



**GERÇEK ZAMANLI MERMİ KOVANI KALİTE KONTROL SİSTEMİ  
TASARIMI**

**Kerem ALBAYRAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2024**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kerem ALBAYRAK

17/10/2024

GERÇEK ZAMANLI MERMİ KOVANI KALİTE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI  
(Yüksek Lisans Tezi)

Kerem ALBAYRAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2024

ÖZET

Bu tez, savunma sanayii için kritik öneme sahip olan mermi kovanı üretim süreçlerinde, geleneksel insan gözlemine dayalı kalite kontrol yöntemlerinin sınırlılıklarını aşarak, yüksek hız ve doğrulukla otomatize bir kalite kontrol sistemi tasarlamayı ve geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, kovanların toplanma, besleme ve muayene süreçlerini modernize eden yenilikçi bir otomasyon sistemi tasarımıdır. Sistem, kovanların boyutlarını, yüzey kalitesini ve yapısal bütünlüğünü yüksek çözünürlüklü kameralar ve gelişmiş görüntü işleme algoritmaları kullanarak detaylı bir şekilde değerlendirir. Araştırma, muayene edilen kovanların NATO standartlarına uygunluğunu kontrol etme, üretim hatalarının kök nedenlerini tespit etme ve sürekli iyileştirme imkânı sunmasının yanı sıra, iş güvenliği ve çalışan ergonomisine de önemli katkılarda bulunduğunu göstermektedir. Bu otomasyon sistemi, mermi kovanı üretiminde kalite, güvenlik ve verimlilik standartlarını yükselterek, savunma sanayii için teknolojik bir atılım olarak değerlendirilmektedir.

Bilim Kodu : 91419

Anahtar Kelimeler : Kalite kontrol otomasyonu, mermi kovanı muayenesi, görüntü işleme, üretimde bilgisayarlı görü, gerçek zamanlı hata tespiti

Sayfa Adedi : 89

Danışman : Prof. Dr. Adnan AKKURT

# REAL-TIME AMMUNITION CASE QUALITY CONTROL SYSTEM DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Kerem ALBAYRAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2024

## ABSTRACT

This thesis aims to design and develop an automated quality control system with high speed and accuracy for bullet casing production processes in the defense industry, surpassing the limitations of traditional human-based quality control methods. The study involves the design of an innovative automation system that modernizes the collection, feeding, and inspection processes of casings. The system evaluates the dimensions, surface quality, and structural integrity of the casings in detail using high-resolution cameras and advanced image processing algorithms. The research demonstrates that the system not only ensures the compliance of inspected casings with NATO standards but also identifies the root causes of production errors and offers opportunities for continuous improvement. Additionally, it makes significant contributions to occupational safety and worker ergonomics. This automation system is considered a technological breakthrough in bullet casing production, enhancing quality, safety, and efficiency standards for the defense industry.

Science Code : 91419

Key Words : Quality control automation, ammunition case inspection, image processing, computer vision in manufacturing, real-time defect detection

Page Number : 89

Supervisor : Prof. Dr. Adnan AKKURT

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından tamamlanmasına kadar olan süreçte, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak akademik rehberlik sağlayan kıymetli hocam Prof. Dr. Adnan AKKURT'a içten teşekkürlerimi sunuyorum. Hocamın sağladığı akademik destek ve ilham, bu tezin hazırlanmasında büyük bir rol oynamıştır.

Bu makinenin tasarımı ve imalatı için gerekli tüm fırsatları sunan Yeter Makina'ya teşekkürlerimi sunarım. Yeter Makina'nın sağladığı imkanlar, bu tezin pratiğe dökülmesinde ve başarıyla tamamlanmasında büyük bir katkı sağlamıştır. Özellikle, Yeter Makina'daki çalışma arkadaşlarım Alican YAKIN ve İdris GÜLTEKİN'e, bu çalışmanın yapılmasındaki emeklerinden ve bana verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışma için sağladığı finansal destek ve kaynaklar için TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Bu proje, TÜBİTAK 1501 Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir.

Tez sürecimde bana her zaman sevgi ve destek sunan, yanımda olduklarını hissettiren değerli aileme; anne, babam ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Sevgileri ve bana verdikleri güvenle bu çalışmayı tamamlama konusunda motivasyon kaynağım oldular. Hayatımın her köşesinde bana güç ve ilham veren, bu tez sürecindeki sabrı ve desteği ile yanımda olan sevgili eşim Dr. Aslıhan KÜÇÜK ALBAYRAK'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Onun sevgisi ve teşviki, zorlu zamanlarda bile motivasyonumu yüksek tutmama yardımcı oldu.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	17
3. SİSTEMATİK TASARIM .....	21
3.1. İhtiyaç Listesi .....	21
3.2. Fonksiyon Şeması .....	23
3.3. Alt ve Genel Tasarımlar .....	23
3.4. Ön Değerlendirme .....	25
3.5. Tasarım Çözümleri .....	27
3.6. Ek Seçim İşlemleri .....	28
3.7. Tasarlanan Makine .....	31
4. ANALİZ.....	39
4.1. Teorik Değerlendirme .....	39

	<b>Sayfa</b>
4.2. Simülasyon .....	42
4.2.1. Varsayımlar .....	43
4.2.2. Model bilgisi .....	44
4.2.3. Yükler ve fikstürler .....	48
4.2.4. Mesh bilgisi .....	52
4.3. Simülasyon Sonuçları .....	53
4.3.1. Kütle katılımı (Normalize) .....	57
4.3.2. Analiz sonuçları .....	60
<b>5. GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI VE UYGULAMALARI....</b>	<b>63</b>
5.1. Sistem Bileşenleri .....	63
5.2. Görüntü İşleme Algoritmalarının Temelleri .....	64
5.3. Muayene Adımları .....	66
5.3.1. Kovan ağız kontrolü .....	66
5.3.2. Kapsül deliği kontrolü .....	70
5.3.3. Kovan profil ölçümü .....	73
5.3.4. Kovan yüzey tarama .....	78
<b>6. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>88</b>



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Ürün bozuklukları görsel standartları .....	7
Çizelge 3.1. İhtiyaç listesi .....	22
Çizelge 3.2. Kavramsal tasarım seçenekleri ve ilişkili alt çözümler .....	25
Çizelge 3.3. Değerlendirme çizelgesi.....	29
Çizelge 4.1. Taban fikstür detayları .....	48
Çizelge 4.2. Uzak kütle yerleşim çizelgesi .....	49
Çizelge 4.3. Global etkileşim konfigürasyonu.....	51
Çizelge 4.4. Mesh konfigürasyonları.....	52
Çizelge 4.5. Modal kütle katılım oranları ve frekans dağılımı.....	58

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 7,62x51mm NATO mermi ölçüleri .....	6
Şekil 1.2. Renk değişikliği, kirli, yağlı kovan NATO referans görseli.....	8
Şekil 1.3. Ezik kovan hatası NATO referans görseli .....	9
Şekil 1.4. Yırtık kovan hatası NATO referans görseli.....	10
Şekil 1.5. Alev deliği açılmamış mermi kovanı örneği .....	10
Şekil 1.6. Tablada fazla pah kırılmış mermi kovanı örneği .....	11
Şekil 1.7. Gövdesinde çizik bulunan mermi kovanı örneği .....	11
Şekil 1.8. Gövdesinde delik bulunan mermi kovanı örneği.....	11
Şekil 1.9. Gövdesinde şişkinlik bulunan mermi kovanı örneği .....	12
Şekil 3.1. Fonksiyon şeması.....	23
Şekil 3.2. Morfolojik matris.....	24
Şekil 3.3. Tasarım ön değerlendirme tablosu.....	26
Şekil 3.4. Amaçlar ağacı (Kriter değer şeması) .....	29
Şekil 3.5. Dikey konveyör bant.....	31
Şekil 3.6. Besleyici ünitesi.....	32
Şekil 3.7. Muayene istasyonu .....	35
Şekil 3.8. Tasarlanan sistemin tamamı .....	37
Şekil 4.1. Simülasyon için sadeleştirilmiş muayene istasyonu modeli.....	42
Şekil 4.2. Sadeleştirilmiş model ve sabitlenmiş ayaklar.....	44
Şekil 4.3. Simülasyon etüt özellikleri .....	45
Şekil 4.4. Tüm uzak kütleler .....	46
Şekil 4.5. Tek taban uyarımı (PSD yükü uygulama noktaları) .....	47
Şekil 4.6. Von Mises stres değerleri .....	54

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.7. Deplasman değerleri .....	55
Şekil 4.8. Frekans yanıt grafiği .....	56
Şekil 4.9. Deplasman değerleri - 2 .....	57
Şekil 4.10. Kamera yer değiştirme – faz açısı grafiği .....	62
Şekil 5.1. Kovan ağız görüntüsü .....	66
Şekil 5.2. Eşiklenmiş görüntü .....	67
Şekil 5.3. Tespit edilen daire.....	68
Şekil 5.4. Kovan ağız iç dairesi .....	69
Şekil 5.5. Kovan kapsül tarafı görüntüsü .....	70
Şekil 5.6. Eşiklenmiş kovan kapsül tarafı görüntüsü .....	71
Şekil 5.7. Ateş deliği tespit edilmiş kovan.....	72
Şekil 5.8. Orijinal kovan profil görüntüsü .....	73
Şekil 5.9. Arka planı siyahlaştırılmış kovan .....	74
Şekil 5.10. Histogram eşitlemesi yapılmış kovan.....	74
Şekil 5.11. Sobel filtreli kovan .....	75
Şekil 5.12. Morfolojik işlemler uygulanmış kovan .....	76
Şekil 5.13. Kovan profil konturu .....	76
Şekil 5.14. Çap ve uzunlukları tespit edilmiş kovan.....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

$A$	Genlik
$f$	Frekans
$g$	Yer çekimi ivmesi
$g^2/\text{Hz}$	Yer çekimi ivmesi karesi bölü hertz
$\text{Hz}$	Hertz
$\text{K}$	Kelvin
$\text{kg}$	Kilogram
$\text{mm}$	Milimetre
$\text{MPa}$	Mega Pascal
$\text{ms}$	Mili saniye
$\text{px}$	Piksel
$s$	Saniye
$t$	Zaman
$x(t)$	Zamana bağlı konum denklemi
$\Delta x$	Yer değiştirme
$\mu s$	Mikro saniye
$\varphi$	Faz açısı

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>FFEPlus</b>	Free Form Entity Plus
<b>İSG</b>	İş Sağlığı ve Güvenliği
<b>NATO</b>	North Atlantic Treaty Organization
<b>PSD</b>	Power Spectral Density
<b>VON</b>	Von Mises Stresi

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel üretim, insanlığın modern endüstriyel çağa geçişinde dönüştürücü bir etken olmuştur. Sanayi devrimi, üretim süreçlerinin mekanizasyonu, büyük ölçekli ürün üretimini mümkün kılmış ve tüketim toplumunun temelini oluşturmuştur. Bu süreç, endüstriyel üretim süreçlerinin evrimi ve karmaşıklığının artmasıyla giderek daha büyük bir önem kazanmıştır. Ancak, bu büyümenin yanı sıra, kalite kontrolünün merkezi bir endişe haline gelmesi, endüstriyel üretimin doğal bir evriminin sonucudur. Kalite kontrol, ürünlerin standartlara uygunluğunu ve kalitesini sağlama işleminde tarihsel olarak derin bir kökene sahip olan kilit bir unsurdur.

Kalite kontrolün ilk adımları, Orta Çağ'da zanaatkarların çalışmalarıyla atılmıştır. Bu dönemde, kalite kontrol sınırlı ölçekte ve esas olarak insan gözlemine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Zanaatkarlar, kendi atölyelerinde ürettikleri ürünlerin kalitesini gözle muayene ederek kontrol ederdi. Ürünlerin kalitesi, zanaatkarların deneyimine ve becerisine bağlıydı. Bu süreç, üretim miktarının sınırlı olması nedeniyle yeterliydi; ancak bu yöntemler kişisel beceri ve deneyime dayandığından kalite standardizasyonu sağlamak zordu.

Zanaatkarlar, genellikle belirli bir ürün üzerinde uzmanlaşarak, ürettikleri malların kalitesini artırmayı hedeflemiştir. Bu dönemde, her bir zanaatkarın kendine özgü kalite kontrol yöntemleri bulunmaktaydı. Ürünlerin kalitesi, çoğunlukla müşterinin taleplerine ve zanaatkarın itibarına bağlı olarak değerlendiriliyordu. Bu nedenle, zanaatkarlar yüksek kaliteli ürünler üreterek müşteri memnuniyetini sağlamak ve kendi itibarlarını korumak için çaba göstermekteydi [1].

Rönesans dönemiyle birlikte, zanaatkarlıkta ve kalite kontrolünde bazı ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu dönemde, loncalar önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Loncalar, belirli bir meslekte çalışan zanaatkarların oluşturduğu topluluklar olarak, kalite kontrol süreçlerini standartlaştırmaya çalışmıştır. Loncalar, üyelerinin ürettikleri ürünlerin belirli kalite standartlarına uygun olmasını sağlamak için çeşitli denetim mekanizmaları geliştirmiştir. Bu mekanizmalar, üyelerin ürünlerini düzenli olarak denetleyerek ve

kalitesiz ürünlerin piyasaya sürülmesini engelleyerek kalite kontrolün sağlanmasına katkıda bulunmuştur [2].

18. yüzyılın sonlarına doğru ise Sanayi Devrimi'nin yükselişi ile endüstriyel üretimde radikal değişiklikler meydana gelmiştir. Sanayi Devrimi, tekstil, madencilik, demir ve çelik üretimi gibi sektörlerde endüstriyel üretimin temellerini atarak, iş gücünün verimliliğini artırmış ve ürünlerin daha hızlı ve büyük miktarlarda üretilmesini sağlamıştır. Bu dönemdeki teknolojik gelişmeler, özellikle dokuma tezgâhları, buhar makineleri ve demir yolları, endüstriyel üretimi dönüştürmüş ve ekonomik büyümeyi hızlandırmıştır. Artan üretim hızı, büyüklüğe odaklanırken kaliteden ödün verilmesine yol açmış, bu durum kalite kontrol süreçlerinin daha da önem kazanmasına neden olmuştur. Kalite kontrol birimleri, işletmelerin ürünlerinin standartlara uygunluğunu temin ederek ve müşteri memnuniyetini artırarak vazgeçilmez bir rol üstlenmiştir [2].

19. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, kalite kontrol süreçleri, İstatistiksel Süreç Kontrolü (SPC) ve Kalite Fonksiyonu Konsepti gibi sistemli ve bilimsel yöntemlerle zenginleşerek endüstriyel kalite kontrolün temel taşları haline gelmiştir. SPC, süreç içindeki değişkenlikleri ölçmek ve kontrol etmek için istatistiksel teknikler kullanarak, üretim süreçlerinin daha verimli ve kontrollü hale gelmesini sağlamıştır [3]. Bu gelişmeler, endüstriyel kalite kontrolünü bir bilim alanı olarak şekillendirirken, şirketlere rekabet avantajı sağlama potansiyeli sunmuştur. Kalite kontrol süreçlerinin sistematik hale gelmesi, üretim hatalarının tespit edilmesi ve giderilmesine yönelik proaktif bir yaklaşımın benimsenmesine olanak tanımıştır.

20. yüzyılın başlarında, Taylorizm ve Fordizm gibi yönetim ve üretim yaklaşımları, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ve kalite kontrolün daha etkin bir şekilde uygulanması için önemli adımlar atmıştır [4]. Frederick Winslow Taylor'ın Bilimsel Yönetim İlkeleri, iş süreçlerinin standartlaştırılması ve iş gücünün verimliliğinin artırılması amacıyla sistematik bir yaklaşım sunmuştur [5]. Bu dönemde, Henry Ford'un montaj hattı üretim modeli, üretim hızını ve verimliliğini artırırken, kalite kontrol süreçlerinin önemini daha da artırmıştır.

Günümüzün rekabetçi iş dünyasında, gelişen endüstriyel üretim süreçleri belirleyici bir rol oynamakta, büyük miktarlarda ürünün etkin bir şekilde üretilmesine olanak tanımaktadır.

Üretim hızı artarken; ürün güvenliği, performansı ve tüketiciye sunulma kalitesi de endüstriyel üretim süreçlerinde kalite kontrolün önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Kalite kontrol, ürünlerin müşteriye sunulmadan önce belirli standartlara uygunluğunu ve güvenilirliğini sağlamada kritik bir rol oynamaktadır [1].

Modern dönemde, otomasyon, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve görüntü işleme gibi teknolojilerin yükselişi, mühendislik ve endüstriyel tasarım disiplinlerinde köklü değişikliklere yol açmıştır. Bu teknolojik evrim, endüstriyel üretim süreçlerindeki paradigmaları dönüştürmüştür. Otomasyon sistemleri, üretim süreçlerinde insan hatasını minimize ederek, üretim hızını ve doğruluğunu artırmaktadır. Robotik sistemler ve CNC makineleri, üretim süreçlerinin daha hassas ve tekrarlanabilir olmasını sağlamaktadır.

Yapay zekâ ve büyük veri analitiği, üretim süreçlerinde toplanan verilerin analiz edilmesi ve bu verilerden anlamlı bilgiler elde edilmesi için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, kalite kontrol süreçlerinin daha proaktif ve öngörücü olmasını sağlamakta, potansiyel sorunların erken tespit edilmesine ve önlenmesine olanak tanımaktadır. Görüntü işleme sistemleri ise, ürünlerin yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluğunu hızlı ve hassas bir şekilde kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Kalite kontrolün bu modern evrimi, birçok sektörde inovasyonu ve verimliliği tetiklemiş, otomasyon teknolojileri ve görüntü işleme sistemleri kalite kontrolünün geliştirilmesi için vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Özellikle savunma sanayii gibi yüksek hassasiyet ve güvenilirlik gerektiren sektörlerde, bu teknolojiler kalite kontrol süreçlerinin etkinliğini ve doğruluğunu artırmaktadır. Bu sayede, ürünlerin uluslararası standartlara uygunluğu sağlanmakta ve müşteri memnuniyeti artırılmaktadır.

#### Mermi kovanı üretiminde kalite kontrolü ve önemi

Endüstriyel çağın ilerlemesiyle birlikte, savunma sanayii de özellikle mühimmat üretimi alanında, yüksek hassasiyet ve kalite standartlarına olan ihtiyacı artırmıştır. Bu bağlamda, mermi kovanlarının üretimi ve etkin kalite kontrolü, askeri ve sivil uygulamalarda kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Mermi kovanlarının üretiminde kullanılan malzemelerin ve üretim süreçlerinin kalitesi, bu ürünlerin performansını doğrudan etkilemektedir.

Mermi kovanlarının kalite kontrol süreçleri, ürün güvenliği ve performansı açısından değerlendirildiğinde büyük bir önem arz etmektedir. Mermi kovanları, silahların güvenli ve etkin işleyişinde hayati bileşenler olup, bu kovanlarda meydana gelebilecek en ufak bir hata, silahın fonksiyonel bütünlüğünü bozarak veya tehlikeli atış arızalarına sebep olarak ciddi güvenlik riskleri oluşturabilmektedir. Özellikle askeri kullanımda, mermi kovanlarının güvenilirliği ve doğruluğu, görev başarısı ve personel güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Kalite kontrol süreçleri, mermi kovanlarının boyutsal doğruluğunu, yüzey kalitesini ve yapısal bütünlüğünü kapsamlı bir şekilde değerlendirmelidir. Üretim sırasında meydana gelebilecek mikroskobik çatlaklar, malzeme hataları veya boyut sapmaları, kovanların performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, mermi kovanlarının üretiminde yüksek hassasiyetli ölçüm cihazları ve gelişmiş görüntü işleme teknolojileri kullanılarak kalite kontrol yapılmalıdır.

Bununla beraber, bu ürünlerin yüksek kalitede ve standartlara uygun olarak üretilmesi, ulusal ve uluslararası rekabetçilik açısından büyük önem taşımaktadır. NATO ve diğer uluslararası standartlar, mühimmatın işlevselliğini ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla mermi kovanları için katı kalite gereksinimleri belirlemektedir. Bu standartlara uygun üretim yapmak, ülkelerin savunma sanayii alanında uluslararası pazarda rekabet edebilmesi için gereklidir.

Özellikle, mermi kovanlarının boyutsal doğruluğu, malzeme kalitesi ve dayanıklılığı gibi kritik performans ölçütleri, sıkı kalite kontrol süreçleri ile sürekli olarak denetlenmelidir. Her bir mermi kovanının, belirlenen standartlara uygunluğu hem üretim sırasında hem de sonrasında detaylı bir şekilde incelenmelidir. Bu süreçler, kovanların hem işlevsel bütünlüğünü hem de uzun süreli dayanıklılığını garanti altına almayı hedefler, bu da kovanların kullanımı sırasında maksimum güvenlik ve performans sağlamak için zorunlu bir adımdır.



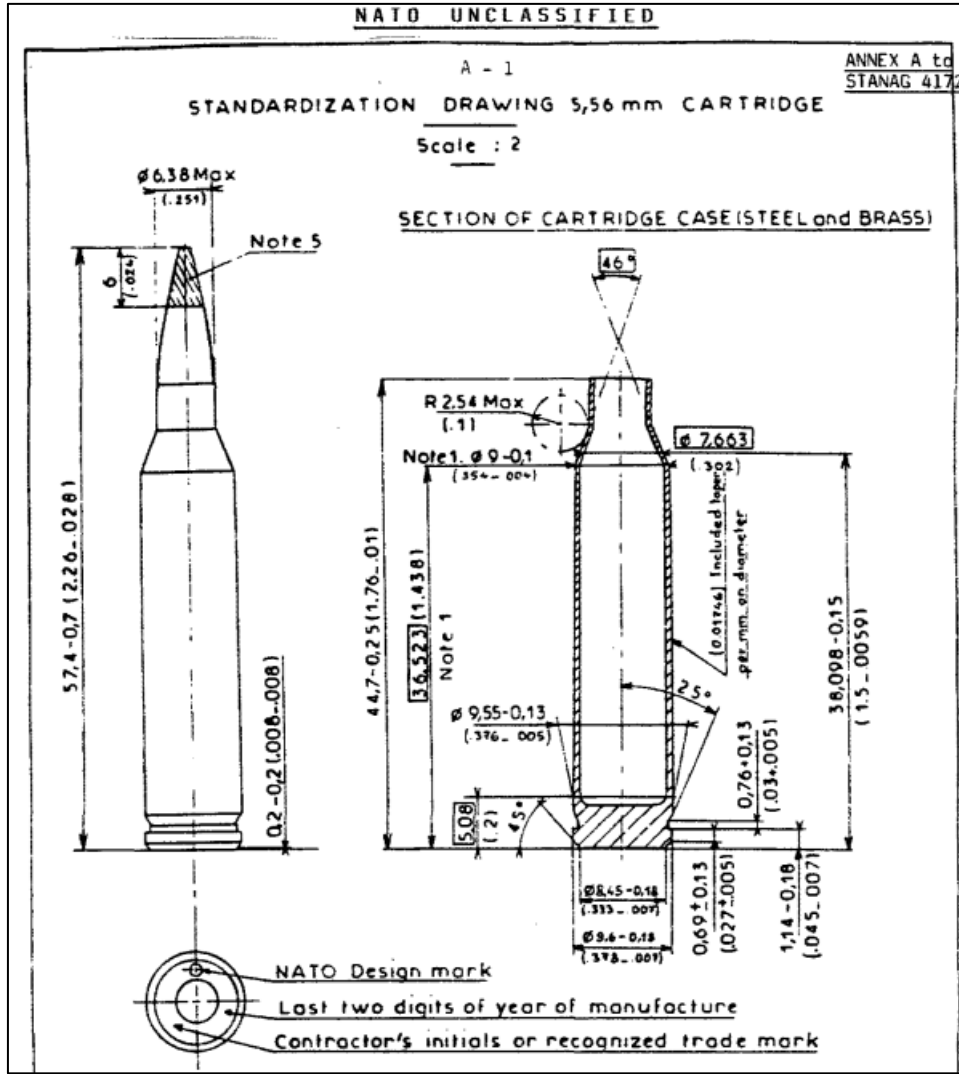
### Mermi kovanı üretiminde NATO standartlarına uygunluk

NATO, mühimmatın işlevselliğini ve standartlara uygunluğunu sağlamak amacıyla STANAG (Standardization Agreements) adı altında bir dizi standart belirlemiştir. Bu standartlar, mermi kovanlarının üretiminden son kullanımına kadar olan süreçte kaliteyi ve güvenliğini sağlamak için belirlenmiş katı kuralları içerir. NATO standartları, üye ülkeler arasında ortak bir kalite seviyesinin korunmasını sağlar ve mühimmatın güvenilirliği ile performansının tutarlı olmasını garanti eder. Bu hatalar, görsel ve boyutsal olarak iki ana başlıkta incelenir.

Boyutsal hatalar, kovanın geometrik ölçülerindeki sapmalara işaret eder ve hassas ölçüm cihazlarıyla tespit edilir. Bu hatalar, kovanın çapı, uzunluğu, ağız kıvrılması ve diğer kritik ölçüleri kapsar. Boyutsal hatalarla ilgili gereksinimler ise STANAG 4823 [6] ve STANAG 2310 [7] gibi mühimmat standartlarında açıkça tanımlanmıştır. Bu standartlar, her bir fişek türüne göre belirlenmiş kovan toleranslarını içerir ve kovanın geometrik doğruluğunu garanti altına alır.

Görsel hatalar, mermi kovanlarının yüzeyinde çıplak gözle veya daha ayrıntılı bir inceleme için kamera görüntüleri ile görülebilen kusurları içerir. Paslanma, renk değişikliği, çizikler, ezikler ve deformasyon gibi kusurlar bu gruba girer. NATO tarafından bu tür kusurların sınıflandırılması ve denetlenmesi için NATO AEP-97 [8] kullanılmaktadır. AEP-97, kovanların görsel kalite kontrolüne dair ayrıntılı standartlar sunar ve NATO üyeleri arasında birbiriyle uyumlu bir kalite seviyesinin korunmasını sağlar.

Örnek olarak NATO Standartlarınca belirlenmiş, 5,56x45mm NATO mermisinin geometrik ölçüleri ve toleransları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1.1. 5,56x45mm NATO mermi ölçüleri [9]

Bu şekilde NATO tarafından belirlenmiş 5,56x45mm mermi kovanının geometrik ölçüleri ve tolerans aralıkları gösterilmektedir. Standartlara uygunluk, bu belirlenmiş ölçüler ve toleranslar çerçevesinde üretim yapılmasını zorunlu kılar. NATO standartlarına göre, kovanın belirtilen tolerans aralıklarının dışında kalması durumunda, bu kovan standarda uyumsuz kabul edilir. Kovanın tüm ölçüleri, mühimmatın silah sistemleriyle doğru şekilde çalışabilmesi için özenle belirlenmiştir ve bu sınırların aşılması, mühimmatın işlevselliğini olumsuz etkileyecektir.

Mermi yüzeyindeki görsel standartlar uygunluk için belirlenmiş kriterler ise aşağıdaki tabloda görülebilmektedir. İlgili NATO standartlarına göre, kovanlarda hata olarak kabul edilen durumlar aşağıda listelenmiştir [8]:

Çizelge 1.1. Ürün bozuklukları NATO görsel standartları [8]

No.#	UYGULANABİLİR KALİBRE	4.6 mm	5.7 mm	5.56 mm	7.62 mm	9 mm	12.7 mm
<b>FİŞEK</b>							
1.	Renk Değişikliği, Kirli, Yağlı	X	X		X		X
2.	Paslı veya Lekeli	X	X	X	X	X	X
3.	Karışık Mühimmat Türleri	X	X	X	X	X	X
<b>KOVAN</b>							
4.	Yuvarlak Baş	X	X	X	X	X	X
5.	Ezik (Kovan)	X	X	X	X	X	X
6.	Yırtık Kovan	X	X	X	X	X	X
6A.	Başlangıç Yırtığı (Çelik Kovanlar)						X
7.	Delinmiş Kovan	X	X	X	X	X	X
8.	Çekme Çizikleri	X	X	X	X	X	X
9.	Çizik Kovan	X	X	X	X	X	X
10.	Başın Altı Eğimli	X	X	X	X	X	X
11.	Kovan Ağzı Oluğu Açılmamış	X	X		X	X	
12.	Pul Pul Metal (Kovan)	X	X	X	X	X	X
13.	Başta Eğik (Rim) Yok	X	X	X	X	X	X
14.	Kıvrım	X		X	X		X
15.	Kırıksıklık	X		X	X		X
16.	Katlanma	X		X	X		X
17.	Şişkinlik	X		X	X		X
18.	Okunamayan veya Eksik Baş Damgası	X	X		X		X
19.	Hatalı Baş	X	X		X		X
20.	Hatalı Ağız	X	X		X		X
21.	Ağız Tavı Görünmüyor			X	X		X
21A.	Hatalı Koruyucu Kaplama (Çelik Kovanlar)				X		X

Tabloda yer alan ürün bozuklukları, belirtilen kalibreler için NATO'nun sunduğu görsellerle referans alınarak değerlendirilir. Her bir hata türü, NATO standartlarına uygun görsel örneklerle desteklenir ve kovanların bu hatalara göre nasıl sınıflandırılacağı belirlenir.

