



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



**YUMURTA TASNİF MAKİNASI EMBEDDED  
KONTROL KARTININ TASARIMI, ÜRETİMİ VE  
ENERJİ TASARRUFU**

**Yüksek Lisans Tezi**

Emrah MERCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2019



**T.C.**  
**EGE ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**YUMURTA TASNİF MAKİNASI EMBEDDED  
KONTROL KARTININ TASARIMI, ÜRETİMİ VE  
ENERJİ TASARRUFU**

**Emrah MERCAN**

**Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**İzmir**  
**2019**

Emrah MERCAN tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Yumurta Tasnif Makinası Embedded Kontrol Kartının Tasarımı, Üretimi ve Enerji Tasarrufu” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 28.08.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

<b>Jüri Başkanı</b>	<b>: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR</b>	.....
<b>Raportör Üye</b>	<b>: Doç. Dr. Levent ÇETİN</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>: Dr. Öğr. Üyesi Özkan AKIN</b>	.....



**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yumurta Tasnif Makinası Embedded Kontrol Kartının Tasarımı, Üretimi ve Enerji Tasarrufu” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

28/ 08 / 2019

İmzası

Emrah MERCAN



## ÖZET

### YUMURTA TASNİF MAKİNASI EMBEDDED KONTROL KARTININ TASARIMI, ÜRETİMİ VE ENERJİ TASARRUFU

MERCAN, Emrah

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Ağustos 2019, 84 sayfa

Bu tez projesinin amacı, yumurta tasnif makinasının otomatik kontrolünün, tasarlanacak ve üretilecek embedded kontrol kartı ile yapılmasıdır.

Günümüzde artan nüfus sonucu tarımsal ürünlerdeki talep artmakta, dolayısı ile üretici daha fazla üretim yapmak zorunda kalmaktadır.

Yumurta tasnifinin ülkemizde genelde manuel olarak yapılması, bu artan talebi karşılayamaz hale gelmiş ve otomasyon sistemlerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir.

Bu projede geliştirdiğimiz sistemle, yumurta tasnifi ağırlık esasına göre çalışmakta, yük hücresi üzerinden yüksek hızda geçen yumurtalar önceden kullanıcı tarafından belirlenmiş olan aralıklara göre 0,1g hassasiyetle solenoid sistemlerle ayrılarak tasnif edilebilmektedir. Özellikle yüksek hızlı tasniflemede, doğru ölçüm yapmayı zorlaştıran birçok problem ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu problemler çeşitli yöntemler kullanılarak bertaraf edilmeye çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen tez projesinde, literatürde yüksek hızlarda kullanılan pahalı yük hücrelerinden farklı olarak, standart yük hücreleri kullanılmış, röleler mosfet anahtarlama elemanları ile değiştirilmiş, böylece yüksek maliyetli ürünler daha uygun ürünlerle ikame edilebilmiş ve sistemin enerji harcaması daha da düşürülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Yumurta Tasnif, Yük Hücresi, Embedded Kontrol, Adaptif Filtre, DSP





**ABSTRACT****EGG GRADING MACHINE EMBEDDED CONTROL CARD DESIGN,  
PRODUCTION AND ENERGY SAVING**

MERCAN, Emrah

MSc in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

August 2019, 84 pages

The aim of this MSc thesis was to enable of automatic control of egg sorting machine using designed and developed embedded control printed circuit board (PCB).

Today, with the rising population of the world the need for agricultural products is rising that results in for the producer to produce more.

In Turkey, generally egg sorting is done manually which is far away from to meet the needs for high quantity production and thus, the use of automation system is required.

In this project eggs that were passing over a load cell in high velocity were sorted out based on a user preselected gap with 0.1 g precision using a pneumatic system sorting machine. Mechanical vibrations and the geometrical structure of the eggs caused some difficulties on precision measurement of the weight, especially in high speed sorting. These problems were tried to be eliminated using different techniques.

In this study, standard load cells were used instead of expensive ones that were encountered in the literature. Thus, that kind of expensive systems can be produced in a cheaper price with a low-energy consumption specification.

**Keywords:** Egg sorting, Load Cell, Embedded Control, Adaptive Filter, DSP

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, yumurta tasnif makinasının kontrol kartının tasarım süreçleri, ölçüm mekanizmasına ilişkin iyileştirmeleri ve deneysel sonuçları irdelenmiştir.

Tez çalışmamda planlamasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR ve Dr. Öğr. Üyesi Aysun BALTACI'ya, saha denemelerinde yardımcı olan sevgili kardeşim Ebru MERCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR

28/ 08 / 2019

Emrah MERCAN



**İÇİNDEKİLER**Sayfa

İÇ KAPAK .....	ii
KABUL ONAY SAYFASI .....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
ÖNSÖZ.....	x
İÇİNDEKİLER.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ağırlık Esasına Göre Yumurta Tasnifi .....	3
1.2. Sağlanacak Faydalar .....	4
1.3. Literatür Taraması.....	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
2.1. Yük Hücreleri (Load Cell) .....	8
2.1.1. Yük hücreleri nasıl çalışır?.....	8
2.1.2. Yük hücresi çeşitleri.....	9
2.2. A/D Çeviriciler.....	11
2.2.1. Çözünürlük ve İdeal ADC.....	12
2.2.2. Kuantalama hatası .....	13

**İÇİNDEKİLER (devam)**

2.2.3. ADC çevirici çeşitleri.....	13
2.3. ARM Mikro Denetleyiciler.....	15
2.4. Aktüatörler .....	19
2.4.1. Elektromekanik Aktüatörler .....	19
2.5. Haberleşme .....	22
2.5.1. Haberleşme İletim Hatları Prensipleri .....	22
2.6. Solenoid Sürücüsü .....	27
2.7. Donanımsal Sistem Tasarımı .....	29
2.7.1. Sistem .....	29
2.7.2. Tartım sistem tasarımı .....	30
2.7.3. Solenoid İticiler Ve Sürücü Tasarımı .....	33
2.7.4. Mikroişlemci Kontrol Ve Haberleşme Sistem Tasarımı .....	36
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
3.1. Çalışma Ortamı .....	44
3.2. Digital Filtreleme Metodları .....	49
3.3. Enerji Optimizasyonu .....	55
SONUÇ.....	59
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	61
TEŞEKKÜR .....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Yumurta Tasnif Makinası Bileşenleri.....	3
2.1 Yük Hücresi ve Wheatstone Köprüsü.....	8
2.2 Yükleme Tiplerine Göre Yük Hücreleri .....	9
2.3 Analog/Dijital Çevirici Blok Diyagramı .....	11
2.4 3 Bit A/D Çeviricinin Analog Giriş Gerilimi ve Çıkış Kodu .....	12
2.5 Delta-Sigma ADC Blok Şeması .....	14
2.6 STM32F051C6 Blok Şeması.....	18
2.7 Elektrodinamik ve Elektromanyetik Kuvvetler .....	20
2.8 Solenoid Eleman: 1. Armatür, 2. Bobin, 3. Manyetik Şaşe.....	21
2.9 Solenoid Anahtarlama Fazları .....	22
2.10 Balanslı İletim.....	23
2.11 Balanssız İletim .....	24
2.12 Maxim Firmasının Balanslı İletişim Ürünü, MAX485.....	25
2.13 Modbus Paket Yapısı.....	26
2.14 Solenoid Anahtarlama Devresi .....	27
2.15 ITS724 Solenoid Sürücü.....	28
2.16 Sistem Blok Diyagramı.....	29
2.17 AD7190 Blok Şeması .....	32
2.18 Temel Bağlantı Şeması.....	33

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

2.19	İtici Solenoid Sürücü Şeması.....	35
2.20	ITS724G Doğruluk Tablosu .....	35
2.21	Kontrol Kartı 3D Çıktısı .....	37
2.22	Ares PCB Çıktısı .....	38
2.23	Keil uVision Derleyici Kullanıcı Arayüzü .....	39
2.24	Seri Haberleşme Diyagramı.....	41
2.25	Mikroişlemci ve MAX485 Bağlantısı .....	41
2.26	Sinyal Seviyeleri.....	42
2.27	SPI Bağlantısı .....	43
3.1	İşlenmemiş ADC Verisi.....	49
3.2	Filtre Yanıtı.....	51
3.3	50Hz ve 250Hz'lik tonlar .....	51
3.4	Donanım Filtrelemesi öncesi durum.....	52
3.5	Donanım Filtrelemesi sonrası durum.....	52
3.6	Donanımsal Filtreleme sonrası veri.....	53
3.7	Hareketli Ortalamalar Yöntemi sonrası.....	54
3.8	Hareketli Ortalamalar Algoritması.....	55
3.9	Referans Yumurtalar.....	58





**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Dünya Yumurta İhracatı .....	1
2.1 A/D Çevirici Analog Giriş ve Dijital Çıkış Tablosu .....	12
2.2 ADC Çeviricilerin Karşılaştırılması .....	14
3.1 AD7190 Config Register parametreleri.....	46
3.2 AD7190 Mode Register parametreleri.....	46
3.3 Tasnif Hata Oranları.....	58

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

<u>Fotoğraf</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Yük Hücresi (Load Cell) .....	8
2.2 S Tipi Yük Hücresi .....	9
2.3 L Tipi Yük Hücresi .....	10
2.4 Platform Tipi Yük Hücresi .....	10
2.5 Sönümleyici Tipi Yük Hücresi .....	11
2.6 Cortex M0 .....	17
2.7 Elektromekanik Aktüatör .....	19
2.8 Tartım Sistemi .....	30
2.9 İtme Düzeneği .....	34
2.10 Kontrol Kartı ve Loadcell Bağlantıları .....	36
2.11 Ulink2 Programlayıcı .....	40
3.1 Halihazırda Kullanılan Sistem .....	44
3.2 Eski Sistem ve Prototip Kart Karşılaştırması .....	45
3.3 Taşıyıcının Alt Ölü Noktası, Ölçüme Başlama Noktası .....	47
3.4 Taşıyıcının Üst Ölü Noktası .....	47
3.5 Test Düzeneği .....	48

## 1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus sonucu tarımsal ürünlerdeki talep artmakta, dolayısı ile üretici daha fazla üretim yapmak zorunda kalmaktadır. Bu talebin karşılanması için, üreticilerin üretim hızını arttırmaları, fakat bunu yaparken de kalitelerinden ödün vermemeleri gerekmektedir.

Ülkemizde, yıllık 20 – 22 milyar yumurta üretimi olmaktadır (Yum-Bir, 2019). Bu üretim ile ülkemiz, son yıllarda 430 Milyon \$ ihracat geliri alarak Dünya yumurta ihracatında 3. sıradadır (Yum-Bir, 2019).

Sıra	Ülke	2013	2017
1	Hollanda	1.002.000	720.983
2	ABD	461.871	419.376
3	<b>Türkiye</b>	<b>406.159</b>	<b>376.146</b>
4	Polanya	283.820	355.849
5	Almanya	286.898	293.731
6	Fransa	174.572	180.955
7	Belçik	175.861	170.343
8	Çin	156.217	162.341
9	İspanya	158.421	162.018
10	Malezya	136.769	110.946
11	İngiltere	124.349	94.256
12	Ukrayna	73.595	68.659
13	Kanada	32.812	54.440
14	Brazil	60.898	53.409
15	Diğer	815.045	733.364
17	<b>Toplam</b>	<b>4.349.287</b>	<b>3.956.816</b>

**Tablo 1.1:** Dünya Yumurta İhracatı (Bin ABD Doları)

Tablo 1.1'den görüleceği üzere, 2013-2017 yılları arasında da Dünya yumurta ihracatında ilk 3 sırada kalmayı başarmıştır. Üretim miktarı bakımından talebi

karşılayabilmek için üreticiler üretimin her alanında hız kazanmak zorundadırlar, başka bir deyişle otomasyon sistemlerini olabildiğince üretime entegre etmek zorundadırlar.

Yumurta tasnifinin amacı, piyasaya sürülecek yumurtalarla ilgili resmi makamların belirlemiş oldukları kriterlere uymaktır, çünkü bu bir zorunluluktur. Bu amaçla, gelişen teknoloji yardımı ile otomatik makinalar yumurtaları şekil, kirlilik, kan lekeleri, kırık, çatlak ve ağırlıklarına göre tasnif etmelidirler.

Ağırlık tasnifine göre yumurtalar şu şekilde isimlendirilir:

- Kılavuz Yumurta (42 – 48 g)
- Piliç Yumurta (48 – 53 g)
- Yarka Yumurta (53 – 58 g)
- Yeni Ana Yumurta (58 – 62 g)
- Eski Ana Yumurta (62 – 67 g)
- Duple Yumurta (67 g üzeri)

Aynı zamanda 45 g altındaki yumurtalar genelde bayat olarak kabul edilmektedirler.

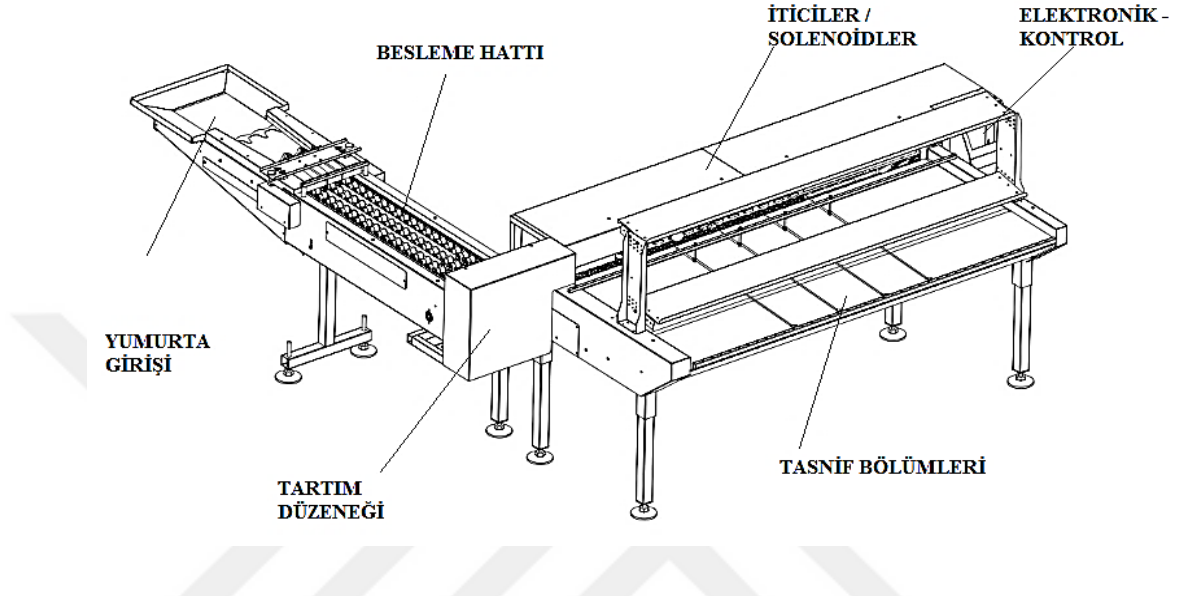
Piyasada A sınıfı yumurta ağırlık sınıfları ise

- XL Çok Büyük > 73 g
- L Büyük 63 – 72 g
- M Orta 53 – 62 g
- S Küçük < 52 g

olarak tasniflenmektedir. Dolayısı ile tasnifleme yapabilen makine en azından 4 farklı ağırlık kategorisinde tasnif yapabilmelidir.

### 1.1. Ağırlık Esasına Göre Yumurta Tasnifi

Temel olarak ağırlık esasına göre tasnif yapan makinalarda şu bileşenler bulunmaktadır:



Şekil 1.1: Yumurta Tasnif Makinası Bileşenleri

- *Yumurta Girişi*; Yumurtaların makinaya alındığı kısım
- *Besleme Hattı*; Yumurtaların tartım düzeneğine hep aynı şekilde oturmasını sağlayan ve oturuş biçimi bozursa düzelten mekanizma
- *Tartım Düzeneği*; Yük hücrelerinin bulunduğu kısım. Besleme hattı vasıtası ile gelen yumurtalar burada yük hücrelerinin üzerine oturarak tartım işlemi gerçekleşir.
- *İtici/Solenoidler*; Tartım düzeneğinde tartılan yumurtalar, elektronik kontrol kartı sayesinde önceden belirlenen ağırlık kısıtlarına göre ilgili tasnif bölümü önünden geçerken solenoidler tarafından itilmek sureti ile düşürülür.
- *Tasnif Bölümleri*; Ağırlıklarına göre yumurtaların toplandığı bölmelerdir.
- *Elektronik- Kontrol*; Tüm sistemi kontrol eden, tartımları yapan, iticileri hareketlendiren ve tasnif hakkında istatistiki bilgiler de verebilen sistemdir.

## 1.2. Sağlanacak Faydalar

Giriş bölümünde verildiği üzere, ülkemiz yumurta ihracatı açısından büyük bir oyuncudur. Gittikçe artan talepler ve hedefler, bu sektörde kalite seviyesini yukarılara çekmekte bunun sonucunda da otomasyon sistem talepleri artmaktadır.

Ne yazık ki bu talep karşısında, ülkemizde yerli tasnif makinası imalatı yapan üreticilerin sayısı bir elin parmaklarını geçmemekte, kalite ve yurtdışı ihracat açısından değerlendirildiğinde ise geriye bir veya iki firma kalmaktadır. Yumurta üreticileri genelde bu makinaları yurtdışından temin etmektedirler. Bu aynı zamanda teknik destek ve sürdürülebilirlik açısından yumurta üreticilerimizi dışarıya bağımlı hale getirmiştir.

Teknik açıdan bakıldığında, yerli imalatçıların mekanik yönden çok fazla problemleri olmamasına rağmen özellikle elektronik veya kontrol kısımlarında birçok problemleri mevcuttur. Aynı zamanda yerel yumurta üreticileri, ürün maliyetleri açısından imalatçıları çok eleştirmekte, fiyatların yerli üretim makinalarda daha aşağılara çekilmesi ve kontrol-elektronik kısmında da daha az problemlerle karşılaşmak istemektedirler.

Proje çıktısı sonucunda, yerli imalat yapan üreticilerimize bu konularda destek olabileceğimiz, daha az enerji harcaması yapan, uzun ömürlü, tamamen tarafımızdan dizayn edilmiş ve geliştirilmiş kontrol kartı üretilmiştir.

## 1.3. Literatür Taraması

Yumurta tasnifi temel olarak şu fiziksel özelliklere göre yapılmaktadır:

- a) Ağırlık,
- b) Şekil,
- c) Kabuk rengi,
- d) Kabuk yapısı,
- e) Kırık-Çatlak durumu,
- f) Kabuk temizliği,
- g) Üniform yapı özellikleri

Günümüzde tasnif yapan makinalar, ağırlık, kabuk-rengi yapısı, çatlak durumu ve kabuk temizliği prensipleri ile çalışmaktadırlar. Ağırlık dışındaki tasnifleme metodları, görüntü işleme teknikleri ile yapılmakta olup konumuz dışında kalacaktır.

Ağırlık prensibine göre tasnifleme makinaları ise kendi içerisinde 2'ye ayrılabilirler:

- Otomatik tasnif yapanlar
- Manuel tasnif yapanlar

Otomatik tasnif yapan makinalar, elektronik ölçüm ünitelerine sahip merkezi bir kontrol birimi tarafından kontrol edilen, sınıflama aralıkları hızlıca değiştirilebilen, elektronik kontrollü aktüatörler sayesinde hızları ve hassasiyetleri yüksek makinalardır.

Manuel tasnif yapan makinalar, mekanik tartım düzeneğine sahip ve sınıflandırma hassasiyetleri yüksek olmayan, yavaş makinalardır.

Otomatik tasnif sistemlerinde, yumurtanın yüksek hızda ağırlık sensöründen (LoadCell) geçerken doğru ve hassas bir ölçüm yapılması gerekmektedir. Makinaların yüksek hızda çalışırken oluşturdukları titreşimler yanında yük hücrelerine ait karakteristik sinyal gürültüleri ve yumurta geometrisinden kaynaklanan oturma/yerleşme problemleri alınan ölçümleri çok büyük oranda kararsız hale getirmektedir.

Buna benzer problemler ile literatürde çokça karşılaşılmıştır. Literatüre bakıldığında sinyal gürültülerinin, titreşim etkilerinin çeşitli filtreleme yöntemleri ile giderildiği görülmüş, dolayısı ile daha önceden yapılmış çalışmalar incelenmiş ve projemizde benzer teknikler kullanılarak ölçümlerin daha kararlı hale getirilmesi sağlanmıştır. Örneğin kiwi meyvesini tasnif eden makinada benzer problemler 2. dereceden Butterworth (Alçak Geçiren) filtre kullanılarak giderilmiştir (McGuinness et al., 2005).



