıda ise UART protokolü ile işlenmiş sensör verileri, tek kablo ile ana karta aktarılmıştır.
- **Montaj Kolaylığı ve Maliyet Azaltma** : Her bir sensörün montajı için işçilik ve zaman maliyeti vardır. BAS yapısı ile tüm sensörlerin tek bir yapı altında bütünleştirilmesi neticesinde, yapı tek bir kart üzerinde toplanacağı için montaj sırasındaki işçilik ve zaman maliyetleri azaltılacaktır. Ayrıca, montaj operasyonlarındaki azalmalar, ürünlerde çıkabilecek arızaların azalmasını ve dolayısıyla ürünlerin garanti giderlerinin azalmasını sağlayacaktır.

- **Mikrodenetleyici Maliyetinin Düşürülmesi** : Tasarlanmış olan BAS yapısında, sensör kartı üzerinde düşük kapasiteli mikrodenetleyici kullanılacaktır. Yazılımsal tasarımda sensör verilerinin işlenmesi, filtrelenmesi, anakartın işlemine hazır hale getirilmesi işlemlerinin tamamı BAS kartı üzerinde olacaktır. Belirtilen işlemlerin ana karttan alınması neticesinde ana kartın işlem gereksinimi azalacaktır. Dolayısıyla ana kart mikrodenetleyicisinin kapasite ihtiyacı düşecektir. Bu da mikrodenetleyici maliyetinde azalmaya yol açacaktır.

Tez içeriğini kısaca anlatmak gerekirse;

2. Bölüm’ de Kontrol Teorisi’ne değinilmiştir. Sensörlerin statik karakteristikleri anlatılmış ve doğruluk, kesinlik ve duyarlılık gibi terimlerin ne anlama geldiği açıklanmıştır. Sensörlerin dinamik karakteristikleri anlatılırken, sıfırıncı merteye ve birinci mertebeden sensörler anlatılmıştır. Daha sonra transfer fonksiyonları ve Bode diyagramları işlenerek bölüm bitirilmiştir.

3. Bölüm’de projede kullanılan tüm sensörler irdelenmiştir. Sırasıyla Basınç, İletkenlik, Bulanıklık ve Sıcaklık sensörleri statik ve dinamik özellikleriyle birlikte anlatılmıştır. Sensörlerle ilgili bilgiler, sadece gizlilik protokolüne uygun şekliyle verilmiştir. Sensörlerin elektriksel devre tasarımları, teknik resimleri, ayrıntılı kalibrasyon bilgileri tezden çıkarılmıştır.

4. Bölüm’de sensörlerin kalibrasyonları için laboratuvarında oluşturulmuş kalibrasyon düzeneklerinden bahsedilmiştir.

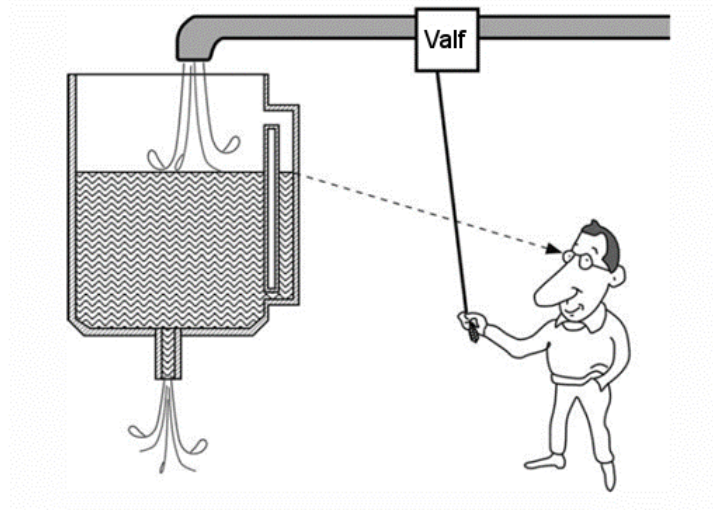
5. Bölüm’de projede kullanılan mikrodenetleyici olan PIC 18F252 mikrodenetleyici’ nin özellikleri kaba bir şekilde anlatılmıştır. Mikrodenetleyicinin kullanım şekli, elektriksel devre şeması, baskılı devre kartı ve oluşturulmuş yazılım kodları gizlilik protokolleri sebebiyle tezden çıkarılmıştır.

6. Bölüm’de proje kapsamında yapılmış olan Sonlu Eleman Analizlerinden bahsedilmiştir. Analizler için de gizlilik protokolüne uygun şekilde, sadece temel grafikler ve simülasyon sonucundan kısaca bahsedilmiştir.

7. Bölüm’de de projede yapılmış olan çalışmaların genel sonuçlarından bahsedilerek, tez sonlandırılmıştır.

2. KONTROL TEORİSİ

Sensörler sıklıkla “sinyal ya da uyarıyı alıp ona tepki gösteren cihaz” olarak tanımlanır. Fakat bu tanım çok geniştir. Öyle ki, insan gözünden, tabanca tetiğine kadar her şeyi kapsayabilir. Şekil 2.1.’deki ölçüm sistemini göz önüne alalım. Operatör akış valfini değiştirerek tanktaki sıvı seviyesini ayarlar. Sıvı akış hızı, sıcaklık değişimleri ve benzer pertürbasyonlar operatör tarafından kompanse edilmek zorundadır. Kontrol edilmezse, tank ya taşacaktır ya da kuru bir şekilde bekleyecektir. Operatörün tanktaki sıvı seviyesini korumak üzere yaptığı bu girişim aslında bir kontrol sistemi olarak düşünülebilir. Bu örnekteki sensör operatörün gözü olmaktadır [1].

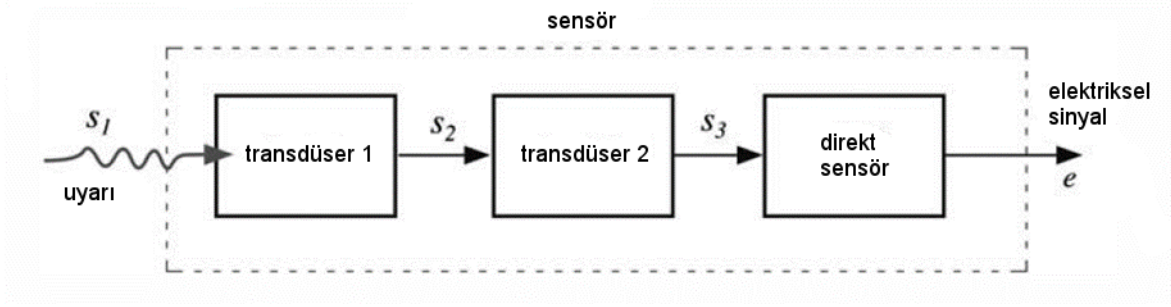


Şekil 2.1. Su seviyesi kontrol sistemi.

Herhangi bir sensör temelinde enerji çeviriciden başka bir şey değildir. Ne ölçmeye çalışırsanız çalışın, ölçüm yapılacak nesneden sensörünüze olan enerji transferiyle uğraşmak zorundasınızdır. Bu enerjinin formu ölçmeye çalıştığınız niceliğe göre değişim gösterecektir.

Sensör terimi, transdüser (ing. transducer) terimiyle karıştırılmamalıdır. Transdüserler herhangi bir enerji çeşidini başka bir enerji çeşidine çeviren araçlardır. Fakat sensörler herhangi bir enerji çeşidini elektriksel enerjiye çevirirler. Transdüserlere bir örnek olarak hoparlörler verilebilir. Elektriksel sinyali alıp değişken bir magnetik alana ve de bu değişken magnetik alan sayesinde titreşen membranı ile akustik enerjiye çevirirler.

Transdüserler kompleks sensör sistemlerinin parçaları olabilirler. Şekil 2.2.’de görülebileceği üzere, bir sensör birden fazla transdüserin bileşiminden oluşabilir. Örnek olarak bir kimyasal reaksiyon sensörü, kimyasal reaksiyon enerjisini ısı enerjisine çeviren bir transdüser ve bu ısı enerjisini elektriksel sinyale çeviren (mesela bir termal çift) bir transdüserden oluşmaktadır. Bu ikisinin kombinasyonu, bir kimyasal reaksiyon sensörü oluşturmaktadır. Yukarıdaki örnekte belirtilen kimyasal reaksiyon sensörü, kompleks sensör sistemlerine basit bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2.2. Bir sensör birden fazla transdüser içerebilir. s_1 , s_2 ve diğerleri farklı formlardaki enerji uyarılarını göstermektedir.

Kompleks sensör sistemleri birden fazla transdüser içeren sistemlerdir. Fakat her sensör sisteminde en az bir adet direkt sensör bulunmaktadır. Direkt sensörler isminden de anlaşılacağı üzere, herhangi bir enerji formunda aldıkları uyarıyı elektriksel sinyale çeviren elemanlardır.

Özet olarak, iki tip sensörden bahsedebiliriz; direkt ve kompleks. Direkt sensörler herhangi bir uyarıyı direkt elektriksel sinyale çevirirler, kompleks sensörler ise elektriksel sinyal oluşturmak için bir ya da daha fazla transdüser ihtiyacı duymaktadırlar [2].

2.1. Sensörlerin Sınıflandırılması

Sensörleri direkt ve kompleks olarak iki sınıfa ayırmıştık. Fakat sensörün çalışma biçimine göre de iki alt sınıfa daha ayırabiliriz. Bunlar aktif ve pasif sensör sistemleridir. Pasif sensör sistemleri hiçbir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan, direkt olarak uyarıyı elektriksel sinyale çeviren sensörlerdir. Örnek olarak fotodiyot ve piezoelektrik sensörler incelenebilir. Fotodiyotlar, üzerine düşen foton enerjisini direkt olarak p-n eklemesinde elektriksel potansiyel farkına çeviren elemanlardır. Yani hiçbir enerji kaynağına ihtiyaç duymazlar. Aynı şekilde piezoelektrik sensörler de üzerlerine uygulanan mekanik stres sonucunda geometrileri boyunca potansiyel fark oluşturan elemanlardır.

Aktif sensörler çalışmak için harici güç kaynağına ihtiyaç duyarlar. Aktif sensörler bazen parametrik sensörler olarak da adlandırılırlar çünkü kendi özellikleri harici bir etkiye tepki olarak değişim gösterirler. Mesela, termistörler gövde sıcaklığına bağlı olarak elektriksel direnci değişen elemanlardır. Fakat termistörden direkt olarak bir elektriksel sinyal almak mümkün değildir. Çeşitli uygulama devreleriyle uyarılarak sıcaklığa verdikleri tepkinin elektriksel sinyale çevrilmesi gerekir [3].

2.2. Sensörlerin Statik Karakteristikleri

Sensörlerin tüm ölçüm sistemlerinin karakteristiklerini etkilemesinden dolayı, onların davranışlarını anlamlı bir şekilde tanımlamak önemlidir. Çoğu ölçüm sisteminde ölçülecek nicelik zamanla çok yavaş bir değişim göstermektedir. Dolayısıyla sensörlerin statik karakteristiklerinin iyi anlaşılması hayati önem taşımaktadır.

Bununla birlikte, sensörlerin statik karakteristikleri dinamik karakteristiklerini de etkilemektedir. Fakat statik ve dinamik karakteristiklerin tümünün matematiksel olarak

tanımlanması kompleks bir görevdir. Sonuç olarak, statik ve dinamik davranışlar ayrı ayrı incelenir. Statik karakteristiklerin tanımlanması işlemi sadece sensörlerle sınırlı değildir. Tüm ölçüm sistemlerinde ortak bir süreçtir.

2.2.1. Doğruluk, Kesinlik ve Duyarlılık

Doğruluk (ing. accuracy) ; ölçüm aletinin ölçtüğü değerlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunun bir göstergesidir. “gerçek”, “tam” veya “ideal” değer ismiyle anılan değerler, ölçümün mükemmel bir ölçüm aracıyla yapıldığında alınan sonuçları ifade ederler. Doğal olarak gerçek ölçüm değerleri tanımlanabilir bir yapıya sahip değildir. Bir niceliğin konvansiyonel gerçek değeri, belli amaçlar için yeterli kabul edilebilecek kadar belirsizlik içeren değerdir[4].

Sensör doğruluğu statik kalibrasyonla tanımlanır. Statik kalibrasyonda; ölçülmek istenilen niceliğin dışındaki tüm değişkenler sabitlenir, ve de sensör çıktısının tek değişkenli bir fonksiyon olarak ifade edilebilmesi sağlanır.

Ölçülmek istenilen niceliğin gerçek değeriyle, sensör tarafından ölçülen değer farkına mutlak hata adı verilir. Bazen, sensörün ölçüm aralığındaki maksimum mutlak hatanın gerçek ölçüm değerine yüzdesi ile verilir.

$$\text{Mutlak Hata} = \text{Sonuç} - \text{Gerçek Değer}$$

Genel olarak, hata değeri mutlak hatanın ölçülen değere oranı olarak verilir. Bu değere bağlı hata adı verilir.

$$\text{Bağıl Hata} = \text{Mutlak Hata} / \text{Gerçek Değer}$$

Kesinlik (ing. precision) ; bir ölçüm sisteminin aynı ortam koşullarında farklı zamanlarda yapılan ölçümlerde aynı değeri vermesinin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Kesinlik; ardışık okumalarda, okunan değerlerin anlamlı hane sayısındaki çokluk olarak da tanımlanabilir. Bundan dolayı, kesinlik doğruluk için gerekli fakat yeterli bir koşul değildir. Şekil 2.3.’ de farklı durumlar gösterilmektedir.

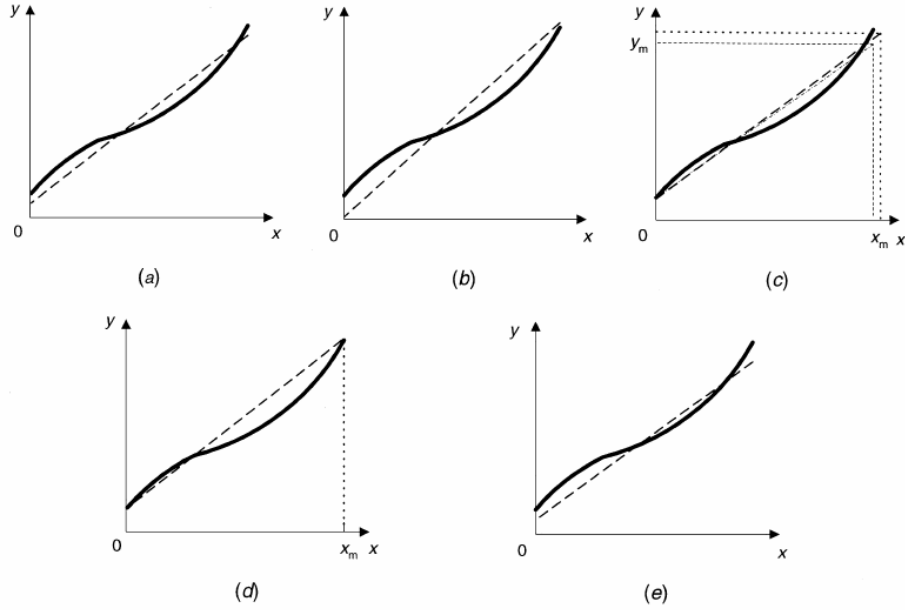
Duyarlılık (ing. sensitivity) ya da skala faktörü olarak bilinen nicelik kalibrasyon eğrisinin eğimidir. Çıkışı y ve girişi x değişkeni ile temsil edilen bir sensörde $y = f(x)$ olarak belirlenmiş kalibrasyon eğrisinde, x_a noktasındaki duyarlılık $S(x_a)$ aşağıdaki türev bağıntısıyla tanımlanır.

$$S(x_a) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_a}$$

Yüksek ve sabit olan duyarlılık değerleri sensörlerde istenilen bir özelliktir. Kalibrasyon eğrisi $y = kx + b$ şeklinde tanımlanmış bir sensörde, tüm ölçüm aralığı içerisinde duyarlılık $S = k$ ile verilir. Kalibrasyon eğrisi $y = kx^2 + b$ şeklinde olan sensör için de $S = 2kx$ olur.

2.2.2. Diğer Karakteristikler: Doğrusallık ve Çözünürlük

Doğruluk, kesinlik ve duyarlılık özellikleri bir sensörün statik davranışını tanımlamak için yeterli olan karakteristiklerdir. Fakat bazan bu karakteristiklerin dışında bazı özellikler de eklenerek sensörün çalışma özellikleri daha iyi tanımlanabilir. Doğrusallık, kalibrasyon eğrisi ile kalibrasyon eğrisine en küçük kareler metodu ile fitlenmiş doğru arasındaki yakınlığın bir ölçüsüdür. Çeşitli doğrusallık ölçütleri mevcuttur:



Şekil 2.3. Doğrusallığı tanımlamak için çeşitli referans doğruları tanımlanabilir. (a) bağımsız doğrusallık (en küçük kareler metodu); (b) sıfır-tabanlı doğrusallık (sıfır başlangıçlı en küçük kareler doğrusu); (c) başlangıç-tabanlı doğrusallık; (d) son noktalarda tanımlı doğrusallık; (e) teorik doğrusallık

- Bağımsız doğrusallık: En küçük kareler yöntemiyle elde edilmiş doğrunun, kalibrasyon eğrisiyle ne kadar uyumlu olduğunda bakılarak tanımlanır.
- Sıfır-tabanlı doğrusallık: En küçük kareler yöntemiyle elde edilmiş doğrunun başlangıç noktasının sıfırla kesiştirilmesiyle elde edilen doğruyla tanımlanır.
- Başlangıç-tabanlı doğrusallık: En küçük kareler yöntemiyle oluşturulan eğrinin, kalibrasyon eğrisinin başlangıç noktasıyla kesiştirilmesiyle elde edilen doğruyla tanımlanır.
- Son noktalarda tanımlı doğrusallık: Kalibrasyon eğrisinin başlangıç ve bitiş noktalarından geçen doğruyla tanımlanan doğrusallık.
- Teorik doğrusallık: Teorik tahminlerle elde edilen doğruyla tanımlanan doğrusallık.

Bu yöntemler içerisinde en kaliteli sonucu veren yöntem “bağımsız doğrusallık” yöntemidir.

Çözünürlük ya da ayırma gücü olarak da bilinen diğer bir özellik, sensörün çıkışında değişim yaratabilecek, girişindeki en küçük değişim olarak tanımlanır [5].

2.3. Sensörlerin Dinamik Karakteristikleri

Sensörlerin değişken bir giriş sinyaline verdikleri tepki, sabit giriş sinyaline verdikleri tepkiden daha farklı olmaktadır. Bunun sebebi ise sensör sisteminde bulunan enerji depolayıcı elemanlardır. Bu enerji depolayıcı elemanlar; eylemsizlik yaratıcı (kütle, indüktans, vb gibi) ve kapasitif elemanlar (elektriksel, termal, akışkan, vb gibi) olabilirler. Dinamik karakteristikler, dinamik hatalar ve tepki süresi (zaman sabiti, sönümlenme) değişkenlerini kapsar. Tüm bu değişkenler, sensörün zamana bağlı bir giriş sinyaline karşı tepkisini tanımlarlar.

Statik hata sıfırken, ölçülen değerle gerçek değer arasındaki fark dinamik hata olarak tanımlanır. Giriş sinyalinin aynı genlikte fakat birinde sabit diğerinde zamana bağımlı olarak değiştiği iki durum arasındaki ölçüm farkını gösterir.

Tepki süresi ise, giriş sinyalinin değişimine sensörün çıkış sinyalinin ne kadar hızlı tepki verdiğinin bir ölçüsüdür. Giriş sinyali ile çıkış sinyali arasındaki gecikmeler, ölçümsel açıdan anlamsızdır. Fakat, eğer sözkonusu sensör bir kontrol sisteminin parçası ise o zaman bu gecikmeler istenmeyen osilasyonlara sebebiyet verecektir. Bu yüzden sensör tepki süresinin bilinmesi hayati önem taşımaktadır.

Bir sensörün dinamik karakteristiklerini tanımlamak için, girişine değişken bir sinyal uygulamak gerekir. Bu giriş sinyali değişken formlarda olabilir. Fakat genelde, geçiş (impuls, adım, rampa), periyodik (sinüsoidal), veya rastgele (beyaz gürültü) giriş fonksiyonları en fazla kullanılan fonksiyonlardır. Lineer sistemlerde; bu giriş sinyallerinin herhangi birini kullanarak elde edilen çıkış sinyalleri, sistemin tüm dinamik karakteristiklerini tanımlamak için yeterlidir.

Bir sensörün dinamik davranışını matematiksel olarak tanımlamak için, sensörün giriş ve çıkış fonksiyonlarının birbirilerine sabit-katsayılı lineer diferansiyel denklemle bağlı olduklarını kabul ederiz. Dolayısıyla lineer zamandan bağımsız (ing. linear time-invariant) sistem yaklaşımını kullanmış oluruz. Bu şekilde sensörün çıkışı ile girişi arasındaki bağıntı basit bir formda, rasyonel şekilde, giriş ve çıkış fonksiyonlarının Laplace dönüşümü alınarak transfer fonksiyonuyla ifade edilebilir. Transfer fonksiyonları, sensörün giriş ve çıkış sinyalleri arasında bir bağıntı verir fakat, giriş ve çıkış sinyallerinin anlık değerleri ile ilgili bir bilgi sağlamaz. Sensörün dinamik karakteristikleri, uygulanan her bir giriş sinyalinin fonksiyonel formu ve sensörün transfer fonksiyonları kullanılarak elde edilebilir [6].

2.3.1. Sıfıncı Mertebeden Sensörler

Sıfıncı mertebeden bir sensörün çıkış sinyali $y(t)$, giriş sinyali $x(t)$ 'ye aşağıdaki gibi bir fonksiyonla bağımlıdır.

