

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



RETROGRAFİK ELASTOMERİK SENSÖR KULLANARAK
MERMI KOVANINDAN ATEŞLİ SİLAH TESPİTİ

Selman UZUN

Yüksek Lisans Tezi

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

RETROGRAFIK ELASTOMERİK SENSÖR KULLANARAK MERMI KOVANINDAN ATEŞLİ SİLAH TESPİTİ

Tez Yazarı
Selman UZUN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Burak TANYERİ

MAYIS 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Retrografik Elastomerik Sensör Kullanarak Mermi Kovanından Ateşli Silah Tespiti
Yazarı:	Selman UZUN
İlk Teslim Tarihi:	12.04.2022
Savunma Tarihi:	13.05.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Burak TANYERİ Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Engin AVCI Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Arif AYDIN İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Retrografik Elastomerik Sensör Kullanarak Mermi Kovanından Ateşli Silah Tespiti” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

13.05.2022

Selman UZUN



ÖNSÖZ

Teknolojik imkânların gelişmesi ile beraber birçok alan için hayati öneme sahip süreçlerde zaman ve mekân sınırlaması ortadan kalkmış, mobil sistemler yaygın hale gelmiştir. Bunun etkilerini gün geçtikçe hayatımızda daha çok hissediyoruz ve bu durum diğer bilim dallarının yanı sıra özellikle bilişim teknolojisinin gelişmesine paralel olarak ortaya çıkmıştır. Taşınabilir mobil çözümlerin sunduğu pratiklik ve hızlılığın bir avantaj olarak görüldüğü bu tez çalışmasında, gelişen malzeme ve bilişim teknolojisinin olanaklarından istifade edilerek, balistik bilimi içerisinde büyük önem taşıyan ateşlenmiş mermi kovanlarına ait yüzey analizi işlemi için mobil bir çözüm üzerinde durulmuştur.

Ateşlenmiş mermi kovanları, ateşli silahların karakteristiklerini ortaya koyan izler taşımakta ve bu izler, laboratuvar ortamında uzun incelemeler gerektiren işlemlerle silah tespiti sağlamaktadır. Bu çalışmada mermi kovanı üzerinde yapılan incelemeler için mekân sınırlamasını ortadan kaldıracak mobil bir tasarım düşünülmüş ve bu tasarımın silah tespitinde daha hızlı teşhis yeteneğine sahip olması hedeflenmiştir.

Mermi kovanı görüntüleri üzerinde yapılması gereken teşhis çalışmasında silahın tipik özelliğini tanımlayan mikron hassasiyette detaylı görüntü verilerine ihtiyaç vardır. Gerekli olan bu görüntülerin sadece ışık ve kamera ile elde edilmeye çalışılması, kovanın metal yüzeyinde parlamaların oluşmasına neden olmakta ve bu parlamalar, kovan yüzeyindeki detayların kaybolmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma ile biyolojik bir özellik olan dokunma hissinden ilham alınmış ve bu yolla oluşturulacak bir görüntüleme yöntemiyle parlamaya bağlı görüntü bozulmalarının önleneyeceği varsayılmıştır. Bu yolla elde edilen kovan görüntülerinden silah tespiti yapılması işleminin derin öğrenmeye dayalı makine öğrenmesi tekniği ile gerçekleştirilmesi durumunda ise beklenen hız ve doğruluğun sağlanacağı fikriyle bu çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışması konusunun belirlenmesi ve hazırlanma sürecinde değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek, çalışma sürecinde gerekli katkılarını sağlayan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Burak TANYERİ'ne, bilgi ve tecrübelerini aktarmada yardımseverliğini gösteren Aisin Otomotiv Parçaları San. Tic. A.Ş yetkililerine, katkılarından dolayı Prof. Dr. Engin AVCI ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Arif Aydın hocalarıma, ayrıca ihtiyaç anında gerekli desteğini sunan Arş. Gör. Dr. Ukbe Üsâme UÇAR'a, ağabeyim Doç. Dr. Celalettin UZUN'a ve üzerimde manevi desteği olan eşim ve aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından **SHY.21.01** protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

Selman UZUN
ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ATEŞLİ SİLAHLAR.....	4
2.1. Ağır Ateşli Silahlar.....	4
2.2. Hafif Ateşli Silahlar.....	4
2.2.1. Uzun Namlulu Hafif Ateşli Silahlar	4
2.2.2. Kısa Namlulu Hafif Ateşli Silahlar	5
3. TABANCA VE YAPISININ İNCELENMESİ	6
3.1. Tabancanın Başlıca Parçaları.....	6
3.1.1. Gövde	6
3.1.2. Sürgü Grubu	7
3.1.3. Namlu.....	8
3.2. Kovan Atma Düzenegi	9
3.3. Ateşleme Düzenegi.....	10
3.4. Tabancalarda Ateşleme Türleri.....	11
3.4.1. Horozlu Sistem.....	11
3.4.2. Horoz ve İğneli Sistem.....	11
3.4.3. İğneli Sistem.....	12
4. MERMİLER VE MERMİ TÜRLERİ	13
4.1. Mermiler	13
4.1.1. Çekirdek	13
4.1.2. Kovan	14
4.1.3. Barut.....	14
4.1.4. Kapsül	14
4.2. Mermi Türleri	15
4.2.1. Merkez veya Kenar Vuruşlu Mermiler.....	15
4.2.2. Toplu veya Otomatik Tabanca Mermisi	15
4.2.3. Browning veya Parabellum Tipi Mermiler.....	16
5. BALİSTİK.....	17
5.1. Dahili Balistik.....	17
5.2. Dış Balistik	18
5.3. Terminal Balistik	19
6. ATEŞLİ SİLAHLARIN ADLİ BALİSTİK İNCELEMESİ.....	20
6.1. Adli Balistiğin Tarihçesi.....	20
6.2. Adli Balistik Alanında Kullanılan Teknolojiler.....	22

6.2.1. Karşılaştırma Mikroskobu ile İnceleyerek Tanılama	22
6.2.2. Görüntüleme ile Tanılama.....	23
6.3. Balistikte 2 Boyutlu Görüntü İşleme	27
6.3.1. Temel Görüntü İşleme İşlemleri.....	27
6.3.2. Balistik Örneklere Ait Görüntülerin Eşleştirilmesi	28
6.3.3. İleri Görüntü İşleme Teknikleri.....	29
6.4. 3 Boyutlu Analiz.....	29
7. POLİMERLER VE ELASTOMERLER.....	32
7.1. Polimerler	32
7.2. Elastomerler.....	33
7.2.1. Termoplastik Elastomerler	34
7.2.2. Termoset Elastomerler	34
8. DERİN ÖĞRENME	38
8.1. Derin Öğrenmenin Tarihçesi	38
8.2. Yapay Sinir Ağları.....	41
8.3. Evrişimli Sinir Ağları	44
8.3.1. Evrişim Katmanı	44
8.3.2. Havuzlama (Pooling) Katmanı	46
8.3.3. Düzleştirilmiş Doğrusal Birim Katmanı.....	48
8.3.5. Softmax	49
8.3.6. Yığın Normalleştirme (Batch Norm).....	49
8.3.7. Nöron Seyreltme	50
8.4. Evrişimli Sinir Ağı Algoritmaları.....	51
9. MATERYAL VE METOT.....	63
9.1. Tabancadan Mermi Kovanı Elde Etme.....	63
9.2. Optik Sistem Tasarımı	64
9.2.1. Tezgâh ve Aparat Üretimi	65
9.2.2. Işık Tertibatı Tasarımı	66
9.2.3. Elastomer Üretimi	67
9.2.4. Veriseti için Görüntü Alma ve İşleme.....	80
9.2.5. Veri setinin derin öğrenme ile eğitilmesi	83
9.2.6. Sistem için Yazılımı Geliştirme	86
10. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	92
10.1. Sinir Ağı Modellerine Ait Test Sonuçları.....	92
10.2. Görüntü Formatlarına Bağlı Inception-V3 Modelinin Başarım Testi.....	94
10.3. Görüntülerin Silah Tespit Yazılımı ile Test Edilmesi.....	97
10.3.1. Silahlı Bilinen Kovanlarla Yapılan Testler.....	97
10.3.2. Silahlı Bilinmeyen Kovanlarla Yapılan Testler.....	98
10.4. Silahlara Ait Sınıf Dağılımının Yorumlanması	99
11. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Retrografik Elastomerik Sensör Kullanarak Mermi Kovanından Ateşli Silah Tespiti

Selman UZUN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Mayıs 2022, Sayfa: xii + 106

Ateşlenmiş mermi kovanları silahların karakteristiklerini ifade eden bir özelliktir. Bu özelliğin ateşli silah tespitinde kullanılması durumunda, kovanlar üzerinde balistik incelemeler laboratuvar ortamlarında yapılmakta ve bu uzun süreçler gerektirebilmektedir. Bu tez çalışmasında laboratuvar ortamından bağımsız mobil bir sistem tasarımı ile ateşlenmiş mermi kovanlarından ivedili bir şekilde silah tespitinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Ateşlenmiş mermi kovanının arka yüzeyindeki karakteristik detayları ifade eden pürüzlü alanları, ayrıntılı bir veriye dönüştürmek için bu yüzeyden mikron hassasiyette görüntü alınması gerekmektedir. Gerekli olan bu görüntüleri sadece ışık ve kamera ile elde etmek, metal yüzeydeki parlamalardan dolayı imkânsızdır. Bu sorunun çözümü için biyolojik bir özellik olan dokunma hissinden ilham alınmış ve mermi kovanı yüzeyi yeniden yapılandırılarak mikron seviyesinde görüntülerin elde edilmesini sağlayacak bir görüntüleme aygıtının tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada, aygıt tasarımını meydana getiren camlı elastomer ve mikroskopik kamera vasıtası ile kovan yüzeyinden alınan retrografik görüntünün, geliştirilecek bir yazılım ile hızlı bir şekilde analiz edilerek, ateşlenmiş mermi kovanından silah tespitinin yapılabileceği varsayılmıştır.

Elastomerler polimer türevli elastik malzemelerdir ve elastomer üretimi A, B ve C bileşenlerinin belirli oranlarda karıştırılması ile gerçekleştirilmektedir. En iyi dokunma hissini yakalayacak elastomerik dokunun elde edilmesi için bileşenlere ait uygun karışım oranı, kısa zamanda ve çok fazla malzeme tüketmeden elde edilmelidir. Bunun için Taguchi L9 ortogonal matris tasarımı ile deney sayısı minimuma indirgenerek sonuca ulaşılmıştır. Deneylerde yumuşaklık, dayanım, ışık geçirgenliği, gibi kıstaslar göz önünde bulundurularak uygun malzeme belirlenmiştir.

Elde edilen retrografik görüntüler veri seti formuna dönüştürülmüş ve bu veri seti görüntülerinin ayırt edici özelliği derin öğrenme yöntemleri içerisinde kullanılarak mermi kovanlarından silah tespiti başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mobil mermi kovanı analizi, Retrografik elastomerik sensör, Mermi kovanından ateşli silah tespiti, Derin öğrenme

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Tabanca Görseli	6
Şekil 3.2. Tabanca Gövdesi ve Tabanca Kabzası.....	7
Şekil 3.3. Sürgü.....	7
Şekil 3.4. İcra Yay ve Mili.....	7
Şekil 3.5. Tabancaya Ait Namlu	8
Şekil 3.6. Yiv ve Set	9
Şekil 3.7. Kovan Atma Düzenegi.....	10
Şekil 3.8. Horozlu Sistem	11
Şekil 3.9. Horoz ve İğneli Sistem	11
Şekil 3.10. İğneli Sistem	12
Şekil 4.1. Merminin Bölümleri	13
Şekil 4.2. Tabanca Mermileri.....	13
Şekil 6.1. Balistik Su Tankı	23
Şekil 6.2. Karşılaştırma Mikroskobu	23
Şekil 7.1. Sülfür Atomunun Polimer Yapısını Oluşturması.....	32
Şekil 7.2. Etilen Molekülü ve Polietilen Malzemesi	32
Şekil 7.3. Polimer ve Elastomer İlişkisi	33
Şekil 7.4. Silikon Kauçuk Molekülü	34
Şekil 7.5. Numunelere Ait Shore-A Sertlik Değerleri.....	35
Şekil 7.6. Numunelere Ait Esneklik Değerleri.....	36
Şekil 7.7. Numunelerin Uzama miktarları	36
Şekil 7.8. Numunelere Ait Maksimum Gerilme Direnci	36
Şekil 7.9. Numunelerin Yırtılma Dayanıklılığı.....	37
Şekil 7.10. Termoset Kauçuk ve Termoplastik Elastomerlerin Shore Cinsinden Sertlik Aralıkları	37
Şekil 8.1. Ivankhnenko'nun derin ağ mimarisi.....	39
Şekil 8.2. ILSVRC-2012 Yarışmasında Kullanılan AlexNET Mimarisi	41
Şekil 8.3. Nöron Yapısı ve Sinaps Durumu	42
Şekil 8.4. YSA'da ağırlıklı girdiler ve gömülü transfer fonksiyonu ile bir nöron modeli	42
Şekil 8.5. Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network -ANN) Modeli	43
Şekil 8.6. Evrişimli Sinir Ağı Mimarisi	44
Şekil 8.7. 5x5 Görüntü Matrisine 3x3 Filtre ile Evrişim Uygulanması.....	45

Şekil 8.8.	Görüntü Matrisine Evrişim Uygulandıktan Sonraki Durum	46
Şekil 8.9.	3x3 Çıkış Matrisine Zero Padding Uygulanması	46
Şekil 8.10.	5x5 Matrise 3x3 Maksimum Havuzlama Uygulanması	47
Şekil 8.11.	ReLU Transfer Fonksiyonu	48
Şekil 8.12.	Nöron Seyreltme (Dropout)	51
Şekil 8.13.	LeNet Mimarisi	51
Şekil 8.14.	ZFNet Mimarisi	52
Şekil 8.15.	1x1 Filtre Uygulanması ve Uygulanmaması Durumundaki Hesaplama Maliyeti	53
Şekil 8.16.	VGG-16 Mimarisi	54
Şekil 8.17.	Sade (Naive) Inception Modülü	54
Şekil 8.18.	Sade (Naive) Inception Modülüne 1x1 Filtre Uygulama	55
Şekil 8.19.	Yığın Normalleştirilmesi Uygulanan ve Uygulanmayan Inception Modelleri	55
Şekil 8.20.	Inception Varyantlarının Doğruluk Karşılaştırmaları	56
Şekil 8.21.	Orjinal Inception 5x5 Modülünün 3x3 Evrişimine Dönüştürülmesi	57
Şekil 8.22.	Inception-B Modülü için 1x3-3x1 Dönüşümü	58
Şekil 8.23.	Yardımcı Sınıflandırıcı	58
Şekil 8.24.	Verimli Matris Boyutu Azaltma İşlemi.	59
Şekil 8.25.	Inception-V3 Mimarisi	59
Şekil 8.26.	Saf Inception-V4 Mimarisi.	60
Şekil 8.27.	Arttırımlı Öğrenme Bloğu.	61
Şekil 8.28.	Inception-ResNet Mimarisi	61
Şekil 9.1.	Atış Yapılan Silahlar ve Elde Edilen Mermi Kovanları	64
Şekil 9.2.	Tezgâh ve Aparat Tasarımı	65
Şekil 9.3.	SLA Yazıcı	65
Şekil 9.4.	Tezgah ve Aparat Tasarımları	66
Şekil 9.5.	Tezgâha Ait Işık Tertibatı Tasarımı	67
Şekil 9.6.	Taguchi Metodu Akış Şeması	68
Şekil 9.7.	Numune Kalıbı Dökümü ve Kontrolü	70
Şekil 9.8.	Shore-A Ölçüm Cihazı ile Ölçüm Yapılması	71
Şekil 9.9.	Çekme Deneyi	71
Şekil 9.10.	UV Spektroskopik Ölçüm Cihazı	73
Şekil 9.11.	Numunelere Ait Işık Geçirgenliği Testi	74
Şekil 9.12.	Yük Testi	74
Şekil 9.13.	Dikey Uzama Testi	75

Şekil 9.14.	Reçine Silikon Etkileşimine Bağlı Deformasyon	75
Şekil 9.15.	Plastik Kap ile Camlı Elastomer Üretimi.....	76
Şekil 9.16.	Camlı Elastomer	76
Şekil 9.17.	Mermi Kovanına Ait Görüntü Testi Örnekleri.....	77
Şekil 9.18.	Görüntü Hasasiyeti Tespiti için Kullanılan Yüzeyler	77
Şekil 9.19.	Görüntü Kesiti	78
Şekil 9.20.	Görüntü Matrisine Bağlı Oluşan Topoğrafik Görüntü	78
Şekil 9.21.	B Kısımına Ait Derinlik Grafiği	79
Şekil 9.22.	Optik Düzenek	81
Şekil 9.23.	Optik Sistemden Mermi Kovanı Görüntüsü Alma.....	82
Şekil 9.24.	Kapsül Görüntüsünün Alınmasını Sağlayan Yazılım	82
Şekil 9.25.	Derin Öğrenme Mimarilerinin Karşılaştırılması	83
Şekil 9.26.	Sinir Ağı Mimarisi	84
Şekil 9.27.	Özel Olarak Tasarlanmış Sinir Ağı	85
Şekil 9.28.	Mermi Kovanından Silah Tespiti Yapacak Yazılıma Ait Akış Diyagramı	87
Şekil 9.29.	Geliştirilen Yazılıma Ait Görsel	88
Şekil 9.30.	Kapsül Görüntüsünün Alınması.....	88
Şekil 9.31.	Kapsülün Silah Tespiti için Aktarılması	89
Şekil 9.32.	Kapsülden Silah Tespiti Gerçekleştirilmesi	90
Şekil 9.33.	Tanımsız Eşleşme Sonrası Yardımcı Tespit Yapılması	90
Şekil 9.34.	Yanlış Silah Tespiti Durumu	91
Şekil 10.1.	Modellerin Eğitim Safhasındaki Doğruluğu	92
Şekil 10.2.	Modellerin Test Safhasındaki Doğruluğu	93
Şekil 10.3.	Eğitim Safhasında Modellere Ait Hata Oranları	93
Şekil 10.4.	Test Safhasında Modellere Ait Hata Oranları.....	94
Şekil 10.5.	Eğitim Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Doğruluk Oranları.....	95
Şekil 10.6.	Test Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Doğruluk Oranları.....	95
Şekil 10.7.	Eğitim Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Hata Oranları	96
Şekil 10.8.	Test Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Hata Oranları	96
Şekil 10.9.	Test Verileri Üzerinde Yazılım Testi Sonuçlarına Ait Grafikler	97
Şekil 10.10.	Eşik Değerinin Yükseltilmesi Durumundaki Yazılım Testi Sonuçlarına Ait Grafikler	98
Şekil 10.11.	Modellere Ait Sınıfların t-SNE Gösterimi	100