Ürünler, hata türüne ve şiddetine bağlı olarak minör, majör ve izin verilebilir olarak üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Majör hatalar, ürünün kullanım açısından ciddi riskler taşıdığı durumlar olup, bu tür hataların üretim hattından kesinlikle çıkarılması gerekmektedir. Minör hatalar, mühimmatın ticari olarak kullanımına izin verilmemesine rağmen, genellikle eğitim amaçlı kullanımlar için kabul edilebilir niteliktedir. İzin verilebilir hatalar

ise, NATO standartlarına göre mühimmatın işlevselliğini etkilemeyen ve ürünün hatasız olarak değerlendirildiği durumlardır.

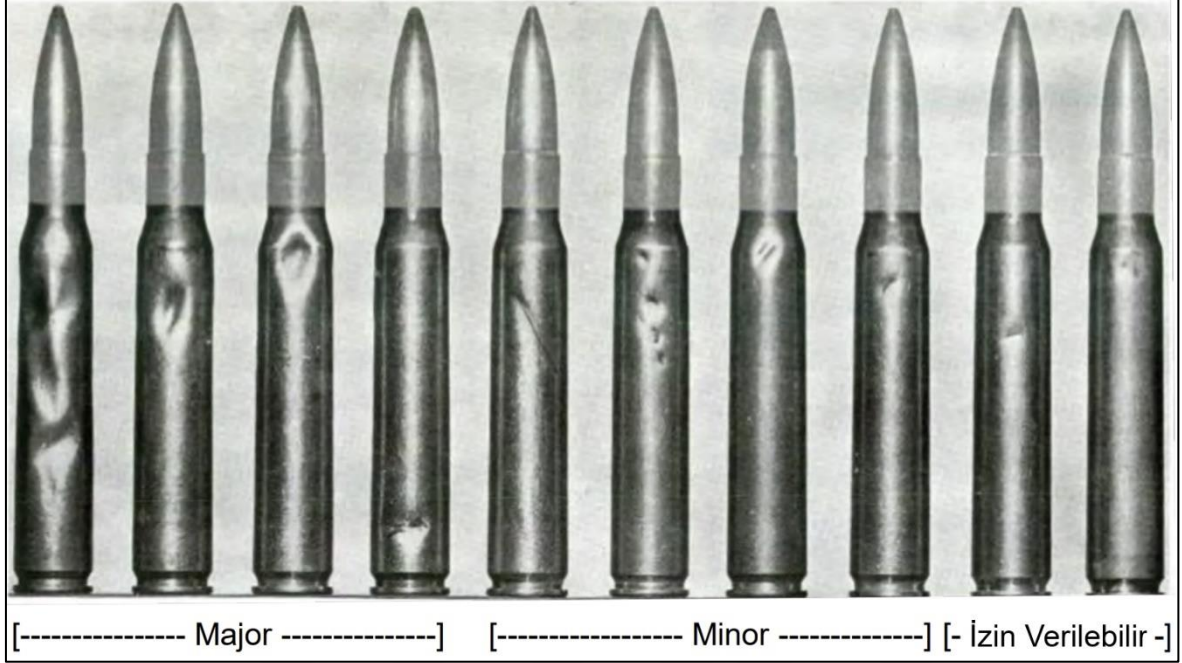
Aşağıda, 1. tablo satırında belirtilen "Renk Değişikliği, Kirli, Yağlı Kovan" hatası için verilen görsellere bir örnek sunulmuştur.



Şekil 1.2. Renk değişikliği, kirli, yağlı kovan NATO referans görseli [8]

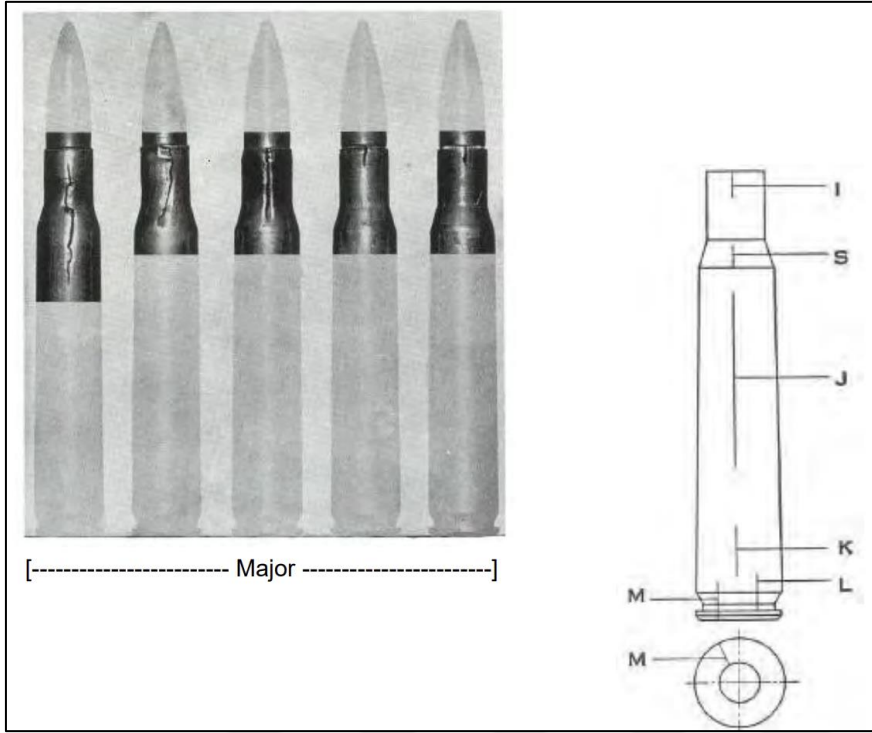
Belirtilen türdeki kovan yüzeyiyle ilgili olan hatalar kullanım açısından risk taşımamakta fakat minör olarak sınıflandırılan seviyedeki yüzey kusurları kovanların ticari kullanımına engel teşkil etmektedir.

Aşağıda, tablo satırı 5 için "Ezik Kovan" hatası görsel örneği verilmiştir. Bu hata türü, kovanların majör, minör ve izin verilebilir olmak üzere üç sınıfa ayrıldığı bir kategoridir.



Şekil 1.3. Ezik kovan hatası NATO referans görseli [8]

Bazı hata türlerinde ise, hatanın bulunduğu bölgeye göre farklı değerlendirmeler yapılmaktadır. Aşağıda, tablo satırı 6'da yer alan "Yırtık Kovan" hatasına ait bir örnek sunulmuştur. NATO standartlarına göre, kovanın duvarındaki metalin tamamen ayrılması, bu hatanın bir majör veya kritik kusur olarak sınıflandırılmasına yol açar. Yırtığın konumu bu sınıflandırmada belirleyici rol oynar. Eğer yırtık "I", "S" veya "J" pozisyonlarında meydana gelir ve barut kaybı olmuyorsa, bu bir majör kusur olarak değerlendirilir. Ancak barut kaybı söz konusuysa, kusur kritik olarak kabul edilir. Yırtığın "K", "L" veya "M" pozisyonlarında olması durumunda ise bu hata doğrudan kritik olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, mühimmatın güvenliği ve performansı açısından önemli bir etken olup, kovanların işlevselliğini ciddi şekilde etkileyebilir.



Şekil 1.4. Yırtık kovan hatası NATO referans görseli [8]

Aşağıda, üretim hatlarında tarafımızca karşılaşılan 9 mm kovanlara ait bazı hata örnekleri yer almaktadır. Bu görseller, üretim sürecinde karşılaşılan ve fotoğrafladığımız gerçek kovan hatalarını göstermektedir



Şekil 1.5. Alev deliği açılmamış mermi kovanı örneği





Şekil 1.6. Tablada fazla pah kırılmış mermi kovanı örneği



Şekil 1.7. Gövdesinde çizik bulunan mermi kovanı örneği



Şekil 1.8. Gövdesinde delik bulunan mermi kovanı örneği



Şekil 1.9. Gövdesinde şişkinlik bulunan mermi kovanı örneği

Mermi kovanlarının üretiminde, belirlenen uluslararası standartlara uygunluğunun kesin olarak belirlenmesi ve her türlü çevresel koşul altında, atış sırası ve saklama sürecinde güvenilir performans sağlanması esastır. Bu bağlamda, her bir mermi kovanının boyutsal toleransları, malzeme özellikleri ve üretim kalitesi gibi bir dizi kritik parametrenin detaylı bir incelemesi ve değerlendirmesi gereklidir. Bu süreç, kovanların hem işlevsel bütünlüğünü hem de uzun süreli dayanıklılığını garanti altına almayı hedefler, bu da kovanların kullanımı sırasında maksimum güvenlik ve performans sağlamak için zorunlu bir adımdır.

#### Geleneksel yöntemler ve sınırlamaları

Ülkemiz başta olmak üzere birçok ülkede, mevcut mermi kovanı üretim hatlarındaki kalite kontrol süreçleri büyük oranda gözle muayene sistemi kullanılan istasyonlarda yapılmaktadır. Bu tip manuel metodolojiler bu hassas ve karmaşık süreçlerin taleplerini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu istasyonlarda kalite kontrol süreçlerinin insan gözlemine dayalı olması; yavaş işlem hızlarına, sınırlı hata algılama kabiliyetlerine ve yüksek maliyetlere sebebiyet vermektedir. İnsan müdahalesine bağlı kalite kontrol yöntemleri, yorulma ve dikkat eksikliği gibi insan faktörlerinden ötürü hatalı kovanların saptanmasında tutarsız sonuçlar verebilmekte, bu da silah sistemlerinin güvenilirliği ve işlevselliği açısından kabul edilemez riskler oluşturmakta ve aynı zamanda üretim verimliliğini ve maliyet etkinliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Üretim standartlarında belirtilen boyutsal ve geometrik toleranslar, yüzey pürüzlülüğü gibi hassas ölçüm gerektiren noktalarda ise çıplak gözle bir hata tespiti yapılabilmesi mümkün olmamaktadır.



Bu nedenle, savunma sanayiinde mermi kovanlarının kalite kontrol süreçlerinin otomasyonu, sadece güvenlik ve güvenilirlik açısından değil, aynı zamanda verimlilik ve ekonomik etkinlik açısından da büyük bir önem arz etmektedir.

#### Mevcut modern kalite kontrol sistemleri

Mevcut yurtdışı kaynaklı modern kalite kontrol sistemleri incelendiğinde ise, otomatik görüntü işleme ve ölçüm teknolojilerini kullanılarak farklı ürünler için bu test ve ölçümler çok daha hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmekte, üretim verimliliği büyük oranda artırılabilenmektedir. Fakat bu teknolojinin mermi imalat sektöründe kullanımı oldukça kısıtlıdır. Mermi imalatının yüksek hassasiyet, özgül güvenlik ve yüksek hızlı üretim süreci gereksinimleri, otomatik görüntü işleme ve ölçüm teknolojilerinin bu alana entegrasyonunu zorlaştırmaktadır. Diğer yandan, mevcut otomatik sistemler karmaşık kurulumlar, bakım zorlukları ve adaptasyon eksiklikleri nedeniyle üretim hattı verimliliğini ve esnekliğini sınırlamaktadır.

#### Çalışmanın hedefleri

Bu çalışma, mermi kovanı kalite kontrol süreçlerinin otomasyonu yoluyla, savunma sanayiinde karşılaşılan bu temel zorluklara yönelik yenilikçi ve etkili çözümler sunarak, bu alandaki mevcut yaklaşımları ileriye taşımayı amaçlamaktadır. Temel hedef, hata tespitinde insan faktörünü ortadan kaldırarak, mermi kovanlarının üretim süreçlerinde uygulanan kalite kontrol mekanizmalarını modernize etmek ve bu süreçleri daha verimli, hatasız ve maliyet-etkin bir hale getirmektir. Geleneksel kalite kontrol yöntemlerinin zaman yoğunluğu ve hata riskine maruz süreçleri, geliştirilen sistemle tamamen otomatize edilerek, mermi kovanlarının her birinin yüksek doğrulukla ve dakikada 320 adet kapasiteyle kalite kontrolünün gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, sistem hata türlerinin kaydını tutarak kök neden araştırmasına fırsat vermekte ve üretim hattında sürekli iyileştirmeler yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bu yaklaşım, kalite kontrol süreçlerinde radikal bir iyileştirme sunmakta ve mermi kovanı üretiminde güvenlik ve verimlilik standartlarını yükseltmeyi amaçlamaktadır.

### Yenilikçi yönler ve çalışmanın önemi

Belirtilen amaçlarla, yüksek endüstri standartlarına uygun yeni bir otomasyon sistemi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Tasarlanan bu sistem ile ileri görüntü işleme teknolojileri ve kesintisiz, sürekli besleme sağlayan mekanizmalar kullanılarak, kovanların fiziksel ve yapısal bütünlüğü kalite standartlarına uygunluk açısından belirlenen parametreler üzerinden derinlemesine incelenebilmektedir. Sistemin, kovanları saniyede onlarca kez tarayabilen yüksek çözünürlüklü kameralar, özel aydınlatmalar ve gelişmiş görüntü işleme algoritmaları kullanarak bu kontrolleri başarıyla gerçekleştirmesi hedeflenmektedir.

Tasarlanan sistem, üretim hattında görsel muayene ve diğer kalite kontrol süreçlerine kıyasla önemli bir hız avantajı sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerde insan gözüyle yapılan muayeneler, dakikada yaklaşık 100 kovanla sınırlı kalırken, mevcut yurtdışı kaynaklı otomasyon sistemleri ise maksimum 240 kovan/dakika hızında çalışabilmektedir. Tasarladığımız yeni sistem ise bu rakamların ötesine geçerek, dakikada 320 kovan tarama kapasitesine ulaşabilmektedir.

Bu sayısal avantaj, sistemin sadece muayene hızını değil, aynı zamanda üretim hattındaki verimliliği de önemli ölçüde artıracaklarını göstermektedir. Bir üretim hattında maksimum üretim hızı, hattaki en yavaş makinenin hızına denktir. Geleneksel yöntemlerde insan gözüyle yapılan inceleme, dakikada 100 kovanla sınırlı kaldığından, bu yavaşlık üretim hattının genel hızını da düşürür ve hattın performansını olumsuz etkiler. Tasarladığımız sistem ise dakikada 320 kovan tarama kapasitesiyle, bu performans sınırlamalarını aşmakta ve hattın hızını artırarak üretim sürecinin verimliliğini maksimuma çıkarmaktadır. Bu sayede, geleneksel yöntemlerin aksine, hattaki en yavaş aşama olarak gözle inspeksiyon süreci ortadan kalkmış olur ve üretim hattının tam kapasiteyle çalışması sağlanır.

Bununla beraber, kalite kontrolde yenilikçi bir yaklaşımla, tasarlanan sistem, hataların gerçekleşme oranlarını ve istatistiklerini kayıt altında tutmakta ve bu sayede hataların olası sebeplerini analiz etme imkânı tanımaktadır. Hatalı kovanların nedenlerinin kaydedilmediği ve analizinin yapılmadığı mevcut sistemlerde bu kovanlar atık olarak ayrılıyor olup, üretim hattında potansiyel sorunların kök nedenlerini tespit etme ve giderme fırsatı kaçırılmaktadır. Bu durumda, aynı hata türüne sahip farklı kovanların etkin bir şekilde onarımı da mümkün olmamaktadır.

Buna ek olarak, bu derinlemesine analitik yaklaşım, kovan üretim hattındaki diğer makinelerin performansı üzerinde de iyileştirmeler yapılmasına katkıda bulunur. Sistem, hata analizlerinden elde edilen verileri kullanarak, üretim hattındaki diğer ekipmanların ve proseslerin iyileştirilmesine yönelik stratejik bilgiler sağlar. Bu sayede, geliştirilen otomasyon sistemi, sadece hataların tespiti ve onarımı açısından değil, aynı zamanda üretim hattının genel verimliliğinin ve kalitesinin artırılmasında da önemli bir rol oynar. Bu bütünsel iyileştirme yaklaşımı, üretim süreçlerinin daha verimli, ekonomik ve güvenilir hale gelmesine katkıda bulunarak sağlayacağı hatasız üretimle, savunma sanayii mühimmat üretiminde kalite ve güvenlik standartlarını yükseltir.

Projemizin yenilikçi yönleri, ülkemizde benzer özelliklere sahip bir makinenin üretiminin gerçekleştirilmemiş olmasıdır. Bu yeni otomasyon sistemi, mevcut yurtdışı muadil makinelerin önünde daha yüksek hızlarda çalışabilir, farklı çap ve özelliklere sahip mermi kovanlarının kalite kontrolünü yapabilir özelliktedir. Bunula beraber sistem üretim sürecindeki kalite kontrolü gerçekleştirirken sadece tespit etmekten öteye geçerek hata analizi imkânı sunarak imalatın iyileştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Mermi kovanı üretiminde kalite, güvenlik ve verimlilik standartlarını yükseltmeyi amaçlayan bu sistem, sektöre büyük yenilikler getirme potansiyeline sahiptir.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu literatür taraması, mermi kovanlarının kalite kontrolü ve otomasyon sistemleri üzerine yapılan çalışmaların kapsamlı bir incelemesini sunar. Özellikle görüntü işleme teknolojileri kullanılarak yapılan kalite kontrol ve hata tespitine odaklanılmıştır. Literatürde bu alandaki çalışmaların sınırlı olduğu, ancak mevcut çalışmaların önemli bulgular sağladığı görülmektedir.

Savunma sanayiinde mermi kovanlarının kalite kontrolü büyük öneme sahiptir. Geleneksel olarak bu işlemler manuel yöntemlerle gerçekleştirilmekte olup, insan hatasına açık ve zaman alıcıdır. Manuel kontrol yöntemlerinin sınırlamaları, operatörlerin dikkatine bağlı olarak değişkenlik göstermesi ve yüksek hacimli üretimlerde yetersiz kalabilmesi literatürde sıkça vurgulanmıştır.

Literatürde, mermi kovanlarının kalite kontrolü ve otomasyon sistemleri üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır. Ancak, Anugool Thamna ve ekibi tarafından gerçekleştirilen "Real-Time Visual Inspection and Rejection Machine for Bullet Production" başlıklı çalışma [10], bu alanda önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, M193 mermi kovanlarının üretim süreçlerinde kalite kontrolünü otomatik hale getirmek amacıyla bir sistem geliştirilmiştir. Sistem, yüksek çözünürlüklü kameralar ve dijital görüntü işleme yazılımı kullanarak mermi kovanlarındaki karanlık lekeler, çatlaklar, deformasyonlar, renk düzensizlikleri ve boyut hataları gibi kusurları tespit etmektedir. LabVIEW tabanlı görüntü analiz yazılımı, saniyede iki mermiyi inceleyip, hatalı olanları PLC kontrolör aracılığıyla reddetmektedir. Çalışmanın sonuçları, sistemin hatalı mermileri %86.7 doğrulukla tespit edebildiğini göstermiştir. Ancak bu çalışmanın bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Örneğin, saniyede iki merminin kalite kontrolünün yapılabilmesi, bu çalışmada hedeflenen hızın oldukça altındadır. Tespit edilen hataların kök nedenlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve iyileştirilmesi üzerine daha fazla araştırma yapılmamıştır. Ayrıca, sistemin farklı kalibreler için esnekliği ve adaptasyonu yeterince ele alınmamıştır.

Görüntü işleme teknolojileri kullanılarak yüzey kusurlarının tespiti üzerine yapılan araştırmalar oldukça fazladır. Bu alanda yapılan çalışmalar, yüksek çözünürlüklü

kameralar ve gelişmiş görüntü işleme algoritmaları kullanarak metal yüzeylerdeki mikroskobik kusurların bile tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Mevcut yurtdışı kaynaklı modern kalite kontrol sistemlerinde, otomatik görüntü işleme ve ölçüm teknolojilerini kullanılarak farklı ürünler için bu test ve ölçümler çok daha hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmekte, üretim verimliliği büyük oranda artırılabilir.

Örneğin, Moru ve Borro'nun çalışması, dişli üretiminde makine görüş teknolojisinin kalite kontrol sürecine entegrasyonunu ele almaktadır [11]. Vision2D ismini verdikleri sistem, sensörler, kameralar ve robot yönlendirme ile entegre edilerek dişlilerin yüksek hassasiyetle incelenmesini sağlamaktadır. Yapılan testlerde, sistemin tolerans sınırları içinde kabul edilen dişlileri yüksek doğrulukla belirlediği, kalibrasyon sonrası 0.06 piksel hata ile çalıştığı görülmüştür. Çalışma, makine görüş algoritmalarının endüstriyel kalite kontrol süreçlerinde doğruluğu ve verimliliği nasıl artırabileceğini göstermektedir.

Benzer şekilde, Huang ve Ma'nın araştırması, boş şişe inceleme sistemleri için makine görüş teknolojilerinin kullanımını ve uygulanmasını incelemektedir [12]. Çalışma, şişelerin ağız, taban ve duvarlarında oluşabilecek yüzey kusurlarının tespitine odaklanmakta ve bu bölgeleri doğru şekilde belirleyip takip edebilmek için özgün algoritmalar geliştirmiştir. Araştırmada, yüksek hızlı üretim süreçlerine uyum sağlayabilen, hızlı ve basit bir tespit yöntemi olan dairesel bölge projeksiyon histogram (CRPH) tekniği önerilmiştir. Bu teknik, görüntülerin merkeze göre döndürülüp doğru hizalanmasını sağlamakta, ardından referans ve örnek görüntüler arasındaki pikselleri tek tek karşılaştırarak kusurları belirlemektedir. Sonuç olarak, CRPH yöntemi ve geliştirilen seyrek gösterim algoritması, şişe yüzeyinde oluşabilecek kusurların yüksek doğrulukla tespit edilmesinde etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışma, makine görüş teknolojisinin şişe inceleme süreçlerine entegrasyonu ile kalite kontrol süreçlerinde hız ve verimlilik sağlamaktadır.

Ayrıca, Wu, Oin ve Wang'ın geliştirdiği, demiryolu yüzey kusurlarını tespit etmek için kullanılan İnsansız Hava Aracı (UAV) tabanlı bir görsel inceleme yöntemi de bu teknolojinin ulaştığı ileri düzeyi göstermektedir [13]. Bu çalışmada, demiryolu yüzey görüntülerini iyileştirmek ve kusurları ayırt etmek amacıyla iki yenilikçi algoritma geliştirilmiştir. İlk olarak, görüntü kalitesini artırmak için, farklı ışık koşullarında demiryolu yüzeyindeki kusurları daha belirgin hale getiren Local Weber-like Contrast (LWLC) adlı bir görüntü iyileştirme algoritması uygulanmıştır. Ardından, kusur

segmentasyonu için gri tonlamalı esneme ve gürültü azaltma yöntemlerini içeren Gray Stretch Maximum Entropy (GSME) algoritması kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, LWLC-GSME modeli, demiryolu yüzey kusurlarını yüksek doğruluk oranlarıyla tespit ederek, UAV tabanlı görsel inceleme teknolojisinin etkinliğini ortaya koymuştur.

Bu alanda yapılan bir diğer önemli çalışma, Tomohira Tabata, Takashi Komuro ve Masatoshi Ishikawa tarafından gerçekleştirilmiştir [14]. Çalışmada, hızlı kameralar kullanarak dönen silindirik nesnelerin yüzey kusurlarını tespit etmeye odaklanılmıştır. Saniyede 1.000 kare hızında çekim yapılarak yüzeydeki kusurlar doğru şekilde belirlenmiş, görüntü bozulmaları ve ışık değişimlerinden kaynaklanan sorunlar özel yazılımlar aracılığıyla çözülmüştür. Bu yaklaşım, endüstriyel kalite kontrol süreçlerinde hız ve doğruluk sağlamada önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Ren, Fang, Yan ve Wu'nun çalışması ise, makine görüşü tabanlı kusur tespitinde son gelişmeleri kapsamlı bir şekilde ele almaktadır [15]. Çalışma, görsel incelemede yüksek kaliteli görüntü elde etmek için gerekli olan optik aydınlatma platformları ve görüntü alım donanımının önemine değinmektedir. Kusur bilgilerini elde etmede görüntü işleme ve analiz tekniklerinin yanı sıra, derin öğrenmenin görüntü analizi üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Derin öğrenmenin kusur sınıflandırma, yer belirleme ve segmentasyon süreçlerinde artan rolü ele alınmış ve görsel inceleme teknolojilerinin gelecekteki gelişimine dair öngörüler sunulmuştur. Bu araştırma, endüstriyel kalite kontrol süreçlerinde makine görüş teknolojisinin sağladığı faydaları detaylandırarak literatüre önemli katkı sağlamaktadır.

Bu örnekler, otomatik görüntü işleme ve ölçüm teknolojilerinin, farklı endüstrilerde kalite kontrol süreçlerini nasıl dönüştürebileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu teknolojiler, üretim hattında insan müdahalesini en aza indirerek hız ve doğruluğu artırmakta, aynı zamanda hatalı ürünlerin erken aşamalarda tespit edilmesini sağlamaktadır. Böylece, üretim verimliliği yükselirken kalite standartlarının sürdürülebilirliği de güvence altına alınmaktadır.





### 3. SİSTEMATİK TASARIM

Bu çalışmada, Pahl ve Beitz tarafından önerilen sistematik tasarım metodolojisi [16] uygulanmaktadır. Sistematik tasarım, mühendislik disiplinlerinde yaygın olarak kabul gören bir metodoloji olup, karmaşık tasarım problemlerinin çözümünde bölümlere ayrılarak yönetilmesini sağlar. Tasarım sürecinin ilk aşaması olarak kavramsal tasarımın gerçekleştirilmesi, süreci büyük ölçüde kolaylaştırmış ve daha verimli hale getirmiştir. Kavramsal tasarım, projenin genel çerçevesini ve yol haritasını belirlerken, tasarımın ilerleyen aşamaları için bir temel oluşturur. Bu erken aşama, mermi kovanı kalite kontrol makinesi gibi karmaşık bir makinenin geliştirilmesinde, muhtemel riskleri önceden tespit etme ve öngörülebilir maliyetlerden kaçınma imkânı sağlamıştır.

Pahl ve Beitz'in sistematik tasarım yaklaşımı, belirli ve ölçülebilir ihtiyaçlar listesi oluşturulması, bu ihtiyaçları karşılayacak fonksiyonel gereksinimlerin saptanması, çözüm alternatiflerinin oluşturulması ve en uygun tasarımın seçilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Tasarım sürecinin her aşamasında alternatif çözümler sistematik bir şekilde değerlendirilmiş ve en uygun çözüm, detaylı analiz ve değerlendirmeler sonucunda seçilmiştir. Bu yaklaşım, mermi kovanı kalite kontrol makinesinin geliştirilmesinde, teknik gereksinimlerin yanı sıra operasyonel verimliliği ve ekonomik faktörlerin de dikkate alınmasını sağlayarak, genel sistem performansının optimize edilmesine imkân tanımıştır.

Bu kapsamlı metodoloji çerçevesinde, projenin başlangıç aşaması olarak ihtiyaç listesi [17] hazırlanmıştır. Bu liste, sistematik yaklaşımın temelini oluşturarak, tasarım sürecinin diğer aşamaları için gerekli temel bilgileri ve yönlendirmeleri sağlamaktadır.