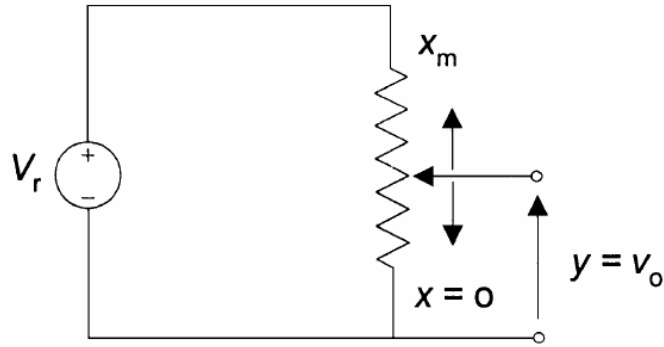
$$y(t) = k \cdot x(t)$$

Davranışı, sadece statik duyarlılık sabiti k ile tanımlanır ve giriş frekansından bağımsız olarak sabittir. Bundan dolayı, sıfıncı mertebeden bir sensörün dinamik hatası ve gecikmesi sıfırdır.

Sıfırıncı mertebeden sensörlere örnek olarak Şekil 2.4.' teki potansiyometre verilebilir. Potansiyometrenin bulunduğu konum x ile, potansiyometrenin çıkış voltajı da y ile gösterilirse, potansiyometrenin çıkış voltajı

$$y = V_r \frac{x}{x_m}$$

Bağıntısı ile verilir. Burada V_r potansiyometrenin besleme gerilimini, x_m ise potansiyometrenin maksimum direnç değerini gösterir.



Şekil 2.4. Konum sensörü olarak kullanılan bir potansiyometre, sıfırıncı mertebeden sensörlere iyi bir örnektir.

2.3.2. Birinci Mertebeden Sensörler

Birinci mertebeden sensörlerde, enerji depolayıcı bir eleman ve bu enerjii dağıtan diğer bir eleman bulunmaktadır. $x(t)$ giriş sinyalini, $y(t)$ ise çıkış sinyalini göstermek üzere; birinci mertebeden bir sensörün giriş ve çıkış sinyalleri arasında aşağıdaki diferansiyel denklemlerle belirlenmiş bir bağıntı bulunmaktadır.

$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = x(t)$$

Ve, bu diferansiyel denkleme karşılık gelen transfer fonksiyonu;

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{\tau s + 1}$$

Bağıntısı ile verilir. Bu bağıntıdaki $k = 1/a_0$ statik duyarlılığı ve $\tau = a_1/a_0$ değeri ise sensörün zaman sabitini veren parametrelerdir. Tablo 2.1. ' de birinci mertebeli sensör sistemlerinin farklı giriş sinyallerine karşı tepki ve gecikme parametreleri görülmektedir. Bizim çalışmamızda kullandığımız sensörlerin tümü birinci mertebeli olduğundan dolayı ikinci mertebeli sensörlere değinmiyoruz.

Çizelge 2.1. Farklı giriş sinyalleri için birinci mertebeden sensörlerin dinamik hata ve gecikme parametreleri.

Giriş	Dinamik Hata	Gecikme
Adım $u(t)$	0	τ
Rampa $R(t)$	$R[t + k(\tau - t)]$ ya da $R\tau$	τ
Sinüsoid A, ω	$1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}$	$\frac{\arctan(\omega \tau)}{\omega}$

2.3.3. Transfer Fonksiyonları

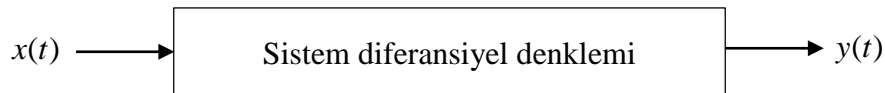
Kontrol sistemlerinin tasarlanması ve analizindeki önemli adımlardan birisi de kontrol işleminin matematiksel modellenmesidir. Kontrol sistemlerinin matematiksel olarak tanımlanmasında çeşitli yöntemler vardır:

Diferansiyel Denklemler: Diferansiyel denklemlerle sensörlerin dinamik özelliklerini önceki sayfalarda tartışmıştık.

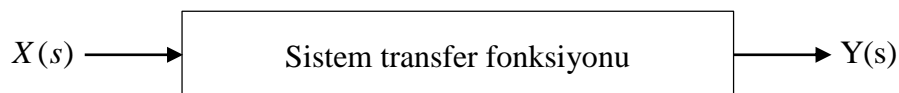
Transfer Fonksiyonları: Sensörün çıkış sinyalinin Laplace dönüşümünün, giriş sinyalinin Laplace dönüşümüne oranı olarak tanımlanır. Transfer fonksiyonları, Lineer zamandan-bağımsız sistemlerin analizinde çokça kullanılır. $x(t)$ giriş sinyalinin zaman-uzayındaki fonksiyonel formunu, $y(t)$ çıkış sinyalinin zaman-uzayındaki fonksiyonel formunu temsil ettiğini varsayarsak; $X(s) = \mathcal{L}\{x(t)\}$ giriş sinyalinin Laplace dönüşümünü, $Y(s) = \mathcal{L}\{y(t)\}$ çıkış sinyalinin Laplace dönüşümünü temsil eder. Dolayısıyla transfer fonksiyonu $H(s)$;

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

Olarak tanımlanır. Bu denklemlerdeki s değişkeni, açısal frekans değişkenidir. Çünkü, zaman-uzayında tanımlı bir fonksiyonunun Laplace dönüşümünü alındığında frekans-uzayındaki karşılığına gidilir.



Sıfır başlangıç koşullarıyla birlikte Laplace dönüşümü alınırsa,

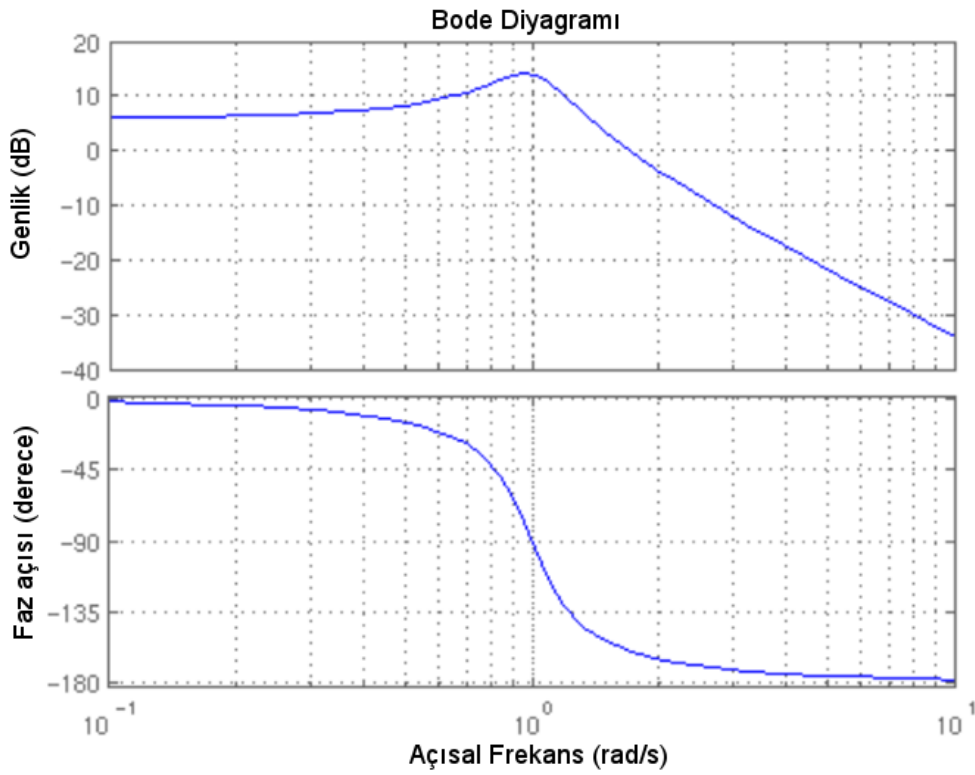


Transfer fonksiyonları aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Transfer fonksiyonları sadece lineer zamandan-bağımsız sistemler için tanımlıdır.
- Bir çift giriş ve çıkış değişkeninin transfer fonksiyonu, çıkışın Laplace dönüşümünün girişin Laplace dönüşümüne oranı olarak tanımlıdır.
- Tüm başlangıç koşulları sıfır kabul edilir.
- Transfer fonksiyonu sistemin girişinden bağımsızdır [7].

2.3.4. Bode Diyagramları

Bode diyagramları; lineer zamandan-bağımsız sistemlerin giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki kazanç ve faz ilişkilerini veren kullanışlı araçlardır. Bode diyagramları, sistemin transfer fonksiyonundan faydalanarak çizilirler ve de, sistemin ilgili frekans aralığı içerisindeki dinamik davranışını betimlerler. İlk defa Hendrik Wade Bode (1905-1982) tarafından kullanılmışlardır, isimleri de buradan gelmektedir.



Şekil 2.5. Bode genlik ve faz grafiği örneği. Genlik grafiği genelde üst tarafta, faz grafiği ise genelde alt tarafta çizilir.

Bode diyagramlarında frekans eksenini logaritmik olarak alınır. Frekans eksenindeki her bir tik 10' un artan kuvvetlerini temsil eder.

Bode genlik grafiklerinde de frekans eksenini logaritmik olarak alınır ve dikey eksen ise desibel (dB) birimi cinsinden verilir. Desibel ölçeği, iki sayı arasındaki oranın logaritmasıdır. A ve B gibi iki sayı arasındaki oranın desibel olarak ifade edilmesinde aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$dB = 20 \log\left(\frac{A}{B}\right)$$

Ya da C gibi tek bir sayının desibel olarak ifadesi, aşağıdaki gibidir.

$$dB = 20\log(C)$$

Eğer ilgilendiğimiz sistemin transfer fonksiyonunu $H(s)$ ile gösterirsek. Transfer fonksiyonu tanımından;

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

Bode genlik diyagramını elde etmek için; transfer fonksiyonu ifadesinde değişken değişimi yapılarak, frekans tepkisi elde edilir. Bunun için; j imajiner birim olmak üzere, s değişkeni yerine $s = j\omega$ değişkeni konarak transfer fonksiyonu imajiner hale getirilir.

$$H(j\omega) = R(\omega) + jC(\omega)$$

Burada; $R(\omega)$ transfer fonksiyonunun reel kısmını, $C(\omega)$ ise transfer fonksiyonunun imajiner kısmını göstermektedir. Transfer fonksiyonunun bu şekilde yazılmış hali, Bode genlik ve Bode faz diyagramlarının elde edilmesinde kullanılacaktır.

Bode genlik diyagramlarının çizilmesi sırasında, transfer fonksiyonunun genlik değeri aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$|H(j\omega)| = \sqrt{R^2 + C^2}$$

Fakat; genellikle rasyonel şekilde ifade edilmiş transfer fonksiyonunun, bu şekilde imajiner ve reel kısımlarına ayrılıp, daha sonra genliğinin bulunması işlemi çok zordur. Neyse ki; desibel hesabının logaritmik olmasından dolayı, transfer fonksiyonunu aşağıdaki formda tanımlayabilmemiz mümkündür.

$$H(j\omega) = \frac{\prod_n |j\omega + z_n|}{\prod_m |j\omega + p_m|}$$

Eğer, denklemin iki tarafını da desibel'e çevirirsek;

$$Kazanç = \sum_n 20\log(j\omega + z_n) - \sum_m 20\log(j\omega + p_m)$$

Sistemin, özel bir ω frekansındaki kazancını elde ederiz. Bu işlemi her frekans değeri için tekrarladığımızda ise Bode genlik kazanç grafiğini oluştururuz.

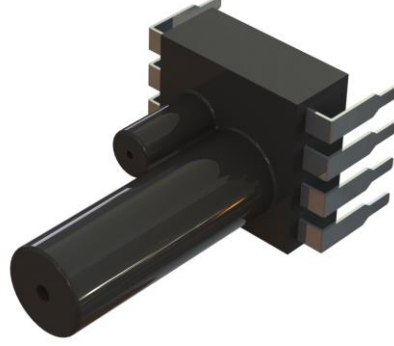
Bode faz diyagramları; belli bir frekans aralığında, sistemin çıkış sinyaliyle giriş sinyali arasındaki faz farkını veren diyagramlardır. Kompleks bir fonksiyonun faz açısı:

$$\theta = \angle H(j\omega) = \tan^{-1}\left(\frac{C(\omega)}{R(\omega)}\right)$$

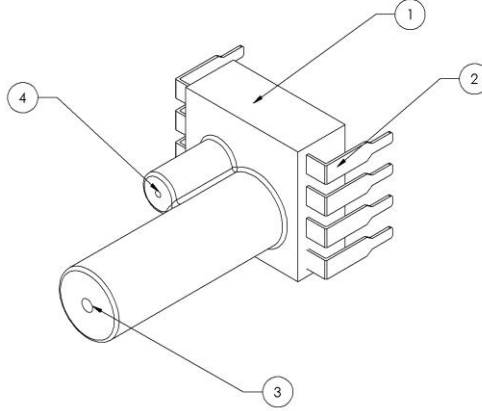
Bağıntısı ile verilir. Bode faz diyagramları da bu denklemden yola çıkılarak üretilir [8].

3. SENSÖRLER

3.1. Basınç Sensörü



a)



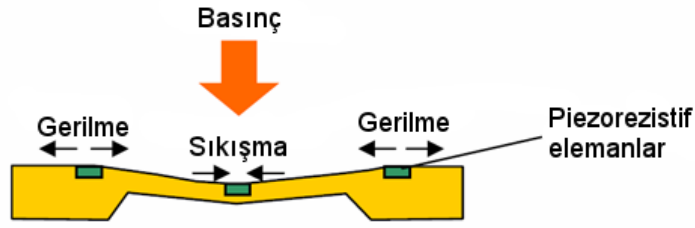
b)

Şekil 3.1. a) Basınç sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü. b) Basınç sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.

Basınç sensörü; Şekil 3.1. b' den görüleceği üzere dört temel parçadan oluşmuştur. Bunlar;

1. Piezorezistif basınç ölçüm elemanını ve sıcaklık kompanzasyon devresini içeren “gövde”.
2. Sensörün elektriksel bağlantısını sağlayan bağlantı bacakları (pinler).
3. Ölçüm yapılacak basınç giriş deliği.
4. Atmosferik referans basıncı giriş deliği.

3.1.1. Basınç Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri



Şekil 3.2. Basınç sensörünün basınç ölçüm bölümü: Piezorezistif algılama yongası [9].

Piezorezistif Etki: Bazı iletken ya da yarıiletken malzemeler, mekanik stres altında şekil değiştirdiğinde elektriksel dirençleri de değişir. İletkenlerde piezorezistif etki, Lord Kelvin tarafından 1856 yılında keşfetmiştir. Ve C.S. Smith, silisyum ve germanyum yarıiletkenleri üzerinde 1954 yılında yaptığı çalışmalarda aynı etkiyi gözlemlemiştir. l uzunluğuna, A kesit alanına ve ρ öz direncine sahip bir telin direnci R ;

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

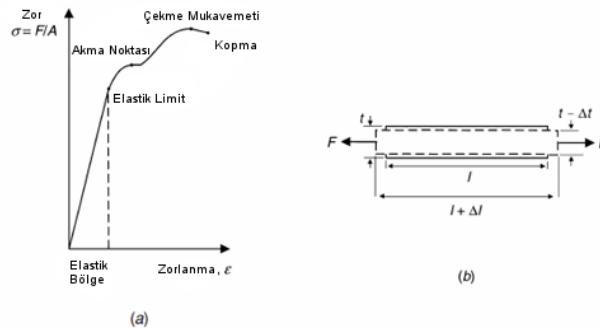
Bağıntısı ile verilir. Tele; boylamsal mekanik stres uygulanırsa, bu üç değişkenin herbiri değişime uğrayarak telin elektriksel direncini değiştirecektir. Yukarıdaki eşitliğin diferansiyeli alınıp uygun düzenlemeler yapıldığında;

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A}$$

Elde edilir. Tele, telin elastik limitleri dahilinde olan bir F kuvveti uygulandığında, telde meydana gelecek şekil değişikliği Hooke Yasası ile tanımlıdır.

$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon = E \frac{dl}{l}$$

Buradaki E , telin Young Modülü'nü, σ ise tele uygulanan mekanik stresi, ve ε ise telin zorlanmasını gösterir.



Şekil 3.3. a) Tipik bir malzeme için mekanik zor - zorlanma eğrisi, b) Poisson oranı'nın şekilsel gösterimi.

l uzunluğunda ve t çapında olan bir teli göz önüne alalım. Telin boyuna paralel uygulanan mekanik gerilimler, hem l 'yi hem de t 'yi değiştirecektir. ν Poisson oranı'nı göstermek üzere, Poisson Kanunu ;

$$\nu = -\frac{dt/t}{dl/l}$$

D çapında dairesel kesitli bir tel için;

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\frac{dA}{A} = \frac{2dD}{D} = -\frac{2\nu dl}{l}$$

Mekanik stres sonucunda oluşun elektriksel direnç değişimine piezorezistif etki adı verilir. Piezorezistif etki; metalin kristal yapısının gerilim altında değişmesiyle, örgü titreşimlerinin genliklerinin değişimi sonucu oluşur. Boyuna uzamalar, elektron mobilitesi'ni düşürerek telin elektriksel direncinin artmasına yol açar. P. W. Bridgman'ın ispatladığı şekliyle; metallerde, hacimsel şekil değişimi elektriksel değişime aşağıdaki bağıntı ile bağlıdır.

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V}$$

Buradaki C , Bridgman sabiti'dir. Yukarıdaki eşitliklerle birleştirildiğinde;

$$V = \frac{\pi l D^2}{4}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{dl}{l} + \frac{2dD}{D} = \frac{dl}{l}(1-2\nu)$$

İlgilenilen malzeme izotropik ve de elastik limit dahilinde ise;

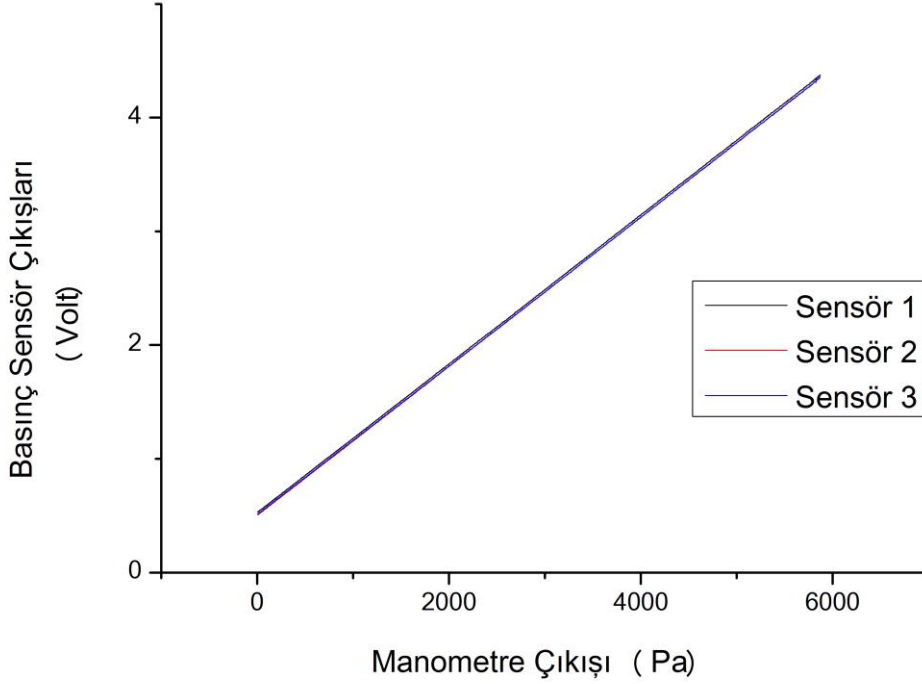
$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l}[1+2\nu+C(1-2\nu)] = G \frac{dl}{l} = G\varepsilon$$

Buradaki G sabiti, zorlanma faktörü adıyla anılır. Ve de farklı malzemeler için farklı değerlere sahiptir. Tüm bu işlemlerin sonucunda; küçük pertürbasyonlar dahilinde kalmak şartıyla, metalik bir telin direnci;

$$R = R_0 + dR = R_0 \left(1 + \frac{dR}{R_0}\right) \cong R_0(1 + G\varepsilon)$$

Buradaki R_0 değeri, tele hiçbir mekanik stres uygulanmadığındaki elektriksel direncini gösterir [10].

3.1.2. Basınç Sensörü'nün Statik Karakteristikleri



Şekil 3.4. Basınç sensörlerinin kalibrasyon eğrisi.

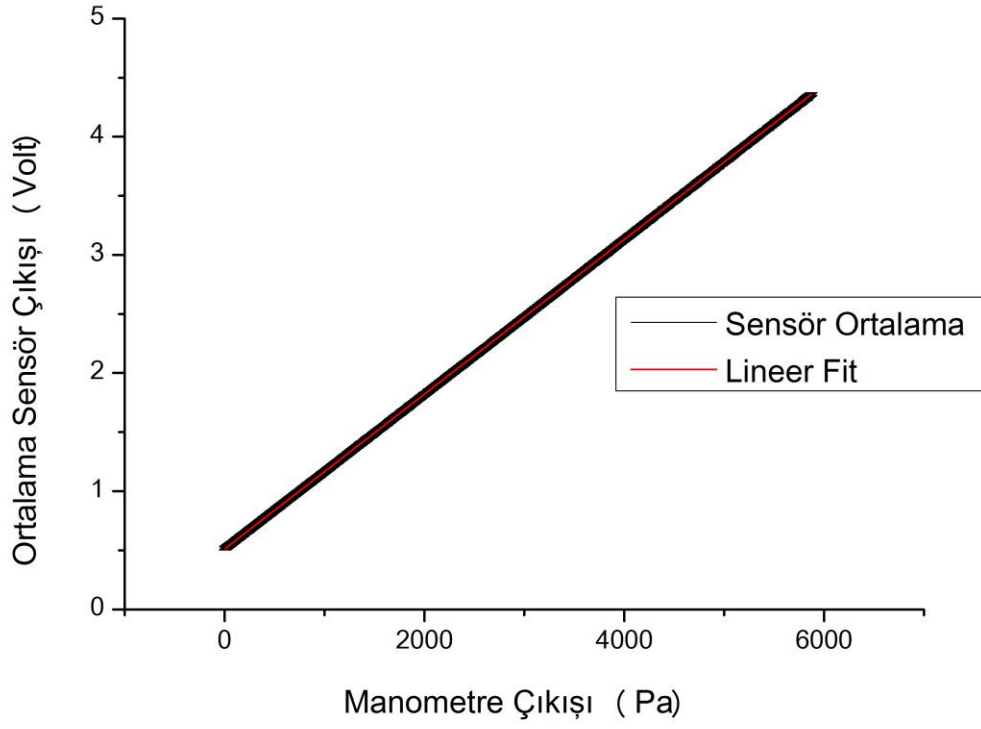
Basınç sensörünün statik özelliklerini incelemek amacıyla; Farness FCO 510 [11] marka hassas mikromanometre kullanılmıştır. Ölçüm esnasında; mikromanometre ve üç adet basınç sensörü, aynı anda aynı basınca maruz kalacak şekilde bağlanmıştır. Basınç seviyesi çok yavaş bir şekilde ($\cong 2 \text{ Pa/s}$) değiştirilerek, dinamik etkilerin oluşması engellenmiştir.