Yüksek hızlı ölçüm sistemlerinde ve yük hücresi kullanımında oluşan bu dinamikler çıkış sinyalinin uygun filtreleme teknikleri ile filtrelenmesini şart koşmakta ve uygun filtre modelleri her makine için farklı olabilmektedir. Yine yüksek hızlı ağırlık ölçümü yapılan diğer bir uygulamada, darbeleri bir şekilde gelen ürünlerin ölçülmesi amacıyla 3. dereceden FIR filtre tasarımları kullanılmıştır (Gilman and Bailey, 2005).

Günümüzde giderek artan hız ve hassasiyet talebi, yeni bir yük hücresi tipi olan sönümleyici yük hücrelerini ortaya çıkarmıştır (Vishay, 2015). Bu yük hücreleri, içerisinde sönümlenme etkisi yaratan sıvı ile doludur ve fiyatları yanında enerji harcamaları da oldukça yüksektir. Projemizde bu tür pahalı yük hücresi kullanmak yerine, standart yük hücreleri kullanılarak filtreleme teknikleri sayesinde istenilen hassasiyete ve doğruluğa ulaşılmıştır.

Filtreleri dört temel sınıfta incelemek mümkündür;

- Alçak geçiren
- Yüksek geçiren
- Band geçiren
- Band durduran

Yapmış olduğumuz çalışma kapsamında projemizde alçak geçiren filtre kullanılmaktadır. Gürültü giderme yöntemlerinde ise kullanılan filtreleri;

- FIR (Sonlu Darbe Cevaplı): Geri beslemesiz
- IIR (Sonsuz Darbe Cevaplı): Geri beslemeli
- Adaptif Filtre: İstenilen bir işarete, öğrenme algoritmaları yardımıyla kendini adapte eden filtre şeklinde sıralayabiliriz.

Dinamik ağırlık ölçüm sistemlerinde kullanılan diğer bir başarılı metot ise Kalman filtresidir. Konveyör bant üzerinde ölçümleme yapabilen sistemde kullanılmış ve yüksek doğruluk yakalanmıştır (Halimic and Balachandran, 1995).

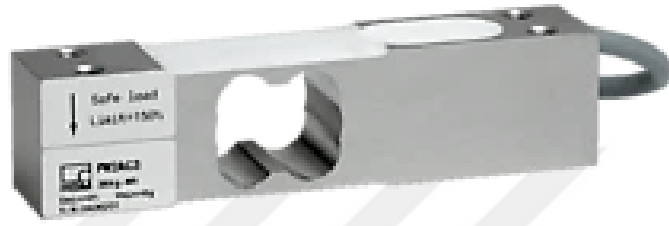
Kalman filtresi aslında bir filtreden çok tahminleme algoritmasıdır. Rudolph E. Kalman tarafından 1960 yılında yayınlanmıştır. Kalman filtresinin en önemli özelliği, modellenen sistemin geçmiş, şimdiki ve gelecekteki durumlarını öngörebilir olmasıdır (Welch and Bishop, 2006).



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Yük Hücreleri (Load Cell)

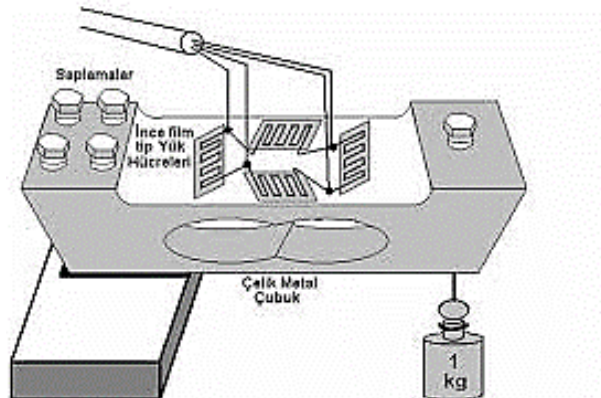
Yük hücreleri, üzerine uygulanan fiziksel kuvvete göre çıkışında bir elektrik sinyali oluşturan sensörlerdir. Temelde, bir metal altlık üzerine yerleştirilmiş strain gauge köprüsünden oluşmuştur.



Fotoğraf 2.1: Yük Hücresi (Load Cell)

#### 2.1.1. Yük hücreleri nasıl çalışır?

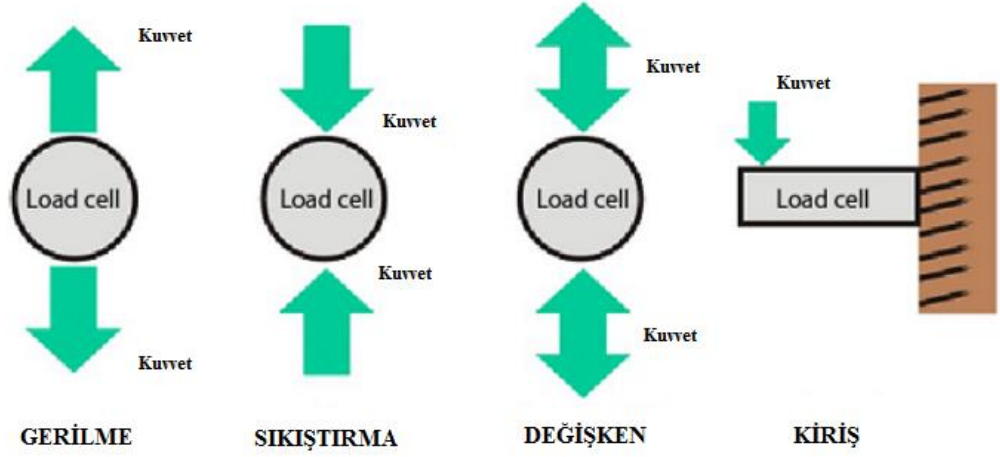
Fiziksel bir kuvvet etkisiyle metal şase üzerinde oluşan deformasyon sonucu, strain gaugelerden oluşmuş wheatstone köprüsü üzerinde gerilim oluşur. Elde edilen bu gerilim-sinyal, bir sinyal güçlendirici veya Analog Dijital çeviriciler ile anlamlandırılarak ağırlık veya kuvvet bilgisine dönüştürülür.



Şekil 2.1: Yük Hücresi ve Wheatstone Köprüsü

## 2.1.2. Yük hücresi çeşitleri

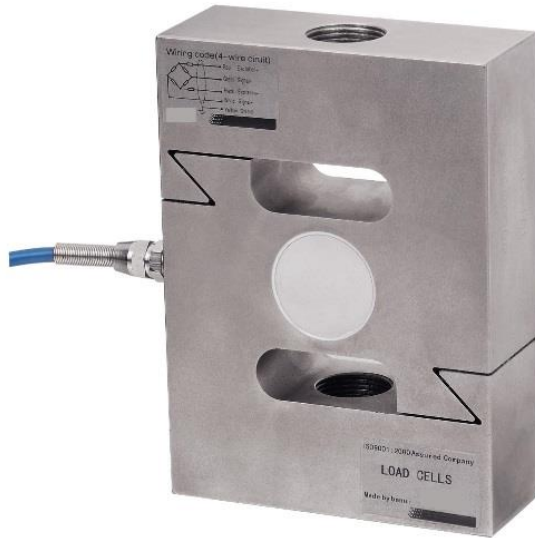
Yüklenme tiplerine göre 4 tip yük hücresi çeşidi mevcuttur:



Şekil 2.2: Yüklenme Tiplerine Göre Yük Hücreleri

### 2.1.2.1. S tipi yük hücreleri

Basma ve çekme yönlerinde çalışabilen yük hücreleridir. Düşük maliyetli olup, yüksek güvenilirlik sağlamaktadırlar. Tank, silo, paketleme, dozajlama gibi birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.



Fotoğraf 2.2: S Tipi Yük Hücresi

### 2.1.2.2. L tipi yük hücreleri

Lama şeklinde geçen bu yük hücreleri, kiriş yüklenmelerinde daha efektiflerdir. 220 kg ile 4,5 ton arasındaki kapasitelerde çalışabilirler.



Fotoğraf 2.3: L Tipi Yük Hücresi

### 2.1.2.3. Platform tipi yük hücreleri

Tek noktadan ve tek yönde yüklenmeye uygun, düşük maliyetli küçük platformlar için uygundur. Aynı zamanda, bu proje kapsamında da kullanılan yük hücresidir.



Fotoğraf 2.4: Platform Tipi Yük Hücresi

#### 2.1.2.4. Sönümleyici (Damped) Tipi Yük Hücreleri

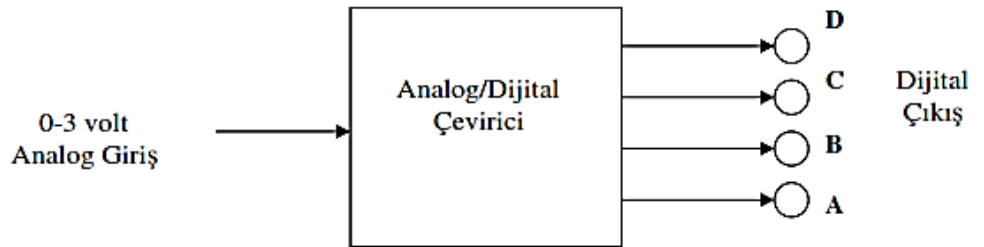
Bu tip yük hücreleri, titreşim sönümlenme ve yüksek hızlardaki ölçüm kararlılığı nedeni ile çok hızlı uygulamalarda kullanıma daha uygundur. Buna karşın maliyetleri çok yüksektir.



Fotoğraf 2.5: Sönümleyici Tipi Yük Hücresi

## 2.2. A/D Çeviriciler

Analog/Dijital (A/D) çeviriciler, yük hücresinin oluşturduğu gerilimi mikroişlemcilerin anlayabileceği dijital koddan dönüştürürler. Yük hücresinin oluşturduğu sinyaller, çok düşük değerlerde olduklarından ayrıca güçlendirilmeleri gerekmektedir. A/D çeviriciler genelde 4 bit çözünürlükten başlayarak 24 bit çözünürlüğe kadar gitmektedirler.



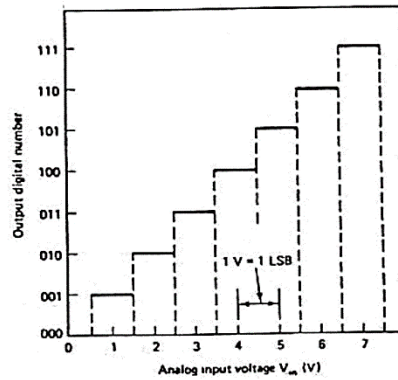
Şekil 2.3: Analog/Dijital Çevirici Blok Diyagramı

A/D çeviricilerde giriş sinyali analog olarak değişen bir gerilimdir. Şekil 2.1'den görüleceği üzere, giriş gerilimi 0 ile 3 volt arasında değişmekte ve bu aralıkta herhangi bir değeri alabilmektedir. Çıkışta ise, girişteki analog değerlere göre bir binary sayı elde edilmektedir. Örneğin, yukarıda verilmiş olan blok diyagramdaki 4 bit çevirici için bazı giriş voltajlarına göre çıkış değerlerini şu şekilde görebiliriz:

Analog Giriş(Volt)	Dijital Çıkış			
	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1.6	1	0	0	0
3	1	1	1	1

**Tablo 2.1:** A/D Çevirici Analog Giriş ve Dijital Çıkış Tablosu

### 2.2.1. Çözünürlük ve İdeal ADC



**Şekil 2.4:** 3 Bit A/D Çeviricinin Analog Giriş Gerilimi ve Çıkış Kodu

İdeal 3 bit bir ADC'nin giriş çıkış karakteristiği Şekil 2.4 üzerinden görülebilir. Vin'nin 0 ile 7 volt arasında değiştiğini düşünürsek, 3 bit ADC  $2^3 = 8$  farklı çıkışa sahip olacaktır. Bunlar, binary 000 ile 111 arasındadır. Her bir ilave volt dijital çıkışı, 1 LSB (düşük değerlikli bit) arttıracaktır. ADC çözünürlüğü kavramına daha yakından bakarsak, çözünürlük, dijital çıkışı 1 LSB değiştirmek için giriş voltaj değerinde meydana gelen değişiklik olarak tanımlanmaktadır.

Çözünürlük denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\text{Çözünürlük} = \frac{\text{Değer}}{\text{bit}}$$

### 2.2.2. Kuantalama hatası

İdeal bir ADC, kuantalama belirsizliği nedeni ile çevirme sırasında, değeri azaltılamayan bir hataya sebep olmaktadır.

Şekil 2.4'te görüleceği üzere, 1 Volt giriş için ADC çeviricinin çıkışının lojik 001 olacağı görülmektedir. Lojik 001 çıkışı 0,5 V ile 1,5 V arasında girişler için elde edilmektedir. Dolayısı ile V'nin değerinde bir belirsizlik oluşmaktadır. Bu hata payı  $+1/2$  LSB veya  $-1/2$  LSB kadar olmaktadır ve buna kuantalama hatası adı verilmektedir.

Kuantalama hatası, bütün ADC çeviricilerde mevcuttur. Bu hata analog girişin daha fazla parçalara ayrılması ile yani çözünürlüğün artırılması ile azaltılabilmektedir.

### 2.2.3. ADC çevirici çeşitleri

Sinyallerin çevirme işlemleri için, birçok işlemler grubu tasarlanmıştır. Fakat standart olarak 3 grup altında incelemek mümkündür.

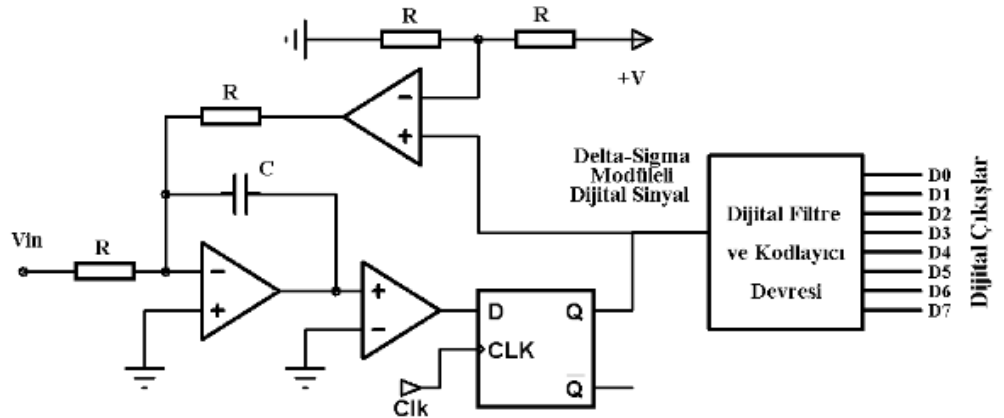


Çevirici Tipi	Göreceli Hız	Çevrim Hızı	Tipik Uygulamalar
Integralli	Yavaş	Milisaniye	DC- Voltmetre
Ardışıl Yaklaşımlı	Hızlı	Mikrosaniye	Ses
Flaş	Çok Hızlı	Nanosaniye	Video

**Tablo 2.2:** ADC Çeviricilerin Karşılaştırılması

Son yıllarda temelinde integralli çevirici barındıran, fakat çevrim frekansı ve çözünürlüğü değiştirilebilen yeni bir tip ortaya çıkmıştır. Delta-Sigma ADC dönüştürücü olarak adlandırılan bu tip dönüştürücülerde, çok yüksek doğrulukta ve çözünürlükte dönüşüm yapma olanağı ortaya çıkmıştır.

Delta-Sigma çeviriciler, çıkışlarında kullanılan dijital filtreler ve sayıcı saat frekansı değiştirilerek analog sinyalin türüne göre ADC özellikleri değiştirilebilir. Çözünürlük arttıkça çevrim süresi uzamaktadır. Giriş sinyalinin bant genişliği düşük olduğunda daha iyi sonuçlar vermektedir. Özellikle bizimde uygulamamız olan load-cell gibi transdüserlerin çıkışlarını dijitalle dönüştürmek için kullanılan en iyi çevrim yöntemidir.



**Şekil 2.5:** Delta-Sigma ADC Blok Şeması

Şekil 2.5'te verilen blok şemadan görüleceği üzere, çevrim katı, integral alıcı, karşılaştırıcı, D Flip-Flop, geri besleme, dijital filtre ve kodlayıcı kısımlardan oluşur. Dijital filtre ve kodlayıcı devreleri kullanılarak, istenilen bit sayısında dijital çıkışlar düzenlenir. Günümüzde, bu tip çeviriciler programlanabilir bir yapıda entegre olarak üretilmekte, böylece filtre derinliği ve çıkış bit sayısı ayarlanabilmektedir.

### 2.3. ARM Mikro Denetleyiciler

1983 yılında, Acorn Computers Ltd. tarafından ARM1 (Acorn RISC Machine 1) adıyla geliştirilmeye başlanmıştır. 1985 yılında ise, piyasaya sürülmüştür. Ertesi yıl aynı firma tarafından 32 bitlik ARM2 modeli çıkmıştır. 1990 yılında firma adını Advanced RISC Machine Ltd. olarak değiştirmiş ve 1998 yılına kadar bu isimle devam etmiştir. Son olarak 1998 yılında günümüzdeki ismi olan ARM Ltd. ismini almıştır. ARM firması çeşitli mimariler tasarlamakta ve bu tasarımları işlemci üretici firmalara lisanslamaktadır. ARM firması işlemcilerin fiziki olarak üretimlerini yapmamaktadır.

ARM işlemciler, 32 bitlik yapısı sayesinde 8 bitlik işlemcilere göre çok hızlıdır. Ayrıca düşük güç tüketimi ve yüksek performansı sayesinde günümüzde yaklaşık %75'lik oranla gömülü sistemler üzerinde en çok kullanılan işlemcilerdir.

ARM mimarisinde 3 temel grup bulunmaktadır:

1. Klasik ARM işlemciler: ARM7, ARM9, ARM11
2. Gömülü sistemlere yönelik ARM işlemciler: Cortex M serileri
3. Uygulama seviyesindeki ARM işlemciler: Cortex A serileri

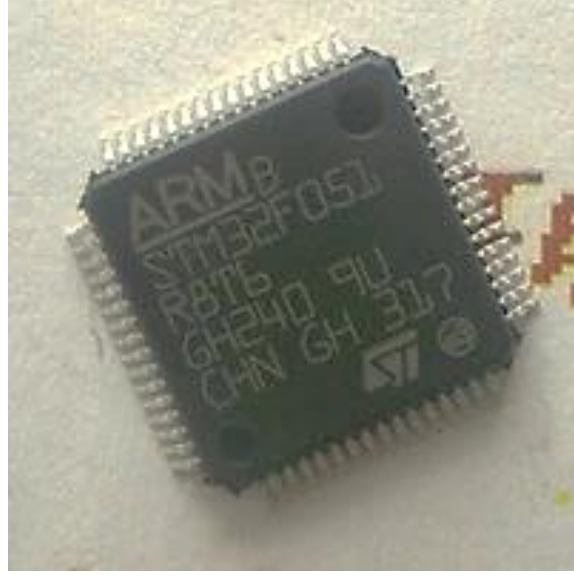
Klasik ARM işlemciler, daha çok mikro denetleyicilerin çekirdeklerini oluşturmaktadırlar. Motor kontrolü, sinyal işleme gibi donanım seviyesine yakın işlemlerde kullanılmaktadırlar. Giderek bu tip klasik çekirdeklerin yerine yeni çekirdekler kullanılmaya başlanmıştır.

Cortex M Serisi ARM işlemciler ise, gerçek zamanlı ve düşük güç tüketimi gerektiren gömülü sistem uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Cortex M tipi bir işlemci kullanılmıştır.

Cortex A serisi, ARM işlemciler ise hayatımızda oldukça büyük yer tutan akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar gibi son kullanıcı ürünlerinin çoğunda kullanılmaktadırlar. Örneğin, iPhone, Ipad, Blackberry gibi yüksek performans gerektiren birçok cihazda bulunmaktadırlar.