#### 3.1. İhtiyaç Listesi

Mermi kovanı kalite kontrol makinesi için hazırlanan ihtiyaç listesi (tasarım şartnamesi), Tablo 1'de sunulmuştur. Bu liste, makinenin tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken temel özellikler ve gereksinimlerin bir özetini içermektedir. İhtiyaç listesi, makinenin farklı çap ve özelliklerdeki mermi kovanlarını yüksek doğrulukla ve hızla işleyebilmesi, kullanım kolaylığı ve bakım gereksinimleri gibi kritik faktörleri kapsar. Ayrıca, makinenin ergonomik tasarımı ve operasyonel verimliliği de dikkate alınmıştır. Bu aşamada belirlenen ihtiyaçlar, kavramsal tasarım sürecinin temelini oluşturur ve tasarımın ilerleyen aşamalarında esnek bir şekilde uyarlanabilir. Şartnamede listelenen özellikler,

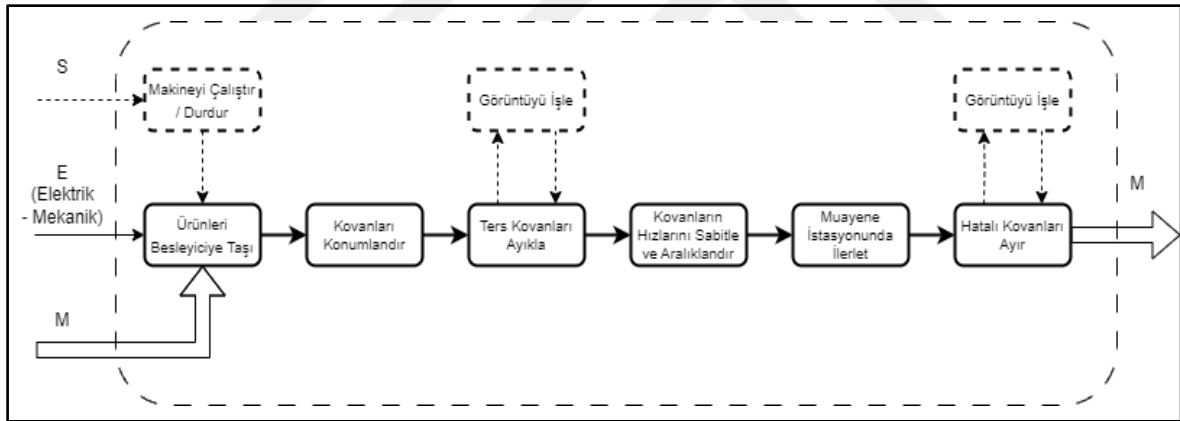
tasarımın başarısını doğrudan etkileyen unsurlardır ve bunlar arasında zorunlu ihtiyaçlar olduğu kadar, teknolojik ve ekonomik imkanlar dahilinde gerçekleştirilebilecek arzular da bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. İhtiyaç listesi

SIRA	İSTENİLEN ÖZELLİKLER /İHTİYAÇLAR
	Fonksiyonel Gereksinimler:
1	Makine, dakikada en az 320 adet mermi kovanını kalite kontrol edebilmelidir.
2	Çeşitli çap ve özelliklere sahip mermi kovanlarını işleyebilmelidir.
3	Hatalı kovanları tespit edebilmeli ve uygun kategorilere ayırabilmelidir.
	Performans ve Güvenilirlik:
4	Makine, sürekli operasyonlarda yüksek güvenilirlik ve minimum bakım ihtiyacı ile çalışabilmelidir.
5	Sistem, %99 üzerinde doğruluk oranı ile hataları tespit edebilmelidir.
	Otomasyon ve Yazılım Özellikleri:
6	Gelişmiş görüntü işleme teknolojileri kullanılarak otomatik kalite kontrol yapabilmelidir.
7	Yazılım, hataları sınıflandırarak üretim hatasına sebep olan unsurları belirleyebilmelidir.
	Ergonomi ve Kullanıcı Arayüzü:
8	Makine, operatörler için kolay ve güvenli kullanım sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
9	Arayüz, kullanıcı dostu ve anlaşılır olmalıdır.
	Güvenlik ve Çevresel Standartlar:
10	Makine, ulusal ve uluslararası güvenlik standartlarına (örneğin MIL-STD ve EN ISO) uygun olarak üretilmelidir.
11	Çalışma sırasında çevresel etkileri minimize edecek şekilde enerji verimli olmalıdır.
	Arayüz Gereksinimleri
12	Makine, mevcut üretim hatları ile uyumlu mekanik ve elektriksel arayüzlere sahip olmalıdır.
13	Sistem, üretim yönetim sistemleriyle (ERP/MRP) entegre çalışabilecek kapasitede olmalıdır.
	Test ve Doğrulama Kriterleri
14	Makinenin performansı, gerçek üretim koşullarında simüle edilen testlerle doğrulanmalıdır.
15	Fonksiyonel testler, tüm kovan çap ve türlerini kapsayacak şekilde tasarlanmalıdır.
	Belgeler ve Kullanıcı Eğitimleri
16	Makine ile birlikte detaylı kullanım kılavuzları ve bakım talimatları sağlanmalıdır.
17	Kullanıcılar için başlangıç seviyesinden ileri seviyeye kadar eğitim programları düzenlenmelidir.

### 3.2. Fonksiyon Şeması

Bu bölümde, mermi kovanı kalite kontrol sisteminin fonksiyonel yapısı detaylandırılmaktadır. Sistem, farklı çap ve özelliklere sahip mermi kovanlarının yüksek hızda ve hatasız bir şekilde kalite kontrolünü gerçekleştirebilmek için enerji (mekanik ve elektrik), malzeme (mermi kovanları) ve sinyal (kontrol ve görüntü işleme komutları) girdilerini kullanmaktadır. Sistemde, mermi kovanlarının besleyiciden alınması, uygun konumlara yerleştirilmesi, hatalı kovanların ayrılması ve muayene istasyonundaki ilerlemeleri gibi işlevler ardışık olarak gerçekleşmektedir. Bu işlevler, mermi kovanlarını toplama, konumlandırma, hızlandırma ve ayırıştırma gibi ana ve yardımcı fonksiyon bloklarına ayrılarak sistematik bir şekilde incelenir. Fonksiyon şeması [16], sistemin nasıl birlikte çalıştığını görsel olarak anlamayı kolaylaştıracak şekilde, enerji, malzeme ve sinyal akışlarını gösteren detaylı bir görsel sunmaktadır. Her bir fonksiyon bloğu arasındaki ilişkiler, sistemin verimli ve etkin çalışmasını sağlayacak biçimde optimize edilmiştir.

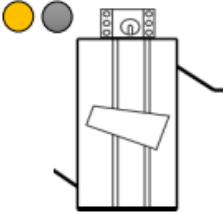



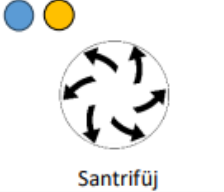
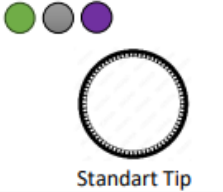



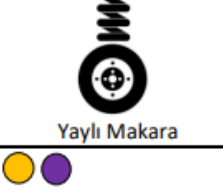
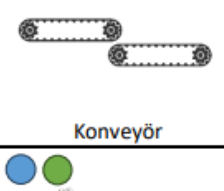
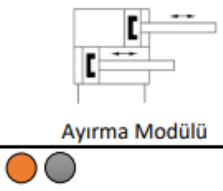
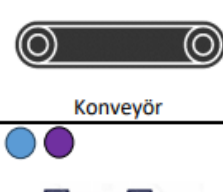

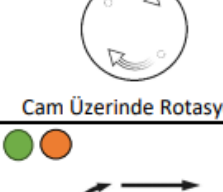
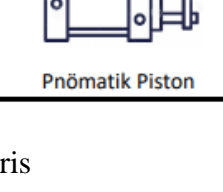
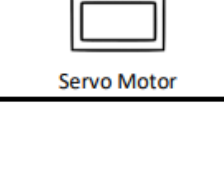
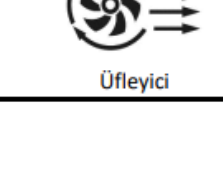


Şekil 3.1 Fonksiyon şeması

### 3.3. Alt ve Genel Tasarımlar







Fonksiyon şeması üzerinde belirlenen işlevler tablodaki gibi tanımlandıktan sonra bu işlevleri karşılaması ve sistemin genel performansını optimize etmesi için oluşturulan muhtemel çözümler, morfolojik matriste [16] sıralanmıştır. Her bir ana fonksiyon, olası alt çözümleriyle birlikte morfolojik matriste yer almaktadır. Bu süreçte, her bir alt fonksiyon için çeşitli tasarım varyantları geliştirilerek sistem için optimal çözüm kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu alt tasarımlar, sistemin daha verimli, hızlı ve hatasız çalışmasını

sağlamak amacıyla teknik ve pratik gereklilikleri karşılayacak şekilde detaylandırılmaktadır. Mermi kovanlarının beslenmesi, konumlandırılması, hızlarının ayarlanması ve hatalı ürünlerin ayıklanması gibi ana işlevler, sistemin etkinliğini doğrudan etkileyen kritik süreçlerdir. Sonraki adım olarak ise her bir ana fonksiyon için alternatif çözüm yolları araştırılarak, en verimli ve pratik çözüm seçenekleri belirlenmeye çalışılmıştır.

ALT FONKSİYONLAR				
No	Çözüm İlkeleri	1	2	3
1	Ürünlerin Besleyiciye Transferi	 Asansör Sistemi	 Dikey Açılı Konveyör	 Operatör ile Taşıma
2	Kovan Konumlandırma - Besleme	 Vibrasyon	 Santrifüj	 Standart Tip
3	Ters Kovanları Ayıklama	 Görüntü İşleme	 Yaylı Mekanik Tuzak	 Ağırlık Merkezi Tuzağı
4	Kovan Hız ve Aralık Sabitleyici	 Yaylı Makara	 Konveyör	 Ayırma Modülü
5	Muayene Kovan İlerleme	 Konveyör	 Serbest Düşme	 Cam Üzerinde Rotasyon
6	Hatalı Kovan Ayırma	 Pnömatik Piston	 Servo Motor	 Üfleyici

Şekil 3.2. Morfolojik matris

Çizelge 3.2. Kavramsal tasarım seçenekleri ve ilişkili alt çözümler

Seçim 1 	1.3 – 2.3 – 3.2 – 4.1 – 5.2 – 6.3
Seçim 2 	1.2 – 2.2 – 3.1 – 4.1 – 5.2 – 6.1
Seçim 3 	1.2 – 2.1 – 3.1 – 4.2 – 5.3 – 6.3
Seçim 4 	1.2 – 2.3 – 3.2 – 4.1 – 5.1 – 6.1
Seçim 5 	1.1 – 2.2 – 3.3 – 4.3 – 5.1 – 6.2
Seçim 6 	1.1 – 2.3 – 3.3 – 4.2 – 5.3 – 6.2

### 3.4. Ön Değerlendirme

Mermi kovani kalite kontrol makinesi tasarımı için hazırlanan ihtiyaç listesi, fonksiyon şeması ve morfolojik matris, tasarımın her bir parçasını detaylandırmakta ve sistemdeki muhtemel alt işlevsel parçaları ve çözüm alternatiflerini ortaya koymaktadır. Alt tasarımların çeşitliliği sayesinde, sisteme ait birden fazla alternatif tasarım çözümü sunulmuştur. Bu alternatifler arasından en uygun olanları seçmek için, belirlenecek kriterlere göre bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu değerlendirme, tüm belirli ölçütler göz önünde bulundurularak yapılan bir ön eleme sürecini içerir. Değerlendirme için kullanılacak olan seçim kartı, her bir tasarım alternatifinin bu kriterler açısından nasıl performans gösterdiğini sistematik bir şekilde gözden geçirmemizi sağlar.

Öncelikle, "Şartname İsteklerini Karşılar" ölçütü ile makinenin tasarımının, belirlenen teknik şartnameler ve kullanıcı gereksinimlerine uygunluğu değerlendirilecektir. "Tüm İşlevlere Uyumlu" kriteri, makinenin farklı işlev ve operasyonlar arasındaki entegrasyonun ve koordinasyonun sağlanmasını ölçer. "Performans ve Doğruluk" ölçütü, makinenin hata tespitindeki doğruluk oranı, hızlı ve güvenilir sonuçlar sağlamasını değerlendirirken, "Sistem Güvenilirliği" makinenin uzun vadeli operasyonel dayanıklılığını ve arıza oranlarını minimize etme kapasitesini sorgular. "Tasarım Optimizasyonu", tasarımın sadelik, işlevsellik ve üretim süreçleri açısından ideal bir denge kurup kurmadığını inceler. Bu, hem malzeme kullanımı hem de enerji verimliliği açısından makinenin ne kadar etkili olduğunu gösterir.

"Maaliyet Etkinliği", toplam sahip olma maliyeti üzerinden makinenin ekonomik değerini ortaya koyar. Yatırımın geri dönüş süresi, işletme ve bakım maliyetleri bu kapsamda

değerlendirilir. "Modüler ve Esnek Tasarım" ölçütü, makinenin farklı kalibrede kovanlar ile üretim senaryolarına ve değişen operasyon gereksinimlerine ne kadar hızlı ve etkin bir şekilde adapte olabileceğini belirler. Bu, gelecekteki genişletmeler veya yapılandırmalar için esneklik sağlar.

"Yeterli Bilgi", projenin tasarım ve geliştirme aşamalarında kullanılan teknik bilginin yeterliliğini ve erişilebilirliğini değerlendirir. Bu, tasarım sürecinin her aşamasında bilgi akışının sürekliliğini ve doğruluğunu garanti eder.

Bu ölçütler, seçim kartı [17] üzerinde her bir tasarım alternatifinin ne derece uygun olduğunu belirlemek için kullanılacak ve bir ön eleme süreci gerçekleştirilecektir. Eleme sonucunda, en uygun tasarım alternatifleri seçilerek projenin sonraki fazlarına geçilecektir. Bu süreç, makinenin hem teknik hem de operasyonel açıdan en üst düzeyde verimlilik ve etkinlikle çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

SEÇİM KARTI											
Çözüm seçeneği (SÇ) gir:	SEÇİM ÖLÇÜTLERİ								KARAR		
	(+) Evet (-) Hayır (?) Bilgi Yetersiz (!) İhtiyaç Listesini Kontrol Et								Çözüm seçeneklerini işaretle (+) Çözümü sürdür (-) Çözümü elimine et (?) Bilgi topla, çözümü tekrar değerlendir		
SÇ	Şartname İsteklerini karşılama Tüm işlemlere uyumluluk Performans ve doğruluk Sistem güvenilirliği Tasarım optimizasyonu Maliyet Etkinliği Modüler ve esnek tasarım Yeterli bilgi								KARAR		
	A	B	C	D	E	F	G	H			
									Notlar (İşaretler, nedenleri)		
Ç1	1	-	-	-	+	-	+	-	+	Düşük maliyet fakat operatöre bağımlılık	-
Ç2	2	+	+	+	+	+	-	+	-	Ekstra kamera ve işlemci maliyeti	+
Ç3	3	-	-	?	?	+	+	-	-	Rotasyon modülü güvenilirlik ve bilgi eksikliği	-
Ç4	4	+	+	?	-	+	+	-	+	Farklı kalibrelere uyum sağlaması zor	+
Ç5	5	+	+	-	-	+	-	+	+	Bunker ihtiyacı, güvenilirlik eksikliği	+
Ç6	6	+	+	-	-	-	-	+	-	Tuzakta sıkışma ve performans düşürme potansiyeli	-

Şekil 3.3. Tasarım ön değerlendirme tablosu

### 3.5. Tasarım Çözümleri

Ön değerlendirme sürecinin sonucunda üç tasarım çözümü, Seçim 2, Seçim 4 ve Seçim 5 olarak belirlenmiştir. Her bir tasarım çözümü, mermi kovanı kalite kontrol makinesinin işlevsel bileşenlerinde benzerlikler ve farklılıklar göstermekte ve belirlenen kriterlere göre optimize edilmiş performans sunmaktadır.

"Ürünlerin Besleyiciye Transferi" işlevi için Seçim 2 ve Seçim 4'te, dikey açılı bir konveyör sistemini tercih edilirken, Seçim 5'te asansör sistemi kullanılmaktadır. Dikey konveyörler daha stabil ve kontrollü bir çözüm sunarak malzeme akışını iyileştirir ve basit yapıları ile bakım gereksinimleri düşüktür. Asansör sistemi ise özellikle dikey taşıma gerektiren durumlar için kullanılır ve zeminde daha az yer kaplar ancak ek hazne gereksinimi vardır.

"Kovan Konumlandırma" işlemi için Seçim 2 ve Seçim 5'te, santrifüj tipi besleyici kullanılırken, Seçim 4'te geleneksel bir besleyiciyi tercih edilmiştir. Santrifüjlü besleyici, kovanların daha hızlı ve düzenli bir şekilde beslenmesini sağlayarak işlem süresini kısaltırken, standart besleyici ise yapısal basitlik sunmaktadır.

"Ters kovanları ayıklama" konusunda, Seçim 2'de görüntü işleme teknolojisini kullanırken, Seçim 4 mekanik bir yaylı tuzak sistemine Seçim 5 ise ağırlık merkezi prensibiyle çalışan bir tuzak sistemine dayanmaktadır. Görüntü işleme teknolojisi, yüksek doğruluk oranı sağlasa da sistem karmaşıklığı ve maliyeti artırabilir. Öte yandan, tuzaklar daha basit ve maliyet etkin bir çözüm olup, bakım gereksinimleri daha azdır ancak hata oranı görüntü işlemeye kıyasla daha yüksek olacaktır.

"Kovan hızını ve aralığını sabitleme" işlemi için Seçim 2 ve Seçim 4'te yaylı makaralar kullanılmıştır. Yaylar, kovanların aralığını mekanik olarak sabitleyerek düzenli bir akış sağlar. Seçim 5'te kullanılan pnömotik ayırma modülü ise daha hassas kontrol sunarak kovan aralıklarını elektronik olarak ayarlayabilir kılar. Ancak farklı kalibreler için, modül değişikliği gerektirebilmektedir.

"Muayene kovan ilerleme prensibi" açısından, Seçim 2 serbest düşme yöntemini benimserken, Seçim 4 ve 5 konveyör sistemi ile çalışmaktadır. Serbest düşme yöntemi,

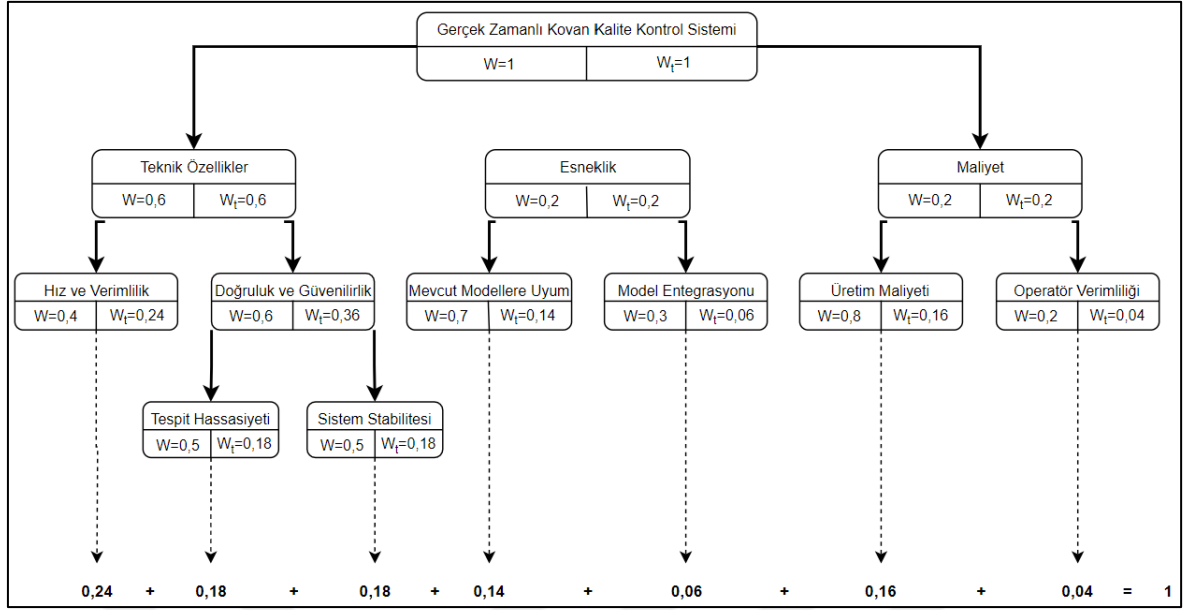
basit bir mekanizma sunarken, cam tüp kullanımı bu yöntemin önemli bir avantajıdır. Cam tüp ile kovanın hattın her noktasında tüm taraflarından görüntü alınabilmesi mümkün olmaktadır. Bu, kovanın her yüzeyinin kapsamlı bir şekilde taranmasını sağlar. Buna karşın, metal bir yol üzerinde ilerleyen kovan çözümlerinde, 8'li kamera sistemiyle kovanın her açıdan görüntülenmesi için kovanın kısa bir süre havada serbest kalması gerekmektedir. Ancak bu serbest kalma anı, akış stabilitesini bozarak üretim sürecinde sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, serbest d  me yöntemi ve cam tüp kullanımı, stabiliteyi koruyarak daha sorunsuz bir görüntüleme süreci sağlar.

Son olarak, "Hatalı Kovan Ayırma" işlemi için Seçim 2 ve Seçim 4'te pnömotik piston kullanılırken, Seçim 5'te servo motor tercih edilmiştir. Pnömotik pistonlar hızlı ve güçlü hareket kabiliyetiyle hızlı üretim hatları için idealdir, ancak düzenli bakım gerektirebilir ve hava kalitesine duyarlıdır. Servo motorlar ise hassas kontrol sağlayarak daha doğru ayırma yapılmasını mümkün kılar ancak servo sistemleri daha pahalıdır ve daha karmaşık kontrol mekanizmaları gerektirir, bu da başlangıç maliyetini ve bakım gereksinimlerini artırabilir. Değerlendirilen seçimler arasındaki tercih, belirli bir tasarımın işlevsel avantajlarına ve öncelikli kriterlere bağlı olarak yapılmalıdır. Her üç seçenek de mermi kovani kalite kontrolünde etkili çözümler sunmaktadır, ancak alternatifler arasından en uygun olanının seçimi için daha detaylı bir analiz yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda, seçim sürecini daha sistematik ve objektif hale getirebilmek amacıyla "amaçlar ağacı" yöntemi kullanılacaktır.

### **3.6. Ek Seçim İşlemleri**

Amaçlar ağacı, tasarımın her bir fonksiyonu ve özelliği için öncelikleri ve önem derecelerini belirleyerek, her bir tasarım alternatifinin genel amaçlara ne kadar uygun olduğunu değerlendirmek için etkili bir araçtır. Bu yöntemle, tasarım kriterleri ve alt kriterleri belirlenerek, her birine ağırlıklı değerler atanacak ve bu değerler doğrultusunda üç tasarım alternatifinin her biri ayrıntılı olarak incelenip kar ıla tırılacaktır.





Şekil 3.4. Amaçlar ağacı (Kriter değer şeması)

Çizelge 3.3. Değerlendirme çizelgesi

DEĞERLENDİRME ÇİZELGESİ					Seçenek 2			Seçenek 4			Seçenek 6		
KRİTER		W	PARAMETRELER	AÇIKLAMA	ORAN	DEĞER	AĞIRLIKLİ DEĞER	ORAN	DEĞER	AĞIRLIKLİ DEĞER	ORAN	DEĞER	AĞIRLIKLİ DEĞER
1	Hız ve Verimlilik	0,24	Hız	Kontrol hızı	Fazla	9	2,16	Orta	6	1,44	Fazla	10	2,4
2	Tespit Hassasiyeti	0,18	Başarı	Hata tespit başarısi	Fazla	9	1,62	Fazla	8	1,44	Fazla	8	1,44
3	Sistem Stabilitesi	0,18	Güvenilirlik	Az hata ve anize eğilimi	Fazla	9	1,62	Az	4	0,72	Az	4	0,72
4	Mevcut Modellere Uyum	0,14	Esneklik	Farklı kalibrelerde çalışabilme	Fazla	9	1,26	Fazla	9	1,26	Fazla	8	1,12
5	Model Entegrasyonu	0,06	Modülerlik	Yeni teknoloji ve modüllerin entegre kabiliyeti	Fazla	8	0,48	Orta	6	0,36	Orta	7	0,42
6	Üretim Maliyeti	0,16	Maliyet	Maliyet etkinliği	Orta	6	0,96	Fazla	9	1,44	Orta	6	0,96
7	Operatör Verimliliği	0,04	Maliyet - Güvenlik	İşçilik maliyeti ve insan faktörü azlığı	Orta	7	0,28	Orta	8	0,32	Orta	9	0,36
$\sum W_t = 1$					$\sum d_2 = 57$			$\sum d_4 = 50$			$\sum d_5 = 52$		
					$\sum A d_2 = 8,38$			$\sum A d_4 = 6,98$			$\sum A d_5 = 7,42$		

Elde edilen değerlendirme çizelgesi temelinde, çeşitli kriterler doğrultusunda gerçekleştirilen ayrıntılı bir analiz sonucunda, Seçenek 2, mermi kovani kalite kontrol makinesi için en uygun tasarım alternatifi olarak belirlenmiştir. Belirtilen kriterler arasında; hız ve verimlilik, tespit hassasiyeti, sistem stabilitesi, mevcut modellere uyum, model entegrasyonu ve operatör verimliliği gibi anahtar performans göstergeleri dikkate alınmıştır. Her bir kriter, makinenin genel performansını ve operasyonel verimliliğini etkileyen önemli faktörler olarak tanımlanmıştır.

Seçenek 2’de tercih edilen, ürünlerin besleyiciye transferi için dikey açılı bir konveyör sistemi, mermi kovanlarının etkin, hızlı ve kesintisiz bir şekilde taşınmasını sağlayarak mekanik basitlik sunarken sistem stabilitesini artıracaktır. Diğer alternatif olan asansörlü sistemin sürekli bir besleme sağlayacak olmaması ve kendi ürünlerini depolayamadığından ekstra hazne ihtiyaı maliyeti artıracak olması, konveyörlü sistemi daha avantajlı hale getirmiştir.

Kovan konumlandırma işleminde, santrifüjlü besleyici kullanılması, kovanların daha hızlı ve düzenli bir şekilde beslenmesini sağlayacak, bu da kovan işleme hızını artıracaktır. Bununla birlikte kovan sıkışmalarının az olacağı öngörülen santrifüjlü besleyici hata ve arıza eğilimini azaltacaktır.

Ters kovanları ayıklama konusunda, görüntü işleme teknolojisini benimsenmektedir. Ters kovanların ayrılmasında görüntü işleme teknolojisi sistem karmaşıklığı ve maliyeti artıracaktır fakat sağlayacağı yüksek doğruluk oranı kritiktir ve sistem stabilitesini artıracaktır.

Kovan hızını ve aralığını sabitleme işleminde kullanılan yaylı makaralar, kovanların düzenli aralıklarla ilerlemesini sağlayarak muayene sürecinin verimliliğini artırır. Muayene kovan ilerleme prensibi olarak serbest düşme yöntemi benimsenmiş, bu da konveyör sistemine kıyasla daha basit bir mekanizma sunarken, konveyör sistemi daha kontrollü bir ilerleme sağlar.

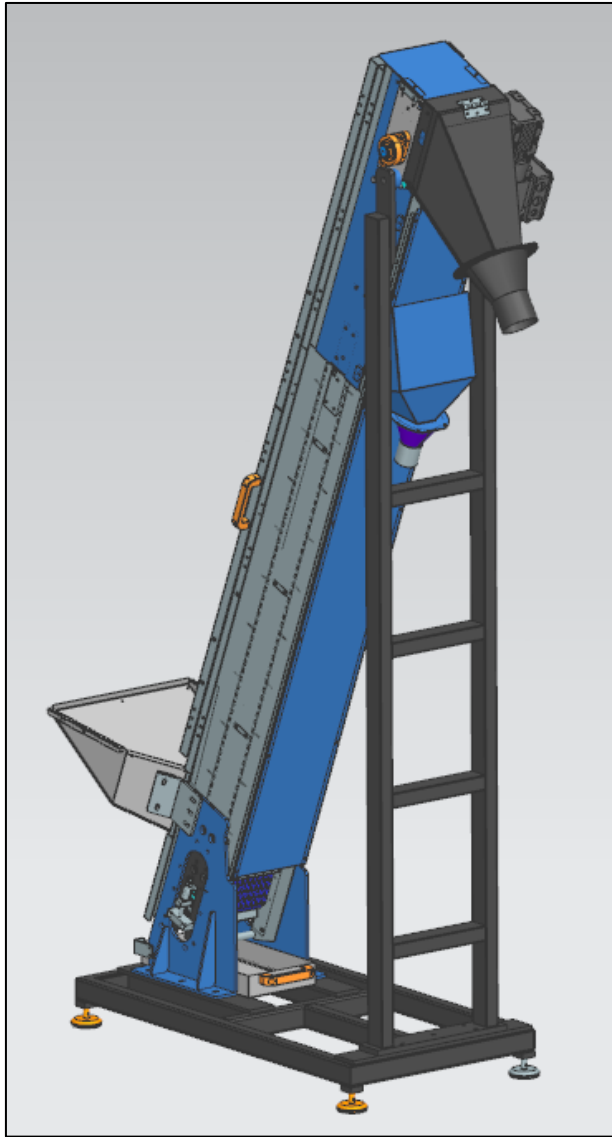
Son olarak, hatalı kovan ayırma işlemi, pnömotik piston kullanılarak gerçekleştirilmekte olup, bu yöntem hızlı ve etkili bir şekilde hatalı kovanların ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Bu zellikler, Seçenek 2’nin operatör verimliliğini artırmaya ve daha yüksek bir üretim hızına ulaşmasına olanak tanır.

