



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**MANYETOSTRİKTİF SEVİYE VERİCİSİ**  
**TASARIMI**

**ŞÜKRÜ ÇEVİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**Haziran-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**MANYETOSTRIKTİF SEVİYE VERİCİSİ**  
**TASARIMI**

**ŞÜKRÜ ÇEVİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**Haziran-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

**Şükrü ÇEVİK** tarafından hazırlanan “**Manyetostriktif Seviye Vericisi Tasarımı**” adlı tez çalışması 23/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### **Başkan (Danışman)**

Prof. Dr. Salih GÜNEŞ

.....

#### **Üye**

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

.....

#### **Üye**

Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin DOĞAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

**ŞÜKRÜ ÇEVİK**

Tarih:23.06.2022

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### MANYETOSTRIKTİF SEVİYE VERİCİSİ TASARIMI

ŞÜKRÜ ÇEVİK

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Salih GÜNEŞ

2022, 41 Sayfa

Jüri  
Prof. Dr. Salih GÜNEŞ  
Doç. Dr. Bayram AKDEMİR  
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN

Sanayi ve endüstride sıvı seviye ölçer sınıfına giren teknolojilerden en kararlı ve yüksek çözünürlüğe sahip algılayıcılardan birisi de manyetostriktif sensörler(MsS)'dir. Yüksek kararlılığı, bakım- onarıma çok fazla gerek duymaması ve kurulum maliyetlerinin uygun olması, satın alma maliyetinin de benzer amaçlı alanlardaki farklı sensörlere kıyasla daha az olması sebebiyle manyetostriktif teknolojiye olan ilgi sürekli artmaktadır.

Sensör, medikal ve inşaat gibi alanlarda kullanılsa da özellikle akaryakıt istasyonlarında yeraltı envanter seviye takibi için kullanılmaktadır. Akaryakıt tankı ve saha bölgeleri, patlayıcı ve riskli alanlardır. MsS'ler, bu alanlar için kullanılabilecek en güvenli algılayıcılar olduğundan dolayı akaryakıt sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir.

MSV, manyetik alanın ferromanyetik materyalin boyutunda veya şeklinde değişiklik oluşturmasına dayanan manyetostriksiyon yöntemine göre çalışır. Yöntem kapsamında mıknatısın konumu, dalganın çıkışından geri dönüş anına kadarki süre hesaplanarak tespit edilmektedir.

Bu çalışmada, endüstri için oldukça önem arz eden tankların içindeki akaryakıt seviyesinin, sıcaklığın ve tank dibinde kalan su miktarının eş zamanlı olarak kararlı şekilde ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, zorlu ortam şartlarına karşı dirençli olan, ölçüm ve algılama teknolojilerinin başında gelen manyetostriktif seviye vericisi (MSV) gerçek zamanlı olarak tasarlanmıştır. Ayrıca riskli bölgede çalışan MSV'nin, tehlike durumunu azaltması için komponentlere gönderilen gerilim ve akımın sınırlandırıldığı zener bariyer uygulaması da sisteme entegre edilmiştir.

Tasarım, gerçek zamanlı olarak farklı ortam şartlarında testlere tabi tutulmuştur. Donanımsal ve yazılımsal olarak tamamen özgün tasarımı sensörden elde edilen sonuçlar tatmin edici düzeydedir. Ayrıca sensörün yerli üretimi ve kullanımı, bu alandaki ithalat sorununu büyük ölçüde çözecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Akaryakıt, endüstri, manyetostriksiyon, manyetostriktif sensör(MsS), zener bariyer

## ABSTRACT

## MS THESIS

## MAGNETOSTRICTIVE LEVEL TRANSMITTER DESIGN

ŞÜKRÜ ÇEVİK

Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electric-Electronic Engineering

Advisor: Prof. Dr. Salih GÜNEŞ

2022, 41 Sayfa

Jury

Prof. Dr. Salih GÜNEŞ  
Assoc. Prof. Dr. Bayram AKDEMİR  
Assist. Prof. Dr. Hüseyin DOĞAN

Magnetostrictive sensors (MsS) are one of the most stable and high resolution sensors among the technologies that fall into the liquid level meter class in industry and trade. The interest in magnetostrictive technology is constantly increasing due to its high stability, not requiring much maintenance and low cost of installation, and lower purchasing cost compared to different sensors in similar purpose areas.

Despite the sensor is used in areas such as medical and construction, it is especially used for underground inventory level monitoring at fuel stations. Fuel tank and field areas are explosive and risky areas. MsS's are frequently preferred in the fuel industry as they are the safest sensors to be used for these areas.

MLT works according to the magnetostriction method, which is based on the magnetic field creating a change in the size or shape of the ferromagnetic material. Within the scope of the method, the position of the magnet is determined by calculating the time from the wave's exit to the return moment.

In this study, it is aimed to simultaneously measure the fuel level, temperature and the amount of water remaining at the bottom of the tank, which are very significant for the industry, in a stable manner. In this context, the magnetostrictive level transmitter (MLT), which is resistant to harsh environmental conditions and is one of the leading measurement and sensing technologies, has been designed in real time. In addition, the zener barrier application, which limits the voltage and current sent to the components, has been integrated into the system in order to reduce the danger situation of the MLT working in the risky area.

The design has been tested under different environmental conditions in real time. The results obtained from the completely uniquely designed sensor in terms of hardware and software are at a satisfactory level. In addition to , the domestic production and use of the sensor will largely solve the import problem in this area.

**Keywords:** Fuel oil, industry, magnetostriction, magnetostrictive sensor(MsS), zener barrier

## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, manyetostriktif sıvı seviye algılayıcılarının olası zorlu ortam şartlarında en kararlı şekilde yüksek performanslı olarak çalışmasına yönelik geniş çaplı incelemeler yapılmıştır. Araştırma kapsamında başlangıçta ön taramalar gerçekleştirilerek ilgili alandaki yazarların eserleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Farklı ölçüm yöntemleri araştırılarak en verimli ve gerçek zamanlı uygulamalarda en kararlı sistemler daha detaylı incelenmiştir.

Farklı ölçüm teknikleri ile ilgili testler de yapılarak mevcut sistemin uygulanmasına karar verilmiştir. Uygulamalar sonucunda, tasarlanan manyetostriktif sıvı seviye algılayıcısının zorlu ortam şartlarında en ideal şekilde çalışabildiği gözlemlenmiştir.

Yüksek lisans tez sürecimde, literatür tarama aşamasından tasarım aşamasına kadar teorik ve teknik olarak destek veren, yardımlarına sürekli olarak başvurduğum danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Salih GÜNEŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

ŞÜKRÜ ÇEVİK  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Manyetizma ve Manyetostriktif Çalışma Mantığı.....	5
2.2. Manyetostriktif Sensörlerin Güncel-Deneysel Çalışmaları.....	7
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>10</b>
3.1. Tasarım ve Çalıştırma.....	10
3.2. Sistemin Donanımsal Montajı.....	14
3.3. Yazılım Aşaması.....	23
3.4. Zener Bariyer.....	26
3.4. Gerçek Zamanlı Test.....	28
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>34</b>
4.1 Sonuçlar.....	35
4.2 Öneriler.....	35
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>36</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>38</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>43</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

### Kısaltmalar

MsS	: Manyetostriktif sensör
MSV	: Manyetostriktif seviye vericisi
MDKS	: Manyetostriktif doğrusal konum sensörü
SGO	: Sinyal-gürültü oranı
DA	: Doğru Akım
AA	: Alternatif Akım
PCA	: Programmable counter array (Programlanabilir sayıcı dizisi)
usn	: Mikrosaniye

## 1. GİRİŞ

Günümüzde ölçüm ve algılama teknolojileri endüstride önemli bir yer tutmaktadır. Elde edilmesi istenilen verilere hızlı, az maliyetli, daha az insan enerjisiyle ulaşılması ve de versiyon değişikliği, güncelleme vb. işlemlerin kolay yapılabilmesinden dolayı sıradan yöntemlere kıyasla kayda değer bir üstünlük ortaya çıkarmıştır. Günümüz endüstrisinde yaygın olarak ultrasonik, radar, hidrostatik ve manyetik (manyetostriktif) tiplerinde seviye sensörleri yer aldığını söylemek mümkündür.

Ultrasonik seviye sensörleri, ölçüm sıvısına temas etmeden ölçüm kabının üstüne montajı yapılır. Ultrasonik seviye sensörü ile yakıt yüzeyi arasındaki mesafeyi ölçer. Sensör bir ses dalgası gönderir ve ses dalgasının geri dönüş süresini (Time Of Flight – Uçuş Süresi) hesaplar. Bulunan bu süre ile sesin havadaki hızı (15°C’de ses hızı 340m/sn) kullanarak uçuş mesafesi hesaplanır. Sesin hızı üst boşluktaki gazların karışımına, sıcaklıklarına, atmosfer basıncına bağlıdır. Bu tip sensörleri hedef uygulamamız olan yer altı akaryakıt tanklarında kullanmama sebeplerimizden ilki tank dibindeki su seviyesine de ihtiyacımızın olması, ikincisi ise çevre şartlarına bağlı olarak ses hızının değişimi (sıcaklık, basınç vb.) istenilen yüksek hassasiyet için problem çıkarabileceği, üçüncü olarak ise maliyetlerinin manyetostriktif seviye sensörlerine oranla daha yüksek olmalarıdır.

Hidrostatik seviye vericileri, basınç tipi sıvı seviye göstergesi olarak bilinir. Bu sensörler ise sıvı seviyesini ölçen bir basınç sensörüdür. Ölçüm kabının içine yerleştirilen bir basınç sensörü ile yakıt seviyesi ölçülür. Basınç sensöründen elde edilen basınç bilgisi;

- $P=h \times d$

Burada “P: Basınç”, “h: Sıvı yüksekliği” (basınç sensörü ile sıvı yüzeyi arasındaki mesafe), “d: Sıvı yoğunluğu” şeklindeki formülden hesaplama yapılabilir. Bu çeşit sensörleri hedef uygulamamız olan yer altı akaryakıt tanklarında kullanmama sebeplerimizden birincisi tank dibindeki su seviye bilgisine de ihtiyacımızın olması, ikincisi ise çevre şartlarına bağlı olarak sıvı yoğunluğunun değişimi (sıcaklık, basınç vb.) istenilen yüksek hassasiyet için sorun teşkil edebileceği, üçüncü olarak ise patlayıcı bölge içinde yani yakıtın içinde kullanılma mecburiyetleridir.

Radar seviye sensörler, ultrasonik sensörlere benzemektedir. Çok geniş kullanım alanları olan bu sensörler, radyo dalgası emisyonlarını kullanarak bir radar prensibi ile çalışır. Bir sıvı ile dolu bir tankın üstüne monte edilirler. Verici, sıvıya bir radar sinyali gönderir ve sinyalin bir yansımasını alır. Vericiler daha sonra, iletilen sinyalin geri dönmesi için geçen süreye bağlı olarak tankın mevcut doluluk seviyesini analiz eder. Dalga kılavuzlu ve kılavuzsuz kullanılabilirler. Dalga kılavuzu kullanılan modellerde yakıt haricinde sıvı seviyesi de tespit edilebilir. Bu tip sensörleri hedef uygulamamız olan yer altı akaryakıt tanklarında tercih etmeme sebebimiz çok yüksek maliyetli olmalarıdır.

Diğer sensörlerin aksine manyetostriktif sensörlerin hedef projemiz olan yer altı akaryakıt tanklarında kullanımını aşağıda verilen özellikleri nedeniyle uygun görülmüştür.

- Ölçüm kesinlik düzeyi
- Aynı anda birden fazla ölçüm yapabilme özelliği (Şamandıra adedince ölçüm yapılabilir. Bu sayede hem yakıt hem de yakıt dibindeki su seviyesi ölçülebilir.)
- Herhangi bir temas gerektirmemesi sebebiyle aşınmanın olmaması
- Titreşim, darbe, tozlanma ve kirlenmeye karşı dirençliliği
- Hava geçirmez olarak tasarlanmış gövde
- Uzun çalışma performansı
- Kolay kurulum ve taşıma
- Uzun çalışma ömrü

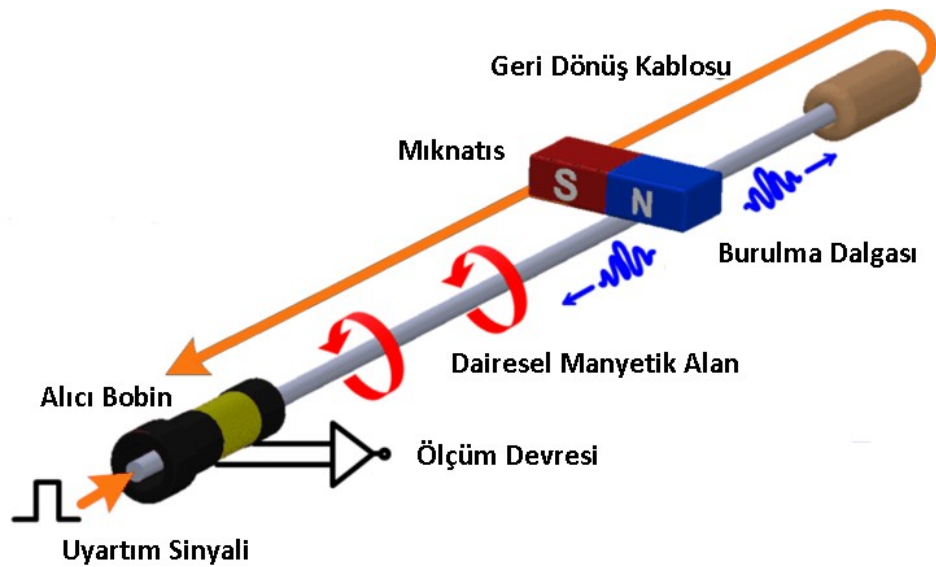
MsS'ler uygulama alanlarına göre farklı tasarımlara sahiptir. Bu tasarımlar ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmiştir. Birkaç yüz metrelik ölçüm mesafesine sahip olan uygulama alanları için konumlandırma sistemi, basınç ölçüm sistemlerinin kullanıldığı döküm ve hadde makineleri, asansör ve kaldırma teknolojileri, en zorlu ortam şartlarında çalışması gereken sensörler, aşırı zorlu ortamlarda emniyet amaçlı olarak yedekli manyetostriktif konum sensörleri, petrol ve gaz endüstrileri gibi patlayıcı alanlarda kullanılması gereken yüksek güvenilirliğe sahip basınç kapsüllü konum sensörleri ve de hijyenik bölgeler için özel üretilen manyetostriktif doğrusal konum sensörleri (MDKS) bulunmaktadır. Sensörün endüstrideki çeşitliliği ve uygulama alanlarına bakıldığında sistem gerekliliğinin oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Endüstri ve sanayi için bu kadar ehemmiyetli bir konuma sahip olan MsS'lerin patlayıcı alanlarda kullanılmak üzere daha kararlı ve daha güvenli bir tasarıma ihtiyaç

olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda kullanılacak alanlara göre belirli değişiklikler ile adapte edilebilen, yüksek güvenilirlikli, ar-ge araştırmaları sonucunda karar verilen zorlu ortam şartlarına dayanıklı elektronik bileşenlerden oluşan donanımsal kartların ve olağandışı haller göz önünde bulundurularak oluşturulan yazılımsal algoritmaların da yer aldığı birbiri ile uyumlu tümleşik bir sistemin tasarlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç kapsamında öncelikle sensör çalışma mantığı kavranarak kullanımı detaylı olarak incelenmiştir. Sonrasında adım adım sensör gerekliliklerini karşılayacak özgün elektronik komponent seçimleri ve kart tasarımları ile yeni bir donanım tasarlanmıştır. Tasarlanan donanımı kontrol edebilecek, veri alışverişini sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilecek olan yine tamamen özgün yazılımsal kodlama ile sistem hazır hale gelmiştir. Sistemin donanımsal ve yazılımsal olarak özgün bir yapıya sahip olması ve gerçek zamanlı olarak sahada uygulanıyor olması benzeri çalışmalardan farklılığını, en önemlisi de uygulanabilirliğini göstermektedir. Buna ek olarak tasarlanan sistem, bulunulan ortamın sıcaklığını, akaryakıt seviyesini ve tank dibinde kalan su miktarı ölçümlerini eş zamanlı olarak kararlı şekilde gerçekleştirebilmektedir.