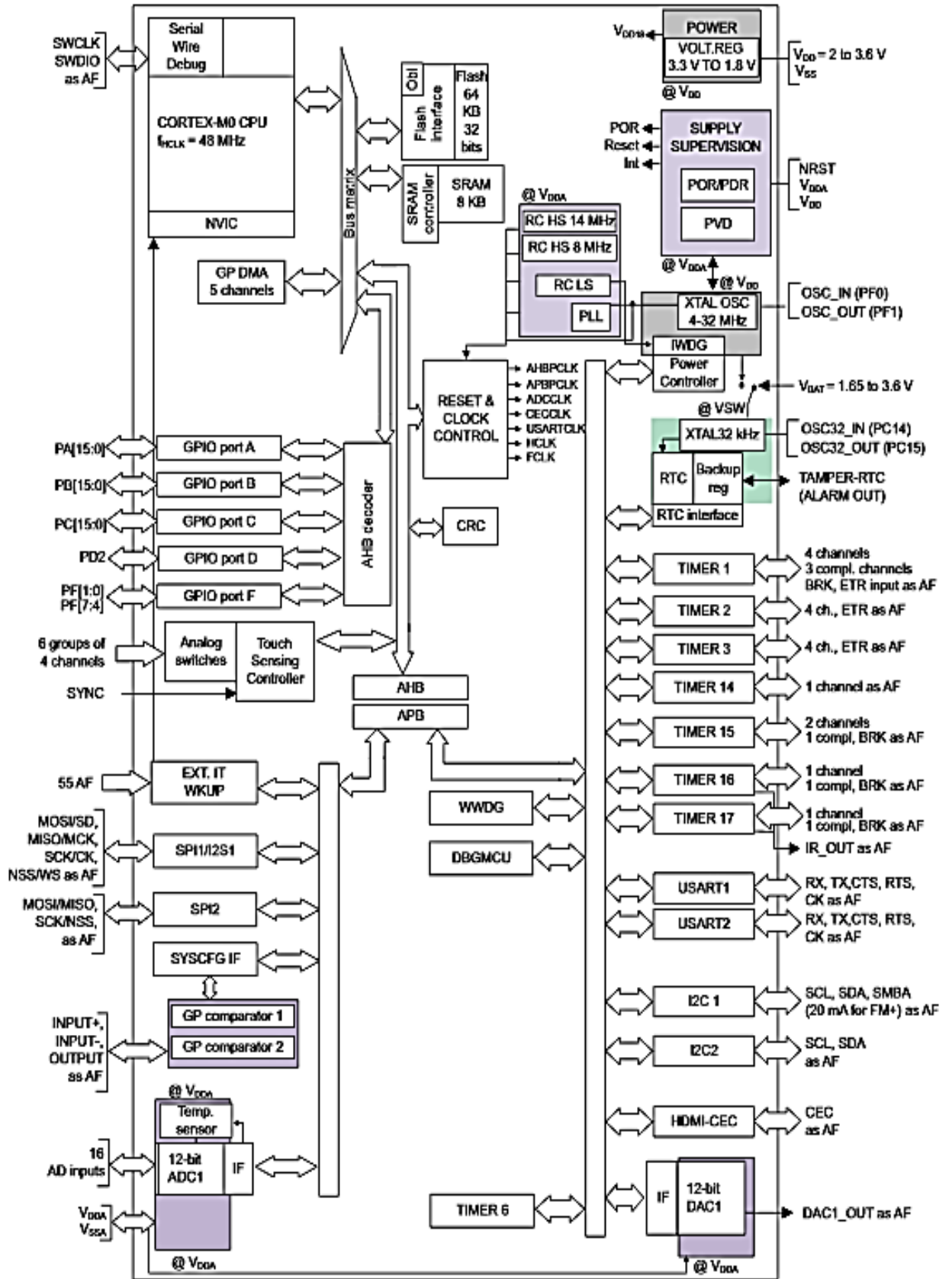
Projemizde, ST firmasının Cortex M0 serilerinden olan STM32F051 (ST, 2013) işlemcisini kullandık. Bu işlemcinin seçilmesindeki nedenler, aşağıda belirtilmiştir.

- **Hız:**  
ARM Cortex M0 serisi işlemciler 48 MHz hızlara kadar çıkabilmektedir. Bu hızlarda bir cycle içerisinde 32 bit işleyebilmektedir.
- **Güvenirlilik:**  
Cortex M0 serisi işlemciler özellikle endüstriyel uygulamalarda çokça karşılaşılan elektriksel, manyetiksel parazitlere karşı bağışıklığı yüksek bir işlemcidir. EMI – EMC testlerinden rahatlıkla geçmektedir.
- **Kod verimliliği:**  
Cortex M0 serisi işlemciler Keil geliştirme ortamında insana yakın arayüz sayesinde çok hızlı kod geliştirme fırsatı sunmaktadır. Tüm sistem yazılımları ANSI C dili kullanılarak yazılmıştır.
- **Boyut:**  
QFN kılıf boyutu ile elektronik kart üzerinde çok az bir alan kaplayarak, kontrol kartının ufalmasını sağlamaktadır.



**Fotoğraf 2.6:** Cortex M0

Temel özellikleri ise, 8 Kbyte SRAM, 64 Kbyte ROM, 12 bit ADC, 12 bit DAC, 2 V- 3.6 V arası besleme voltajı. Fotoğraf 2.6'da ise işlemcinin blok şemasını görmek mümkündür.

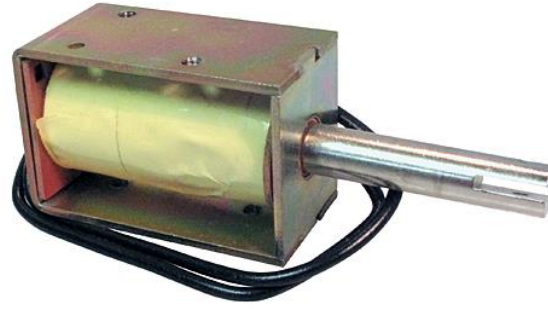


Şekil 2.6: STM32F051C6 Blok Şeması

## 2.4. Aktüatörler

Bir sistemi kontrol için, elektriksel, termal ya da hidrolik, pnömatik gibi mekanik büyüklükleri harekete dönüştüren elemanlardır. Elektromekanik aktüatörler, hidromekanik aktüatörler ve pnömatik aktüatörler şeklinde genel olarak sınıflandırılabilirler.

Aktüatörler, son-kontrol elemanlarıdır ve kontrol ünitesi ile gerçek işlem (mekanik hareket) arasındaki arayüzü oluştururlar.



Fotoğraf 2.7: Elektromekanik Aktüatör

### 2.4.1. Elektromekanik Aktüatörler

Projemizde kullandığımız yumurta iticileri, solenoid tipi elektromekanik bir aktüatördür. Temelde elektromekanik aktüatörlerde kaynağından yayılan enerji, manyetik veya elektrik alan enerjisine veya termal enerjiye dönüştürülür. Servo motorlar, öteleme ve dönme hareketi sağlayan solenoid aktüatörlerde bu sınıftadırlar.

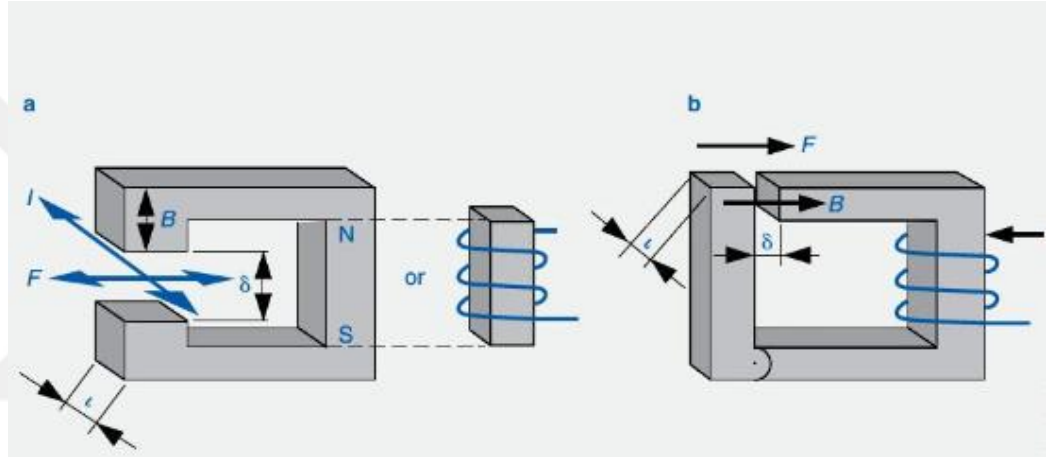
#### 2.4.1.1. Manyetik Alanda Kuvvet Oluşumu

Elektrodinamik ve elektromanyetik aktüatör prensipleri arasındaki fark, manyetik alanın oluşturduğu kuvvetten kaynaklanmaktadır. Her iki prensibin ortak noktası, manyetik alanın uyarımı için kullanılan bobin ve yumuşak manyetik malzemedir. En önemli fark, teknik olarak mümkün koşullar altında elde edilebilir

kuvvette yatmaktadır. Aynı şartlar altında, elektromanyetik prensibinin uygulanması ile üretilen kuvvet 40 misli daha büyüktür. Bu tip aktüatörler için elektriksel zaman sabiti, mekaniksel zaman sabitleriyle karşılaştırılabilir. Her iki kuvvet üretim prensipleri doğrusal ve döner tahrik mekanizmalarında uygulanabilir.

#### 2.4.1.1.1. Elektrodinamik Prensibi

Elektrodinamik ilkesi, manyetik alan (Lorentz kuvveti) içinde indüklenmiş iletkenleri ya da hareket eden yükler üzerinde oluşan kuvvetleri temel alır.



Şekil 2.7: Elektrodinamik ve Elektromanyetik Kuvvetler

Elektrodinamik kuvvetler, aşağıdaki bağıntı ile verilirler:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha$$

Elektromanyetik kuvvetler, aşağıdaki gibi ifade edilirler:

$$F = B^2 \cdot A / 2\mu$$

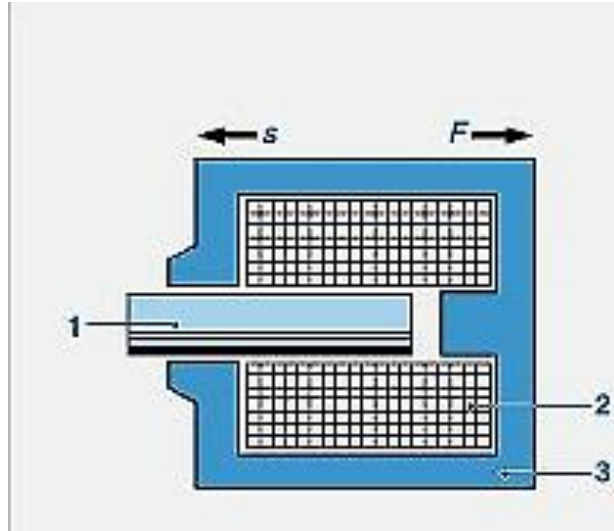
Bir alan sargısı (bobin) ya da kalıcı mıknatıs DC, manyetik alan (manyetik akı yoğunluğu B) oluşturur. Dönüşüm için gerekli olan elektrik enerjisi, hareketli armatür bobine i akımı uygulanmasıyla sağlanır. Düşük kütleli ve düşük indüktanslı

armatür bobinleri tasarlanarak, aktüatörün yüksek derecede hassas olması sağlanabilir. Aktüatör kontrolüyle, armatür ve alan bobinlerinin tersi yönünde aktif kuvvet kontrol edilebilir.

Armatür akımı tarafından üretilen ikinci alan, bobinin doyma etkilerinin azaltarak manyetik devre üzerinde akar. Yaklaşık olarak, elektrodinamik aktüatör tarafından üretilen kuvvet akıma oransaldır.

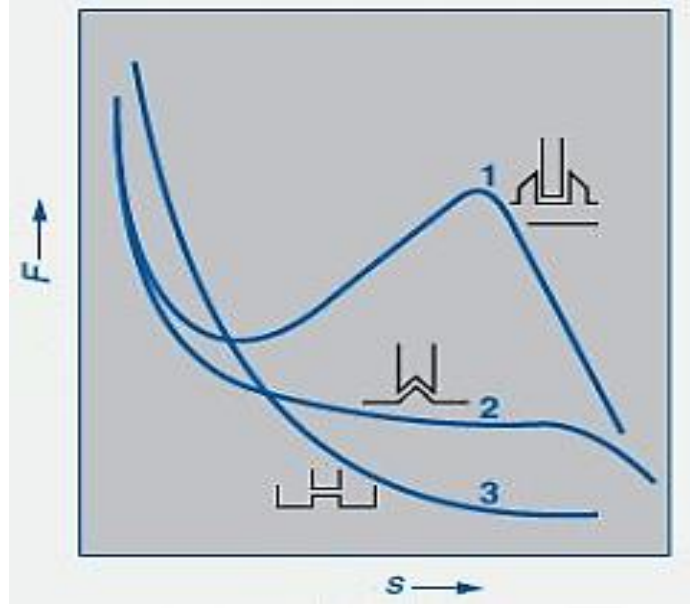
#### 2.4.1.1.2. Elektromanyetik Prensibi

Elektromanyetik ilkesi, manyetik alan içindeki yumuşak metal malzemeyle karşılıklı çekim oluşturarak sağlanır. Elektromanyetik aktüatörler sadece dönüştürülecek enerjiyi ve alan enerjisini üreten bir bobinle donatılmıştır. Çalışma prensiplerine göre, alan bobini daha yüksek bir indüktans sağlamak için demir çekirdek ile donatılmıştır. Bununla birlikte kuvvet, manyetik akı yoğunluğunun ( $B$ ) karesi ile oransal olduğundan kuvvet transfer yönü tek yönlüdür. Elektromanyetik aktüatörler, mekanik yay ya da manyetik dönüş mekanizması gibi dönüş elemanına gereksinim duyarlar.



Şekil 2.8: Solenoid Eleman: 1. Aramtür, 2. Bobin, 3. Manyetik Şaşe





Şekil 2.9: Solenoid Anahtarlama Fazları

## 2.5. Haberleşme

Kontrol kartının, sistemin bileşenleri ile konuşması veri alış-verişi yapması haberleşme olarak adlandırılır. HMI denilen, insan- makine arayüzü sistemlerinde toplanan veriler, verilen koşullar, kurallar gibi birçok parametrenin insanlar tarafından kontrol kartına bildirilmesi için haberleşme sistemleri kullanılır.

Haberleşme sistemleri, fiziksel katman ve yazılımsal katman olmak üzere iki ayrı kısımda incelenmektedir.

Fiziksel katman elektriksel sinyallerin konu olduğu, yazılımsal katman ise haberleşme protokollerinin konu olduğu kısımlar olarak ele alınabilir.

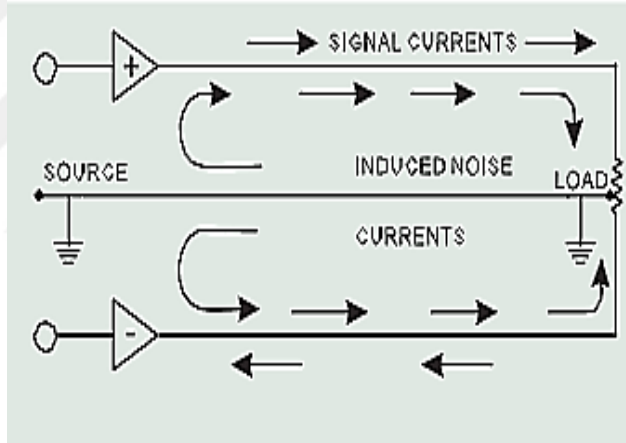
### 2.5.1. Haberleşme iletim hatları prensipleri

İletim hatları, temelde, Balanslı ve Balansız Hat olarak iki başlık altında incelenebilir. Bunlar, aşağıda açıklanmıştır:

### 2.5.1.1. Balanslı Hat

Balanslı iletim yolunda, üç ayrı hat bulunur. Bunlar, yüksek (+), düşük (-), toprak (gnd) olarak adlandırılır. Yüksek ve düşük hatlar toprağa göre eşit potansiyel değere sahiptir, aynı sinyali taşırlar fakat fazları terstir. En önemli avantajı ana sinyale sızıntı yapan radyo frekansları, elektromanyetik dalağalar, elektriksek gürültüleri toprağa akıtarak ana sinyalin bozulmasını engellerler.

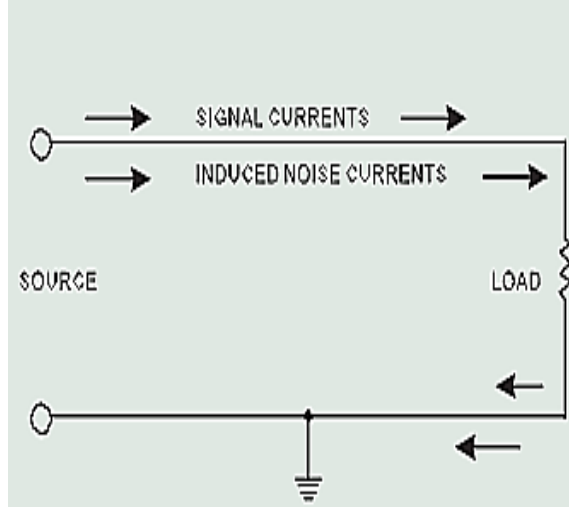
Sistem temelde şu şekilde çalışır, sinyal ilk olarak diferansiyel tipteki bir Opamp'a biri düz öteki  $180^\circ$  ters fazda olmak üzere gönderilir. Böylece sinyal üç ayrı yol üzerinden devam eder. Sinyal yol boyunca kimi gürültülerle karşılaşır ve bunlarla birleşir. Bağlantının öteki ucunda "-" ters döner. Gürültü sinyali kendisi ile faz dışı kalır, toprağa geçer ve yok edilmiş olur.



Şekil 2.10: Balanslı İletim

### 2.5.1.2. Balanssız Hat

Balanssız iletim yolunda iki hat bulunur. Bunlar, sinyal ve toprak olarak adlandırılır. Toprak hattı, sinyali taşıyan hattın dışında ve onu saracak şekilde bir blendaj biçimindedir. Bu iki hattın toprağa göre potansiyel farkları eşit değildir. Bu nedenle balanssız hat adını almıştır. Çevresel gürültülerden balanslı hatta göre daha kolay etkilenir.



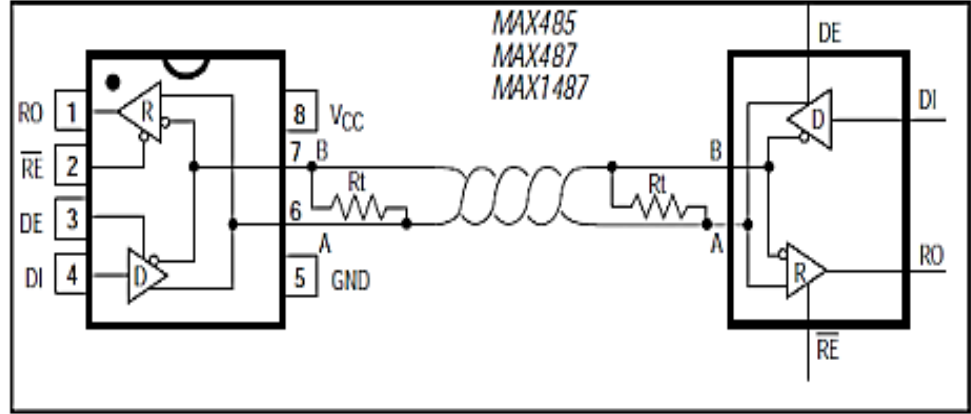
Şekil 2.11: Balanssız İletim

Bu iki yapıdan balanslı sistemler, özellikle projemizin içerdiği, yoğun manyetik alanlar, elektriksel gürültüler, emi, emc gibi problemlerin üstesinden rahatlıkla gelmektedir. Bu nedenle, projemizde kullandığımız balanslı sistem için piyasada uzun yıllardan beri yer edinmiş ve kendini kanıtlamış RS485 sistemleri kullanılması uygun görülmüştür.

#### 2.5.1.2.1. RS485 İletişim

Balanslı iletim prensibine dayanan ve genellikle PLC sistemleri, çoklu iletişimin olduğu otomasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Balanslı iletişim prensiplerinde açıklandığı üzere, sistemlerde en az 2 opamp bulunması gereklidir. Ayrıca, bu opamp devrelerinin beslenmesi, eşitlenmesi, akım direnci gibi yardımcı komponentlerle desteklenmesi gerekmektedir.

İşte tüm bu ihtiyaçları tek bir tümleşik devrede toplayan çeşitli firmaların ürünleri mevcuttur. Bunlardan en fazla bilinen ve kullanılan Maxim firmasının MAX485 (Maxim, 2013) ürünüdür. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında da sayılan yukarıda sayılan avantajları nedeni ile bu ürün kullanılmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Maxim Firmasının Balanslı İletişim Ürünü, MAX485

Her sistemin avantaj ve dezavantajları olduğu gibi, RS485 sistemlerde de balanslı iletimin avantajları yanında, dezavantajları da vardır.