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 8.1. Varyantlara Ait Doğruluk Oranları	56
Tablo 8.2. Inception-V3 Mimarisi	60
Tablo 8.3. Saf Inception-V4 ve Inception-ResNet Arasındaki Farklılıklar	62
Tablo 9.1. Kullanılan Silahlara Ait Özellikler ve Elde Edilen Kovan Adetleri	63
Tablo 9.2. Faktörler ve Seviyeleri	68
Tablo 9.3. Tasarım Matrisine Ait Faktör/Seviye Deseni	69
Tablo 9.4. Bileşenlere Ait Oranlar (ml)	69
Tablo 9.5. Numunelere Ait Kuruma Süreleri	72
Tablo 9.6. Numunelerin Yumuşaklık Ölçümleri	72
Tablo 9.7. Yüzey Derinliğini İfade Eden Piksel Sayısını Bulan Sözde Kod	79
Tablo 9.8. Yüzeylere Ait (mm/df) Oranları	80
Tablo 9.9. Kullanılan Mikroskopik Kamerasına Ait Özellikler	81
Tablo 9.10. Kullanılan Bilgisayar Donanımı Kaynakları	86
Tablo 9.11. Kullanılan Yazılımsal Kaynaklar	86
Tablo 9.12. Eşik Değerlerine Bağlı Eşleşme Sonuçları	89
Tablo 10.1. Test Verileri Üzerinde Yazılım Testi Sonuçları	97
Tablo 10.2. Eşik Değerinin Yükseltilmesi Durumundaki Yazılım Testi Sonuçları	98
Tablo 10.3. Silahı Bilinmeyen Kovanlarla Yapılan Testler	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

β	: Yığın Nomalleştirmede Öğrenilmesi Gereken Beta Parametresi
γ	: Yığın Nomalleştirmede Öğrenilmesi Gereken Gama Parametresi
ϵ	: Mini Yığın Sabiti
cm	: Uzunluk büyüklüğü ölçü birimi, 1 metre = 100 cm değerindedir.
kGy	: 1 Kilogram başına soğrulan radyasyon enerjisi miktarıdır.
mm	: Uzunluk büyüklüğü ölçü birimi, 1 cm = 10 mm değerindedir.
μm	: Uzunluk büyüklüğü ölçü birimi, 1 mm = 1000 μm değerindedir.
nm	: Uzunluk büyüklüğü ölçü birimi, 1 mm = 1.000.000 nm değerindedir.
μ_B	: Yığın Ortalaması
σ_B	: Yığın Varyansı
$\hat{x}_i$	: Normalize Değeri

Kısaltmalar

1D	: Bir Boyutlu
2D	: İki Boyutlu
3D	: Üç Boyutlu
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ANN	: Yapay Sinir Ağı
ATF	: Alkol, Tütün ve Ateşli Silahlar Bürosu
BN	: Yığın Normalleştirme
CCD	: Yük Bağlaşımli Aygıt
CLA	: Kodlanmış Işık Yaklaşımı
CNN	: Evrişimli Sinir Ağı
FBI	: Federal Soruşturma Bürosu
FTI	: Kanadalı Adli Teknoloji Şirketi
G-Ops	: Hesaplama Maliyeti
GPU	: Grafik İşlem Birimi
IBIS	: Entegre Balistik Tanımlama Sistemi
LSTM	: Uzun Kısa Süreli Bellek
NIBIN	: Ulusal Entegre Balistik Tanımlama Ağı
ReLU	: Düzleştirilmiş Doğrusal Birim Katmanı
RNN	: Yinelemeli Sinir Ağları
SCDL	: Bilimsel Suç İnceleme Laboratuvarı
SEM	: Yüzey Taramalı Elektron Mikroskobu
SGD	: Olasılıksal Dereceli Azalma Optimizasyonu
Softmax	: Maksimum Yumuşatma
ToF	: Uçuş Süresi
TPE	: Termoplastik Elastomer
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UV	: Ultraviyole
VGG-16	: 16 Katmanlı VGGNet Mimarisi
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Nesnelerin yüzey analizi birçok alanda gereklilik gösterdiği için ihtiyaca göre farklı yöntemler geliştirilmiştir. Nesnelerin yüzey analizi genel anlamda incelendiğinde bu yöntemler, temaslı ve temassız yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır [1]. Temaslı yöntemde, yüzey geometrisinin ölçümü için nesnenin mekanik bir düzenek ile yüzeye temas ettirilmesi gerekmektedir. Temassız yöntemde ise nesnenin temasını gerektirmeyen optik yöntemlerle ölçüm gerçekleştirilmektedir [2]. İki yöntemin dezavantajlarını ele aldığımızda; temaslı yöntemde mekanik kısımdaki uçlar, yüzey pürüzlerinin dik kenarlarında sıkışma yaparak sıçrama veya kaymaya ve bunun sonucunda temas kaybına ve hatta uçlarda hasara neden olmakla beraber, hassas malzemelerin ölçümünde uçların malzemeye zarar vermesi durumu temaslı yöntem için büyük problemlerdir. Temassız olarak nitelendirilen optik yöntemde ise ışığın görüntü alınacak metal yüzeyde oluşturduğu yansımaların düzgün bir görüntü oluşmasına engel olduğu görülmektedir. Bunun yanında hassas yüzeylerin sağlıklı bir şekilde ölçümü için kullanışlılığı ve işlem hızı açısından temaslı yöntemin temassız yöntemle göre daha avantajlı olduğu düşünülebilir [3]. Günümüzde temassız yöntem için başarılı sonuçlar veren aktif optik teknikleri kullanılmaktadır, bu teknikler 3 boyutlu yüzey görüntülemeyi sağlamaktadır. Yüzey ölçümü için aktif optik teknikler başlıklar halinde incelendiğinde; İnterferometri Tabanlı Yüzey Metrolojisi, ToF Temelli Yüzey Metrolojisi ve Üçgenleme Tabanlı Yüzey Metrolojisi teknikleri yer almaktadır. Bu tekniklerden İnterferometri tekniği, modern optik metrolojisinin doğruluk oranı en yüksek ve en hassas olan ölçüm teknolojisiyken, ToF metodu ise ölçümlerde doğruluk oranının çok fazla önemsenmediği durumlarda tercih edilmektedir [4]. Her ne kadar İnterferometri tekniği ile yüksek doğrulukta yüzey ölçümleri sağlanmış olsa da bu tekniğe ait sistem tasarımı zordur ve yüzey analizinde pratik bir çözüm sunmaya müsait bir yöntem değildir. Üçgenleme Tabanlı Yüzey Metrolojisinin başarısı ele alındığında konum olarak İnterferometri ve ToF arasında görülebilecek bir yerdedir. İnterferometri tekniğindeki benzer olumsuz durumlar bu yöntem için de geçerli olsa da bu teknik içerisinde kullanılan fotometrik stereo yönteminin optik ışıklandırma biçimi aktif olarak kullanılabilir bir yöntemdir [4,5].

Dokunsal algılamanın yüzeysel geometrik farklılıkları ayırt edebileceği düşüncesinden esinlenilerek, temaslı ve temassız yöntemin bir arada olduğu hibrit bir modelin geliştirilebileceği fikri ile Johnson vd. tarafından retrografik sensör geliştirilmiştir [5]. İlgili çalışmada retrografik sensöre dokunsal özellik kazandıran ana malzeme termoplastik (TPE) elastomerdır.

Elastomer malzemenin dokunsal özelliğe kavuşması için yüzeyi insan cildini modelleyen bir renk pigmenti ile boyanmaktadır. Bir nesne retrografik sensörün pigmentli yüzeyine baskı yaptığında, pigmentli elastomer yüzeyi, nesne yüzeyinin şeklini ve yansıtma özelliğini devralmaktadır. Bu yönüyle pigmentli yüzey, nesne yüzeyinin karakteristiğini almada bir işleve

sahiptir. Elastomer tarafından devralınan nesne yüzeyine ait görüntü, elastomerin şeffaf yüzeyi tarafından ışıklandırma elemanları ve bir mikroskopik kamera kullanılarak alınmaktadır [6,7]. Önceki çalışmalarda Retrografik sensör Adelson vd. tarafından kullanıldığında fotometrik stereo algoritması ile yüzeylerin derinliğini ölçmek için kullanılmıştır [5]. Fotometrik stereo, nesneyi farklı aydınlatma koşulları altında gözlemleyerek nesnelerin yüzey normallerini tahmin etmek için bilgisayarla görmede kullanılan bir tekniktir [9]. Elastomer kullanılmadan alınan görüntülerde, nesne yüzeyinde şeffaflık veya aynasal yansıtıcılık varsa parlama ve yansımalar yüksek olabilmekte ve bu durum fotometrik stereo yönteminde nitelikli görüntü almaya engel olabilmektedir. Retrografik sensör kullanılarak elde edilen görüntülerde ise sensörün pigment ile kaplanmış elastomerik yüzeyinin fiziksel özellikleri sayesinde, fotometrik stereo yönteminde yaşanan parlama, yansıma gibi sorunlar tolere edilerek Adelson vd. tarafından istenilen nitelikte görüntüler alınabilmektedir [5]. Retrografik sensörün görüntü almadaki başarısı, temaslı ve temassız yöntemlerin bir araya getirilmesi ile hibrit bir tasarımın gerçekleştirilmiş olmasına bağlı olmakla beraber, bu yolla iki yöntem için bahsi geçen mekanik ve optik dezavantajlar bertaraf edilmiştir.

Bu tez çalışmasında aktif optik sistemin, temaslı yöntemlere göre daha başarılı olduğu mutlak fikriyle hareket edilmeden, temaslı ve temassız yöntemlerin iyi yönlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan hibrit tasarım yaklaşımı üzerinde durulmuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda termoplastik malzemenin temel alındığı bir elastomer üretim şekli yerine, polimer türevli platinyum bazlı silikon kauçuk kullanılarak üretilen elastomer imalatı yaklaşımı benimsenmiştir.

Retrografik elastomerik sensör imalatı sürecinde elastomerin içerisinde hava kabarcıklarının oluşması, sensörün sağlıklı görüntü almasına engel olmakta ve bu durum sensörün kullanılamaz hale gelmesine sebep olmaktadır. Elastomer üretiminde hava kabarcığı oluşumunu önlemek için vakumlama gibi ek işlemler gerekebilir. Platinyum bazlı tam transparan silikonun bir avantajı da üretim safhasında düşük viskozite davranışı göstererek hava kabarcığı oluşumuna engel olmasıdır. Platinyum bazlı silikon kauçuğun üretimi esnasında vakumlama gibi ek işlemlere gerek duyulmadan üretimin sağlanması ve TPE'lere göre daha düşük Shore-A değerlerine ulaşabilmesinden ötürü bu çalışmadaki ayrı bir tercih sebebi olmuştur.

A, B ve C olarak adlandırılan 3 bileşenin belirli oranlarda karıştırılması ile oluşturulan silikon kauçuğun yüzey yumuşaklığı nicel olarak Shore-A cinsinden ölçülebilen bir özelliğe sahiptir. Bu çalışma için kullanılacak elastomerden beklenen özellikler ideal Shore-A yumuşaklığına, yüksek ışık geçirgenliğine ve çekme dayanımına sahip olmasıdır. Deneylerle üretimi yapılan farklı elastomer numunelerine Shore-A ölçümleri uygulanmış ve 6 ile 16,5 arasında değişen değerler elde edilmiştir. Ayrıca UV ışık geçirgenliği deneyinde numunelerin tamamı %100'e varan yüksek ışık geçirgenliği karakteristiği göstererek, platinyum bazlı silikon kauçuğun tasarlanacak retrografik sensörde beklenen gereksinimleri optimum düzeyde sağlayacağı varsayımına sebep olmuştur.

Retrografik elastomerik sensörün imalatında optik sistemi destekleyecek ışıkların konumlandırılması ile ilgili farklı varyasyonlar üzerinde çalışılmış ve optik ışıklandırmada kırmızı, yeşil, mavi ve beyaz olmak üzere 4 farklı ışık kaynağının dörtgen formasyonunda yerleştirildiği ve mermi kovanının merkezde konumlandığı bir tasarım benimsenmiştir. Yüzeye ait gölgelerin güçlü bir derinlik izlenimi yarattığı bilgisinden hareketle bu formasyonu oluşturmadaki amaç mermi kovanı yüzeyindeki ana hatlar üzerinde farklı ışık renklerine bağlı olarak oluşacak gölgelerden güçlü ve ayırt edilebilir derinlikler elde etmektir [7,8]. Fotometrik stereo gibi yöntemler aracılığı ile derinlik hesaplanmasına bağlı olarak yüzey tanınması yapılabilir. Bu işlemin yerine getirilmesine bir alternatif olarak, kendine has tipik özellikler gösteren yüzeylerin, derin öğrenmeye dayalı makine öğrenmesi algoritması ile sınıflandırılarak tespit edilmesi pratik ve kullanışlı bir çözüm olarak görülmüş ve çalışma bu konsept üzerine kurulmuştur.

Balistik bilimi içerisinde ele alınabilecek bu çalışmada, laboratuvar ortamında yapılan mermi kovanı incelenmelerinden silah tespiti yapılmasının uzun zaman alacağı gerçeğinden hareketle, mobil bir çözüm üzerinde durularak, balistik incelemelerde mekân sınırlamasının ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Bu hedefin gerçekleşmesi, adli süreçlerin kısılmasında büyük etkiye sahip olacaktır ve bu yönüyle proje, balistik bilimi içerisinde yer alan mermi kovanı incelemesine yeni bir yaklaşımı da beraberinde getirmektedir. Retrografik elastomerik sensör ve derin öğrenmeye dayalı makine öğrenmesinin bileşimi ile oluşturulan hibrit model, farklı amaçlar için de kullanılabilir; yöntem, hassas inceleme gerektiren tipik özellikteki nesnelerin var olduğu arkeoloji, malzeme bilimi gibi bilim alanlarında da farklı şekillerde kullanılabilecek nitelikte uyarlanabilir bir metottur.

2. ATEŞLİ SİLAHLAR

Uzak veya yakın mesafeden, canlıları öldüren, yaralayan, etkisiz bırakan veya hastalanmalarına sebep olan; cansız varlıkları ise parçalayan, yok eden araç, gereç ve aletlerin tamamına silah denmektedir [9]. Barutun oluşturduğu gaz basıncının mekanik itme kuvveti ile mermi çekirdeği olarak adlandırılan materyalleri uzak mesafelere atabilen askeri top, obüs, tüfek ve tabanca gibi çeşitli tür ve boyuttaki silahlara genel olarak ateşli silah denmektedir. Ateşli silahlar ağır ve hafif ateşli silah olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır [10].

2.1. Ağır Ateşli Silahlar

Birden çok kişi tarafından veya çeşitli araçlar yardımı ile kullanılan ve yüksek tahrip gücüne sahip olan uzun menzilli silahlara verilen addır [9]. Bunlara havan, top, roket ve uçak savarlar örnek olarak gösterilebilir.

2.2. Hafif Ateşli Silahlar

Tek kişinin kullanabileceği özellikte olan ve tahrip gücünün ağır ateşli silahlara nispeten daha az etkiye sahip olduğu ateşli silahlardır [10]. Bu silahlar uzun namlulu ve kısa namlulu olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1. Uzun Namlulu Hafif Ateşli Silahlar

Uzun Namlulu Hafif Ateşli Silahlar, uzun namlu biçimine sahip olup, Savaş Tüfekleri ve Av Tüfekleri olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.

Savaş tüfekleri, özellikle askeri alanda kullanılan ve yivli sete sahip olan silahlardır, uzun menzillerdeki hedefleri vurabilme yeteneğinde olup, yüksek delme gücüne sahiptirler. Savaş tüfeklerinin ilk versiyonları tek atımlı sürgülü tipte olmakla beraber, artık günümüzde seçime bağlı olarak yarı/tam otomatik modda çalışabilen gelişmiş makineli versiyonları üretilmektedir. Bu tüfeklerin yaygın olarak kullanılan modelleri; G3 Piyade Tüfeği, AK 47, Piyade Tüfeği, M 16 vb.

Av tüfekleri, genelde yiv setlerine sahip olmayan, düz namlulu ateşli silahlardır. İçerisinde çok sayıda minik saçma tanelerini ihtiva eden av mermilerinin yanı sıra tek kurşun olarak adlandırılan mühimmatları da kullanırlar. Tek veya çift namluya sahip olabilen av tüfekleri özellik bakımından pompalı, sürgülü, tek atışlı, otomatik, yarı otomatik gibi türlere ayrılırlar [11].

2.2.2. Kısa Namlulu Hafif Ateşli Silahlar

Kısa namlulu hafif ateşli silahlar, tabanca diye tabir edilen silahlardır. Bu silahlar, uzun namlulu hafif ateşli silahlara göre daha kısa namluya ve daha küçük ebada sahiptirler. Tek Atışlı Tabancalar, Toplu Tabancalar, Otomatik Tabancalar, Makineli Tabancalar olarak 4 ana gruba ayrılırlar.

Tek Atışlı Tabancalar

Her atış sonrasında tekrar bir atış yapmak için ağızdan ya da tek atım kapasiteli mermi yatağından mühimmat dolumu gerektiren silahlardır. Silah görünümü vermemek için genelde kalem, çakmak, baston, cep telefonu gibi aletlerin görünümünde tasarlanırlar.

Toplu Tabancalar

Silindir biçiminde şarjör işlevine sahip öne ve yana hareketli kısmı bulunan tabanca grubudur. Bu tabancalardaki silindirlerin mermi kapasitesi 5 ila 10 adet arasında değişmektedir. Şarjörlü tabancaların atası olarak bilinen bu silahların en büyük dezavantajı emniyet sistemin bulunmamasıdır. Bu da bazı modellerinde tetik emniyet sistemi veya atışa hazır durumdaki top yuvasının boş bırakılması ile giderilebilir. Silindirin yanlara açılan modellerinin yanında öne açılanları da mevcuttur [9].

Otomatik Tabancalar

Yarı Otomatik Tabancalar, mermi dolumunun silah kullanıcısı tarafından yapılmasından sonra, her atış için tetiğin çekilmesini gerektiren ve atıştan sonra şarjördeki tüm mermilerin bitimine kadar bir sonraki atış için dolduruluşu kendiliğinden gerçekleştirebilen silahlardır.

Tam Otomatik Tabancalar, mermi dolumunun silah kullanıcısı tarafından yapılmasından sonra tetiğin bir defa çekilmesi durumunda şarjörde bulunan tüm mermilerin bitimine kadar atışı sürdüren ve tetik bırakıldığında atışa son veren silahlardır

Makineli Tabancalar, İsteğe göre yarı ve tam otomatik atış yapabilme kabiliyetine sahip bu silahların şarjör kapasiteleri diğer tabancalara oranla daha fazladır.