Seçenek 2’nin sunduğu bu teknik avantajlar, başlangıç maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, uzun vadeli faydalarla dengelenmektedir. Daha yüksek başlangıç maliyeti, makinenin artırılmış hassasiyeti ve düşük arıza oranı sayesinde uzun vadede operasyonel maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olacaktır. Bu sebeplerle, Seçenek 2, mermi kovanı kalite kontrol makinesi tasarımı için en uygun seçenek olarak belirlenmiştir.

### 3.7. Tasarlanan Makine

Çalışmamız olan makine, mermi kovanlarının kalite kontrolünü yüksek hız ve doğrulukla otomatize eden modüler bir sistem olarak tasarlanmıştır.

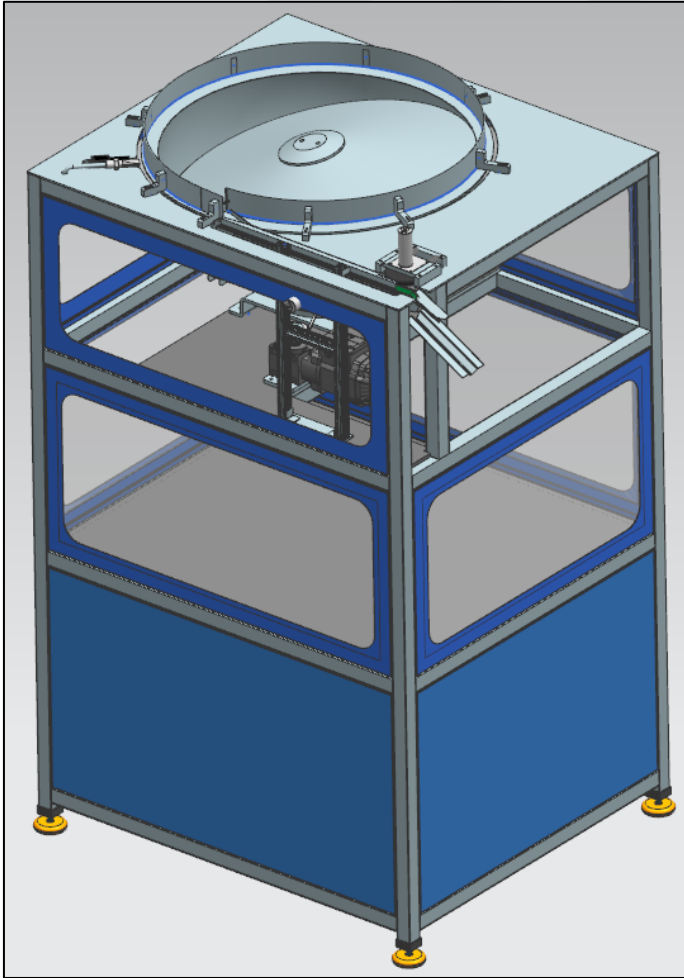
Kovanların toplanma ve besleme süreci, yüksek kapasiteli ve verimli bir dikey konveyör bant sistemi (Şekil 3.3) üzerinde optimize edilmiştir. İlk olarak, kovanlar 40 litrelik geniş bir haznede biriktirilir. Bu hazne, yaklaşık 20.000 adet kovan kapasitesine sahiptir, bu da sürekli ve uzun süreli üretim operasyonları için ideal bir hacim sunar.



Şekil 3.5 Dikey konveyör bant

Kovanların hazneden konveyör bandına düzenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan özel bir mekanizma geliştirilmiştir. Bu mekanizma, kovanların bant üzerine düşüşünü kontrol eden bir ağız açıklığına sahiptir ve bu açıklık, kovanların banda geçiş hızını ayarlamak için hassas bir şekilde düzenlenebilir. Bu düzenleme mekanizması sayesinde, kovanların konveyör bandına transfer hızı dakikada 300-350 adet olarak sabitlenmiştir. Bu sabit akış, besleme sürecinin düzenliliğini ve kovanların muayene istasyonuna eşit aralıklarla ulaşmasını sağlar, böylece muayene sürecinin verimliliği ve doğruluğu maksimize edilir.

Konveyör bant sistemi ile besleyici ünitesine (Şekil 3.4) getirilen kovanlar, merkezkaç prensibiyle çalışan santrifüj besleyici içerisine dökülecektir. Santrifüj tipi besleyicinin temel amacı ürünleri yüksek hızda ve belirli bir yönde hizalanmış şekilde konumlandırmak ve sonraki istasyonlara doğru beslemektir. Bu tip besleyicilerin, diğer tiplere kıyasla daha hızlı besleme hızları sundukları bilinmektedir [18].



Şekil 3.6. Besleyici ünitesi

Tasarımda kullanılan santrifüj tipi besleyici, iç ve dış olmak üzere iki ana döner sistemden oluşur. İç sistem, kubbe disk olarak adlandırılan, beslenecek kovanların ilk olarak yerleştirildiği ve merkezkaç kuvveti uygulayarak kovanları dışarı doğru harekete geçiren bölümdür. Dış sistemin merkezinde eğimli olarak konumlanan bu disk, kovanları merkezden dışarıya doğru savrulmasını sağlayarak, görece daha yüksekte bulunan, dış sistem geçişine doğru yönlendirilmesini ve sıralanmasını sağlar ve daha sonra dış döner sisteme, yani “yanal silindir” adı verilen bölüme taşınır. Yanal silindir, ürünleri son istasyona doğru hızlı ve düzenli bir şekilde yönlendiren kısım olup, son ayarlama ve konumlandırma işlemlerini gerçekleştirir. Silindiri çevreleyen rehber sac ile kovanlar dış yüzeyi takip ederek, besleyici çıkışına ilerler. Her bir kovan besleyiciden çıkmadan önce pozisyonları ters olanların elenmesi için entegre edilen kamera tabanlı görüntü işleme sistemi devreye girer. Bu sistemde, besleyicinin çıkış noktasının gerisine yerleştirilen bir kamera, kovanları yüksek hızda tarayarak her birinin pozisyonunu analiz eder. Ters pozisyonda bir kovan geldiğinde, bu durum görüntü işleme yazılımı tarafından anında saptanır. Besleyici sisteme entegre edilmiş bir hava üfleme tabancası aracılığıyla ters kovan besleyici içerisine geri düşürülür ve buradan tekrar doğru yönde hizalanması için döngüsel bir sürece dahil olur.

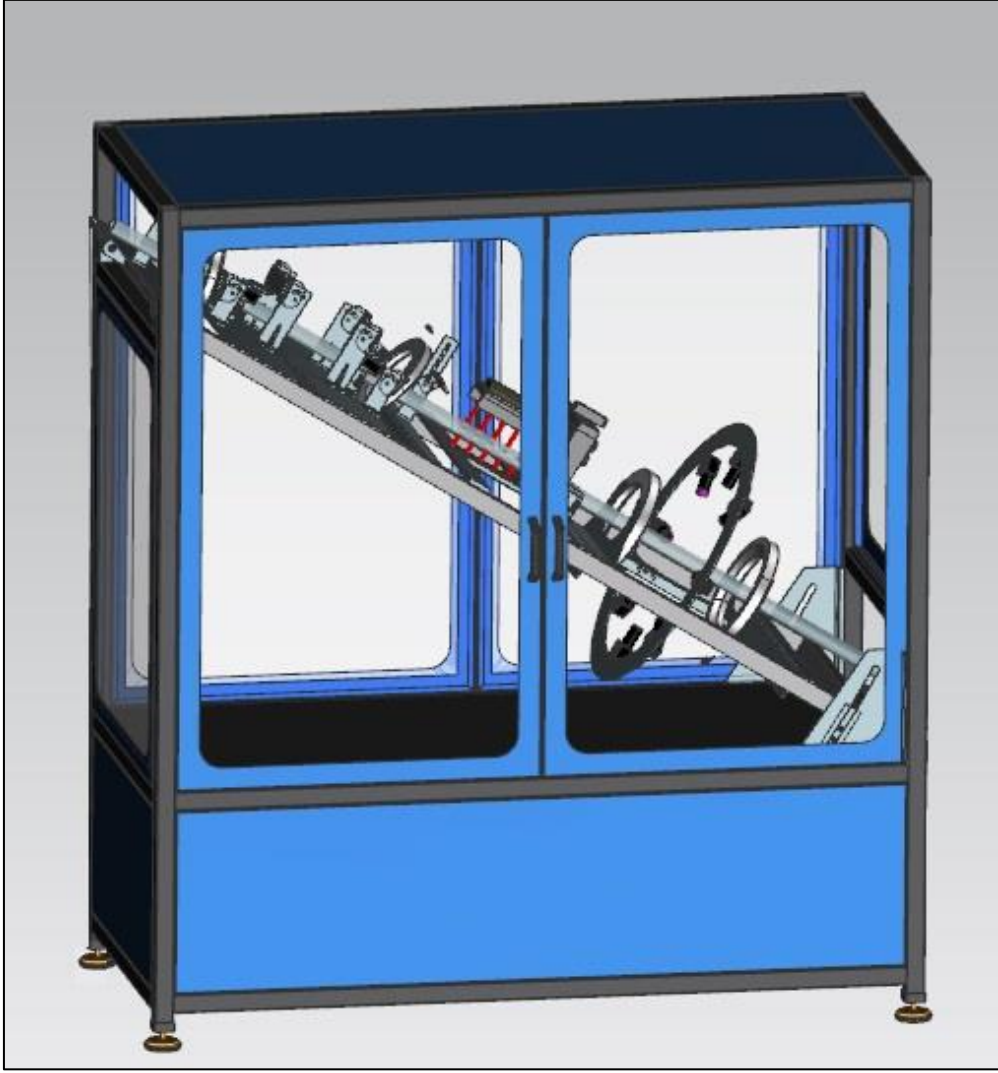
İç ve dış döner sistemlerin her biri parçaların doğru hızda ve uygun yönde ilerlemesini sağlamak için ayrı motorlarla kontrol edilir ve farklı hızlarda çalıştırılabilir. Döner sistemler, üzerinde bulunan dişli-zincir sistemleri ile motorlardan tahrik alır. Motorların çıkış milleri üzerinde ise olası parça sıkışmalarına karşı sistemin zarar görmemesi için tork limitleyicileri vardır.

Santrifüj besleyiciden doğru şekilde hizalanmış ve dizilmiş ürünler, aynı ünite üzerindeki küçük bir konveyör bant sistemine düşer ve burada, muayene istasyonuna doğru ilerlemeye başlarlar. Bant üzerinde hareket ederken, ürünler özel olarak tasarlanmış ve sabit bir hızda dönen yaylı bir makara sistemi tarafından sıkıştırılır. Bu yaylı makara, ürünleri kendi hızında dönmeye zorlar ve böylece kovanların kendi hızlarını makaranın dönme hızına düşürmelerini sağlar. Bu işlem sırasında, bitişik olarak gelen ürünler arasındaki mesafe, makaranın eylemi ile açılır. Bu sistemli açılma, her bir ürünün diğerlerinden belirli bir aralıkta olmasını garantiler ve böylelikle, ardışık gelen ürünler arasındaki mesafe düzenli bir şekilde arttırılmış olur. Bu sayede, sonraki istasyon olan muayene istasyonuna ulaşan

ürünler sabit bir hızda ve düzenli aralıklarla ilerlerler, bu da muayene işleminin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesini mümkün kılar.

Makara mekanizmasından çıkan kovanlar, muayene istasyonunda bulunan bir cam tüp içerisine girer. Bu cam tüp, kovanların istenen pozisyonda tutarken muayene sürecinde stabil bir hareket yolu sağlar ve yüksek doğrulukla taranabilmesi için onları düzenli bir hatta ve sabit bir hızda ilerletir. Muayene istasyonunda kovanları serbest düşüşle ilerleten aparat için başlangıçta "V" formunda bir kanal tasarlanmıştır. Bu kanalda sürtünmeyi azaltmak amacıyla pürüzsüz metal bir yüzey tercih edilmiştir. Ancak, alınan kamera görüntülerinde metal yüzeyden kaynaklanan ışık yansımaları, kovan üzerindeki homojen ışık dağılımını bozarak gölgelerin oluşmasına yol açmış ve görüntülerin hata tespiti için işlenmesini zorlaştırmıştır. Ayrıca, sekizli kamera düzeneğinden geçerken kovanların kanaldan ayrılıp havada kalması, ardından tekrar kanala girmesi gerekmektedir. Bu durum sistemin stabilitesini olumsuz etkileyerek kovanların hattan çıkma riskini artırmaktadır.

Cam tüp, bu problemlerin önüne geçerek kovanların sabit bir pozisyonda ve homojen ışık dağılımıyla görüntülenmesini sağlar. Aynı zamanda stabil bir yol ve hız kontrolü sunarak hata tespitinde doğruluğu artırır ve muayene sürecini daha güvenilir hale getirir.



Şekil 3.7. Muayene istasyonu

Ürünler muayene istasyonuna ulaştığında ise ilk olarak, kovanların ağız kısımları özel bir dairesel ışık kaynağı ve yüksek çözünürlüklü kameralar yardımıyla taranır. Bu ışık kaynağı, kovan ağzının tüm detaylarını belirginleştirirken kameralar tarafından net bir şekilde görüntülenmesini sağlar. Kovanların kapsül tarafı da benzer bir yöntemle kontrol edilir; burada da dairesel ışıklar ve kameralar, bu bölgenin her yönünü detaylı bir şekilde incelemek için kullanılır.

Sonraki adımda, profil ölçüm cihazı devreye girer. Bu cihaz, mekanik sensörler veya lazerler aracılığıyla kovanın çapını ve uzunluğunu ölçer, bu da kovanın boyutsal toleranslara uygunluğunun belirlenmesinde kritik bir adımdır.

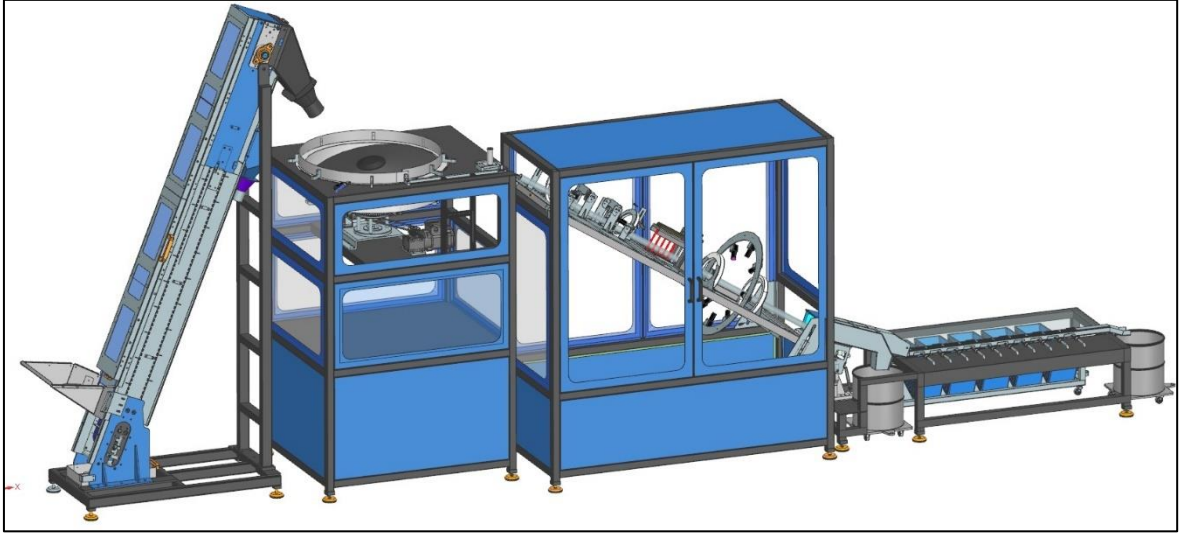
Muayene sürecinin son kısmında, kovan yüzeyinin tamamını taramak üzere tasarlanmış 8 kameralı çevresel bir düzenek bulunur. Bu kamera düzeneği, mekanik olarak kovanları döndürürken onların tam bir 360 derece yüzey taramasını yapar. Bu işlem ile, kovan yüzeyindeki her türlü çizik, delik veya diğer yüzey kusurlarının belirlenebilmesi hedeflenir.

Tüm bu mekanik bileşenler ve kameralar, ileri düzey görüntü işleme algoritmaları ile entegre şekilde çalışır. Yazılım, kaydedilen görüntüleri analiz eder ve herhangi bir hatayı NATO standartlarına göre sınıflandırır. Sistemin mekanik ve optik unsurları, bir arada çalışarak yüksek hassasiyetli ve hızlı bir kalite kontrol işlemi gerçekleştirir.

Muayene istasyonu çıkışında yazılım tarafından “onaylanmış” ve “reddedilmiş” olarak iki bölmeye yönlendirilen ürünler, hatalı olarak ayrıldığında bir taşıyıcı bant üzerine düşer. Konveyör bant üzerinde ise, belirlenen onarılabilir hata sınıfı sayısı kadar çıkış ve ürünleri bu çıkışa yönlendirecek pnömotik üfleyiciler bulunmaktadır. Bu sayede özel olarak planlanmış aynı onarım sürecine tabii olacak kovanlar bir arada tutulacak, kovanlar ancak onarılması makul veya mümkün değilse geri dönüşüme gidecektir.

Kalite kontrolünden geçemeyen ürünlerin hata durumuna ve ciddiyetine bağlı olarak değerlendirilmesi, bu ürünlerin maliyet açısından daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Bu hata sınıflandırma ve onarım sistemi üretim sürecindeki hataların daha iyi anlaşılması, hataların kök sebeplerinin giderilmesi ve üretim süreçlerinin iyileşmesi, üretim verimliliğinin artırılması ve fire ürün sayısının azaltılması, üretim hattındaki ekipmanların ve işlemlerin daha iyi yönetilmesi anlamında mermi kovani üretim sürecine büyük oranda fayda sağlayacaktır. Üretim sürecindeki kalite kontrolün sadece tespit etmekten öteye geçerek iyileştirilmesine katkı sağlayacak olması da çok önemlidir.





Şekil 3.8. Tasarlanan sistemin tamamı

Tasarlanan otomatik kalite kontrol sistemi, mevcut sistemlerin aksine, geniş bir kalibre yelpazesine uyum sağlayabilme yeteneği ile de öne çıkmaktadır. Bu sistem, 7,62 mm, 5,56 mm ve 9 mm gibi farklı kalibrelerdeki mermi kovanlarının kalite kontrolünü tek bir platform üzerinde gerçekleştirebilmektedir. Bu çok yönlülük, pratik parça değişimleri ve ayarlanabilir mekanik bileşenler sayesinde mümkün kılınmıştır.



## 4. ANALİZ

Bu bölümde, mühimmat kovani kalite kontrolü için geliştirilen yeni otomasyon sisteminin mekanik dayanımı ve kamera bağlantılarına etki edebilecek titreşimlerin incelenmesi ele alınmaktadır. Sistemin yapısal bütünlüğünün ve operasyonel doğruluğunun korunması için, mekanik dayanımın yeterlilik düzeyi ve titreşimlerin kamera performansına potansiyel etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir.

Mühimmat üretiminde yüksek doğruluk ve güvenilirlik kritik öneme sahiptir; bu yüzden, sistemdeki herhangi bir mekanik zayıflık veya aşırı titreşim, görüntü işleme kalitesinde kritik hata oranlarını artırabilir ve sonuç olarak üretim kalitesini düşürebilir. Bu nedenle, bu analiz, tasarlanan sistemin görüntü işleme süreçlerine engel teşkil etmeyen bir yapıda olduğunu doğrulamayı ve sistemin güvenlik faktörünün uygunluğunu onaylamayı hedeflemektedir. Bu bağlamda yapılan titreşim analizi, sistemin bu önemli yönlerini güvence altına almak için kritik bir rol oynamaktadır.

### 4.1. Teorik Değerlendirme

Hareket bulanıklığı, endüstriyel kameranın pozlama süresi boyunca nesnenin hareket etmesi veya titreşmesi sonucu oluşur. Bir kameranın titreşimli bir yüzey üzerinde çalışırken görüntüyü ne kadar etkileyeceğini değerlendirmek için göz önünde bulundurulması gereken bir dizi faktör vardır. Bunlar titreşimin frekansı ve genliği, kamera çözünürlüğü, lens özellikleri ve pozlama süresidir. Bu faktörlerin görüntüye etkisi şu şekilde değerlendirilebilir; eğer titreşim frekansı yüksekse ve genliği kamera sensörünün piksel boyutundan daha büyükse, bu durum bulanıklığa yol açabilir. Aynı şekilde titreşim hızı pozlama süresine yakın veya bu süreden daha uzun bir zaman diliminde değişiyorsa, bu da görüntüde hareket bulanıklığına sebep olabilir. Diğer yandan pozlama süresi çok uzunsa (yani titreşimin birkaç periyodu boyunca devam ediyorsa), titreşimden kaynaklı hareket bulanıklığı daha belirgin olur. Bunun tersine, eğer pozlama süresi çok kısaysa (titreşim periyodunun sadece küçük bir kısmını kaplıyorsa), hareket bulanıklığı azalır.

Öncelikle, nesne veya kamera pozlama süresi boyunca 0,5 pikselden fazla hareket ederse, görüntüde hareket bulanıklığı oluşur [19]. Görüntüde titreşim kaynaklı gözle görülebilir bir bulanıktan söz edilebilmesi için; tasarladığımız sistemde, işlemciye aktarılan görüntünün,

bulanıklık uzunluğuna denk gelen piksel sayısı 0.5 veya 0.5'ten büyük olmalıdır. Bunun için 0.5 piksel biriminde bir görüntünün kayması için kamerada oluşması gereken minimum yer değiştirme uzaklığı hesaplanmalıdır.

Kameradan yüksek çözünürlükte alınan görüntüde 7,62 kovan ağız çapı 160 piksel olarak ölçülmüştür, bu çapın gerçek ölçüsü ise 7,92 mm'dir.

Bu durumda;

$$Piksel\ uzunluğu \approx 0,05\ mm/px$$

Buradan, teorik olarak 0,025 mm (0.5 px uzunluğu) altında kamerada oluşacak herhangi bir yer değiştirmenin görüntüye etkisi olmayacağı yorumu yapılabilmektedir.

Titreşimle birlikte kamera üzerinde oluşacak hareket değerlendirilebilmesi için öncelikli olarak aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Elektrikli motorlardan kaynaklanan titreşimlerin sinüzoidal olduğunu kabul edilmiştir, çünkü motorun dönüşü düzgün bir rotasyonel hareket üretir.
- Sistemde birebir özdeş iki motor kullanılacaktır ve üretilen bileşke titreşim frekansı ve genliği montaj düzenlerine göre değişkenlik gösterebilir. Ancak her iki motorun da aynı frekansta ve fazda titreşim ürettiği durumda, genel genlik maksimum değerine ulaşacağı için, analiz bu senaryo üzerinden yapılacaktır.

Bir cismini titreşime bağlı olarak ne kadar yer değiştirdiğinin hesabı için sinüzoidal hareketin formülü kullanılır:

$$x(t) = A\sin(2\pi ft + \varphi)$$

Burada  $x(t)$  zamana bağlı yer değiştirme,  $A$  genlik,  $f$  frekans ve  $\phi$  faz açısıdır.

İki titreşim kaynağının aynı frekansta ve fazda çalıştığı durumda, her bir motorun ürettiği genlik eşit ve  $A$  olarak belirtilirse, toplam yer değiştirme miktarı iki katına çıkar:

$$x_{Toplam}(t) = 2A\sin(2\pi ft + \varphi)$$

Formülde de görüldüğü üzere bulanıklığı etkileyecek tek etken genlik değeri değildir. Belirli bir limitin altındaki frekans değerlerinin titreşim hızı düşük olacağından genlik

yüksek olsa dahi pozlama süresi içerisinde 0,025 mm yer değiştirme üretemeyecektir. Bu yüzden, kameranın genlik ve titreşim hızı yani frekansı birlikte incelenmelidir.

Yukarıdaki sinüzoidal hareketin formülü, titreşen objenin anlık konumunu vermektedir. Ancak, pozlama süresi içerisindeki toplam yer değiştirmenin bulanıklığa sebep olup olmayacağının bulunması için, belirli bir zaman aralığında toplam yer değiştirme miktarı hesaplanmalıdır. Dolayısıyla, hareket formülünün pozlama süresi aralığında integrali alınarak yer değiştirme bulunabilir.

$$\Delta x = \int_{t_0}^{t_1} A \sin(2\pi f t + \varphi) dt$$

$$\Delta x = -\frac{A}{2\pi f} [\cos(2\pi f t + \varphi)]_{t_0}^{t_1}$$

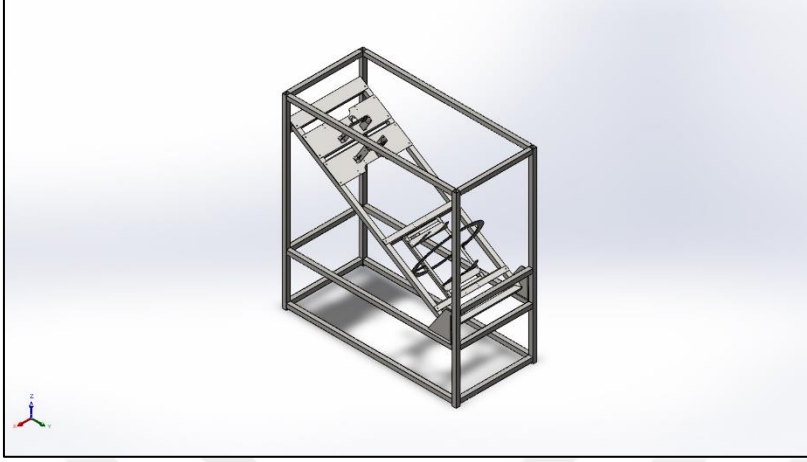
Sistemde kullanılan kameranın teknik özelliklerine bakıldığında;

*Pozlama Süresi (Exposure Time)* = 8  $\mu s$  – 16,7 ms aralığında olduğu görülmüştür. Ancak 16,7 ms saniyede yaklaşık 5 adet kovanın net görüntüleneceği sistem için kovanların kameranın önünden geçiş hızı göz önünde bulundurulduğunda oldukça uzun bir süredir. Sistemde kullanılacak aydınlatmalar ve görüntü işleme algoritmaları ile yapılan testlerde en fazla 20  $\mu s$  pozlama süresi kullanılmıştır ve bu değerde netlik ve aydınlık anlamında ideal sonuçlar alınmıştır. Yapılan titreşim analizi ise olası varyasyonlar da dikkate alınarak, güvenlik amacıyla %100'lük bir pay eklenmiş ve pozlama süresi olarak 40  $\mu s$  kullanılmıştır.

Maksimum Pozlama Süresi: 40 mikrosaniye =  $40 \times 10^{-6}$  saniye

Model üzerinde yapılacak simülasyon sonucunda, kamera bağlantıları üzerinde oluşan titreşim ve genlik değerleri elde edilecektir. Sonrasında bu değerler kullanılarak, maksimum pozlama süresi boyunca oluşacak yer değiştirme miktarı, verilen formül ile 0-360 derece faz açısı aralığındaki tüm değerler için hesaplanacak ve 0,025 mm üzerinde yer değiştirmenin dolayısıyla görüntüde herhangi bir titreşim kaynaklı bulanıklığın oluşup oluşmayacağı tespit edilecektir.