Bunların başında, veri iletimi ve alımı aynı anda yapılamamasıdır. Yapı gereği, kullanılan hat aynı zamanda ya alıcı ya da verici olabilir. Cihazlar tüm hattı aynı anda dinleyebilirler, fakat sadece bir tanesi veri yollayabilir. Bu tip sistemlerde kullanılan protokoller genelde master-slave tarzı bir baskın cihazın olduğu ve bu cihazı dinleyen diğer köle cihazlardan oluşur.

#### 2.5.1.2.2. Modbus Protokolü

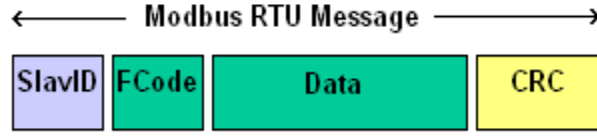
Haberleşme teknolojilerinde elektriksel arayüz yanında, yazılımsal bir arayüzün olduğundan bahsedilmiştir. Elektriksel arayüz, haberleşme sinyallerin hangi elektriksel büyüklüklerde çalışacağından söz ederken, yazılımsal arayüzler ise elektriksel arayüzden bağımsız, gelen verinin hangi kurallar bütünü içerisinde değerlendirileceğinden bahseder.

Yazılımsal arayüzler, aslında protokoller bütünüdür. Aynı insanların konuşmalarındaki gibi, bir kurallar bütünü vardır. Böylece, her dilde olduğu gibi makinaların da kullandıkları protokoller bütünü, yani bir dilleri vardır. Bu benzetimden yola çıkarak, endüstride kullanılan birçok haberleşme protokolü olduğundan rahatça bahsedilebilir.

Proje bünyesinde kullandığımız haberleşme yöntemi, Modicon (Modicon Inc, 1996) firmasının 1979 yılında geliştirdiği modbus protokolüdür. Endüstride uzun yıllardan beri kullanılan ve hala da en yüksek kullanım oranına sahip, adres mantığı üzerine kurulmuş bir sistemdir.

Çalışma mantığı, temelde bir ana cihaz ve ona bağlı birçok alt cihazı temel alır. Ana cihaz (Master) alt cihazlara (Slave) erişmek için, her bir alt cihazın adresini bilmek zorundadır. Bu adresler ise, 1-254 arası olabilir. Haberleşme genel olarak RTU ve ASCII tabir edilen iki yöntemle yapılabilir. Bu projede, makine arayüzüne daha yakın olan RTU modu seçilmiştir. RTU mod içerisinde veriler hexadecimal notasyonda gösterilmektedir.

Bir modbus paketi, alt cihaz adres bilgisi, fonksiyon kodu, bilgi ve hata kontrolü byte'larından oluşur (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Modbus Paket Yapısı

Ana cihaz (Master), tüm alt cihazlarla tek tek iletişime geçer. Her bir modbus paketi, alt cihazlara ulaşır ve ilgili cihaz bilginin kendine geldiğini paket içerisinde en başta yer alan adres bilgisi sayesinde tespit eder. Fonksiyon kodu, alt cihaza okuma mı yoksa yazma mı yapılacağını söyler ve okuma/yazmanın yapılacağı adreste data olarak uç birim tarafından algılanır.

Her modbus paketinin sonuna, 2 byte'tan oluşan CRC tabir edilen hata kontrol bilgisi eklenir. Bu bilgi sayesinde, bilgi üzerinde herhangi bir bozulma tespit edilir ve gelen paket işleme alınmaz.

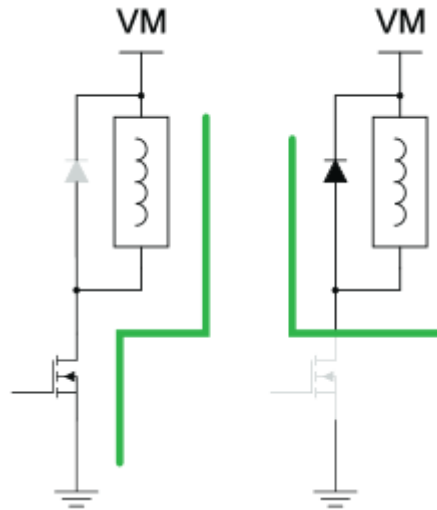
## 2.6. Solenoid Sürücüsü

Bahsedildiği üzere solenoid, temel anlamda elektro-mekanik bir aktüatördür. Elektromanyetik etki ile itilen veya çekilen bir piston parçası içerir. Pistonun ne kadar güçlü çekileceği, akımın bir sonucudur. Sistem ne kadar yüksek akımla çalışırsa, o ölçüde itme veya çekme kuvveti güçlü olur. Solenoid iticiler prensipleri gereği, endüktif yüküdür. Endüktif yükleri sürerken dikkat edilmesi gereken başlıca noktalar şunlardır:

- Yeterince büyük voltajın uygulanması,
- Anahtarlanmanın olabildiğince hızlı yapılması,
- Anahtarlama elemanın kapalı olması durumunda, oluşan ters EMK'nın akması için alternatif bir yolun bulunması.

Anahtarlama elemanı olarak, genelde mosfet transistörler kullanılır. Mosfet transistörler, düşük iç dirençleri sayesinde fazladan enerji kaybı oluşturmayarak yüklerin daha verimli şekilde açılıp/kapatılmasını sağlar.

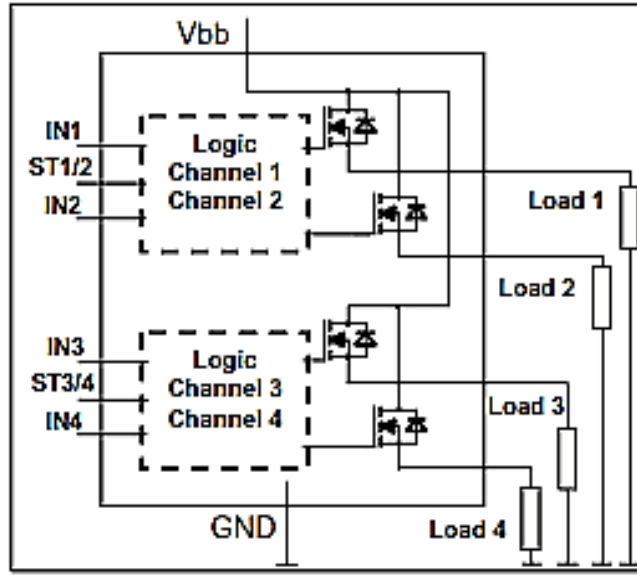
Temel solenoid devresi şu şekilde gösterilebilir:



Şekil 2.14: Solenoid Anahtarlama Devresi

Bu projede, solenoid yükleri sürmek için geliştirilmiş özel tümleşik devreler kullanılmıştır. Birçok firmanın üretmiş olduğu ürünler incelendikten sonra, kendisini otomotiv dünyasında kanıtlamış ve birçok araçta kullanılan Infineon firmasının ITS724G ürününü kullanmaya karar verilmiştir.

ITS724 ürünü endüktif yüklerin sürülmesinde dikkat edilmesi gereken gereklilikleri yerine getirmekle birlikte, içerisinde 4 ayrı sürme kanalı, kısa veya açık devre kontrolü, geniş çalışma voltaj aralığı gibi birçok yararlı özelliği sunmaktadır.

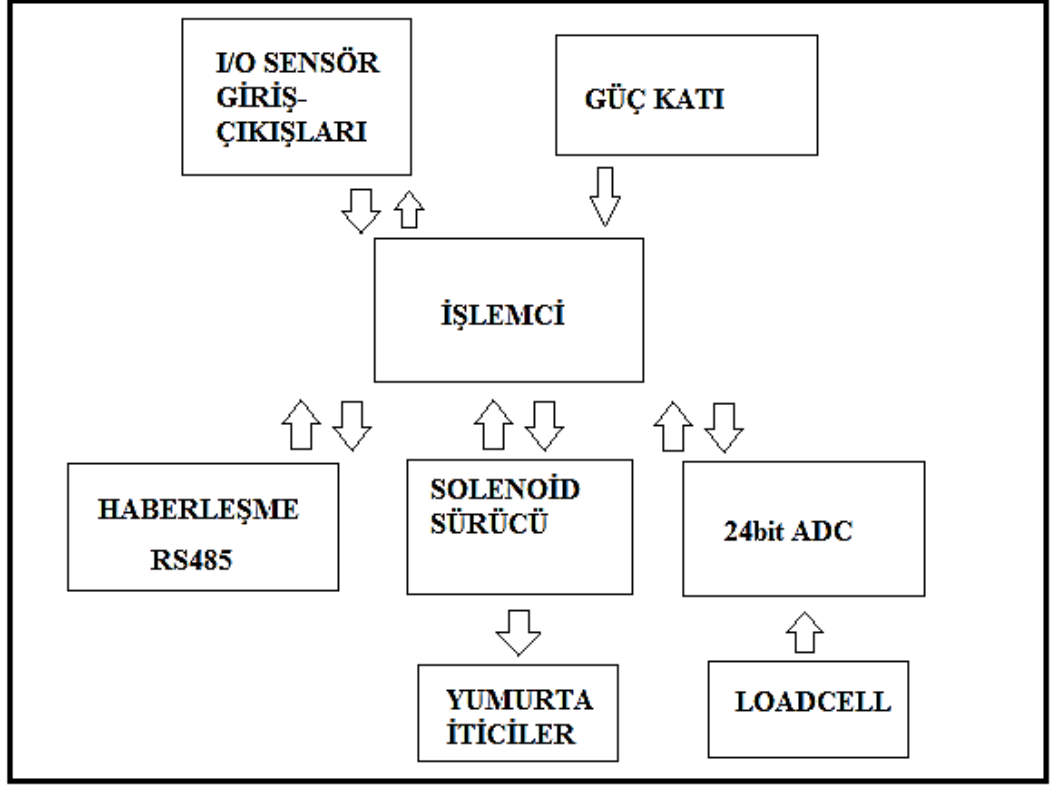


Şekil 2.15: ITS724 Solenoid Sürücü

ITS724 ürünü, mikroişlemciden almış olduğu logic komutlarla, bağlı olduğu solenoid iticileri açıp/kapatmaktadır. Eğer soloneid iticilerde bir arıza oluşursa, bunu da algılayıp mikroişlemcinin haberdar olmasını sağlar. Bu tip arıza teşhisi özellikleri sayesinde de, ürünün katma değeri de artmış olacaktır. Ayrıca soloneid iticilerin uygun şekilde sürülmesi ile anahtarlama kayıpları azalacak ve enerji sarfiyatı düşecektir.

## 2.7. Donanımsal Sistem Tasarımı

### 2.7.1. Sistem



Şekil 2.16: Sistem Blok Diyagramı

**Güç katı:** Sistem voltajı 24 V'dir. Kontrol kartının beslenmesi için 5 VDC güç katındaki smps sisteminden beslenmektedir. Sistemde temelde bu iki voltaj seviyeleri bulunmaktadır.

**I/O Sensör giriş-çıkışları:** Kontrol kartının ölçme zamanı ve düşme zamanı bilgisini aldığı dijital girişleri ve acil stop butonu girişini barındırır.

**İşlemci:** Kontrol kartının kalbi gibidir. Tüm giriş-çıkış işlemleri, ölçümler, kontrol, filtreleme gibi işlemleri yapar. Tüm çevre birimleri ile haberleşir.

**Haberleşme:** RS485 devresini barındırır. Haberleşmeye ait olan tüm komponentler burada yer alır.



**Solenoid sürücü:** Yumurta iticilerini işlemciden aldığı komut ile kontrol eden birimdir.

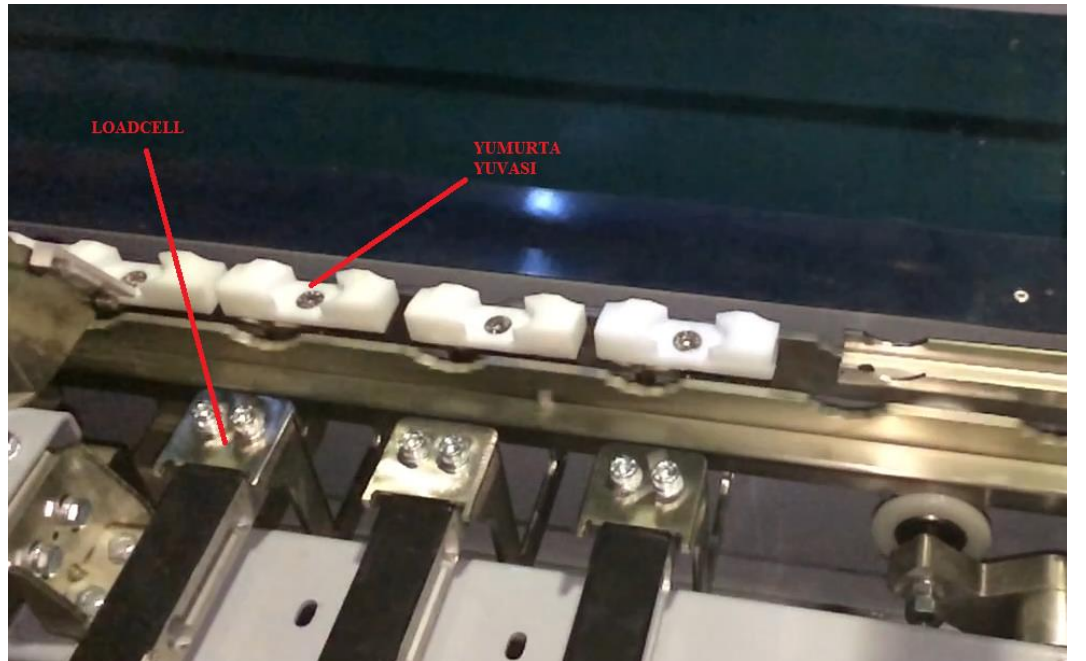
**24 bit ADC:** Ölçüm sisteminin kalbini oluşturan, loadcell üzerinden aldığı sinyalleri işleyerek işlemciye ileterek yumurta ağırlığının hassas bir şekilde ölçülmesini sağlayan birimdir.

**Yumurta iticiler:** Elektromekanik aktüatörlerdir.

**Loadcell:** Yumurta ağırlığını ölçen birimdir.

### 2.7.2. Tartım sistem tasarımı

Yumurta ağırlığının tartılmasını sağlayan loadcell ile ADC içeren birimdir. Loadcell, üzerindeki yumurta ağırlığı ile orantılı düşük büyüklükte bir sinyal üretir. Bu sinyal, işlemcinin işleyebileceği dijital değil analog sinyaldir. Öncelikle bu seviyedeki sinyalin uygun bir seviyeye yükseltilmesi, daha sonra da dijital hale çevrilmesi gerekmektedir.



**Fotoğraf 2.8:** Tartım Sistemi

### **2.7.2.1. Elektronik Tasarım**

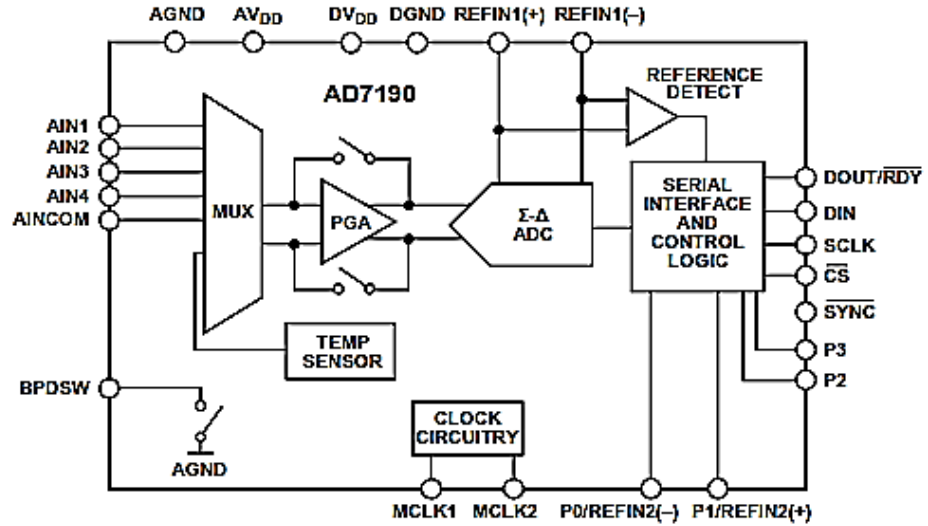
Loadcell tarafından oluşturulan sinyal, öncelikle amplifier tarafından yeterli büyüklüğüne kadar güçlendirilmelidir. Bu tip sinyaller için genel geçer yöntem, op-amp kullanmaktır. Op-amp ile çok düşük voltajlar x1000 oranına, hatta daha büyük oranlara kadar yükseltilebilmektedir.

Yük hücresinin sinyal oranı, genelde üretici tarafından ürün ile verilmektedir. Bu orana göre, hangi yük skalasında hangi sinyal değeri alınabileceği ürün kataloğundaki “Rated Output” parametresinden bulunabilir. Örneğin, 10 kg yüklemeli platform tipi yük hücresinde Rated output 2 mV/V olarak verilmiş ise, yük hücresi tam yükte (10 kg) 1 V ile beslenirse, 2 mV sinyal çıkışı vermektedir.

Genel olarak yük hücreleri, uyartım voltajı (Excitation) olarak 10 V ile beslenmektedirler. Bu şekilde yukarıdaki hesabı tekrar yaparsak, 10 kg ile yüklenmiş bir yük hücresi 2 mV yerine 20 mV verecektir. Görüldüğü üzere, bu sinyal seviyesi işlenmek ve anlamlandırabilmek için hala çok düşük seviyelerdedir. Bu nedenle, sinyalin amplifikatör tarafından işlenebilecek büyüklük kadar güçlendirilmesi, daha sonrasında ise A/D çevirici ile dijital kodlara çevrilmesi gerekmektedir.

Projede ilk olarak op-amp kullanılmış, fakat hedef hassasiyet ve çevre koşullarının değişimi (sıcaklık, nem) sinyal üzerinde olumsuz etkiler yaratmıştır. Bu olumsuz etkilerin giderilmesi için, sıcaklık kompozisyonlu devreler, offset voltajı çok küçük olan op-amp modelleri, sinyal giriş direnci çok büyük olan mosfet girişli op-amp kullanılması gerektiği görülmüştür. Tüm bu yapıları tek tek oluşturmak yerine, komponent üreticilerin hem sinyal için bu tip noktaları dikkate alan aynı zamanda ADC içeren tümleşik devrelerinden kullanılmıştır. Böylece, tüm bu işlemlerin tek bir çip içerisinde olması hem yer kaplamaması hem de daha uygun maliyetinin yanında, çeşitli kritik gürültü seviyelerinden en az düzeyde etkilenmesini sağlamıştır.

Projede Analog devices firmasının, özellikle loadcell uygulamaları için geliştirmiş olduğu AD7190 entegresini kullanılmıştır. Bu entegre içerisinde, 4 adet single, 2 adet differential sinyal girişi, 1 ile 128x yükseltme gücüne sahip amplifier, 24bit Sigma-Delta ADC, 4.7Hz ile 4.8kHz arasında ADC çevrim hızına sahiptir.