Şekil 3.4. 'ten görüleceği üzere, üç sensörün de çıkışları birbirilerine çok yakın seyretmekle birlikte oldukça lineer'dir. Kalibrasyon eğrisi ve de diğer statik özelliklerin araştırılması için elde edilen ölçümlerin, üç sensör üzerinden ortalaması alınarak lineer regresyon metodlarıyla eğri fitlemesi yapılmıştır. Regresyon analizi için seçilen prototip eğri; $y = a \cdot x + b$ formunda olup, buradaki a ve b parametreleri ilgili veri noktalarına en iyi uyan doğru için seçilmiş parametrelerdir. Şekil 3.5. 'te, regresyon analizi sonucunda elde edilmiş eğri görülmektedir. Grafik üzerinde gösterildiği biçimde; regresyon analizi sonucunda elde edilmiş parametre değerleri;

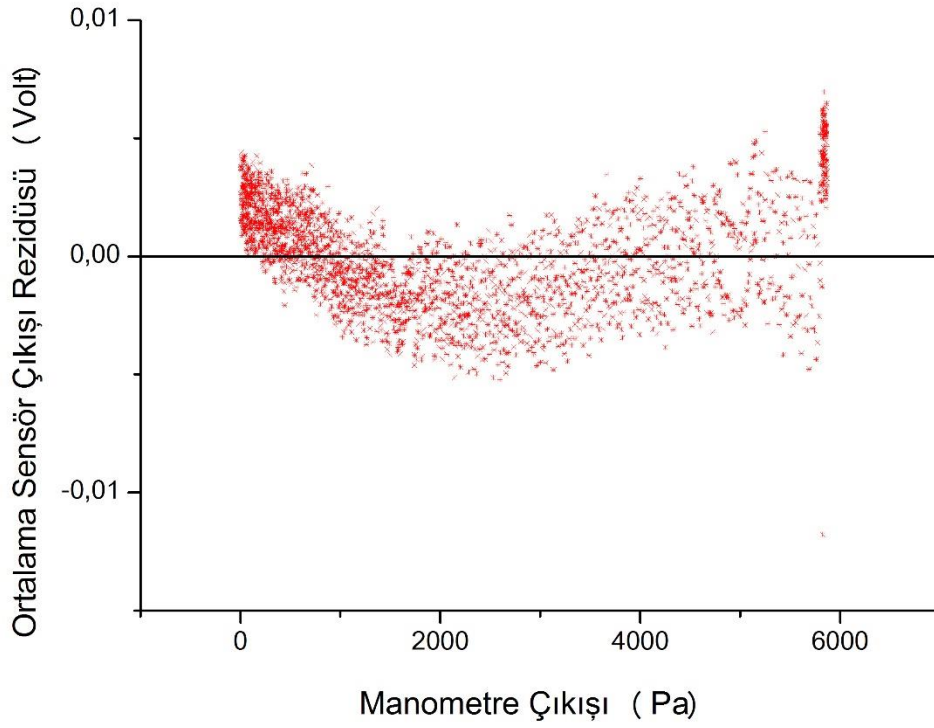
$$a = 0.51043 \pm 7e-5 \text{ (V/Pa)}$$

$$b = 6.55111e-4 \pm 3e-8 \text{ (V)}$$

Olmaktadır. Bu parametre değerleriyle fit edilmiş kalibrasyon eğrisinin, ortalama sensör çıkışları eğrisinden sapma miktarı, yani fit edilmiş eğrinin rezidüsü Şekil 3.6.' da grafik haline getirilmiştir. İlgili grafikten görüleceği üzere, tüm ölçüm aralığı içerisinde rezidü değeri $\leq 0.01 \text{ Volt}$ olmaktadır.



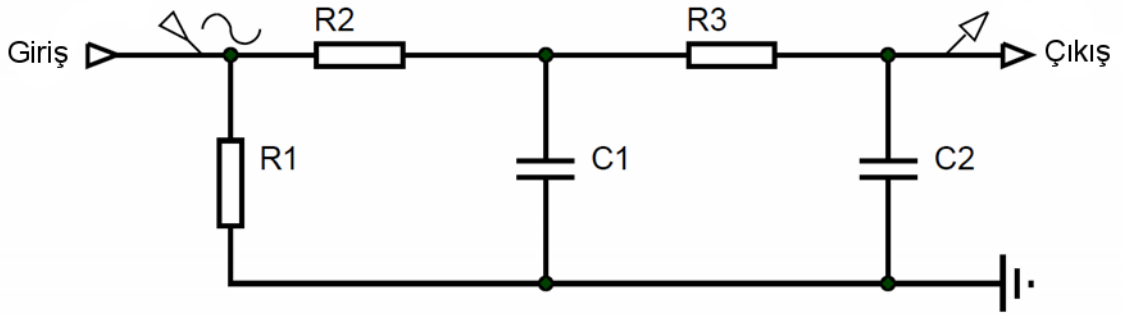
Şekil 3.5. Basınç sensörünün lineer regresyonla oluşturulmuş fit eğrisi.



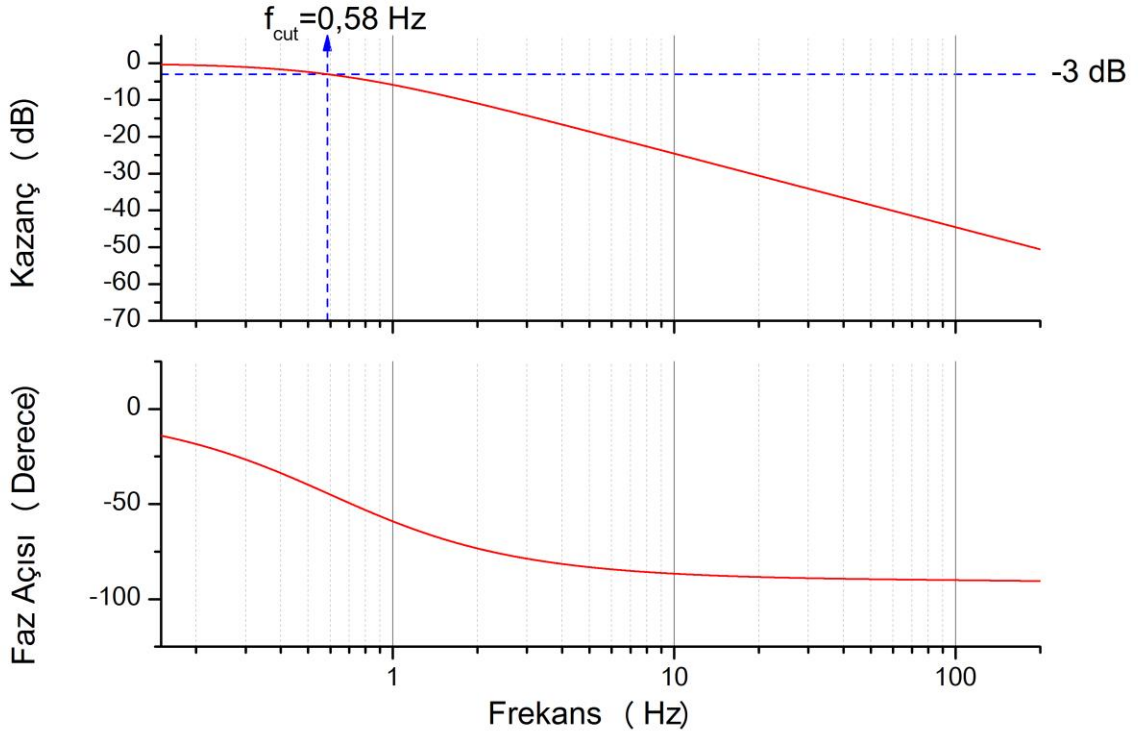
Şekil 3.6. Basınç sensörünün lineer regresyonla oluşturulmuş eğrisinin rezidüsü.

3.1.3. Basınç Sensörü'nün Dinamik Karakteristikleri

Basınç sensörü'nün dinamik karakteristiklerinin araştırılması için, 2. Bölüm' de anlatıldığı üzere transfer fonksiyonlarının çıkarılması gereklidir. Basınç sensörünün iç yapısı tamamen kapatılmış olması nedeniyle incelenememiştir. Ve de fabrika tarafından sağlanan verilerde sensörün iç yapısından kaynaklanan dinamik gecikmeler bildirilmemiştir. Bu yüzden, basınç sensörü'nün iç yapısı için sıfıncı mertebeden sensör yaklaşımı yapılmış, ve de sensörün çalışması esnasında oluşan gecikmelerin tamamen elektronik filtre devresinden kaynaklandığı varsayılmıştır. Basınç sensörünün elektronik filtre devresi; birinci mertebeden dinamik sistem yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Elektronik filtre devresinin, zaman sabiti ve dolayısıyla transfer fonksiyonu numerik olarak çözülerek hesaplanmıştır.

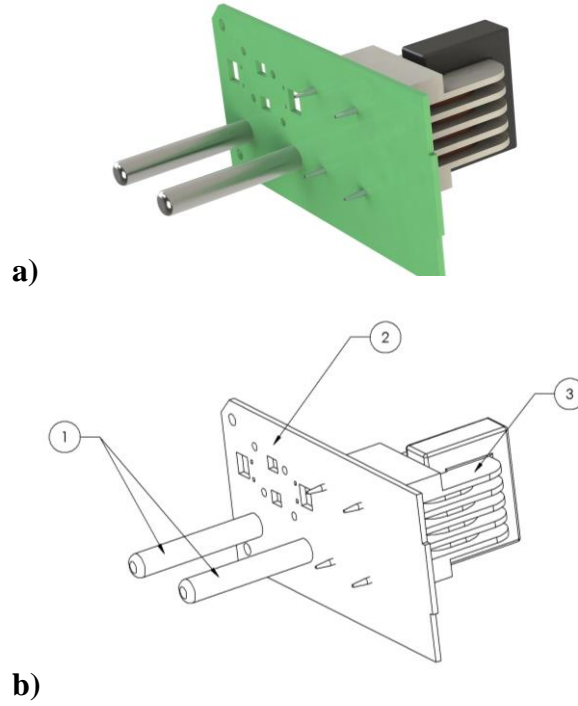


Şekil 3.7. Basınç sensörünün elektronik filtre devresi.



Şekil 3.8. Basınç sensörünün Bode Diyagramları.

3.2. İletkenlik Sensörü



Şekil 3.9. a) İletkenlik sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü. b) İletkenlik sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.

İletkenlik Sensörü'nün genel bileşenleri Şekil 3.9. b' den görüleceği üzere üç adettir.

1. İletkenlik sensörü elektrotları.
2. İletkenlik sensörü PCB kartı.
3. İletkenlik sensörü izolasyon transformatörü.

3.2.1. İletkenlik Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri

Sıvı çözeltilerin elektriksel iletkenliğinin ölçülmesi, çeşitli kimyasal ve biyokimyasal çalışmalarda kendine uygulama alanı bulan klasik bir elektroanalitik tekniktir. “İletkenlik” terimi, bu bölüm boyunca “elektriksel iletkenlik” anlamında kullanılacaktır. İletkenlik ölçümlerinin uygulama sahası çok geniştir. Mesela, çözücü saflığını belirlemede iletkenlik ölçümleri kullanılır, sıvı çözeltilerin iyonik konsantrasyonunu belirlemede yine iletkenlik ölçümleri kullanılır.

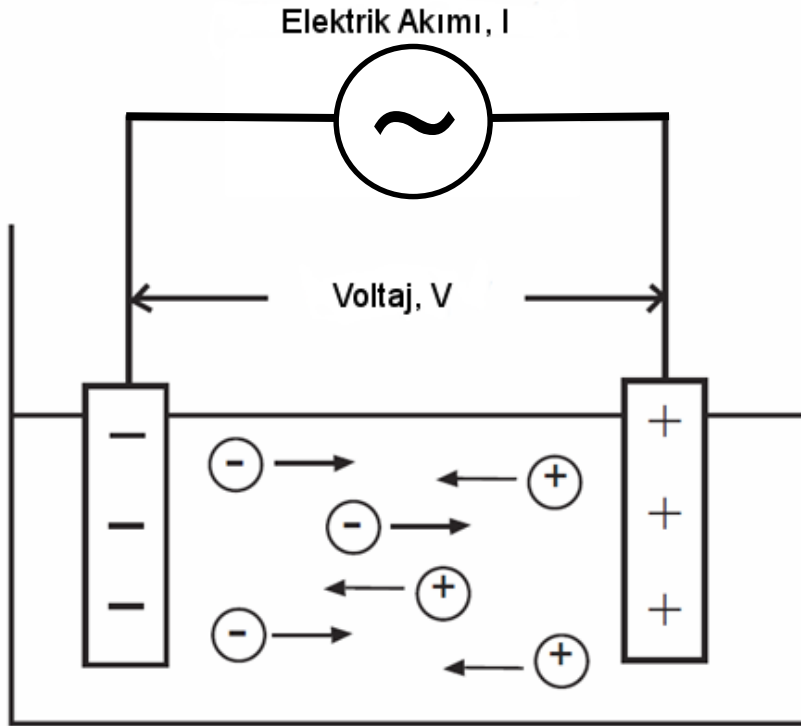
İletkenlik; bir çözeltinin, metalin ya da gaz formunda bulunan herhangi bir malzemenin elektrik akımını geçirebilmesinin bir ölçüsüdür. Çözeltilerde, elektrik akımı katyonlar ve anyonlar vasıtası ile taşınır. Metallerde ise serbest elektronlar tarafından taşınır.

Bir çözeltinin elektrik akımını ne kadar iyi ilettiği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- Konsantrasyon
- İyon mobilitesi
- İyon değeri
- Sıcaklık

Tüm maddeler az ya da çok iletkenlik sergilerler. Sulu çözeltilerin iyonik konsantrasyonu; düşük iletkenlikli ultra saf su örnekleri için düşük, yüksek iletkenlikli konsantre kimyasal örnekler için de yüksektir.

Sıvı iletkenliği; Şekil 3.10. 'da görüldüğü gibi, sıvı içerisine daldırılmış iki elektrodun alternatif akımla sürülmesiyle ölçülebilir. Bu işlem boyunca; katyonlar negatif elektroda, anyonlar da pozitif elektroda göç eder. Ve de çözelti elektriksel olarak iletkenmiş gibi davranır.



Şekil 3.10. Alternatif akım altında iyon göçü.

İletkenlik, genellikle elektrolitlerin sulu çözeltilerinde ölçülür. Elektrolitler iyon içeren çözeltilerdir, mesela iyonik tuzların sulu çözeltileri gibi. Çözeltide bulunan iyonlar elektrik akımını taşımaktan sorumludurlar. Elektrolitler; asitleri, bazları ve tuzları kapsar ve güçlü ya da zayıf olabilirler.

Kuvvetli elektrolitler, çözelti içerisinde tamamen iyonize olabilen maddelerdir. Sonuç olarak, çözeltideki iyon konsantrasyonu çözeltiye eklenen elektrolit miktarıyla doğru

orantılıdır. Kuvvetli elektrolitler, iyonik katıları ve kuvvetli asitleri içerir mesela HCl (Hidroklorik Asit) gibi. Kuvvetli elektrolitlerin çözeltileri elektriği iyi bir şekilde iletir. Çünkü pozitif ve negatif iyonlar elektriksel alan altında bağımsız olarak hareket edebilirler.

Zayıf elektrolitler, çözeltide tamamen iyonize olamayan maddelerdir. Örnek olarak; asetik asit, su içerisinde kısmi olarak asetat iyonlarına ve hidrojen iyonlarına ayrılır. Bu ayrılma sonucunda çözeltide hem moleküller hem de iyonlar bulunmaktadır. Tam olarak iyonize olamadığından dolayı da elektriği iyi iletmezler [12].

Bir çözeltilinin elektriksel direnci Ohm Yasası yardımıyla hesaplanabilir. Ohm Yasası'na göre; elektrotlar arasındaki eşdeğer çözelti direnci R , elektrotların potansiyel farkı V ' ye ve elektrotlardan geçen akım I ' ya aşağıdaki bağıntı ile bağlıdır.

$$R = \frac{V}{I}$$

Bir çözeltilinin elektriksel iletkenliği, onun elektriksel direncinin tersi olarak tanımlıdır. Ve de çözeltilinin elektriği ne kadar iyi ilettiğinin bir ölçüsüdür. Elektriksel iletkenlik G , elektriksel direnc R , ile aşağıdaki bağıntıda tanımlıdır.

$$G = \frac{1}{R}$$

Öziletkenlik ise birim uzunluk başına iletkenlik olarak tanımlanır ve κ ile gösterilir. İletkenlik ölçümlerinde sıklıkla kullanılan bir parametre de "hücre sabiti" dir. Hücre sabiti; iletkenlik ölçümü yapılan cihazın, elektrotları arasındaki uzaklığın, elektrotların toplam yüzey alanına oranı şeklinde tanımlanır. Hücre sabiti, genellikle K ile gösterilir. Ve de elektrotları arasında d uzaklığı bulunan, toplam elektrot yüzey alanı a olan bir iletkenlik ölçer için;

$$K = \frac{d}{a}$$

Öziletkenlik değeri κ ; spesifik bir ölçüm aleti için, hücre sabiti K ile çözelti iletkenliği G 'nin çarpımı olarak verilir [13].

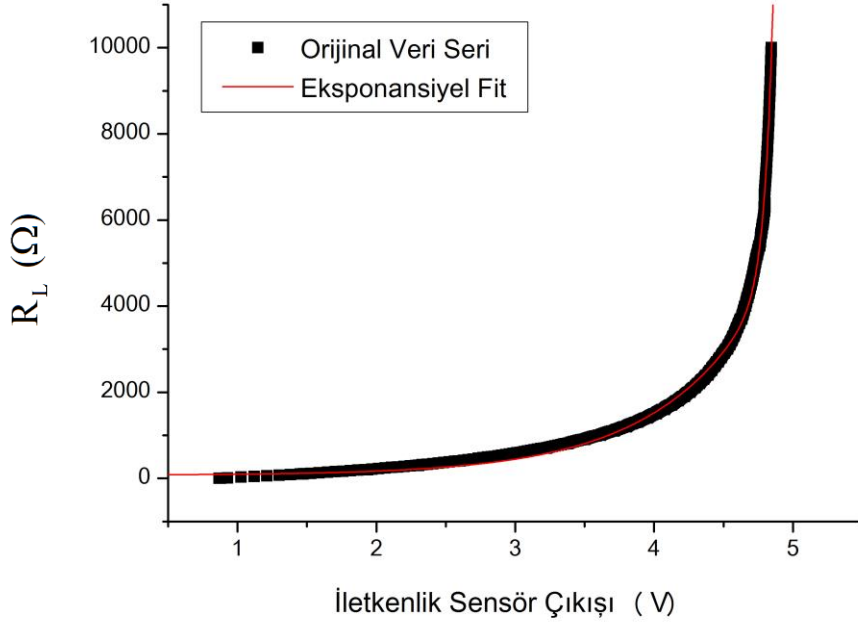
$$\kappa = G \cdot K$$

Tezde kullanılan iletkenlik sensörü; Arçelik A.Ş. Ç.M.İ. tarafından daha önceki tasarımlarda kullanılmış ve de hala kullanılıyor olmasından dolayı, hak ihlalini engellemek amacıyla iletkenlik sensörüyle ilgili sadece temel bilgiler verilecektir. Bu temel bilgiler; piyasada kullanımda bulunan benzer iletkenlik sensörlerinin halka açık şekilde yayımlanmış bilgilerinden fazlası değildir.

Bir sonraki bölümde iletkenlik sensörünün kalibrasyon eğrisinden bahsedilecek, daha sonraki bölümlerde ise sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümü ile ilgili grafikler gösterilecektir.

İletkenlik sensörünün dinamik karakteristikleri bölümünde ise iletkenlik sensörünün girişine uygulanan step sinyaline karşı sensörün verdiği tepkinin numerik olarak elde edilmiş değerleri verilecektir. Son olarak iletkenlik sensörünün Bode diyagramları verilerek iletkenlik sensörünün tanımlanması bitirilecektir.

3.2.2. İletkenlik Sensörü'nün Statik Karakteristikleri



Şekil 3.11. İletkenlik sensörünün, elektrotlar arası direnç değeriyle çıkış voltajının grafiği.