## 4.2. Simülasyon



Şekil 4.1. Simülasyon için sadeleştirilmiş muayene istasyonu modeli

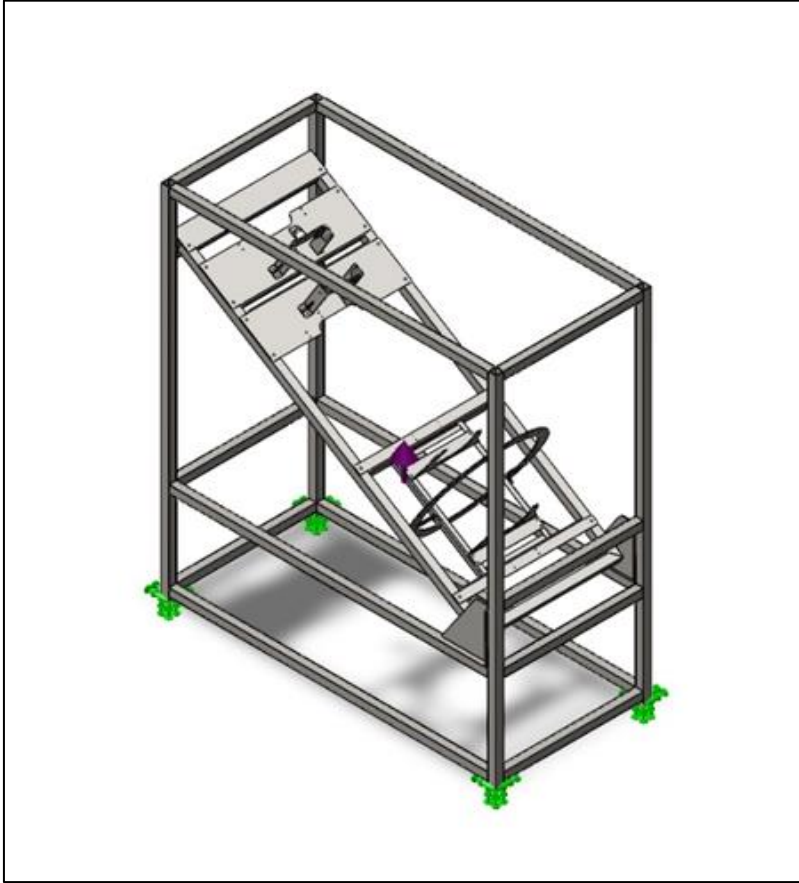
Bu çalışmada, modelin içerisinde üç farklı istasyonda konumlandırılmış kameraların görüntü netliğini değerlendirmek amacıyla Random (Rastsal) titreşim analizi uygulanmıştır. Random analiz yönteminin tercih edilmesinin başlıca nedeni, şase üzerine monte edilen sistemlerin altındaki zeminden kaynaklanan titreşimlerin düzensiz doğasıdır. Bu düzensiz titreşimler, çeşitli makine sistemlerinin (presler, laklama üniteleri, konveyör sistemleri, dolum ve kesim tezgâhları vb.) aynı ortamda eş zamanlı çalışması sonucu zemine aktarılmaktadır. Bu titreşimler, beton zemin üzerinden ilerleyerek şasenin ayaklarına ulaşmakta ve ardından şaseye iletilmektedir. Çalışma alanında, şasenin ayaklarının temas ettiği noktalara ivmeölçerler yerleştirilmiş, böylece zeminden sisteme iletilen kuvvetler ölçülmüş ve  $g^2 / Hz$  birimine dönüştürülmüştür. Sistemde kullanılan kameralar, 8  $\mu s$  ile 16.777  $\mu s$  arasında değişen pozlama sürelerine sahip gelişmiş modellerdir. Kameraların pozlama sürelerinin alt ve üst limitleri göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar sonucunda, kameraların bulanık çekim yapmaması için gereken koşullar belirlenmiş ve uygulanmıştır. Bu analizin temel amacı, kameraların görüntüleri maksimum netlikte çekebilmesi ve görüntü işleme sisteminin etkin bir şekilde çalışabilmesi için optimal koşulların saptanmasıdır.

#### 4.2.1. Varsayımlar

1. Seçilen malzemenin özelliklerinin her noktada homojen olduğu ve malzeme özelliklerinin konuma göre değişmediği varsayılmıştır.
2. Malzemenin içinde çatlak, boşluk gibi kusurların bulunmadığı kabul edilmiştir.
3. Kaynaklı ve cıvatalı bağlantıların, ana malzemeyle en az aynı mekanik dayanıma sahip olduğu ve bu bağlantıların birbirinden ayrılmadığı öngörülmüştür.
4. Malzemenin mekanik özellikleri (akma dayanımı, Poisson oranı, elastik modülü, sönümleme özellikleri, izotropik özellikleri, yoğunluk vb.) analiz programında barındırılan verilere dayanmaktadır. Bu verilerin doğru olduğu kabul edilmiştir.
5. CAD programı, verilen koşullar altında analizi en doğru yakınsamalar ve kabuller ile çözmüş ve bu verilerin güvenilir olduğu varsayılmıştır.
6. Ürün oda sıcaklığı koşulları altında analize tabi tutulmuş ve çalışma ortamının oda sıcaklığı olacağı öngörülmüştür.
7. İvmeölçer ile ölçülen değerler, taban kuvveti olarak Güç Spektral Yoğunluğu (PSD) şeklinde uygulanmıştır. Ölçülen ve dönüştürülen PSD değerlerinin kabul edilebilir doğrulukta ve toleransta olduğu kabul edilmiştir.
8. Analizin yürütüldüğü sınır koşulları dahilinde, ürünün güvenli bir şekilde çalışacağı öngörülmüştür. Gerçek çalışma koşullarının, firmanın sağladığı koşullar olduğu varsayılmıştır.
9. Firmanın sağladığı PSD kuvvet değerleri dışında başka bir dış kuvvet etkisinin olmadığı varsayılmıştır.
10. Modelleme sırasında uzak yük/kütle ve PSD taban uyarımı haricinde başka bir dış etkinin olmadığı varsayılmıştır.

#### 4.2.2. Model bilgisi

Modelin ana şasesi, 40x40x4 mm ebatlarında profillerin birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulmuş ve profil malzemesi olarak S235 (St37) kullanılmıştır. Model, ön ve arka daireselliği kontrol eden iki kamera ve çevresel kusurları tespit eden sekiz adet kamera içeren üç farklı istasyondan oluşmaktadır. Ancak, bu kameralar modelleme sürecinde dışlanmış ve yerlerine eşdeğer uzak kütleler uygulanmıştır. Benzer şekilde, yan saclar ile üst ve orta saclar da modelden çıkarılarak, noktasal uzak kütlelerin uygulandığı yerlere yerleştirilmiştir. Modeldeki zeminden iletilen kuvvet, sabitlenmiş ayaklara uygulanacak şekilde belirlenmiştir.

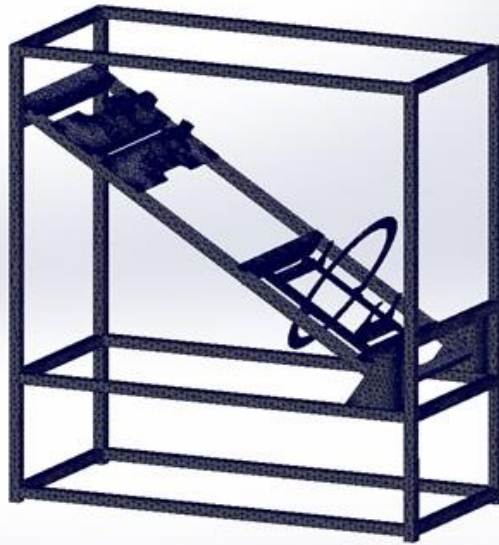


Şekil 4.2. Sadeleştirilmiş model ve sabitlenmiş ayaklar



<b>Etüt adı</b>	Dinamik
<b>Analiz tipi</b>	Doğrusal dinamik analiz (Düzensiz Titreşim)
<b>Mesh tipi</b>	Katı Mesh
<b>Frekans sayısı</b>	40
<b>Çözümleyici tipi</b>	FFEPlus
<b>Yumuşak Yay:</b>	Kapalı
<b>Uyumsuz bağlama seçenekleri</b>	Otomatik
<b>Termal seçenek</b>	Sıcaklık yüklerini ekle
<b>Sıfır gerilim sıcaklığı</b>	298 Kelvin
<b>SOLIDWORKS Flow Simulation'dan akışkan basınç etkilerini ekle</b>	Kapalı
<b>Alt frekans sınırı</b>	5 Hz
<b>Üst frekans sınırı</b>	480 Hz
<b>Çıktısı frekansı sayısı</b>	5
<b>Korelasyon</b>	Tamamen korelasyonlu
<b>Sonuç klasörü</b>	SOLIDWORKS belgesi (D:\analiz10.08.2023)

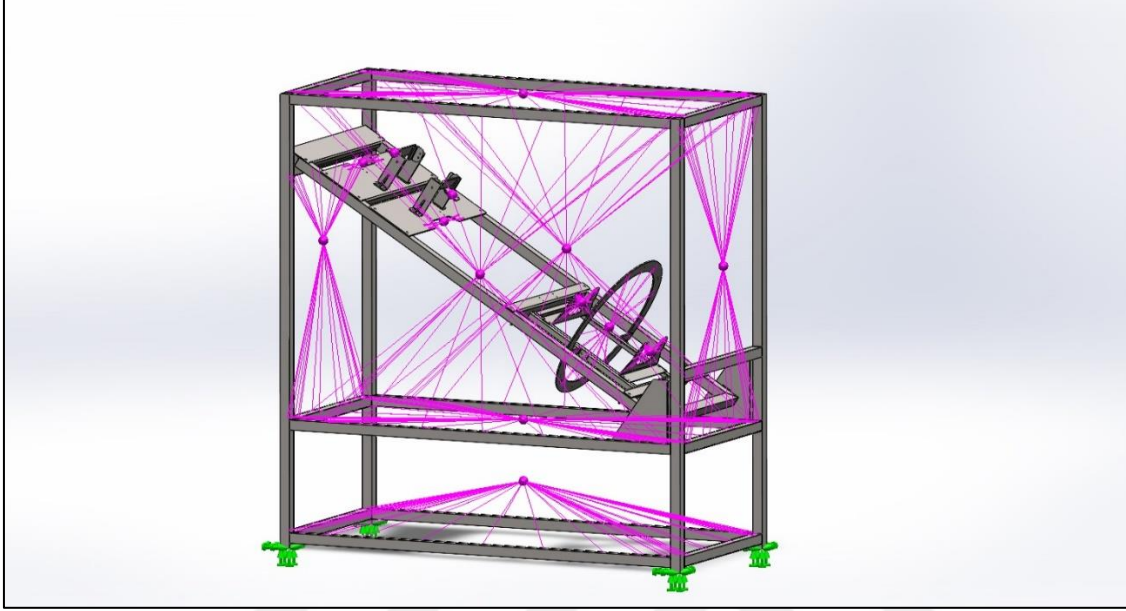
Model adı: MüşyeneKabinİ solid;  
Etüt adı: Dinamik  
Grafik tipi: Mesh Kalite1



Şekil 4.3. Simülasyon Etüt Özellikleri

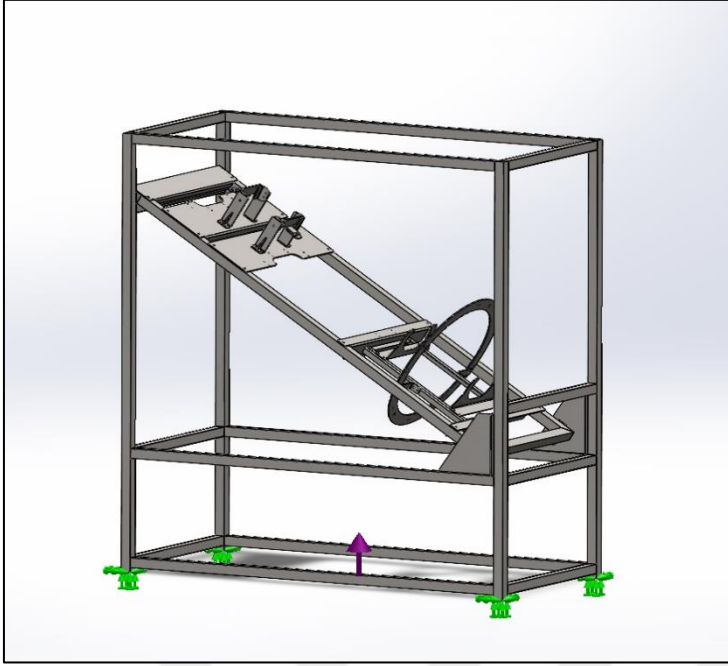
Kameraların performansını doğru bir şekilde değerlendirebilmek için, bu çalışmada analiz tipi olarak “Doğrusal dinamik analiz” seçilmiştir. Frekans sınırları, çalışma koşullarına uygun olarak 5 Hz'den 480 Hz'ye ayarlanmıştır. Toplamda 40 frekans değerlendirilmiş, çözümleme için FFEPlus çözümleyicisi kullanılmıştır. Çalışmanın bir diğer özelliği olarak, sistemin termal davranışını göz önünde bulundurmak amacıyla sıcaklık yükleri eklenmiştir

ve sıfır gerilim sıcaklığı 298 Kelvin olarak belirlenmiştir. Bu parametreler, kameraların görüntü kalitesi üzerinde olası olumsuz etkileri en aza indirmek ve görüntü işleme sisteminin etkin bir şekilde çalışabilmesi için gerekli koşulları sağlamaktadır.



Şekil 4.4. Tüm uzak kütleler

Şekil 4.4, kovan muayene istasyonunun yapısal analizi için sadeleştirilmiş bir istasyon modelini göstermektedir. Modelde, malzeme çıkarılan bölgelerdeki bazı düğüm noktaları belirgin şekilde görülmektedir. Bu düğüm noktaları, uzak kütlelerin uygulandığı yerleri temsil eder ve kovan muayene istasyonunun yapısal bütünlüğü üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla eklenmiştir. Uzak kütleler, gerçekte bulunan ancak modelleme sırasında çıkarılan komponentlerin kütsel etkilerini simüle etmek için kullanılmıştır, böylece simülasyon daha verimli ve yönetilebilir hale gelmiştir.



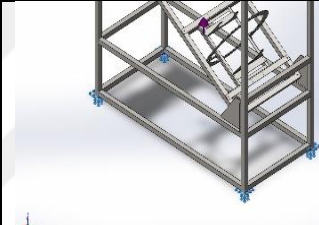
Şekil 4.5. Tek taban uyarımı (PSD yükü uygulama noktaları: sabit geometri noktaları)

Şekil 4.5, "Tek Taban Uyarımı" adı verilen simülasyon sürecini göstermektedir. Burada, PSD (Power Spectral Density) yükleri, modelin sabit geometri noktalarına uygulanmaktadır. Bu yöntem, özellikle şasenin zemin tarafından iletilen dinamik yükler ve titreşimler altında nasıl tepki vereceğini anlamak için kullanılır. PSD yükleri, gerçek dünya koşullarını simüle etmek amacıyla belirli frekanslarda ve amplitüdlerde titreşim enerjisini temsil eder. Uygulama noktaları olarak seçilen sabit geometri noktaları, bu yüklerin sisteme nasıl iletilip yayıldığının ve bu dinamiklerin yapısal bileşenler üzerindeki potansiyel etkilerinin anlaşılmasında kritik rol oynamaktadır.

### 4.2.3. Yükler ve fikstürler

Bu bölümde, simülasyon sürecinde kullanılan fikstürler ve üzerlerine uygulanan yükler detaylı bir Őekilde incelenmektedir. Fikstrler, simülasyonun doğruluğunu ve gerćekćilięini artırmak amacıyla sabit geometri noktalarına yerleştirilmiştir. Her bir fikstür ve yk, sistemin dinamik davranışlarını anlamak ve analiz etmek ićin kritik öneme sahiptir. Aşağıda, fikstrlerin özellikleri ve üzerlerine uygulanan yüklerin detayları sunulmaktadır. Bu detaylar, simülasyonun nasıl yapılandırıldığını ve hangi parametrelerin kontrol altında tutulduğunu aćıklamakta olup, sistemin tepkilerini öngörmede kullanılan yöntem ve yaklaşımları göstermektedir.

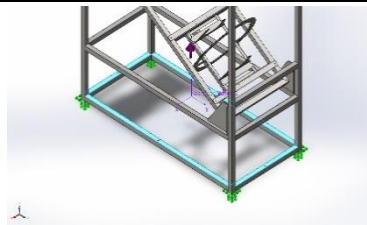
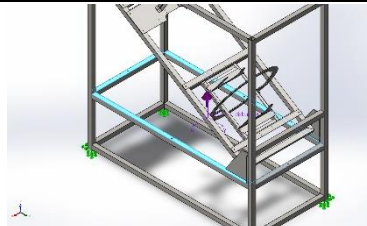
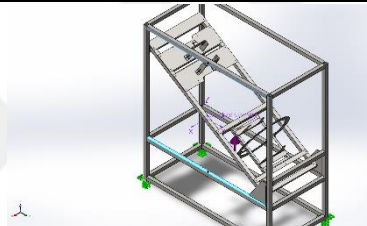
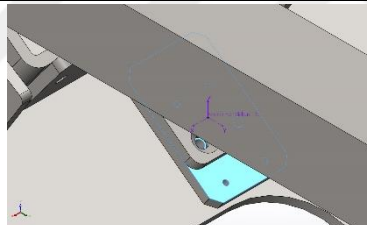
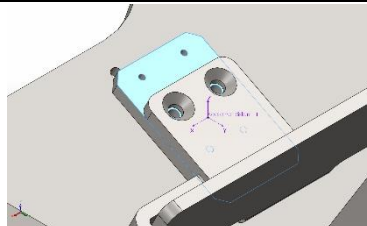
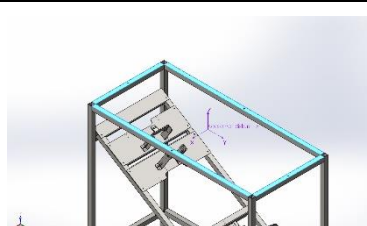
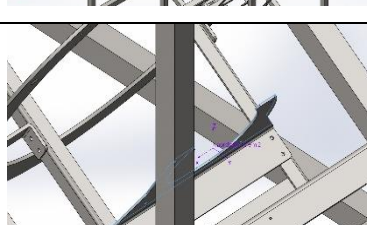
ćizelge 4.1. Taban Fikstr Detayları

Fikstr adı	Fikstr Resmi	Fikstr Detayları
Sabitlenmiş-1		Objeler: 4 yzler Tip: Sabit Geometri

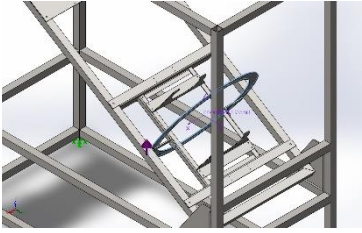
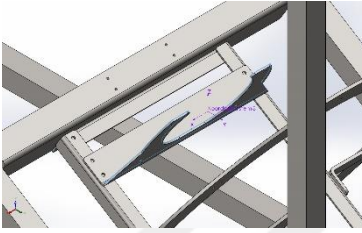
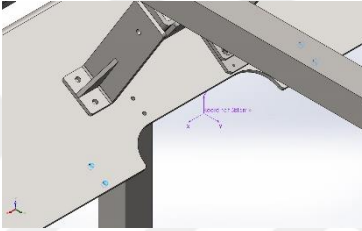
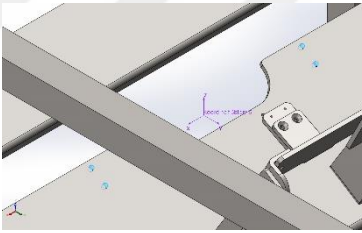
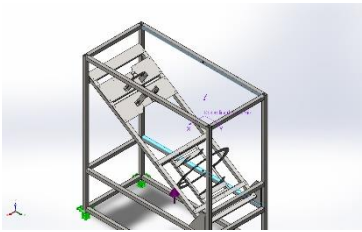
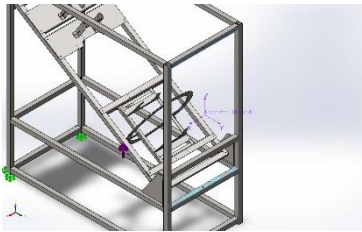
Analizde kullanılan dört fikstür, simülasyonda sabitlenmiş geometriye sahip yüzlerdir. Bu yüzler, sistemin belirli bölgelerinin hareketini kısıtlar, böylece dinamik yüklerin etkileri daha net bir Şekilde gözlemlenebilir.

ćizelge 4.2 ise simülasyonda kullanılan uzak yk/kütle konfigürasyonlarını detaylandırmaktadır. Her bir "Uzak Yük/Kütle" giriři, simüle edilen sisteme eklenen ek kütleleri ve bu kütlelerin sabitlenmiř olduęu özel koordinat sistemlerini ićerir. ćizelgedeki bilgiler, sistemin dinamik tepkilerini etkileyen yükleri anlamak ve kontrol etmek ićin kritik öneme sahiptir. Uzak kütleler, simülasyonun gerćek dünya kořullarını daha iyi taklit etmesine yardımcı olur ve ćeřitli yapısal ve dinamik analizlerde kullanılır. Her bir kütle ve onun yerleřtirildięi koordinat sistemi, belirli bir analiz senaryosunda simüle edilen yüklerin etkilerini gözlemlemek ićin stratejik olarak sećilmiřtir.

Çizelge 4.2. Uzak Kütle Yerleşim Çizelgesi

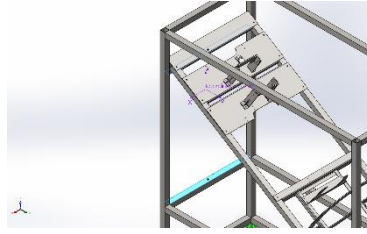

Yük Adı	Resim	Yük Detayları
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-1		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi13 Uzak Kütle: 3.5 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-2		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi14 Uzak Kütle: 2.5 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-3		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi12 Uzak Kütle: 11 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-4		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi10 Uzak Kütle: 0.35 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-5		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi11 Uzak Kütle: 0.35 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-6		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi15 Uzak Kütle: 2.5 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-7		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi2 Uzak Kütle: 0.3 kg

Çizelge 4.2. (devamı) Uzak Kütle Yerleşim Çizelgesi

Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-8		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi1 Uzak Kütle: 3 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-9		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi3 Uzak Kütle: 0.3 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-10		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi4 Uzak Kütle: 0.5 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-11		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi5 Uzak Kütle: 0.5 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-12		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi7 Uzak Kütle: 11 kg
Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-13		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi9 Uzak Kütle: 4 kg

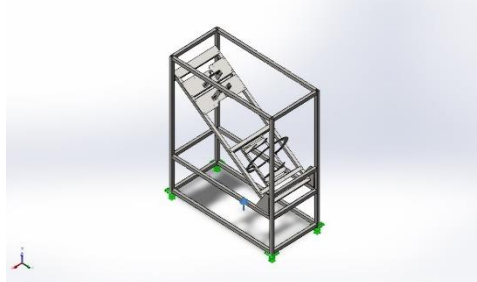


Çizelge 4.2. (devamı) Uzak Kütle Yerleşim Çizelgesi

Uzak Yük/Kütle (Sert bağlantı)-14		Koordinat Sistemi: Koordinat Sistemi8  Uzak Kütle: 3.5 kg
Taban Uyarımı-1		Tip: İvme Sürüklemeye: 1 Birimler: $g^2 / Hz$ Faz Açısı: 0 Birimler: deg

Çizelgenin son satırı, simülasyonun ivme uyarımını tanımlamaktadır. Bu uyarım, simülasyon modelinin belirli bir taban yüküne nasıl tepki verdiğini test etmek için kullanılır. Uyarımın tipi "İvme" olarak belirlenmiş, bu da hareketin ivme olarak ölçüldüğünü gösterir. "Sürüklemeye" değeri 1 olarak ayarlanmıştır, bu da uyarımın nasıl uygulandığını gösteren bir parametredir. Uyarımın birimi " $g^2 / Hz$ " olarak belirtilmiştir, bu birim genellikle güç spektral yoğunluğu analizlerinde kullanılır ve titreşim analizlerinde yaygındır. "Faz Açısı" ise 0 derece olarak belirlenmiştir, bu, uyarımın faz açısının başlangıç noktasının sıfır olduğunu ve bu nedenle faz kayması olmadığını ifade eder.

Çizelge 4.3. Global etkileşim konfigürasyonu

Etkileşim	Etkileşim Görüntüsü	Etkileşim Özellikleri
Global Etkileşim		Tip: Birleşmiş Bileşenler: 1 Seçenekler: Bağımsız mesh

Bu çizelgede ise, simülasyon modelinde kullanılan temel etkileşim özellikleri tanımlanmıştır. Etkileşimin tipi "Birleşmiş" olarak belirtilmiştir, bu da farklı bileşenlerin veya yapısal elemanların birbirine bağlı veya birleştirilmiş olduğunu gösterir. Bu etkileşim, yapısal bütünlüğü sağlamak ve farklı komponentler arasında kuvvet ve hareket transferini

etkinleştirmek için kullanılmıştır. Etkileşime dahil olan "1 bileşenler" ifadesi, bu etkileşimin sadece belirli bir bileşeni kapsadığını belirtir. "Bağımsız mesh" seçeneği, bu bileşenin mesh yapılandırmasının diğer bileşenlerden bağımsız olarak oluşturulduğunu ifade eder. Bağımsız mesh kullanılması, her bir bileşenin mesh yoğunluğu ve detay düzeyinin, diğer bileşenlerden bağımsız olarak optimize edilebilmesine olanak tanır.

Montajda yer alan elemanların tamamı için birleşmiş etkileşim (kaynaklı veya ayrılamaz bağlantılar) sınır koşulu kabul edilmiştir. Montajda yer alan vidalı bağlantıların mevcut yükleme koşullarında ayrılmayacağı ön görülmüş ve analiz bu sınır koşulları dâhilinde yürütülmüştür.