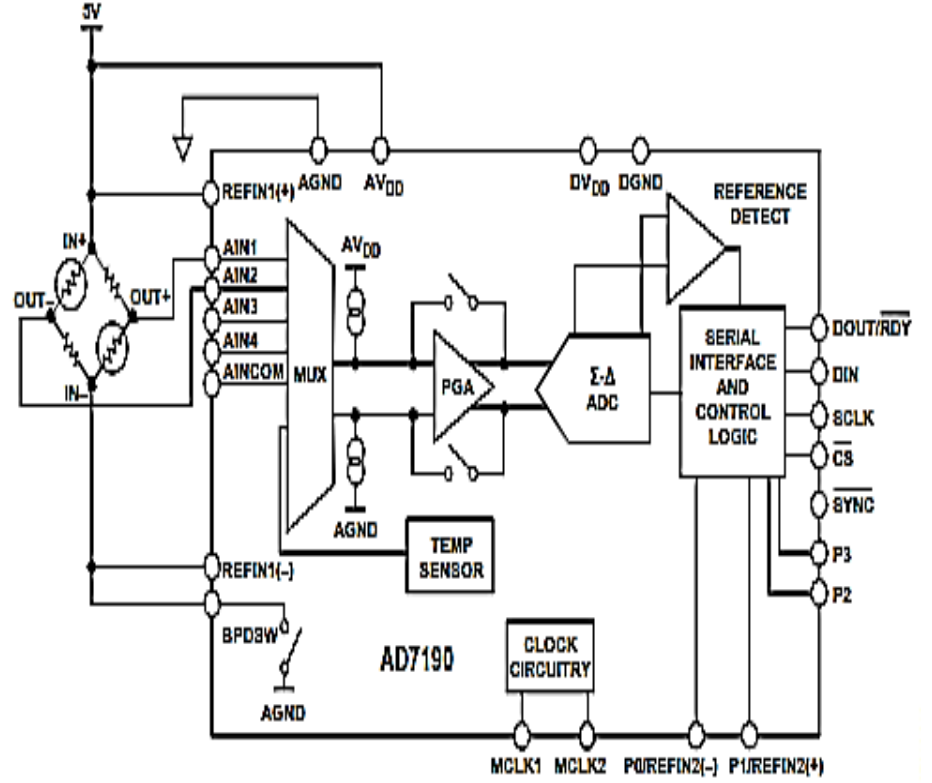


Şekil 2.17: AD7190 Blok Şeması

Bu entegre loadcell, ölçümü için tüm gereklilikleri yerine getirmekte aynı zamanda 2 kanal ölçüm alabilmektedir. Mikroişlemci ile SPI seri haberleşme sayesinde, sadece 4 sinyal ucu ile tüm özellikleri yönetilebilmektedir.

Loadcell sinyali, AIN1-2 arasına bağlanmaktadır. Bu şekilde bağlamanın amacı, sinyalin olabildiğince dış etkilerden etkilenmemesidir. Daha sonra, entegrenin mikroişlemci tarafından aldığı kodlar ile ölçüme hazırlanması gerekir. MCLK1-2 uçları osilatör giriş ucu olmasına rağmen, çip kendi bünyesinde bir osilatör barındırmaktadır, bu nedenle dışsal bir osilatör kullanılması tercih edilmemiştir. Entegrenin sahip olduğu iki filtre mevcut olup, denemelerde her birini uygun değerler elde edinceye kadar çeşitli konfigürasyonlarda denenmiştir. Bu filtreler, özellikle şebekeden kaynaklı 50Hz gürültüleri bastırmakta çok yararlı olmuştur.

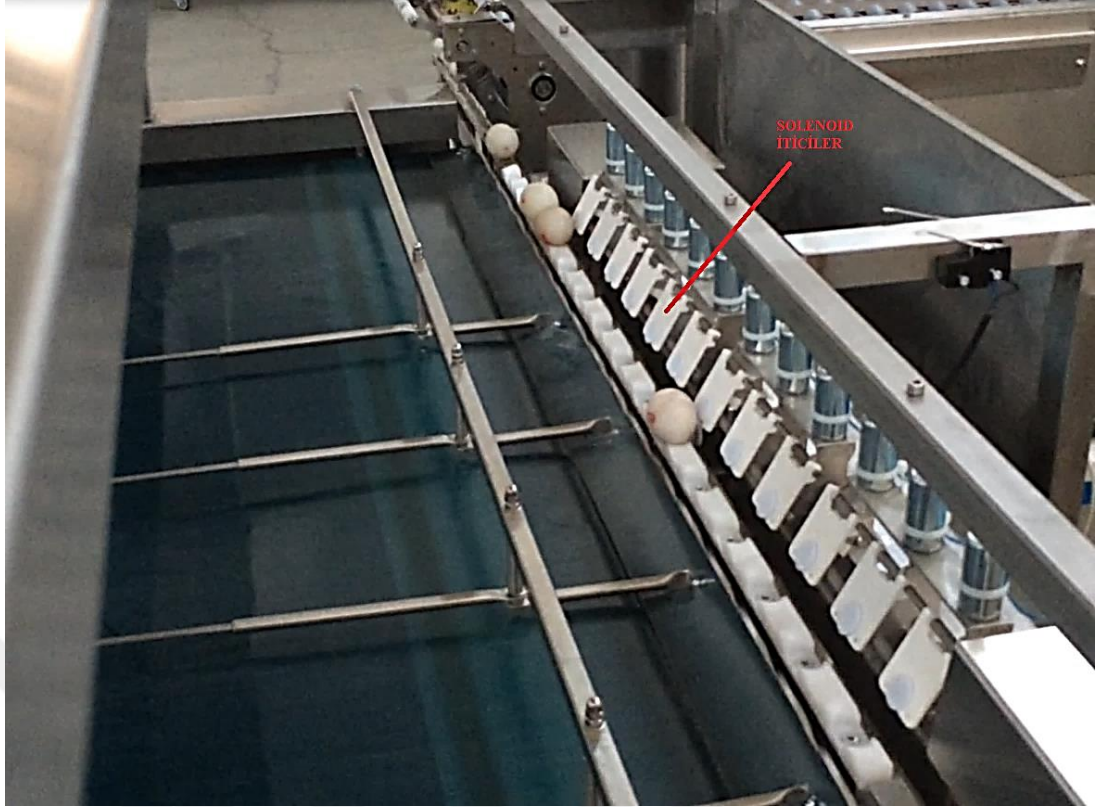
Üretici tarafından önerilen bağlantı şeması aynı şekilde projede kullanılmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Temel Bağlantı Şeması

### 2.7.3. Solenoid iticiler ve sürücü tasarımı

Tartım sisteminin ölçtüğü yumurtalar, mikroişlemci tarafından değerlendirildikten sonra uygun iticilerle tasnif bölmesine yönlendirilirler.



**Fotoğraf 2.9:** İtme Düzeneği

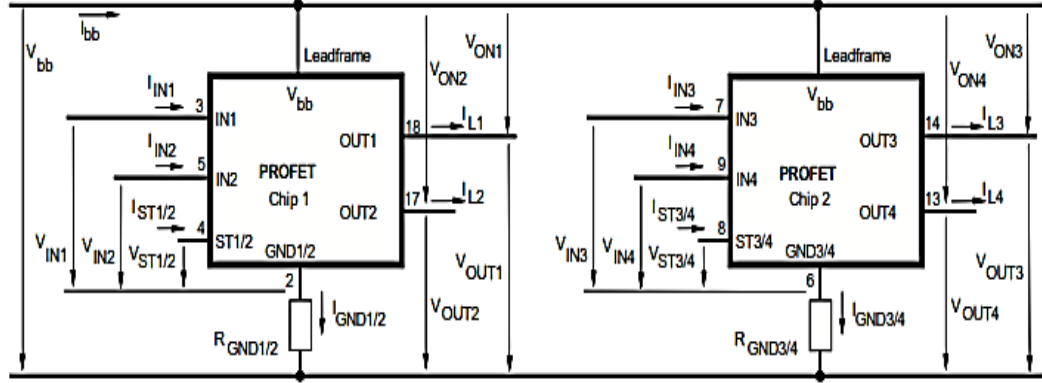
İtici solenoidlerin çalışma gerilimleri 24 VDC, akımları ise 1 A civarındır. Projede kullandığımız solenoid sürücü tümleşik devresi, mikroişlemciden almış olduğu lojik sinyallerle itilmesi gereken solenoidin bobinini enerjilendirir. Sürücü devreleri ne kadar hızlı bir şekilde anahtarlama yaparsa, sistem verimi ve hızı da o ölçüde yükselmektedir.

### **2.7.3.1 Elektronik Tasarım**

Solenoid karakteristikleri gereği, içerdiği bobin endüktif yüküdür. Bu yükün kurallara uygun sürülebilmesi için, hızlı anahtarlama yapan mosfetler, kısa devre oluşmasını algılayan lojik devreler, çok düşük iç dirence sahip anahtarlama elemanları ve endüktif yükten oluşan ters EMK'nın sönümlenmesi gereklidir. Tüm bu blokların ayrı ayrı oluşturulması yerine, bu tip ihtiyaçlara üretilmiş özel tümleşik devreler incelenmiştir. Araştırmalar sonucunda seçilmiş olan Infineon markasının ITS724G tümleşik devresi ihtiyaçları karşılamıştır.

Kullanmış olduğumuz ürün, Infineon markasının smart high-side switch ailesinden ITS724G'dir (Infineon, 2013). Bu üründe ihtiyaç olan tüm gereksinimler karşılanmıştır. Sahip olduğu 7.3A anahtarlama akımı ve mosfetlerin 90 mohm iç dirençleri uygulama için yeterli olmuştur.

Üreticinin önermiş olduğu şema ile bağlantılar yapılmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19: İtici Solenoid Sürücü Şeması

Mikroişlemci tarafından gönderilen sinyaller, solenoid sürücüsü tarafında şu şekilde algılanır:

Channel 1 and 2	Chip 1	IN1	IN2	OUT1	OUT2	ST1/2
Channel 3 and 4 (equivalent to channel 1 and 2)	Chip 2	IN3	IN4	OUT3	OUT4	ST3/4
<b>Normal operation</b>		L	L	L	L	H
		L	H	L	H	H
		H	L	H	L	H
		H	H	H	H	H
<b>Open load</b>	Channel 1 (3)	L	X	Z	X	L <sup>20)</sup>
		H	X	H	X	H
	Channel 2 (4)	X	L	X	Z	L <sup>15)</sup>
		X	H	X	H	H
<b>Overtemperature</b>	both channel	L	L	L	L	H
		X	H	L	L	L
		H	X	L	L	L
	Channel 1 (3)	L	X	L	X	H
		H	X	L	X	L
	Channel 2 (4)	X	L	X	L	H
		X	H	X	L	L

Şekil 2.20: ITS724G Doğruluk Tablosu

Örneğin, IN1 ucundan alınan lojik 1 sinyali (H), OUT1 çıkışında lojik 1 (H) yapacaktır. Mikroişlemci bu sinyali yollarken, aynı zamanda ST1/2 uçlarındaki sinyal bilgisini de kontrol eder. Bunu sürücü katında herhangi bir problem

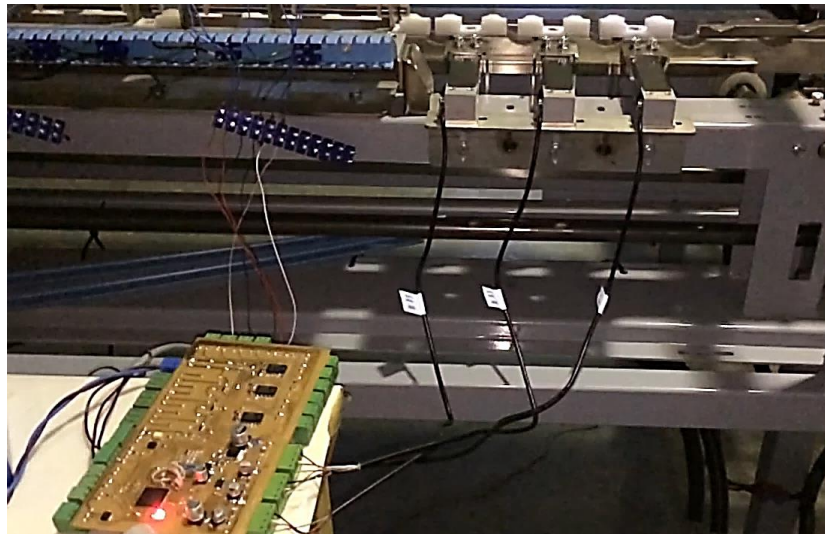
olduğunda sistemi arıza moduna geçirmek ve daha çok hasar oluşmasını önlemek adına yapar.

#### 2.7.4. Mikroişlemci kontrol ve haberleşme sistem tasarımı

Tasnif sisteminin tüm çevresel elemanlarının (tartım sistemi, itici sistemi, düşme zaman sensörü, tartım sensörü) uyum içinde çalışmasını ve insan ara yüzünde bulunan ekrana verileri aktarmayı sağlayan sistemdir.

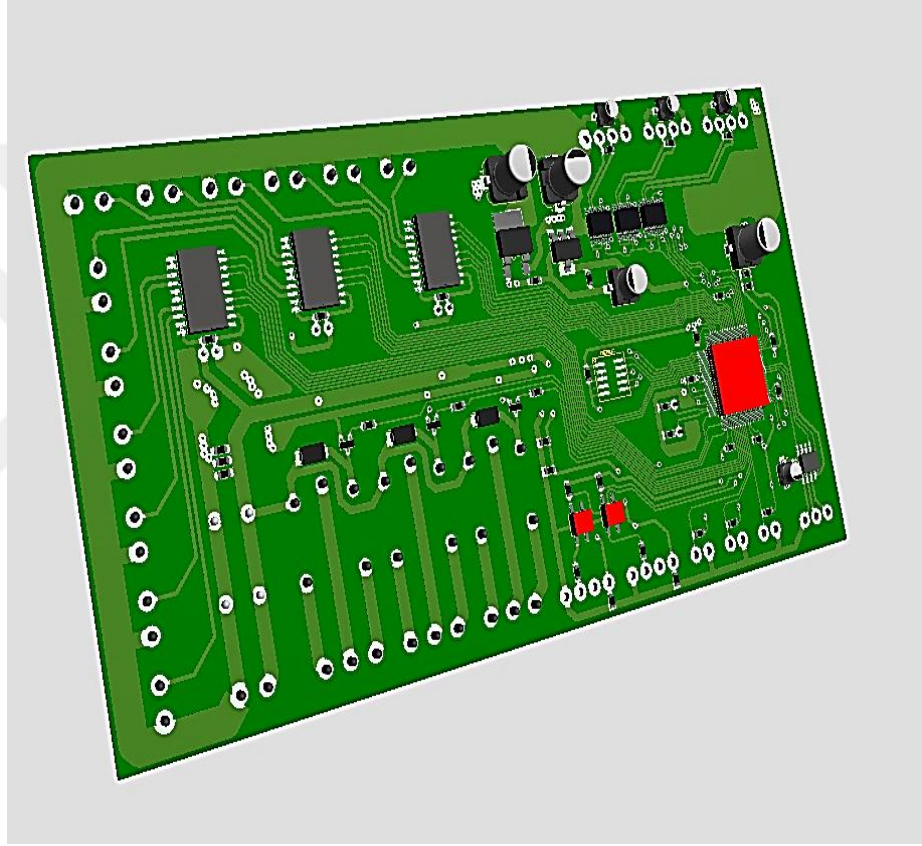
Çevresel elemanların hepsi, mikroişlemci üzerinde sonlanmaktadır. Mikroişlemci çevresel elemanlara yolladığı ve aldığı sinyaller ile tasnif işleminin hatasız gerçekleşmesini sağlar. Tasnif sisteminin sahip olduğu girdi-çıkı kapasitesi şu şekilde özetlenebilir:

- 12 Adet çıkış (İtici solenoidler)
- 12 Adet giriş (İtici solenoidler)
- 2 Adet giriş (Tartım ve düşüm sensörleri)
- 3 Adet giriş (Acil stop, Start, Stop butonu)
- 1 Adet SPI haberleşme portu (24bit ADC)
- 3 Adet çıkış (Motor, Lamba, Yürüyen bant kontrolü)
- 1 Adet USART haberleşme portu



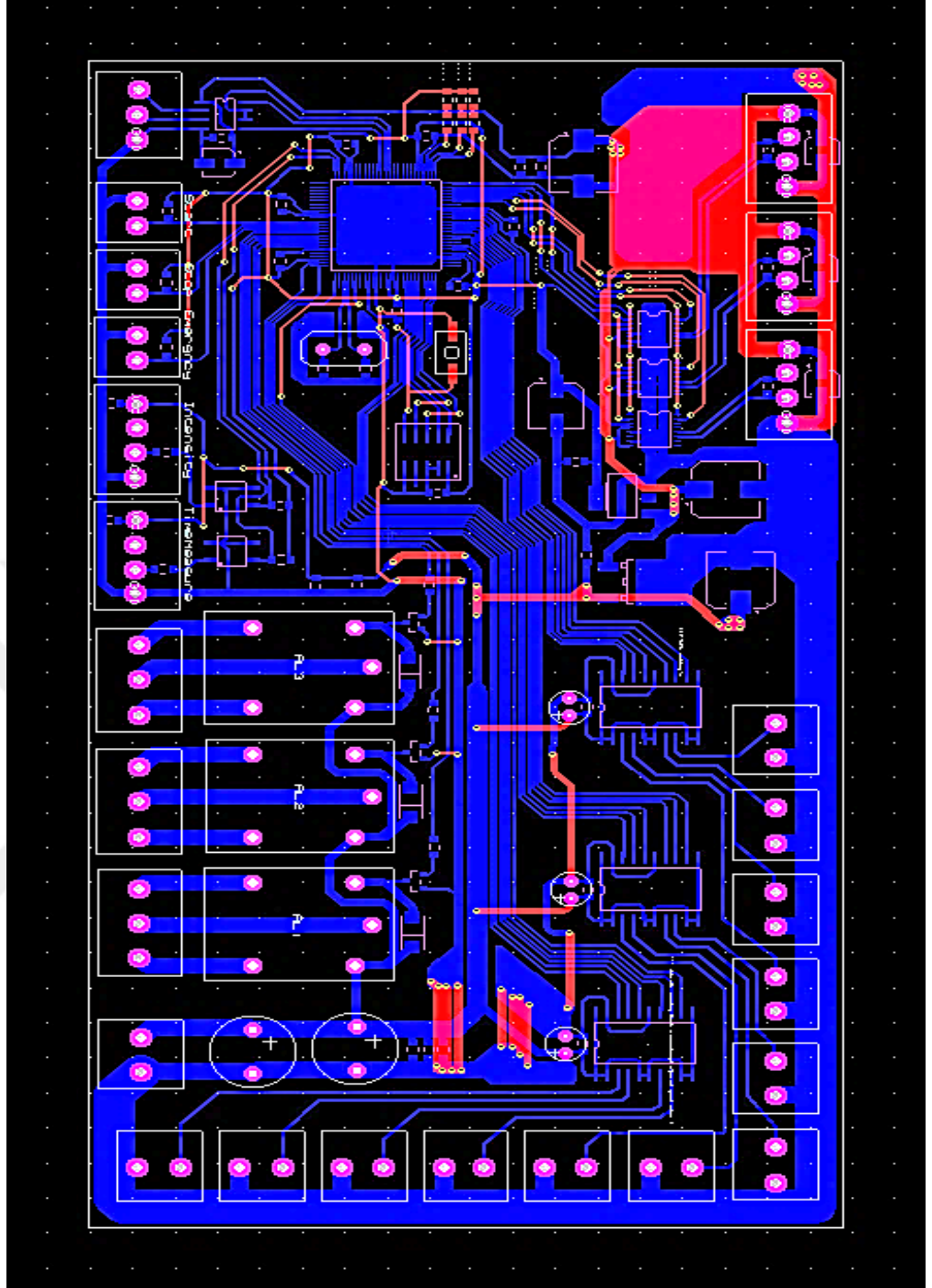
**Fotoğraf 2.10:** Kontrol Kartı ve Loadcell Bağlantıları

Kontrol kartı üzerinde solenoid sürücü entegresi, ARM mikroişlemci, smps güç kaynağı, 24 bit ADC ve giriş-çıkış soketleri yer almaktadır. Kontrol kartının PCB çizimi Proteus programı kullanılarak 2 katman çizilmiştir. PCB çizimi yapılırken kullanılan kılıf tipleri çok az yer kaplayan SMD denilen yüzey montaj elemanlarından seçilmiştir. Çizimi yapılan prototip kontrol kartının 3D çıktısı Şekil 2.21'den görülebilir.