İletkenlik sensörünün elektrotları arasına takılan 10k'lık potansiyometre yardımıyla, Şekil 3.11. 'deki grafik elde edilmiştir. 150 nokta üzerinden alınan ölçümler kübik interpolasyon yardımıyla çoğaltılmıştır. Daha sonra eğrinin non-lineer regresyon analizi yapılmak üzere, prototip eğri olarak eksponansiyel polinom seçilmiştir. Eksponansiyel polinomun fonksiyonel formu $y = A_1 \cdot \exp(x/t_1) + A_2 \cdot \exp(x/t_2) + y_0$ şeklindedir. Buradaki A_1 , t_1 , A_2 , t_2 ve y_0 parametreleri non-lineer regresyon analizi sırasında eğri fitleme için kullanılmış parametrelerdir. Analiz sonucunda bulunan parametre değerleri;

$$y_0 = 73 \pm 5 (\Omega)$$

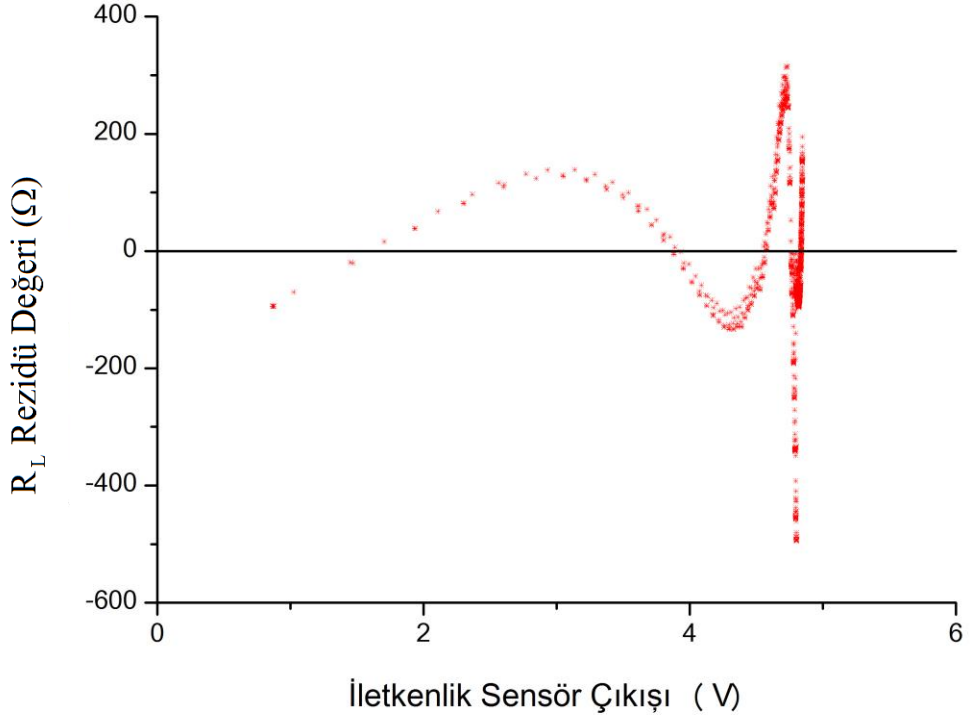
$$A_1 = 6.4 \pm 0.2 (\Omega)$$

$$t_1 = 0.737 \pm 0.003 (V^{-1})$$

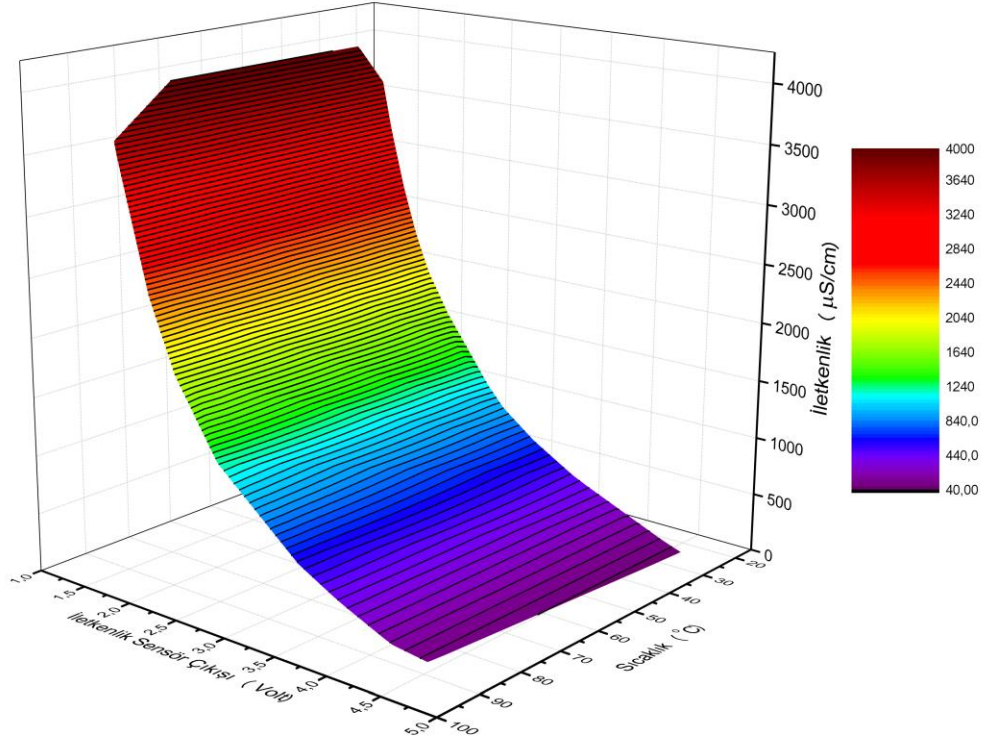
$$A_2 = (1.1 \pm 0.3)e^{-32} (\Omega)$$

$$t_2 = (0.059 \pm 0.0002)e^{-4} (V^{-1})$$

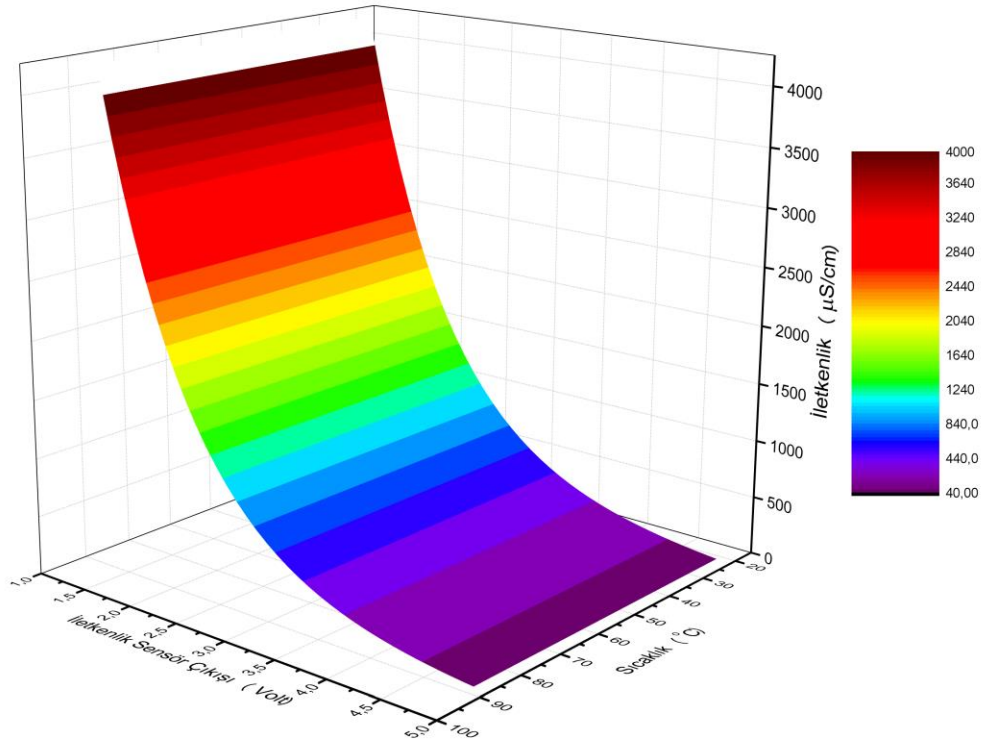
Olarak saptanmıştır. Fitlenmiş eğrinin kalitesi Şekil 3.12. ' de çizilmiş rezidü grafiğinden görülebilir. Rezidü değeri, tüm aralık boyunca ≤ 400 Ohm olmaktadır.



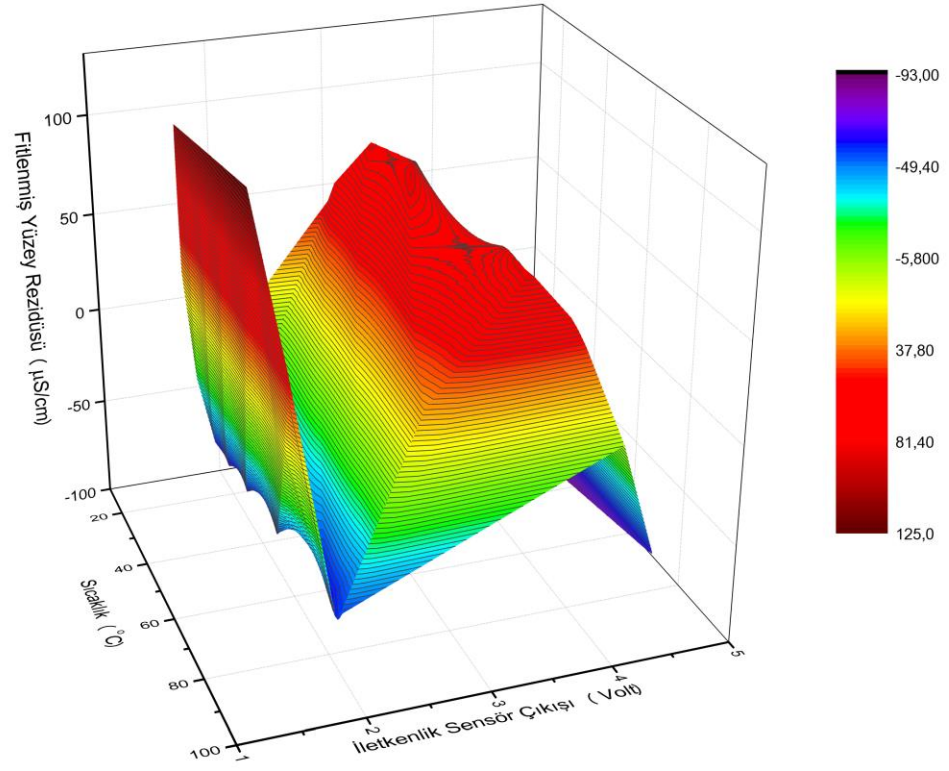
Şekil 3.12. İletkenlik sensör çıkışının, fit edilmiş eğrisinin rezidü grafiği.



Şekil 3.13. İletkenlik sensörünün, sıvı iletkenliğine ve sıvı sıcaklığına bağlı ölçüm yüzeyi.

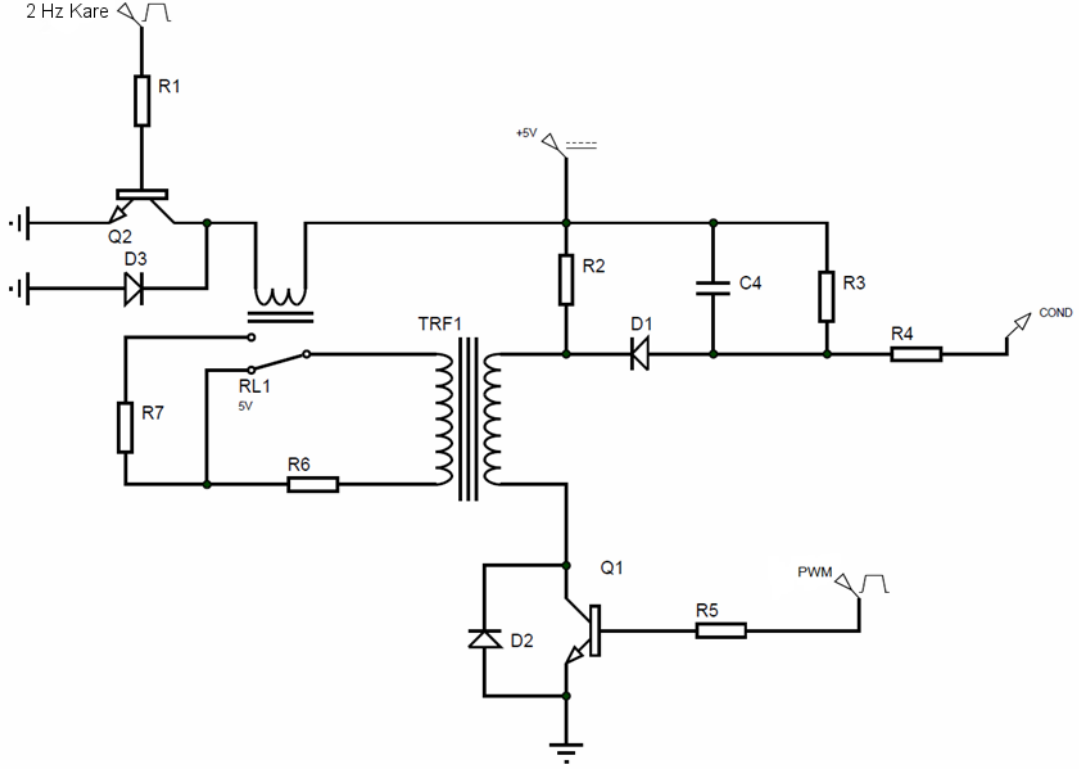


Şekil 3.14. İletkenlik sensörünün sıcaklık ve iletkenliğe bağlı ölçüm yüzeyine, çok değişkenli non-lineer regresyon analizi ile fit edilmiş yüzey.

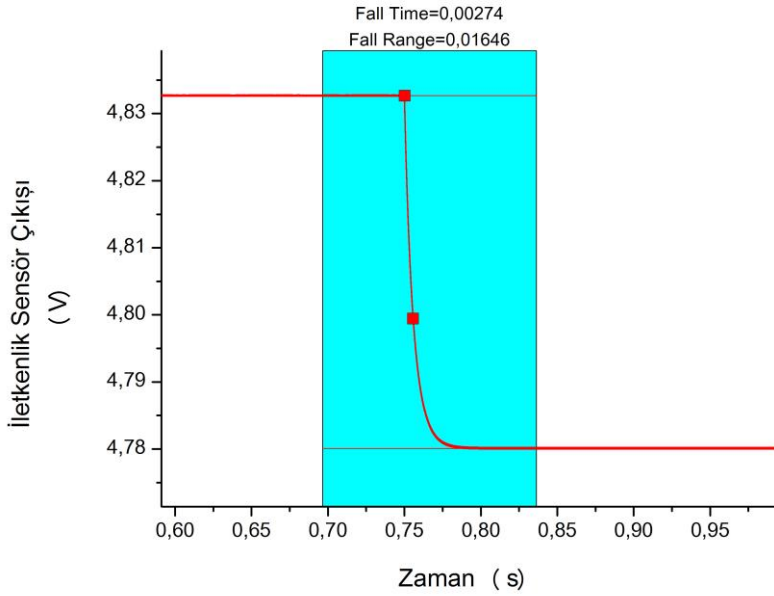


Şekil 3.15. İletkenlik sensörünün sıcaklık ve sıvı iletkenliğine bağlı ölçüm yüzeyine fit edilmiş yüzeyin rezidü grafiği.

3.2.3. İletkenlik Sensörü'nün Dinamik Karakteristikleri

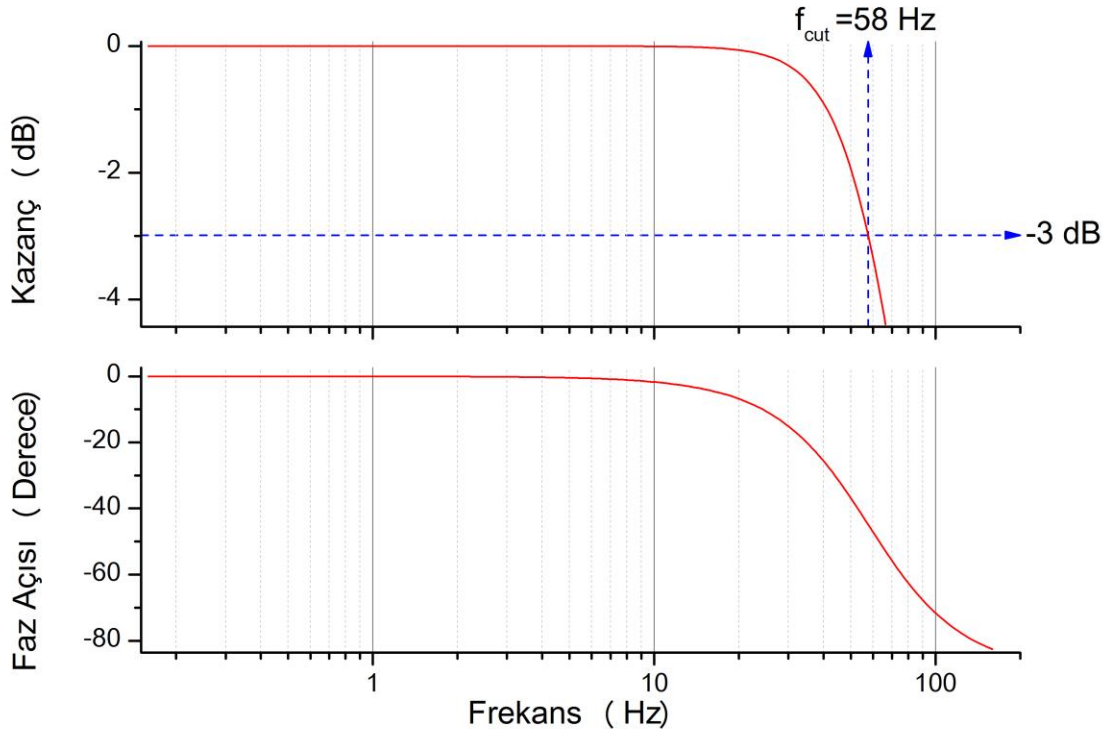


Şekil 3.16. İletkenlik sensörünün dinamik özelliklerini araştırmak amacıyla tasarlanmış simülasyon devresi.



Şekil 3.17. Simülasyon devresinde, iletkenlik sensörünün girişine uygulanan adım fonksiyonuna sensörün verdiği tepki.

İletkenlik sensörünün dinamik özelliklerini araştırmak için, sensörün girişine adım fonksiyonu uygulanması gerektiği ve de bu sırada sensörün çıkışının zamana bağlı nasıl değiştiğinin izlenmesi gerektiğinden 2. Bölümde bahsetmiştik. İletkenlik sensörünün girişine adım fonksiyonu uygulanması pratikte mümkün olmadığı için, sensör sistemi numerik olarak modellenerek test edilmiştir. Şekil 3.16. 'daki simülasyon şematüğinden görüleceği üzere; RL1 rölesi, Q2 transistörüyle anahtarlanarak, izolasyon trafosunun çıkış tarafında sırasıyla 10k ve 20k'lık empedans olmasını sağlamaktadır. 10k ve 20k'lık empedans değişimi, sensörün çıkışında da değişim yaratmaktadır. Sensörün çıkışındaki zamana bağlı değişim kaydedilerek, buradan sönüm zamanı (fall time) değeri bulunmuştur. Bulunan değerlerle birlikte birinci mertebeden dinamik sistem yaklaşımı kullanılarak, iletkenlik sensörünün Bode diyagramları elde edilmiştir.

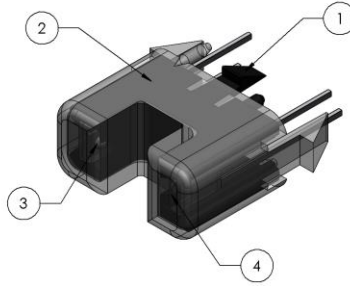


Şekil 3.18. İletkenlik sensörünün Bode Diyagramları.

3.3. Bulanıklık Sensörü



a)



b)

Şekil 3.19. a) Bulanıklık sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü. b) Bulanıklık sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.

Bulanıklık sensörü dört temel parçadan oluşur. Bunlar:

1. Bulanıklık sensörü LED tutucu
2. Bulanıklık sensör kılıfı
3. Fototransistör
4. IR LED

3.3.1. Bulanıklık Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri

Bulanıklık, suyun berraklığının tersi olarak tanımlıdır. Çamur ve mil içeren bir nehir suyunda optik geçirgenliğin düşük olacağını beklemek yanlış olmaz. Bu durum yüksek bulanıklık değerine bir örnektir. Benzer şekilde, bir kaynaktan çıkarak akan ve de hiçbir kirleyici bulaşmamış bir suyun da optik geçirgenliğinin yüksek olacağını beklemek yanlış değildir. Bu durum da düşük bulanıklık örneğidir. Bulanıklığın çeşitli sebepleri olabilir, bunlar:

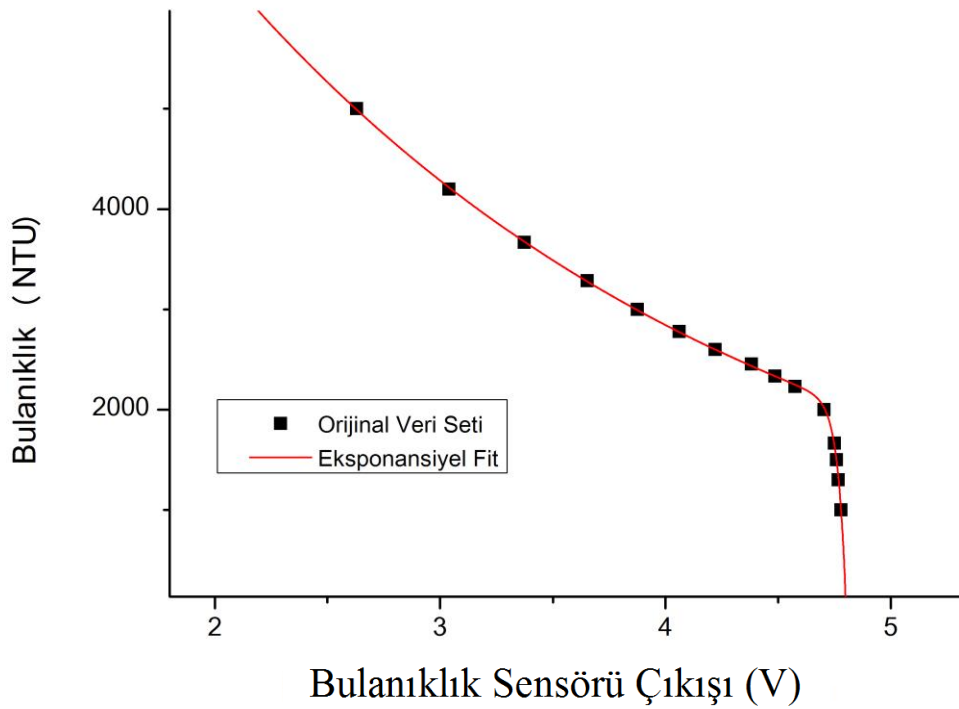
- Mil, kum ve çamur
- Bakteri ve diğer mikroorganizmalar
- Kimyasal çökeltiler

Olarak sıralanabilir. Şehir sularının bulanıklığının ölçülmesi çok önemli bir işlemdir. Şehirlerde kullanılan sular, birçok işlemde geçtikten sonra kullanıcılara sunulurlar ve bu işlemlerin herbiri suyun bulanıklığından oldukça etkilenir. Mesela; yağmurlu zamanlarda çamur ve mil, su arıtma tesislerindeki filtreleri tıkayarak su arıtma işleminin etkin bir şekilde yapılmasını engeller. Yüksek bulanıklık değerli sular, ayrıca depolarda ve borularda da tıkanıklığa yol açarak valf sistemlerinin bozulmasına yol açar [14]. Çamaşır makinesi özelinde de, suyun bulanıklığının ölçümü çamaşırların temizlenip temizlenmediğini algılamak için çok önemli bir faktördür. Bulanık bir yıkama suyu, daha tam olarak temizlenmemiş çamaşırları belirtir. Bu yüzden bulanıklık sensörü, çamaşır makinasında kullanılan en önemli sensörlerden biridir.