#### 4.2.4. Mesh bilgisi

Bu bölüm, simülasyonda kullanılan mesh yapılandırmasını ele almaktadır. Mesh, çalışmadaki yapısal sistemin matematiksel bir modelini temsil etmek için kullanılan bir ağıdır. Mesh kalitesi ve yoğunluğu, analizin doğruluğu ve güvenilirliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu bölümde, simülasyon için seçilen mesh tipi ve özellikleri, meshin nasıl yapılandırıldığı, hangi parametrelerin kullanıldığı ve bu seçimlerin simülasyon sonuçları üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

Çizelge 4.4. Mesh konfigürasyonları

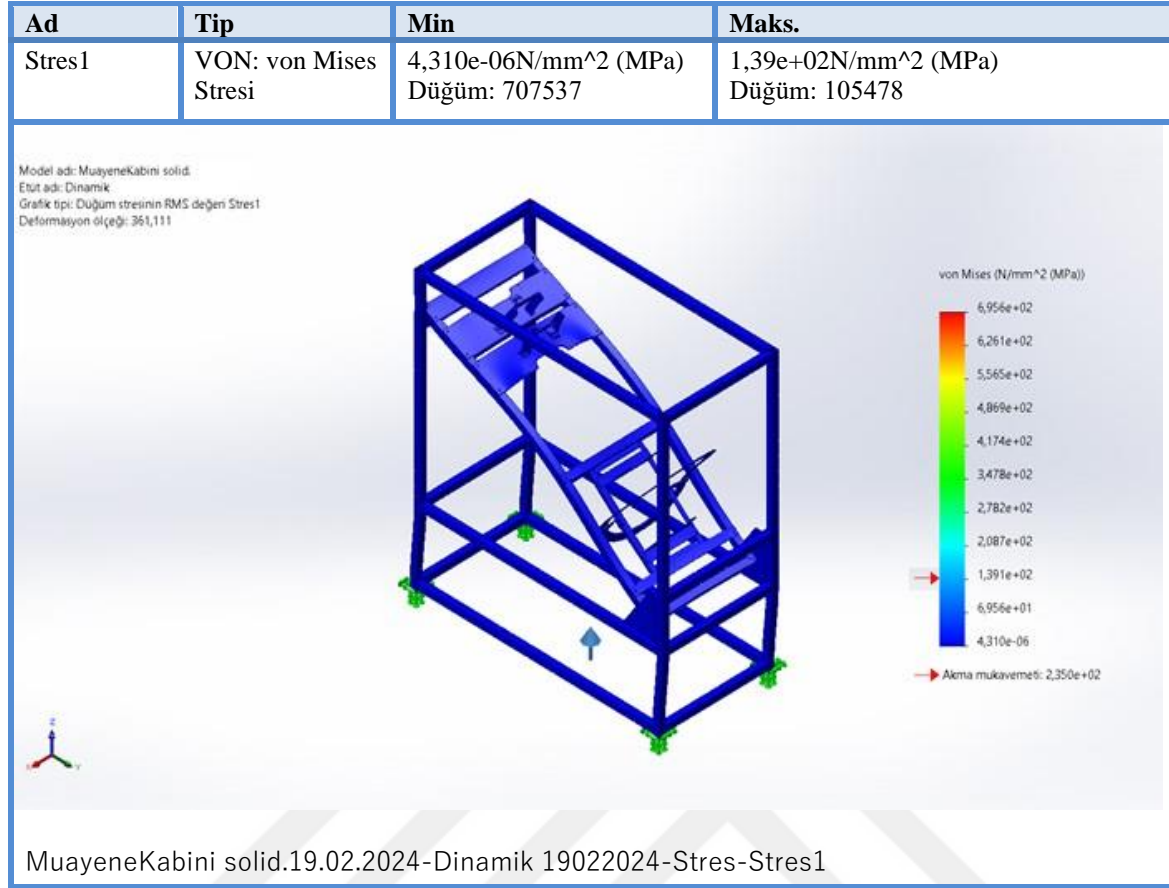
Mesh tipi	Katı Mesh
Kullanılan Meshleyici:	Eğrilik tabanlı mesh
Yüksek kaliteli mesh için jakoben noktalar	16 Noktalar
Maksimum eleman boyutu	25 mm
Minimum eleman boyutu	1,25 mm
Mesh Kalitesi	Yüksek
Toplam Düğüm	894164
Toplam Elemanlar	485439
Maksimum En Boy Oranı	31,059
En-Boy oranı < 3 olan elemanların % oranı	81,7
En-Boy Oranı > 10 olan elemanların yüzdesi	7,57
Şekli bozulmuş elemanların yüzdesi	0
Mesh tamamlama süresi (sa;dk;sn):	00:00:21



Model birbirinden farklı boyutta elemanlara ve farklı geçiş bölgelerine sahip olduğu için eğrilik tabanlı mesh seçilmiş ve maksimum eleman boyutu 25 mm olarak belirlenmiştir. Bu meshleme yöntemi, modelin karmaşık geometrisinin daha doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlamaktadır. Küçük boyutlara veya hassas geçiş bölgelerine atılan meshlerin 1,25 mm olduğu görülmektedir. Simülasyon şekli bozulmuş elemanların oranı %0 olarak tespit edilmiş, uygulanan mesh işleminin kalitesinin yüksek olduğu program tarafından doğrulanmıştır.

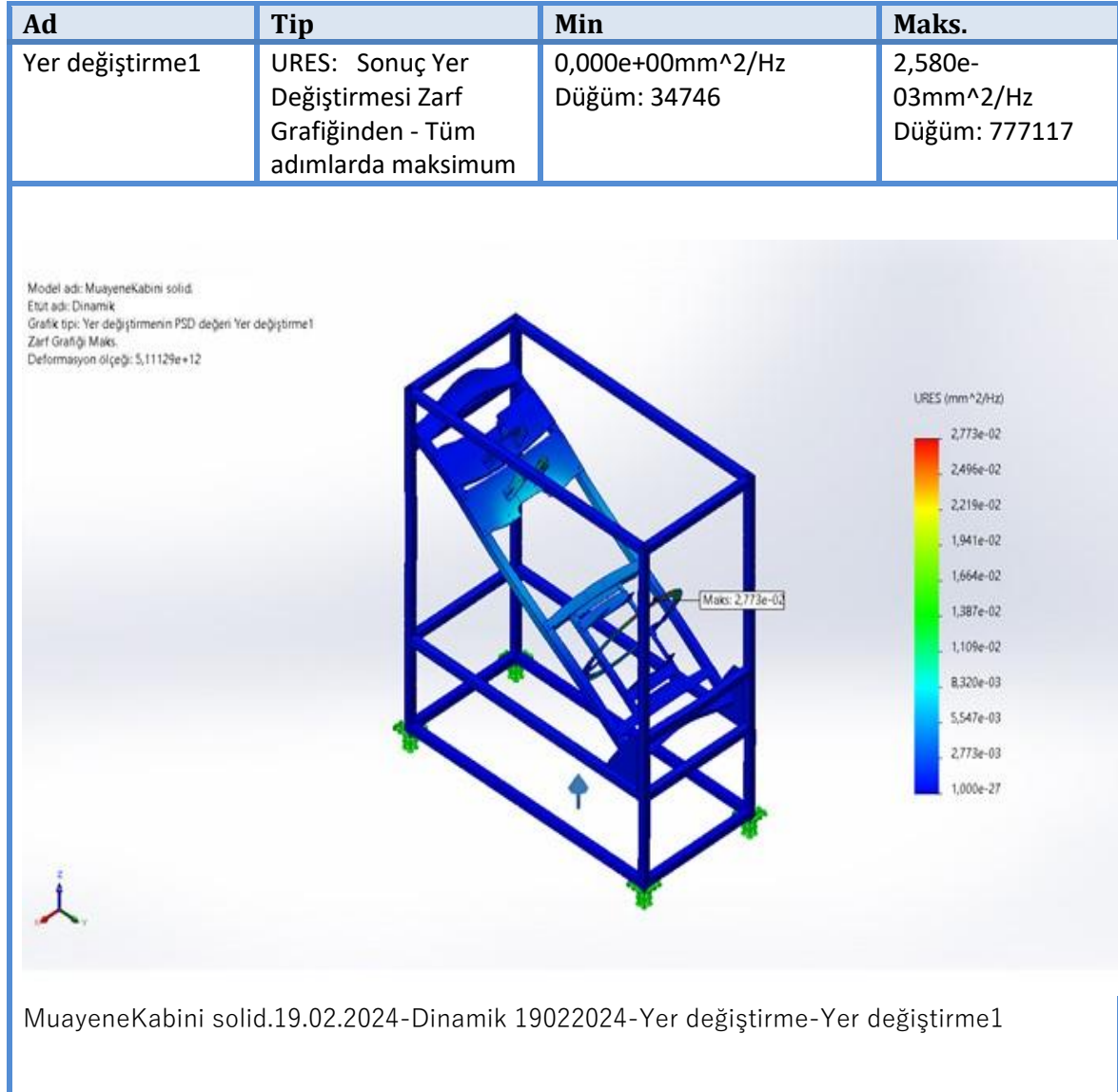
#### **4.3. Simülasyon Sonuçları**

Bu bölümde, sistemin yapısal dayanıklılığını, deformasyon sınırlarını ve frekans tepkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülen etüt çıktıları sunulmaktadır. İlk olarak, Von Mises gerilim değerleri ve sistemdeki maksimum gerilme ile akma dayanıklılık arasındaki ilişki incelenmiştir. Ardından, kamera bağlantı noktalarında meydana gelen maksimum deformasyonlar ve bu deformasyonların frekansla ilişkisi, detaylı grafiklerle ele alınmıştır. Ayrıca, sisteme etki eden maksimum ve minimum frekans değerleri ile bu değerlerin yapısal performans üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Son olarak, kütle katılım oranları ve yapısal eksenlerdeki deformasyon eğilimleri üzerinde durulmuş, bu ölçümlerin analiz sonuçlarına olan katkıları değerlendirilmiştir. Böylece, sistemin dinamik koşullar altındaki performansı ve güvenilirliği hakkında kapsamlı bir bilgi sağlanmıştır.



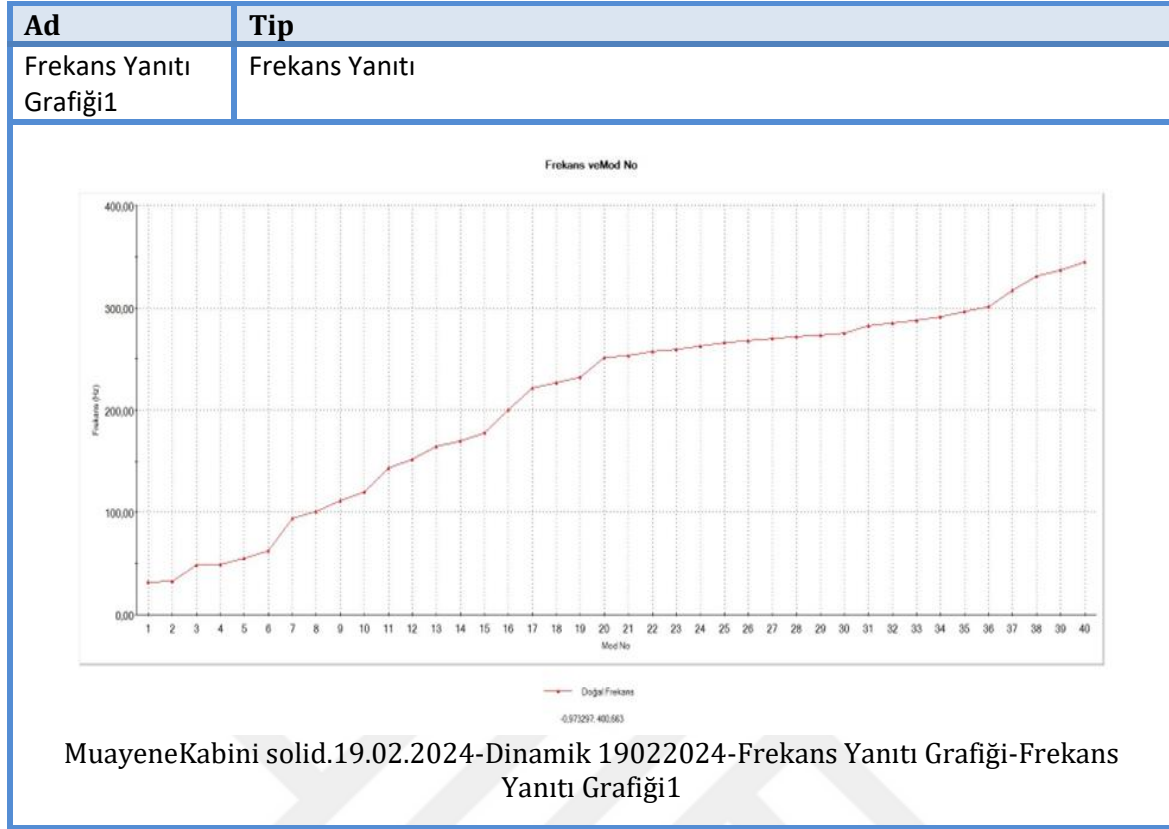
Şekil 4.6. Von Mises stres değerleri

Von Mises gerilim değerleri ve renk skalası incelendiğinde yapıda meydana gelen maksimum gerilme değerinin  $1,39 \times 10^2$  MPa olduğu görülmektedir. St37 malzemenin akma dayanımının 235 MPa olduğuna göre, bu koşullar altında tasarlanmış olan sistemin güvenlik faktörü 1,6 olarak hesaplanmıştır.



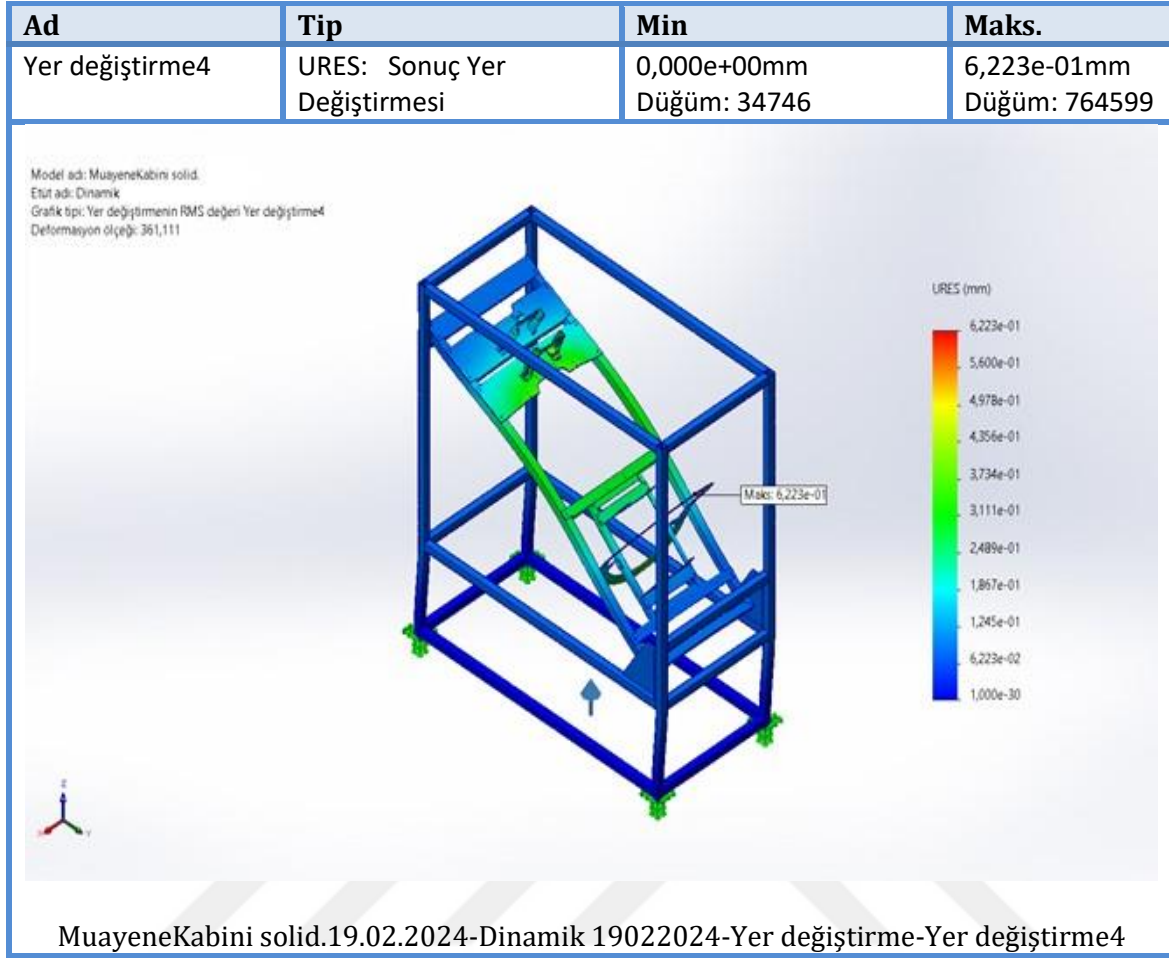
şekil 4.7. Deplasman değerleri

Yürütülen dinamik analiz toplam 206 adımda çözdürülmüş olup; tüm adımlar dikkate alınarak kamera bağlantılarında meydana gelen maksimum deformasyon miktarının frekansa bağlı değerleri ve grafiği oluşturulmuştur. Sistemde meydana gelen maksimum deformasyon miktarı  $2,58 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{Hz}$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Frekans yanıt grafiği

Şasenin ayaklarının sabitlendiği zeminden sisteme aktarılan maksimum frekans değeri 345 Hz olarak ivme ölçer ile belirlenmiştir. Analiz yürütülürken üst frekans limiti 345 olarak seçilmiştir. Yürütülen analize ait frekans yanıt grafiği yukarıda yer almaktadır.



şekil 4.9. Deplasman Değerleri – 2

Etüt sonucu elde edilen verilere göre sistemde meydana gelen maksimum deformasyon değeri kameraların bağlı olduğu içi boş dairesel parçada meydana gelmekte olduğu görölmektedir. Hesaplanmış olan deformasyon miktarı ise maksimum 0,622 mm olarak ölçölmüştür. Sistemde ölçölen min. frekans değeri 31,871 Hz ve maksimum periyot değeri 0,031377 saniye olarak hesaplanmıştır. Maksimum frekans değeri 344,61 Hz ve minimum periyot değeri 0,0029018 saniyedir. Meydana gelen deformasyon miktarının maksimum periyodu 31,377 milisaniyedir.

#### 4.3.1. Kütle katılımı (Normalize)

Bu bölümde, yapılan dinamik analizlerin bir parçası olarak kütle katılım oranlarının incelenmesine yer verilmektedir. Kütle katılım oranı, bir yapısal sistemin doğal frekanslarındaki titreşim modlarının, sistemin toplam kütlesine ne oranda katkıda bulunduğunu gösteren bir ölçüttür. Yüksek bir kütle katılım oranı, ilgili frekansta sistemin

büyük bir kısmının etkin bir şekilde titreştiğini ve bu frekansın yapısal tepki açısından önemli olduğunu ifade eder. Bu analizler, sistemde oluşabilecek maksimum gerilmeleri ve deformasyonları daha doğru tahmin etmek için gereklidir çünkü yüksek kütle katılım oranlarına sahip frekanslar, yapısal sağlamlık ve güvenlik değerlendirmelerinde kritik rol oynar.

Çizelge 4.5. Modal kütle katılım oranları ve frekans dağılımı

Mod Sayısı	Frekans(Hertz)	X yönü	Y yönü	Z yönü
1	31,871	0,91386	0,00048911	4,7497e-06
2	32,22	0,00050771	0,88056	0,0081945
3	48,449	0,00012305	0,00096193	0,0013799
4	48,816	7,7535e-06	0,017307	0,025501
5	54,918	2,1997e-08	0,018613	0,22128
6	62,429	3,3217e-06	1,6754e-06	9,2177e-05
7	93,901	2,1417e-09	9,4872e-06	0,0002903
8	100,94	2,0317e-09	0,00029266	0,0092248
9	111,67	0,0024264	2,7285e-09	2,3724e-08
10	119,75	1,4307e-08	1,1006e-05	0,0016486
11	143,21	5,7623e-09	1,5922e-05	0,0024712
12	151,7	2,1529e-06	2,9817e-10	2,7939e-09
13	164,77	8,34e-12	4,3407e-06	0,018865
14	169,65	6,6994e-10	9,63e-06	0,0010475
15	177,66	7,6851e-10	5,202e-06	0,0076679
16	200,55	0,00054213	1,5008e-10	1,742e-05
17	221,75	4,321e-05	1,717e-09	0,00012184
18	226,62	3,6483e-07	7,5151e-06	0,16775
19	232,06	5,0325e-05	1,0229e-08	0,00018686
20	251,62	1,8555e-06	7,061e-08	0,0021868
21	253,62	6,0646e-07	1,906e-06	0,04468
22	257,37	6,7368e-07	2,3949e-07	0,00044529
23	259,64	6,2008e-05	1,7755e-11	0,0006531

Çizelge 4.5. (Devamı) Modal kütle katılım oranları ve frekans dağılımı

Mod Sayısı	Frekans(Hertz)	X yönü	Y yönü	Z yönü
24	262,47	2,6863e-09	5,0527e-07	0,0079251
25	266,03	3,5993e-07	3,1971e-06	0,019322
26	268,22	3,3153e-05	7,0211e-08	0,00019684
27	270,23	2,026e-05	2,8192e-07	0,0018661
28	272,18	6,8575e-05	6,5695e-08	0,0006242
29	272,98	2,2807e-05	2,5202e-07	0,00015304
30	275,36	3,1669e-06	1,2809e-05	0,00062369
31	282,7	0,00023328	2,4846e-09	3,524e-06
32	285,11	5,8322e-07	1,7162e-06	0,00051898
33	287,93	2,8556e-08	3,7174e-06	0,00031515
34	291,05	9,4902e-06	3,2683e-09	9,0198e-06
35	296,72	2,9086e-08	9,0541e-06	0,028619
36	301,34	7,1709e-09	9,0739e-06	0,083901
37	317,33	8,9447e-12	2,614e-06	0,065384
38	331,28	0,00034324	6,3704e-08	8,216e-05
39	336,88	3,107e-06	4,3791e-06	0,003373
40	344,61	2,6482e-05	5,0522e-08	8,5907e-05
		Toplam X = 0,91839	Toplam Y = 0,91834	Toplam Z = 0,72671

Frekans analizi ve frekans tabanlı dinamik analizlerde kütle katılım oranlarının %80 değerinden büyük olması, sistem tepkilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini tasdik etmektedir, bu sebeple genel bir hedef olarak en az %80 kütle katılım oranı belirlenmiştir. Z eksenini şasesinin üzerine monte edildiği yatay düzleme dik bir eksen olarak tanımlanmıştır. Yapının deformasyona eğilimli olduğu eksenler Y ve X eksenleri olarak değerlendirilmiş olup bu eksenlerde kütle katılım oranlarının %91 olduğu tablodan okunmaktadır. Deformasyona eğilimli olan Y ve X ekseninde, kütle katılım oranlarının %80 değerinin çok üstünde olduğu dolayısıyla hesaplanmış olan deformasyon değerlerinin yüksek doğrulukta olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4.3.2. Analiz sonuçları

Bu bölümde, yapılan kapsamlı etüt ve analizlerin sonuçları incelenmektedir. Gerçekleştirilen frekans analizi ve dinamik analizler aracılığıyla elde edilen veriler, sistemin yapısal davranışlarını ve potansiyel zayıf noktalarını ortaya koymaktadır. Analizler, belirli titreşim modlarında ve farklı yönlerde gözlemlenen kütle katılım oranları ile sistemin dinamik yükler altında nasıl tepki verdiğinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sonuçlar, sistemin performansını ve güvenliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, elde edilen Von Mises gerilim değerleri ve deformasyon ölçümleri, yapısal elemanların yük altındaki davranışların analiz edilmesine imkân tanımaktadır. Dinamik analiz verilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiş olan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

##### Mekanik dayanım

Von Mises gerilim değerleri ve renk skalası incelendiğinde yapıda meydana gelen maksimum gerilme değerinin 139 MPa olduğu görülmektedir. St37 malzemenin akma dayanımının 235 MPa olduğuna göre, bu koşullar altında tasarlanmış olan sistemin yaklaşık 1,6 kat emniyetli olduğu hesaplanmıştır. Sistemde risk teşkil eden bir gerilmenin mevcut olmadığı görülmüştür. Bu durumda sistem dayanım açısından güvenlidir.

##### Kütle katılım oranları

Frekans analizi ve frekans tabanlı dinamik analizlerde kütle katılım oranlarının %80 değerinden büyük olması istenir. Z eksenine şase üzerine monte edildiği yatay düzlemde bir eksen olarak tanımlanmıştır. Yapının deformasyona eğilimli olduğu eksenler Y ve X eksenleri olarak değerlendirilmiş olup bu eksenlerde kütle katılım oranlarının %91 olduğu tablodan okunmaktadır. Deformasyona eğilimli olan Y ve X ekseninde, kütle katılım oranlarının %80 değerinin çok üstünde olduğu dolayısıyla hesaplanmış olan deformasyon değerlerinin yüksek doğrulukta olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumda kütle katılım oranları güvenli aralıktadır.



### Titreşimin kameranın çekim kalitesine etkisi

Sistemde meydana gelen maksimum deformasyon değeri kameraların bağlı olduğu içi boş dairesel parçada meydana gelmektedir. Hesaplanmış olan deformasyon miktarı ise maksimum 0,622 mm olarak ölçülmüştür. Sistemdeki kameralar, pozlama süreleri 8-40 mikrometre aralığında kullanılacaktır. Sistemde ölçülen minimum frekans değeri 31,871 Hz ve maksimum frekans değeri 344,61 Hz'dir.

Maksimum deplasman bilgisi ile titreşimin genliği hesaplanabilmektedir.

$$x_{Toplam}(t) = 2A \sin(2\pi ft + \varphi)$$

Formülüne göre kamera bağlantısı maksimum deplasmana, durağan halinden sinüs fonksiyonunun değeri -1 veya 1 olduğu pozisyona geçtiğinde ulaşacaktır. Bu durumda:

$$x_{Max} = 2A$$

$$A = \frac{x_{Max}}{2} = 0,311 \text{ mm}$$

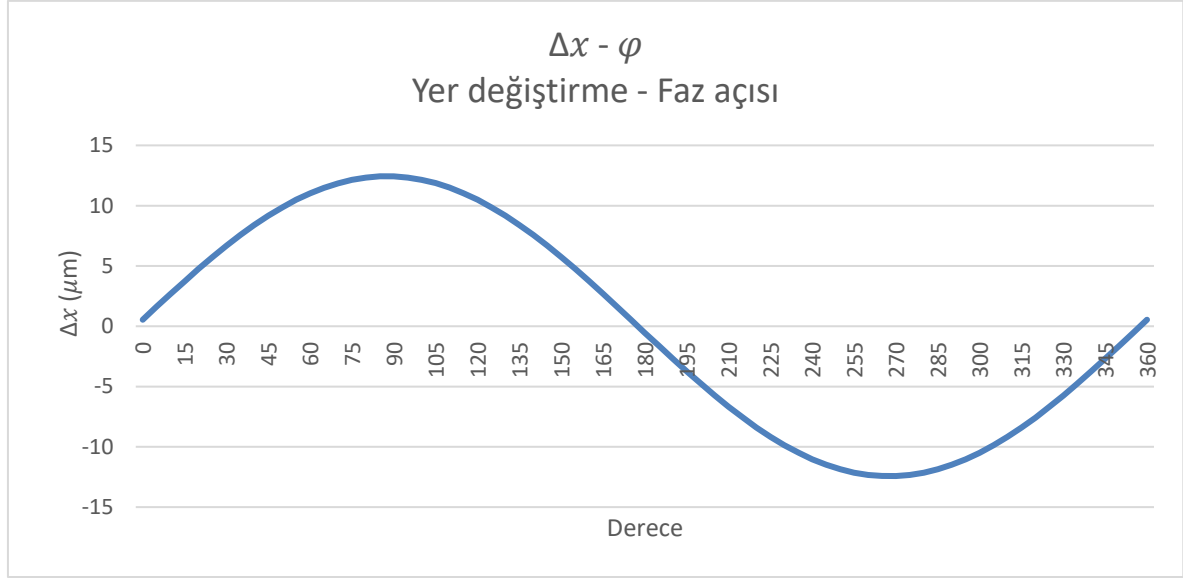
Genlik (A): 0,311 mm

Kamera Maksimum Frekans ( $f_{max}$ ): 344,61 Hz

0 – 40  $\mu s$  süresi aralığında ve 0 – 360 derece açı aralığında tüm  $\varphi$  değerleri için yer değiştirme ( $\Delta x$ )

$$\Delta x = -\frac{A}{2\pi f} [\cos(2\pi ft + \varphi)]_{t_0}^{t_1}$$

formülü ile hesaplandığında, aşağıdaki grafik elde edilmiştir:



şekil 4.10. Kamera yer değiştirme – faz açısı grafiği

Yer değiştirme ( $\Delta x$ ) maksimum değerini faz açısı  $87,5^\circ$ 'de,  $12,45 \mu m$  olarak almıştır. Bu değer 0,5 piksel uzunluğu olan 0,025 mm altında kaldığı için, sistemde bulanıklığa sebep olabilecek titreşim miktarı oluşmamaktadır.

#### Nihai değerlendirme

Yapılmış olan dinamik analiz sonucunda sistemin hem dayanım açısından hem de kameranın çekim kalitesi bakımından güvenli olduğu görülmüştür. Analizde girilen sınır koşulları dâhilinde sistemin çalıştırılması durumunda, sistemin güvenli bir şekilde çalışacağı ve görevini yerine getireceği sonucuna varılmıştır.

## 5. GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI VE UYGULAMALARI

Görüntü işleme teknolojileri, günümüzde endüstriyel kalite kontrol süreçlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren mermi kovanı gibi ürünlerin muayenesinde, görüntü işleme sistemleri, hataların erken tespiti ve üretim süreçlerinin optimizasyonu açısından büyük önem taşımaktadır. Mermi kovanları üzerindeki hataların görüntü işleme ile tespit edilmesi ve bu hataların türüne göre ayrıştırılması süreci, çalışmanın konusu olan tasarlanan sistemde kalite kontrolün temel bileşenleridir. Mermi kovanlarının kalite kontrolünde karşılaşılan özel zorluklar arasında, ürünlerin yüksek hızda üretilmesi ve muayene edilmesi gerekliliği bulunmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için geliştirilen otomatik görüntü işleme sistemleri, kovanların her birinin yüzeyindeki en küçük kusurları bile tespit edebilme kapasitesine sahiptir. Bu sistemler, sadece hataları belirlemekle kalmaz, aynı zamanda sürekli veri toplayarak üretim sürecindeki potansiyel iyileştirmeler için değerli içgörüler sunar. Bu bağlamda, mermi kovanlarının kalite kontrol sürecinde kullanılan görüntü işleme algoritmalarının ve uygulamalarının detayları ele alınacaktır. Mermi kovanlarının kalite kontrolünde kullanılan görüntü işleme tekniklerinin uygulamaları ve bu tekniklerin sağladığı avantajlar ayrıntılı olarak incelenecektir.