Ayrıca yöntem olarak kullanılan manyetostriksiyon prensibi; demir, nikel, kobalt gibi ferromanyetik malzemelerin kendine has özelliklerinden meydana gelmektedir. Bu malzemeler bir manyetik alana maruz bırakıldıklarında boyutlarında ve/veya şekillerinde değişiklikler meydana gelir. Bu fiziksel değişikliğin elektromanyetik dalgalar aracılığıyla algılanması sayesinde konum, kesin bir şekilde tespit edilebilmektedir.



Şekil 1. MSV'nin yapısı

Başka bir deyişle, bir mıknatısın ferromanyetik özellikli herhangi bir materyale yaklaşması sonucunda materyalden geçen enerji, bu mıknatıssal alan ile karşı karşıya kaldığında geldiği yöne geri yansımaktadır. Geri yansıyan dalganın çıktığı noktaya tekrar varıncaya kadarki geçen süreden yararlanılarak konum ölçümü kararlı bir şekilde yapılabilmektedir. Çalışma mantığı ile ilgili açıklayıcı görsel Şekil 1’de verilmiştir.

Diğer yandan, tehlikeli bölgede bulunan komponentler ve cihazlara gönderilen gerilim-akım miktarını sınırlamak amaçlı dirençler ve zener diyotların birleşimini kullanarak çalışan zener bariyer uygulaması sayesinde risk durumları asgari düzeye indirilmiştir. Sisteme özel ve özgün şekilde tasarlanan zener bariyerin, gerekli olan hesaplamaları da uygun şekilde yapılmıştır.

Tez çalışmasının kaynak araştırması bölümünde, ilgili alanda çalışmalar yapan yazarların eserleri incelenecektir. Sonraki bölümlerde ise tasarlanan vericide kullanılan materyallerin tanıtımı, tasarım aşamaları ve yöntemin nerelerde, nasıl kullanıldığı daha detaylı olarak bahsedilecektir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, dikkat edilmesi gereken noktalar verilecektir. Son olarak da tezin ana katkısı, değerlendirilmesi yapılacaktır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Manyetizma ve Manyetostriktif Çalışma Mantığı

Yankı sesleri, deniz radarları ve balık bulucuları manyetostriksiyon transdüserlerini kullanmaktadır. Katı-sıvı yüzeylerden yansıyan sesler bu aygıtlardan sinyal alınmasını sağlar. İletilen ve alınan titreşimler arasındaki geçen süre kullanılarak hedefteki cismin uzaklığı tespit edilmektedir. Materyallerin dinamik manyetostriktif özellikleri ve onların uygulama alanlarının tanıtıldığı Kikuchi'de (1968) manyetostriksiyon temelli titreşimlerin, ses dalgalarını almak ve üretmek için elektroakustik dönüştürücüler gibi ultrasonik uygulamaların çeşitli evrelerinde kullanıldığı bahsedilmektedir. 1970'li yıllara kadar üretilen transdüserler için farklı alaşımların (alüminyum-demir, nikel-bakır, demir-nikel vb.) verimlilik denemeleri yapılmıştır.

Manyetometre alanındaki güncel gelişmeleri ve yöntemleri ele alan Foner (1981), 1960'lı yılların ortalarından 1981'e kadar yeni bir prensip keşfedilmediğini fakat birçok gücün değişimi, manyetik indüksiyon ve doğrudan olmayan tekniklerin farklı uygulama alanlarına uyarlandığını belirtmiştir. Manyetik özelliklerin hâlen mıknatıslanmış bir numune üzerindeki gücü belirleyerek ölçüldüğünü aktarırken, diğer yandan da son yirmi yıldaki yeni gelişmelerin ağırlıklı olarak süper iletken mıknatıslar ve sensörleri kapsadığını aktarmaktadır. Ayrıca düşük manyetik alan ölçümlerinin uzayın keşfi, jeofiziksel aramalar, yer bilimi, paleomanyetizma (ilkel mıknatıslanma) ve biyomanyetizma alanlarındaki gelişmelerden dolayı hızlı bir şekilde arttığını belirtmektedir (Foner, 1981).

Bunlara ek olarak bir manyetik alan sensörü olan Terfenol-D (Terbiyum-disprozyum demir içeren yüksek manyetostriktif alaşım) tabanlı manyetometre kullanılarak 15miligauss kadar düşük hassasiyetlerdeki düşük frekanslı manyetik alanları tespit etmek için kullanılabilmesinin doğrulandığı bir çalışma gerçekleştirildi. Spektral ve frekans kestiriminin farklı yöntemleri de yine bu çalışmada tanıtıldı (Doherty ve ark., 1994).

Diğer yandan ise inşaat demirleri ve öngerme tellerindeki aşınma-yıpranmanın belirlenmesi için MsS teknolojisi ve zaman-frekans analizi kullanılarak sistemin uygulanabilirliği Bartels ve arkadaşları tarafından gerçek zamanlı olarak uygulanmakta olan bir proje kapsamında incelendi. Araştırmalar neticesinde hem inşaat demiri hem de

tellerde dalga sönümlenmesinin artırılmış aşınma derecesi ile birlikte arttığı gözlemlendi. Baskılama/sönümlenme, şiddetlice aşınmış teller için frekans ile birlikte daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Gerçekleştirilen uygulamalar sayesinde aşınmış ve aşınmamış tellerdeki dalga sönümlenme ölçümleri, birçok yıkıcı olmayan test uygulamaları için değerli bilgiler vermiştir. Projede kullanılan sönümlendirme verisinin uygulanacağı bazı alanlar; beton yapıları, anayol kabloları, askı köprüleri, denizcilikteki bağlama halatları, asansörler, vinçler ve özellikle de çelik ve benzeri malzemelerdeki aşınmanın şiddetini/büyükliğini tespit etmek amaçlı yürütülen uygulamalar olarak sayılabilir (Bartels ve ark., 1996).

Manyetostriktif sensörü(MsS) ferromanyetik materyallerde zamanla değişen vurgulama ve baskıyı algılayabilen ve üretebilen transdüserlerin bir çeşidi olarak tanımlayan Kwun ve Barterls (1998), MsS'nin genişleyen uygulama alanları hakkında bilgi vermektedir. Farklı şekillerdeki ve uzun mesafeli boruların denetlenmesi, materyallerde kılavuzlu dalganın yayılıma özelliğini kullanan uygulamalar, makine ve yapıların pasif durumda iken gözlemlenmesi (yanmalı motorlar), araçlarda çarpma ve kaza durumlarında ortaya çıkan mekaniksel etkiyi algılayabilen hava yastığı gibi güvenlik sistemleri MsS'nin sıklıkla tercih edildiği alanlardır (Kwun ve Bartels, 1998).

Buna ek olarak manyetostriktif konum sensöründe histerisiz kompanzasyonu yöntemini kullanarak verimli sonuçlar elde eden araştırmacılar Seco ve ark. (2004), dalga kılavuzundaki ultrasonik sinyallerin iletimine dayanan yeni bir doğrusal konum sensörü geliştirmiştir. İletici ögesinin yapı olarak metal seçilmesinde, manyetostriktif etkinin sadece ferromanyetik metallerde meydana gelmesinde büyük bir etken olduğu ve seçilen malzemeler, kullanılan yöntemler sayesinde konum tespitindeki hatalarda azalmalar olduğu belirtilmektedir.

Benzer şekilde ferromanyetik tabakada dalga kılavuzunu algılamak ve üretmek için MsS'nin tanıtıldığı çalışmada Kwun ve Kim (2005), sensörün kanal şekilli çekirdek ve onun uzunluğu boyunca çekirdek etrafına sarılı bobinlerden oluştuğu bilgilerini de içeren sensör tasarımı ve deney ayarlamaları verilmiştir. Çalışma genelinde, kılavuzlu dalgaların uzun mesafelere yayılabilmesi ve kullanıldığı araçların tüm kesitini aydınlatılabilmesinden dolayı özellikle erişilmesi zor alanların(yalıtım altında veya çok yüksekte) uzaktan denetlenmesini kolaylaştırması sebebiyle oldukça önemli olduğuna dikkat çekilmektedir.

Diğer yandan, manyetostriktif etki ve manyetostriktif gecikme hattı tekniğine dayanan yeni konum sensörlerinin mühendislik sistemlerindeki uygulama alanlarına

göre manyetostriktif materyal seçimlerinin nasıl belirlendiği, nerelerde kullanıldığı, hangi sınıflara ayrıldığına belirtildiği Hristoforou ve Ktena (2007) çalışması, ilgili alandaki aydınlatıcı çalışmalardandır.

Manyetizma-manyetostriksiyon çalışma mantıkları ve sensör teknolojisinin eriştiği noktaların ele alındığı manyetostriksiyon prensibine dayanarak çalışan sensör çeşitleri Calkins ve ark. (2007)'de ele alınmıştır.

## 2.2. Manyetostriktif Sensörlerin Güncel-Deneysel Çalışmaları

Manyetostriktif temelli çalışmalar üzerine tasarıma dayalı deneysel birçok araştırma ve proje gerçekleştirilmiştir. MsS'ler üzerine odaklanan çalışmalarda doğrusal konumun uzun mesafelerdeki yüksek hassasiyetli ölçümünü yapmak için dalga kılavuzundaki ultrasonik sinyallerin iletimi kullanılmaktadır.

Bu kapsamda, MsS'nin uzun katı bir silindir içerisindeki performansını manyetostriksiyon yöntemini kullanarak daha ideal hâle getirmek için deneysel uygulamaların yapıldığı özel bir düzenek sayesinde karşılaştırmalı bir sistem tanıtılmıştır (Cho ve ark., 2003). Çalışmada, tasarımdaki problemleri iyileştirecek bir formülasyon topolojisi geliştirildiği ve mıknatıslı boyunduruk(magnet-yoke) konfigürasyonunun sisteme entegre edildiği belirtilmektedir.

Diğer taraftan ise havacılık ile ilgili uygulamalardaki yüksek doğruluklu yakıt tanklarının ölçümünü sağlamak amaçlı manyetostriktif teorisine dayanan, hava araçlarının düzensiz yapısı ve kötücül uçuş şartlarına(ani yükseliş ve dalış) karşı dirençli olarak tasarlanan, sistemin kalibrasyonu ve testlerini de içeren bir çalışma sunulmuştur. Manyetostriktif materyallerdeki dalga yayılım hızı, dalga kılavuzundaki esneklik katsayısı ve yoğunlukları, sistem araçları arasındaki mesafeler için kullanılan formüllerin de aktarıldığı çalışmadan elde edilen veriler sadece havacılık alanında değil, aynı zamanda diğer yüksek kesinlik gerektiren sıvı seviye ölçüm alanlarında da etkili olabilecektir (Yuan ve ark., 2006).

Daha kararlı ölçüm sonuçları elde etmek amacıyla ultrasonik dalgaların üretim, iletim ve alım işlemlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanan doğrusal konum sensörünün deneysel çalışması Seco ve ark., (2009)'da verilmiştir. Çalışmada, ultrasonik sinyallerin MsS etkisi tarafından temas olmaksızın dalga kılavuzunda üretildiğini ve optiksel sensörlere kıyasla MsS'lerin mutlak konum ölçümü gerçekleştirebildiği fakat MsS'lerin doğrusal olmayan yapılarından dolayı sıvı seviye ölçümü gibi az talep edilen



hassaslıklardaki uygulamalarla kullanımları sınırlı kalmakta olduğu belirtilmektedir. Rezonans altındaki frekanslarda yayılan ve elde edilen dalga şekilleri arasındaki ilişkinin daha yüksek olduğu tespit edilmesi gibi kararlılığı etkileyen birçok veriye ulaşılmıştır. Yayılma frekansı ve bant genişliği seçiminden kullanılacak mekaniksel parçaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesine kadar yapılan deneyler sonucunda elde edilen sayısal veriler paylaşılmıştır (Seco ve ark, 2009).

Manyetostriktif doğrusal konum sensörleri(MDKS), endüstriyel alanlarda kullanılan yüksek hassasiyetli sensörlerdir. Son zamanlara kadar MDKS yapısı, onların kararlılığı, güvenilirliği, temassız uygulamalardaki maliyet verimliliği, çoklu ölçümler alabilmesi gibi özelliklerinden dolayı dikkatleri üzerine çekti. Fakat sensörün geleneksel yapısı kararlılığını etkileyen elektromanyetik müdahalelerden(parazitlerden) kolay etkilenebilmektedir. Bu etkilenme durumlarını asgari düzeye indirebilmek için de çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Bu doğrultuda, MDKS yapısını geliştirme amaçlı olarak sensör kararlılığını ve sinyal-gürültü oranını(SGO) iyileştirebilen diferansiyel dalga kılavuzu sistemi tasarlanmıştır. Önerilen MDKS yapısını farklı kılan iki dalga kılavuzu(bir pozitif ve bir negatif) ve iki adet alıcı bobin sargısının varlığıdır. Deney kapsamında tek modlu dalga kılavuzundan elde edilen giriş sinyalinin osiloskop dalga formu ile diferansiyel dalga kılavuzu yapısı karşılaştırılmaktadır. Diferansiyel dalga kılavuzu yapısına sahip sinyalin genliğinin, tek modlu dalga kılavuzunda bulunan sinyal genliğinin yaklaşık iki katı olduğu gösterilmektedir. Sonuçta da diferansiyel dalga kılavuzu yapısının düşük amplifikasyon oranı ile ideal bir giriş sinyali elde edilebileceği ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden, önerilen yeni yapı SGO'yu iyileştirip dış gürültülerden etkilenme seviyesini azaltabilir. Ayrıca tasarlanan diferansiyel yapı daha iyi bir simetri ile üretilebilirse daha yüksek verimlilikler elde edilebilir (Zhang ve ark., 2011).

Büyük kapasiteli su tanklarındaki ararimlerini ayırt etmek amaçlı manyetostriktif materyalleri kullanarak gerçekleştirilen çalışmada Yoo ve ark. (2019), frekans cevap testi, suya daldırma testi ve sıcaklık testleri uygulanarak başarılı sonuçların alındığı su seviye sensörü tasarlanmıştır.

Ayrıca asansörlerde kullanılan geleneksel çekiş teknolojisi ile sadece manuel olarak kablo veya lastik yüzeyindeki bozulmaları algılayabilir fakat içsel bozulmaları algılayamamaktadır. MDKS ise çelik halattaki içsel bozulmaları algılayabildiği deneysel uygulama ile tanıtılmıştır (Gao ve ark., 2019). Aynı zamanda MsS'nin, bu bozuklukları konumlandırabildiği ve ölçülendirebildiği de belirtilmektedir.