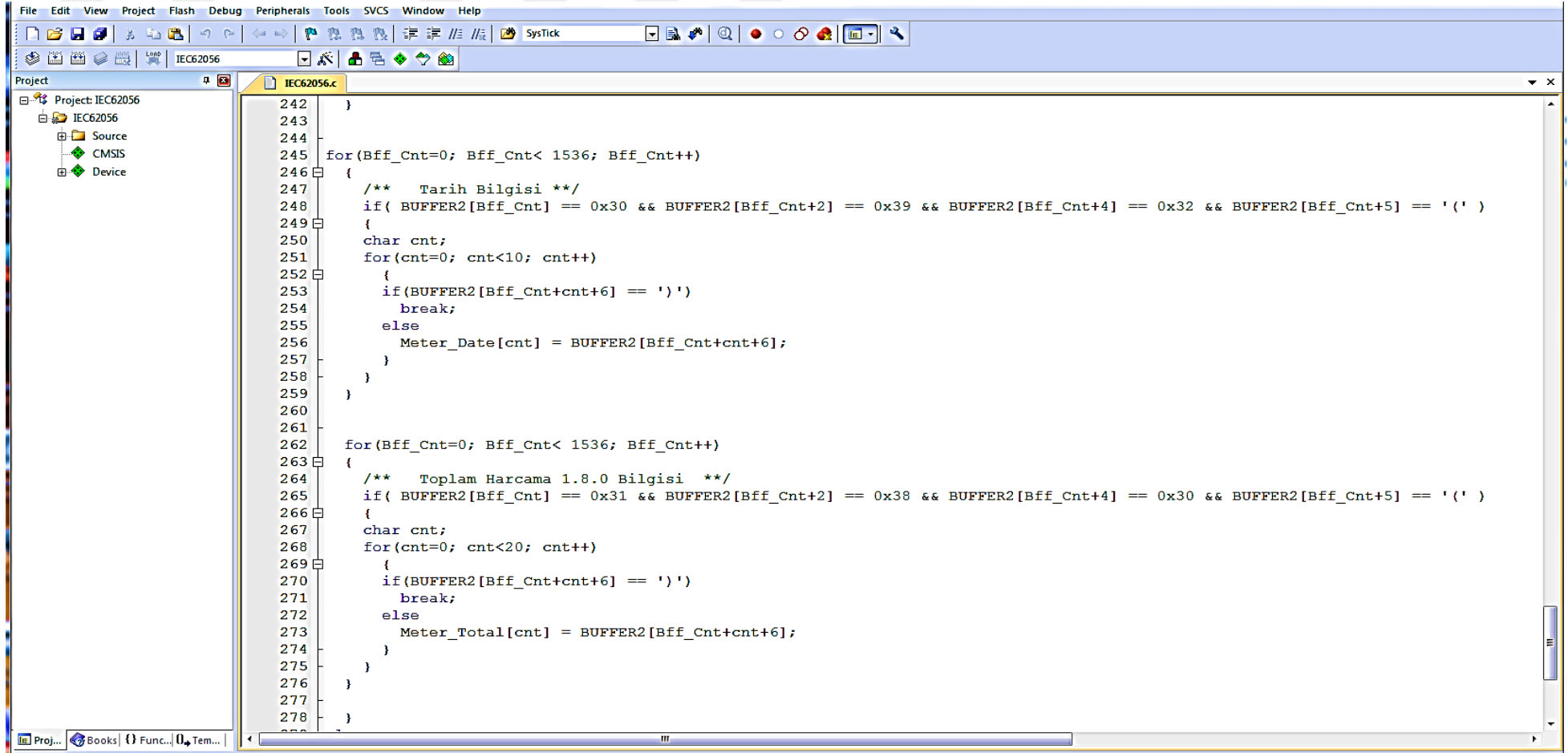
Şekil 2.21: Kontrol Kartı 3D Çıktısı





Şekil 2.22: Ares PCB Çıktısı

ARM mikroişlemci, Rom-Flash hafızasından aldığı makine kodlarını işletir. Kullandığımız işlemcinin ROM kapasitesi 64 Kbyte olup, proje için yeterli olduğu belirlenmiştir. ROM içerisine yüklenen kodlar, yine Arm şirketinin geliştirmiş olduğu Keil uvision IDE programı içerisinde yazılmış ve derlenmiştir. Kullanılan yazılım dili ANSI uyumlu C'dir.



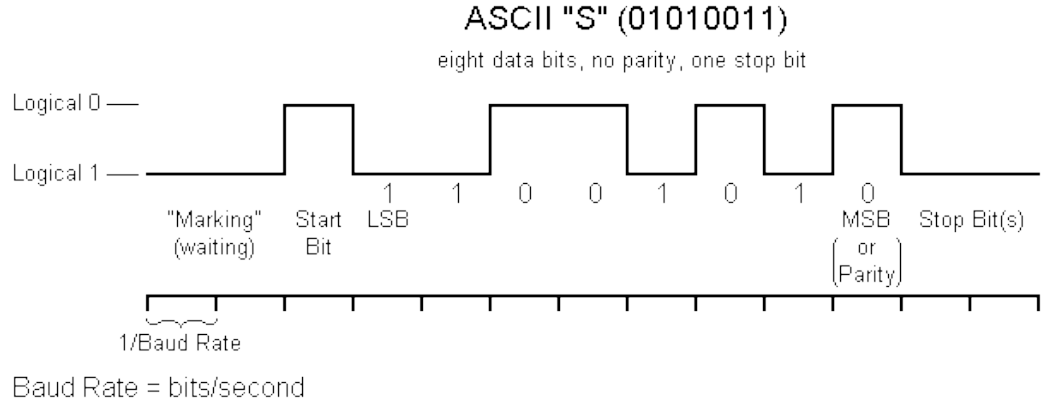
Şekil 2.23: Keil uVision Derleyici Kullanıcı Arayüzü

Keil yazılımı ile derlenmiş olan kodlar, mikroişlemci içerisine bir programlayıcı kullanılarak atılmaktadır. Firmaların Arm işlemcileri programlamak için ürettikleri birçok ürün mevcuttur. Bu ürünlerin birçoğu sadece programlama yapmaktadırlar, çünkü seri üretime yönelik cihazlardır. Seri üretime dayalı çalışmalarımızdan yola çıkarak, projede geliştirme özellikleri olan ve işlemci çalışırken kodun hangi satırının çalıştığını incelemeye olanak sağlayan debugger özellikli bir programcı kullanılmıştır. Seçilen ürün ise Arm şirketinin ULink2 programlayıcısıdır.



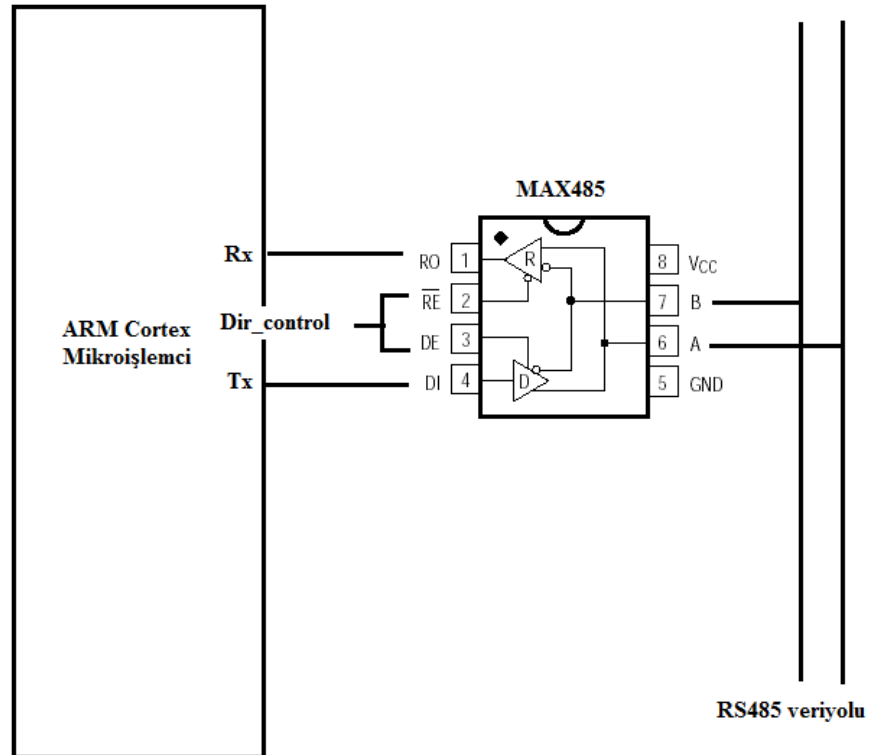
**Fotoğraf 2.11:** Ulink2 Programlayıcı

Mikroişlemci, üzerinde bulundurduğu USART bloğu ile seri haberleşme yapabilmektedir. Haberleşme protokolleri, önceden değinildiği üzere Modbus'tır. USART bloğu temelde 1byte verinin mikroişlemci üzerinde bulunan TX pini ile yollanması, RX pini ile alınması işlevini yerine getirir. Veri hızı, bir zaman sabitine bağlıdır. Genelde, endüstride 9600 bit/s hızlar kullanılmaktadır. Bu hızlarda bir saniye içerisinde 9600 bit veya  $9600/8=1200$  byte veri alış-verişi olmaktadır. Haberleşme diyagramı, Şekil 2.24'ten görüleceği üzere start bitini, sonlandırma-stop bitini ve data içermektedir.



**Şekil 2.24:** Seri Haberleşme Diyagramı

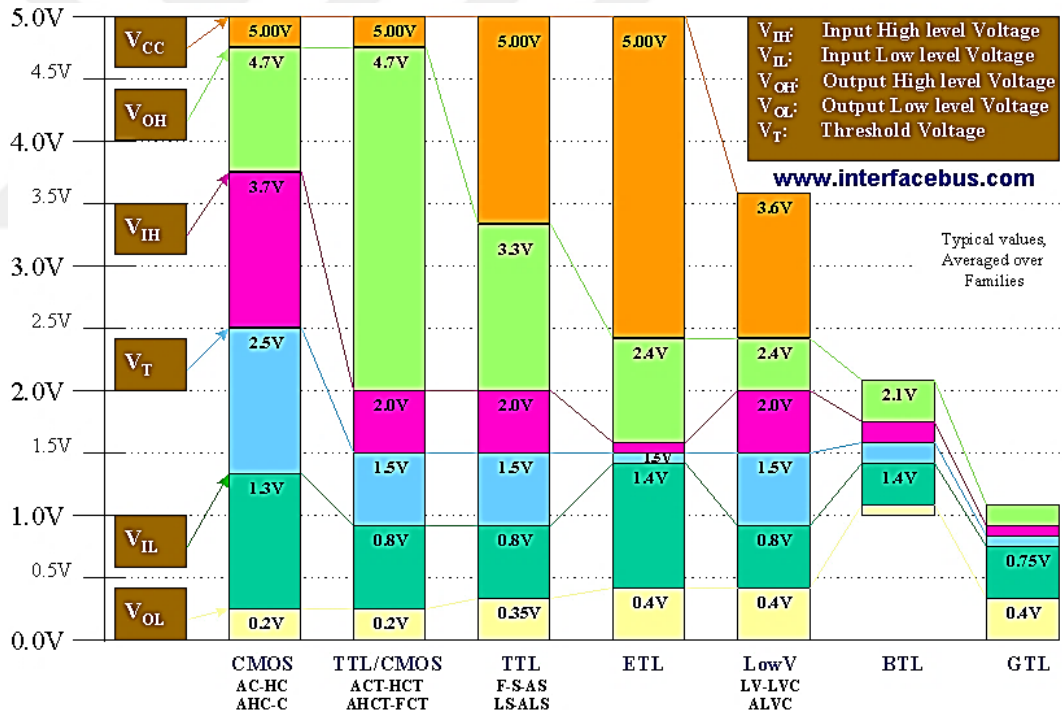
Haberleşmede kullanılan elektriksel arayüz ise, daha önceden değinildiği üzere RS485'tir. RS485 arayüzünü oluşturan Maxim firmasının MAX485 chipi, Arm işlemcinin USART bloğuna bağlanmıştır (Şekil 2.25). Bu şekilde Arm işlemciden çıkan veriler, MAX485 entegresi ile RS485 elektriksel arayüzüne uygun hale dönüştürülmektedir.



**Şekil 2.25:** Mikroişlemci ve MAX485 Bağlantısı

Mikroişlemcinin GPIO blokları solenoid sürücü, röleler, sensör girişleri ve butonlar için kullanılmıştır. GPIO blokları A, B, C şeklinde kategorilere ayrılmış ve her pin bloğu 15 bit kontrol registeri içerisinde kontrol edilmektedir.

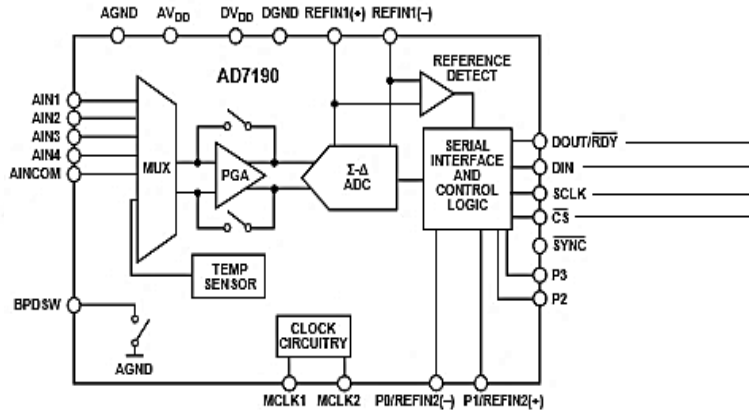
Bu GPIO pinleri, kod içerisinde yapılan ayarlamalar ile giriş veya çıkış olarak kullanılabilirler. Lojik sinyaller, 0–5 V arasındaki voltaj seviyesine bakılarak yüksek veya düşük olma durumunu belirtir. GPIO pinlerine gelen herhangi bir sinyalin seviyesi 2 V ve üzeri ise yüksek olarak algılanır. 1,5 V ve altı ise düşük olarak adlandırılmaktadır. Bu kapsamda, çeşitli sinyal seviyeleri ve anlamlarını Şekil 2.26'dan daha net bir biçimde görmek mümkündür.



Şekil 2.26: Sinyal Seviyeleri

Tartım düzeninde kullanmış olduğumuz 24 Bit ADC, mikroişlemci ile SPI üzerinden haberleşmektedir. SPI haberleşme temelde, haberleşmeyi başlatan ve yöneten cihaz (master), verileri okuyan ve master cihaza cevap veren (slave)

cihazdan oluşmaktadır. Burada 24 Bit ADC entegresi slave, mikroişlemci ise master rolündedir. Mikroişlemci SPI haberleşme hattı üzerinden, slave rolünde bulunan 24 Bit ADC entegresine tartım işlemini yapmasını ve sonuçları kendisine yollamasını isteyen bir kod yollar. Bu kodu alan ADC entegresi ise, istenilen işlemleri yapar ve sonucu tekrar SPI haberleşme hattı üzerinden master cihaza yani mikroişlemciye yollar. SPI protokolü, günümüzde embedded sistemler içerisindeki yoğun kullanımı ile standart hale gelmiş bir haberleşme protokolüdür. Şekil 2.27'den mikroişlemci ve 24 Bit ADC bağlantısı görülebilir.

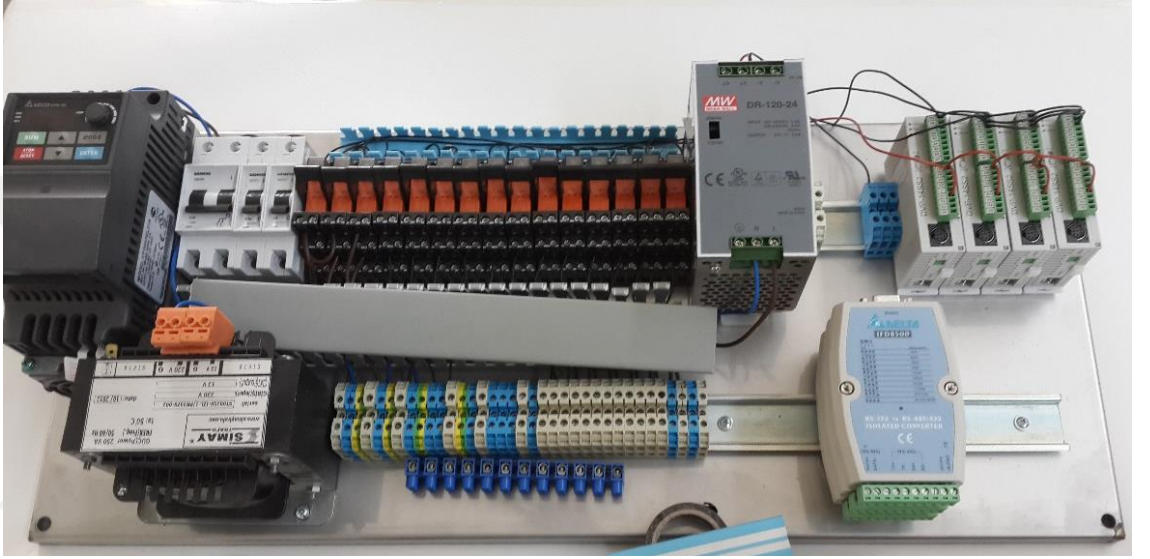


Şekil 2.27: SPI Bağlantısı

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Çalışma Ortamı

Yumurtaların tasnif işlemi için, yerli bir üreticinin 30 000 adet/h kapasiteli modeli kullanılmıştır. Bu makine üzerindeki tüm elektronik aksam sökülüştür (Fotoğraf 3.1).

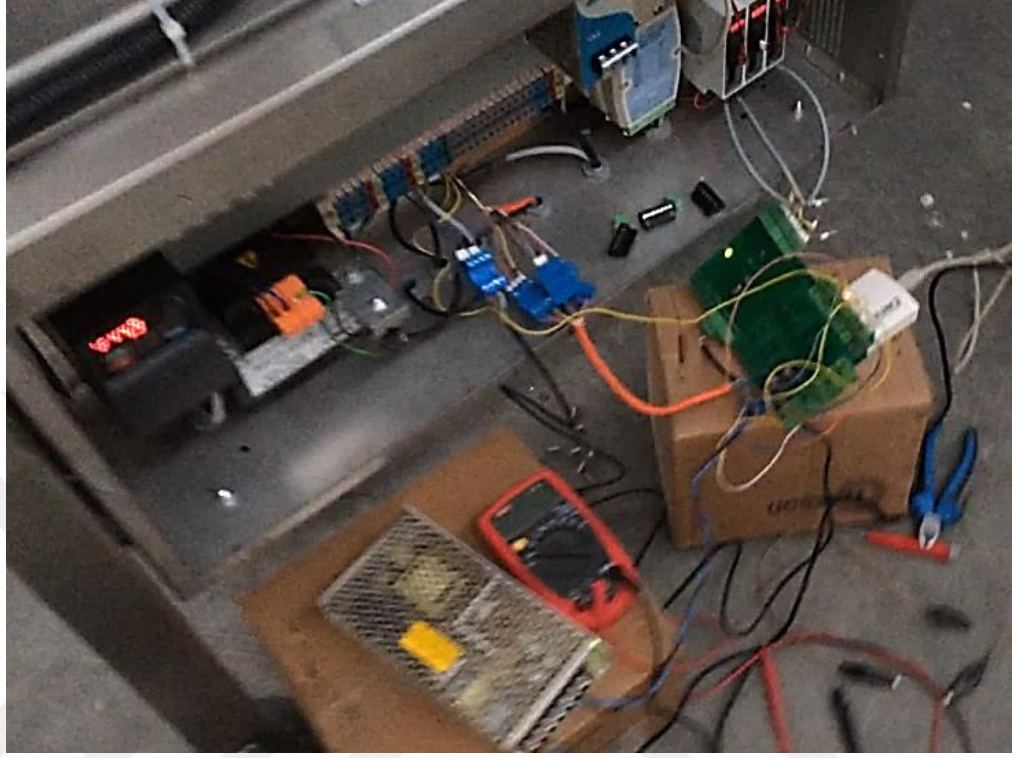


**Fotoğraf 3.1:** Halihazırda Kullanılan Sistem

Önceden var olan elektronik kontrol sistem, büyük bir alan kaplamaktadır. Bu nedenle, elektronik aksam için makine üzerinde büyük bir alan açılması ve montajda zorluklar yaratmaktaydı. Kullanılan elektromekanik komponentler ömür açısından problem yaratmakta, enerji harcamasını arttırmakta ve arıza çıkarma ihtimali yükselmektedir. Özellikle röleler çok sık arıza verdiği için, makina üreticisi müşterilerine teknik destek vermek zorunda kalmakta ve bu da zaman ve para kaybına yol açmaktaydı.

Mevcut sistemde birçok komponentin olması, kablolama zorluğunun yanında üreticiye hata yapma riski ile maliyet problemi yaşatmaktadır. Kablolamada geçen zaman, işçilik açısından hem zahmetli hem de maliyetli olmaktadır.

Proje kapsamında üretilen kart ise, çok az komponent içermekte, tüm bileşenleri üzerinde toplamasına rağmen daha küçük ve özellikler bakımından da daha akıllı bir yapıdadır (Fotoğraf 3.2).



**Fotoğraf 3.2:** Eski Sistem ve Prototip Kart Karşılaştırması

Öncelikle, prototip kartın tartım sistemindeki performansını görmek ve çeşitli filtreleme tekniklerini uygulamak için test yazılımı yazılmıştır. Test yazılımı, yumurtanın taşıyıcıya oturduğu ve ivmesinin sıfır olduğu noktayı tartım sensöründen gelen sinyal ile algılayarak ölçüm işlemi komutunu 24 bit ADC chip yollar (Fotoğraf 3.2).