Bulanıklık, elektronik bulanıklık ölçerle ya da bulanıklık tüpüyle ölçülür. İki metodun da avantajı ve dezavantajı vardır. Bulanıklık genelde NTU (Nephelometric Turbidity Unit) birimiyle ya da JTU (Jackson Turbidity Unit) birimiyle ifade edilir. Bu iki birim kabaca birbirine eşittir.

Elektronik bulanıklık ölçerler genellikle çok hassas olarak ölçüm yaparlar ve çok düşük bulanıklık değerlerinde ölçüm alabilirler (5 NTU' dan düşük). Bu avantajlarının yanında elektronik bulanıklık ölçerlerin dezavantajları da vardır. Genellikle çok pahalıdır, güç kaynağına ihtiyaç duyarlar ve kolaylıkla hasar alabilirler [15].

3.3.2. Bulanıklık Sensörü'nün Statik Karakteristikleri



Şekil 3.20. Bulanıklık sensörünün çıkış voltajına göre sıvı bulanıklığı grafiği.

Bulanıklık sensörünün statik özelliklerini belirlemek amacıyla farklı bulanıklık değerlerindeki 15 ayrı solüsyon ve kalibrasyon düzeneği bölümünde bahsedilen bulanıklık sensörü kalibrasyon düzeneği kullanılarak Şekil 3.20.' de gösterilen grafik elde edilmiştir. Kullanılan solüsyonlar “formazin” adı verilen özel bir bileşiğin sulu çözeltileridir. Ve de uluslararası bulanıklık standartlarına uygun şekilde oluşturulmuşlardır. Formazin çözeltilerinin oluşturulması hakkındaki bilgi, bir sonraki bölümde verilecektir. Şekil 3.20.' deki grafikte görülen fit eğrisini oluşturmak için, non-lineer regresyon metodları kullanılarak regresyon prototip eğrisi için eksponansiyel polinom seçilmiştir. Seçilen eksponansiyel polinomun fonksiyonel formu $y = a \cdot \exp(-b \cdot x) - c \cdot \exp(d \cdot x) + e$ şeklindedir. Fonksiyondaki a, b, c, d, e parametrelerinin değerleri, non-lineer regresyon analizi sonucunda belirlenmiştir. Ve de değerleri aşağıdaki gibidir.

$$a = 14774(\text{NTU})$$

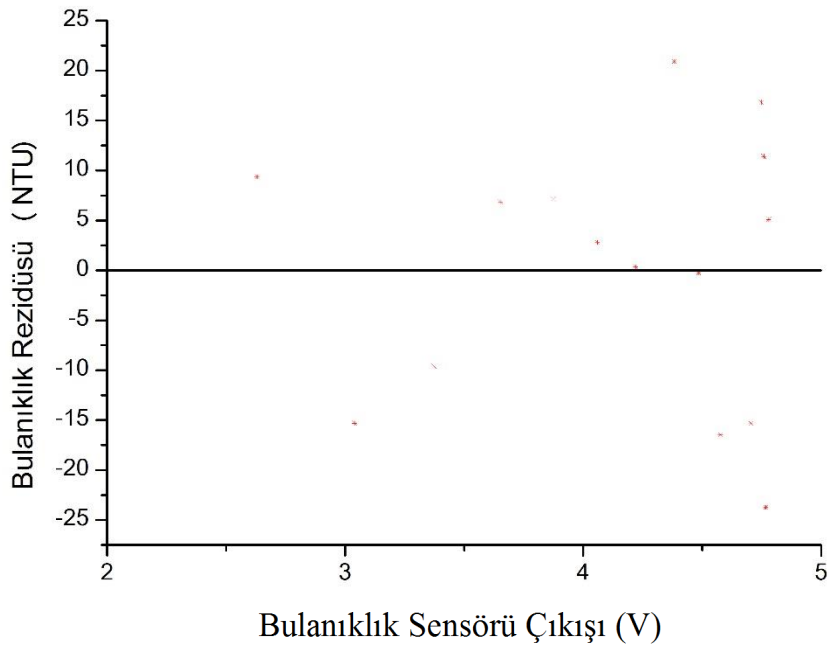
$$b = 0.417(\text{V}^{-1})$$

$$c = 2.016e - 58(\text{NTU})$$

$$d = 29.26(\text{V}^{-1})$$

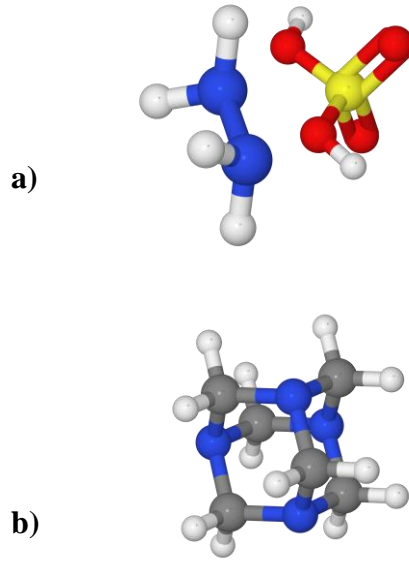
$$e = 60(\text{NTU})$$

Bulunan parametre değerleriyle birlikte fit edilmiş eğrinin, orijinal veri değerlerinden sapma miktarı ya da rezidüsü Şekil 3.21. ' de verilmiştir. Rezidünün maksimum değeri $\leq 25 \text{ NTU}$ olmaktadır.



Şekil 3.21. Bulanıklık sensörünün fit edilmiş eğrisinin rezidü grafiği.

3.3.3. Bulanıklık Sensörü'nün Kalibrasyon Prosedürü

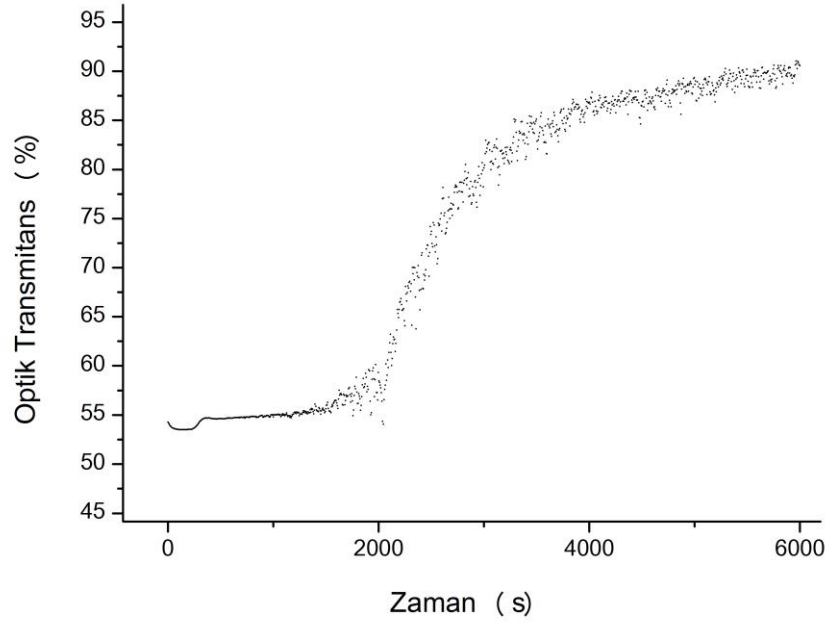


Şekil 3.22. a) Hidrazin Sülfat molekülü. b) Heksametilentetramin molekülü

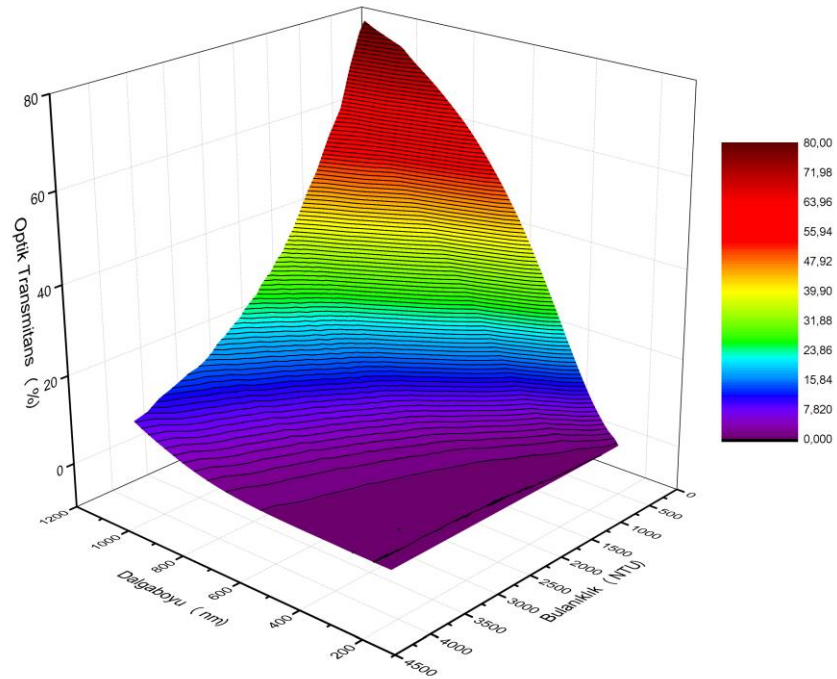
Bulanıklık sensörünün kalibrasyon eğrisinin çıkarılmasında, formazin çözeltileri kullanılmıştır. Formazin; moleküler yapıları Şekil 3.22.' de gösterilen hidrazin sülfat ve heksametilentetramin bileşiklerinin saf su ortamında karıştırılması ile elde edilir. 5 g/L oranında hidrazin sülfat, 50 g/L oranında ise heksametilentetramin bir litre su ile karıştırılarak, 25 °C ± 3 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek elde edilir. Formazin oluşumu esnasında, heksametilentetramin ve hidrazin sülfat polimerleşme reaksiyonuna uğrarlar. Oluşan bu polimerler, çözelti bulanıklığını değiştirirler. Yukarıda belirtildiği gibi oluşturulan formazin 4000 NTU değerinde bulanıklığa sahiptir. Saf su ile seyreltilerek, istenilen bulanıklık değerine getirilebilir [16].

Laboratuvarda formazin çözeltisi oluşturulurken kullanılan suyun saflığı çok önemlidir. Saf olmayan bir suyla hazırlanan formazin, hızlıca çökerek ölçüm alınmasına izin vermez. Bu yüzden, hazırlanmış formazin çözeltileri için zamana bağımlı stabilite testi yapılmıştır. Test Shimadzu UV 1800 [17] marka spektrofotometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Test esnasında formazin çözeltisinin optik geçirgenliği zamana bağımlı olarak ölçülerek, çökme hızı belirlenmiştir. Şekil 3.23' te gösterilen grafikte, deneylerde kullanılan formazin çözeltisinin zamana bağlı çökme grafiği görülmektedir. Grafikten de görüleceği üzere, çözelti yaklaşık 2000 saniye boyunca stabil kalmaktadır.

Formazin çözeltisi; konsantrasyonuna ve deneyde kullanılan ışığın dalgaboyuna göre farklı optik transmitans (geçirgenlik) değerine sahiptir. Kullanılan formazin çözeltilerinin, dalgaboyuna ve NTU cinsinden bulanıklığına göre optik geçirgenliğinin testi de Shimadzu UV 1800 spektrofotometre yardımıyla yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 3.24.' te görülmektedir.

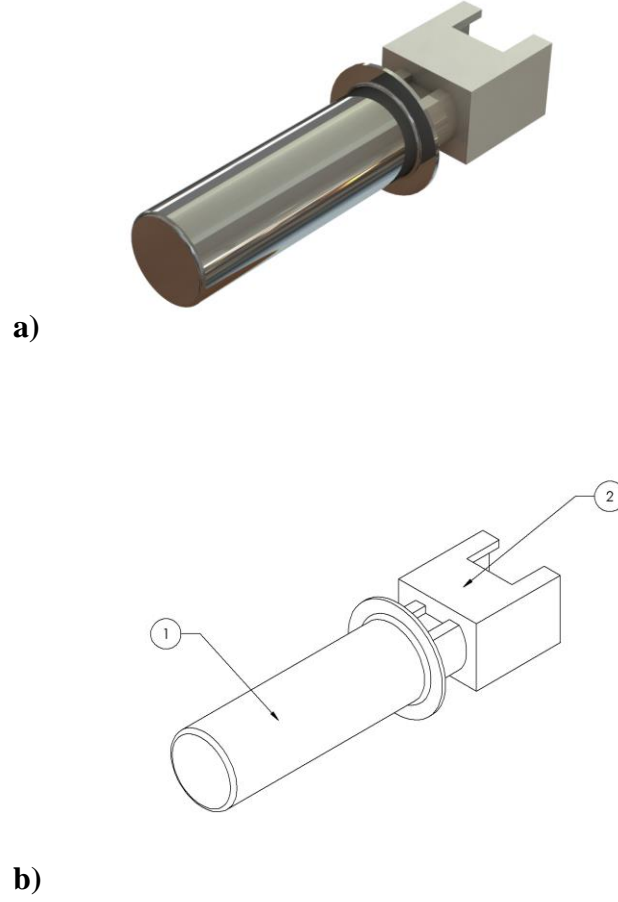


Şekil 3.23. Deneylerde kullanılan formazin çözeltisinin zamana bağlı stabilizasyon grafiği.



Şekil 3.24. Formazin çözeltisinin optik transmittans (geçirgenlik) değerinin, dalgaboyuna ve bulanıklık değerine olan bağımlılığı.

3.4. Sıcaklık Sensörü



Şekil 3.25. a) Sıcaklık sensörünün resmedilmiş CAD görüntüsü. b) Sıcaklık sensörünün ölçüsüz teknik resim görünümü.

Sıcaklık sensörü temel olarak iki parçadan meydana gelmektedir. Bunlar:

1. Krom kaplamalı çelik gövde ve gövdenin içinde bulunan NTC termistör.
2. Konnektör

3.4.1. Sıcaklık Sensörü'nün Fiziksel Özellikleri

Termistörler ve termistörlerden imal edilmiş sıcaklık sensörleri, doğum öncesinde ceninin vücut sıcaklığını izlemeden uzaydaki astronotun vücut sıcaklığını izlemeye, okyanusların sıcaklığını ölçmeden uzaydaki uyduların sıcaklığını ölçmeye, tek kullanımlık tıbbi ölçüm aletinden onlarca yıl kullanılan telekomünikasyon kablolarına kadar birçok yerde kullanılırlar.

Özdirenci sıcaklığa bağlı olarak değişen dirençlere “termistör” adı verilir. Termistörler NTC (Negative Temperature Coefficient) ya da PTC (Positive Temperature Coefficient) olarak bilinen iki farklı şekilde karşımıza çıkarlar. Diğer elektronik sıcaklık sensörlerine kıyasla,

termistörler en hassas sıcaklık ölçümü yapabilen aletlerdir. Aşağıdaki tabloda 25°C sıcaklıkta NTC termistör elemanının, K tipi termal-çift ve 100 ohm'luk RTD ile performans karşılaştırması görülmektedir [18].

Çizelge 3.1. Sıcaklık sensörlerinin karşılaştırılması.

	K tipi termal-çift	100 Ω RTD	10 kΩ Termistör
Duyarlılık	40 μV/°C	0.392 Ω/°C	438 Ω/°C
1 mK karşılığındaki değişim	4×10 ⁻⁸ Volt	4×10 ⁻⁴ Ω	4×10 ⁻¹ Ω
Sıcaklık ölçüm aralığı	-200 °C ile 1300 °C arası	-200 °C ile 650 °C arası	-80 °C ile 150 °C arası

Düşük uyarılma gücü, iki kablolu bağlantı, sağlamlık ve çeşitli boyutlarda üretilebilmeleri termistörlerin diğer avantajlarından. En büyük dezavantajları ise oldukça non-lineer olan ölçüm karakteristikleridir.

NTC termistörler, metal oksit yarıiletkenlerin karışımlarından meydana gelmektedirler. Geçiş metali oksitlerinin belli oranlarda karıştırılıp sinterlenmesiyle üretilirler. Sinterleme işlemi, toz halindeki malzemelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında işlenmesine verilen genel addır. Sinterleme işlemi sonrasında “spinel” adı verilen özel bir kristalografik yapıya kavuşan metal oksit tozları, sıcaklığa oldukça bağlı bir elektriksel direnç değişimi gösterirler.

Spinel adı verilen kristal yapısı, ismini spinel adı verilen doğal bir mineralden alır. Spinel minerali MgAl₂O₄ kimyasal formundadır. Spinel kristal yapısında Mg atomları tetrahedral dizilimde olup, kristalin örgünün “A” bölgesini işgal ederler. Benzer şekilde Al atomları da oktahedral şekilde dizilmiş olup, kristalin “B” bölgesini işgal ederler. Bu şekilde oluşan spinele “normal spinel” adı verilir. Normal spinelin “A” bölgesinde +2 değerlikli bir metal iyonu, “B” bölgesinde +3 değerlikli iki metal iyonu ve dört adet oksijen atomu vardır.

Bu tipteki malzemeler “valans kontrollü yarıiletkenler” olarak bilinirler. İyonlar, eşdeğer kristal bölgelerinde çeşitli değerlikte valans durumları oluşturduğunda elektriksel iletim gerçekleşir. Elektriksel iletim mekanizması, tamamıyla termal olarak aktif hale gelen elektronlardan kaynaklanır.

Elektriksel iletkenlik, mobilite ve yük yoğunluğunun çarpımına eşit olan bir niceliktir. Yük yoğunluğu, yük taşıyıcılarının sayısı ile tanımlanır. Mobilite ise, en yakın komşuluk uzaklığı ile ilgili bir parametredir. Bu etkilerin tümü göz önüne alındığında, iletkenlik için aşağıdaki gibi bir bağıntı yazılabilir.

$$\sigma = \sigma_x^{(-q/kT)}$$

Buradaki σ değeri, sonsuz sıcaklıktaki elektriksel  ziletkenlik değerini temsil eder. q değişkeni aktivasyon enerjisini, k Boltzmann sabitini ve T değişkeni ise kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı belirtir. Termistör durumunda,  ziletkenlikten daha çok  zdiren le ilgilenilir. Yukarıdaki bağıntının tersi alınırsa, özdirenç  in geçerli olan ifade elde edilir.

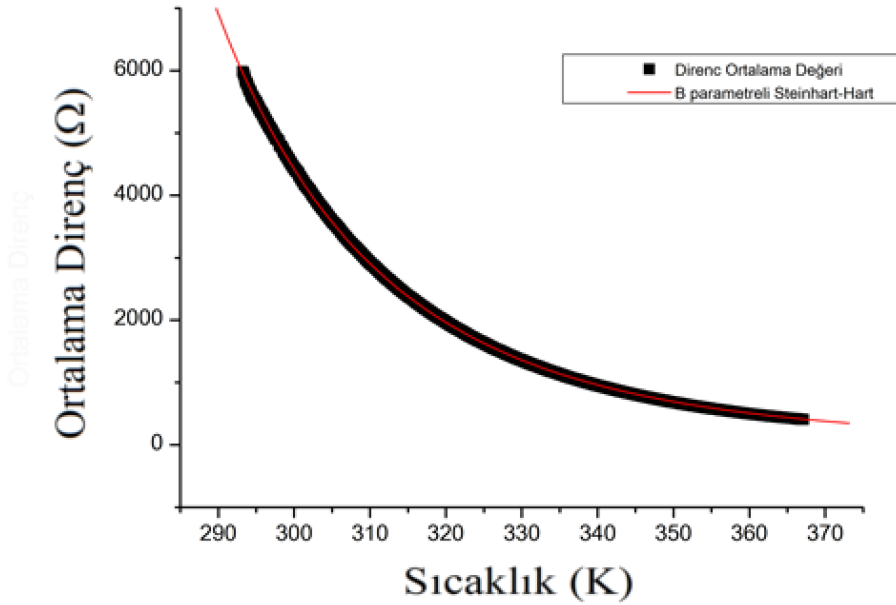
$$\rho = \rho_x^{(q/kT)}$$

Bu bağıntıda ρ ile gösterilen değişken elektriksel özdirençtir. Özdirenç ifadesi dirençle yer değiştirilir ve aktivasyon enerjisi ile Boltzmann sabiti birleştirilirse, bilindik termistör denklemi elde edilir [19].

$$R = A^{(B/T)}$$

Buradaki A sabiti, tüm boyutsal faktörleri ve sonsuz sıcaklıktaki direnç parametresini içeren bir sabittir. Benzer şekilde B sabiti de malzeme sabiti olarak anılır. Ve T değişkeni de kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı belirtir. Yukarıdaki bağıntı; kısa sıcaklık aralıklarında güzel sonuçlar verirken, daha geniş sıcaklık aralıklarında interpolasyon yardımıyla genişletilmesi gerekir. Bu denklem ilk defa J. S. Steinhart ve S. R. Hart tarafından geliştirilmiş ve de başarıyla kullanılmıştır. Bu yüzden, denklemin ismi Steinhart-Hart denklemdir [20].

3.4.2. Sıcaklık Sensörü'n n Statik Karakteristikleri



şekil 3.26. Termistör sıcaklığına göre elektriksel direnç değişim grafiği.