Diğer yandan, burulumsal dalgaları kullanarak küçük çaplı borulardaki temassız algılamaya izin vermek için karo-şekilli bir mıknatıs ile manyetostriktif burulumsal dalga sensörünün tasarlandığı çalışmada Gao ve ark. (2021), statik manyetik alan ile kılavuzlu dalga üretimi ve borunun manyetik yoğunluğu ile daimi mıknatısın dış çapı arasındaki ilişkiler deneysel verilerden yararlanarak sunulmuştur. Sensörün, simetrik olmayan yapılı boru bozulmalarını algılayabildiği gibi kılavuzlu dalga genliği ve uçuş süresine bağlı olarak her bir bozulmanın konumunu ve boyutunu da algılayabildiği belirtilmektedir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarlanan tank seviye sensör sistemi, dolun istasyonlarında sürekli olarak dolun seviyesini ölçmek için doğrudan uygulanabilmektedir. Ürün sıcaklığı ve tank dibinde kalan su seviyesi de eş zamanlı olarak ölçülmektedir. Bu özelliklerin gerçekleştirilebilmesi için donanımsal olarak özgün elektronik kart tasarımı, kullanılacak alan şartlarına dayanıklı komponent seçimi yapılmıştır. Donanımsal anlamda manyetostriksiyon yönteminden yararlanılarak materyallerden cevap alınmıştır. Yazılımsal olarak ise algoritma ve kodlama çalışmaları için C dili kullanılmıştır.

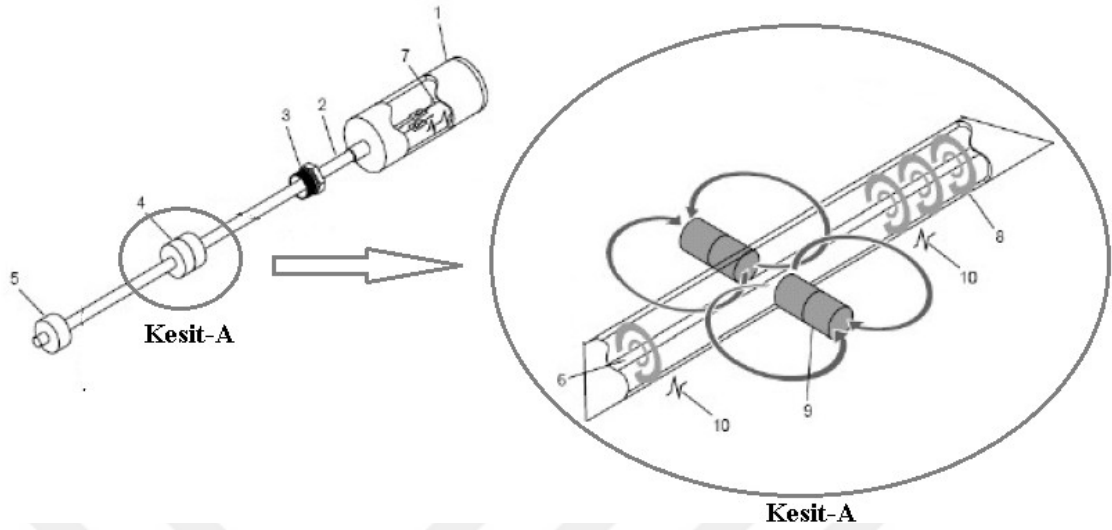
#### 3.1. Tasarım ve Çalıştırma

Dayanıklı MSV sistemi, harici dişli vidalama kısmı yardımıyla herhangi bir zorluk olmaksızın kurulum yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Buna ek olarak, vidalama bölgesi yüksekliğinin serbestçe ayarlanabilir olmasından dolayı kurulum bölgelerine ideal adaptasyonu sağlayabilmektedir. Problar, patlayıcı ortamın ortaya çıkma ihtimalinin sürekli olduğu “bölge-0” olarak bilinen en riskli alanlarda kullanılabilir.

Şekil 3.1.’de ana bileşenleri verilen MSV sistemi; ana gövde(1) ve vidalama birimini(3) kullanarak yüksekliği duruma göre ayarlanabilecek şekilde tank içine kurulabilen alüminyum çelik prob borudan(2) meydana gelir. Ürün doluluk seviyesini ölçmek için bir şamandıra(4) ve bu prob boru üzerindeki sürekli devim hâlindeki su hareketini algılamak için ek bir şamandıra(5) bulunmaktadır.

MSV, manyetostriktif ölçüm prensibine göre çalıştığından dolayı, prob borusu manyetostriktif özellikli materyallerden yapılmış bir kablo(6) içerir. Sensör, dairesel bir manyetik alan(8) üreten bir kablo aracılığıyla sinyalleri iletir. Daimi mıknatıslar(9), dolun seviye sensörü olarak kullanılır ve hem ürün şamandırasında(4) hem de su şamandırasında(5) kurulurlar. Şamandıra mıknatısının manyetik alanı, bu alandaki kabloyu aksenal olarak mıknatıslandırır. İki manyetik alanın örtüşmesinden/üst üste binmesinden dolayı, şamandıra konumundan kablo aracılığıyla her iki yönde akan bir burulma darbesi(10) şamandıra mıknatısları bölgesinde üretilir. Bir burulma darbesi/sinyali doğrudan prob başına doğru akar ve diğeri, prob borusunun alt ucunda yansıtılır. Prob başından iletilen akım sinyali ve prob başına gelen iki burulma sinyali

arasındaki süre ölçülür ve şamandıra konumu hesaplanır. Su şamandırasının konumu ikincil sinyali ölçerek hesaplanır.



Şekil 3.1. MSV'nin ana bileşenleri

MSV sensörü, çizelge 3.1.'de verilen elektriksel değerlere sahip olmalıdır.

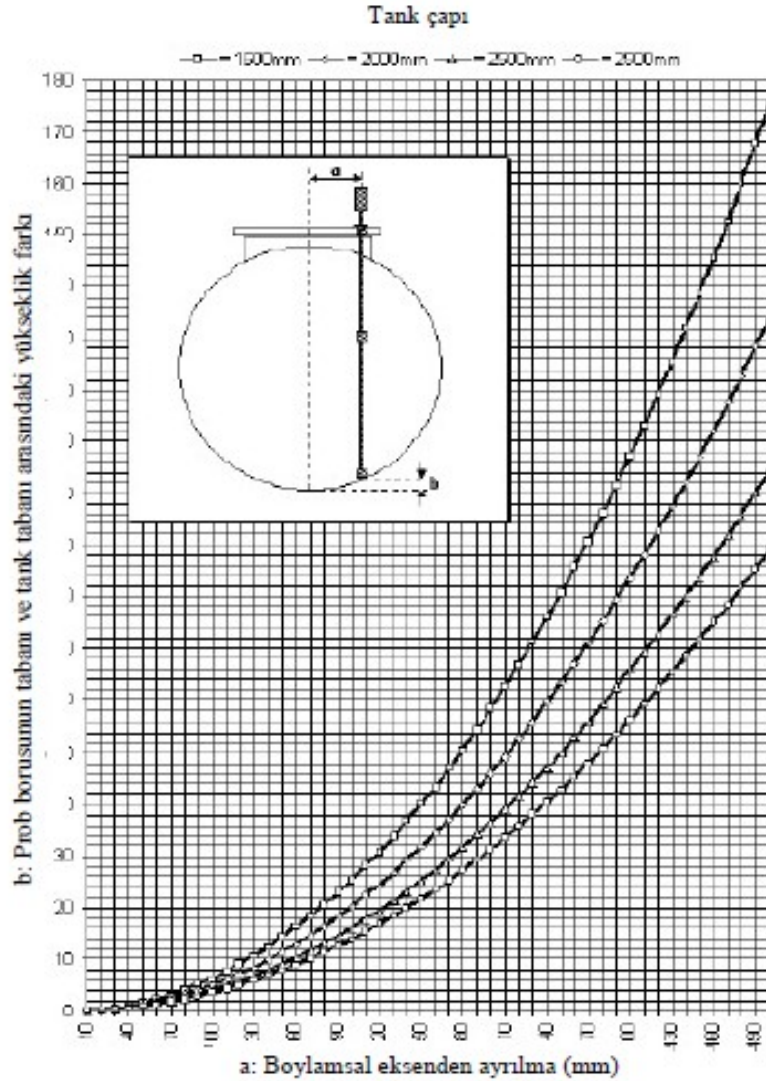
Çizelge 3.1. MSV için elektriksel parametreler

	Minimum	Tipiksel	Maksimum
Kaynak Gerilimi	-	12V	-
Kaynak Akımı	20mA	25mA	50mA
Kaynak Gücü	240mW	300mW	600mW
Haberleşme Voltajı	4.5V	5V	5.5V
Haberleşme Akımı	-	8mA	-

Elektriksel gerekliliklerin yanı sıra mekaniksel olarak da uygulanması gerekenler vardır. Her şeyden önce, tankın içindeki MSV sensörü mümkün olduğu kadar tankın orta kısmına merkezi şekilde konumlandırılmalıdır. Bu konumlandırma uygun şekilde yapılamazsa veya farklı bölgelere yapılırsa, taşıma süreci kapsamında gerçekleşecek olan hızlanma ve yavaşlama zamanlarında elde edilen veriler kararlılık bakımından çok sağlıklı olmayacaktır. Kullanıcı açısından düşünüldüğünde böylesi kararsızlıklar asla istenmeyen durumlardır.

Diğer yandan tank dibi ve prob borusunun ucu arasındaki yükseklik farkı gibi ayarlamalar yaparken konfigürasyon programı takip edilmelidir. Şekil 3.2.'de DIN

6608, 6616, 6617 ve 6624 silindirik tankların çeşitli tank çapları için yükseklik farkı gösterilmektedir.



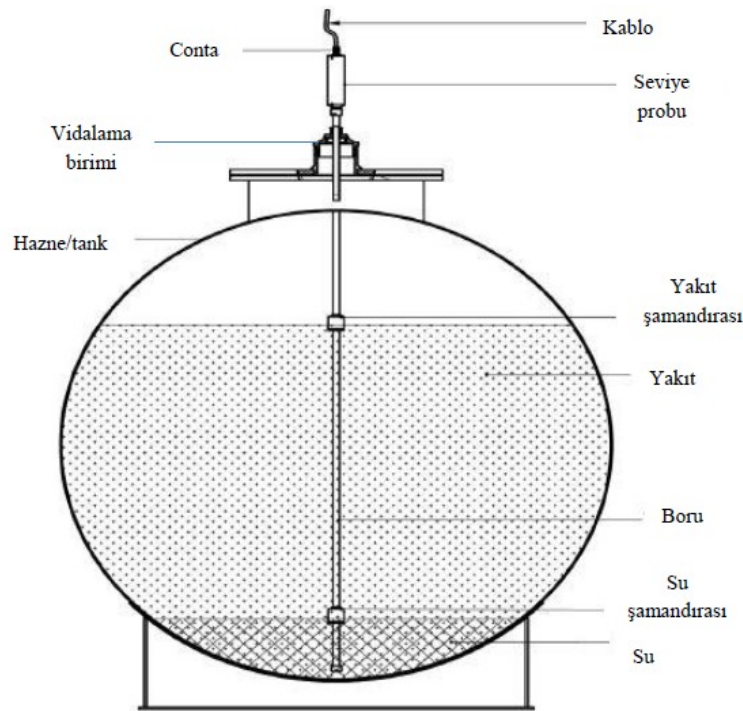
Şekil 3.2. Sensör ölçümü için kurulum ayarı

Şekil 3.2.'de probun boylamsal eksenden ayrılması gereken uzunluk miktarına(a) karşılık gelecek olan prob borusunun alt ucu ile tank dibi arasındaki yükseklik farkı(b) değerleri kurulum ayarını sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmek amaçlı verilmiştir. “a” ve “b” değerlerinin birbirine uyumlu olarak seçilmesi, farklı boyutlardaki tanklara uyum sağlaması açısından önemlidir. Aksi takdirde istenilen verim alınamaz.

Tank borusu bağlantısı sırasında, prob borusunun eğimli olmadığından emin olmak önemlidir. Eğer kurulum için sağlanan tank borusu, en az 1-1/2(1<sup>1/2</sup>) inç için

içsel bir tele sahipse, prob kurulumunda aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır. 1-1/2'den daha büyük olan içsel teller için, ilgili boyutlara uygun parçalar kullanılmalıdır.

- Şamandıra tankın içine düşmesin diye probun sonundaki yaylı segmanın güvenli bir şekilde konumlandırıldığına kontrol edilmesi gerekir.
- Ölçümler uygulanabilsin diye şamandıra, prob borusunun üzerinde itilmelidir.
- Vidalama birimi, prob borusundan kolayca hareket ettirilebilsin diye vidayı kilitlemek veya conta kasasını gevşetmek için altıgen bir soket anahtarı kullanılmalıdır.
- Uygun contalama materyalleri ile vidalama birimi temin edilmeli ve sonra ölçüm sensörü ile birlikte tank teli, tank içerisine vidalanmalıdır.
- Topraklama bağlanmalı ve harici topraklama terminali ile birlikte kablolar eşpotansiyel olarak birleştirilmelidir.
- Tank dibi üzerine prob borusunu kibarca bastırarak montajı tamamlanmalı ve sonra 5-10mm yukarı çekilmelidir. Bu konum vidayı kilitleyerek ve conta kasasını aşağıya sıkıştırarak sürdürülmelidir. Eğer prob borusu hafifçe tekrar yukarı doğru çekilmezse, conta kasası aşağı sıkıştırıldığı zaman eğilme/bükülme oluşabilir. Şekil 3.3.'te vidalama durumundaki görüntü verilmiştir.

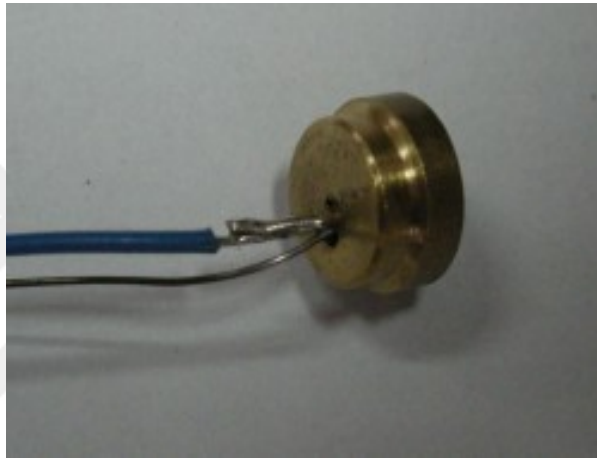


Şekil 3.3. MSV sensörün vidalanması

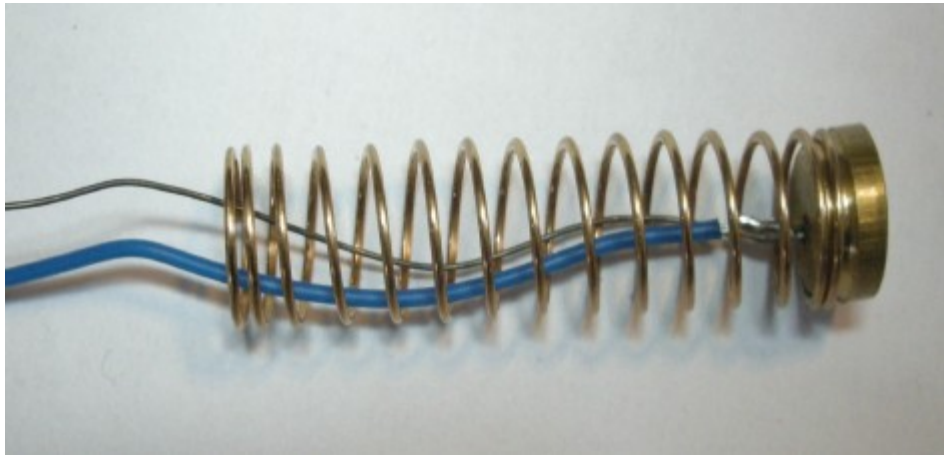
### 3.2. Sistemin Donanımsal Montajı

Vericinin montaj aşamasında kullanılan malzemeler ve yapılan işlemler sırasıyla bu bölümde aktarılacaktır.

Şekil 3.4.'te manyetostriktif kablo ve geri dönüş kablosu(mavi kablo), küçük sarı bir metale lehimlenir. Bu bağlantı boru probunun dibinde bulunmaktadır. Ayrıca bahsedilen manyetostriktif kablo, yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda üst düzey oksidasyon direncine sahip olması ve Nikel-Demir-Krom alaşımından oluşturulduğundan dolayı tasarım sürecinde tercih edilmiştir.