Test yazılımında, ADC için çeşitli parametreler kullanılmıştır. Bu parametrelerin tanımları ve sisteme etkileri ise şu şekilde özetlenebilir:

Öncelikle seçmiş olduğumuz ADC Output Data Rate parametresi, 50 Hz'dir. Bu parametrenin seçimi ile ADC Settling Time 60 mS'de tamamlanmış olmaktadır. Başka bir ifade ile, her ölçüm 60 mS içerisinde bitmiş olacaktır.



Loadcell, çok küçük sinyaller ürettiğinden, bunu yine AD7190 chipi içerisindeki op-amp ile x64 kat büyütülerek, ADC girişine verilmektedir.

AD7190 chipi, içerisinde birçok filtre barındırmaktadır. Bu filtreleme metodlarından SINC<sup>3</sup> seçilerek, daha düşük Settling Time elde edilmiştir. Aynı zamanda, daha düşük rms gürültüsü ve daha az kayıp bit ile ölçüm performansı iyileştirilmiştir.

Üreticinin teknik verilerinden seçilen bu parametreler altında ADC çevrimi özeti ise, 50 Hz output data rate, 60 mS settling time, x64 gain, 19,5 bit efektif çözünürlüktür.

Loadcell giriş noktaları, chip bacaklarından AIN1(+) ve AIN2(-) seçilmiş ve referans noktalarında REFIN1(+) ve REFIN2(-) pinlerine atanmıştır.

```
SPI_WriteCNFG(0x00); /* Chop Disable, RefSel REFIN1 REFIN2 */
SPI_WriteCNFG(0x01); /* Selected Ch0, AIN1, AIN2 */
SPPI_WriteCNFG(0x9E); /* Burn=1, BUF=1, Unipolar, x64 gain */
```

**Tablo 3.1:** AD7190 Config Register parametreleri

```
SPI_WriteMODE(0x2C); /* Single Conversion, 4.92MHz int */
SPI_WriteMODE(0x88); /* Sinc3 enabled, Single cycle enabled,*/
SPI_WriteMODE(0x60); /* Output data rate 50Hz, 60mS, 19.5bit */
```

**Tablo 3.2:** AD7190 Mode Register parametreleri



**Fotoğraf 3.3:** Taşıyıcının Alt Ölü Noktası, Ölçüme Başlama Noktası

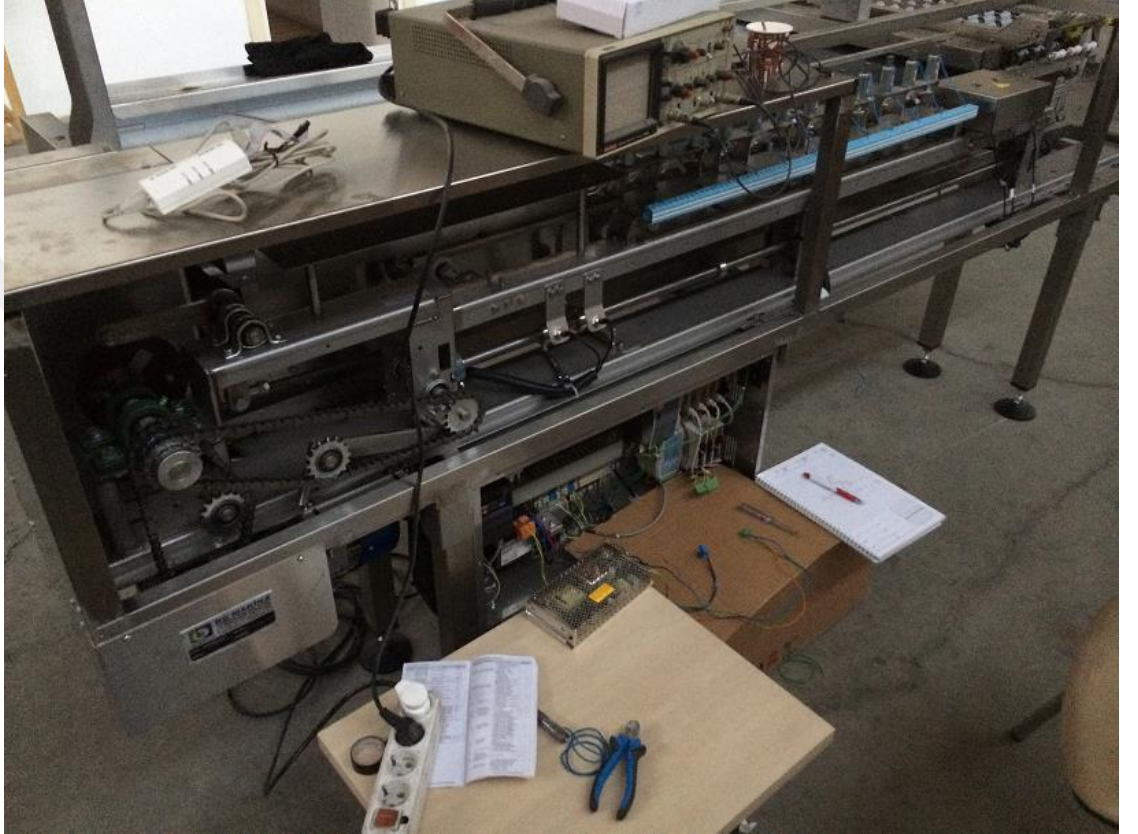


**Fotoğraf 3.4:** Taşıyıcının Üst Ölü Noktası

Yumurtalar, üçlü grup halinde tartım düzeneğine gelirler. Üç ayrı loadcell ile yumurtaların taşıyıcıda alt ölü noktada iken tartılması teorik olarak doğru kabul edilse de, yumurta geometrisinden kaynaklanan oturma zamanları sürekli değişmektedir. Bazen yumurta, tartım düzeneğine bırakıldığında birkaç kez zıplar ve daha sonra otururken bazen de ilk bırakıldığında oturmuş olmaktadır.

Ayrıca, makinanın kendisinden kaynaklanan titreşimler, ölçüm sinyalinin arkasında düzensiz bir noise olarak tespit edilmiştir.

Yumurta tasnif mekanizmasına güç veren servo motor ise, sürücüsünden yaymış olduğu çok yüksek emi-emc parazitleri nedeni ile, loadcell'in oluşturmuş olduğu küçük sinyali parazitlendirerek kirletmektedir.



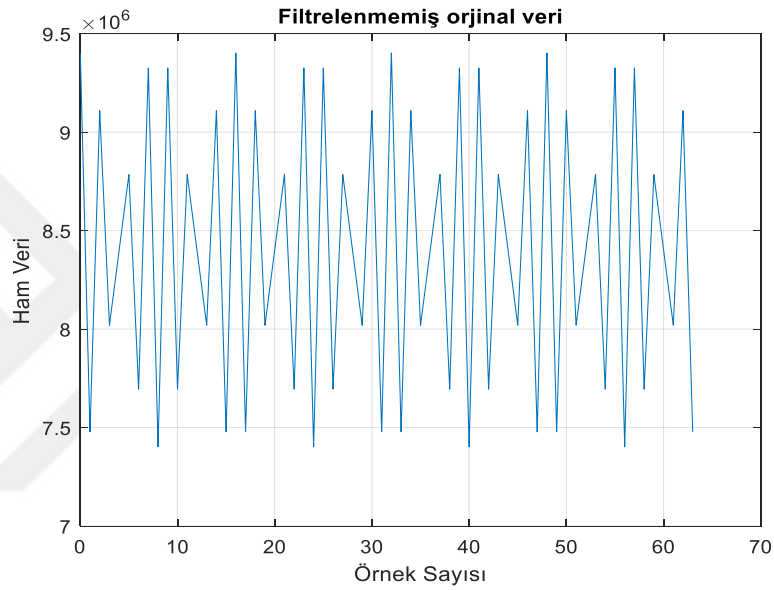
**Fotoğraf 3.5:** Test Düzenegi

Şebeke frekansı olan 50Hz ise, floor noise şeklinde sinyale olumsuz etki etmektedir.

Tüm bu problemler, deneysel çalışmalarda görülmüş ve problemler giderilerek hassas ve hızlı bir ölçüm düzeneginin dizayn edilmesi sağlanmıştır. Bu sorunların tespiti için test yazılımı yanında, sahada makine üzerinde bir ölçüm düzenegi kurulmuş ve tüm kötü senaryolar test edilmeye çalışılmıştır (Fotoğraf 3.5).

### 3.2. Digital Filtreleme Metodları

Tasnif makinasının yaratmış olduğu titreşimler, ölçüm düzeneği üzerinde büyük kararsızlıklar meydana getirmektedir. Ölçülen değerler, çok geniş aralıkta düzensiz olarak değişmekte ve yumurtanın dinamik hareketleri de buna eklenince, ölçümler, anlamsız hale gelmektedir. Bu nedenle, ölçüm düzeneğine çeşitli yazılımsal filtreleme metodları uygulanmıştır. Bu metodların bazıları makul sonuçlar verirken, bazıları ise mevcut sistemde işlev görmemiştir.



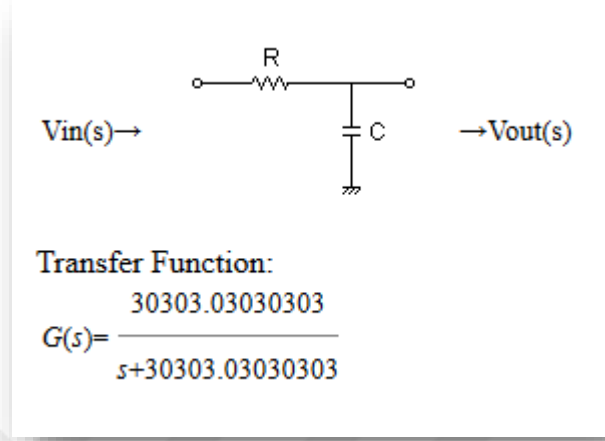
Şekil 3.1: İşlenmemiş ADC Verisi

Test için, öncelikle, hiçbir filtreleme metodu uygulamadan bir yumurtanın ağırlığı ölçülmüştür. Şekil 3.1’de, ölçüm düzeneğinin yapmış olduğu ölçümlerin ne kadar salınımlı olduğu açıkça gözükmemektedir. Bu salınımlar ve gürültüler, bahsedildiği üzere, mekanik tasarımdan, yumurta dinamiğinden ve 50 Hz gürültüsünden gelmektedir.

Öncelikle, 50 Hz şebeke ve motor EMC/EMI gürültüsünden kurtulmak için, LoadCell bağlandığı ilk noktaya, donanımsal bir filtre ekleme ihtiyacı doğmuştur. Çünkü, bu gürültüler, her ortamda olacaktır. Bunun için öncelikle, ‘Alçak Geçiren Filtre’ tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda ise, kesim frekansı 5 kHz civarında

tutulmuştur. Bu kesim frekansının kullanılmasının nedeni ise, EMI/EMC etkisini en aza indirmektir.

Alçak geçiren filtre modeli denklemi, aşağıda verilmiştir:



Filtre modeli kullanılarak, R direnci 1Kohm, kapasitör ise 33nF değerinde bulunmuştur.

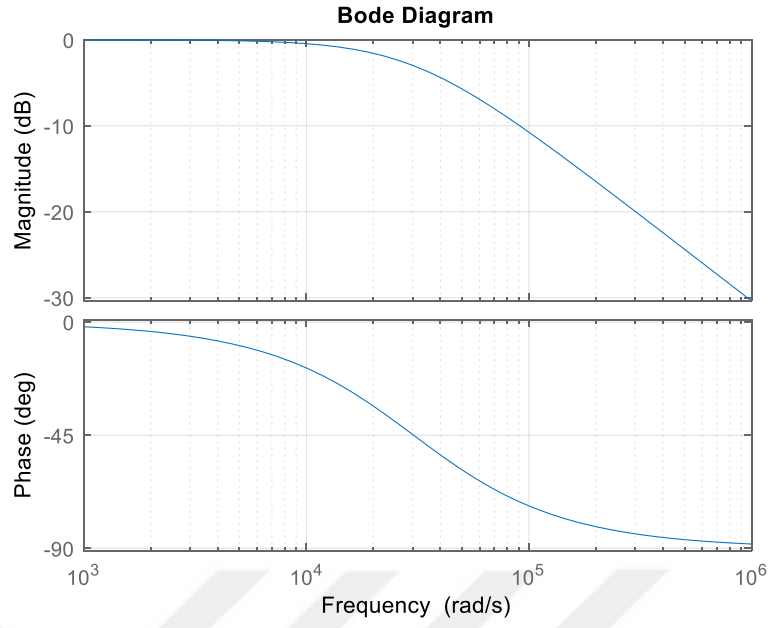
Sistemin kutup noktaları eşitliği, aşağıdaki gibidir:

**Pole(s)**

$$p = -4822.8770633908[\text{Hz}]$$

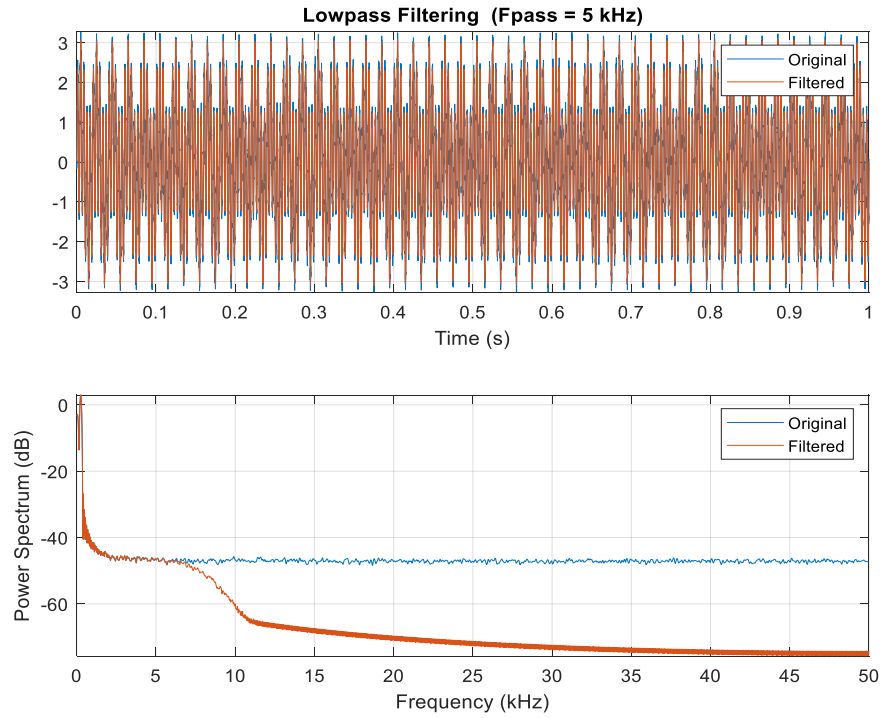
$$|p| = 4822.8770633908[\text{Hz}]$$

Oluşturulan modelin bode diyagramı ise, şu şekildedir:



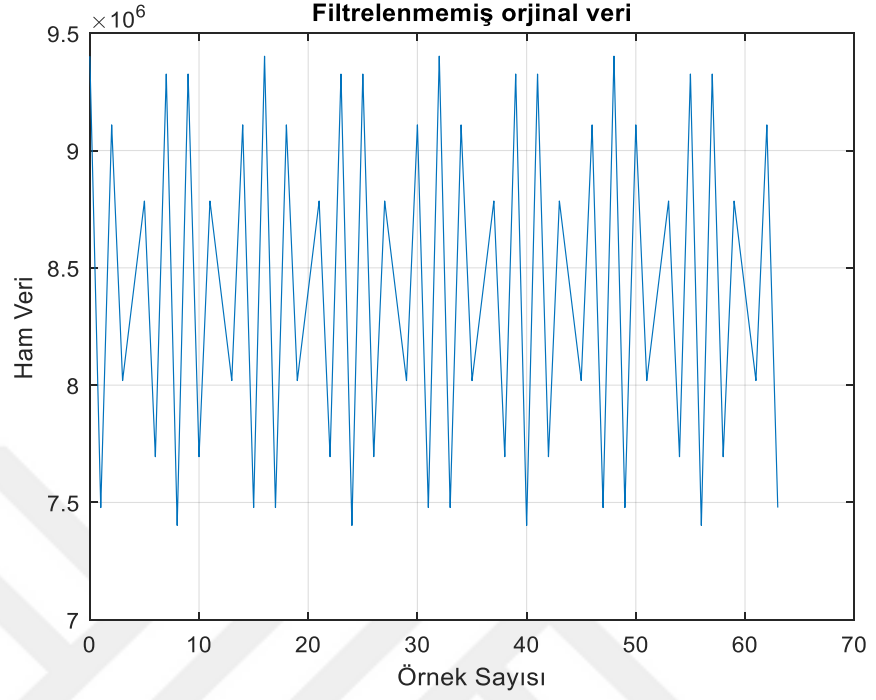
Şekil 3.2: Filtre Yanıtı

Matlab kullanarak, EMC/EMI ve şebeke gürültüsünü simule etmek için eklenen 50 Hz ve 250 Hz'lik tonlar ile filtre yanıtını ise, aşağıdaki şekilde görebiliriz.

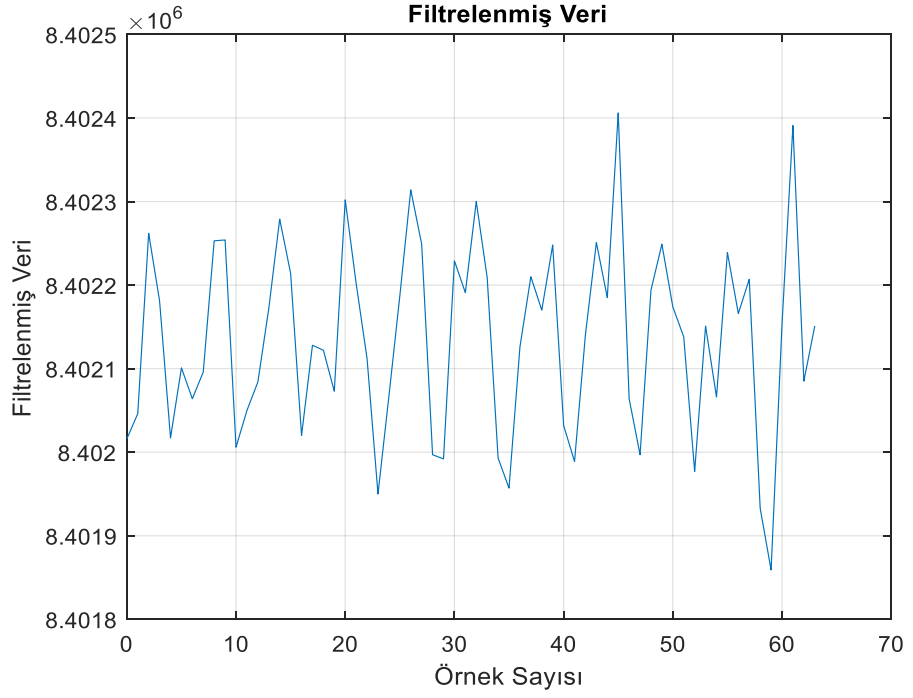


Şekil 3.3: 50 Hz ve 250 Hz'lik tonlar

Elde edilen filtre modeli ve donanım üzerinde gerekleŒmiŒ ham veri üzerine etkisi aŒağıdaki karŒılaŒtırmalarda gsterilmiŒtir:



Œekil 3.4: Donanım FiltrelemeŒi ncesi durum

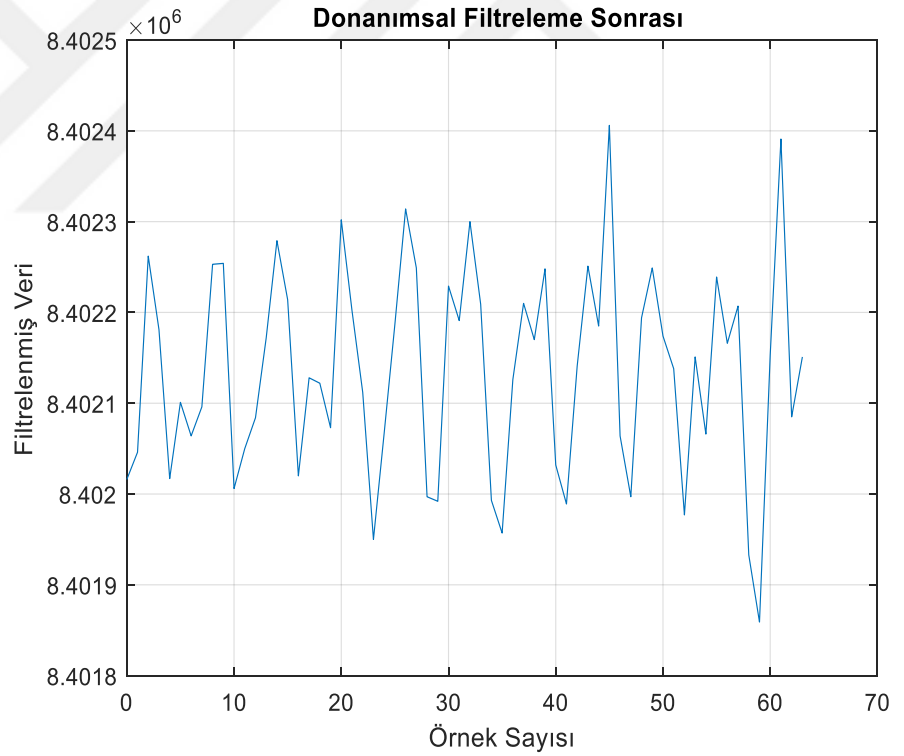


Œekil 3.5: Donanım FiltrelemeŒi sonrası durum

Donanım filtrelemesi sonrasında elde edilen verinin işlenmesi, hala uygun değildir. Bu verinin karakteristiğine baktığımızda, yumurta geometrisinden dolayı meydana gelen gürültüler net olarak görülmektedir.