3. TABANCA VE YAPISININ İNCELENMESİ

Tam otomatik olmamak şartıyla, namlu uzunluğu mermi yatağı hariç otuz santimetreyi ve tüm uzunluğu elli santimetreyi geçmeyen, dumanlı veya dumansız barut veya benzer türevli malzemenin patlamasına bağlı oluşan itici güç ile gülle, mermi, saçma ya da diğer nesneleri atabilen ve belli bir çapta namluya sahip olarak imal edilmiş ateşli silahlara tabanca denmektedir [12]. Şekil 3.1’de tabancaya ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.1.Tabanca Görseli [13]

3.1. Tabancanın Başlıca Parçaları

Tabancalar genel anlamda üç ana parçadan oluşmaktadırlar. Bunlar;

- Gövde (Çerçeve)
- Sürgü Grubu (Kapak Takımı)
- Namlu kısımlarıdır.

3.1.1. Gövde

Gövde tabancaya ait hareketli ve sabit bütün parçaları üzerinde barındıran kısımdır. Şekil 3.2’de bir tabancanın gövdesine ait görsel verilmiştir.

Gövde, içerik olarak şarjör, şarjör yuvası, tetik, tetik korkuluğu, tetik ile horoz arasındaki geçiş parçaları, horoz, çıkarıcı, emniyet mandalları, kabza kapağı ve diğer parçalar ile onlara ait yay ve pimleri üzerinde barındırmaktadır. Ayrıca gövde kabza adı verilen kısmı da üzerinde barındırmaktadır. Kabza, hem tabancayı kavramayı ve elle tutmayı sağlayan hem de şarjörün yerleştiği hazneyi de içeren kısım olarak bilinmektedir [11].

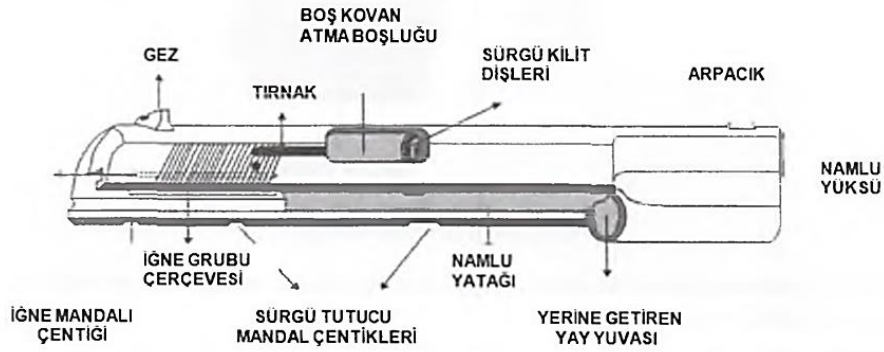


Şekil 3.2. (a) Tabanca Gövdesi [14] (b) Tabanca Kabzası [13]

3.1.2. Sürgü Grubu

Sürgü

Tabanca namlusunu dıştan gelebilecek olumsuz etkilere karşı koruyan ve tabancanın gövdesini kapatan parçadır, üzerinde; tırnak, yerine getiren yay, yerine getiren yay mili, iğne grubu, gez ve arpacık, kovan atma boşluğu, bazı tabancalarda namlu yüksüğü, emniyet mandalı ve bunlara ait yay ve pim gibi bazı ayrıntıların bulunduğu silahın temel parçalarından biridir [10]. Şekil 3.3’de sürgü ve sürgü üzerinde bulunan kısımların görseli verilmiştir.



Şekil 3.3. Sürgü [9]

İcra Yayı ve Mili

Tabancanın yarı ve tam otomatik modda çalışmasını sağlar, atış sırasında oluşan basınçla sürgünün geriye gelmesinin akabinde ileriye doğru gitmesini sağlar ve bu parça, “Yerine Getiren Yay” olarak da bilinir [10]. Bu parçada bir yay ve bu yayın içinden geçen mil vardır. Şekil 3.4’de “İcra Yayı ve Mili” parçasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.4. İcra Yayı ve Mili [9]

Boş Kovan Atma Boşluğu

Kovanın veya merminin tırnak tarafından geriye doğru çekilip, gövde üzerindeki çıkarıcıya çarparak tabancadan dışarı atılmasını sağlayan, sürgü üzerindeki kısımdır. Bazı silahlarda üst kısımda, bazı silahlarda ise yan kısımda bulunmaktadır [9]. Boş kovan atma boşluğuna ait kısım Şekil 3.3’de verilmiştir.

3.1.3. Namlu

Ateşlenmiş mermi çekirdeğinin hedefinden sapmadan düz bir şekilde ilerlemesini sağlayan kısmına namlu denir. Namlulu bir silah sisteminin amacı, mermiyi maksimum hızla çarpacak şekilde fırlatarak hedefi yok etmek veya hedefe zarar vermektir [15]. Namlu, merminin silaha yerleştirilmesi ve ateşlenmesi için ideal bir yanma odası hacmine ve çekirdeğin dönerek istikrarlı bir şekilde hareketini sağlaması için ise gerekli yiv ve setlere sahiptir [10]. Namlu ayrıca barut gazı enerjisinin çekirdeğe aktarılmasını sağlayan bir boyuta sahiptir. Namluya ait görsel Şekil 3.5’de verilmiştir.



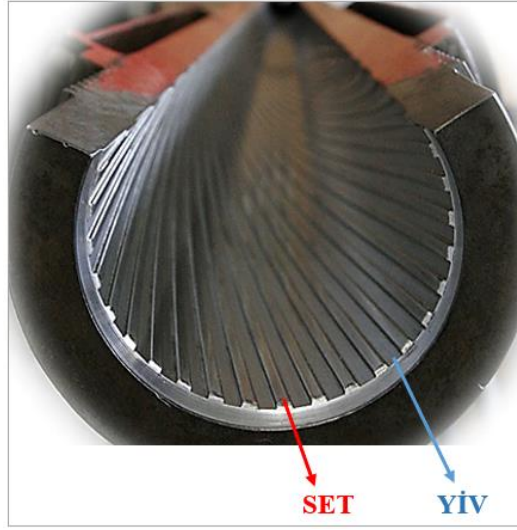
Şekil 3.5. Tabancaya Ait Namlu

Yiv ve Setler

Yiv: Namlunun iç kısmında 0,075 mm ile 0,01 mm derinlikte helezon şeklinde açılan girintilere denir.

Set: Yivlere karşı namlunun iç kısmında bulunan çıkıntılara set denir.

Namlu içerisindeki yiv ve setler, mermi çekirdeğinin burğu gibi kendi ekseni etrafında dönerek ilerlemesini, atış menzilinün uzamasını, çekirdeğin deliş gücünü arttırarak uç kısmının hedefe değmesini sağlar [11]. Şekil 3.6’da bir tabanca namlusunda bulunan Yiv ve Setlere ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.6. Yiv ve Set

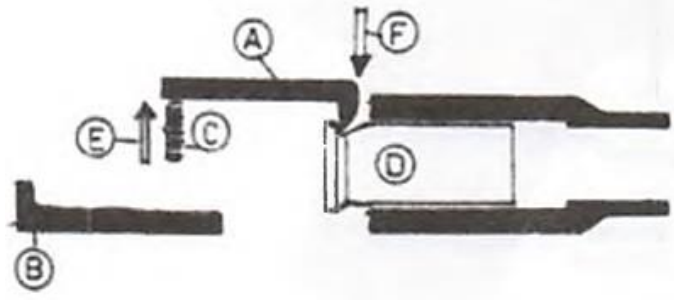
Rayyür: Namlunun iç kısmında helezon biçiminde birbirine paralel olarak uzanan setlerin, mermi çekirdeği üzerinde bıraktığı izlere rayyür denir. Barut gazının basıncı ile ileri doğru sürülen mermi çekirdeği setlere gelip hafifçe sıkışacak şekilde sürtünür. Bunun sebebi namlunun setli kısmındaki çapın, çekirdeğin çapından küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Burada çekirdek ileri doğru iletmeye zorlandığı için doğal olarak setlerin çıkıntıları mermi çekirdeğinde kesikli ve girintili tipik izler bırakmış olurlar [9].

Mermi Yatağı: Atış durumuna hazır merminin bulunduğu ve aynı zamanda iğnenin kapsüle çarparak patlamanın meydana geldiği yerdir. Namlunun içinde yiv ve setlerin bitiminden itibaren bulunan mermi yatağının çapı namlunun çapından biraz daha büyüktür. Mermi yatağı namlunun en gerisinde ve namluya bitişik halde oluşu için onun devamı durumundadır. Mermi yatağında yiv ve setler bulunmaz [9].

3.2. Kovan Atma Düzeneği

Mermiyi veya boş kovayı, mermi yatağından çıkarmaya yarayan düzeneğe “Kovan Atma Düzeneği” denir. Mermi yatağında bulunan mermi ateşlendiğinde meydana gelen barut gazı basıncı ile çekirdek namluyu terk ederken, ters yöndeki basınç kovan dip tablasına baskı yaparak, mekanizmayı geriye doğru iter ve sürgü üzerindeki tırnak yardımı ile boş kovan geriye doğru iletilir. Gövdenin arka kısmında bulunan çıkarıcıya çarpan kovan, kovan atma boşluğundan dışarıya atılır [9].

Otomatik tabancalarda kovan atma düzeneği Şekil 3.7’de verilmiştir ve buradaki kısımlar A- Tırnak, B- Çıkarıcı, C- Tırnak Yay, D- Kovan, E- Tırnak yayının itme yönü, F- Tırnağın devamlı etki altında kalan ve kovana doğru itilme yönü şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 3.7. Kovan Atma Düzenegi [9]

Otomatik tabancalarda Kovan Atma Düzeneginin çalışma prensibi şu şekildedir;

A tırnak kolunun her iki ucu da aşağı-yukarı yönlü hareket etme özelliğine sahiptir. C yayı ise sürekli E oku istikametine doğru tırnak kolunu iter. Kolun bir diğer ucu F oku yönünde sürekli olarak itilir. Silahın dolduruluşu esnasında tırnak, namlu yönüne doğru hızlı bir şekilde ilerlerken ilk önce D mermisinin dip tablasının dış kenarına yakın bir noktaya çarpar. Tırnağın uç kısmının kavisli olmasından ötürü çarpma sırasında tırnak yukarı yönlü yükselir ve yay aracılığıyla da devamlı olarak diğer ucundan itildiği için kovanın kenarını aşar aşmaz kovan kenarındaki girintiye geçerek sıkıca kavrar. Mermi, mermi yatağında iken bu şekilde takılı kalır ve silah ateş etmeye hazır durumdadır. Ateş edilmesi durumu ile beraber otomatik olarak geri tepme eşlik eder ve tırnağın monte edilmiş olduğu sürgüyle beraber tırnak geriye doğru itilir. Bunun yanında sürgünün manuel olarak el ile çekilmesi durumunda da tırnağın geriye doğru itilme durumu söz konusudur. Bu durum, tırnağın kavradığı kovanı geriye doğru çekerek mermi yatağından çıkarılmasını sağlar. D kovanı veya mermisinin tablanın dip kısmındaki B'nin çıkıntılı kısmına çarpmasıyla beraber sürgüdeki “Kovan Atma Boşluğu” kısmından dışarıya atılır [11].

3.3. Ateşleme Düzenegi

Silahta merminin ateşlenmesini sağlayan tertibata “Ateşleme Düzenegi” denir. Ateşleme düzeneginde; tetik, tetik manivelası, horoz, iğne ve yayı, mermi bulunur.

Horoz: Tetiğe basıldıktan sonra ileri doğru iğneye ateşleyici darbeyi uygulayarak, iğnenin kapsülü ateşlenmesini sağlayan silah elemanıdır.

İğne: Horozun ileri yönlü hareketi ile gerekli olan ateşleyici darbeyi mermi kapsülüne uygulayarak mermiyi ateşleyen sivri parçadır.

İğne yayı: Ateşleme için ileri yönlü hareket eden iğnenin ateşleme sonrası normal konumuna dönmesini sağlayan yaydır.

Tetik: Merminin ateşlenmesi için mermiye ilk hareketi veren kısma tetik denir. Otomatik tabancalarda, tetik sayesinde horoz iğneye çarparak iğnenin güçlü bir darbe ile kapsüle vurmasını

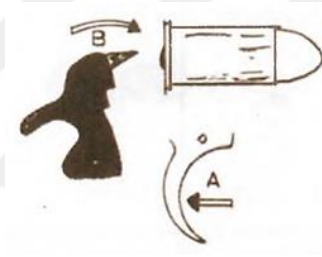
sağlar. Benzer şekilde horozsuz iğneli sistemlerde de ateşleme iğnesini serbest bırakarak kapsüle ateşleyici darbeyi vurmasını sağlar [11].

3.4. Tabancalarda Ateşleme Türleri

Tabancalarda ateşleme türleri; Horozlu Sistem, Horozlu ve İğneli Sistem, İğneli Sistem olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Ateşleme gerçekleştirilirken kovanın arka kısmında oluşan iğne izleri, tabancadan tabancaya farklı karakteristik özellikler taşımaktadır.

3.4.1. Horozlu Sistem

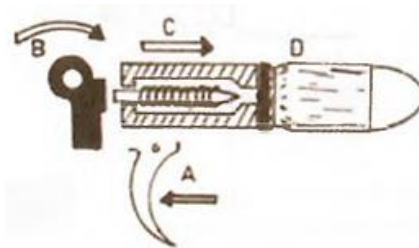
Bu tür tabancalarda ateşleme iğnesi olmadan, direkt horozun ucundaki sivri bir pim ile kapsüle darbe uygulanarak ateşleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Horozlu Sisteme ait görsel Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere **A** tetiğine basıldığında **B** Horozunun ucundaki sivri pin kapsüle darbe uygulayarak ateşlemeyi sağlamaktadır.



Şekil 3.8. Horozlu Sistem [9]

3.4.2. Horoz ve İğneli Sistem

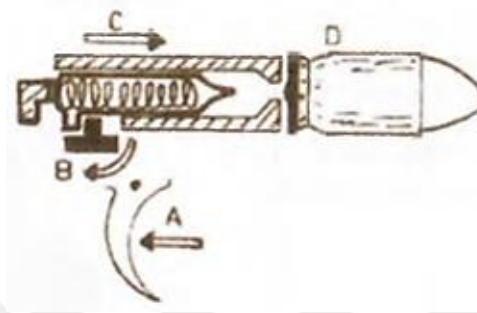
Horoz ve iğnenin kullanıldığı bu sistemde, horoz iğne miline çarpar, iğne mili de bu sayede kapsüle darbe uygulayarak merminin ateşlenmesini sağlar. Horoz ve İğneli Sisteme ait görsel Şekil 3.9'da verilmiştir. Burada **A** tetiği çekildikten sonra **B** horozu **C** iğne miline çarpar, bu sayede iğne **D** kapsülüne çarparak ateşleme sağlanmış olur.



Şekil 3.9. Horoz ve İğneli Sistem [9]

3.4.3. İğneli Sistem

Horozun kullanılmadığı bu sistemde, bir yay ve iğne vasıtası ile kapsüle darbe uygulanarak ateşleme sağlanır. İğneli sisteme ait görsel Şekil 3.10'da verilmiştir. Burada **A** tetiği çekildikten sonra, **B** kurma parçası iğne milinin geriye doğru gerdirilmesini sağlar. Belli bir noktadan sonra **C** iğne mili kurma parçasından kurtularak serbest kalır ve hızlıca kapsüle çarparak ateşleme işlemini gerçekleştirmiş olur.



Şekil 3.10. İğneli Sistem [9]

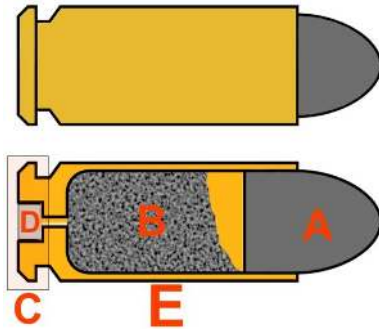
4. MERMİLER VE MERMİ TÜRLERİ

Tabanca mühimmatı olarak kullanılan mermiler, farklı işleve sahip kısımların bir araya gelmesi ile meydana gelmektedirler. Merminin bazı kısımları, farklı tasarımlara bağlı olarak değişik karakteristik özellikler gösterebilmektedir. Merminin mermiye değişiklik gösteren bu karakteristik özellikler, farklı biçimlerde isimlendirilebilmektedir.

4.1. Mermiler

Mermi, canlı ve cansız hedefler üzerinde tahribat yapmak amacıyla ateşli silahlarda kullanılan mermi çekirdeği, barut, kapsül ve kovandan oluşan kısımların bütünüdür. Bir mermi Çekirdek, Kovan, Barut ve Kapsül kısımlarından meydana gelmektedir. Şekil 4.1'deki görselde bir merminin bölümleri; Şekil 4.2'de ise mermilere ait görseller verilmiştir. Şekil 4.1'e göre A-Mermi Çekirdeği, B-Barut, C-Kovan Dip Tablası, D-Kapsül, E-Kovan olarak adlandırılmaktadır.

Mermiler ölçü olarak belirli fabrikasyon standartlarında üretilirler. Örneğin 9x19 mm'lik mermi ölçüsü için soldaki 9 rakamı merminin çapını, 19 rakamı ise boyunu ifade etmektedir [9].



Şekil 4.1. Merminin Bölümleri



Şekil 4.2. Tabanca Mermileri

4.1.1. Çekirdek

Patlamayla birlikte kovandan ayrılıp namludan çıkarak hedefe yönelen ve yöneldiği hedefe değdiğinde tahrip edici etkiye sahip olan parçadır. Genelde kurşun metalinden imal edilen çekirdekler “Gömlekli” ve “Gömleksiz” olmak üzere 2 türe sahiptir [9].

Gömlekli Çekirdek

%90 bakır, %10 çinko kaplı, bakır kaplı çelik, pirinç ve nikelajlı alaşımlara sahiptir. Çekirdekteki gömlek namlu aşınmasını azaltır, depolamada paslanmayı önler ve hedefe değdiğinde delme gücünü artırır [9].

Gömleksiz Çekirdek

Yumuşak yapılarından dolayı çarptıkları zemine fazlaca yayılan bu çekirdeklerin delme güçleri düşüktür. Canlılar üzerinde fazlaca tahribat bıraktıkları için bu çekirdekler genelde yarışma amaçlı kullanılırlar [9].