Termistör statik özellikleri araştırılırken, Bölüm 4.2.' de bahsedilecek olan kalibrasyon düzeneği kullanılarak, sıcaklık 20  C ile 90  C arasında çok yavaş bir şekilde (≤ 2  C/ dk) değiştirilerek şekil 3.26.' da gösterilen eğri elde edildi. Ölüm sonucunda elde edilen veri noktalarına non-lineer regresyon analizi ile eğri fit edildi. Non-lineer regresyon analizi için

B parametrelili Steinhart-Hart denklemi, prototip eğri olarak seçilerek analiz yapıldı. Seçilen eğrinin fonksiyonel formu;

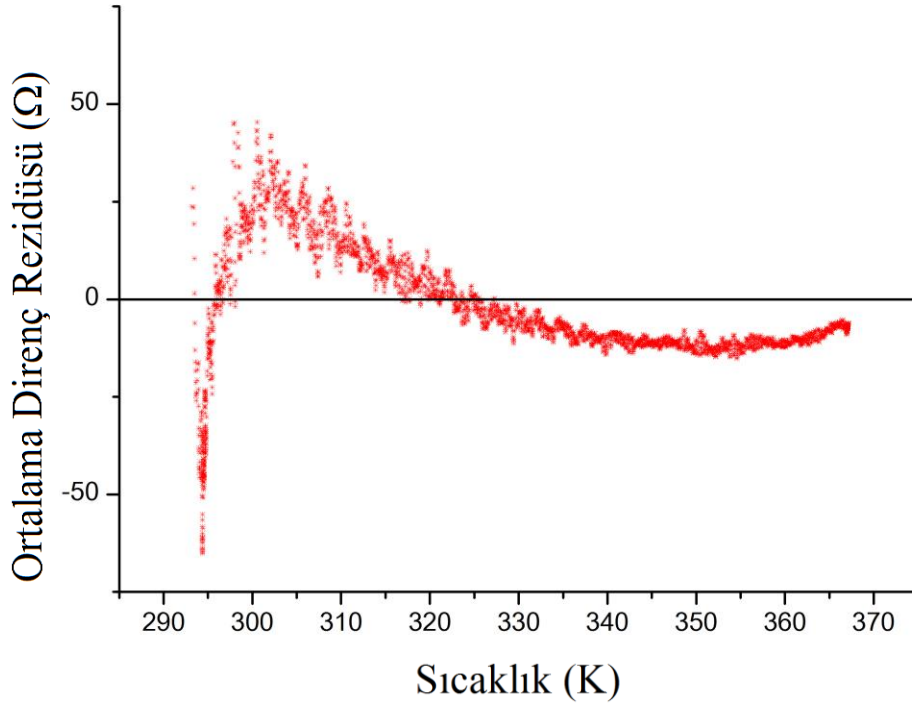
$$r(T) = r_0 \cdot \exp\left[B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

Şeklinde olup, buradaki B ve r_0 parametreleri, non-linear regresyon analizi sonucunda belirlenecek olan parametrelerdir ve $T_0 = 298.15 \text{ K} = 25 \text{ °C}$ olarak alınmış sabittir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen parametre değerleri aşağıdaki gibidir:

$$B = 3892 \pm 1 (\text{K}^{-1})$$

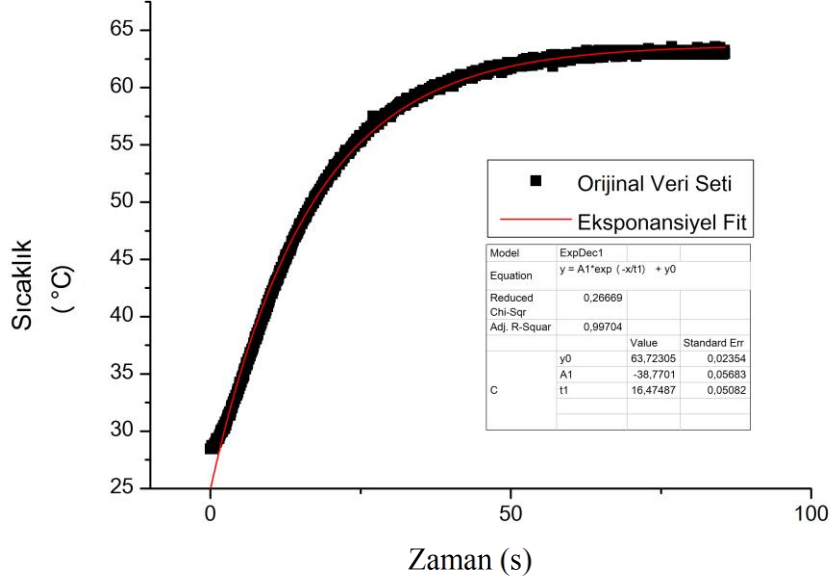
$$r_0 = 4786.3 \pm 0.6 \Omega$$

Yukarıdaki parametre değerleriyle birlikte fit edilmiş eğrinin, orijinal veri noktalarından sapma miktarı Şekil 3.27.'de grafik haline getirilmiştir. Grafikten görüleceği üzere, tüm aralık boyunca maksimum rezidü değeri $\leq 50 \Omega$ olmaktadır.



Şekil 3.27. Termistörün fit edilmiş eğrisinin rezidü grafiği.

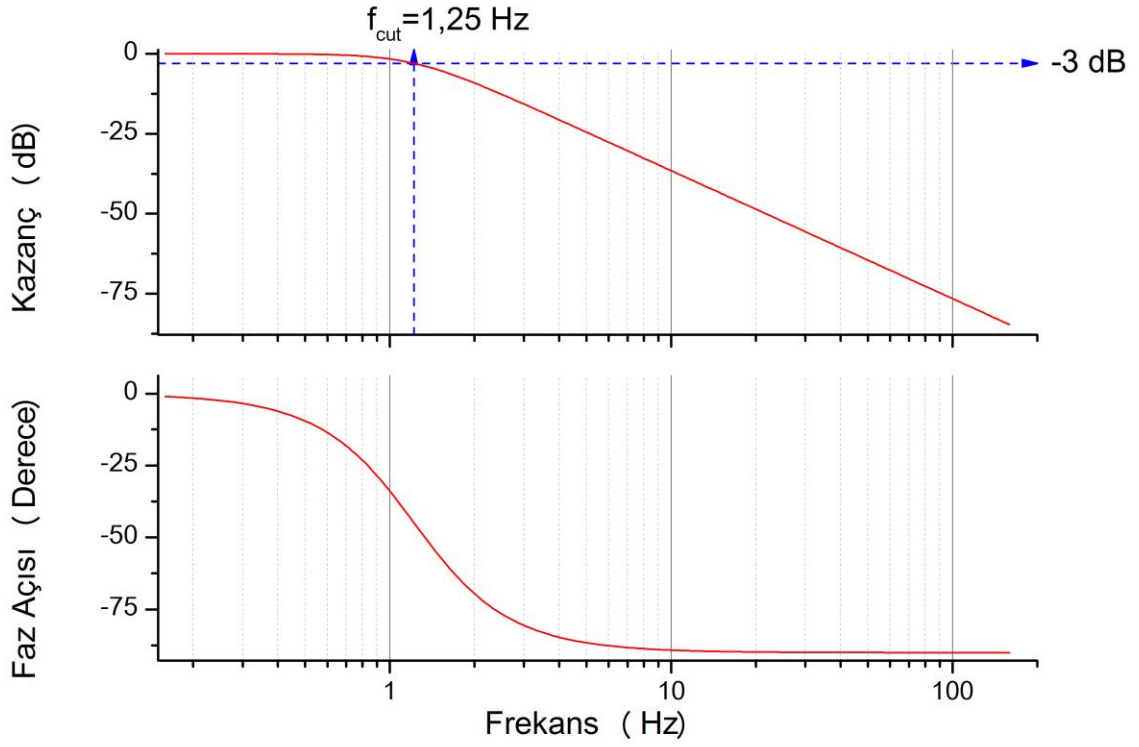
3.4.3. Sıcaklık Sensörü'nün Dinamik Karakteristikleri



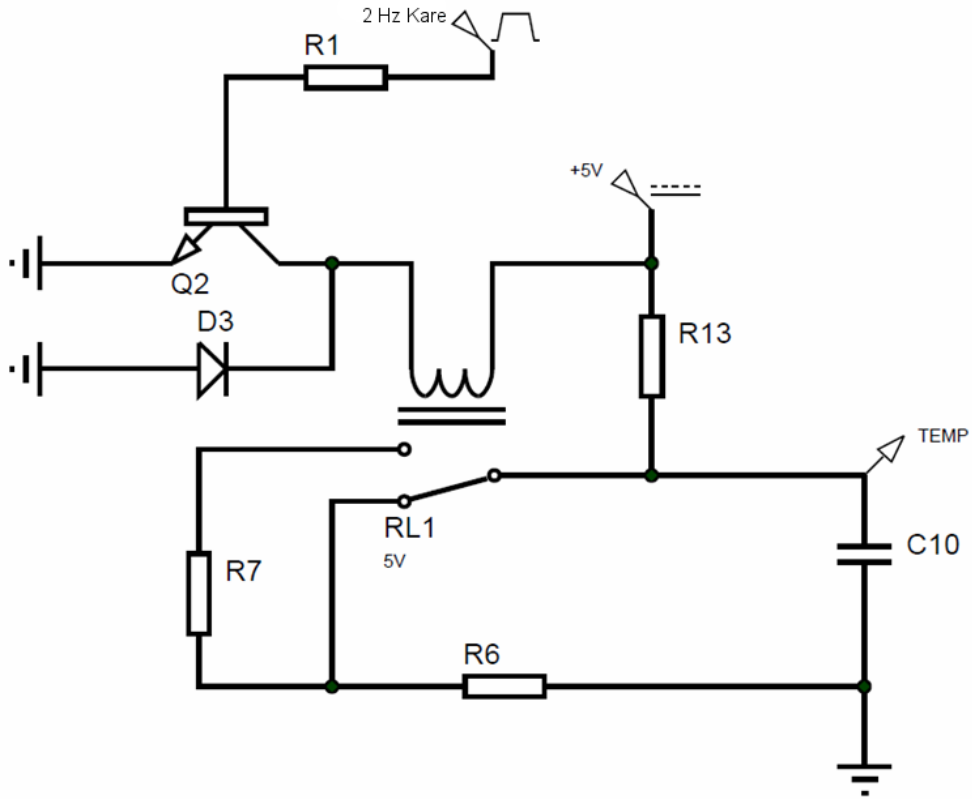
Şekil 3.28. Termistörün, adım fonksiyonu şeklinde değişen sıcaklığa verdiği tepki.

Termistörün dinamik özelliklerini incelemek amacıyla; 24 saat süreyle oda sıcaklığında termal dengeye getirilmiş olan termistör, anlık olarak 65 °C sıcaklığındaki suyun içine bırakılmış ve dengeye gelmesi beklenmiştir. Bu esnada, termistörle ölçülen sıcaklık zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen veri noktalarının non-lineer regresyon analizi için prototip eğri olarak $y = a_1 \cdot \exp(-x / \tau) + y_0$ eğrisi seçilmiştir. Seçilen prototip eğri orijinal veri noktalarına fit edilerek, termistörün zaman sabiti $\tau = 16.47487s$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu zaman sabiti değeriyle birlikte, birinci mertebeden dinamik sistem yaklaşımı kullanılarak termistörün Şekil 3.29.' da görülen termal bode diyagramları elde edilmiştir.

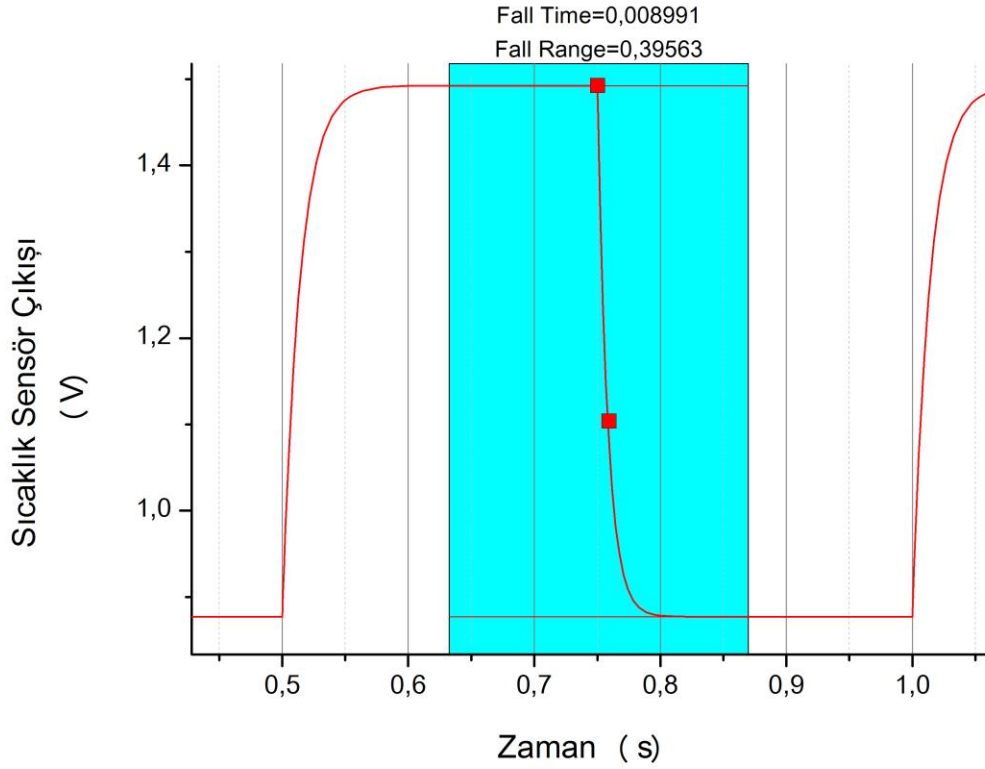
Termistörün toplam dinamik karakteristiklerini elde etmek için, termistör direncinin değişiminin, sensör çıkışına olan etkisini de incelemek gerekir. Bunun için termistörle ilgili devre numerik olarak modellenerek elektronik tepkisinin zaman sabiti hesaplandı. Şekil 3.30.' da görülen simülasyon devresinde; RL1 rölesi, Q2 transistörü yardımıyla anahtarlanarak C10 kapasitörüne paralel görülen rezistif empedans 10k ve 20k olarak değiştirilmektedir. Q2 transistörünün bazı 2 Hz' lik kare dalga ile sürülerek, bu işlemin saniyede iki defa tekrarlanması amaçlanmıştır. Bu işlem esnasında, TEMP çıkışı zamana bağlı olarak kaydedilerek termistörün elektriksel direnç değişiminin çıkış voltajı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen verilerden "fall time" değeri, ya da diğer adıyla zaman sabiti elde edilmiştir. Elde edilen zaman sabiti 0.008991 saniye olarak belirlenmiş ve buna karşılık gelen kesme frekansı 17.7 Hz olarak belirlenmiştir. Şekil 3.31' de zaman sabitinin elde edildiği simülasyon çıktısı görülebilir. Zaman sabitinden yararlanarak oluşturulan Bode diyagramı ise Şekil 3.32' de verilmiştir. Son olarak; sıcaklık sensörünün, termal ve elektriksel Bode diyagramlarından elde edilmiş toplam Bode diyagramı da Şekil 3.33'de gösterilmiştir.



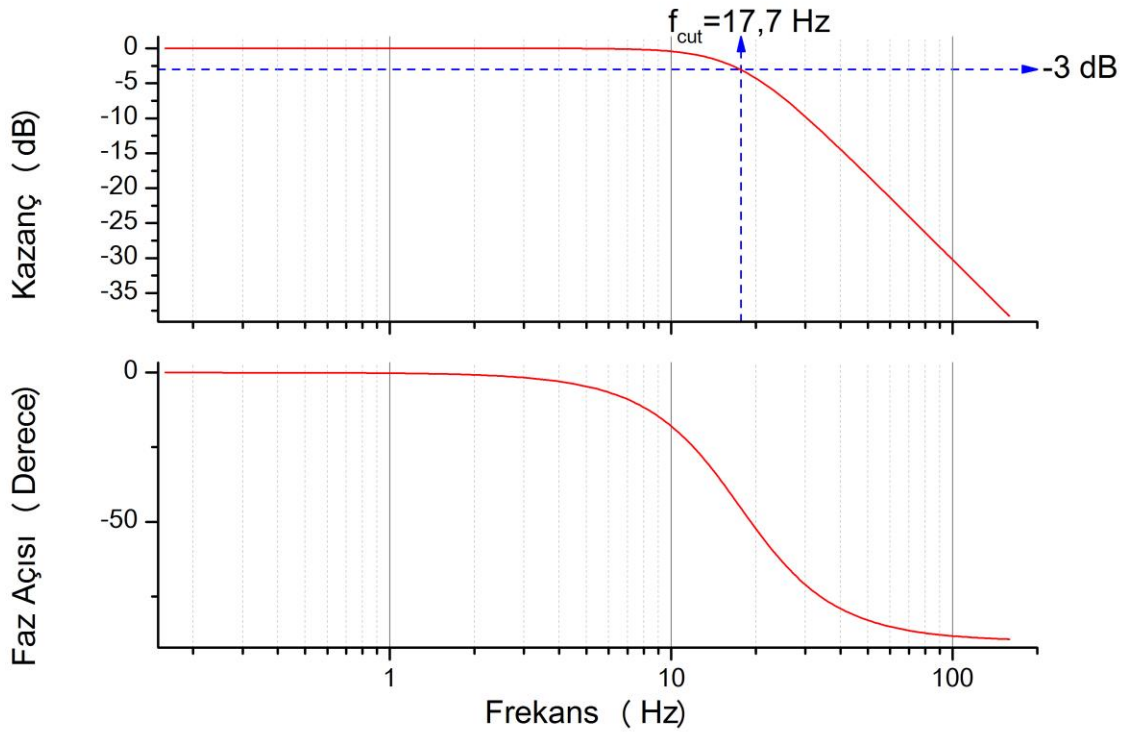
Şekil 3.29. Termistörün termal Bode diyagramları.



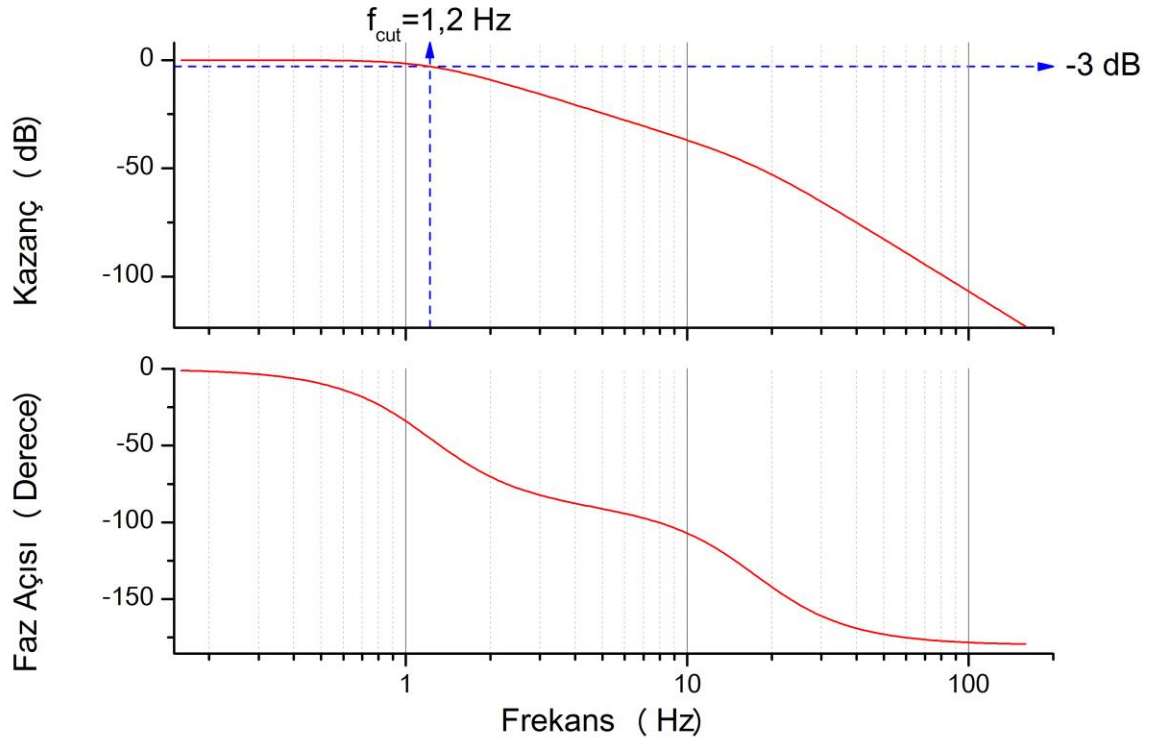
Şekil 3.30. Termistör devresinin elektronik Bode diyagramını elde etmek için kullanılan simülasyon devresi



Şekil 3.31. Termistör devresinin elektronik dinamik tepkisinin zamana bağlı değişimi.



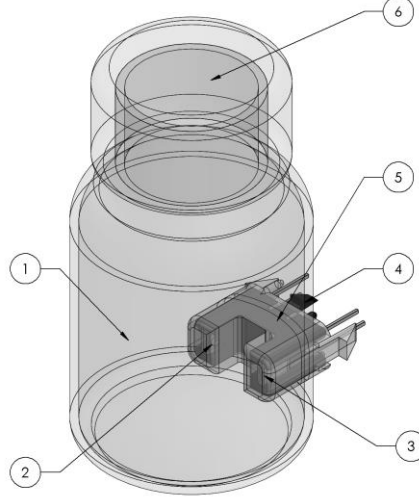
Şekil 3.32. Termistör devresinin elektronik Bode diyagramları.



Şekil 3.33. Sıcaklık sensörünün toplam Bode diyagramları.

4. KALİBRASYON DÜZENEKLERİ

4.1. Bulanıklık Sensörü Kalibrasyon Düzeneği



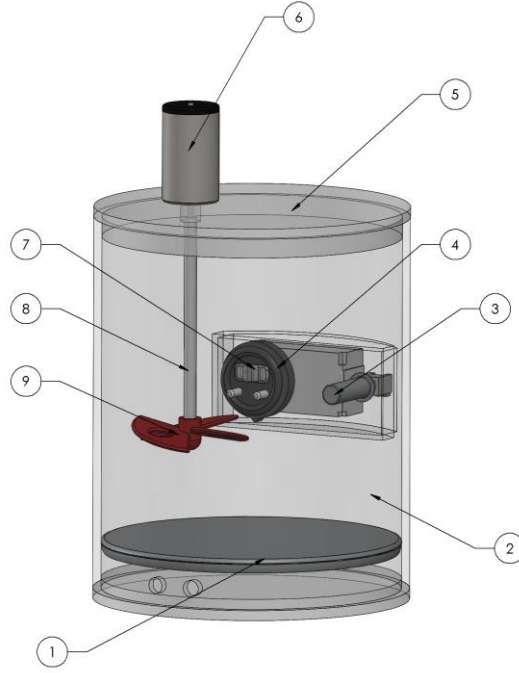
Şekil 4.1. Bulanıklık sensörü kalibrasyon düzeneği.