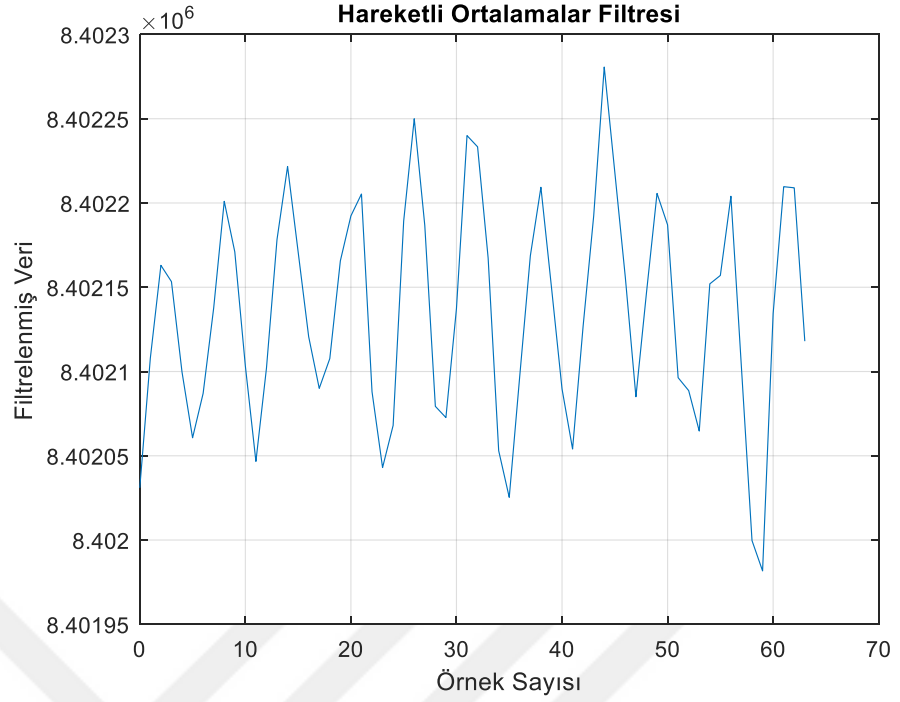
Endüstride kullanılan birçok dijital filtreleme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler incelendiğinde, bizim sistemimiz için uygun görülen ‘Hareketli Ortalamalar’ metodu denediğimiz ilk metod olmuştur (Smith, 1999). Bu metodun kullandığımız işlemci açısından çok kolay uygulanabilir olması, peak değerlerini çok iyi yumuşatması olumlu yönler olarak alındığında, geç cevap vermesi öne çıkan en negatif özelliklerdendir.

Donanımsal filtreleme sonrasında oluşan veriler, 3 noktalı (pencere genişliği) hareketli ortalamalar yöntemi ile filtre edilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:



Şekil 3.6: Donanımsal Filtreleme sonrası veri

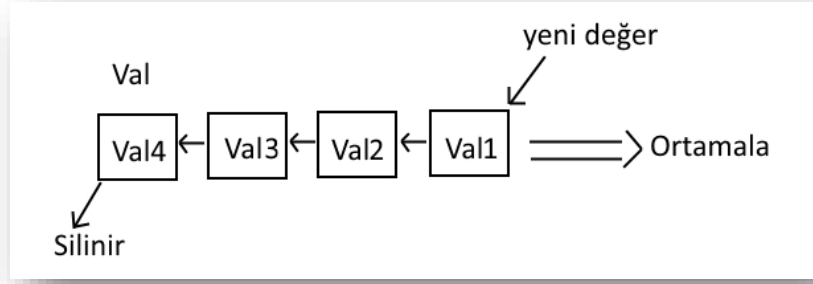




**Şekil 3.7:** Hareketli Ortalamalar Yöntemi sonrası

Şekil 3.7’de de görüleceği gibi, Hareketli Ortalamalar yöntemi ile çalışan dijital filtre, yumurta geometrisi ve tasnif makinasının mekaniğinden gelen gürültüleri oldukça yumuşatmıştır. Bu dijital filtreleme işlemi sonucunda veri daha temiz hale gelmiştir.

Hareketli Ortalamalar Filtresi, sinyal işlemede oldukça sık kullanılan bir filtredir. Litaretürde daha çok “Moving Average Filter” ismi ile anılmaktadır (Smith, 1999). Filtre mantığı sürekli ortalamalar alan bir yapıya dayanmaktadır. Her yeni değer okunduğunda en eski değer bırakılır, yeni gelen değer ile ortalamayı tekrar alır ve bunu çıkış olarak verir. Okunan her değerde, aslında ortalama güncellenmiş olur.



Şekil 3.8: Hareketli Ortalamalar Algoritması

Bu filtre tasarımında dikkat edilmesi gerekenler ise, şu şekilde listelenebilir:

- Sinyalin doğruluğu girişe göre karşılaştırılıp gözlenmeli. Girişten çok farklı bir sinyal alınmadığı sürece daha fazla ortalama alınabilir.
- Eğer çıkış, girişe göre tepki vermiyorsa başka bir değişle aşırı bir lineerleştirme var ise, örnek sayısının azaltılması gerekebilir.
- Sistem cevap süresi iyi analiz edilmeli, çok fazla gecikme var ise pencere boyutu ile (kaç örneğin ortalaması alınacak / s) oynanabilir.

### 3.3. Enerji optimizasyonu

Mosfet soloneid sürücüler, daha önceki mekanik röle anahtarlama sistemine göre yaklaşık 7,2 W daha az güç harcamaktadırlar. Aynı zamanda, soloneid üzerinde oluşacak herhangi bir kısa devre durumunda sistemin çalışmasını engellemeyecek ve operatöre uyarı verecektir. Doğal olarak mekanik anahtarlama oluşan stresler, mosfet sürücülerde olmayacağı için, sistemin ömrü anahtarlama elemanlarına bağlı olmaktan çıkarak, soloneid iticilerin ömrü ile sınırlı olacaktır.

Standart LoadCell kullanımı ile, güç harcaması, 3 W'dan 30 mW mertebesine inmiştir. Bu seviyedeki besleme gücü, kullanılan loadcellin ömrünü oldukça uzatmıştır.

Makinanın beklenen kullanım ömrünü, 10 yıl civarındadır. Günlük ortalama çalışma süresi 8 saat olarak alınır, enerji bütçesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

Standart ekipmanlarla, enerji tüketimi 0,6 kWh civarında olmaktadır. Yukarıdaki kabuller dahilinde makinanın yıllık çalışma süresi 2920 saat alınabilir. Makine standart ekipmanları ile birlikte, ilgili geliştirmeler yapılmadan harcadığı yıllık enerji tüketimi;

$$2920 \text{ saat} * 0,6 \text{ kW} = \mathbf{1752 \text{ kWh}}$$
 olarak bulunmaktadır.

Yapılan optimizasyonlar sonucu tüketim üzerine etki eden kazançlar, şöyle hesaplanabilir.

Rölelerin, mosfet anahtarlama elemanları ile değiştirilmesi sonucu 12 röle için 7,2 W civarında güç tüketiminde kazanç sağlanmaktadır. Yıllık çalışma saati baz alınır, yıllık enerji tüketiminde,

$$2920 \text{ saat} * 7,2 \text{ W} = \mathbf{21 \text{ kWh}}$$
 kazanç sağlanmaktadır.

Damper tip loadcellerin, standart loadceller ile değiştirilmesi sonucu, 2,97 W civarında güç tüketiminde kazanç sağlanmaktadır. Yıllık çalışma saati baz alınır, yıllık enerji tüketiminde,

$$2920 \text{ saat} * 2,97 \text{ W} = \mathbf{8,67 \text{ kWh}}$$
 kazanç sağlanmaktadır.

Genel enerji bütçesine bakıldığında, yıllık tüketimde  $21 \text{ kWh} + 8,67 \text{ kWh} = \mathbf{29,67 \text{ kWh}}$  kazanç sağlanmıştır. Başka bir deyişle, sistemin ilk haline göre enerji tüketimi,  $1752 \text{ kWh} - 29,67 \text{ kWh} = \mathbf{1722 \text{ kWh}}$  düşmüştür. Bu da sistemin enerji tüketimi üzerinde %2 civarında bir kazanç sağlamıştır.

Bu hesaplamalara makinanın beklenen kullanım ömrü yönünden bakıldığında oluşan tablo ise şu şekilde olmaktadır:

Varolan sistemle 10 yıllık enerji gideri,

$$10 * 1752 \text{ kWh} = \mathbf{17520 \text{ kWh}}$$
 olarak bulunmaktadır.

Yapılan optimizasyon ve yenilikle,

$$10 * 1722 \text{ kWh} = \mathbf{17220 \text{ kWh}}$$
 olarak bulunmaktadır.

10 yıllık enerji bütçesindeki fark ise,

17 520 kWh – 17 220 kWh = **300 kWh** olmaktadır.

Ağustos 2019 tarihindeki enerji bedeli ticarethaneler için 0,822 TL/kWh baz alındığında,

$300 \text{ kWh} * 0,822 \text{ TL/kWh} = \mathbf{246,6 \text{ TL}}$  bir kazanç sağlanmaktadır.

Tüm bu hesaplamalar yanında, servis ve malzeme değişim maliyetleri açısından yapılan optimizasyon kazançlarına bakılırsa şu sonuçlara ulaşılmaktadır:

Kullanılan röleler, mekanik ömürlerinden dolayı ortalama 1000000 anahtarlama yapma kabiliyetlerine sahiptir. Bu noktadan yola çıkılarak sistem full yük altında çalıştığında ortalama saatte 1200 anahtarlama gerçekleşmektedir. Günde 8 saat çalışan bir makine 9600 anahtarlama yapmaktadır. Rölelerden beklenen anahtarlama ömrü ile yapılacak hesap sonucunda,

$1\ 000\ 000 / 9\ 600 = 104$  gün yaklaşık üç ay sonunda rölelerin bozulması ile sonuçlanacaktır. Bu 15 adet röle için röle başına maliyetin 15 TL olduğu kabul edilirse,

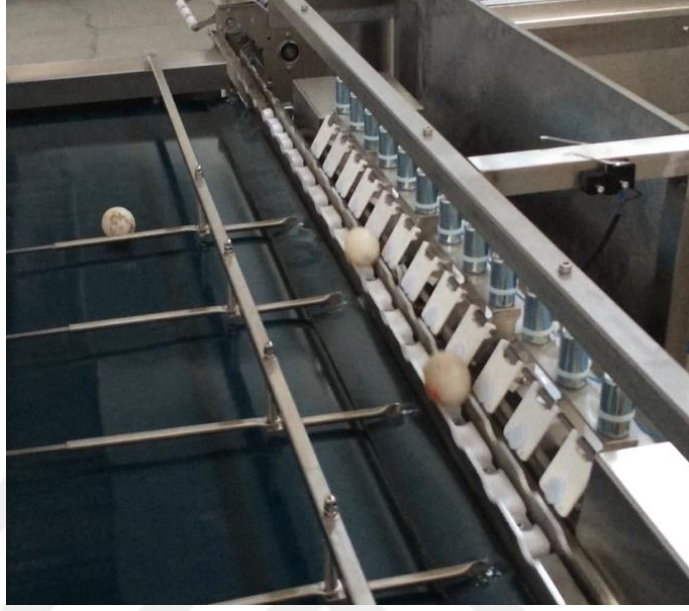
$15 * 15 = 225$  TL her üç ayda çıkacak parça maliyetidir. Başka bir deyişle, her yıl 4 defa, makine ömrü boyunca ise 40 defa parça maliyeti ile sonuçlanacaktır. Maddi karşılığı ise makine ömrü boyunca 9000 TL civarında olacaktır. Ayrıca sadece parça değişimi olarak değil, servis maliyeti, makinanın durması gibi zamansal giderlerde işletmenin zaman-para maliyetine göre ek ödemeler demek olacaktır.

Sistemdeki güç harcamasının düşmesi, anahtarlama daha doğru yapılması soloneidler açısından da ömür beklentisini arttıracak, sistemin arıza yapma olasılığı düşecek, ömür beklentisini arttıracaktır.

Eski kontrol ünitesinin maliyeti yaklaşık 8000 TL civarındadır. Yeni ünitenin maliyeti ise 300 TL civarında oluşmaktadır. Standart %10 amortisman hesabına göre eski sistemin yıllık amortismanı 800 TL olmaktadır. Yeni sistemin 300 TL maliyeti kendisini, **5. ayda** zaten amorti etmiş olacaktır.

### **3.4. Hata oranları**

Yapılan testler sonucunda, tasniflemede ulaşılan değerler aşağıdaki Şekilde olmuştur. Tasnifleme testi yapılırken, delrin malzemededen yumurta geometrisinde 6zel işlenmiş referans yumurtalar kullanılmıştır.



Şekil 3.9: Referans Yumurtalar

Sınıflar	XL ok Büyük	L Büyük	M Orta	S kkk
Tekrar	100	100	100	100
Hata oranı	1	2	2	1

Tablo 3.3: Tasnif Hata Oranları

## SONUÇ

Bu çalışmada, ağırlık esasına göre çalışan yüksek hızlı yumurta tasnif makinası ölçüm ve kontrol sisteminin tasarım ve üretimi yapılmıştır. Teknik açıdan sistemin en önemli kısmı olan elektronik ölçüm düzeneğinin, yüksek hız altında yeterli performansı gösterebilmesi için, donanım filtrelemesi yanında, dijital filtreleme ile de güçlendirilerek performansı yüksek maliyetli ve daha özel olan loadcell sistemlerle yarışabilir hale getirilmiştir. Böylece, çok yüksek hızlarda ölçüm düzeneğine gelen yumurta, max. %2 tasnifleme hatası ve 0,1 gr hassasiyet ile çalışmaktadır.

Kullanıcı/operatör, yumurtaların tasnif büyüklüklerini dinamik olarak değiştirebilmekte, bunun için ModBUS haberleşmesi üzerinden ilgili registra tasnif büyüklüğünü gram olarak yazması yeterli olmaktadır. Bu sayede, tasnifleme sabit aralıklarda değil, kullanıcının istediği an ve zamanda dinamik olarak değiştirilebilmektedir.

Diagnostic tarafında yapılan iyileştirmeler ile, makinada bir hata olması durumunda makine bunu kontrolcüde kullandığımız ITS724G chipleri sayesinde kendi kendine teşhis edebilecek ve kullanıcıya hatanın nerede olduğunu bildirecektir. Bu, aynı zamanda destek/servis birimlerinin, uzak mesafelerde olan makinalara gitmeden/görmeden önce, daha doğru operasyon yönetmesini sağlamaktadır. Servis, uzaktan makinaya bağlanarak makinanın teşhis etmiş olduğu hatalara bakarak, hangi yedek parçayı veya malzemeyi götürmesi gerektiğini ya da kullanıcıya neyi nasıl yapması gerektiğini söyleyebilir hale geldiğinden, servis ve destek maliyetleri çok büyük ölçüde düşmektedir.

Ayrıca, işlemci üzerinde PLC işlemleri de yapılarak, modüler bir yapı oluşturulmuş, sistemin edinme maliyetleri olabildiğince düşürülmüş, solenoidlerin sürülmesi için röleler, daha gelişmiş anahtarlama devreleri ile değiştirilmiş sistemin enerji ihtiyacı azaltılmış ve servis ömrü arttırılmıştır.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Halimic, M. and Balachandran, W.**, 1995, Kalman Filter For Dynamic Weighing System, In Industrial Electronics, 1995. ISIE'95, Proceedings of the IEEE International Symposium on, vol.2, 786-791 pp.
- Infineon**, 2013, “ITS724G”, <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/smart-low-side-high-side-switches/industrial-high-side-switch/its724g/> (Erişim tarihi: 5 Haziran 2019)
- Maxim**, 2013, “MAX485”, <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/transceivers/MAX485.html> (Erişim tarihi: 20 Ocak 2018)
- McGuinness, M., Jenkins, D. and Senaratne, G.**, 2005, “Modelling The Physics Of High-Speed Weighing”, <http://homepages.ecs.vuw.ac.nz/~markm/preprints/MISGfastFruit05> (Erişim tarihi: 22 Nisan 2017)
- Modicon Inc.**, 1996, “Modicon Modbus Protocol Reference Guide” [http://modbus.org/docs/PI\\_MBUS\\_300.pdf](http://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf) (Erişim tarihi: 13 Ocak 2018)
- Smith, S. W.**, 1999, “The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing”, Chapter 15, California Technical Publishing, San Diego, California, [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/dsp-book/dsp\\_book\\_frontmat.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/dsp-book/dsp_book_frontmat.pdf) (Erişim tarihi: 23 Mayıs 2019)
- ST**, 2013, “STM32F0x1”, <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f0x1.html> (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2018)
- Vishay**, 2015, “VPG Transducers”, <https://vpctransducers.com/pca/product/load-cells> (Erişim tarihi: 18 Nisan 2017)
- Welch, G., and Bishop, G.**, 2006, “An Introduction to the Kalman Filter” [https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman\\_intro.pdf](https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf) (Erişim tarihi: 19 Nisan 2017)



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

**Yum-Bir.**, 2019, “Yumurta Tavukçuluğu Verileri 2018”, <https://www.yum-bir.org/UserFiles/File/yumurta-veriler2019web.pdf> (Erişim tarihi: 31 Temmuz 2019)



**TEŞEKKÜR**

Bu alıŐma sűresince kıymetli gűrűŐlerinden yararlandıđım ve tezin biçimlenmesinde deđerli katkılarını aldıđım danıŐman hocam sayın Prof. Dr. Aydođan ŐZDAMAR'a ve Dr.Őđr.Őyesi Aysun BALTACI'ya teŐekkűrű bir borç bilirim.

28 / 08 / 2019

İmzası

Emrah MERCAN

## ÖZGEÇMİŞ

Emrah MERCAN, 1982 yılında İzmir’de doğmuştur. Öğrenim hayatını İzmir’de tamamlamış ve öğrenim süresi boyunca da çeşitli ticari faaliyetler yapmıştır.

Lisans mezuniyetinden sonra, bir ArGe kuruluşunda m2m teknolojileri üzerine çalışmış ve gsm modem dizaynı yapmıştır. Aynı zamanda, Hitechworks isimli bir mühendislik firmasını kurmuştur.

2010 yılında, Dokuz Eylül Üniversitesi MYO’nda tarım makinaları dersi vermiştir.

2012 yılında, Asay Enerji isimli firmada, ArGe yöneticisi pozisyonunda danışmanlık yapmaya başlamış ve akıllı sayaç okuma modem teknolojileri üzerine çeşitli donanımlar geliştirmiştir.

2013 yılında T.C. Sanayi Bakanlığı’nın Teknogirişim desteğini almaya hak kazanan ilk 10 girişim arasına girmiş ve Emronic Mühendislik firmasını kurmuştur.

2016 yılında Skysens Teknoloji isimli firmayı kurmuş ve şu anda da yeni bir teknoloji olan LPWAN üzerine çalışmalar yapmaktadır.