4.1.2. Kovan

Kovan, mermiye ait çekirdek, barut ve kapsülü bir arada tutmasının yanı sıra, barut ile kapsülü dış etkenlerden koruyan bir parçadır. Kovan, ayrıca gaz basıncı kaçacağını en aza indirger [10]. Kovan ayrıca mermi ateşlendikten sonra silahtan dışarı atılan ve mermiden geriye kalan kısımdır. Kovanlar genellikle %70 bakır ve %30 çinko karışımı olan pirinçten üretilen parçalar olmakla beraber, özel amaçlı olarak üretilen çelik kovanlar da bulunmaktadır. Kovanın dip tablasına ait kenarlar diğer kenarlara nispeten daha kalındır ve kapsül bu bölüme yerleştirilmiştir. Kovan dip tablasının uç kenarları silaha ait tırnak parçasına takılabilecek şekilde girintili tasarlanmıştır.

1900'lerin başından beri mermi kovanları ve atıldığı silahlar ilişkilendirilerek, buna dayalı tespitler yapılmaktadır. Bu yönüyle mermi kovani atıldığı silah için karakteristik izler taşıyan bir özelliğe sahiptir [16].

4.1.3. Barut

Ateşli silahlarda, yanarak oluşturduğu gaz basıncı sayesinde mermi çekirdeğinin hedefe fırlatılmasına yarayan, yanıcı, patlayıcı, katı bir maddedir. Kullanım amaçlarına ve bu amaçları doğrultusunda istenen yanma sürelerine göre Barutun biçimleri değişiklik gösterir. Barutun yüzeyi tanecik olarak küçüldükçe yanma süresi daha da kısalmaktadır. Ayrıca barutun bulunduğu ortamdaki nemin yüksek oluşu barutun yanma performansını olumsuz etkileyecektir. [11].

4.1.4. Kapsül

Ateşli silahlarda horozun ya da ateşleme iğnesinin darbesiyle ateşlenen, Fülminat, Antimon sülfür, Baryum nitrat, Tetresat gibi kimyasal maddeler içeren küçük yuvarlak metal parçadır [9]. Şekil 4.1'de **D** harfi ile belirtilen bölümde, kapsülün kovan üzerinde bulunduğu kısım verilmiştir.

Kapsül kovanın dip tablasına preslenerek geçirildikten sonra ateşleyici madde içerisine konur. İğnenin veya horozun kapsüle darbe uygulaması sonucunda örs ile kapsül kabı arasında kalan kapsül maddesi sıkışır ve bunun sonucunda oluşan alev, baruta ulaşarak barutun tutuşmasını ve merminin ateşlenmesini sağlar. Tabancaların kapsülleri genellikle %90 bakır, %10 Çinko içeren "TOMBAK" adı verilen alaşımdan yapılır [11].

Kapsül, Boxer, Standart Berdan ve Merkezden Kanallı Berdan olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

Boxer Tipi Kapsül

Bu kapsül türü 1866 yılında bir İngiliz albayı olan BOXER tarafından imal edilmiştir. Bu tip kapsüllerde “örs” kapsül ile tümleşik halde bulunur ve kapsülün ayrılmaz bir parçasıdır. Bu tip kapsüllerde tek bir alev kanalı bulunmaktadır [10].

Standart Berdan Tipi Kapsül

Bu kapsül türü Amerikan albayı H. BERDAN tarafından 1965 yılında geliştirilmiştir. Bu tip kapsüllerde örs kovanın bir parçası olarak yer almaktadır. Ayrıca kovandaki örsün etrafında “2-4 arasında” değişebilen alev kanalları bulunur [11].

Merkezden Kanallı Berdan Tipi Kapsül

Bu tip kapsüllerde de “örs” kovan ile tümleşik haldedir. Fakat alev kanalının örsün ortasından geçmiş olması bu kapsülü Standart Berdan tipi kapsülden ayırır. Bu kapsül tipi daha çok Avusturya’da imal edilen bir kapsül türüdür [11].

4.2. Mermi Türleri

Mermiler, Merkez veya Kenar Vuruşlu Mermiler, Toplu veya Otomatik Tabanca mermisi, Browning veya Parabellum Tipi olmak üzere 3 ana gruba ayrılmaktadır; [10].

4.2.1. Merkez veya Kenar Vuruşlu Mermiler

Kapsülün bulunduğu yere göre gruplandırılır. Bunlar; “Merkez Vuruşlu Mermiler” ve “Kenar Vuruşlu Mermilerdir”. Merkez vuruşlu mermiler, kapsül ve ateşlemeyi sağlayan yanıcı maddenin merminin dip tablasının tam ortasında bulunduğu mermilerdir.

Kenar vuruşlu mermiler, ateşlemeyi sağlayan kapsülün merminin dip tablasının kenar kısmında bulunduğu mermi türüdür. Bu kategorideki mermiler genellikle 22 kalibre mermilerdir

4.2.2. Toplu veya Otomatik Tabanca Mermisi

Toplu veya Otomatik Tabanca Mermisi, kovan dip tablalarının geniş ve çıkıntılı ya da girintili oluşuna göre sınıflandırılırlar. Kovan dip tablaları geniş ve çıkıntılı ise “Toplu Tabanca Mermiyi”, kovan dip tablaları girintili biçimde ise “Otomatik Tabanca Mermisi” adını alırlar.

4.2.3. Browning veya Parabellum Tipi Mermiler

Browning veya Parabellum tipi mermiler, çekirdeğin uç kısmının kütlüğüne veya sivrilğine göre ayrılırlar. Eğer bir mermi çekirdeğinin ucu küt veya yuvarlak ise Browning tipi mermi, çekirdeğin ucu sivri ise buna da Parabellum veya Luger tipi mermi adı verilir.



5. BALİSTİK

Balistik, merminin ateşlenmesi durumunda mermi çekirdeğinin namludan çıkıp hedefi vurmasına kadarki hareketlerini, hedef üzerindeki tahribatı ve merminin bu hareketlerini etkileyen faktörleri inceler [9]. Temelde dahili, harici ve terminal olmak üzere üç tür balistik vardır;

Dahili balistik, ateşli bir silaha ait ateşleme iğnesinin mermi yatağındaki mermi kapsülüne çarptığı andan, merminin namludan çıktığı ana kadar neler olduğunu inceleyen balistik alanıdır. Esas olarak itici gaz basınçları, mermi çekirdeğinin namludayken hızlanması, namlu çıkış hızı ve geri tepme gibi silah içerisinde gerçekleşen olaylarla ilgilenir.

Dış balistik, merminin silahın namlusundan çıktıktan sonra hedefe ilerleyip ulaşması durumunu inceler. Dış balistik, mermi şekli, kesit yoğunluğu, atmosferik basınç ve hatta daha büyük kalibreli silahlarda dünyanın dönüşü gibi parametreleri içeren karmaşık bir konudur. Güçlü bilgisayarların ortaya çıkmasıyla birlikte, bu konu artık ortalama bir insanın alanına girmiştir ve saatlerce süren karmaşık hesaplamalar artık birkaç dakika içinde elde edilebilmektedir.

Terminal balistik, merminin hedefe ulaştığında hedef üzerinde nasıl bir etki oluşturduğunu inceler. Basit anlamda kâğıt kadar zayıf bir hedefi delmekle değil, merminin havadan oldukça yoğun bir malzemeye karşılaşması durumunda nasıl bir davranış sergilediği ile ilgilenir. Terminal balistik genellikle merminin canlı dokusunda bıraktığı etkiyi incelemekle beraber, toprak, tuğla, beton, ahşap veya kurşuna dayanıklı malzemelerdeki performansını da inceler [17].

5.1. Dahili Balistik

Ateşleme pimi kapsüle çarptığında, kapsüldeki bileşenler büyük bir şiddetle patlar ve son derece yüksek bir sıcaklıkta alev kanalından geçerek barut haznesine ulaşır. Yaklaşık 2000 °C'lik bu alev, büyük bir gaz basıncı oluşturmak için barutu ateşleyerek yüksek hızda bir itici etki oluşturur. Bu yüksek basınçlı gaz, kovanın ucuna monteli olan mermi çekirdeğini namludan çok hızlı bir şekilde fırlatır. Barut, sınırlı olmayan bir alanda ateşlenirse hafifçe yanar. Fakat kapalı bir alanda ise, oluşan ısı ve basınç, yanma oranını katlanarak hızlandırmaktadır.

Dahili balistik içerisinde dikkate alınan birçok faktör vardır. Bunlar; mermi kovanı hacmi boyutu ve buna bağlı barut hacmi oranı, iç basınç, geri tepme ve merminin namludan ayrılma süresi gibi durumlardır.

Barut yükünün yoğunluğu olarak tanımlanan mermi kovanı hacminin barut hacmine oranı, yanma hızını etkileyen bir faktördür. Bu oranın büyüklüğü yani mermi kovanındaki doldurulmamış alanın büyüklüğü ne kadar fazla ise, ilk yanma hızı o kadar yavaş olmaktadır.

Barut yandığında, yoğunluğu, esas olarak karbondioksit ve su buharından oluşan gaza dönüşür. Yanmanın başladığı ilk andan itibaren, gazlar tamamen mermi kovanı muhafazasının

içinde birikir ve buna bağlı olarak oluşan basınç kartuşun tabanına, duvarlarına ve merminin tabanına eşit olarak uygulanır. Basınca bağlı olarak mermi çekirdeğinin hareket edip kovandan ayrılmaya başladığı andan itibaren gazların kovani doldurduğu hacim artar ve iç basınç düşmeye başlar. Hacmin artmasına bağlı olarak oluşan basınç düşüklüğü çekirdeğin itilmesini sağlayan itici gücün de azalmasına sebep olacaktır. Burada itici güç keskin bir şekilde düşmez çünkü hacmin genişlemesine bağlı olarak yanma oranının da bir o kadar artması bunda etkilidir. Çekirdeğin namlu ucuna ulaşmadan hemen önce kovandaki barutun tamamen tükenmesi gerekmektedir ve bunu sağlamak için barut oranı dikkatlice ayarlanmalıdır. Çekirdeğin namluyu terk edişinin hemen öncesinde tükenmeyen herhangi bir itici gaz, yalnızca mermi kovani için düşük verimliliğe neden olmakla kalmaz, aynı zamanda büyük bir namlu patlamasına da sebep olur. Böylesine parıltılı bir patlama, ateş edenin gece görüşünü yok etme etkisine sahip olacağından, bu durum geceleri ateş ederken son derece rahatsız edici olabilmektedir.

Tetiğe bastıktan sonra ateşlenen bir tabancanın elde hafifçe dönmesine, şiddetli bir şekilde avuç içine baskı uygulamasına, bir tüfeğin kişinin omzunu hafifçe itmesine veya kemik zedeleyici bir vuruşu oluşturmaya neden olan geri tepme kuvvetleri iç balistiğin incelediği bir alandır. Geri tepme, ateşli silahlar alanında en çok yanlış aktarılan konulardan biri olmakla beraber, geri tepmeyle ilgili kuvvetler ve vektörlerin hesaplama biçimleri, ateşli silah muayenesinde farklı değerler ortaya çıkarabilmektedir. Bir silahın ateşlenmesi sırasında, mermi kovasının iç kısmındaki basınç, yalnızca mermi kovasının tabanına değil, aynı zamanda ateşli silaha ait mermi yatağının gerisindeki tırnak kısmına da etki eder. Bu etki tabancanın gövdesinin geri tepmesine varacak kadar etkiye sahip bir kuvvettir [17].

5.2. Dış Balistik

Dış balistik, mermi çekirdeğinin namluyu terk ettikten sonra hedefe varıncaya kadar olan hareketlerini ve bunlara etki eden faktörleri inceler [9]. Dış balistiğe etki eden başlıca faktörler;

- Tabii yan
- Mermi çekirdeğinin ağırlığı
- Havanın yoğunluğu
- Havanın ısısı
- Rüzgâr
- İlk hız (mermi çekirdeğinin namluyu terk ettiği andaki hızının m/sn cinsinden değeridir.)
- Mermi çekirdeğinin şekli

Şeklinde sıralanır.

5.3. Terminal Balistik

Terminal balistik, mermilerin veya patlamayla hız kazanmış parçaların hedefte bıraktığı etki ile ilgilenir. Genel olarak kriminal olaylar bağlamında değerlendirilen bir daldır. Terminal balistik, mermi çekirdeğinin, hedefe çarptıktan sonra hem hedef üzerinde meydana getirdiği etkileri hem de mermi çekirdeği üzerinde oluşan etkileri bilimsel yollarla inceler. Mermi çekirdeğinin hedefte bıraktığı tahribatı, çekirdeğin biçimi, ağırlığı, vuruş hızı, vuruş açısı ve çekirdeğin üretiminde kullanılan bileşenlerin türünü inceleyerek açıklamaya çalışır [11].



6. ATEŞLİ SİLAHLARIN ADLİ BALİSTİK İNCELEMESİ

Adli balistik, genel olarak ateşli silah tanıma olarak bilinmekle beraber balistik ise bir mermi üzerinde yapılan çalışmalar anlaşılmaktadır. Balistik, merminin ilk ateşlenmesinden sonra başlayıp, ateşli silahı terk etmesinden sonra hedefe isabet ettiği ana kadar hedef üzerinde bıraktığı etkiyi inceleyen çalışmalardır. Günümüzün modern balistik laboratuvarları mermi kovanı ve mermi çekirdeklerinin ayırt edici karakteristiklerini inceleyerek elde edilen verilerden ateşli silah tespitini sağlamaktadırlar [10].

6.1. Adli Balistiğin Tarihçesi

Mermi çekirdeği ve mermi kovanlarının atıldığı silahlara ait karakteristik özellikleri taşımasına rağmen namludan çıkmış bir mermi çekirdeğinden veya ateşlenmiş bir kovandan ateşli silahın kimliğinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar ancak 20. yüzyılın başlarında ilk olarak gerçekleştirilebilmiştir.

Haziran 1900'de Buffalo Medical Journal'da, Dr A.L. Hall tarafından, aynı kalibredeki farklı marka ve türdeki silahlardan ateşlenen mermilerin, değişen tipteki tüfek işaretlerinden etkilendiğine dair bir makale yayınlandı.

1907'de, Teksas Brownsville'deki ayaklanmalarda ABD piyadelerinin kullandığı ateşli silahların belirlenmesi için Frankfort Arsenal'deki personel silahların tespitiyle görevlendirildi. Burada silah tespiti için mermi kovanları üzerindeki ateşleme iğnesi izlerinin büyütülmüş fotoğrafları kullanıldı. Bu sayede, 39 mermi kovanı incelenmiş ve bunlar ayrı ayrı sınıflandırılarak 11, 8, 11 ve 3 adetler halinde hangi silahlara ait oldukları belirlenebilmiştir. Kalan 6 mermi kovanı için ise tespit yapılamamıştır.

1912'ye gelindiğinde Victor Balthazard, merminin ateşlendiği silahı belirlemek için mermi çekirdeği bölgelerinin ve oyukların fotomikrografilerini çekti. Bu incelemelerden, bir ateşli silah namlusundaki yiv ve setlerin mermi çekirdeği üzerinde bıraktığı izlerin başka bir silah ile aynı olmadığını belirlemiştir. Daha sonra yaptığı çalışmada, ateşleme pimi, kama yüzü, kartuş çıkarıcı ve fırlatıcının mermi kovanı üzerinde karakteristik izler oluşturduğunu tespit etmiştir. Ancak bu tespitlere rağmen mesele bundan öteye götürülmedi ve bu karakteristik özelliklerin silah tespiti için kullanılabileceğinden söz edilmemiştir. Fakat 1932 yılında Heess, Mezger ve Hasslacher bu karakteristik özelliklerin silah tespitinde kullanılabileceğine dair makale yayınlamışlardır.

1925'den sonra mermi çekirdeği ve kovanlarının karşılaştırma mikroskobu ile incelenmesi adli balistikte daha başarılı çalışmaların ortaya konmasını sağlamıştır [17].

20. yüzyılın ortalarında yani 1930-1970 yılları arasında ateşli silahların kimliklerinin belirlenmesi hususunda çalışmalar gelişme göstermiştir. Örnek olarak; 1929'un sonu 1930'un

başlarında ABD’de Bilimsel Suç İnceleme Laboratuvarı (SCDL)’nın, Northwestern Üniversitesinde çalışmalara başlamasının ardından, 1932 yılında aynı amaçla FBI Laboratuvarı kurulmuştur. Bu gelişmelerin akabinde adli balistiğin gerekliliğinin farkına varan İngiltere, Kanada gibi birçok ülke bu alanda laboratuvarlar kurmuşlardır.

20. yüzyılın sonlarına gelindiğinde 1970-1999 yılları arasında adli balistik alanı dünyanın birçok ülkesinde yaygınlaşmış ve aynı zamanda bu bilim dalı, teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişimini sürdürmüştür. Bu gelişmeler ateşli silah kimliğinin belirlenmesinde temel teşkil eden binoküler karşılaştırma mikroskobu gibi cihazları içermektedir. Binoküler karşılaştırma mikroskopları her aşamada tek bir objektif merceğe sahiptir ve 3 boyutlu stereoskopik görüntü vermemesine rağmen, operasyonel kullanımı çok daha rahat hale getirmiştir. Aslında, karşılaştırma mikroskoplarında kullanılan tek objektif lens sistemi üç boyutu temsil edemediğinden, mercekler aracılığıyla elde edilen görüntü 2 boyutludur.

Balistik için dijital görüntülemenin kullanımı ilk olarak literatürde 1970’lerde Gardner’ın mermilerin bilgisayarla tanımlanmasına ilişkin makalesinin yayınlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Gardner, ateşlenmiş bir mermi üzerindeki çizgileri incelemek için bir taramalı elektron mikroskobunun kullanımını tanımladı [18].

1980’lerin ortalarında, Catterick ve Taylor, mermilerdeki çizgileri yakalamak için bir PET Commodore 4032 bilgisayarına bağlı bir görüntüleme sistemi kullandılar. Çizgilerin yükseklik bilgilerini yazdırmak için video görüntülerine ek olarak bir çizici kullandılar [19].

1990’ların başında Amerika Birleşik Devletleri’nde, Federal Soruşturma Bürosu (FBI) için mermi ve kovanlarının görüntülerini yakalayan Drugfire isimli bir sistem tasarlandı. Aynı zamanda, Alkol, Tütün ve Ateşli Silahlar Bürosu (ATF), benzer bir sistem geliştirmek için Kanadalı bir adli teknoloji şirketi olan FTI ile sözleşme imzaladı. ATF sistemi, Entegre Balistik Tanımlama Sistemi (IBIS) olarak bilinmektedir. Hem Drugfire hem de IBIS, kurbanlardan veya suç mahallerinden alınan mermilerin dijital görüntülerinden oluşan geniş bir veri tabanı içeriyordu. IBIS veritabanı iki modülden oluşmaktaydı. İlk modül olan Bulletproof, suç mahallerinden alınan kurşunların dijital görüntülerini içerirken, ikinci modül olan Brasscatcher, mermi kovanlarının görüntülerini içermektedir. 1999’da FBI, Drugfire’i aşamalı olarak kaldırdı ve Ulusal Entegre Balistik Tanımlama Ağı (NIBIN) kapsamında IBIS’i, ATF’nin bünyesine kattı [20].