### 5.1. Sistem Bileşenleri

Mermi kovanı kalite kontrol sistemi, mekanik ve optik bileşenlerin entegrasyonu ile öne çıkan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sistem, kovanların üretim bandından alınıp muayene istasyonuna taşındığı andan itibaren yüksek doğruluk ve verimlilikle çalışmak üzere tasarlanmıştır. Sistemin temel bileşenlerinden biri olan cam tüp, kovanların stabil bir şekilde hareket etmesini ve muayene sırasında istenen pozisyonda kalmasını sağlar. Bu tüp aynı zamanda kovanların sabit bir hızda ilerlemesine olanak tanıyarak, yüksek çözünürlüklü kameraların kovanların ağız ve kapsül kısımlarını detaylı bir şekilde tarayabilmesi için ideal bir ortam yaratır.

Işık kaynakları, her bir kovanın detaylarını belirginleştirir, böylece kameralar tarafından net bir şekilde görüntülenebilir. Kullanılan özel dairesel ışık kaynakları, kovan ağızlarını aydınlatarak kamera taraması için ideal bir görüntü oluşturur. Bu ışık kaynakları,

kovanların ağzının tüm detaylarını belirginleştirir, böylece yüksek çözünürlüklü kameralar tarafından net bir şekilde görüntülenmesini sağlar. Kovanların kapsül tarafının muayenesi de benzer bir şekilde gerçekleştirilir; burada kullanılan dairesel ışıklar ve kameralar, bu bölgenin her yönünü detaylı bir şekilde incelemek için konumlandırılmıştır. Bu görüntüler, sonraki aşamalarda kullanılmak üzere işlenir ve analiz edilir.

Profil ölçüm cihazı, sistemin bir diğer kritik bileşenidir. Bu cihaz, mekanik sensörler veya lazerler aracılığıyla kovanın çapını ve uzunluğunu ölçer. Bu ölçümler, kovanların boyutsal toleranslara uygunluğunu belirlemek için kullanılır ve kalite kontrol sürecinin kritik bir adımını oluşturur.

Son olarak, muayene sürecinin son kısmında yer alan çevresel kamera düzeni, kovan yüzeyinin tamamını taramak üzere tasarlanmıştır. Bu düzenek, mekanik olarak kovanları döndürürken tam bir 360 derece yüzey taraması yapar. Bu işlem, kovan yüzeyindeki her türlü çizik, delik veya diğer yüzey kusurlarının belirlenmesine olanak tanır. Bu bileşenlerin her biri, yüksek hızda ve yüksek doğrulukta çalışacak şekilde tasarlanmış ve bir araya getirilmiş olup, mermi kovani kalite kontrol sisteminin etkinliğini maksimize eder.

## 5.2. Görüntü İşleme Algoritmalarının Temelleri

Görüntü işleme, dijital görüntülerin analiz edilmesi, manipüle edilmesi ve bilgi çıkarılması amacıyla kullanılan bir dizi algoritma ve teknikler bütünüdür. Dijital görüntüler, genellikle bir matris veya piksel ağı olarak temsil edilir. Her piksel, belirli bir renk veya gri tonunu temsil eden bir sayısal değere sahiptir. Renkli görüntüler RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) formatında saklanırken, gri tonlamalı görüntüler tek bir yoğunluk değeri ile temsil edilir. Görüntü işleme genellikle birkaç temel adımdan oluşur:

1. Görüntü Elde Etme: Sensörler veya kameralar aracılığıyla dijital görüntülerin yakalanması.
2. Ön İşleme: Gürültünün azaltılması, kontrastın artırılması ve görüntü kalitesinin genel olarak iyileştirilmesi bu adımda gerçekleşir. Ön işleme, görüntülerin daha sonra yapılacak analizler için uygun hale getirilmesi açısından kritik bir süreçtir. Örneğin,

gürültü azaltma filtreleri, istenmeyen rastgele varyasyonları temizlerken, kontrast artırma görüntüdeki önemli özelliklerin daha belirgin hale gelmesini sağlar.

3. **Özellik Çıkarımı:** Görüntüden belirgin özelliklerin çıkarılması, kenar tespiti, köşe tespiti ve şekil tanıma gibi işlemlerle gerçekleşir. Kenar tespiti, Sobel, Canny ve Prewitt operatörleri gibi yöntemler kullanılarak yapılır ve bu, görüntüdeki nesne sınırlarının ve önemli yapıların belirlenmesinde temel bir yöntemdir. [20]
4. **Segmentasyon:** Bu işlem, görüntüyü anlamlı parçalara veya nesnelere ayırır. Segmentasyon teknikleri, yoğunluk değerlerine göre pikselleri gruplandıran eşikleme, benzer özellikteki bölgeleri genişleten bölge büyütme ve verileri benzerliklerine göre kümeler halinde organize eden kümeleme yöntemlerini içerir.
5. **Sınıflandırma:** Görüntüdeki nesnelerin tanımlanması ve kategorize edilmesi bu adımda gerçekleşir. Sınıflandırma süreci genellikle makine öğrenimi tekniklerini kullanır ve eğitilmiş modeller üzerinden yeni gelen verileri analiz eder. Bu modeller, kovanların yüzey kalitesini NATO standartlarına göre sınıflandırarak, her bir kovanın kalite kontrol sürecinden geçip geçemeyeceğine karar verir.

Bu aşamalarda kullanılan temel algoritmalar ve teknikler ise şu şekilde özetlenebilir:

**Kenar Tespiti:** Kenar tespiti, bir görüntüdeki ani yoğunluk değişikliklerini tespit etmek için kullanılır. Yaygın olarak kullanılan kenar tespit algoritmaları arasında Sobel, Canny, ve Prewitt operatörleri bulunur [20]. Kenar tespiti, nesne sınırlarının belirlenmesi ve görüntüdeki önemli yapıların ortaya çıkarılması için kritik öneme sahiptir.

**Segmentasyon:** Segmentasyon, bir görüntüyü anlamlı parçalara veya nesnelere bölme işlemidir. Segmentasyon teknikleri arasında eşikleme, bölge büyütme ve kümeleme yöntemleri yer alır. Eşikleme, belirli bir yoğunluk değerinin üzerindeki pikselleri seçmek için kullanılırken, bölge büyütme, başlangıç noktalarından başlayarak benzer yoğunluktaki bölgeleri birleştirir.

**Şekil Tanıma:** Şekil tanıma, görüntülerdeki belirli desenleri veya nesneleri tanımlamak için kullanılır. Örneğin, Hough dönüşümü, doğru ve daire gibi belirli geometrik şekilleri tespit etmek için yaygın olarak kullanılır.

### 5.3. Muayene Adımları

#### 5.3.1. Kovan ağız kontrolü

Kovan ağız kontrolü, mermi kovanlarının kalite kontrol sürecinde kritik bir rol oynayan başka bir aşama olarak tasarlanmıştır. Bu süreç, kovan ağzının çapını, daireselliğini ve kenar düzgünlüğünü inceler. Bu kontrol, yüksek çözünürlüklü kameralar ve özel aydınlatma sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir, böylece kovan ağzının her bir detayı net bir şekilde görselleştirilebilir. Muayene istasyonunda kovan ağız kısmından alınacak bir görüntünün örneği Şekil 5.1’de verilmiştir. Görüntü işleme algoritmaları bu görüntü üzerine uygulanacaktır.



Şekil 5.1. Kovan ağız görüntüsü

#### Görüntü yakalama ve ön işleme:

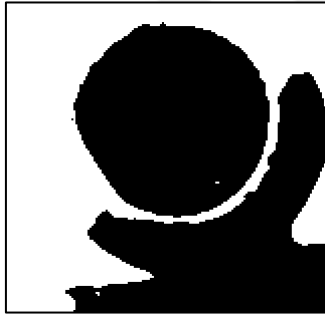
Kontrol süreci, kovan ağzının kameralarla çekilmesiyle başlar. Bu kameralar, kovanın ağzını farklı açılardan yakalayacak şekilde stratejik olarak yerleştirilmiştir. Elde edilen görüntüler üzerinde ilk olarak gürültü azaltma işlemi uygulanır. Bu aşama, cv2.blur filtresi kullanılarak gerçekleştirilir, bu filtre görüntüdeki istenmeyen rastgele piksel değişikliklerini azaltır. Ardından, görüntü cv2.cvtColor fonksiyonu ile gri tonlamaya

çevrilir ve cv2.threshold yöntemiyle ikili eşikleme uygulanır. Bu işlem, görüntüyü binary (ikili) formata dönüştürerek siyah ve beyaz piksellerle temsil edilmesini sağlar.

```
# Resmi yükle
img = cv2.imread('M1.png', -1)
# Gri tonlamaya çevir
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Gri görüntüyü bulanıklaştır
gray_blurred = cv2.blur(gray, (3, 3))

# Otsu yöntemi ile ikili eşikleme
ret, th = cv2.threshold(gray_blurred, 0, 255, cv2.THRESH_BINARY +
cv2.THRESH_OTSU)
cv2.imshow("Eşiklenmiş Görüntü", th)
```

Bu yöntemler sonrası elde edilen görüntü Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Eşiklenmiş görüntü

#### Kenar tespiti:

Eşiklenmiş görüntü üzerinde Hough Dönüşümü kullanarak kovan ağzındaki dairelerin tespiti yapılmaktadır. Hough Dönüşümü, özellikle daireler ve düz çizgiler gibi belirli şekilleri tespit etmek için kullanılan bir görüntü işleme tekniğidir. Bu yöntemde, belirli parametreler kullanılarak şekiller tespit edilir.

```
# HoughCircles kullanılarak daireler tespit edilir
detected_circles = cv2.HoughCircles(
    gray_blurred,          # Girdi görüntüsü (bulanıklaştırılmış gri
    tonlama görüntüsü)
    cv2.HOUGH_GRADIENT,    # Kullanılacak Hough Dönüşümü yöntemi
    (Gradient yöntemi)
    1,                     # Çözünürlük oranı (1: Girdi görüntüsünün
    çözünürlüğü ile çıktı çözünürlüğü aynı)
    80,                    # Minimum iki daire merkezi arasındaki mesafe
    param1=50,             # Canny kenar tespitinde kullanılan üst eşik
    değeri)
```

```

    param2=20,                # Merkez tespiti için kullanılan eşik değeri
    minRadius=20,             # Tespit edilecek dairelerin minimum yarıçapı
    maxRadius=80              # Tespit edilecek dairelerin maks yarıçapı
)

```

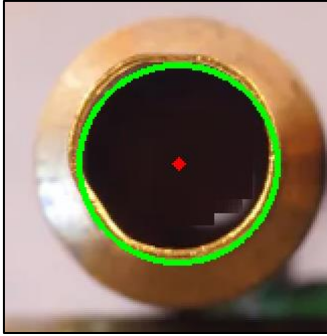
Tespit edilen daireler, merkez koordinatları ve yarıçapları ile birlikte işaretlenir.

```

detected_circles = np.uint16(np.around(detected_circles))
for pt in detected_circles[0, :]:
    a, b, r = pt[0], pt[1], pt[2]
    # Dairenin çevresini çiz
    cv2.circle(img, (a, b), r, (0, 255, 0), 2)
    # Merkezini göstermek için küçük bir daire çiz
    cv2.circle(img, (a, b), 1, (0, 0, 255), 3)
    cv2.imshow("Tespit Edilen Daire", img)

```

Kovan ağzı görüntüsü üzerinde tespit edilen ağız dairesi merkezi ve çapı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Tespit edilen daire

#### Segmentasyon ve sınıflandırma:

Bu bölüm, tespit edilen dairenin geometrik analizinin yapılmasını ve kovan ağzının kalite kontrolünde kullanılmasını sağlar. Öncelikle tespit edilen daire içinde yer alan beyaz piksellere karşılık gelen kovan ağzı iç yüzey noktalarının bulunması için iç daire maskelenir. Bu adımda, 360 derece boyunca dönerek daire içindeki beyaz pikseller tespit edilir ve bir maske üzerine işaretlenir.

```

# İç daire için boş bir maske başlat
inner = np.zeros((img.shape[0], img.shape[1]), dtype=np.uint8)

# 360 derece boyunca döngü
for teta in range(360):
    teta_rad = math.radians(teta) # Açıyı radyana çevir

```



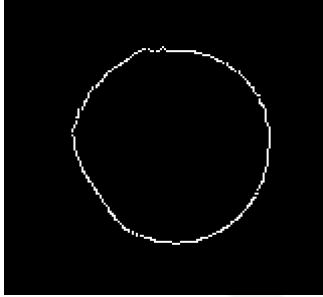
```

for i in range(int(0.8 * r), int(1.2 * r)):
    y = int(b + (i) * math.sin(teta_rad))
    x = int(a + (i) * math.cos(teta_rad))
    if 0 <= x < th.shape[1] and 0 <= y < th.shape[0] and th[y][x] ==
255:
        inner[y][x] = 255
        break

cv2.imshow("İç Daire", inner)

```

Kovan ağzı iç yüzey sınırını temsil eden iç daire Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Kovan ağzı iç dairesi

Sonrasında iç dairedeki beyaz piksellerin merkeze mesafeleri hesaplanır, bu yolla geometrik düzgünlük değerlendirilecektir.

```

# Mesafeleri tutmak için liste
distances = []

# İç dairedeki beyaz piksel mesafelerini hesapla
for i in range(inner.shape[0]):
    for j in range(inner.shape[1]):
        if inner[i, j] == 255:
            # Mesafe hesaplamalarını daha güvenli yap
            i_float = np.float64(i)
            j_float = np.float64(j)
            b_float = np.float64(b)
            a_float = np.float64(a)
            distance = np.hypot(i_float - b_float, j_float - a_float)
            distances.append(distance)

```

Hesaplanan mesafeler kullanılarak ortalama mesafe, varyans ve standart sapma hesaplanır.

Bu metrikler, kovan ağzının geometrik düzgünlüğünü değerlendirmek için kullanılır.

```

# Ortalama mesafe - Varyans ve Standart sapmayı hesapla
mean_dist = np.mean(distances)
variance = np.mean((distances - mean_dist) ** 2)
standard_dev = np.sqrt(variance)

```

Standart sapma, bir veri setindeki değerlerin ortalamadan ne kadar saptığını gösteren bir istatistiksel ölçüdür. Kovan ağzının geometrik olarak düzgün ve simetrik olup olmadığını belirlemek için standart sapma kullanılır. Düşük bir standart sapma, kovan ağzının ortalama mesafeden çok fazla sapmadığını ve düzgün bir daire şekline yakın olduğunu gösterir. Yüksek bir standart sapma ise kovan ağzının düzensiz olduğunu ve ortalama mesafeden büyük sapmalar gösterdiğini belirtir.

Kovan ağzlarının geometrik düzgünlüğünü ve üretim kalitesini değerlendirmek için belirli bir standart sapma sınırı belirlenir. Bu sınır, kovanların üretim standartlarına uygunluğunu belirlemek için kullanılır. Kovan ağzındaki piksellerin merkezden olan mesafeleri, ortalama mesafeden çok fazla sapmıyorsa, yani standart sapma değeri belirlenen limitin altındaysa, bu kovan ağzının düzgün ve dairesel olduğunu gösterir. Üretim süreci tutarlı ve kaliteli demektir.

### 5.3.2. Kapsül deliği kontrolü

Kapsül deliği kontrolü, kovanın tabla tarafından alınan görüntü üzerinden, kapsül deliğinin mevcut olup olmadığının tespit edildiği işlemdir. Bu işlemde kapsülün kovan içerisine yerleşeceği boşluğun açılmamış olması veya kapsülü yerleşmiş kovanlar tespit edilebilecek hatalardır. rnek bir hatasız kovan görüntüsü şekil 5.5'te grlmektedir. Algoritmalar bu görüntü üzerinden verilecektir.



şekil 5.5. Kovan kapsül tarafı görüntüsü

Kapsül deliği kontrolü şu adımlarla gerçekleştirilir:

#### Görüntü yakalama ve ön işleme:

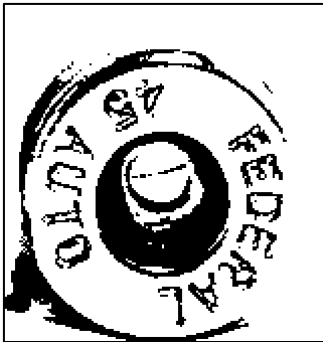
Öncelikle, görüntü dosyası yüklenir ve gerekli boyutlara kırpılarak kalibre edilir. Bu işlem, görüntü işleme performansını optimize etmek için gereklidir.

```
img = cv2.imread(image_path, -1)
# Kalibrasyon (görüntü kırpma)
img = img[:calibration_size[1], :calibration_size[0]]
```

#### Gri tonlama ve eşikleme

Görüntü gri tonlamaya çevrilir ve Otsu yöntemi kullanılarak ikili (binary) eşikleme yapılır. Bu adım, görüntüyü basitleştirerek belirli nesnelerin (örneğin, alev deliği gibi) daha kolay tespit edilebilmesini sağlar. Eşikleme sonrası, belirli bir eşik değerin altındaki pikseller siyah (0), üstündeki pikseller beyaz (255) olarak belirlenir.

```
# Görüntü gri tonlamaya çevrilir
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Eşikleme yapılır
_, th = cv2.threshold(gray, 0, 255, cv2.THRESH_BINARY + cv2.THRESH_OTSU)
cv2.imshow("Eşiklenmiş görüntü", th)
```



Şekil 5.6. Eşiklenmiş kovan kapsül tarafı görüntüsü

### Alev deliği bölgesi tespiti:

Eşiklenmiş görüntü üzerinde Hough algoritması kullanılarak alev deliği tespit edilir.

```
circles = cv2.HoughCircles(th, cv2.HOUGH_GRADIENT, 1, 80, param1=50,
param2=20, minRadius=20, maxRadius=50)
if circles is not None:
    circles = np.uint16(np.around(circles))
    print("Ateş deliği mevcut, doğrulama yapılacak.")
    for pt in circles[0, :]:
        a, b, r = pt[0], pt[1], pt[2]
        cv2.circle(img, (a, b), r, (0, 255, 0), 2)
        cv2.circle(img, (a, b), 1, (0, 0, 255), 3)
        # Doğrulama yöntemi: Dairenin içindeki beyaz piksel sayısı
        mask = np.zeros_like(th)
        cv2.circle(mask, (a, b), r, 255, -1)
        white_pixels_mask = cv2.bitwise_and(th, th, mask=mask)
        white_pixels = cv2.countNonZero(white_pixels_mask)

        if (white_pixels>100):
            print("Ateş deliği mevcut")
            img[np.where((white_pixels_mask == 255))] = [0, 0, 255]
else:
    print("Ateş deliği mevcut değil, defektli.")

cv2.imshow("Ateş Deliği Tespit", img)
```

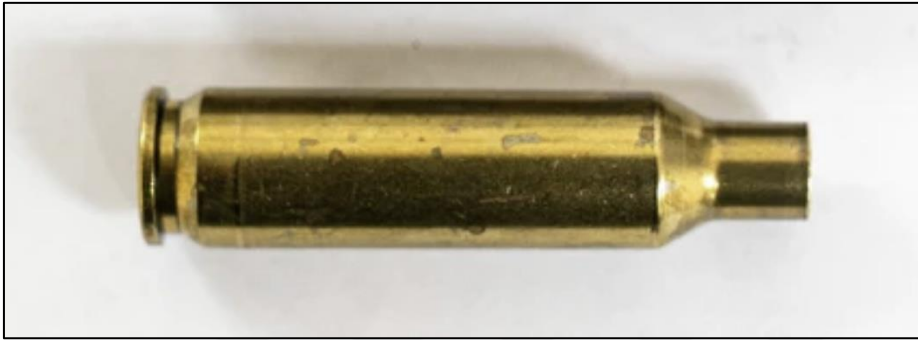
Tespit edilen daire içinde bulunan beyaz pikseller kovan içerisinde boşluk olduğunu gösterir, bu da alev deliği boşluğu olduğunu ifade eder. Eğer daire tespit edilmezse, alev deliği mevcut değil ve kapsül hatalı olarak kabul edilir. Eğer bir daire tespit edilirse, bu dairenin içindeki beyaz piksel sayısı analiz edilerek alev deliğinin doğru olup olmadığı kontrol edilir. Beyaz piksel sayısı belirlenen bir limit üzerindeyse alev deliğinin var olduğu sonucuna ulaşılır. Şekil 5.7’de alev deliği içerisindeki boşluğu temsil eden beyaz pikseller kırmızı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Ateş deliği tespit edilmiş kovan

### 5.3.3. Kovan profil ölçümü

Kovan profil ölçümü, kovanın dış hatlarının belirlenip, kovan üzerindeki belirli noktalar arasındaki mesafelerin ölçüldüğü işlemdir. Bu işlem, kovanın geometrik doğruluğunu kontrol etmek için kullanılır. Aşağıda, kovan profil ölçümü adımları ve ilgili algoritmalar açıklanmaktadır.



Şekil 5.8. Orijinal kovan profil görüntüsü

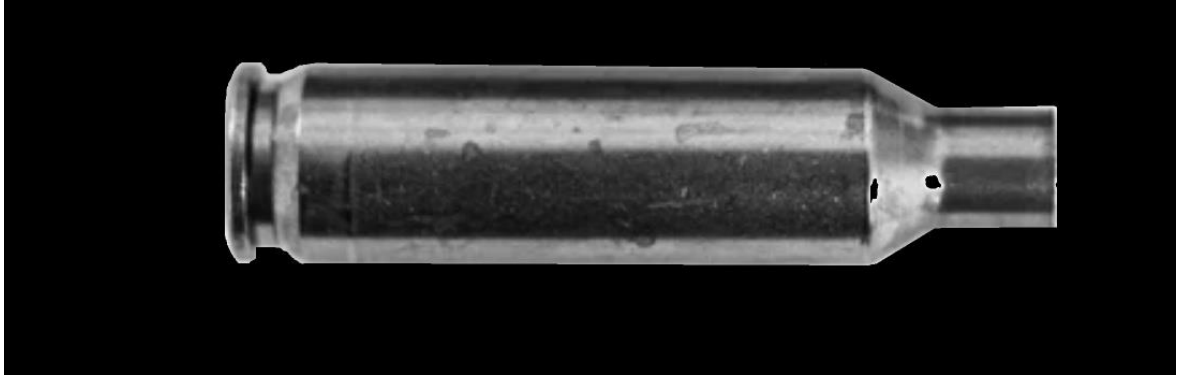
Öncelikle, görüntü dosyası yüklenir ve görüntü işleme performansını optimize etmek için gerekli boyutlara kırılır. Görüntünün sadece ilgilenilen kısmı üzerinde çalışmak hem bellek hem de işlem süresi açısından verimlilik sağlar.

```
# Görüntüyü yükler
image = cv2.imread('Profil_kovan.jpg')
show_image('Original Image', image)

# Görüntüyü gri tonlamaya çevirir
# Beyaz ve beyaza yakın tondaki pikselleri eşitler
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
_, binary_image = cv2.threshold(gray, 240, 255, cv2.THRESH_BINARY)
```

Görüntü gri tonlamaya çevrilir ve belirli bir eşik değerin altındaki pikseller siyah (0), üstündeki pikseller beyaz (255) olarak belirlenir. Bu adım, görüntüyü basitleştirerek belirli nesnelerin daha kolay tespit edilebilmesini sağlar. Beyaz piksellerin eşitlenmesi, kovan üzerindeki parlak noktaların tespit edilmesini kolaylaştırır.

```
# Binary ile orijinal görüntüdeki beyaz alanları siyah yapar
inverted_binary = cv2.bitwise_not(binary_image)
image_with_black = cv2.bitwise_and(gray, gray, mask=inverted_binary)
```

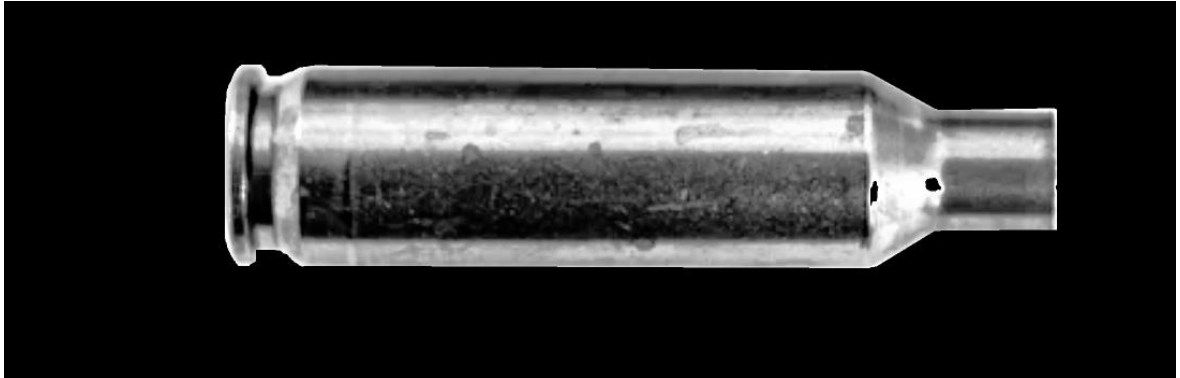


Şekil 5.9. Arka planı siyahlaştırılmış kovan

Histogram eşitleme ile görüntünün kontrastı artırılır. Bu adım, gri tonlamalı görüntünün daha iyi görünmesini ve özelliklerin daha belirgin hale gelmesini sağlar. Histogram eşitleme, özellikle düşük kontrastlı görüntülerde faydalıdır. Ardından, Gaussian bulanıklaştırma uygulanarak görüntüdeki gürültü azaltılır ve kenarların daha düzgün çıkması sağlanır. Gaussian bulanıklaştırma, görüntüdeki yüksek frekanslı gürültüyü azaltmak için kullanılır.

```
# Histogram eşitleme yapılır
equalized = cv2.equalizeHist(image_with_black_background)

# Görüntüyü bulanıklaştırır
blurred = cv2.GaussianBlur(equalized, (3, 3), 0)
```



Şekil 5.10. Histogram eşitlemesi yapılmış kovan

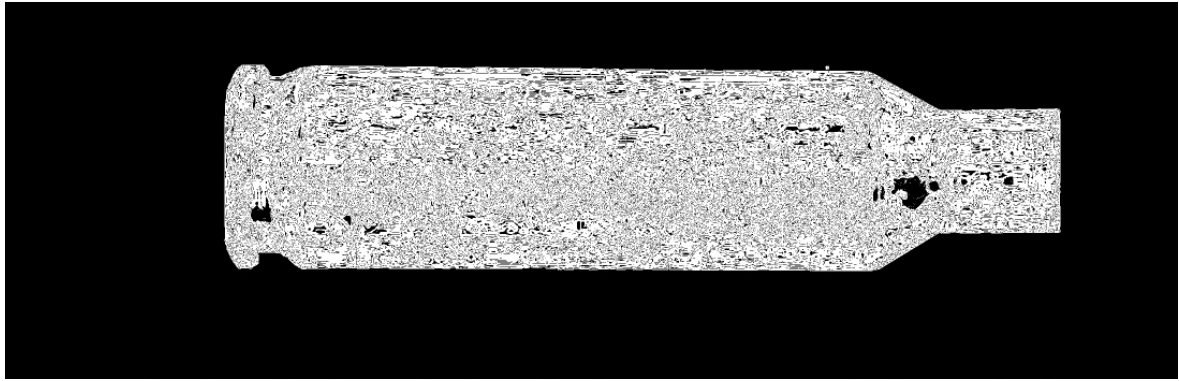
Sonrasında, Sobel kenar algılama yöntemi ile görüntüdeki kenarlar belirlenir. Sobel filtresi, görüntüdeki kenarları yatay ve dikey yönde belirlemek için kullanılır. Sobel filtresi, diferansiyel operatör kullanarak kenarların belirlenmesinde etkili bir yöntemdir. Ardından,

ikili eşikleme uygulanarak kenarlar daha belirgin hale getirilir. Eşikleme sonrası, belirli bir eşik değerin altındaki pikseller siyah (0), üstündeki pikseller beyaz (255) olarak belirlenir.

```
# Sobel kenar algılama yapılır
sobelx = cv2.Sobel(blurred, cv2.CV_64F, 1, 0, ksize=5)
sobely = cv2.Sobel(blurred, cv2.CV_64F, 0, 1, ksize=5)

# Kenarlar birleştirilir
sobel_combined = cv2.magnitude(sobelx, sobely)
sobel_combined = np.uint8(sobel_combined)
show_image('Sobel Combined Image', sobel_combined)

# Kenarlar ikili görüntüye dönüştürmek için eşiklenir
_, edges = cv2.threshold(sobel_combined, 50, 255, cv2.THRESH_BINARY)
```