Şekil 3.4. Kablo-metal arası lehimleme işlemi



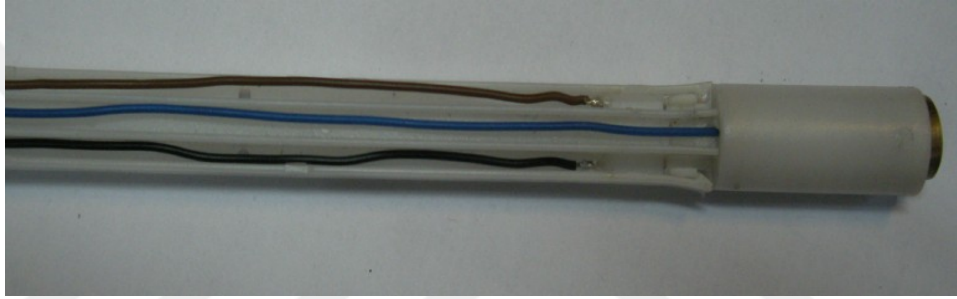
Şekil 3.5. Yay yerleşimi

Şekil 3.5.'de lehimlenmiş kablolu metal üzerine bir yay yerleşim aşaması görülmektedir.



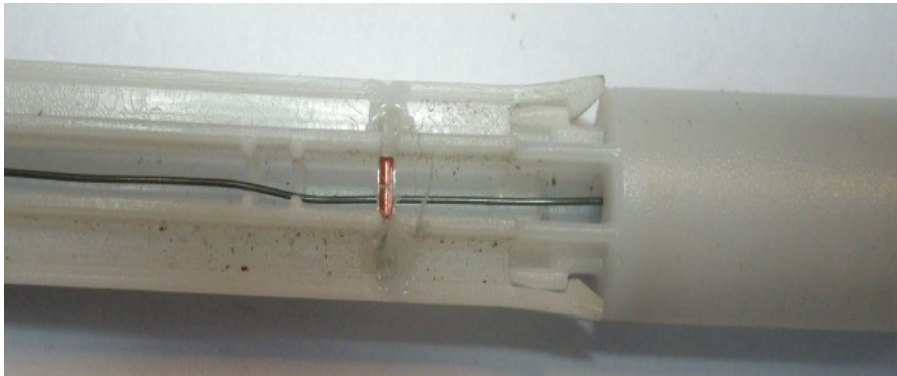
**Şekil 3.6.** Plastik aparatın içine geçirilmesi

Şekil 3.6.'da ise oluşan aparat, boru plastiği içine tamamen geçirilmektedir.



**Şekil 3.7.** NTC sensörünün kablo yerleşimi

Şekil 3.7.'de verilen siyah kablo, tüm NTC sensörlerinin ortak kablosu iken kahverengi kablo, ilk sıradaki NTC sensörüne ait olan kablodur.

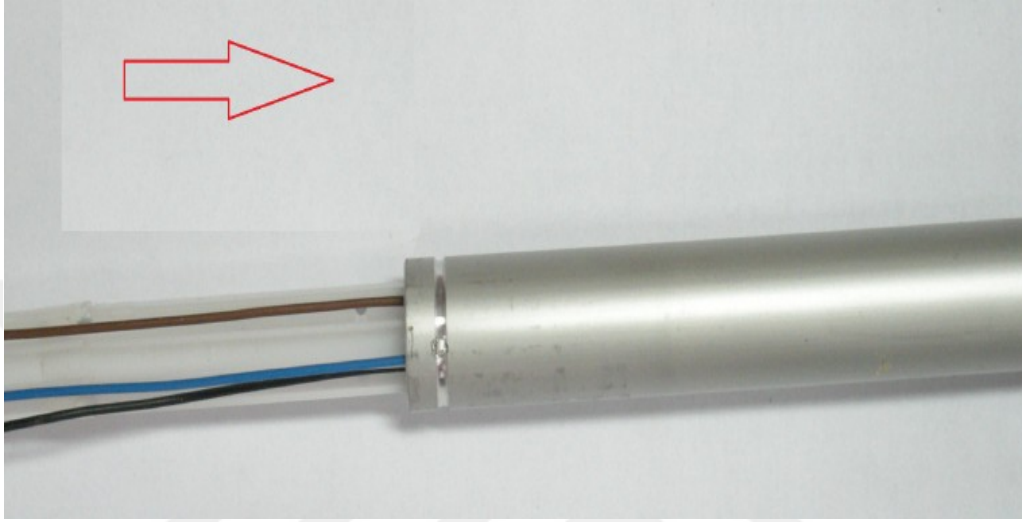


**Şekil 3.8.** NTC sensörünün montajı

NTC sensörünün iletim hattı üzerindeki yerleşim görüntüsü Şekil 3.8.'de verilmiştir. NTC sıcaklık sensörleri, sensör borusuna birden fazla montaj yapılabilir.

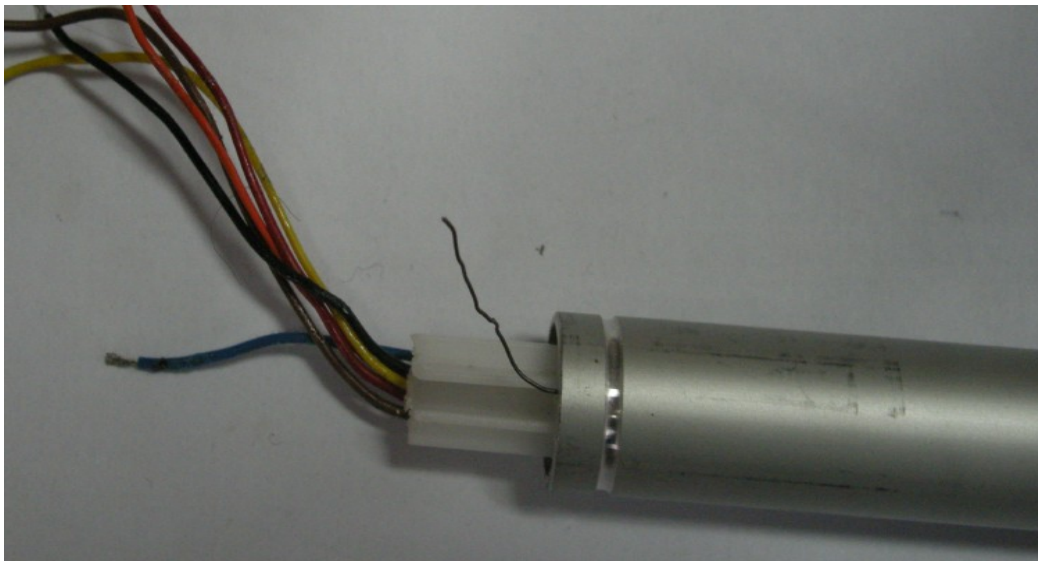


Çalışmadaki MSV’de en fazla 5 adet NTC montajı yapılabilir. NTC sensör sayısının fazla olmasının sebebi tankın dolu kısmındaki sıvı sıcaklığının tespiti yapabilmek içindir. Tankı boş kısmı kışın yakıt ısısından çok daha soğuk, yaz mevsiminde ise çok daha sıcak olabilir. Yakıt sıcaklığı, hacmi çok büyük (>100Ton) olan tanklarda genişmeden kaynaklı hacim değişimlerinin hesabında önem arz etmektedir.



Şekil 3.9. Plastik-boru birleşimi

Kabloları lehimlenmiş, boru plastiğine geçirilmiş, sensörleri takılmış aparatı ok yönünde kablolara zarar vermeden boruya yerleştirilmesi gerekmektedir. İlgili görsel Şekil 3.9.’da verilmiştir.



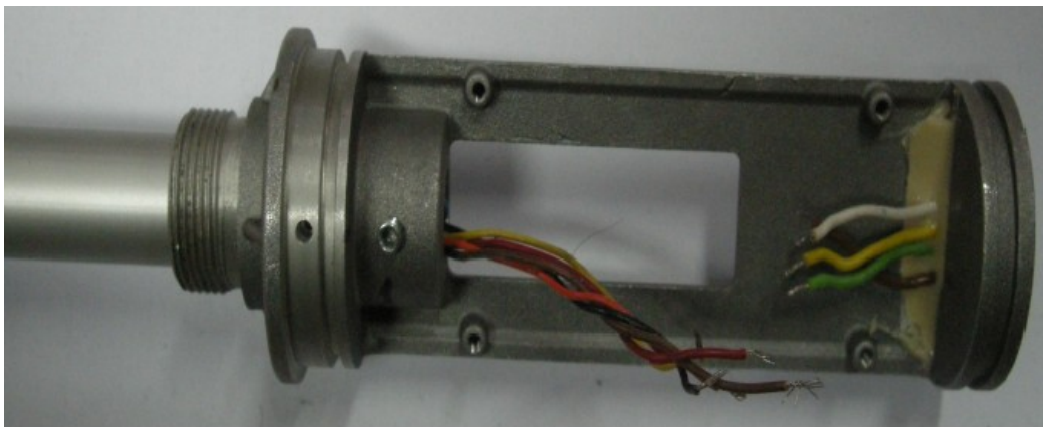
Şekil 3.10. Boruya kablo girişi

Şekil 3.10.'da da görüldüğü üzere boru plastiği boruya girerken diğer sensör kabloları ve manyetostriktif kablolar da boru içerisine yerleştirilir.



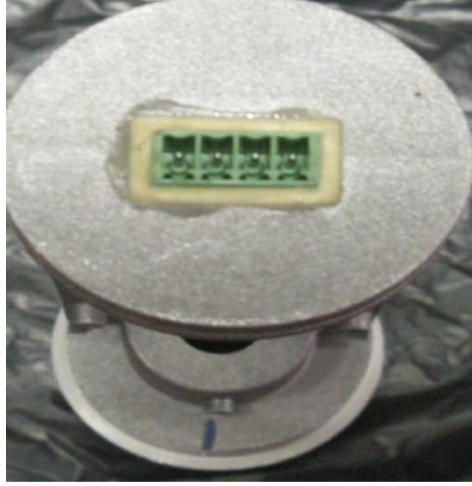
Şekil 3.11. Prob konnektör kabloları

Prob için kullanılacak olan konnektör kabloları aynı veya yakın uzunluklarda olacak şekilde sokete hazır hâle getirildiği Şekil 3.11.'de görülebilmektedir. Burada Beyaz kablo “toprak”, sarı “veri+”, yeşil “veri-”, kahverengi ise + besleme soket bağlantısını temsil etmektedir.



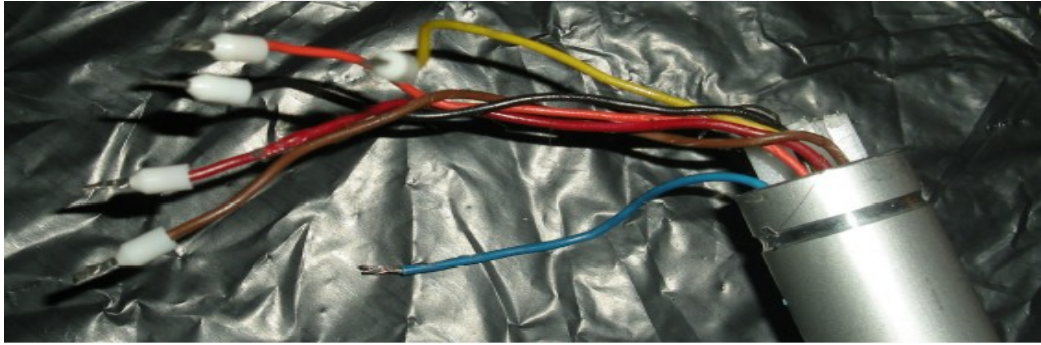
Şekil 3.12. Prob başlığı

Şekil 3.12.'de tüm sensör kablolarının prob başlığına girdiği görülmektedir.



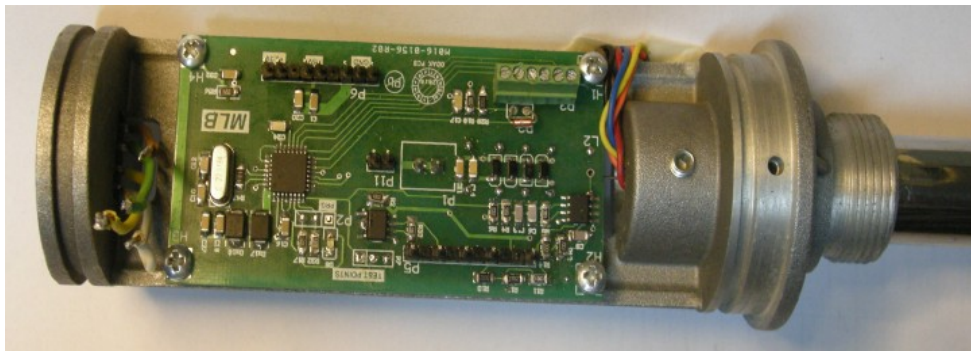
Şekil 3.13. Prob konnektörü

Prob kabloları için konnektör yerleşimi Şekil 3.13.'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Kabloların çıkışa hazırlanması

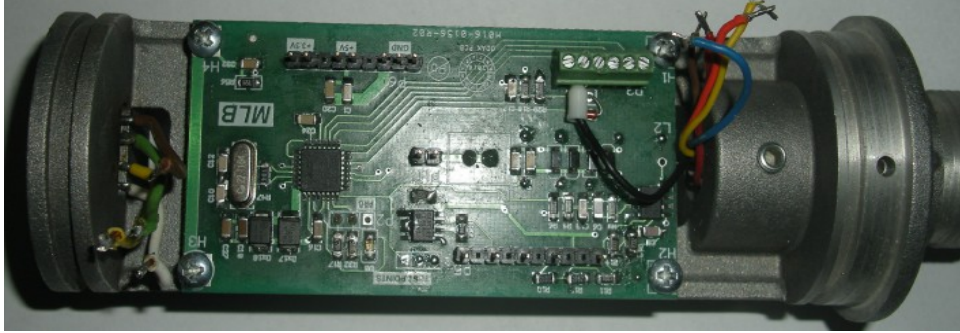
Tüm sensör kablo uçlarına uzun ömürlü olmaları ve temassızlık sorunu olmaması için pabuç çakma işlemi için ilgili görsel Şekil 3.14.'te görülmektedir.



Şekil 3.15. Alt pcb montajı

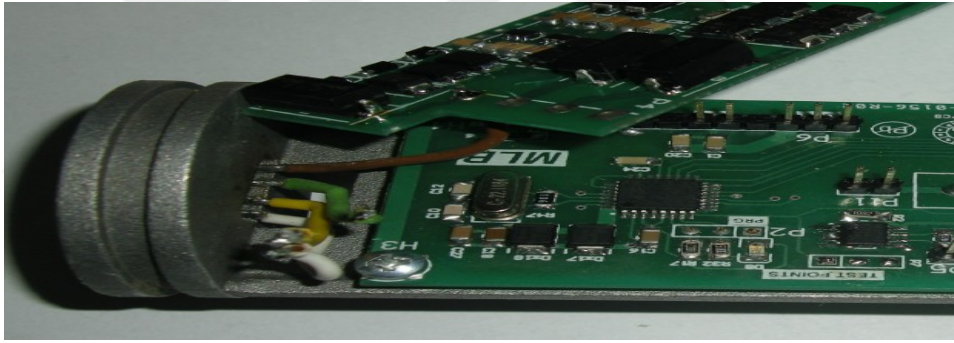


Şekil 3.15.'te tasarlanan alt pcb kartının prob başlığına montajlanması verilmiştir.