Bulanıklık sensörünün kalibrasyonu ve de ölçüm karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarda geliştirilmiş bir düzendir. Altı adet temel parçadan meydana gelir:

1. Makaron kaplanmış gövde
2. Fototransistör
3. IR LED
4. Led tutucu
5. Bulanıklık sensör kılıfı
6. Üst kapak

Aslında bir ilaç kutusu olan bulanıklık sensörü kalibrasyon düzeneğinin dış tarafı, 1.5 mm kalınlığında termal daralan makaron ile kaplanmıştır. Bu sayede, laboratuvar ortamından optik olarak izolasyon sağlanmıştır. Bulanıklık sensörü ile ilgili tüm ölçümler bu cihaz vasıtasıyla yapılmıştır.

4.2. İletkenlik ve Sıcaklık Sensörlerinin Kalibrasyon Düzenegi



Şekil 4.2. İletkenlik ve sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon düzenegi.

İletkenlik ve sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon düzenegi toplamda dokuz adet parçadan oluşur.

1. Rezistans
2. PVC kap
3. Sıcaklık sensörü (NTC termistör)
4. BAS contası
5. Üst kapak
6. Çevirici DC motor
7. Bulanıklık sensörü
8. Pervane mili
9. Pervane

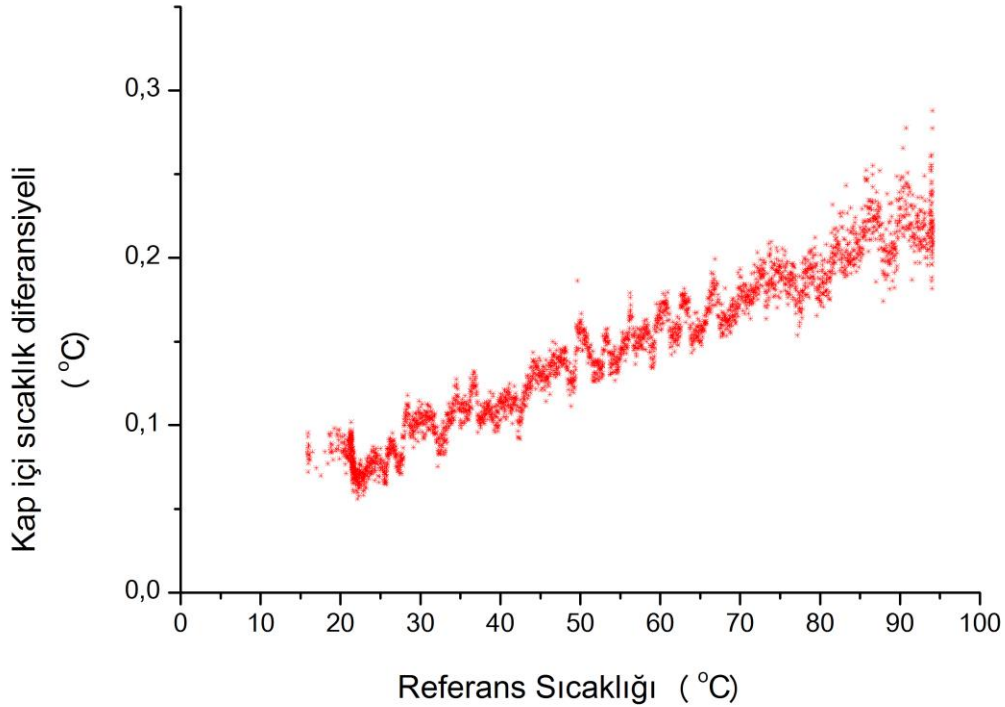
Sistemde, şekilde gösterilmeyen iki bileşen daha mevcuttur. Bunlar, rezistansı sürerek sistemin istenilen sıcaklığa gelmesini sağlayan “PID kontrolcüsü” ve sistemden veri toplamak amacıyla kullanılan “datalogger” ünitesidir.

Sistem, sıcaklık sensörü ve iletkenlik sensörünün kalibrasyonu ve de ölçüm karakteristiklerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Sistem, istenilen sıcaklık değerine istenilen hızda çıkacak şekilde tasarlanmıştır.

Sistemin farklı noktalarına konumlandırılmış, 5 adet T-tipi ve 1 adet K-tipi termal-çift sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Bu sıcaklık sensörlerinden sistem sıcaklığı sürekli olarak izlenip datalogger yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Bu sıcaklık sensörlerinden K-tipi olan datalogger ünitesinin kendine ait sıcaklık probu olup, referans sıcaklık değeri olarak kabul edilmiştir. Sistem içerisinde oluşan sıcaklık diferansiyelleri, bu referans sıcaklık sensörünün okuduğu değere göre relatif olarak hesaplanmıştır. Projede kullanılan NTC termistörün kalibrasyonu için, üç adet özdeş termistör sistem içerisinde tam olarak suya daldırılmış ve direnç değerleri datalogger ile toplanarak Şekil 3.26.'da görülen grafik elde edilmiştir.

İletkenlik sensörü için de, farklı iletkenlik değerlerindeki çözeltiler kullanılarak ve de sistem sıcaklığı değiştirilerek iletkenlik sensörünün Şekil 3.13.' te verilen grafiği elde edilmiştir.

Kalibrasyon düzeneği için en önemli kriterlerden birisi, düzeneğin içerisinde oluşacak sıcaklık gradyentlerini engellemesidir. Kalibrasyon düzeneğinin bu özelliğini araştırmak amacıyla, düzeneğin farklı noktalarına yerleştirilmiş, 5 adet T-tipi ve 1 adet K-tipi termal-çift yardımıyla sıcaklık ölçümleri alınmış ve de referans sıcaklık ölçümü değerinden maksimum sapma miktarı ölçülmüştür. Şekil 4.3.' ten görüleceği üzere kap içerisinde oluşan maksimum sıcaklık diferansiyeli değeri $\leq 0.3^{\circ}\text{C}$ olmaktadır.



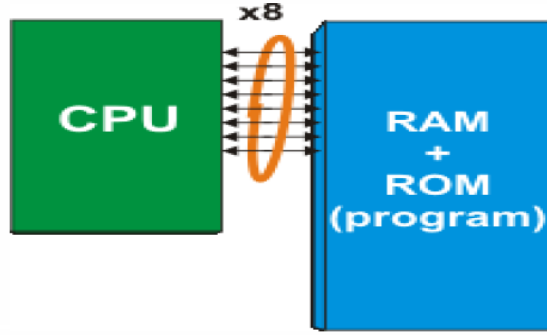
Şekil 4.3. Sıcaklık ve iletkenlik sensörlerinin kalibrasyon düzeneğinin çalışması esnasında oluşan maksimum kap içi sıcaklık diferansiyeli değeri.

5. PIC 18F252 MİKRODENETLEYİCİ

5.1. PIC Donanım Mimarisi

Tüm mikrodeneleyiciler Harvard tipi ya da von-Neumann tipi iç mimarilerden birine sahiptir. İşlemci ile bellek arasındaki veri transferi bu iki mimaride farklı şekilde olmaktadır. PIC 18F252 mikrodeneleyici Harvard sınıfı mimariye sahiptir. Harvard mimarisi, von Neumann mimarisi'ne göre daha üstündür. Bu üstünlüğün sebebini anlamak için iki mimariye de kısaca göz atalım;

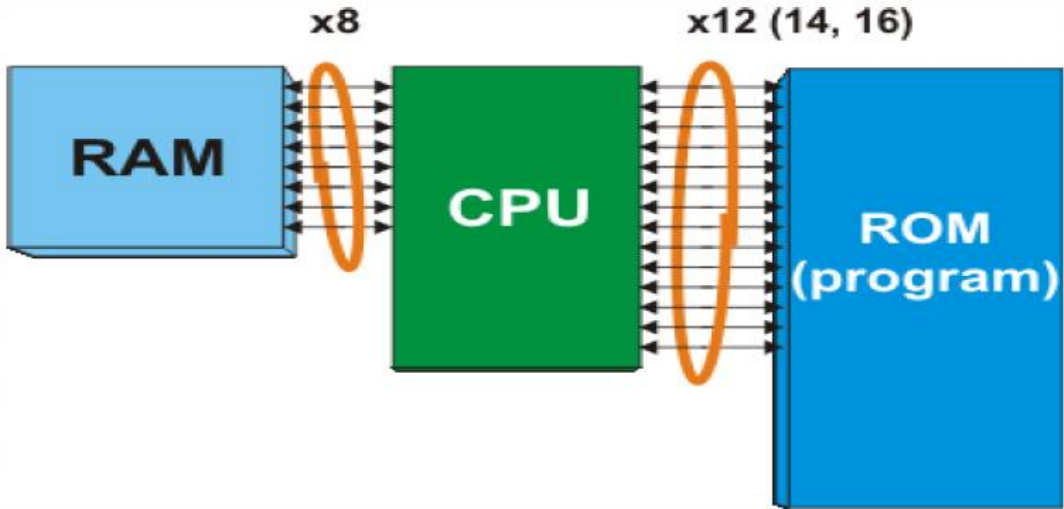
5.1.1. Von Neumann Mimarisi



Şekil 5.1. Von Neumann Mimarisi.

Von Neumann mimarisine sahip mikrodeneleyiciler sadece bir belleğe ve 8-bit'lik veri hattına sahiptir. Tüm veriler bu 8 hat üzerinden değiş-tokuş edildiğinden dolayı, veri hattı kolayca aşırı yüklenebilir ve iletişim yavaşlayabilir. CPU çalışma esnasında ROM' dan komut okumak ya da RAM'e/ROM'a veri yazmak zorunda olduğundan, ve de bu mimaride her ikisini aynı anda gerçekleştirmesi mümkün olmadığından dolayı von Neumann mimarisi pek de etkili sayılamaz.

5.1.2. Harvard Mimarisi



Şekil 5.2. Harvard Mimarisi.

Harvard mimarisine sahip olan mikrodenetleyiciler iki farklı veri yoluna sahiptir. Birisi CPU ile RAM arasındaki veri akışını sağlayan 8-bitlik veri hattı, diğeri ise CPU ile ROM arasındaki veri akışını sağlayan ve 12, 14, 16-bitlik genişliğe sahip olabilen veri yoludur. Bu tasarım özelliğinden dolayı Harvard Mimarisi'ne sahip olan mikrodenetleyiciler daha hızlı ve etkin şekilde çalışmaktadırlar.

5.2. PIC Komut Seti

```
StartOPTION      = b'10001111'  
  
B03              = h'0C'  
DelayReg1       = h'0C'  
Mask             = h'0C'  
BitCtr          = h'0D'  
BeepCtrHi       = h'0D'  
TxByte          = h'0E'  
BeepCtrLo       = h'0E'  
ParityReg1      = h'0E'  
Period          = h'0F'  
ParityReg2      = h'0F'  
  
Buffer0         = h'10' ; ---
```

Şekil 5.3. Assembly Kod Örneği.

Mikrodenetleyiciler tarafından algılanabilen komutların tümüne birden “komut seti” adı verilir. Aslında Assembly dilinde bir program yazdığımız zaman, mikrodenetleyici tarafından gerçekleştirilecek komutları sırasıyla vermiş oluruz. Üreticiler iki farklı tipte komut seti kullanmaktadırlar. Bunlara RISC (Reduced Instruction Set Computer) ve CISC (Complex Instruction Set Computer) adı verilir. PIC 18F252 mikrodenetleyici RISC tipi komut setine sahiptir, ve sadece 77 komut ile programlanabilir.

5.2.1. RISC (Reduced Instruction Set Computer) Komut Seti

RISC komut seti ile üretilmiş bir mikrodenetleyici, sadece temel işlemleri tanır ve yürütür. Diğer kompleks işlemler ise temel işlemlerin bir kombinasyonu şeklinde algılanır ve işlenir. RISC komut seti daha az komut içerdiğinden dolayı öğrenilmesi kolaydır.

5.2.2. CISC (Complex Instruction Set Computer) Komut Seti

CISC komut seti yapı olarak RISC' in aksidir. CISC komut seti ile üretilmiş bir mikrodenetleyici 200' den fazla komut içerir ve öğrenilmesi çok zordur. CISC mikrodenetleyiciler tek komutla daha fazla işlem yapabildiğinden dolayı hızlı çalışır [21].

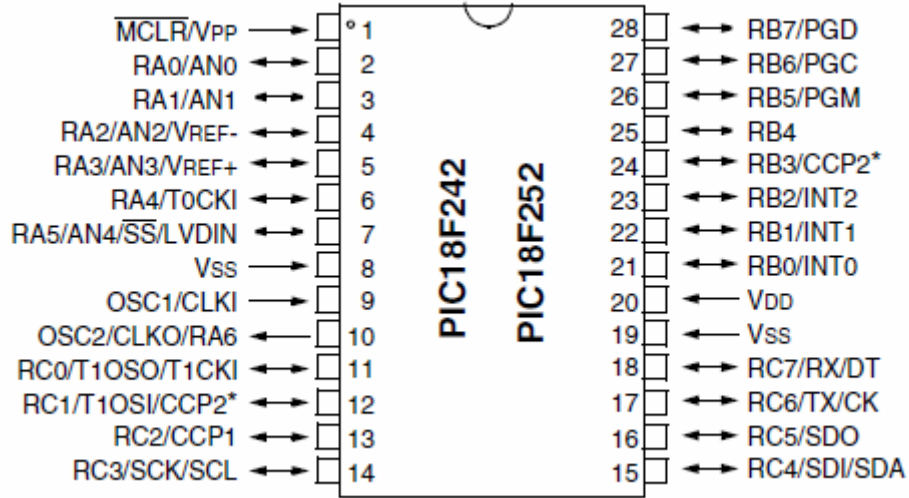
5.3. PIC 18F252 Mikrodenetleyici Özellikleri ve Yapısı

5.3.1. PIC 18F252

PIC 18F252 diğer tüm PIC18 ailesi mikrodenetleyicilerde olduğu gibi ucuz olmasının yanında yüksek saat frekansı ile birlikte yüksek dayanıklılığa ve geliştirilmiş Flash program hafızasına sahiptir. PIC 18F252 mikrodenetleyicinin genel özellikleri şu şekildedir [22].

- 77 komut
- PIC16 kaynak kodu uyumluluğu
- 2 MB' a kadar adreslenebilir program belleği
- 4 KB' a kadar adreslenebilir veri belleği
- DC ile 40 MHz arası çalışabilme
- 8 x 8 donanım çarpanı
- Kesme öncelik seviyeleri
- 16-bit genişliğinde komut, 8-bit genişliğinde veri yolu
- 8-bit zamanlayıcı/sayıcı
- 16-bit zamanlayıcı/sayıcı
- Dört harici kesme
- Yüksek Akım (25 mA) sağlayabilme özelliği
- USART haberleşme modülü
- Hızlı 10-bit Analog/Dijital çevirici
- Programlanabilir düşük voltaj algılama modülü

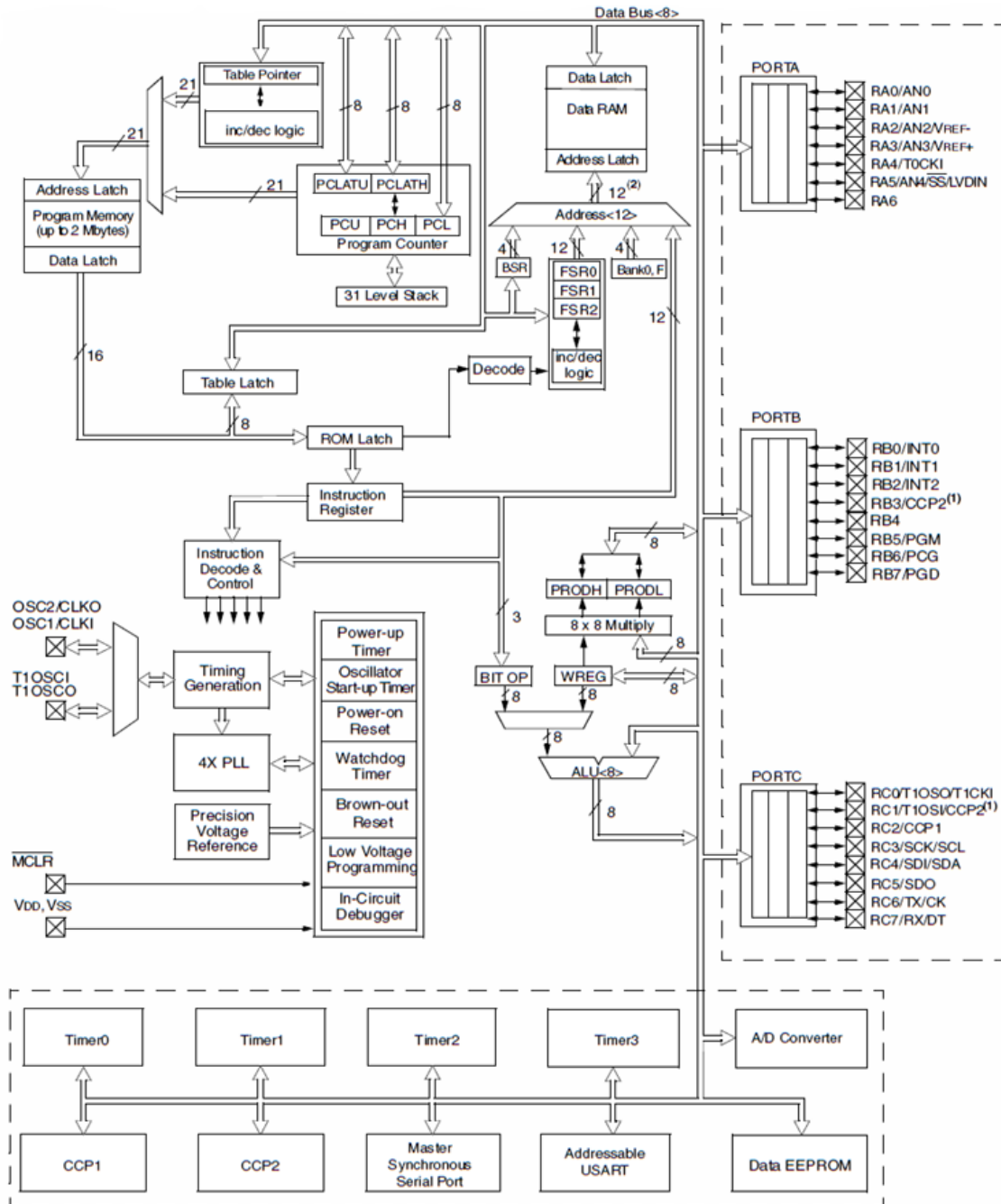
5.3.2. PIC 18F252 Pin Yapısı



Şekil 5.4. PIC 18F252 DIP paket pin yapısı.

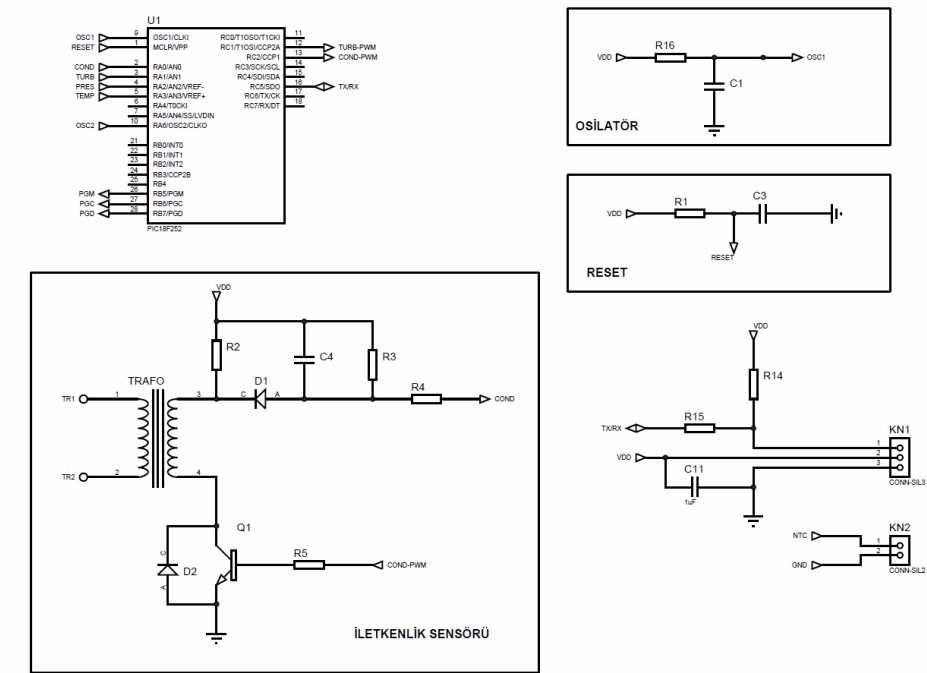
PIC 15F252 mikrodenetleyicinin pin yapısı Şekil 5.3.2. ' de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere PIC 18F252 toplamda 28 pine sahiptir. VSS, VDD, ve MCLR dışında kalan pinler üç PORT halinde bölünmüş olup bunlar PORTA, PORTB ve PORTC şeklinde isimlendirilmiştir. PORTA; analog/dijital ve giriş/çıkış olarak ayarlanabilen giriş portudur. PORTB ise sadece dijital çalışan giriş/çıkış portudur. PORTC de sadece dijital modda çalışan genel amaçlı giriş/çıkış portudur. Bu pinler sadece analog/dijital giriş/çıkış olarak değil, farklı görevlerde de kullanabilmektedir. Mikrodenetleyici programlanırken her pin için alternatif görevler seçilip kullanılabilir [23].