Avrupa bölgesinde ise Hollanda’da TRAX sistemi ile benzer çalışmalar devam etmekteydi. TRAX, mermi çekirdeği ve kovanına ait tipik işaret görüntülerini ve bununla ilgili yönetim verilerini içeriyordu. Diğer bazı sistemler arasında, Rusya’daki Condor, Almanya’daki GE/2 sistemi ve Belçika’daki Adli Uzman Yardım Sistemi Abal Labview (FEASABLE) bulunmaktadır [20].

Bir diğer göze çarpan çalışmalardan biri ise Avustralya’daki Fireball sistemidir. Fireball, 2D görüntülerden görüntü ve bilgi çıkarma işlemini gerçekleştirir. İnternet imkanlarının artmasıyla beraber, Chase ve Li, Fireball’un balistik verileri web üzerinden alması ve depolaması için web

tabanlı bir yaklaşım keşfetti [21]. Sistemleri, arka uç olarak veritabanı sunucusuna bağlı web tabanlı bir form ara yüzüne sahipti ve bu veritabanı, görüntüleri ve ilgili metin alanlarını depolamak için kullanılıyordu.

Yukarıda bahsedilen sistemlere ek olarak, diğer bazı dikkate değer ticari sistemler arasında Kanadalı Pyramidal Technologies şirketinin geliştirmiş olduğu ALIAS, Almanya'dan ScannBi Technology şirketinin geliştirmiş olduğu Evofinder ve Rusya'dan Papillon Systems'in geliştirdiği Arsenal sistemi bulunmaktadır.

2000 yılında Bachrach, mermilerdeki verileri 3B olarak yakalayan ve saklayan ve çizgilerin 3B olarak eşleşmesini gerçekleştiren SCICLOPS adlı bir prototip sistemi tanıttı [22]. SCICLOPS daha sonra IBIS ile tam uyumlu olacak şekilde tasarlanan BulletTRAX™-3D adıyla ticarileştirildi [23].

2006'da mermi çekirdeği ve kovanlarının hem 2D hem de 3D görüntülenmesini sağlayan 'Brass TRAX' sistemleri piyasaya sürüldü. Bu sistem, kullanıcıların yalnızca bir mermi kovanının yüzey topografyasının niteliksel ölçümlerini almalarını sağlamakla kalmadı, aynı zamanda IBIS sisteminin kapasitesini de önemli ölçüde artırdı [17].

Ülkemizde ise TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsünün geliştirmiş olduğu ve mermi çekirdeklerinin yanı sıra, mermi kovanlarının da 3D fotometrik stereo görüntülerini çıkartıp analizini yapabilen Balistika sistemi geliştirilmiştir ve 2010 yılından beri kullanılmaktadır [24].

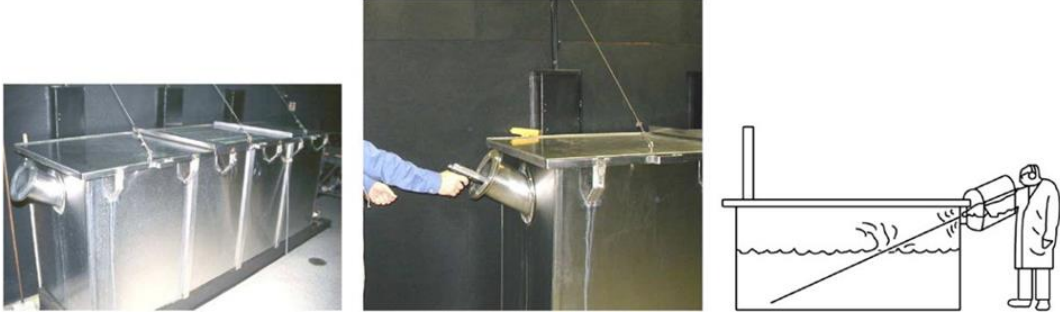
6.2. Adli Balistik Alanında Kullanılan Teknolojiler

İnsan faktörünün çok fazla olduğu geleneksel balistik eşleştirmelerinde insan önyargısının devreye girmesi, eşleştirmelerde hata payını arttırabilmektedir. Parmak izi ve balistik eşleştirme dahil olmak üzere, mahkemeler insan etkisinin daha az olduğu bilimsel bir yöntem kullanılarak balistik incelemelerin yapılmadığını fark etmesi üzerine bazı zorluklar ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu zorlukların balistik incelemelerdeki insan etkisini asgari düzeye indirmekle aşılabacağı fikri ile adli balistik kronolojik gelişmeler yaşamıştır.

6.2.1. Karşılaştırma Mikroskobu ile İnceleyerek Tanılama

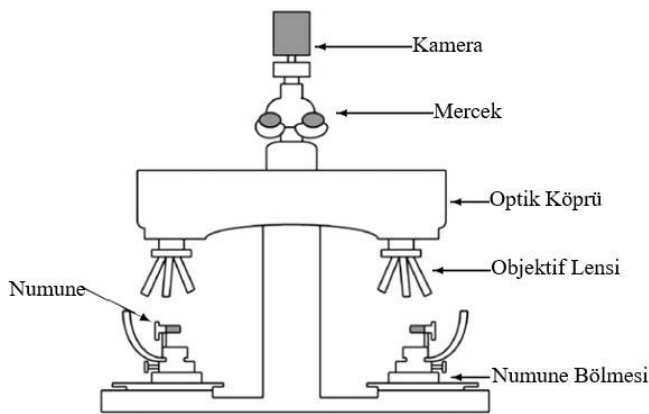
Ateşli silah kullanılarak suç işlendiği durumlarda, olay yerinden atılan mermi kovanlarının birbirleriyle veya olaya karıştığı düşünülen ateşli silah varsa bu silaha ait mermi kovanlarıyla karşılaştırma mikroskobu kullanılarak eşleştirilmesi gereklidir. Suça karıştığı düşünülen silahın elde edilmesi durumunda, ateşlenen mermi çekirdeklerinin nispeten bozulmamış durumda alınmasını sağlayan, bir balistik su tankı vasıtası ile test atışları yapılmalıdır. Şekil 6.1'de balistik su tankına ait görsel verilmiştir. İncelemeyi yapacak görevlinin, kanıt mermilerini ateşli silahın mermileriyle karşılaştırıp benzersiz karakteristik işaretleri belirlenmesi için ateşli silah ile en az iki

test atışı yapılmış numune mermilerine ihtiyacı vardır. Numune mermi çekirdeği veya mermi kovanlarının benzersiz özelliklerinin belirlenmesinden sonra tanılama işlemine geçilebilir.



Şekil 6.1. Balistik Su Tankı [20]

Bir mermi çekirdeği veya kovanını ateşli silah ile eşleştirme işlemi çok adımlı bir işlemdir. Ateşli silahtan elde edilen numunelerden benzersiz karakteristik özelliklerin belirlenmiş olduğu varsayılarak, Şekil 6.2’de verilen karşılaştırma mikroskobunun bir tarafına bir kanıt mermisi veya kovanı monte edilirken, diğer tarafına da test edilmiş mermi çekirdeği veya kovanı monte edilerek inceleme yapılmaktadır. İncelemeyi yapan kişi daha sonra, iki numuneden ortak bir ateşli silah belirlemek amacıyla, numunelerin karşılık gelen karakteristik işaretlerini yan yana hizalayıp gözlemleyerek kıyaslama yapar ve bir sonuca ulaşmaya çalışır [20]. Mermi çekirdeği veya kovanı teşhisinde bu yöntemin, insan faktörünün ön planda olduğu bir çalışma biçiminde icra edildiği görülmektedir.



Şekil 6.2. Karşılaştırma Mikroskobu [20]

6.2.2. Görüntüleme ile Tanılama

Balistik numunelerinin görüntülenmesi, 1970'lerin ortalarından bu yana görüntüleme teknolojisindeki ilerlemede önemli etkiye sahiptir. Görüntülemeye taramalı elektron mikroskopları,

1 boyutlu hat taramalı CCD kameralar, 2 boyutlu CCD kameralar, lazerler ve ultrason dahil olmak üzere çeşitli algılama cihazlarından yararlanılmıştır. Bu görüntüleme sistemleri, balistik numunelerini inceleyerek veri çıkarmak için kullanılmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskopları

Ateşlenmiş mermilerdeki çizgileri incelemek için taramalı elektron mikroskopunun (SEM) kullanımı Gardner tarafından duyuruldu [18]. Bir SEM, yüksek kaliteli bir optik mikroskop tarafından oluşturulan görüntüye benzer nitelikte bir görüntü oluşturur. Bununla birlikte, bu görüntüleme yönteminde optik lensler tarafından odaklanan ışık yerine, hedef yüzeye doğru ince bir demet halinde elektron salınmaktadır. Bu elektron demeti manyetik bir alan içerisinde hedef yüzeye odaklanır ve hedef yüzeyi paralel çizgiler halinde tarar. Elektronlar, hedef yüzey ile etkileşime girdikten sonra dedektöre geri döner ve bu aşamadan sonra dedektör bir kamera gibi görüntü oluşturur ve bu tür görüntülerin çözünürlüğü mikrometre aralığına kadar düşebilir. SEM'ler, mermilerin yüzeyinden topografik bilgilerin etkili bir şekilde çıkarılmasında da mükemmeldir.

Nesneyi hareket ettirirken farklı noktalarda gözlemlenen yoğunluğu ölçerek mermi çekirdeği yüzeyindeki çizgisel izlerin 3 boyutlu verilerini elde etmek için Banno ve arkadaşları bir konfokal mikroskop kullanmışlardır [25]. Bu veriler, her noktada gri bir skala değeri ile derinliği gösterecek şekilde yüzey topografyasını yeniden yapılandırmak için kullanılır. Görüntüdeki gürültünün etkisini azaltmak için Gauss filtresi ve medyan filtresi kullanılmıştır.

Yük Bağlı Ayrıştırıcı

Yük Bağlı Ayrıştırıcı (CCD), iki katmana sahip bir bilgisayar çipidir. Birinci katman, ışık enerjisini depolanmış bir yüke dönüştüren kapasitif bir bölgeye sahiptir. İkinci katman ise ışık enerjisi ile depolanmış bu yükü, elektrik sinyaline dönüştürüp çip üzerindeki bir işlemci birimi aracılığıyla okur ve görüntü olarak kaydeder. CCD'yi oluşturan hücreler, tek boyutlu (1D) çizgi tarama konfigürasyonu olarak düzenlenebildiği gibi iki boyutlu (2D) bir CCD hücre dizisi halinde de düzenlenebilir [26].

1D CCD dizi şeklinde fotoğraf çekerken, mermi uzun ekseni boyunca döndürüldüğü için resim 1D piksel şeridi olarak yakalanır. Bu şeritler daha sonra sanki açılmamış gibi merminin bir yüzey görüntüsünü oluşturmak için birleştirilir [20].

2D CCD dizisi, sensörün altındaki tüm görüş alanını yakalar ve onu dijital bir resme dönüştürür. 2D CCD cihazından 1D görüntü elde etmenin başka bir yolu ise mermi döndürülürken her görüntünün orta satırını veya sütununu yakalamak olabilir [20].

Aydınlatmanın görüntü elde etme ve eşleştirme üzerindeki etkisi

Görüntü alımı sırasında ışık kaynağının türü ve konumu, Mermi çekirdeği ve kovanlarının eşleştirilmesi işlemi için önemli bir rol oynar. Mermi ve mermi kovanlarının görüntüleri alınırken ışık faktöründen kaynaklı olarak istenilen netlikte görüntüler alınamayabilir. Mermi, tek bir ışık kaynağı veya dağınık aydınlatma ortamında aydınlatılabilir. Bu tarz farklı ışıklandırma koşulları altında mermi çekirdeği veya kovanları üzerindeki tipik izler, aydınlatma açısına, yoğunluğuna ve rengine bağlı olarak tamamen farklı görünebilir [27].

Tek ışık kaynağı ile aydınlatmada, ışık kaynağının konumuna bağlı olarak nesnenin farklı alanlarında farklı yoğunluklarda yönlü aydınlanmalar gerçekleşir. Diğer taraftan, dağınık aydınlatma modeli, farklı yönlerden gelen birçok tek yönlü ışık kaynağının üst üste gelmesi olarak düşünülebileceğinden, dağınık aydınlatma genellikle kontrast azalması ile homojen bir görünüme ve dolayısıyla optimal olmayan sonuçlara yol açacaktır.

Aydınlatma sorununa bir çözüm olarak Heizmann ve arkadaşları tarafından GE/2 sistemi sunulmuştur. Bu sistem ile aydınlatma yönü, yüzeydeki girintilere dik olacak şekilde ayarlanabilir ve bu yolla yüzey kontrastı en üst düzeye çıkarılacak şekilde değiştirilir. Farklı ışık dalga boylarında bir dizi resim karesi alınabilir ve bunlar gelişmiş görüntüler elde etmek için görüntü birleştirme kullanılarak birleştirebilir [28].

Bazı araştırmacılar, görüntüleri eşleştirmek için balistik örneklerde yandan aydınlatma ve halka aydınlatma gibi yöntemleri savunmuşlardır. Bu yöntemlerden yan ışık ile aydınlatmada ince çizgilerin görselleştirilmesi savunulurken, bunun yanında dağınık aydınlatmanın kullanılması yönünde de bazı tavsiyelerde bulunulmuştur [20].

Yansıyan ışık yoğunluğu büyük ölçüde aydınlatma koşullarına bağlıdır. Farklı ışık koşulları altında veya yüzey eşitsizliğinden kaynaklanan ışık değişimlerinden kaynaklı olarak çizgi işaretleri farklı görülebilmektedir. Geradts'ın TRAX çalışmasında 45 derecelik yan floresan ışık kullanılarak, Lambert Yasasına uygun olacak şekilde ışık kaynağının açısı ve yoğunluğunun her görüntü için aynı olduğu bir sistem tasarlanmıştır. Geradts'ın sunduğu başka bir teknik ise yüzeyin eşit bir şekilde aydınlatılması ile numune görüntüsünün elde edilmesine dayalıdır. Bunu, bir ışın ayırıcı kullanarak eş eksenli aydınlatmayla sağlamıştır. Bu yöntem, nesne yüzeyine ayrık bir biçimde ışık gönderilmesi ve ardından, görüntüleme cihazı ile yüzeyden yansıyan ışığın bir resminin çekilmesi şeklinde çalışmaktadır. Bu yöntemin yüzeyde parlamayı ve istenmeyen gölgelerin oluşumunu engellediği görülmüştür. Ayrıca bu teknik, örneklerin 3D görüntülerini yakalamak için kullanılmış ve buna kodlanmış ışık yaklaşımı (CLA) adı verilmiştir. [29]

Huai ve Dongguang, Fireball çalışmasında ışığın farklı dalga boylarının kullanımını araştırdılar ve halka ışıklı bir optik mikroskopun yanında bir CCD kamera kullandılar. Elektromanyetik spektrum aracılığı ile Mavi- 400 nm'den, Kırmızı- 700 nm'e kadar yedi farklı

dalga boyunda ışık kullanarak bu yedi ışık dalga boyunun her birinde bir merminin görüntülerini incelediler ve daha uzun dalga boylarının daha iyi olduğu sonucuna vardılar [30].

Mermileri gözlemlenmede kızıl ötesi ışığın kullanımı üzerine de çalışmalar vardır. Prokoski, görünür ve kızılötesi ışıklar altında aynı mermi setleri üzerinde çalışmalar yapmış ve kızılötesi ışığın, mermi kovanlarındaki özellikleri göstermede görünür ışıktan daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmıştır [31].

Mermi yüzeyindeki ince ayrıntıları yakalamak için kullanılan başka bir teknik ise beyaz ışık profilometrisi ilkesi ile temellendirilmiştir. Beyaz ışık profilometrisi ilkesi, basit optik lenslerin renk sapmalarına dayanmaktadır, burada farklı dalga boyları farklı şekilde kırılır ilkesi ön plandadır. Bu nedenle, bir kişi bir yüzeye küçük bir beyaz ışık demeti gönderir ve yüzeyden yansıyan ışığın bileşen dalga boylarının yoğunluğunu ölçerse, optik sisteme göre yüzeyin göreceli mesafesi veya derinliği tahmin edilebilir. Bu teknik yarı saydam bir aynadan bir nesneye ışık tutmayı içermektedir. Işık yüzeyden yansır, yarı saydam bir aynadan sıçrar ve sensöre geri döner. Bu teknik, lenslerin renk özelliklerinden yararlanır, böylece farklı dalga boylarındaki ışıklar, ışık kaynağından sensöre giderken biraz farklı açılarda kırılarak ulaşır. Bu teknik, 1 mikronluk yüzey farklılıklarının tespit edilmesine olanak sağlar [32].

Görüntüleme Lazer Kullanımı

Görüntüleme teknolojisinde lazerler mikroskobun merceğini odaklamaya yardımcı olmak ve 3D yüzey oluştururken derinlik elde etmek amacıyla kullanılmıştır [20].

Yapılan bir çalışmada Breitmeier ve arkadaşları mermi kovanı yüzeyine 1 mikron değerinde nokta yansıtmak için bir lazer kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan bir fotodiyot sayesinde 1 mikron değerindeki nokta odakta tutularak objektif konumlandırılır. Bu düzenek, objektif merceğinin hareketinin bir sonucu olarak yüzeye ait yükseklik bilgisinin gözlemlenmesini sağlar [33].

Yüksek çözünürlüğe sahip mermi çekirdeği ve kovan görüntüleri elde etmek için lazerler, konfokal mikroskoplarda da kullanılmıştır. Konfokal mikroskoplar, görüntünün odaklanmış kısımlarını, odak dışı kısımlarından ayırmak için lensler, iğne delikleri ve ışın ayırıcı gibi unsurların bir kombinasyonunu kullanır. Bu sistemler bir numuneyi aydınlatmak için 200 nm morötesi ışınından 1000 nm uzak kızılötesi ışınına kadar geniş bir dalga boyu aralığına sahip bir lazer kullanır. Bu kadar geniş dalga boyuna sahip lazer özelliğine sahip olmasına rağmen konfokal mikroskoplar pratikte, örnekleri görüntülemek için 400 ile 700 nm arasındaki görünür dalga boylarını kullanmaktadırlar [27].