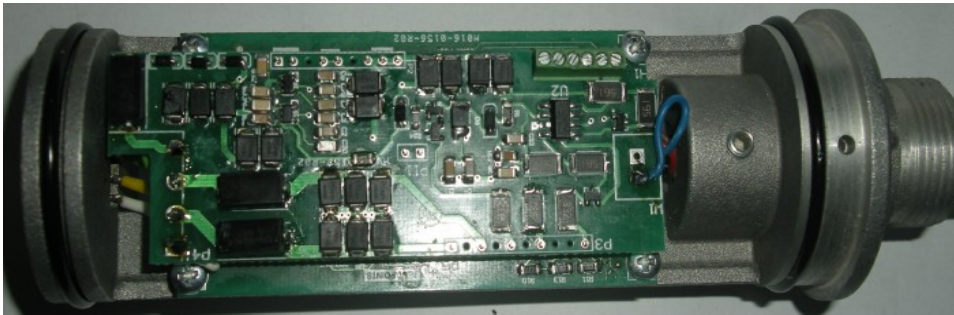
Şekil 3.16. Kablo bağlantısı

Şekil 3.16.'da sensör kablolarının sokete yerleşmeye başladığı andaki görüntüsü sunulmuştur.



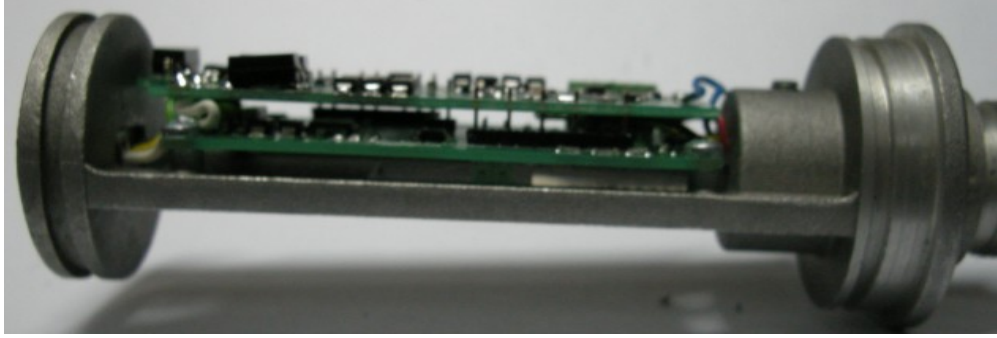
Şekil 3.17. Besleme ve haberleşme bağlantısı

Güç ve haberleşme kablolarının tasarlanan üst pcb'ye lehimlenmesi Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Alt pcb ve üst pcb yerleşimi

Tasarım gereği üst pcb kartının alt pcb kartına montajlanması gerekmektedir. Ayrıca geri dönüş kablosunun(mavi) da alt pcb üzerine lehimlendiği Şekil 3.18.'den anlaşılmaktadır.



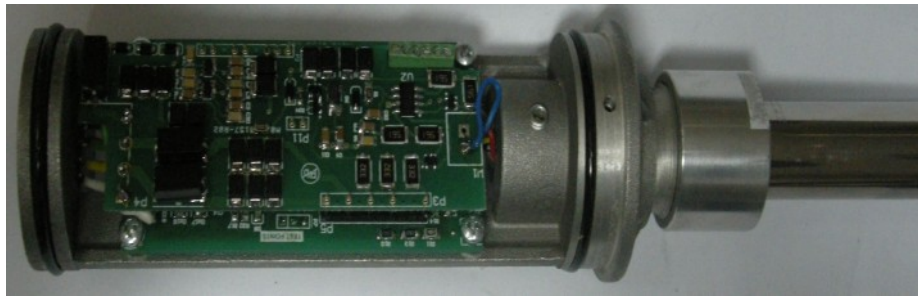
Şekil 3.19. Alt-üst pcb

Şekil 3.19'da alt ve üst pcb arasındaki mesafe en az 2mm olmalıdır.



Şekil 3.20. Diğer parçaların montajı

Plastik ve metal parçalar prob başlığına sırasına göre vidalanmış hâli Şekil 3.20. ve Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Diğer parçaların montajı



**Şekil 3.22.** Kılıf montajı

Prob başlığı kılıfının montajlanması Şekil 3.22’de verilmiştir.



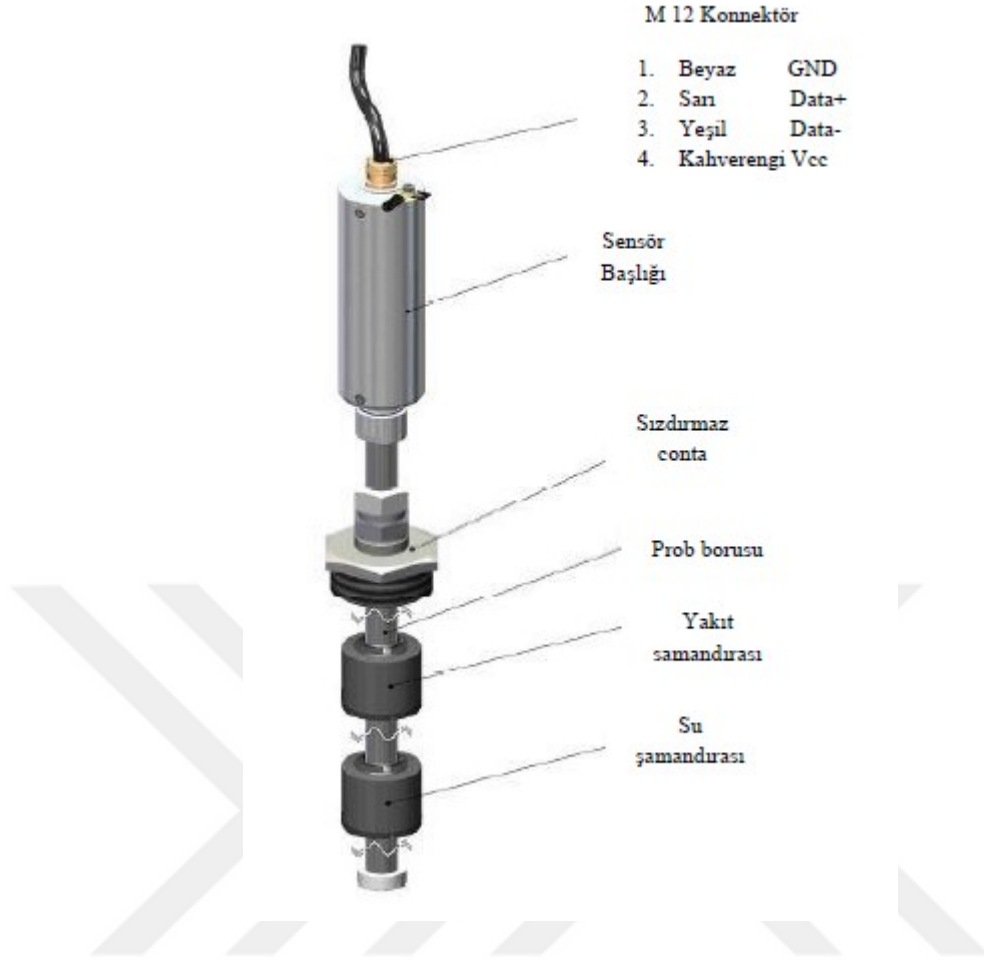
**Şekil 3.23.** Prob borusunun sonu

Şekil 3.23.’te probun son kısmı görülmektedir.



**Şekil 3.24.** Plastik ile sonlandırma

Şekil 3.24.’de prob boru plastiğinin prob sonuna vidalanmış hâli verilmiştir.



Şekil 3.25. MSV yapısı

Tank seviye vericisinin son görüntüsü Şekil 3.25'te verilmiştir. Burada konnektör pin tanımlamaları, sensör başlığı, sızdırmaz conta, prob borusu, yağ ve su şamandırası gösterilmektedir.

### 3.3. Yazılım Aşaması

Ürün kapsamında donanımsal tasarımlara ek olarak sistemin yazılımsal olarak programlanması da gerçekleştirilmiş ve oluşan sorunlar, hata ayıklama yöntemi (debug) ile ortadan kaldırılmıştır. İşlemci olarak Silabs firmasının C8051f930 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Yazılım C dilinde yazılmıştır.

Bu kısımda ölçümlerin elde edilmesi, sinyal darbesinin tele uygulanması durumları kısaca anlatılmaktadır. Programlanabilir sayıcı dizisi (PCA), seviye tespit algoritması başlangıcında sıfırlanır ve ardından şarj pompası aktif edilmektedir. Şarj pompası aktif edilir edilmez sinyal darbesi tele uygulanır ve 40 usn (mikrosaniye) gecikmenin ardından karşılaştırıcı kesmesi devreye girer. Bu aşamada ölçümlerin alınması sağlanmaktadır. Ölçümlerin elde edilmesi için 5 msn bekleme yeterli olmaktadır ve gerekli ölçümler kesme rutinleri içerisinde yapılmaktadır. Dalganın gidiş ve geliş süresinin hesaplanması işlemleri Şekil 3.26.'da verilmiştir.



Şekil 3.26. Ölçüm akış diyagramı

Şekil 3.27.'de verilen kod dizisi ise şarj pompasının devreye alınma aşaması sunulmuştur.



```

void Charge_Pump (U16 time)
{
  U8 j;
  U16 i;

  for (i = 0; i < time; i++)
  {
    P125P=0;
    for (j=0; j < 22; j++);
    P125P=1;P125P=1;
    for (j=0; j < 8; j++);
  }
}

```

Şekil 3.27. Şarj pompasına ait kod dizisi

Şekil 3.28.'de manyetik dalganın kılavuz içerisindeki hareketinin başlaması için gerekli olan sinyal darbesinin tele uygulanmasını içeren kod fonksiyonları yer almaktadır.

```

void Bipolar_Puls (U8 puls,bit sign)
{
  U8 i;
  if(!sign)
  {
    DPuls=1;
    for (i=0; i < 10; i++);
    DPuls=0;
    MPuls=0;
  }
  else
  {
    CR=1;
    i=puls;
    MPuls=1;
    while(i-- != 0);
    MPuls=0;
    DPuls=0;
  }
  return;
}

```

Şekil 3.28. Sinyal darbesinin uygulanması

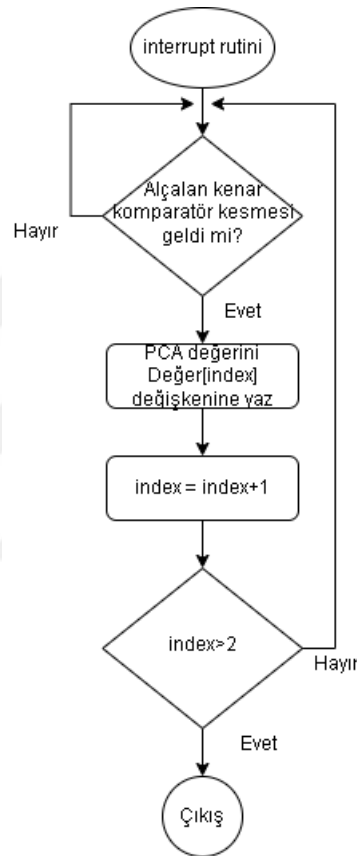
Sadece gerekli olan sinyallerin değerlendirilebilmesi amacıyla telin 10 cm'lik ölü bölgesinden (işe yaramaz) gelebilecek yanıltıcı sinyallerin dikkate alınmaması için 40 usn gecikme uygulanmaktadır. Şekil 3.26.'daki ölçüm akış diyagramında yer alan karşılaştırıcı kesmesi aşağıda verilen kod dizisi ile gerçekleştirilmektedir. Kod dizisi birebir çalışan yazılımdan alınmıştır.

```

CPT1MX = 0x8B; // Positive Input to P2.6(Wire Signal), Negative Input to P2.1(VREF)
CPT1CN = 0xC0; // Enable Comparator-1
CPT1CN &=~0x30; // Clear Comparator-1 flags
EIE1 = 0x40; // Enable Comparator-1 interrupts

```

Ölçüm akış diyagramının yer aldığı Şekil 3.26.’da ölçümlerin yapılması için gereken bekleme süresi, “Capture/Comparator Module” kesmesi (interrupt) sırasında aşama aşama gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.29. Karşılaştırıcı modül kesmesi algoritması

Şekil 3.29.’da interrupt (kesme) rutini olarak adlandırılan işlemler, öncelikle alçalan kenar sinyallerini referans alan karşılaştırıcı kesmesinin gelip gelmediğinin kontrolünü yapmaktadır. Kesme gelinceye kadar sürekli olarak alçalan kenarların takibi yapılmaktadır. Kesme geldiği sırada işlemci interrupt rutinine girmektedir. Bu aşamada PCA değeri “Değer[indeks]” değişkeni içerisine yazılmaktadır. PCA durumlarını çalıştıran kod dizisi Şekil 3.30’da verilmektedir.

```

switch(fcnt)
{
case 1:
    TDAT.Level[0]=PCA0CP0;    // PRODUCT LEVEL
    floatfound=1;            // PCA Capture
    for (i=0; i < 0x30; i++); // Wait ~10uS  90
    break;

case 2:
    TDAT.Level[1]=PCA0CP0;    // INTERFACE LEVEL
    floatfound=2;            // PCA Capture
    break;
}

```

**Şekil 3.30.** PCA durum kodları

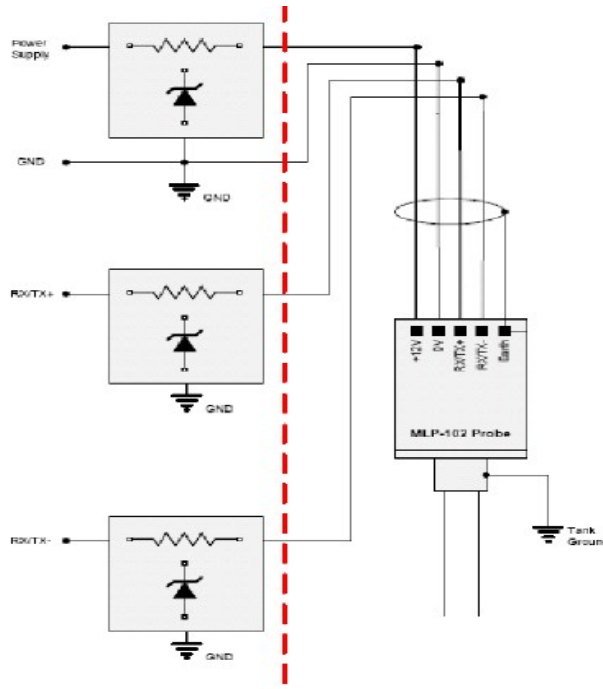
TDAT.Level[0] değeri yakıt şamandırasından yansıyan sinyal için geçen süreyi, TDAT.Level[1] değeri ise su şamandırasından yansıyan sinyal için geçen süreyi gösterir. Mesafeyi hesaplamak için:

$$\text{Yakıt Seviyesi} = \text{Tank Boyu} - (\text{CLKtime} * \text{TDAT.Level}[0]) * \text{PDAT.Gradient};$$

$$\text{Yakıt Seviyesi} = \text{Tank Boyu} - (\text{CLKtime} * \text{TDAT.Level}[1]) * \text{PDAT.Gradient};$$

CLKtime işlemcinin bir adım işlemi yaptığı süresidir. Gradient değeri ise dalga kılavuzunun (Manyetostriktif Telin) ses hızıdır. Kullandığımız dalga kılavuzunun (Manyetostriktif Telin) ses hızı yaklaşık  $7.28427 \mu\text{sn/cm}$ 'dir.