5.3.3. PIC 18F252 Blok Diyagramı

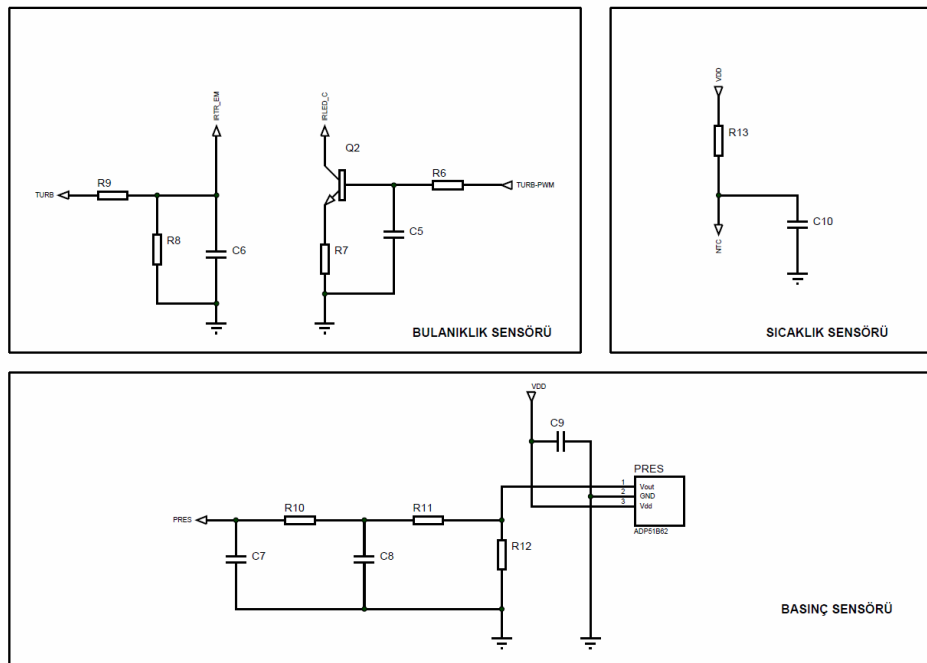


Şekil 5.5. PIC 18F252 Blok Diyagramı

5.4. PIC 18F252 Mikrodenetleyici' nin Projedeki Kullanımı



Şekil 5.6. PIC 18F252, Reset devresi, İletkenlik sensörü ve konnektör çıkışlarının şematığı.



Şekil 5.7. Bulanıklık sensörü, Sıcaklık sensörü ve Basınç sensörünün şematığı.

PIC 18F252 mikrodnetleyicinin projedeki yerine ilişkin olarak, Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.' de şematikleri gösterilen devreler kullanılmıştır. Şematiklerde, elemanların değerleri gizlenmiştir.

Mikrodnetleyicinin saat frekansı kaynağı olarak, Şekil 5.6.'da gösterilen osilatör devresi kullanılmıştır. İletkenlik sensörünün mikrodnetleyiciye bağlanmasında COND ismiyle gösterilen RA0 portu analog giriş olarak kullanılmıştır. Sensör kartının, dışarıyla olan elektriksel bağlantısını sağlamak amacıyla Şekil 5.6.' da gösterilmiş olan KN1 ve KN2 isimli iki konnektör bağlantısı konulmuştur.

Bulanıklık sensöründen okunan değerler, TURB ismiyle Şekil 5.6.'da gösterilen RA1 portuna analog olarak aktarılmıştır. Basınç sensöründen gelen veriler de yine analog şekilde PRES ismiyle şematikte gösterilmiş olan RA2 portuna bağlanmıştır. Sıcaklık sensöründen gelen veriler de diğer sensörlere benzer şekilde TEMP ismiyle RA3 portuna bağlanmıştır.

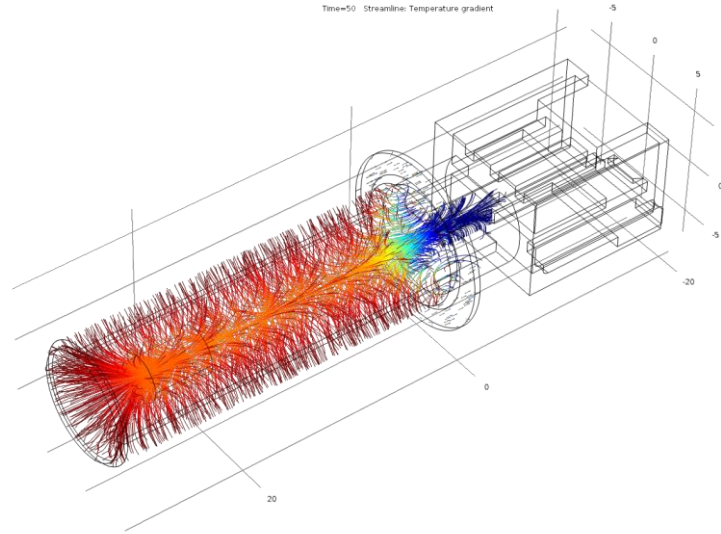
Tüm sensörlerden gelen analog veriler, ilgili bağlantı pininde 10-bit A/D dönüşümüyle dijital hale getirilerek işlenmiştir. Elde edilen veriler, TX/RX olarak şematikte gösterilmiş RC5 portundan anakarta aktarılacak şekilde dizayn edilmiştir.

6. SONLU ELEMANLAR SİMÜLASYONLARI

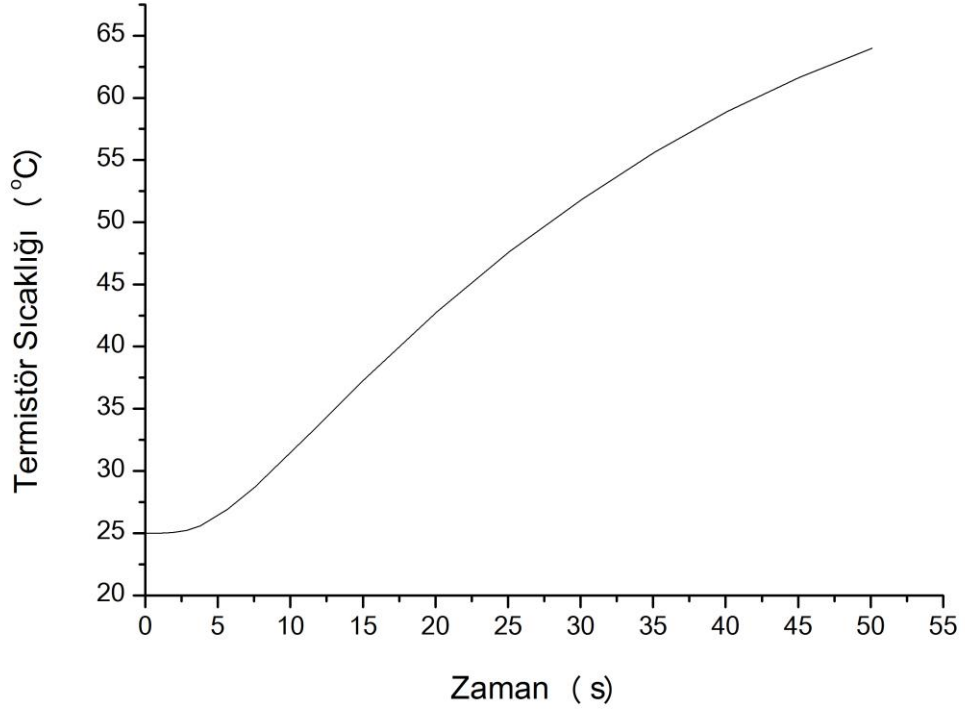
6.1. Sıcaklık Sensörü Isı Transferi Simülasyonu

Projede sıcaklık sensörü olarak kullanılan termistör elemanının, dinamik davranışını incelemek ve de deneysel sonuçları teyid etmek amacıyla termistörün ısı transferi simülasyonu yapılmıştır.

Simülasyonda, sıcaklık sensörünün dış yüzeyine zamana bağlı adım fonksiyonu şeklinde değişen bir sıcaklık uygulanarak, sensörün iç kısmında bulunan NTC termistör elemanının sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Simülasyon sonucunda, termistörün zaman sabiti 16.2 saniye olarak tespit edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerle ve de üreticiden sağlanan verilerle tamamen uyumludur. Şekil 6.1.'de, sıcaklık sensörü içerisindeki sıcaklık gradyenti grafik halinde verilmiştir. Şekil 6.2.'de ise sıcaklık sensörü içerisinde bulunan NTC termistör elemanının, zamana bağlı sıcaklık değişimi gösterilmektedir. Gizlilik protokolleri gereği daha fazla ayrıntıya yer verilmemiştir.



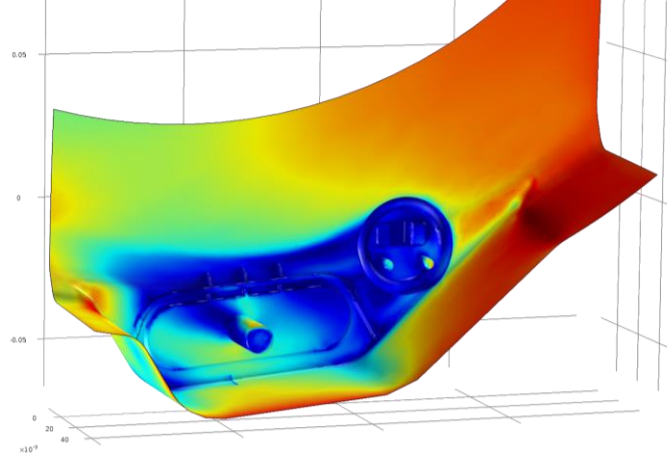
Şekil 6.1. Sıcaklık sensörü ısı transferi simülasyonundan bir örnek. Sıcaklık gradyenti vektörlerinin görünümü. Renklendirme uzaysal sıcaklık değerine göre yapılmıştır. Kırmızı 65 °C, mavi ise 25 °C sıcaklığı temsil etmektedir.



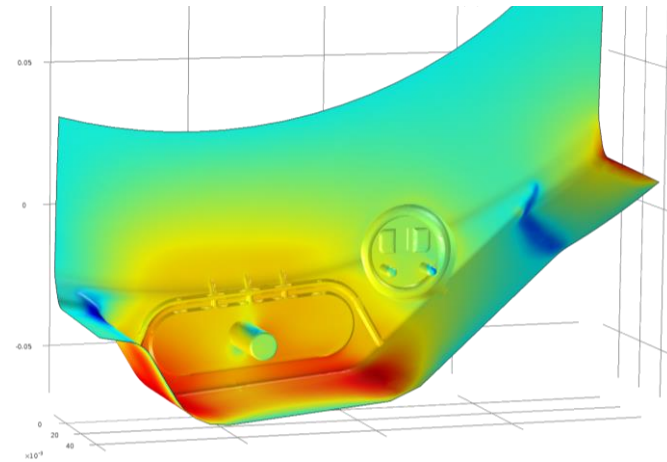
Şekil 6.2. Sıcaklık sensörünün içerisinde bulunan NTC termistör elemanın, sensör yüzey sıcaklığının değişimine verdiği tepki.

6.2. BAS-Kazan Sistemi Akışkan Dinamiği Simülasyonu

Çamaşır makinesi çalışması esnasında, kazan içerisinde oluşan sıvı hareketini çözümlmek için akışkan dinamiği simülasyonları yapılmıştır. Çamaşır makinesinin küçük bir kesit kısmı üzerinde yapılan çalışmada, Şekil 6.3. ve Şekil 6.4. 'te görülen sistemin sol tarafından sıvı yollanarak, kazan ve BAS üzerindeki basınç ve sıvı hızı profilleri elde edilmiştir. Şekil 6.3.'de BAS ve kazan yüzeyi üzerindeki relatif sıvı akış hızı görülmektedir. Renklendirme yüzeyin hemen üstündeki sıvı akış hızına göre yapılmıştır. Şekil 6.4.' te de aynı simülasyon sonucunda elde edilmiş, yüzey üzerindeki sıvı basıncı değerleri verilmiştir. Renklendirme relatif sıvı basıncına göre yapılmıştır. Gizlilik protokolleri gereği daha fazla ayrıntıya yer verilmemiştir.



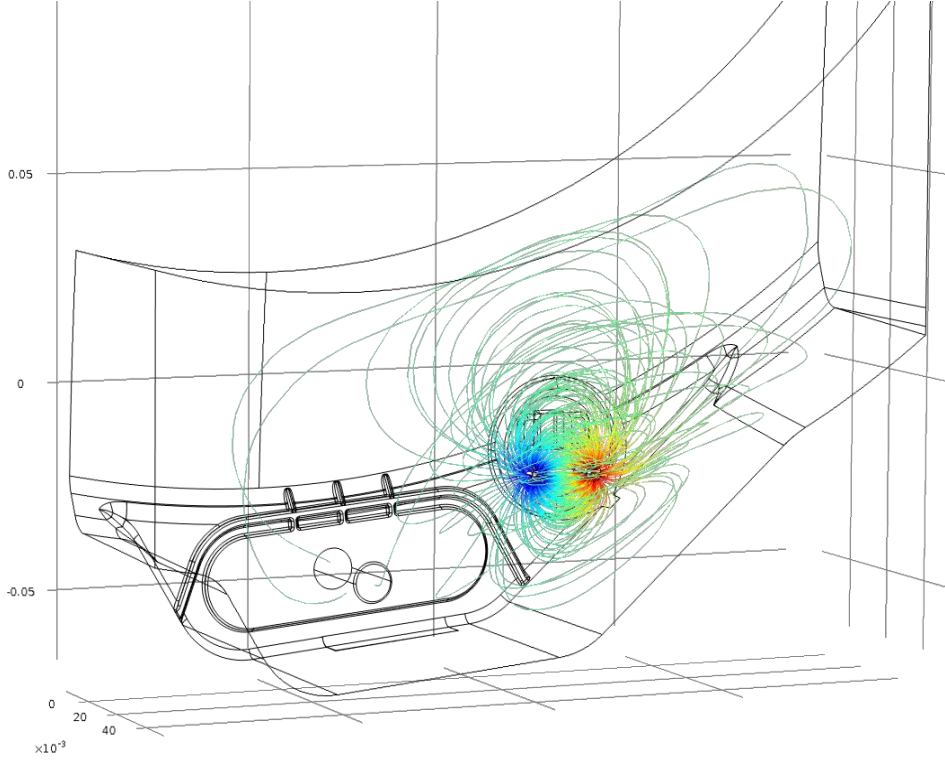
Şekil 6.3. BAS ve kazan yüzeyindeki relatif sıvı hızı değerleri. Kırmızı bölgeler yüksek hız bölgelerini, mavi bölgeler ise düşük hız bölgelerini belirtmektedir.



Şekil 6.4. BAS ve kazan yüzeyindeki relatif sıvı basıncı değerleri. Kırmızı bölgeler yüksek basınç bölgelerini, mavi bölgeler ise düşük basınç bölgelerini göstermektedir.

6.3. İletkenlik Sensörü Elektrodinamik Simülasyonu

İletkenlik sensörü, suya daldırılmış iki elektrottan meydana gelmektedir. Bu elektrotlara uygulanan alternatif gerilim sonucunda, bir elektrottan çıkan elektrik akımı su üzerinden geçerek diğer elektrota gelip devreyi tamamlamaktadır. İletkenlik sensörünün çalışması esnasında, elektrotlar arasında sürekli bir potansiyel farkı oluşmaktadır. Bu potansiyel farkı dolayısıyla oluşan elektrik alanın biçimi ve de oluşan “elektrik akımı vektör alanları”nın biçiminin bilinmesi, sensör tasarlanmasında çok önemli bir parametredir. Şekil 6.5.’te iletkenlik sensörü elektrotlarının birisi 0 V potansiyelde ve diğer elektrodun da sıfırdan farklı bir potansiyel değerinde tutulmasıyla oluşan elektrik alan ve elektrik akımı vektör alanları gösterilmiştir. Renklendirme potansiyel değerine göre yapılmıştır. Gizlilik protokolleri gereği daha fazla ayrıntıya yer verilmemiştir.



Şekil 6.5. İletkenlik sensörü elektrodinamik simülasyonundan bir örnek: elektrik akımı vektör alanlarının görünümü. Renklendirme relatif elektriksel potansiyel değerine göre yapılmıştır. Mavi bölgeler düşük potansiyel, kırmızı bölgeler ise yüksek potansiyel değerini belirtir.

7. SONUÇLAR

01212.STZ.2012-1 nolu SANTEZ projesi kapsamında Arçelik A.Ş. Ç.M.İ. Ar-Ge ortaklığında yürütülmüş olan çalışmalardan oluşan bu yüksek lisans tezinde;

Bulanıklık sensörünün kalibrasyonu amacıyla düzenek tasarlanmış olup, bulanıklık sensörünün kalibrasyon işlemleri NTU standarına uygun bir şekilde formazin çözeltileri kullanılarak yapılmıştır.

Sıcaklık sensörünün ve de iletkenlik sensörünün kalibrasyonu amacıyla, tezde belirtildiği şekilde bir kalibrasyon düzeneği hazırlanmış ve de sıcaklık ve iletkenlik sensörlerinin kalibrasyonu bu düzenek yardımıyla tamamlanmıştır.

Sıcaklık sensörü olarak kullanılan NTC-tipi termistör elemanının, sıcaklık-direnç eğrisi yukarıda bahsedilen kalibrasyon düzeneği kullanılarak elde edilmiştir.

İletkenlik sensörünün kalibrasyonu için farklı iletkenlik değerinde olan deterjanlı su çözeltileri hazırlanarak, iletkenlik sensörünün ölçüm karakteristiklerinin sıcaklığa olan bağımlılığı irdelenmiştir. Elde edilen veriler, iletkenlik sensörünün sıcaklık kompanzasyonu olarak kullanılacaktır.

Basınç sensörü olarak MEMS tipi piezorezistif bir sensör seçilmiş, ve de kalibrasyon işlemleri tamamlanarak mikrodenetleyiciyle birlikte kullanılacak hale getirilmiştir.

Tüm bu dört sensörü ve PIC 18F252 mikrodenetleyiciyi, aynı sensör kartı üzerinde birleştirmek için PCB kartı dizaynı yapılmıştır. Elde edilen çizimler, fiziki devre kartı haline getirilerek test işlemleri yapılmıştır.

PIC 18F252 mikrodenetleyicinin çalışması için gerekli olan yazılım, algoritmik olarak tasarlanarak program kodları haline getirilmiş ve de derlenerek mikrodenetleyiciyle kullanılacak hale getirilmiştir.

BAS-Kazan sisteminin akışkan dinamiği simülasyonu, sonlu elemanlar analizi ile yapılarak BAS sistemi çevresindeki sıvı hareketi çözümlenmiştir. Termistör için, sonlu elemanlar metodu ile ısı transferi simülasyonu yapılarak, termistör zaman sabitinin teyidi yapılmıştır. İletkenlik sensörünün, sonlu elemanlar metodu ile elektrodinamik simülasyonu yapılarak, iletkenlik sensörünün çalışması esnasında kazan içerisinde oluşan “elektrik akımı vektör alanları” tayin edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Thompson, S., *Control Systems: Engineering and Design*, Longman Scientific & Technical, **1989**.
- [2] Fraden, J., *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, Springer Science & Business Media, **2010**.
- [3] White, R. W., *A sensor Classification Scheme. In Microsensors*, IEEE Press, **1991**.
- [4] International Organization for Standardization, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO, **1993**.
- [5] Areny, R. P., Webster, J. G., *Sensors and Signal Conditioning*, Second Edition, Wiley, **2001**.
- [6] Doebelin, E. O., *Measurement Systems: Application and Design*, Fourth Edition, McGraw-Hill, **1990**.
- [7] Aziz, M., Transfer Function and Block Diagrams, http://people.exeter.ac.uk/mmaziz/ecm2105/ecm2105_n3.pdf (Eylül, **2014**).
- [8] Levine, W. S., *The Control Handbook: The Electrical Engineering Handbook Series*, CRC Press, **1996**.
- [9] Panasonic, PS-A Pressure Sensor Datasheet, http://www3.panasonic.biz/ac/e_download/control/sensor/pressure/catalog/bltn_eng_psa.pdf?f_cd=302032, (Ekim, **2014**).
- [10] Gautschi, G., *Piezoelectric Sensorics*, Springer, **2002**.
- [11] Furness Controls, FCO 510 Micromanometer Datasheet, <http://www.furness-controls.com/products/micromanometers/fco510/> (Eylül, **2014**).
- [12] Radiometer Analytical, Conductivity Theory and Practice, <http://www.tau.ac.il/~chemlaba/Files/Theoryconductivity.pdf> (Eylül, **2014**).
- [13] IC Controls, Conductivity Theory and Measurement, <http://www.iccontrols.com/files/4-1.pdf> (Kasım, **2014**).
- [14] Anonim, Fact Sheet 2.33: Turbidity Measurement, http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs2_33.pdf (Ağustos, **2014**).
- [15] Anderson, C. W., Turbidity, http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.7_v2.1.pdf (Eylül, **2014**).
- [16] Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Franson, M. A. H., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, **1995**.
- [17] Shimadzu, Shimadzu UV 1800 Spectrophotometer, <http://www.shimadzu.com/an/spectro/uv/uv1800/uv.html> (Ekim, **2014**).
- [18] Macklen, E. D., *Thermistors*, Electrochemical Publications LTD., **1979**.
- [19] Sasche, H. B., *Semiconducting Temperature Sensors and Their Applications*, John Wiley & Sons, **1975**.
- [20] Steinhart, J. S., Hart, S. R., Calibration Curves for Thermistors, *Deep Sea Research*, 15, 497-503, **1968**.
- [21] Verle, M., *PIC Microcontrollers – Programming in C*, Mikroelektronika, **2009**.

- [22] Ibrahim, D., *PIC Microcontroller Projects in C from USB to RTOS with the PIC18F series*, Elsevier, **2008**.
- [23] Microchip, PIC18FXX2 Datasheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf> (Kasim, **2014**).

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Gökhan BAYRAK
Doğum Yeri : SİNOP
Medeni Hali : Evli
E-posta : gokhanbyrock@gmail.com
Adresi : Şehit Macit Ağca Sok. No:9/8 Küçükesat, Çankaya, ANKARA

Eğitim

Lise : 2000-2003 Sinop Anadolu Lisesi
Lisans : 2005-2010 Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce ÜDS - 74

İş Deneyimi

-

Deneyim Alanları

Sonlu Elemanlar Analizi, PIC Mikrodenetleyici, PCB tasarım, Katı Modelleme

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

01212.STZ.2012-1 nolu SANTEZ projesi. Bütçesi 201.550,00 TL.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu İle Katıldığı Toplantılar

-