Bazı çalışmalarda prototip sistemler oluşturmak için lazer konoskopik holografi kullanılmıştır. Bu sistemde, bir mermi çekirdeği veya kovanı yüzeyine yansıtılan bir lazer noktasının derinliğini ölçmek için lazer sensörü kullanılır. Bir lazer konoskopik holografi sensörü,

numunenin yüzeyine bir lazer ışını gönderir ve sonra ışın aynı yol boyunca yansıtılır ve bir konoskopik kristalden geçirilir. Bu kristal, taranan yüzeyin Z derinliğini belirlemek için analiz edilebilen bir sapma modeli üretir. Numunedeki diğer derinlikleri ölçmek üzere X-Y ekseninde hareket ettirmek için öteleme sehpası kullanılır. Bu şekilde tüm yüzeyin ayrıntılı yüzey haritası çıkartılmış olur [34].

Bir lazer yer değiştirme sensörü kullanılarak 3D yüzey profili de oluşturulabilir. Yüzey profili, hassas odaklanmış lazerin bir mercekle aracılığıyla numunenin yüzeyine yansıtılmasıyla elde edilir. Burada ışık, çeşitli açılarla yüzey üzerinde kırılır ve daha sonra alıcı lens aracılığıyla bir CCD sensörüne odaklanır. Lazer kaynağı ile CCD piksel konumu arasındaki açı, yüksekliği çıkarmak için kullanılır [35].

6.3. Balistikte 2 Boyutlu Görüntü İşleme

Aydınlatmadan kaynaklı görüntülerdeki ufak değişimler ve oluşan gürültüler görüntüyü karşılaştırırken sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Bahsi geçen problemlerin aşılabilmesi ve görüntünün karşılaştırma işlemine hazır hale getirilmesi için bazı görüntü işleme algoritmalarının görüntüye uygulanarak optimize edilmesi gerekmektedir.

6.3.1. Temel Görüntü İşleme İşlemleri

Alınan görüntülerde meydana gelen problemlerden biri, görüntülerde oluşan görüntü parazitleridir. Görüntü paraziti, görüntü detayının bir ögesi olmayan ve dıştan gelen rasgele piksel görüntüleridir. Görüntülerde oluşan parazitler, görüntüye yumuşatma adı verilen bulanıklaştırma işlemi uygulanarak azaltılabilir. Gürültülü görüntüleri yumuşatmak için kullanılan popüler işlemlerden biri de Gauss çekirdeğidir. Bazı sensör türleri tarafından üretilen iki ve tek kutuplu etkiye dayalı parazitleri azaltmak için iyi sonuçlar veren medyan filtresi de kullanılabilir.

Görüntü algılaması işleminde ise görüntü arka planı kaldırılır ve bu şekilde karşılaştırma işlemine tabi tutulacak ilgili nesneler çıkarılır. Bunun için görüntü içerisindeki ilgili nesneyi oluşturan sınır çizgileri araçlarla manuel olarak seçilip nesne çıkartılabilir. Bunun yanında ilgilenilen nesnenin etrafına bir sınır çizmeye yönelik otomatik teknikler de mevcuttur ve bu tekniklerin temeli kenar algılamaya dayanmaktadır [36]. Bir görüntüdeki kenarları bulmak için birçok yöntem vardır ve bunların çoğu, bitişik pikseller arasındaki görüntü yoğunluğundaki keskin değişikliklerin tespiti etrafında toplanır. Piksel yoğunluklarındaki değişim oranı, bitişik pikseller üzerinde birinci ve ikinci dereceden kısmi türevler kullanılarak matematiksel olarak modellenir. Bu amaç için kullanılan en popüler kenar algılama yöntemleri, Sobel ve Canny kenar bulma algoritmalarıdır. Bu algoritmalar, aşırı gürültü varlığında kontrastı artırılmış görüntülerin kenarlarını çıkartarak nesneyi tanımlamak için kullanılmıştır [37,38]. Yapılan bir çalışmada Chu

ve arkadaşları konfokal bir mikroskopla oluşturulan görüntülerden çizgileri çıkarmak için Canny kenar bulma algoritmasını kullanmışlardır [39].

Başka durumlarda, arka planın özelliklerini göz ardı edip numunenin dokusunu ve diğer özelliklerini koruyarak bir nesneyi arka planından tamamen izole etmek isteyebiliriz. Bu izole etme biçimi, görüntü eşiklemesine dayanan bir segmentasyon işlemiyle gerçekleştirilir. En temel eşikleme, numuneye karşılık gelen piksellerin arka plan piksellerinden farklı belirli bir yoğunluk aralığına sahip olduğunu varsayar. Burada eşik, piksel değerleri için tek tek hesaplanan bir yönelim noktasına baskın bir açı bulunmasını sağlar. Bu açı daha sonra balistik örneklerle eşleşecek ilgili alanları belirlemek amacıyla bir maske oluşturmaya yardımcı olmak için kullanılır [36]. Chu ve arkadaşları Canny kenar bulma algoritmasının uygulanmasından sonra, mermi etrafındaki çizgileri bulmak için eşikleme uyguladılar ve bunun yanında, kenarların etrafındaki çizgilerin bağlantısını bulmak için ise bir histerezis eşik işlemi kullandılar [39]. Histerezis eşiklemesi, belirli bir aralıktaki alt ve üst değerlerle piksellerin bağlantısını elde etmeyi amaçlar. Burada eşikleme işlemi genellikle piksellerin siyah veya beyaz olmak üzere iki değerden biriyle karakterize edildiği bir görüntüyle sonuçlanır. Bu tür görüntüler ikili görüntüler olarak bilinir ve örneklerin şeklini analiz etmek için kullanılabilir.

Histogram eşitleme olarak bilinen bir teknik ile görüntülerin kontrastı manipüle edilerek, görüntüde iyileştirmeler yapılabilir [40]. Örneğin, bir görüntü karanlıksa piksel yoğunluğu düzeyleri görüntü histogramının daha koyu aralığında gruplandırılabilir. Denkleştirme yapıldığında kontrast gerilir ve böylece görüntüde daha fazla ayrıntı ortaya çıkarak, görüntü daha açık görünür. Tersine, çok hafif veya aşırı pozlanmış görüntüler için de geçerlidir. Bu görüntüler için kontrast gerilir ve görüntü daha koyu görünür. Histogram eşitleme, ateşleme pimi işaretlerinin farklı aydınlatma koşullarını telafi etmek için kullanılmıştır [29,41]. Aynı zamanda bir mermi kovanına ait yükseklik haritasının yakınlaştırılmış bir görüntüsü üzerinde renklerin eşit dağılımını sağlamak için de kullanılır [32]. Bu, çeşitli yüzey özelliklerini daha görünür hale getirmeye yardımcı olan yakınlaştırılmış alanın kontrastını genişletmeye olanak tanır.

Görüntüler üzerinde analiz yapmak için bir başka bir popüler teknik, dalgacıklardır. Dalgacıkların yüksek çözünürlüklü analizde yararlı olduğu ve görüntülerdeki nesnelerin kabadan inceye farklı ölçeklerde filtreleme özelliklerine izin verdiği çalışmalarla da gösterilmiştir. Geradts, farklı çözünürlüklerde çizgili işaretleri incelemek için dalgacıkları kullanmış ve ayrıca dalgacık hesaplamasında histogram eşitlemeden de yararlanmış [29].

6.3.2. Balistik Örneklerle Ait Görüntülerin Eşleştirilmesi

Görüntü işleme tekniklerini kullanarak görüntüdeki gürültüyü giderme ve ilgili nesneleri çıkarma gibi işlemlerden sonra, görüntüler eşleşme için karşılaştırmaya hazır hale gelir. En basit anlamda görüntü eşleştirme, iki görüntü arasındaki farkı gözlemlemek için görüntü çıkarma işlemi

olarak düşünülebilir. Görüntü çıkarma, bir fark görüntüsü elde etmek için iki görüntü arasındaki karşılık gelen piksellerin farkının alınmasına dayanmaktadır [42]. Referans görüntüyle karşılaştırılacak görüntü, minimum fark saptanana kadar küçük bir açıyla hafifçe döndürülebilir [41].

6.3.3. İleri Görüntü İşleme Teknikleri

İleri görüntü işleme tekniği, görüntülerdeki tek bir pikselin veya piksellerin çok küçük düzeydeki komşuluğunu hesaba katan piksel düzeyinde işlemlerdir. Bu teknik ile daha büyük komşuluklar hesaba katılarak ön plandaki nesneler, arka plandaki nesnelerden ve görüntüdeki diğer karışıklıklardan akıllıca ayrılabilir ve böylece görüntü işleme kalitesi daha da iyileştirilebilir.

Görüntü Segmentasyonu

Görüntü segmentasyonu, bir görüntüden ilgili alanları çıkartmak için kullanılır. Bu ilgili alanlar kenarlar, çizgiler, noktalar veya bölgeler içerebilir. Segmentasyon ile ayrılan bölgeler, tanımlayıcı etiketlerle temsil edilerek ilgili bölgelerin tanımlaması yapılır. Görüntü segmentasyonu ile ilgili yapılan bir çalışmada, mermi kovanı görüntülerindeki dış kenar ve harfleri tanımlamaya yardımcı olmak için bağlantılı bileşen etiketlemesi kullanılmıştır [37].

Görüntü Çakıştırma

Görüntü çakıştırma referans görüntü ile numunenin eşleştirilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem, karşılaştırmak amacıyla benzer iki görüntüye denk gelen konumdaki piksellerin aynı nesneyi tanımlayacak biçimde hizalanmasına dayanır. Bu teknik, referans görüntüye en yakın eşleştirme için görüntünün konumunu optimize etmek için kullanılır [20].

Hough Dönüşümü

Hough Dönüşümü, görüntü işlemede parametrik şekillerin tespiti için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, belirlenmiş model parametreleri üzerinde bir oylama işlemi uygulayarak, modele tam uymayan şekillerin tespitine de izin verir [42].

Hough dönüşümü adli analizde bir mermi kovanındaki kapsülün yerini belirlemek için kullanıldığı gibi bir mermi kovanının çevresini bulmak için de kullanılmıştır [37]. Bazı araştırmacılar, iki görüntüyü karşılaştırırken benzerlik ölçüsünde kullanılmak üzere ateşleme pimi işaretlerini çıkarmak için Hough dönüşümünü kullanmışlardır [43].

6.4. 3 Boyutlu Analiz

Mermi çekirdeği ve kovanı gibi balistik numunelerin yüzey görüntülemesinde 3 boyutlu yüzey modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Mevcut tekniklerin çoğu, bir numunenin yüzeyine

ait görüntünün analizini içerir ve böyle bir görüntü aslında, 3D yüzeyin 2D temsidir. Burada üçüncü boyuttan kasıt, piksel yoğunluğudur ve gölgeleme ile tahmin edilmektedir.

Aydınlatmalı görüntü alımlarında, aydınlatma kalitesinin piksel değerlerini olumsuz etkilediği durumlar bir dezavantaj olarak görülebilir. Buna karşın 3D yüzey yapılandırmasında, numunenin yüzeyi ışıklandırmadan bağımsız bir biçimde ölçüme bağlı olarak taranır ve yüzeyin gerçek bir 3D temsili oluşturulur. Bu yönüyle 3D yüzey yapılandırması, ışığa bağlı olarak alınan görüntülerde oluşan olumsuz durumu düzeltmeyi ve yüzey eşleştirmeyi potansiyel olarak kolaylaştırmayı amaçlar. Yüzey yapılandırması, tarayıcı ve yazılım imkanları ile sağlanmaktadır [44].

Adli araştırmacılar, mermi çekirdeği ve kovanların yüzeyinden ince ayrıntıları çıkarmak için birçok yöntemi araştırmışlardır. Bachrach, 3D yüzey taramasının, diğer görüntü tabanlı yöntemlere göre mermiler üzerindeki yüzey çizgilerini temsil etmede daha iyi olduğunu savunmuştur [22].

3D yüzey çizimleri, örneğin bir ekran kalemi ucunun yüzey üzerinde temas ettiği noktayı ölçülmesi gibi birçok yöntemle oluşturulabilir. Bu yöntemde nesne, nesnenin ekran kalemine göre hareket ettirildiği bir sehpa üzerine yerleştirilir. x, y, z koordinatlarının okunduğu yüzeye temas kurmak için ekran kalemi z yönünde hareket ettirilir. Elde edilen koordinat verileri, μm seviyesine kadar son derece ayrıntılı yüzey haritaları sağlar [45].

3D modelleme, fotometrik stereo teknikleri kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Fotometrik stereo, numunenin yüzeyinden yansıyan ışık yönünün değiştirilmesi ile yüzey yüksekliğinin ve yönünün çıkarılmasına dayanır. Bu yöntemin görüntülerden yüzey geometrisi elde etmede iki varyasyonu vardır. Birinci yöntemde nesne kameraya göre sabit tutulur ve ışık kaynağı yönü değiştirilir. İkinci yöntemde ise aydınlatma sabit tutulur ve nesne ışığa ve kameraya göre döndürülür. Her iki yöntemde de ışık, nesne yüzeyinin bir kısmından farklı açılarda yansıtılır. Ortaya çıkan gözlem, göreceli olarak yüzeyin ışık kaynağından etkilendiği kısma göre 3 boyutlu olarak şekillenir [20].

Fotometrik stereo yönteminde yüzey yüksekliği, önceden bilinen verilerle hesaplanmaktadır ve bu teknik, yüzeydeki düzlüklerin yönünü hesaplamaya yardımcı olmak için bir yüzey normaline dayanır. Yüzey normali ışık kaynağına doğruysa, ortaya çıkan yüzey daha parlaktır. Işık kaynağından uzağa işaret ediyorsa, yüzey yüzü daha koyudur. Bu normaller, diğer açık ve koyu alanlara göre yüzeyler oluşturmak için birlikte gruplandırılabilir [46]. Yapılan bir çalışmada Sakarya ve arkadaşları mermi kovanı yüzeyini yeniden yapılandırarak 3D yüzey modeli oluşturmak için fotometrik stereo yöntemini kullanmışlardır. İlgili çalışmada yüzeyin dağınık ışık yansımaları Lambert yasası kullanılarak modellenmiştir [24].

Lambert yasası, bir yüzeye çarpan ve geri yansıyan dağınık ışığı modellemek için kullanılır. Lambert modeline göre nesneler ışığı tekdüze olarak yansıtır ve bu özellik gerçek dünya koşulları ile uyum sağlayan bir durumdur. Bu durum, bir yüzeyin çeşitli yansıtma özelliklerini modellemek için

kullanılan ve Phong aydınlatma modeli olarak bilinen yakından ilişkili bir tekniğe yol açmıştır. Phong aydınlatma modeli ayrıca, mermi çekirdeği ve kovanları gibi parlak yüzeye sahip nesnelerde gerçekleşen speküler yansımayı da ele alır. Bu model, sensörün görüş açısının yanı sıra parlaklığı da dahil ederek yüzeyin özelliklerini hesaba katar [20]. Phong modeli, bir konfokal mikroskop tarafından üretilen yüzey verilerinden, yüzey yüksekliği bilgisini hesaplamak için kullanılmıştır [25].

3D yüzey modellemesi için başka bir teknik ise yapılandırılmış ışığa dayanmaktadır. Bu teknikte, taranacak bir nesneye siyah beyaz bir çizgi deseni yansıtılır. Projektörün kamerası ve açısı sabit tutularak, farklı genişlikteki çizgilerin farklı kareleri, nesne üzerine birbiri ardına yansıtılır. Her benzersiz çizgi genişliği, desenini yansıttıktan sonra bir görüntü olarak algılanır. Yapılandırılmış desen, taranmakta olan yüzeye yansıtıldığında deforme olmuş gibi görünür. Deforme olan çizgi genişlikleri, yüzey noktalarını ve bu yüzey noktalarının birbirleriyle ilişkisini hesaplamak için yeterli bilgi sağlar [20].

7. POLİMERLER VE ELASTOMERLER

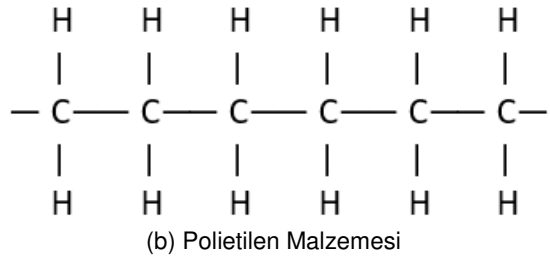
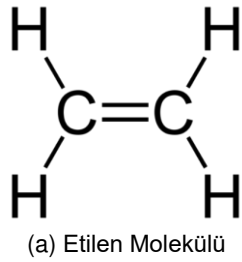
7.1. Polimerler

Basit ve küçük yapıdaki bir kimyasal birimin tekrarlı birleşiminden oluşan büyük moleküllere polimer denmektedir. Polimerin yapısında tekrarlayan küçük birim, tek bir atom olabileceği gibi atom grubu da olabilir [47]. En basit anlamda atomun tekrarlayarak oluşturduğu polimer malzemesi Şekil 7.1’de verilmiştir. Bu konumdaki sülfürün fiziksel özellikleri, kristalin veya kaya durumundaki sülfürden tamamen farklı olup kauçuksu polimerin tüm özelliklerini göstermektedir. Elde edilen bu malzeme yumuşak, elastik ve yarı şeffaf bir malzeme olmaktadır.



Şekil 7.1. Sülfür Atomunun Polimer Yapısını Oluşturması

Polimerlerin birçoğu atomdan ziyade, atom gruplarının uygun bir biçimde tekrar ederek birleşmesiyle oluşur. Kimyasal özellikleri bakımından bunun için verilecek en basit örnek, polietilen malzemesidir. Etilen molekülünün tekrarlı bir biçimde birbirine bağlanması ile polietilen malzemesi elde edilir. Bunun için öncelikle, Şekil 7.2 (a)’da verilen etilen molekülü arasındaki çift bağ uygun bir katalizör aracılığı ile açılır. Karbon atomları arasındaki çift bağların açılması ve bunun yerine tek bağ oluşması ile beraber dıştaki bağlar diğer komşu bağlarla birleşerek Şekil 7.2 (b)’deki polietilen malzemesini oluştururlar [47].