### 3.4. Zener Bariyer

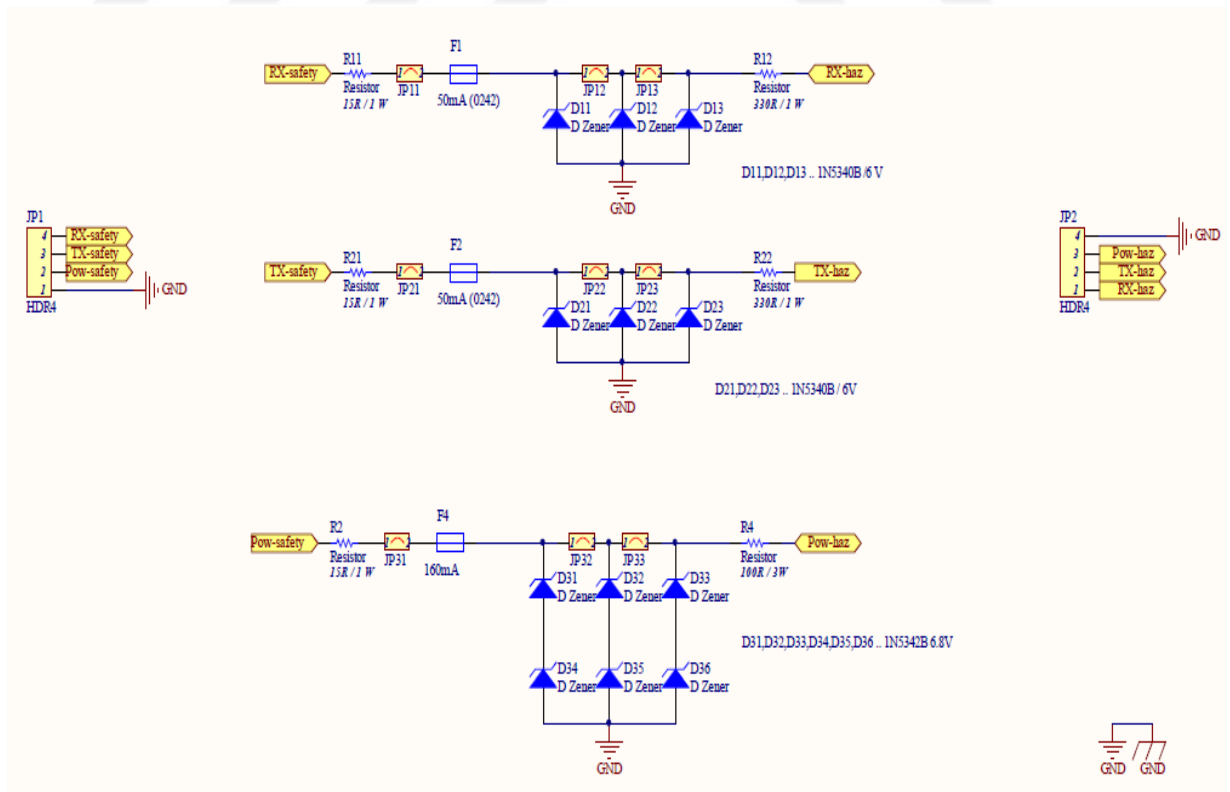


**Şekil 3.31.** Güvenlik Bariyeri

Özellikle tehlikeli (patlayıcı, yanıcı vb.) alanlarda bulunan komponentler ve cihazlara gönderilen akım ve gerilim miktarını sınırlamak için kullanılan direnç ve zener diyotların birleşiminden oluşan bir yapı olarak tanımlanabilir. Şekil 3.31’de sol taraf tehlikesiz bölge, sağ taraf ise tehlikeli bölge olarak tanımlanmaktadır.

MSV sistemine zener bariyer uygulamasının eklenmesi, herhangi bir kısa devre durumunda oluşacak olan kıvılcım/ateşleme olayını engelleme amaçlı olarak akım ve gerilim düzeylerini ateşlemeye neden olacak seviyenin altında tutarak olası aksiliklerin önüne geçilmesini sağlayacaktır. Başka bir deyişle herhangi bir kendinden güvenli ekipmanda olduğu gibi zener bariyer, kabloların birbiri ile veya toprağa bağlı herhangi bir metal parça ile kısa devre olması hâlinde risk durumlarını ortadan kaldırarak genel sistemi koruma altına aldığı söylenilebilir.

Kullanılacak alana ve sistem MSV’sine özgü olarak tasarlanan zener bariyer; sigorta ve direnç üzerinden geçecek olan maksimum akımı, zener diyot üzerinden geçen maksimum doğru akımı(DA), zener diyot ve giriş, çıkış direnci üzerindeki maksimum güç dağılımına ek olarak giriş ve çıkış içsel güvenlik parametreleri hakkındaki bilgileri içeren hesaplamalar ve formüller dizini EK-1’de detaylı olarak verilmiştir. Şekil 3.31.’de ise tehlikeli ve tehlikesiz bölge arasındaki güvenlik bariyeri verilmiştir.

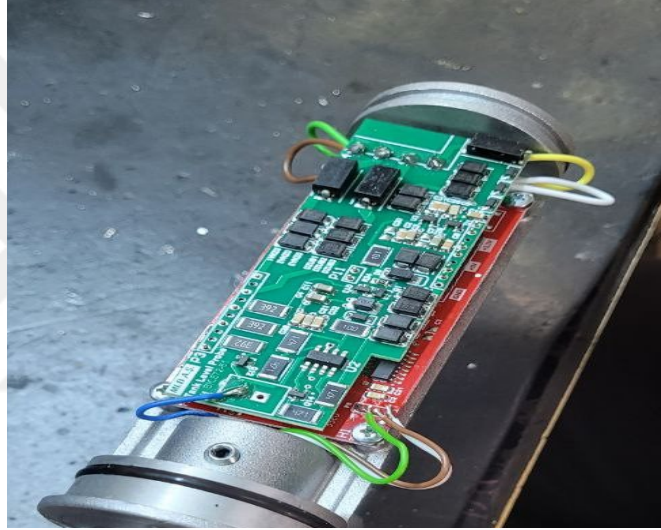


Şekil 3.32. Zener Bariyerin iki farklı uygulaması

Şekil 3.32.'de üç farklı işlemde kullanılan iki farklı Zener Bariyer uygulama devresi verilmiştir. Tasarım aşamasında tüm “GND” hatları bakır bir çubuk ile toprağa bağlanmalıdır.

### 3.5. Gerçek Zamanlı Test

MSV sistemi üretim aşamasına geçmeden önce farklı test aşamalarından geçmektedir. Sensörün test edilmesi için alt ve üst pcb bağlantılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3.33. - 3.37'de prob kartı, yakıt ve su seviye şamandırası, ölçümlerin gözlem durumu ile ilgili görseller sunulmuştur.



Şekil 3.33. Prob kartlarının test için açık görüntüsü



Şekil 3.34. MSV yakıt seviye şamandırası

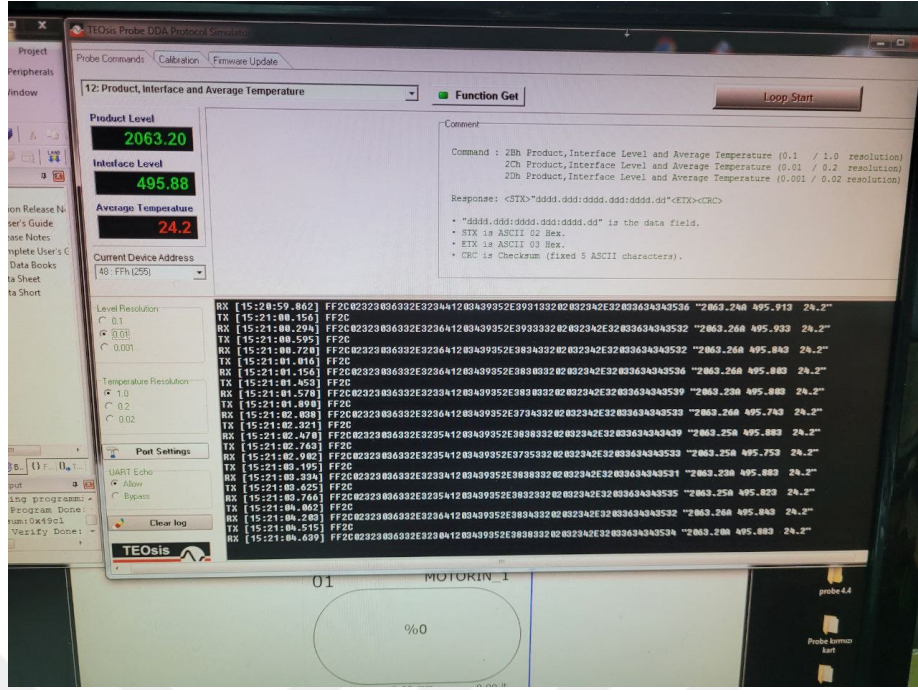


Şekil 3.35. MSV su seviye şamandırası

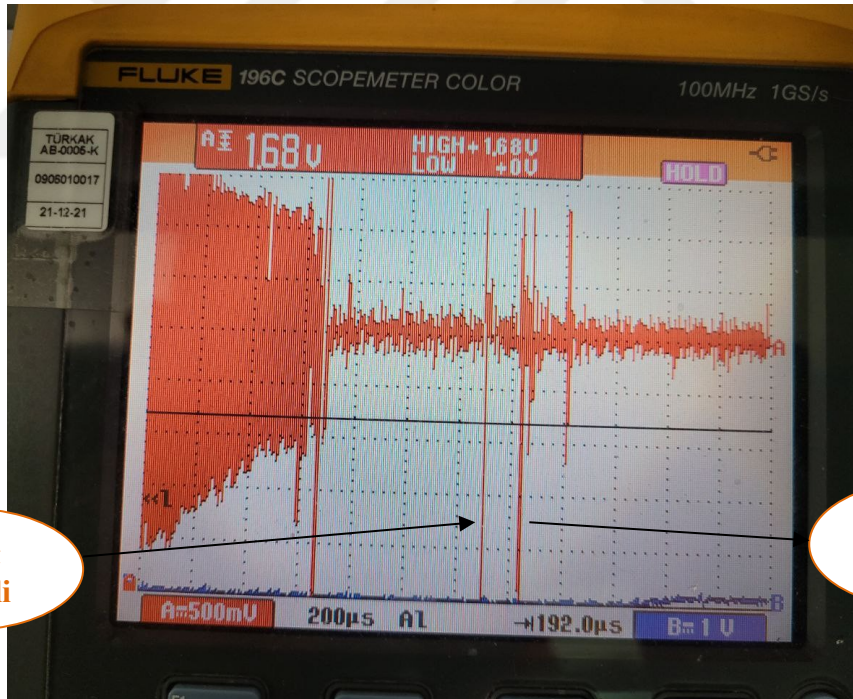


Şekil 3.36. MSV kablo montajı



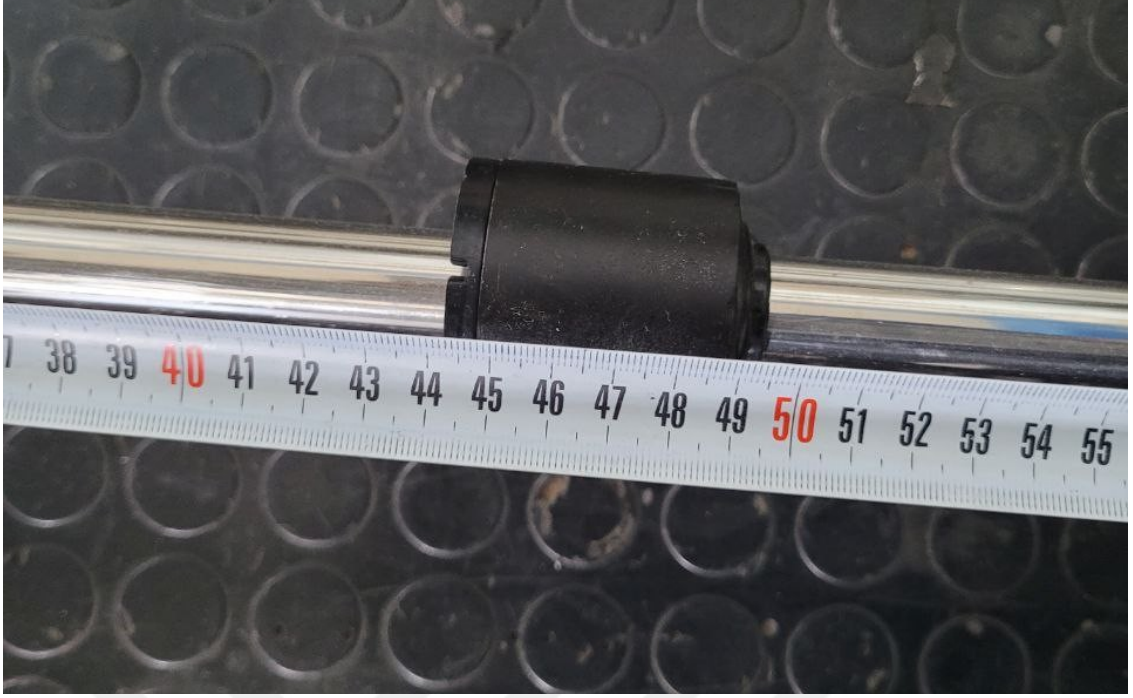


Şekil 3.37. MSV sensörünün ölçümlerinin alınması

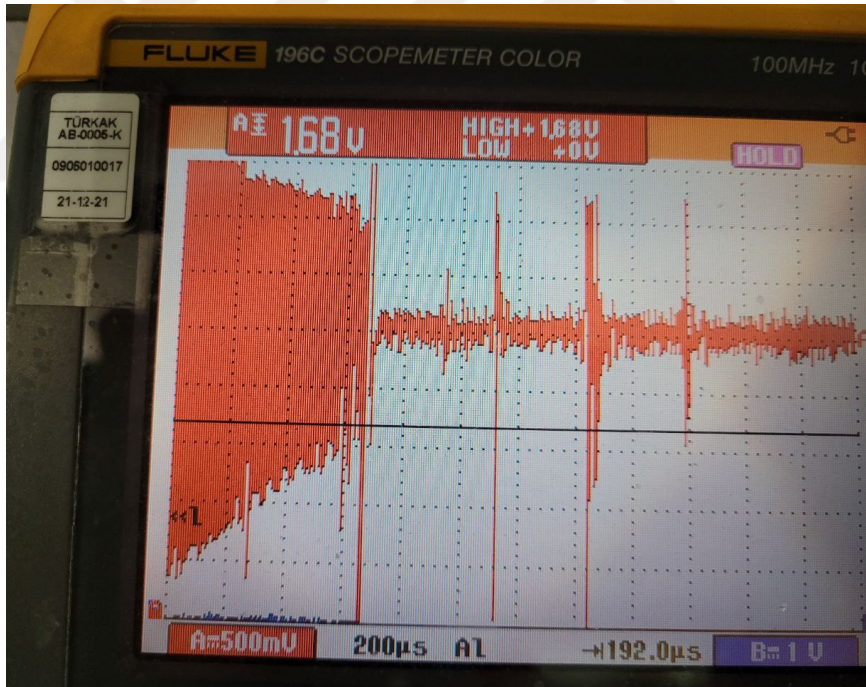


Şekil 3.38. Yakıt sinyallerinin 0.5 metre şamandıradan alınması

Şekil 3.38’de sistem şamandırasının 0.5 metreye ayarlanması sonucunda elde edilen yakıt ve su sinyali görülmektedir. Kademe kademe yakıt şamandırasının konumu değiştirilecek ve buradan da mesafesi değişen şamandıranın sinyalindeki farklılıklar gözlemlenecektir. Şekil 3.39’da ise şamandıra boyunun ayarlandığı görsel sunulmuştur.