Şekil 5.11. Sobel filtreli kovan

Sobel ile filtreleme işleminden sonra, morfolojik işlemler ile kenarlar genişletilir ve daraltılır. Bu işlemler, kenarların daha düzgün ve keskin olmasını sağlar. Morfolojik genişletme (dilation), beyaz piksellerin alanını genişleterek küçük boşlukları kapatır. Morfolojik daraltma (erosion) ise beyaz pikselleri daraltarak gürültüyü azaltır ve kenarların daha belirgin olmasını sağlar. Ardından, Gaussian bulanıklaştırma ile kenarlar yumuşatılır, bu adım kenarların daha doğal ve keskin olmasını sağlar.

```
# Kenarlar genişletilip daraltmak için morfolojik işlemler yapılır
kernel = np.ones((3, 3), np.uint8)
edges_dilated = cv2.dilate(edges, kernel, iterations=1)
edges_eroded = cv2.erode(edges_dilated, kernel, iterations=1)

smoothed_edges = cv2.GaussianBlur(edges_eroded, (3, 3), 0)
```



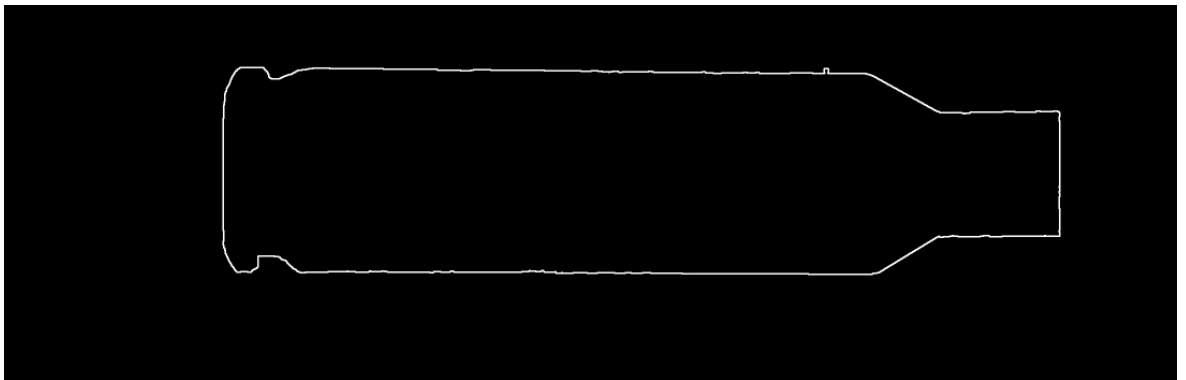
Şekil 5.12. Morfolojik işlemler uygulanmış kovan

Elde edilen kenar görüntüsünde konturlar tespit edilir ve yeni bir görüntü üzerinde çizilir. Kontur tespiti, kovanın dış hatlarının belirlenmesinde kullanılır. Bu adımda `findContours` fonksiyonu kullanılarak görüntüdeki kapalı şekiller (konturlar) belirlenir ve `drawContours` fonksiyonu ile bu konturlar yeni bir boş görüntü üzerine çizilir. [21].

```
# Konturlar bulunur
edges_uint8 = np.uint8(smoothed_edges)
contours, _ = cv2.findContours(edges_uint8, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

# Yeni bir boş görüntü oluşturulur
contour_image = np.zeros_like(gray)

# Konturlar çizilir
cv2.drawContours(contour_image, contours, -1, (255, 255, 255), 2)
```



Şekil 5.13. Kovan profil konturu

Kovan profil ölçümü, kovanın dış hatlarının belirlenmesi ve belirli bölgelerindeki çaplar ve uzunluk değerlerinin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilir. Bu adımda, kontur tespiti sonucu

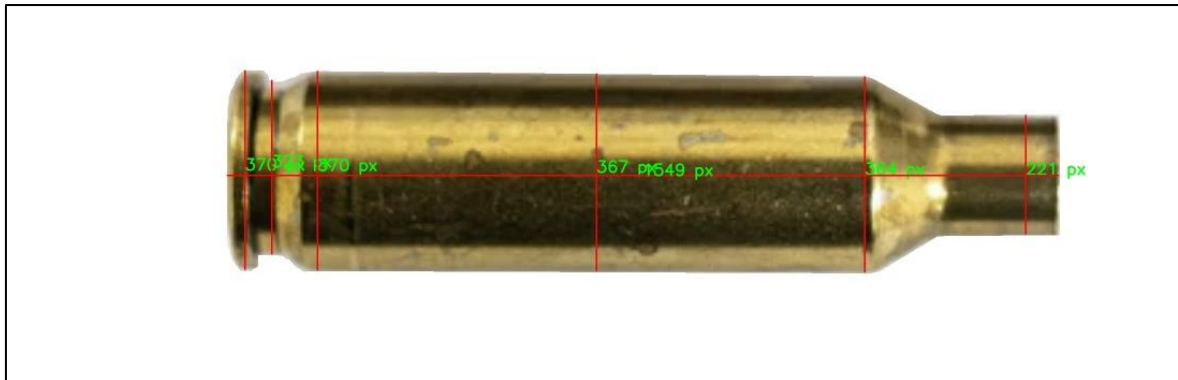


elde edilen görüntü üzerinden belirli yatay ve dikey pozisyonlarda ölçümler yapılır. Profil ölçümü ve kırmızı çizgi çizimi işlemleri aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir:

Öncelikle, belirlenen yatay ve dikey pozisyonlarda kontur üzerindeki beyaz pikseller arasındaki mesafeler ölçülür. Bu ölçümler, kovanın geometrik doğruluğunu kontrol etmek için kritik öneme sahiptir. Özellikle, kovanın genişlik ve yükseklik gibi boyutlarının belirlenmesi ve bu boyutların belirlenen tolerans aralıklarında olup olmadığının kontrolü yapılır.

Ölçüm işlemleri için geliştirilen algoritma, kontur tespiti yapılan görüntüde belirli pozisyonlarda beyaz pikselleri arar. Her yatay ve dikey pozisyonda, ilk beyaz piksel tespit edildikten sonra, belirli bir boşluk bırakılarak ikinci beyaz piksel aranır. Bu sayede, aynı çizginin farklı noktalarındaki beyaz pikseller arasında yapılan ölçümlerle kovanın profili çıkarılır.

Beyaz pikseller arasındaki mesafeler belirlendikten sonra, bu mesafeler kırmızı çizgiler ile görselleştirilir. Ölçüm sonuçları ise, her çizginin ortasına yeşil renkle yazdırılır. Bu görselleştirme, ölçüm sonuçlarının kolayca anlaşılmasını ve kovanın geometrik doğruluğunun hızlıca değerlendirilmesini sağlar.



Şekil 5.14. Çap ve uzunlukları tespit edilmiş kovan

Ölçüm değerlerinin piksel cinsinden verilmesinin sebebi, görüntü işleme algoritmalarının doğal olarak piksel birimiyle çalışmasıdır. Ancak, gerçek sistemlerde bu piksel değerleri, görüntüde bulunan bir referans değeri kullanılarak milimetre (mm) cinsine çevrilecektir. Bu referans değeri, genellikle görüntüde bilinen bir uzunluğun kaç piksel olduğunu

belirleyen bir ölçeklendirme faktörüdür. Bu faktör sayesinde, piksel cinsinden ölçülen değerler gerçekte ne kadar uzunluğa karşılık geldiği hesaplanarak mm cinsine dönüştürülür. Bu dönüşüm, kovanın üretim kalitesinin değerlendirilmesi ve toleransların kontrolü için gereklidir.

#### **5.3.4. Kovan yüzey tarama**

Kovan yüzey taraması, kovanın dış yüzeyindeki kusurların tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilen bir işlemdir. Bu işlemde, 6 çevresel kamera kullanılarak kovanın farklı açılardan görüntüleri alınır ve yüzey kusurları tespit edilmeye çalışılır. Yüzey kusurları, çizikler, çukurlar, kabarcıklar ve diğer üretim hataları gibi farklı türlerde olabilir. Ancak, bu kusurların tespit edilmesi, görüntü işleme algoritmaları ile beklenildiği kadar başarılı sonuçlar vermemiştir.

Önceki bölümlerde kullanılan görüntü işleme algoritmaları, kenar algılama, kontur tespiti ve eşikleme gibi teknikler üzerine kurulmuştur. Bu algoritmalar, belirli geometrik şekillerin ve kenarların tespiti için oldukça etkili olsa da, yüzey kusurlarının tespitinde yeterince başarılı olamamıştır. Yüzey kusurları genellikle düzensiz ve küçük boyutludur. Bu nedenle, kenar algılama ve eşikleme gibi basit görüntü işleme teknikleri, bu kusurları tespit etmekte yetersiz kalabilir. Kovan yüzeyindeki parlama, gölge ve diğer aydınlatma değişiklikleri, görüntü işleme algoritmalarının doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Bu durum, özellikle yüzeydeki küçük kusurların tespitini zorlaştırır. Ayrıca, sekiz farklı kameradan alınan görüntülerdeki perspektif farklılıkları, yüzey kusurlarının doğru bir şekilde tespit edilmesini zorlaştırabilir. Bu, kusurların boyutunun ve konumunun doğru bir şekilde belirlenmesini engelleyebilir. Bu sebeplerden dolayı, geleneksel görüntü işleme algoritmaları ile kovan yüzey taraması istenilen başarıya ulaşamamıştır. Bu durumda, daha gelişmiş tekniklerin kullanılması gerekmektedir.

Yüzey kusurlarının daha doğru bir şekilde tespit edilmesi amacıyla, makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Makine öğrenmesi, büyük veri setleri üzerinden öğrenme ve tahmin yapma yeteneğine sahip algoritmalarla oluşur. Bu algoritmalar, yüzey kusurlarının tespit edilmesinde önemli avantajlar sağlar. Makine öğrenmesi algoritmaları, etiketlenmiş veri setleri üzerinden eğitilerek, yüzey kusurlarını tanımayı öğrenir. Bu sayede, farklı türdeki kusurların tespit edilme olasılığı artar. Eğitim

sırasında farklı aydınlatma ve gürültü koşullarına maruz bırakılarak, makine öğrenmesi modelleri bu tür değişikliklere karşı daha dayanıklı hale getirilebilir. Derin öğrenme algoritmaları, çoklu perspektiflerden gelen verileri işleyerek, kusurların daha doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlayabilir. Şu anda, kovan yüzey taraması için makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalarda, derin öğrenme teknikleri, özellikle de konvolüsyonel sinir ağları (CNN), yüzey kusurlarının tespitinde umut vaat eden sonuçlar vermektedir [22]. Eğitim veri setlerinin oluşturulması ve modellerin optimize edilmesi gibi süreçler üzerinde çalışılmaktadır.

Sonuç olarak, kovan yüzey taraması, üretim sürecinde kalite kontrolü sağlamak açısından büyük önem taşır. Ancak, geleneksel görüntü işleme algoritmaları, yüzey kusurlarının tespitinde yeterli başarıyı sağlayamamıştır. Bu sebeple, makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Şu anda, makine öğrenmesi teknikleri ile yüzey kusurlarının daha doğru bir şekilde tespit edilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların sonucunda, kovan yüzey taramasının doğruluğu ve güvenilirliği artırılarak, üretim kalitesinin kontrolü daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.



## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde çalışmanın, literatürdeki benzer projelerle karşılaştırılarak yenilikçi ve uygulanabilir olup olmadığı değerlendirilecektir. Çalışmanın temel amacı, savunma sanayiinde mermi kovanlarının kalite kontrol süreçlerini otomatik hale getiren bir makine tasarlamaktır. Bu doğrultuda geliştirilen makinenin tasarım süreçleri, kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar detaylı şekilde ele alınacaktır.

Literatürdeki benzer projeler incelendiğinde, genellikle manuel kontrol yöntemlerine dayalı oldukları görülmektedir. Bu tür yöntemler insan hatasına açık olup, otomatik kontrol sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ise çoğunlukla tek bir kalibreye odaklanmakta ve farklı kalibreler için esneklik sunmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan Pahl ve Beitz'in sistematik tasarım metodolojisi, endüstriyel tasarım alanında yaygın olarak kabul görmekte olup, literatürde de geniş yer bulmaktadır. Ayrıca, modüler tasarım yaklaşımı ve otomatik kontrol sistemlerinin entegrasyonu sayesinde, geliştirilen sistemin benzer projelerle karşılaştırıldığında daha esnek ve uyarlanabilir bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer projelerden belirgin şekilde ayrıldığı birkaç önemli nokta bulunmaktadır. Öncelikle, yüksek endüstri standartlarına uygun olarak tasarlanan yeni otomasyon sistemi, ileri görüntü işleme teknolojileri ve kesintisiz, sürekli besleme mekanizmaları kullanarak kovanların fiziksel ve yapısal bütünlüğünü kalite standartlarına uygun şekilde derinlemesine inceleyebilmektedir. Bu sistem, saniyede onlarca kez tarama yapabilen yüksek çözünürlüklü kameralar, özel aydınlatmalar ve gelişmiş görüntü işleme algoritmaları ile donatılmıştır. Bu özellikler, sistemi mevcut literatürde yer alan birçok çalışmadan daha hızlı ve doğru hale getirmektedir.

Buna ek olarak, kalite kontrol sürecine yenilikçi bir yaklaşım getiren bu sistem, hataların gerçekleşme oranlarını ve istatistiklerini kayıt altına almakta ve bu sayede hataların olası sebeplerini analiz etme imkânı sunmaktadır. Mevcut sistemlerde hatalı kovanların nedenlerinin kaydedilmemesi ve analiz edilmemesi, bu kovanların doğrudan atık olarak ayrılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen sistem, hataların kök nedenlerini tespit etme ve giderme fırsatı sunarak, üretim hattında potansiyel sorunların çözümüne yönelik stratejik bilgiler sağlamaktadır.

Derinlemesine analitik yaklaşım, sadece hataların tespiti ve onarımı açısından değil, aynı zamanda üretim hattının genel verimliliği ve kalitesinin artırılmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Sistem, hata analizlerinden elde edilen verileri kullanarak, üretim hattındaki diğer ekipmanların ve süreçlerin iyileştirilmesine yönelik stratejik bilgiler sunmaktadır. Bu sayede, geliştirilen otomasyon sistemi, üretim süreçlerinin daha verimli, ekonomik ve güvenilir hale gelmesine katkıda bulunarak savunma sanayii mühimmat üretiminde kalite ve güvenlik standartlarını yükseltmektedir.

Projenin yenilikçi yönlerinden bir diğeri, ülkemizde benzer özelliklere sahip bir makinenin daha önce üretilmemiş olmasıdır. Geliştirilen yeni otomasyon sistemi, mevcut yurtdışı muadil makinelerden daha yüksek hızlarda çalışabilmekte ve farklı çap ve özelliklere sahip mermi kovanlarının kalite kontrolünü yapabilmektedir. Ayrıca, kalite kontrol sürecinde sadece tespit yapmanın ötesine geçerek hata analizi imkânı sunması ve bu sayede imalatın iyileştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Bu özellikleriyle, mermi kovana üretiminde kalite, güvenlik ve verimlilik standartlarını yükseltmeyi amaçlayan bu sistem, sektöre önemli yenilikler getirme potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmada geliştirilen makine, mevcut manuel kontrol yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve hız sunarak, savunma sanayiinde önemli bir iyileşme sağlamaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu makinenin çok daha esnek ve hassas olduğu görülmektedir. Ayrıca, kullanılan modüler tasarım yaklaşımı, makinenin farklı kalibreler için hızlı bir şekilde adapte edilmesine olanak tanımakta ve bu da üretim maliyetlerini düşürmektedir. Ancak, bu sistemin uygulama aşamasında karşılaşılabilecek potansiyel zorluklar ve bakım gereksinimleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışma, mermi kovanlarının üretim sürecinde kalite kontrolün otomatize edilmesi ve iyileştirilmesi konusunda önemli bir adımı temsil etmektedir. Tasarlanan sistem, yüksek hız ve doğrulukta kalite kontrol işlemlerini gerçekleştirerek, NATO standartlarına uygunlukta ürünlerin sürekli ve güvenilir bir şekilde üretilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen otomasyon sistemi, insan gözlemine dayalı geleneksel yöntemlerin yerini alarak, üretim süreçlerini hızlandırmakta, hata oranlarını azaltmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Ayrıca, hata analizi özelliği sayesinde, üretim hatalarının kök nedenleri daha etkin bir şekilde tespit edilebilmekte ve bu bilgiler üretim sürecinin diğer aşamalarıyla paylaşılarak sürekli iyileştirme sağlanmaktadır.

Sistem, aynı zamanda iş güvenliği ve çalışan ergonomisini iyileştirerek, iş kazaları ve meslek hastalıklarını önleme konusunda da katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, fişek üretiminin iş sağlığı ve güvenliği risklerini inceleyen çalışmalar [23], bu alanda çalışanların özellikle kimyasal maddelere ve yüksek gürültü seviyelerine maruziyetlerinden dolayı ciddi işitme kaybı ve solunum yolu hastalıkları gibi sağlık risklerini taşıdıklarını ortaya koymuştur. Bu riskler, çalışanların sağlığını ve güvenliğini tehdit ederken, aynı zamanda iş verimliliğini de olumsuz etkileyebilmektedir. Otomasyon sistemleri, çalışanların tekrarlayan ve yorucu görevlerden uzaklaştırılmasını sağlamak ve böylece daha stratejik ve değer katıcı işlere yönlendirilmelerine olanak tanımaktadır. Bu durum, işveren ve çalışanlar için daha olumlu bir çalışma ortamı oluştururken, çalışanların sağlığını korumak ve iş süreçlerinin verimliliğini artırmak için de kritik önem taşımaktadır.

Modüler tasarım anlayışıyla geliştirilen bu sistem, farklı kalibreler (7.62 mm, 5.56 mm ve 9 mm) için herhangi bir mekanik değişikliğe ihtiyaç duymadan çalışabilecek esnekliğe sahiptir. Farklı kalibrelerin kalite kontrolü için sadece yazılım arayüzünde uygun kalibre seçiminin yapılması yeterlidir; böylece sistem, otomatik olarak görüntü işleme algoritmalarını ilgili kalibreye göre optimize eder. Bu sayede, üretim hattında duruş süreleri en aza indirgenirken, mekanik müdahaleye gerek kalmaması işletme maliyetlerini düşürür ve sistemin hızla farklı ürün gereksinimlerine adapte olmasına olanak tanır.

Bu otomasyon sistemi, ülkemizde benzer özelliklere sahip bir makinenin üretiminin gerçekleştirilmemiş olması sebebiyle, yerli üretim kapasitesini artırma ve savunma sanayii dışa bağımlılığını azaltma potansiyeline sahiptir. Geliştirilen makine, yüksek hızda ve esnek üretim kapasitesiyle, farklı çap ve özelliklere sahip mermi kovanlarının kalite kontrolünü başarıyla gerçekleştirebilmekte ve böylece sektördeki teknolojik gelişmelerin önünü açmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, mermi kovanı üretiminde kalite, güvenlik ve verimlilik standartlarını yükselterek, savunma sanayimizin küresel rekabetçiliğini artıracak bir adım olarak değerlendirilmelidir.

### Çalışmanın sınırlılıkları ve öneriler

Bu sistem, yüksek doğruluk ve hızla çalışmak üzere tasarlanmış olsa da bazı zorluklar ve geliştirilmesi gereken yönler mevcuttur. İlk olarak; dakikada 320 adet kovan işleyebilme kapasitesine sahip olan sistemde, yapılan testlerde algoritmalar yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır; ancak sistemin yazılımı tamamlandığında, gerçek çalışma şartlarında kapsamlı testler henüz gerçekleştirilmemiştir. Özellikle 8'li kamera düzenekleri ile elde edilen görüntüler üzerinde yapılacak analizlerde, farklı açılardan alınan görüntülerin kısa sürede birleştirilmesi ve kovan yüzeyinin tüm alanlarının taranması gerekmektedir. Bu süreçte, yüzey kusurlarının NATO standartlarına uygun olarak belirlenmesi önem arz etmektedir. NATO standartlarında kusurlar, görsel referanslarla ifade edildiğinden, matematiksel sınır değerlerini belirlemek yerine, en doğru yaklaşım olarak eğitim verileri ile makine öğrenmesi tabanlı bir sistemin kullanılması öne çıkmaktadır. Ancak, böyle bir makine öğrenmesi uygulamasında algoritmaların işleyebilmesi için güçlü bir işlemci gereksinimi ve büyük miktarda veri yönetimi ihtiyacı doğmaktadır. Bu noktada, sistemin gerçek zamanlı veri işleme kapasitesi ve işlemci performansının yeterli olup olmadığı, gelecekte yapılacak testlerle doğrulanmalıdır. Özellikle yüksek hızda çalışan bu sistemin, yoğun veri yükü altında performans kaybı yaşamaması için optimizasyon çalışmaları ve ileri düzey donanım çözümlerinin değerlendirilmesi önemlidir.

Sistemin tasarımı, yüksek hız ve doğrulukla çalışacak şekilde optimize edilmiştir; ancak, sistem tamamlanıp uzun süreli kullanımda test edilmediği için bakım ve kalibrasyon periyotları henüz net olarak belirlenememiştir. Özellikle dakikada 320 adet kovan işleyen bu kadar hızlı bir mekanizmanın zamanla parçalarda aşınma ve hassasiyet kaybı yaşama olasılığı bulunmaktadır. Sistemin güvenilirliğini ve doğruluğunu koruyabilmesi için hangi sıklıkta bakım ve kalibrasyon yapılması gerektiği, ancak uzun süreli ve gerçek çalışma şartlarındaki performans testleri sonucunda ortaya çıkacaktır. Bu nedenle, sistemin ilk kullanım dönemlerinde düzenli izleme ve değerlendirmeler yapılması, bakım ve kalibrasyon ihtiyaçlarının daha doğru bir şekilde tanımlanmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın bulguları, gelecekte yapılacak araştırmalar için çeşitli öneriler sunmaktadır. Öncelikle, makinenin farklı üretim hatlarında uygulanabilirliğinin test edilmesi ve performansının değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Farklı kalibreler ve mühimmat türleri üzerinde yapılacak testler, sistemin esneklik ve hassasiyet düzeyinin daha iyi anlaşılmasını



sağlayacaktır. Ayrıca, makinenin uzun vadeli performansı ve bakım süreçleri üzerine daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar, sistemin endüstriyel ölçekteki dayanıklılığını ve sürekli kullanımda karşılaşılabileceği olası sorunları önceden tespit etme açısından kritiktir.

Makine üzerinde yapılacak geliştirmeler, sistemin performansını ve dayanıklılığını daha da artırma potansiyeline sahiptir. Özellikle sistemin yapısal unsurları üzerinde yapılacak değişiklikler, titreşim ve stabilite açısından makinenin verimliliğini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu bağlamda, kullanılan malzemelerin optimizasyonu, makinenin uzun vadeli performansı üzerinde doğrudan etkili olacaktır. Örneğin, şasenin döküm malzemedan yapılmasının, makinenin genel verimliliğini artırabileceği değerlendirilmektedir. Döküm şase, özellikle titreşim direnci ve yapısal stabilite açısından avantaj sağlayarak, sistemin uzun ömürlü ve dayanıklı olmasına katkıda bulunabilir. Bu konu, daha fazla araştırmaya açık olup, döküm malzeme kullanımının getirdiği faydaların daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, ilerleyen çalışmalara katkı sağlayabilir.

Gelecekteki araştırmalar, bu makinenin savunma sanayii dışındaki diğer sektörlerde de kullanılma potansiyelini araştırabilir. Yüksek hassasiyet ve hızlı üretim gerektiren otomotiv, havacılık, elektronik gibi sektörlerde bu sistemin uygulanabilirliği değerlendirilebilir. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi teknolojilerinin entegrasyonu ile sistemin performansı daha da iyileştirilebilir. Bu teknolojiler, hata tespit ve düzeltme süreçlerini daha da optimize ederek, üretim verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir.

Son olarak, bu otomasyon sisteminin çevresel etkileri de dikkate alınarak, enerji verimliliği ve atık azaltma gibi konular üzerine yapılacak araştırmalar, sürdürülebilir üretim teknolojilerine katkı sağlayabilir. Böylece, sistemin hem ekonomik hem de çevresel açıdan getirdiği faydalar daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilir.



## KAYNAKLAR

1. Juran, J. M., Godfrey, A. B., Hoogstoel, R. E., Schilling, E. G. (1999). *Juran's Quality Handbook*. (5. Baskı, bölüm 14.7.). New York: McGraw-Hill.
2. Dale, B. G. (2003). *Managing Quality*. (4. Baskı). Malden, MA: Blackwell Publishing Ltd.
3. Shewhart, W. A. (2012). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. (2. Baskı). Mineola, NY: Dover Publications.
4. Mathews, J. A. (1989). New production concepts. *Prometheus*, 7(1), 129-148.
5. Taylor, F. W. (2018). *Bilimsel yönetimin ilkeleri*. (çev. H. Bahadır). İstanbul: Çizgi Yayınları. (Eserin orijinali 1911'de yayımlandı), s. 5-18.
6. North Atlantic Treaty Organization Standardization Office. (2020). Multi-Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition (STANAG 4823). NSO. Brüksel, Bölüm 4-A.
7. North Atlantic Treaty Organization Standardization Office. (2018). NATO 7.62mm Ammunition Design and Safety Criteria (STANAG 2310). NSO. Brüksel, Bölüm 3-A.
8. North Atlantic Treaty Organization Standardization Office. (2020). AEP-97, Multi-Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition. NSO, Brüksel, Bölüm 6-C.
9. North Atlantic Treaty Organization Army Armaments Group. (2020). Technical Performance Specification Providing for the Interchangeability of 5.56 mm x 45 Ammunition (AOP-4172). NAAG, Brüksel, 68.
10. Thamna, A., Srisungsitthisunti, P., Dechjarem, S. (2018, 5-6 Temmuz). *Real-Time Visual Inspection and Rejection Machine for Bullet Production*. 2nd International Conference on Engineering Innovation (ICEI), Bangkok.
11. Moru, D. K., Borro, D. (2020). A machine vision algorithm for quality control inspection of gears. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(1), 105-123.
12. Huang, B., Ma, S., Wang, P., Wang, H., Yang, J., Guo, X., Zhang, W., Wang, H. (2018) Research and implementation of machine vision technologies for empty bottle inspection systems. *Engineering Science and Technology: an International Journal*, 21(1), 159-169.
13. Wu, Y., Qin, Y., Wang, Z., & Jia, L. (2018). A UAV-based visual inspection method for rail surface defects. *Applied Sciences*, 8(7), 1028.

14. Tabata, T., Komuro, T., Ishikawa, M. (2010). Surface image synthesis of moving spinning cans using a 1,000-fps area scan camera. *Machine Vision and Applications*, 21(5), 643-652.
15. Ren, Z., Fang, F., Yan, N., Wu, Y. (2021). State of the art in defect detection based on machine vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 9(2), 661-691.
16. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. (1984), *Engineering Design: A Systematic Approach*. (3. Baskı). London: Springer, 27-109.
17. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. (1984), *Engineering Design: A Systematic Approach*. (çev. H.R. Börklü). Ankara: Hatiboğlu Yayınları, 125-159.
18. Sims Machine and Controls Inc. (1997, September 16). Centrifugal feeder. U.S. Patent 5954185A.
19. İnternet: Gemert, B. (Ocak, 2021). How to avoid motion blur. Web: <https://www.get-cameras.com/How-to-avoid-motion-blur> Erişim Tarihi: 12-03-2024.
20. Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2002) *Digital Image Processing*. (2. Baskı). Upper Saddle River: Prentice Hall, 156-183.
21. Szeliski, R. (2022). *Computer Vision*. (2. Baskı). Berlin: Springer Nature, 315-332.
22. Karimi, M. H., Asemani, D. (2014). Surface defect detection in tiling industries using digital image processing methods: Analysis and evaluation. *ISA Transactions*, 53(3), 834-844.
23. Algan, S. (2016). *Fişek Üretiminde Risklerin Tespiti ve Kimyasal Maruziyetin Değerlendirilmesi*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.



*Gazili olmak ayrıcalıktır*