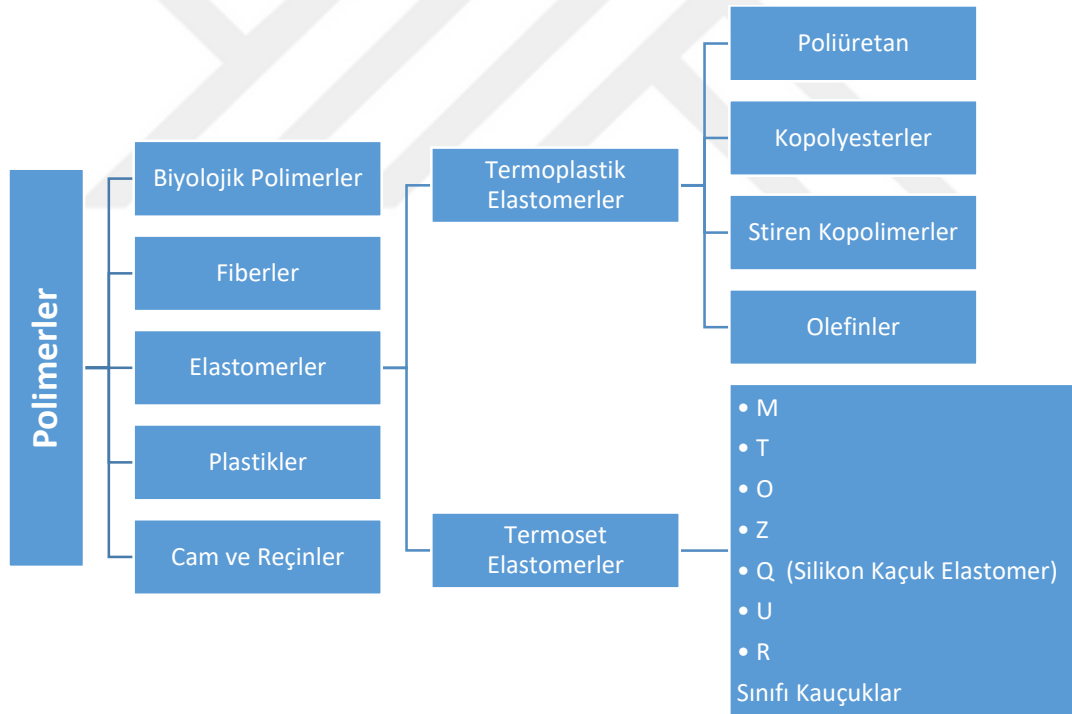
Şekil 7.2. Etilen Molekülü ve Polietilen Malzemesi

Şekil 7.2 (b)’de de görüldüğü üzere polimer molekülü içerisinde tekrarlı şekilde bağlanan basit ve küçük yapıdaki kimyasal birimlere tekrarlayan birim denir. Polimeri elde etmek için başlangıçta kullanılan küçük molekülü maddelere de monomer denir. Şekil 7.2 (b)’de görüldüğü

gibi etilen monomeri iki adet CH_2 'nin birleşmesiyle elde edilmekte ve monomerin tekrarlayan birim ile aynı olmadığı görülmektedir.

7.2. Elastomerler

Çekildiklerinde yüksek oranda uzayan ve çekme kuvveti kaldırıldığında kalıcı boyut değişimi gözlenmeden hızla ilk boyutlarına dönebilen polimerlere elastomer adı verilir. Elastiksi özelliğe sahip olan elastomerlerin, sahip olduğu bu özellik, yapısını oluşturan polimer zincirindeki düşük ve düzensiz çapraz bağ yoğunluğuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yönüyle bir elastomer, yüksek oranda uzayabilme özelliğine sahip olabilmektedir. Elastomerin çekme yükü altında uzaması ve uzama sonrası kalıcı deformasyona uğramadan eski haline dönmesi sahip olduğu çapraz-bağlar tarafından sağlanmaktadır [48]. Farklı türleri olan elastomerler kimyasal olarak polimer türevli malzemelerdir. Elastomerlerin polimer ile olan ilişkisini gösteren diyagram Şekil 7.3'de verilmiştir.



Şekil 7.3. Polimer ve Elastomer İlişkisi [47]

Şekil 7.3'de görüldüğü gibi elastomerler, Termoplastik Elastomer (TPE) ve Termoset Elastomerler olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. Elastomerler çekme, sıkıştırma gibi fiziksel etkiler sonucunda tekrar eski haline dönen kauçuk veya kauçuksu malzemelerin tipik özelliklerini taşımaktadırlar. Bu

yönüyle elastomerler, kauçuk malzemelerin farklı koşullar altındaki tipik davranışları ile ifade edilmektedir.

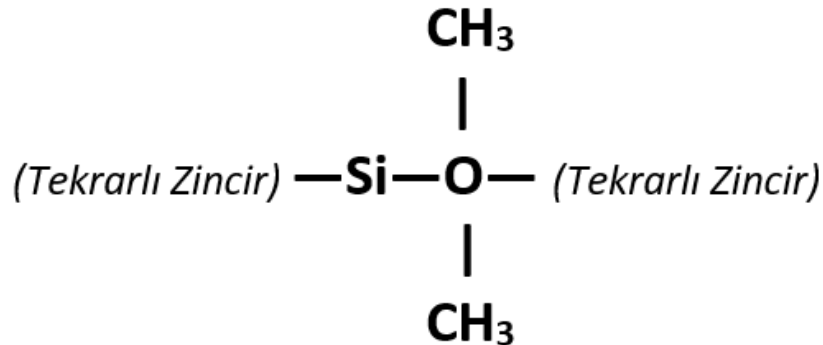
7.2.1. Termoplastik Elastomerler

Termoplastik elastomerler (TPE'ler), kauçuğun elastik davranışına ve termoplastiklerin işlenebilirliğine sahip olan kauçuksu polimer malzemedir. Termoplastik elastomerler erime sıcaklığının altında kauçuk malzeme olarak işlev görebilir. Ayrıca, erime sıcaklığının üzerinde ısıtıldıklarında yeniden işleme yeteneğine de sahiptirler [49]. Bu yönüyle termoplastik elastomerler belli sıcaklık değerlerinden sonra elastomerik özelliklerini yitirmektedirler. Termoplastik elastomerler termoplastik üretim yöntemleri ile vulkanizasyon (kürleme) işlemine gerek duyulmadan üretilirler [50].

7.2.2. Termoset Elastomerler

Doğal veya sentetik Kauçuğun vulkanizasyon (kürleme) işlemine tabi tutulması ile elde edilen polimer malzemelerdir. İlk zamanlarda termoplastik elastomerin tipik özelliklerini gösteren kauçuk türü malzemeler 1839 yılında Charles Goodyear'ın vulkanizasyon tekniğini keşfetmesinden sonra termoset elastomerler olarak ortaya çıkmıştır [50].

Yaygın kullanım alanına sahip silikon kauçuk türündeki elastomerler termoset elastomer sınıfında yer almaktadır. Silikon kauçuk yarı organik sentetik bir yapıya sahip olup, polimer omurga yapısı, diğer kauçuk türlerinin sahip olduğu karbon ve hidrojen atomlarından farklı olarak silikon ve oksijen atomları zincirinden oluşur. Silikon kauçuğun moleküler yapısı çok esnektir fakat zayıf bir zincir yapısına sahiptir. Ayrıca silikon kauçuklar düşük ve yüksek sıcaklıklarda çok kararlıdır [51]. Silikon kauçuğu oluşturan tekrarlı molekül yapısı Şekil 7.4'de verilmiştir.

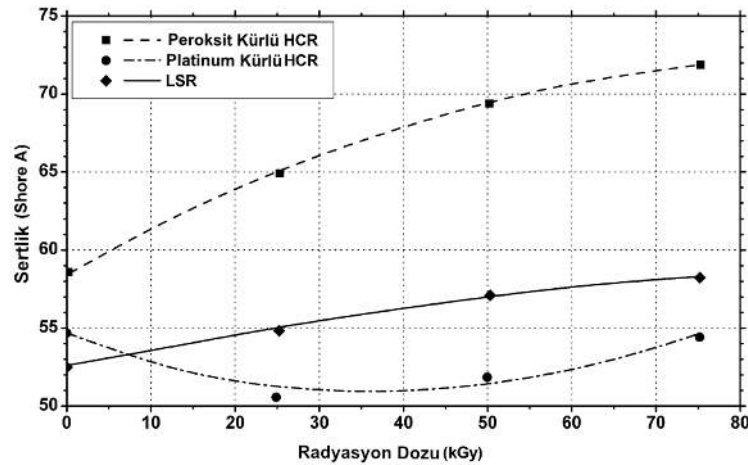


Şekil 7.4. Silikon Kauçuk Molekülü

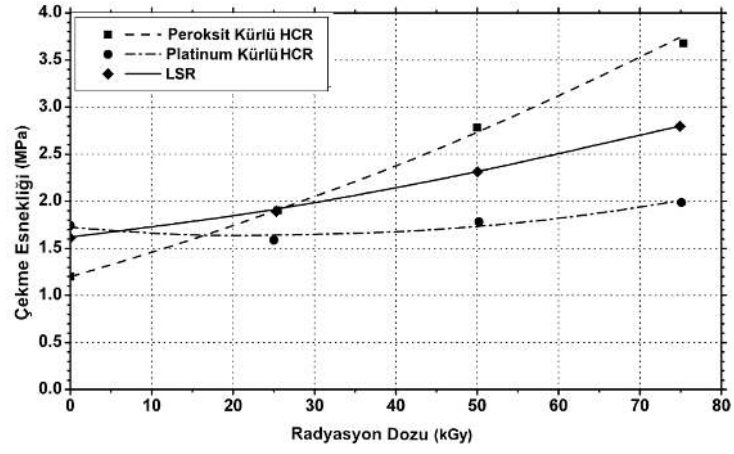
Farklı literatür kaynaklarında kürleme olarak da anılan vulkanizasyon, plastik kauçuğun elastik kauçuğa veya sert kauçuğa dönüştürülmesi işlemidir. Vulkanizasyon ajanları, kauçuk moleküllerinde çapraz bağlama sürecini meydana getiren maddelerdir. Kauçuğun sertlik, elastiklik gibi özellikleri vulkanizasyon işlemiyle önemli ölçüde değiştirilir. Değişikliklerin kapsamı, vulkanizasyon sürecini gerçekleştirmek için kauçuğa eklenen vulkanizasyon bileşenlerinin seçimi ve ayrıca vulkanizasyon koşullarına bağlıdır. Bunun yanında çekme mukavemeti, düşük sıcaklık esnekliği ve elektrik direnci gibi diğer özellikler, vulkanizasyon ile daha az değişir. Mümkün olan en iyi özellikte kauçuk ürünleri elde etmek için, her zaman için en uygun vulkanizasyon bileşen kombinasyonunu ve ortam koşullarını belirlemek gereklidir [52].

Vulkanizasyonda peroksit, kükürt ve platinyum gibi farklı vulkanizasyon ajanları kullanılmaktadır. Örneğin peroksit kürlemede, oluşan çapraz bağlar nispeten daha sert ve dayanıklı formda bir kauçuk oluştururken, Platin kürlemedeki çapraz bağlar ise daha az dayanıklı ve esnek bir kauçuk elde edilmesini sağlar.

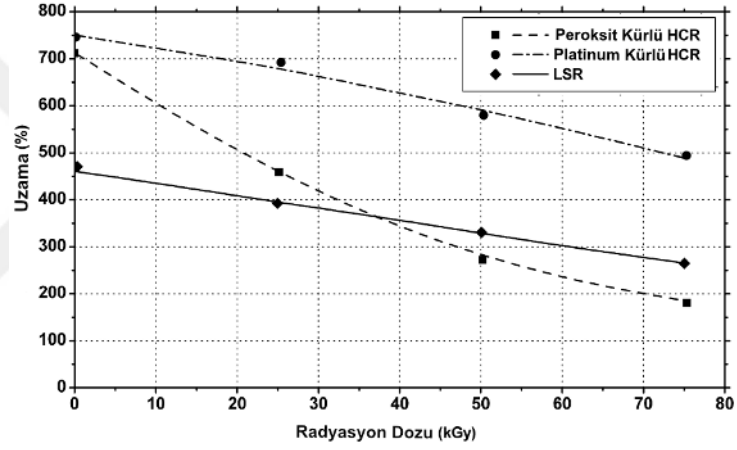
McKenn, gama radyasyonu kullanarak değişik türdeki silikon kauçuklar üzerinde sertlik, çekme esnekliği, uzama, çekme direnci, yırtılma mukavemeti gibi ölçüm çalışmaları yapmıştır. Deneyde; Platin ile kürlenmiş sıvı silikon kauçuk (LSR), Platin ile kürlenmiş yüksek kıvamlı kauçuk (Platinum Kürü HCR), Peroksit ile kürlenmiş yüksek kıvamlı kauçuk (Peroksit Kürü HCR) numune olarak kullanılmıştır. Numunelerin Shore-A cinsinden sertliğini ifade eden deneysel sonuçlar Şekil 7.5’de; Esnekliklerini ifade deneysel sonuçlar Şekil 7.6’da; uzama miktarlarını ifade eden deneysel sonuçlar Şekil 7.7’de; maksimum gerilme durumunu ifade eden deneysel sonuçlar Şekil 7.8’de ve yırtılma dayanıklılığını ifade eden deneysel sonuçlar ise Şekil 7.9’da verilmiştir [51]. Grafikte bahsi geçen radyasyon dozu, radyasyon partiküllerinin ortama bıraktığı enerjinin, birim kütle başına değerini ifade eden bir büyüklük olup, parçacık transferi neticesinde ortamdaki fiziksel değişimleri ya da tahribatı ölçmek için kullanılır.



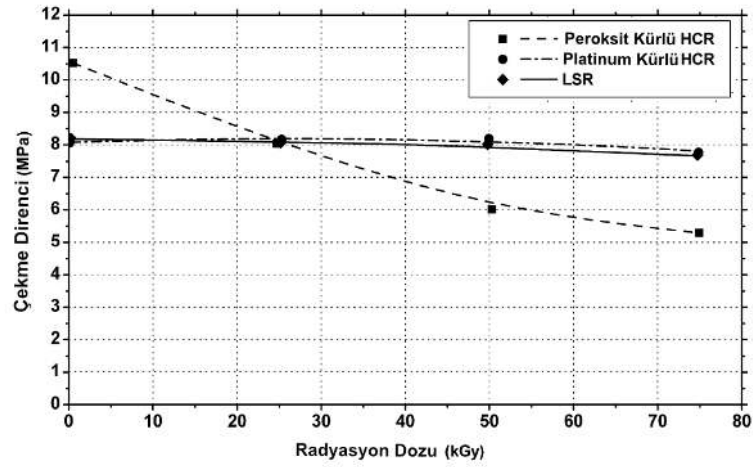
Şekil 7.5. Numunelere Ait Shore-A Sertlik Değerleri



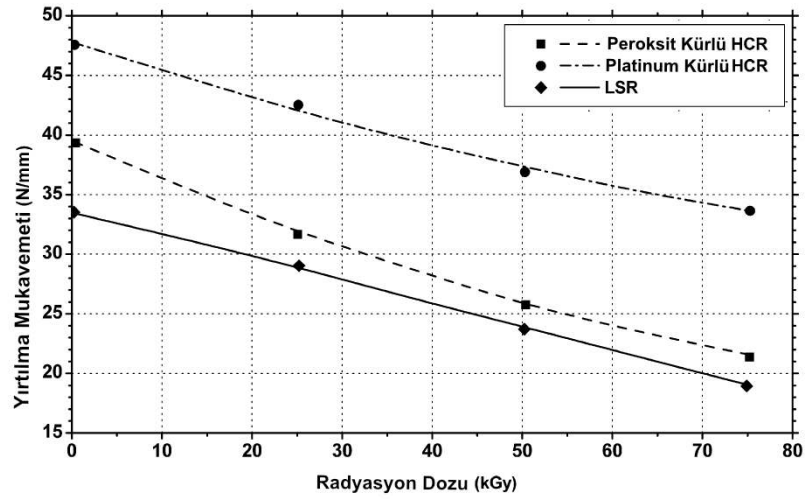
Şekil 7.6. Numunelere Ait Esneklik Değerleri



Şekil 7.7. Numunelerin Uzama miktarları

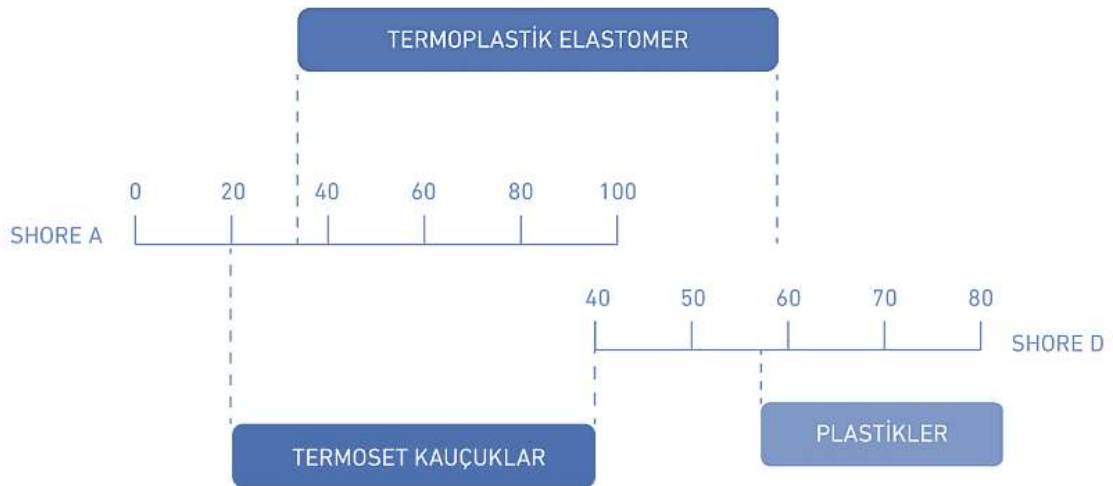


Şekil 7.8. Numunelere Ait Maksimum Gerilme Direnci



Şekil 7.9. Numunelerin Yırtılma Dayanıklılığı

Termoset kauçuklar ve termoplastik elastomerin sertlik değerlerini ifade eden shore-A cinsinden değer aralıkları incelendiğinde genel olarak termoset kauçukların, termoplastik elastomere göre daha düşük Shore-A değerlerine ulaşarak daya yumuşak bir yapıda olduğunu gösteren skala  ekil 7.10'daki görselde verilmiştir.



Şekil 7.10. Termoset Kauçuk ve Termoplastik Elastomerlerin Shore Cinsinden Sertlik Aralıkları [53].

8. DERİN ÖĞRENME

Derin öğrenme, yapay zekâ içerisinde yer alan makine öğrenmesinin bir alt dalıdır. Derin öğrenmede sinir ağı mimarileri içerisinde birden fazla katman tanımlıdır ve her katman, önceki katmandaki çıktıyı girdi olarak alır işler ve bir sonraki katmana aktarır [54]. Derin öğrenme ağı mimarisi içerisinde büyük verilerle birden çok katman üzerinde çalışıldığı için işlem kapasitesi yüksek olan RAM, CPU ve GPU gibi donanım ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bundan ötürü bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak derin öğrenme teknolojisinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle GPU teknolojisindeki gelişmeler ve bu teknolojinin derin öğrenme sinir ağı mimarisi içerisinde kullanılması derin öğrenmenin işlem kapasitesini arttırmıştır. Bu durum, makine öğrenmesi teknolojisine nesne tanıma, ses analizi, metin analizi gibi yeni yeteneklerin kazandırılmasına olanak sağlamıştır [55].