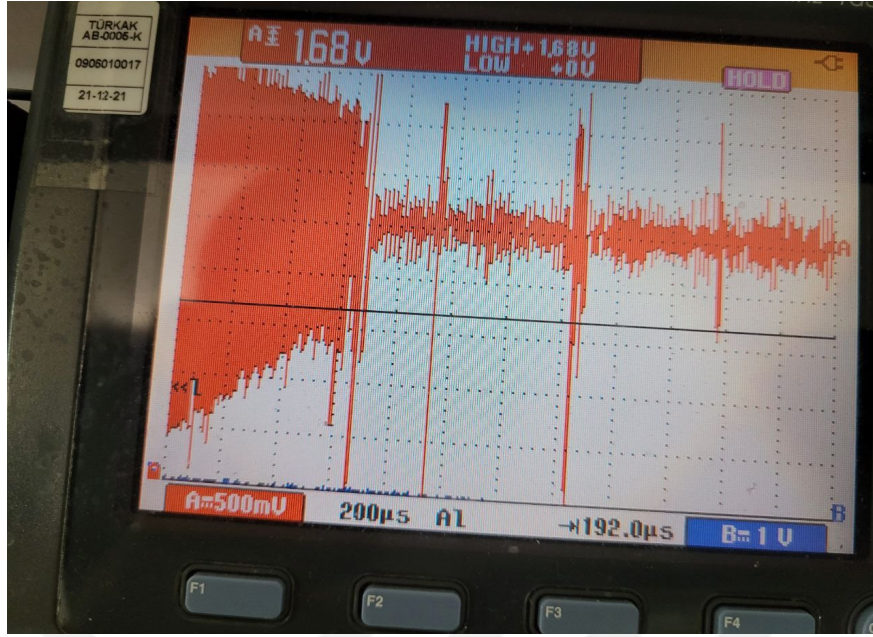
Şekil 3.39. Şamandıranın 0.5 metreye ayarlanması



Şekil 3.40. Yakıt sinyallerinin 1 metre şamandıradan alınması

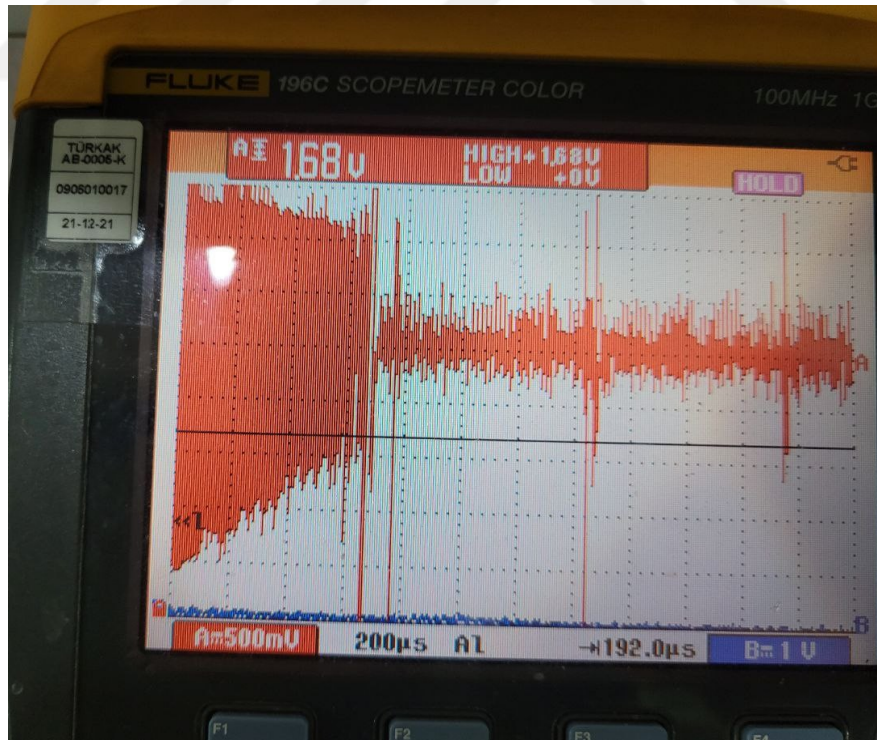
Yakıt şamandırası 1 metre mesafeye ayarlandıktan sonra, yakıt sinyalinin su sinyaline olan uzaklığındaki artış Şekil 3.40'da görülebilmektedir.





Şekil 3.41. Yakıt sinyallerinin 1.5 metre şamandıradan alınması

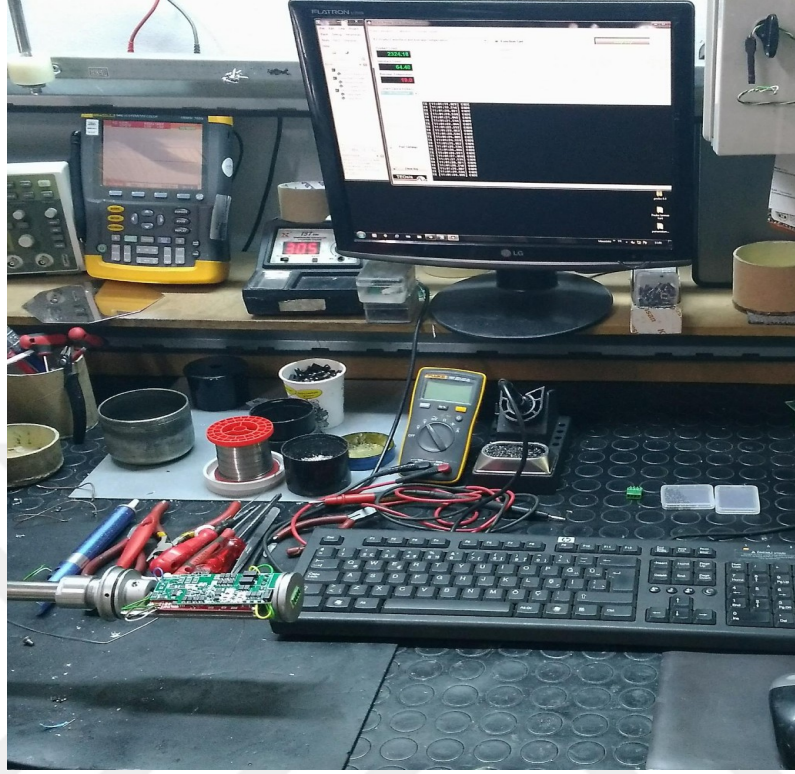
Yakıt şamandırasının 1.5 ve 2 metreye ayarlandıktan sonraki yakıt ve su sinyali arasındaki fark Şekil 3.41-3.42’de daha net bir şekilde görülebilmektedir.



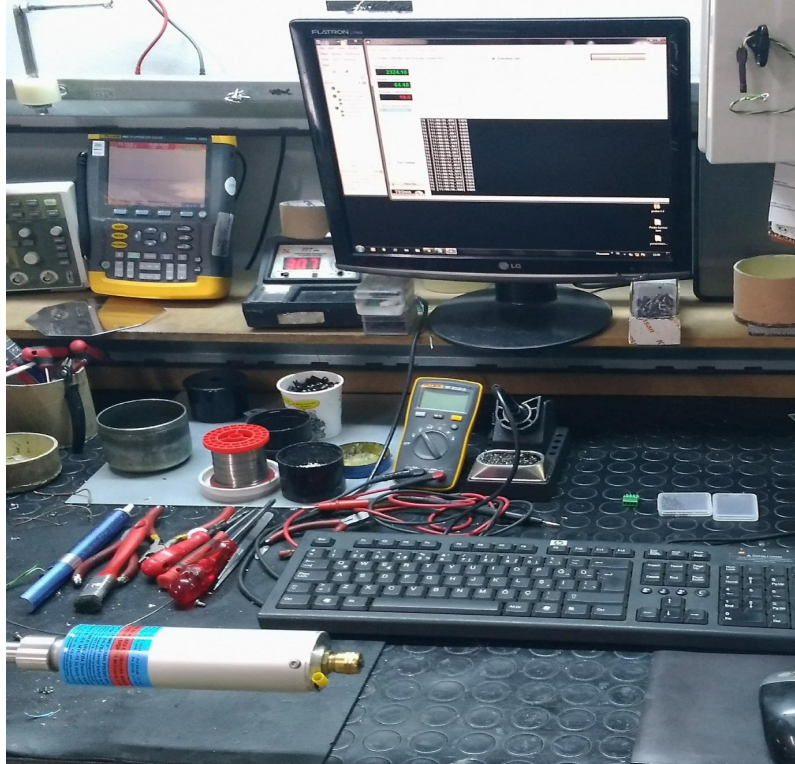
Şekil 3.42. Yakıt sinyallerinin 2 metre şamandıradan alınması

Şekil 3.43. ve 3.44.’te sistem özgün yazılımının yazıldığı bilgisayar, kısa devre durumları, gerilim ve akım değerlerinin alındığı ölçü aleti, yakıt ve su sinyallerinin

ölçümlerinin elde edildiği osiloskop cihazı ve diğer yardımcı donanımsal aletlerden oluşan gerçek zamanlı test düzeneği sunulmuştur.



Şekil 3.43. Gerçek zamanlı test düzeneği ve prob açık hâli



Şekil 3.44. Gerçek zamanlı test düzeneği ve prob kapalı hâli

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmalar sonucunda manyetostriksiyon prensibinin birçok alanda kullanıldığı, uygulama alanının tehlikeli oluşu ve iyileştirmelere ihtiyaç duymasından dolayı mevcut/benzeri ürünlerin gelişime açık olduğu tespit edilmiştir. Bu amaçla, ferromanyetik malzemelerin manyetik alana maruz bırakıldıklarında fiziksel yapılarında değişiklik oluşabilmesi özelliği kullanılarak konunun daha kesin tespit edilebilmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kesinliğe erişebilmek için donanımsal olarak manyetostriktif özellikli kablunun seçiminden, sinyal gidiş ve dönüş süresinin kararlılığını etkileyecek yazılımsal gecikmelere kadar tüm işlemler göz önünde bulundurulmuştur.

Geliştirilen sistem birçok parçadan oluşan tümleşik bir yapı özelliğine sahiptir. Uygulama aşamasında farklı büyüklüklerdeki tanklara kurulabilen alüminyum/çelik boru, MSV sisteminin başlıca özelliklerini oluşturan birçok parçasından sadece birisidir. Buna ek olarak, tank dibi ve prob borusunun ucu arasındaki yükseklik farkı gibi ayarlamalar için konfigürasyon verileri hazırlanmıştır. Bu sayede farklı tanklara kurulum imkanı oluşturulmuştur. Uzunluk miktarı ve borunun alt ucu ile prob borusu arasındaki mesafe ile ilgili karalılık seviyesi yüksek olan eşik değerler elde edilmiştir. Bu değerlerden faydalanarak farklı sistemlerin farklı tanklarda ve sıcaklıklarda test edilmesi ile olumlu sonuçlara erişilmiştir.

Ayrıca özgün olarak tasarlanan zener bariyer sayesinde oluşabilecek herhangi bir kıvılcım durumuna karşı önlemler alınmıştır. Farklı sistemlere uygulanmasını kolaylaştırmak amaçlı olarak sigortadan ve diyottan geçen maksimum akım, diyottaki maksimum güç vb. tüm parametre hesapları ek kısmında açıkça paylaşılmıştır. Ayrıca MSV sisteminin çalışma ve depolama sıcaklıkları, elektrikli tel ve gövde için izolasyon gerilimlerini de kapsayan tekniksel veriler yine ek bölümünde verilmiştir.

Tasarlanan MSV sistemini kapsayan tezde, tasarım-montaj aşamaları tek tek anlatılarak sistem tamamlanmış ve de ürünün tasarım esnasında dikkat edilmesi gereken hassas durumları da ele alınarak uygulanabilirliği artırılmıştır.

Diğer yandan MSV tasarımı; ekipman koruyucu malzemesi, devre kartlarındaki yollar arası mesafeler, minimum yol genişliği, kablunun izolasyon kalınlıkları, bakır kalınlıkları, katmanlar arası mesafeler ATEX Sertifikasyon IP 20'ye uygun olarak geliştirilmiştir. Bu anlamda tasarlanan sistem yasal zorunluluklara uygunluğu da tatmin edici bir seviyeye erişmiştir.

Ölçüm makineleri kullanım amaçlarına ve ihtiyaca göre donanımından yazılımına kadar değişiklik gösterebilmektedir. Tez kapsamında üretilen MSV sistemi, bölge “0” olarak adlandırılan patlama tehlikesinin sürekli olarak bulunduğu akaryakıt tankerlerindeki verilerin kararlı olarak alınabilmesi için bu şartlara uygun tasarlanmıştır.

#### 4.1 Sonuçlar

Endüstri için yüksek önem derecesine sahip olan akaryakıt tanklarındaki seviye takibinin en güvenli şekilde yapılabilmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Tasarım sonucunda gerçekleştirilen MSV sensörü, akaryakıt tanklarındaki yakıt seviyesinin algılanması, tank dibinde kalan su miktarının ölçülmesi ve de sıcaklık değerlerinin anlık tespitinin eş zamanlı sağlanması ile tatmin edici bir düzeye erişmiştir. Buna ek olarak en riskli alanlardaki olası aksiliklere karşı önlem almak, güvenilirlik düzeyini olabildiğince artırmak amaçlı tasarlanan ve sisteme eklenen zener bariyer uygulaması da MSV sisteminin başarısını artırmıştır.

Verilerin açıkça paylaşılabilmesi bakımından da tezin uygulanabilirlik düzeyi tatmin edici bir seviyeye erişmiştir. Tasarımın sahada sorunsuz bir şekilde kullanılabilir olması da gerçek zamanlı olarak ürünün uygulanabilirliğini ispatlamaktadır. Ürünün yerli olarak tasarlanması sayesinde bu alanda da dışa bağımlılığın asgari düzeye indirilmesi hedeflenmektedir.

Diğer yandan tasarlanan sistemin odak noktası olan akaryakıt tanklarının farklı boyutları için de ayarlamalara imkan veren sayısal veriler paylaşılmıştır. Bu yönü de MSV’ye adaptif bir özellik kazandırmıştır. Araştırmalar sonucunda, eserlerin teorik ve tasarımsal olarak sınıflandırıldığını söylemek mümkündür. Fakat tez kapsamında hem manyetostriksiyon mantığı ile uygulama alanlarının tanıtımı hem de gerçek zamanlı olarak sistem tasarımı yer aldığı için iki sınıfın da birleşimi olarak tanımlanabilir.

#### 4.2 Öneriler

Sensörün elektromanyetik parazitlerden etkilenmesi bir dezavantajdır. Bu durum hakkında iyileştirmelerin yapılması kaçınılmaz olmuştur. Dış gürültülerden etkilenme düzeyi, ne kadar az olursa elde edilen sonuçlar o kadar kaliteli olacaktır. Tasarım bakımından da yapısal olarak da daha simetrik yapılar üretilebilirse, kaliteli ve amaca uygun daha işlevsel parçalar kullanılabilirse verimlilik artacaktır.



## KAYNAKLAR

- Bartels K. A., Kwun H. and Hanley J. J., 1996, "Magnetostrictive sensors for the characterization of corrosion in rebars and prestressing strands", *Nondestructive Evaluation Techniques for Aging Infrastructure and Manufacturing*, Scottsdale, AZ, 40-50.
- Cho S. H., Kim Y. and Kim Y. Y., 2003, "The optimal design and experimental verification of the bias magnet configuration of a magnetostrictive sensor for bending wave measurement", *Sensors and Actuators A: Physical*, 107(3), 225-232.
- Calkins F.T., Flatau A.B. and Dapino M.J., 2007, "Overview of Magnetostrictive Sensor Technolog", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 18(10), 1057-1066.
- Doherty J.F., Arigapudi S. and Weber R.J., 1994, "Spectral estimation for a magnetostrictive magnetic field sensor", *IEEE Transactions on Magnetics*, 30(3), 1274-1290.
- Foner S., "Review of magnetometry", 1981, *IEEE Transactions on Magnetics*, 17(6), 3358-3363.
- Gao W., Zhang D., Zhang E. and Yan X., 2019, "Study of Magnetostrictive Guided Wave Detection of Defects in Steel Strip for Elevator Traction", *2019 4th International Conference on Measurement, Information and Control (ICMIC)*, Harbin, China, 37-41.
- Gao W., Zhang D., Zhang E. and Yan X., 2021, "Noncontact Magnetostrictive Torsional Guided Wave Sensors for Small-Diameter Pipes", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-9.
- Hristoforou E. and Ktena A., 2007, "Magnetostriction and magnetostrictive materials for sensing applications", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 316(2), 372-378.
- Kikuchi Y., 1968, "Magnetostrictive materials and applications", *IEEE Transactipns on Magnetics*, 4(2), 107-117.
- Kwun H. and Bartels K. A., 1998, "Magnetostrictive sensor technology and it is applications", *Ultrasonics*, 36(1-5), 171-178.
- Kwun H. and Kim S. Y., 2005, "Magnetostrictive Sensor for Generating and Detecting Plate Guided Waves", *Journal of Pressure Vessel Technology*, 127(3), 284-289.
- Seco F., Martin J.M., Pons J.L. and Jimenez A. R., 2004, "Hysteresis compensation in a magnetostrictive linear position sensor", *Sensors and Actuators A: Pyhsical*, 110(1-3), 247-253.
- Seco F., Martin J. M. and Jimenez A. R., 2009, "Improving the Accuracy of

Magnetostrictive Linear Position Sensors", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(3), 722-729.

Yoo J., Jones N. J., Flynn K. and Jacobs R., 2019, "Development of a water level sensor using magnetostrictive materials", *AIP Advances*, 9(3), 035119-1 - 035119-4.

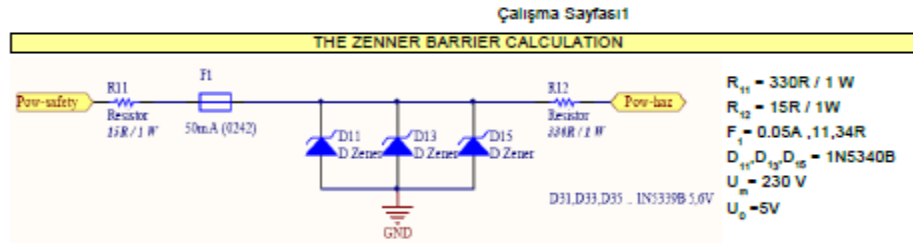
Yuan M., Sun D., Sun K., Wu J., Wang Z. and Shi L., 2006, "Key Technology of Magnetostrictive Fuel Sensor", *2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 1000-1005.

Zhang Y., Liu W., Zhang H., Yang J. and Zhao H., 2011, "Design and Analysis of a Differential Waveguide Structure to Improve Magnetostrictive Linear Position Sensors", *Sensors*, 11(5), 5508-5519.



## EKLER

## EK-1 ZENER BARIYER UYGULAMA HESABI



## 1- Peak current through Fuse, R11, D11

$$I_{peak} = \frac{(U_m \cdot 1,1) \sqrt{2} - (U_z \cdot 0,95)}{R_{11} \cdot 0,95 + R_f}$$

$$I_{peak} = \frac{(230 \cdot 1,1) \sqrt{2} - (6 \cdot 0,95)}{15 \cdot 0,95 + 11,34}$$

$$I_{peak} = 13,75 \text{ A}$$

## 2- Maximal DC Current through diode

$$I_{zm} = I_{zmax} \cdot 1,7 - 0,05 \cdot 1,7 = 0,085 \text{ A}$$

$$\text{For Intrinsic safety 1,5. } I_{zm} = 1,5 \cdot 0,085 = 0,1275 \text{ A}$$

$$I_{zm} = 790 \text{ mA}$$

## 3- Maximal power dissipation on diode

$$P_d = U_z \cdot 1,05 \cdot I_{zm} = 6 \cdot 1,05 \cdot 0,085 = 0,5355 \text{ watt}$$

$$\text{For Intrinsic safety 1,5. } P_d = 1,5 \cdot 0,5355 = 0,803 \text{ watt}$$

$$P_{dmax} = 5 \text{ W}$$

## 4- Maximal power dissipation on R11

$$P_{R11} = I_{zm}^2 \cdot R_{11} \cdot 1,05 = (0,085)^2 \cdot 15 \cdot 1,05 = 0,113 \text{ watt}$$

$$\text{For Intrinsic safety 1,5. } P_{R11} = 1,5 \cdot 0,113 = 0,170 \text{ watt}$$

$$P_{R11} = 1 \text{ W}$$

## 5- Maximal power dissipation on R12

$$P_{R12} = \frac{(U_z \cdot 1,05)^2}{R_{12} \cdot 0,95} = \frac{(6 \cdot 1,05)^2}{330 \cdot 0,95} = 0,126 \text{ watt}$$

$$\text{For Intrinsic safety 1,5. } P_{R12} = 1,5 \cdot 0,126 = 0,190 \text{ watt}$$

$$P_{R12} >= 1 \text{ W}$$

## 6- Input and Output Intrinsic safe parameters

$$U_m = 230 \text{ V}$$

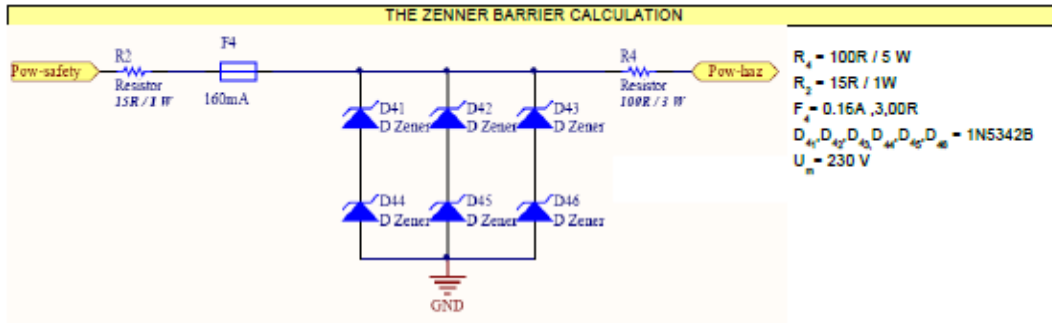
$$U_o = 6 \cdot 1,05$$

$$U_o = 6 \cdot 1,05 = 6,3 \text{ V}$$

$$P_o = \frac{(1,05 \cdot U_o)^2}{4 \cdot 0,95 \cdot R_{12}} = \frac{(1,05 \cdot 6)^2}{4 \cdot 313,5} = 0,031 \text{ watt}$$

$$I_o = \frac{U_o \cdot 1,05}{R_{12} \cdot 0,95} = \frac{(1,05 \cdot 6)}{330 \cdot 0,95} = 20 \text{ mA}$$

## Çalışma Sayfası3



## 1- Peak current through Fuse,R2,D41,D44

$$I_{peak} = \frac{(U_m \cdot 1,1) \sqrt{2} - (U_z \cdot 0,95)}{R_2 \cdot 0,95 + R_1}$$

$$I_{peak} = \frac{(230 \cdot 1,1) \sqrt{2} - (6,8 \cdot 0,95 + 6,8 \cdot 0,95)}{15 \cdot 0,95 + 3}$$

$$I_{peak} = 19,24 A$$

## 2- Maximal DC Current through diode

$$I_{zm} = I_{zm} \cdot 1,7 = 0,16 \cdot 1,7 = 0,272 A$$

For Intrinsic safety 1,5.  $I_{zm} = 1,5 \cdot 0,272 = 0,408 A$

$$I_{zm} = 700 mA (1n5342B)$$

## 3- Maximal power dissipation on diode

$$P_d = U_z \cdot 1,05 \cdot I_{zm} = 6,8 \cdot 1,05 \cdot 0,272 = 1,942 watt$$

For Intrinsic safety 1,5.  $P_d = 1,5 \cdot 1,942 = 2,91 watt$

$$P_{dmax} = 5 W$$

## 4- Maximal power dissipation on R1

$$P_{R1} = I_{zm}^2 \cdot R_2 \cdot 1,05 = (0,272)^2 \cdot 15 \cdot 1,05 = 1,16 watt$$

For Intrinsic safety 1,5.  $P_{R1} = 1,5 \cdot 1,16 = 1,74 watt$

$$P_{R1} >= 2W$$

## 5- Maximal power dissipation on R4

$$P_{R4} = \frac{((U_{z1} \cdot 1,05 + U_{z2} \cdot 1,05))^2}{R_4 \cdot 0,95} = \frac{203,92}{100 \cdot 0,95} = 2,1465 W$$

For Intrinsic safety 1,5.  $P_{R4} = 1,5 \cdot 2,1465 = 3,22 watt$

$$P_{R4} > 4 W$$

## 6- Input and Output Intrinsic safe parameters

$$P_o = \frac{((U_{z1} \cdot 1,05 + U_{z2} \cdot 1,05))^2}{4 \cdot R_4} = \frac{203,92}{100 \cdot 4} = 0,5366 W$$

$$I_o = \frac{((U_{z1} \cdot 1,05) + (U_{z2} \cdot 1,05))}{R_4 \cdot 0,95} = \frac{14,28}{100 \cdot 0,95} = 150,32 mA$$



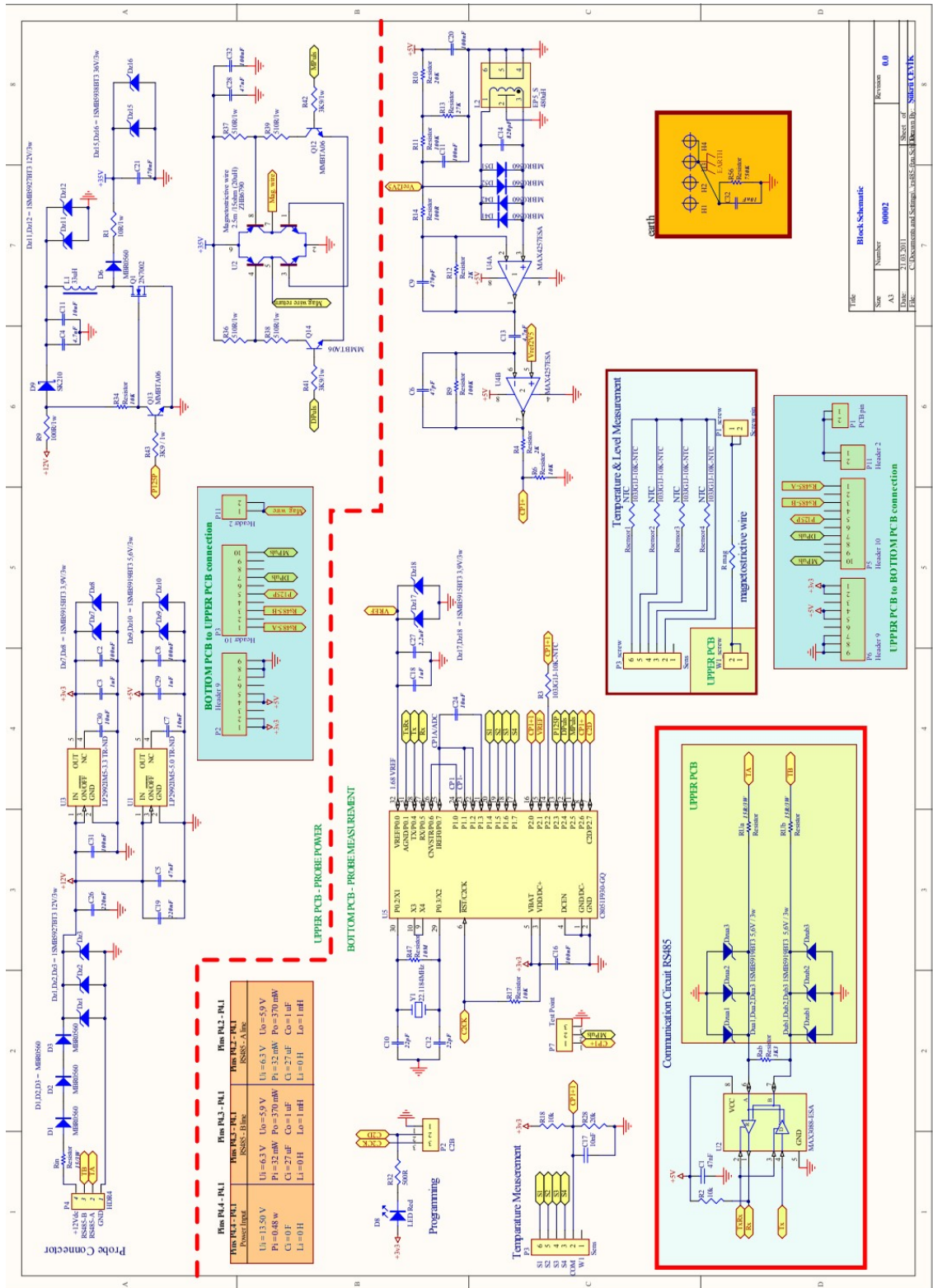
## EK-2 MSV TASARIMI İÇİN TEKNİKSEL VERİLER

	Minimum	Tipiksel	Maksimum
Kaynak Gerilimi	-	12V	-
Kaynak Akımı	20mA	25mA	50mA
Kaynak Gücü	240mW	300mW	600mW
Haberleşme Voltajı	4.5V	5V	5.5V
Haberleşme Akımı	-	8mA	-
Çalışma Sıcaklığı	-30 °C ~ +50 °C		
Depolama Sıcaklığı	-40 °C ~ +80 °C		
İzolasyon Gerilimi	Elektrikli tel ve gövde için 500VDC		
Koruma Tipi	IP 67		
Kararlılık	0.01 mm		
Sıcaklık Kesinliği	0.01 °C		
Tam Alan (full range)	500 mm	2500 mm	5000 mm

### EK-3 STANDARTLAR VE GEREKLİLİKLER

- MSV sisteminin üretimi, belirli standartları karşılayacak şekilde gerçekleştirilmiştir;  
**EN 60079-0 : 2009**  
**EN 60079-11 : 2007**  
**EN 60079-26 : 2007**
- Ekipman koruyucusu hariç tüm parçaları paslanmaz çeliktir.
- İçten güvenlik için ATEX Sertifikasyon IP 20 yeterlidir.
- Devre kartı üzerindeki yollar ile ilişkili mesafeler en az 0.5 mm (10V), en az 0.7 mm (30V) ve en az 1 mm (60V). [(EN 60079-11:2007 Table 5)]
- Tehlikeli alanlardaki güç ve haberleşme bağlantıları arasındaki donanımsal olarak yakınlık ve yollar üzerinden yakınlık(kaçak yolu) minimum 2 mm'dir.
- Minimum yol genişliği 2 mm veya içten güvenliğe bağlı olan bileşenler için iki paralel yol 1 mm'dir. Diğer güvenli bileşenlerin minimum yol genişliği 0.254 mm'dir.
- 0.22 mm<sup>2</sup> kablonun izolasyon kalınlığı en az 0.30 mm'dir.
- 0.50 mm<sup>2</sup> kablonun izolasyon kalınlığı en az 0.50 mm'dir.
- Devre kartı için karşılaştırmalı izleme endeksi (CTI değeri), 175'e eşit veya daha büyük olmalıdır.
- Bakır kalınlığı 0.035 mm'dir.
- Katmanlar arası mesafe 1.6 mm'dir.

# EK-4 DEVRE ŞEMATİK ÇİZİMLERİ



Revizyon	0.0
Sheet of	04
Sheet of	04
Date:	27.03.2011
Projeye Ad:	Elektronik ve Sistemler Laboratuvarı
Projeye Adı:	ŞİŞİR EK-4
Yazan:	...
Yazılan Yıl:	...