Derin öğrenme içerisinde sınıflandırma işlemi yapılırken, gözetimli öğrenme (Supervised), gözetimsiz öğrenme (Unsupervised) ve takviyeli (Reinforcement) olmak üzere 3 tür öğrenme yapısı vardır. Gözetimli öğrenmede sinir ağına giriş verisi karşılığında çıkışın ne olacağı bilgisi verilir. Giriş ve çıkış verisi arasındaki ilişki, başlangıç ağırlık verilerinin oluşturulması ve bu ağırlıkların güncellenmesine dayalıdır. Belirlenen iterasyon sayısı kadar ağırlıkların güncellenmesi işlemi devam ederek öğrenme işlemi gerçekleşir. Gözetimsiz öğrenmede ise giriş verisine bağlı bir çıkış verisi verilmeden giriş verileri ağına girişine uygulanır. Giriş verisine bağlı olarak oluşan çıkış verilerinden benzer değerlere sahip olan sonuçlar bir sınıfa aktarılır [56]. Takviyeli öğrenme ise sistemin durumlar karşısında nasıl davranması gerektiğini teşvik yöntemiyle öğreten bir öğretme yöntemidir. Bu yöntemde giriş verisine karşılık olması gereken çıkış verisi sisteme ödül sinyali ile iletilir ve sistem aldığı ödül sinyalini maksimize etmek için giriş verisine bağlı en uygun çıkış verisini bulmaya çalışır [57].

Derin öğrenme içerisinde Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network- ANN), Evrimsel Sinir Ağları (Convolution Neural Network-CNN) ve Yinelemeli Sinir Ağları (Recurrent Neural Network-RNN) olmak üzere tanımlı 3 adet sinir ağı mimarisi vardır.

8.1. Derin Öğrenmenin Tarihçesi

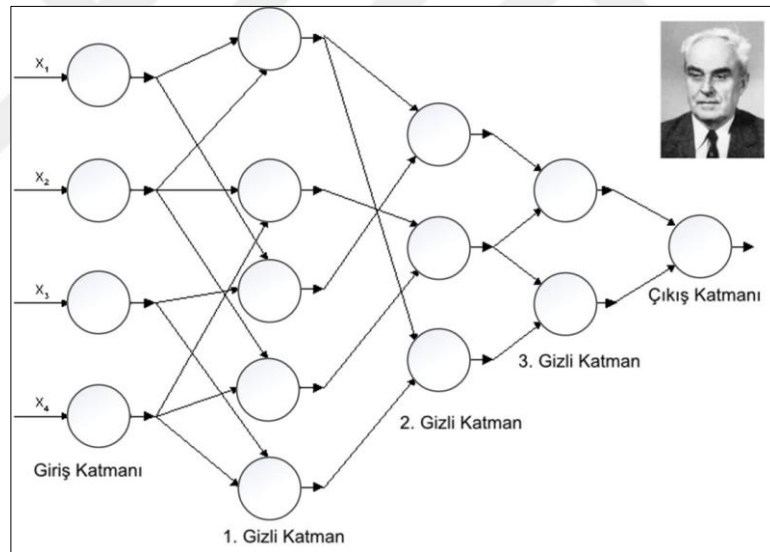
1943 yılında Walter Pitts ve Warren McCulloch'un insan beyninden esinlenerek sinir ağlarına dayalı bir bilgisayar modeli oluşturmasıyla beraber derin öğrenmenin temellerini oluşturan gelişimsel süreç başlamıştır. Bu model ile insan düşünce süreçlerini taklit etmek için “eşik mantığı” olarak adlandırdıkları bir matematik ve algoritma kombinasyonu önerdiler [58].

1950 yılına gelindiğinde bir İngiliz matematikçisi olan Turing, “Bilgisayar Makineleri ve Zekâ” adlı makalesinde, içerisinde genetik algoritma mantığının kullanıldığı bir makineyi

önermişti. Bilgisayarın düşünebilme yetisini test etmeye yarayan “Turing Testinden” de bu makalesinde bahsetti ve Turing, bunu “Taklit Oyunu” (The Imitation Game) olarak tanımlıyordu [58].

1959'da Arthur Samuel IBM'de makine öğrenmesi üzerine çalışma yaptı ve yaptığı bu çalışmada ilk olarak “Makine Öğrenimi” terimini kullandı. Samuel, Makine Öğrenimi terimini Yapay Zekâ sistemlerinde “öğrenme” bileşenini sağlayan örüntü tanıma görevlerini tanımlamak için kullandı [59].

1965 yılında, derin beslemeye sahip çok katmanlı algılayıcılar için ilk genel ve denetimli öğrenme algoritması Ivakhnenko ve Lapa tarafından yayınlanmıştır [60]. Çalışmanın mantığı, her katmanda, en iyi özelliklerin istatistiksel metotlarla seçilerek bir sonraki katmana iletilmesine dayanmaktadır. Sinir ağının çıkış katmanından, giriş katmanına doğru eğitilmesi için kullanılan geri yayılım algoritması (backpropagation) yerine önceki katmanlardan sonraki katmanlara en küçük kareler yöntemi kullanılarak eğitim gerçekleştirilmiştir. Ivakhnenko'nun derin ağ mimarisi Şekil 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1. Ivakhnenko'nun derin ağ mimarisi

1979'da İlk "evrişimli sinir ağları" (CNN) Kunihiro Fukushima tarafından kullanıldı. Fukushima, çoklu havuzlama ve evrişim katmanlarıyla sinir ağları tasarlayarak hiyerarşik biçimde çok katmanlı bir yapay sinir ağı tasarımı kullandı ve bu tasarıma Neocognitron ismini verdi. Bu tasarım, öğrenerek bilgisayarın görsel öğeleri tanımasına olanak sağladı [61].

1982'de Hopfield, içerik adreslenebilir bir bellek sistemi olarak hizmet veren tekrarlayan bir sinir ağı olan ve kendi adını taşıyan Hopfield Ağları sistemini oluşturdu. Bu sistem popüler hale gelerek 21. yüzyılda derin öğrenme için halen bir uygulama aracı olarak kullanılmaktadır [62].

1987'de Sejnowski, İngilizce metni konuşmaya dönüştürmeyi öğrenen ve büyük ölçüde paralel ağ sistemlerinin bir sınıfı olan NETtalk'ı geliştirdi [63]. NETtalk'ın performansı, gözlemlenen insan performansı ile bazı benzerliklere sahipti.

1993 yılında Alman bilgisayar bilimcisi Schmidhuber, çevre tarafından ortaya konan problemleri çözmeyi öğrenmenin yanı sıra, kendi ağırlıklarını girdi verisi olarak kullanabilen ve çevreye tepki olarak kendi ağırlıklarını değiştirmek için yeni algoritmalar öğrenebilen yeni bir tekrarlayan sinir ağı sundu [64].

1997'de Tekrarlayan bir sinir ağı çerçevesi olan, uzun kısa süreli bellek (LSTM) Schmidhuber ve Hochreiter tarafından önerildi [65]. LSTM'in ortaya konduğu yıllardaki bilgisayar teknolojisi verinin hesaplama maliyetini karşılamada yetersiz kalmasından ötürü yaygın olarak kullanılamamıştır. Günümüzde LSTM, zaman serisi verilerine dayanarak sınıflandırma yapmada, tahminler yapmada oldukça başarılı sayılmaktadır.

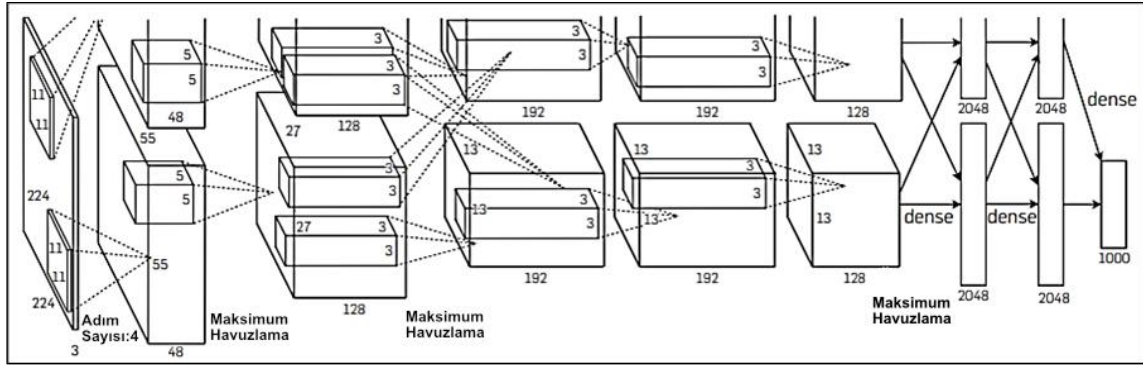
1998'de Yann LeCun ve arkadaşları geri yayılım algoritmasıyla birleştirilmiş gradyan tabanlı öğrenmeyi (Gradient-Based Learning) tanıttı [66]. Bu öğrenme tekniği, minimum hesaplama maliyeti ile el yazısı karakterleri gibi yüksek boyutlu modelleri başarıyla sınıflandırabildi. Bu öğrenme tekniği daha sonra derin öğrenme alanında ilerlemeye katkı sağlayan bir buluş oldu.

2000 yılında, Igor Aizenberg ve arkadaşları tarafından birden çok değere sahip eşik fonksiyonları (k-valued) ile yapay sinir ağları (YSA) yeniden yapılandırılarak boole eşik mantığının derin bir matematiksel modellemesi YSA'ya uygulandı [67]. Böylelikle derin öğrenme yaklaşımı ortaya atılmış oldu.

2000 yılı sonrası bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle beraber derin öğrenmenin gelişimsel süreci de hızlanmıştır. 2006'da Hinton, çok katmanlı ileri beslemeye sahip bir sinir ağının her iterasyon için ayrı bir katmanı eğitebilecek biçimde bir yöntem geliştirmiştir. Hinton, geri yayılım metodu ile sinir ağı üzerinde nasıl ince ayar yapabileceğini ortaya koymuştur [68].

2009 yılında Stanford Üniversitesinden Profesör Li ve arkadaşları sinir ağlarını eğitmek için büyük ölçekli hiyerarşik etiketli görüntülerden oluşan ImageNET veritabanını tanıttılar [69].

2012 yılında Krizhevsky ve arkadaşları bir evrişimli sinir ağı olan AlexNet'i tanıttılar. AlexNET, ILSVRC-2012 uluslararası derin öğrenme yarışmasını kazandı [70]. AlexNet, ImageNet gibi büyük veri kümesi için ilk başarılı evrişimli sinir ağı (CNN) uygulamasıydı. Ayrıca AlexNET derin öğrenmeyi hızlandırmak için evrişimli sinir ağlarını ve grafik işlem birimini (GPU) kullanarak derin öğrenme tekniği için yeni bir anlayışın da öncülüğünü yapmıştır. AlexNET'e ait mimari Şekil 8.2'deki görselde verilmiştir.



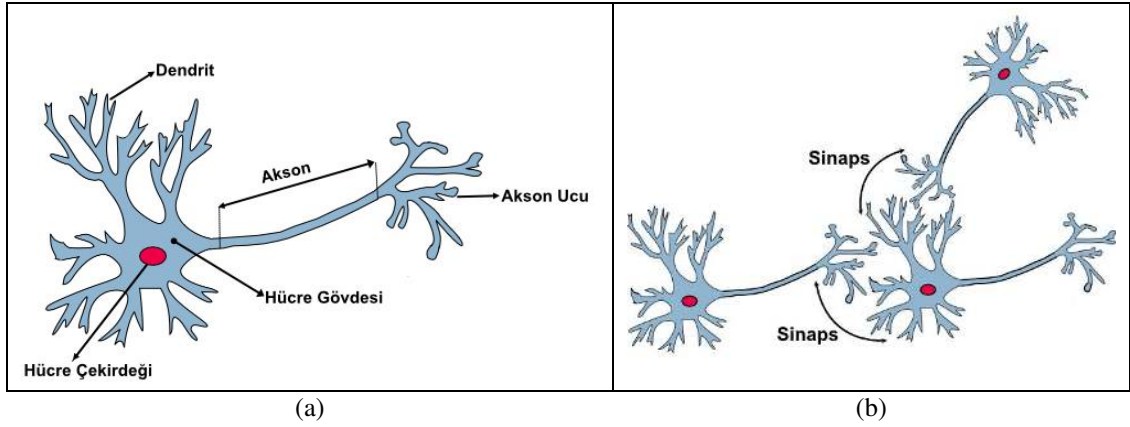
Şekil 8.2. ILSVRC-2012 Yarışmasında Kullanılan AlexNET Mimarisi

2012'nin derin öğrenme teknolojisi için milat olmasıyla beraber, 2012-2022 yılları arasında ZFNet, VGGNET, GoogLeNET/Inception, ResNET, ResNext, DenseNET, EfficientNet, SqueezeNet ve MobileNET gibi farklı derin öğrenme mimarileri önerilmiştir. Bunun yanında derin öğrenme tabanlı YoLo, Faster R-CNN, SSD, RetinaNet gibi nesne tanıma algoritmaları günümüzde halâ yaygın olarak kullanılmaktadır.

8.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi, biyolojik sinir ağının yapısının ve işlevinin model alındığı bir mimaridir. YSA üzerindeki çalışmalar beynin temel ünitelerinden olan nöronların bilgisayar sistemlerine uygun şekilde modellenmesi ve uygulanması ile başlamıştır. YSA’da nöronlar ağ biçiminde birbirine bağlıdır ve buradaki her bağlantı, girdisinin baskınlığını ve önemini ifade eden bir sayısal ağırlığa sahiptir. Bu ağırlıklar YSA’nın uzun süreli belleği olma görevini üstlenir ve bir sinir ağı, ağırlıkların tekrarlı bir şekilde ayarlanması yoluyla öğrenmeyi sağlar. YSA, harici verileri almak için bir giriş katmanından, girişe bağlı sistem tahminini sağlayan bir çıktı katmanından ve gizli katmanlardan oluşmaktadır [71].

Nöron yapısı ve sinaps durumuna ait görsel, Şekil 8.3’de verilmiştir. Bir beyindeki biyolojik sinir ağı, Şekil 8.3 (a) ’daki nöron adı verilen sinir hücrelerinin, Şekil 8.3 (b) ’deki gibi birbirine “sinaps” adı verilen bağlantılı bir yapı oluşturması ile meydana gelmektedir. Şekil 8.3 (a) ’daki görselde verilen nöronun çekirdeğini içeren nöronun hücre gövdesi, nöral hesaplamanın çoğunun gerçekleştiği yerdir. Bir sinir hücresindeki uyarı adı verilen sinirsel sinyaller akson uçlarından bir diğer sinir hücresinin dendritine ve oradan nöral hesaplama için hücre gövdesine iletilip yorumlanarak bu sinyallerden bir çıktı üretilir. Üretilen çıktılar sinir hücresinin aksonundan geçerek, bir sonraki sinir hücresinin dendritlerine iletmek üzere, akson uçlarına gönderilir. Bu işlem, sinir hücrelerinden oluşmuş ağ biçimindeki bir yapı üzerinden sinyalin işlem görerek ilerlemesi şeklinde devam eder ve en son sinyal nihai bir çıktı ile beyin tarafından anlamlandırılır.

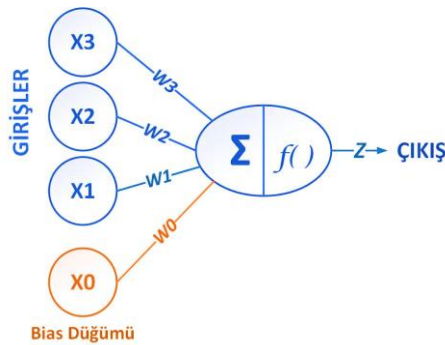


Şekil 8.3. Nöron Yapısı ve Sinaps Durumu

Şekil 8.3 (b)'de de görüldüğü üzere belirli bir nöron birden çok sinapsa sahip olabilmektedir. Bu durum, bir nöronun birden çok başka nörona bağlanabileceğini ve sinyali iletebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, her nöronda çok sayıda dendrit bulunduğu için, tek bir nöron diğer birçok nörona sinyal alabilir [71].

Sinaps bağlantılarında tüm ara bağlantılar sinyal iletiminde eşit ağırlığa sahip değildir. Bu bağlantıların bazıları diğer bağlantılardan daha yüksek önceliğe, yani daha yüksek bir ağırlığa sahip olduğu gibi bu bağlantıların bazıları ise bir sinyalin iletimini engellemekle de görevli olabilir. Biyolojik sinir ağı içerisindeki sinyal iletiminde nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlığı, YSA için de esin kaynağıdır [71].

YSA'daki temel mantık, diğer nöronlardan gelen girdileri, belirli hesaplamalar sonrasında tek çıktı olarak dışarı vermesidir. Nörona girdi olarak verilen verilerin, nöron tarafından önemli bir veri olarak kabul edilip bir değer olarak dışarı verilip verilmeyeceği bu girdilerin ağırlıklandırılmasına bağlı olarak transfer fonksiyonu ile sağlanır. Bu sayede nöronu, girdileri alan, işleyen ve ardından bir çıktı olarak ileten küçük bir bilgi işlem birimi olarak düşünebiliriz. Ağırlıklı girdilere ve buna karşılık bir transfer fonksiyonuna sahip yapay nöron Şekil 8.4'te verilmiştir.



Şekil 8.4. YSA'da ağırlıklı girdiler ve gömülü transfer fonksiyonu ile bir nöron modeli

Burada X1, X2, X3 Giriş değerlerini temsil ederken, X0 bias çarpanını temsil eder ve sabit 1 değerini alır. W1, W2, W3 ise giriş ağırlık değerlerini temsil ederken W0 bias değeri olarak kabul edilir. Denklemde “f” transfer fonksiyonu olarak görev yapmaktadır ve bu fonksiyon, nörona gelen bilginin bir sonraki nörona iletilip ileilmeyeceğine karar veren birimdir. Burada bir önceki nöronun çıkışı bir sonraki nöron için giriş verisi olarak kabul edilmektedir. YSA’da genelde transfer fonksiyonu olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılır. Buna göre Şekil 8.4’de verilen nöron modeline bağlı “z” çıkış formülü Denklem 8.1’de verilmiştir [72].

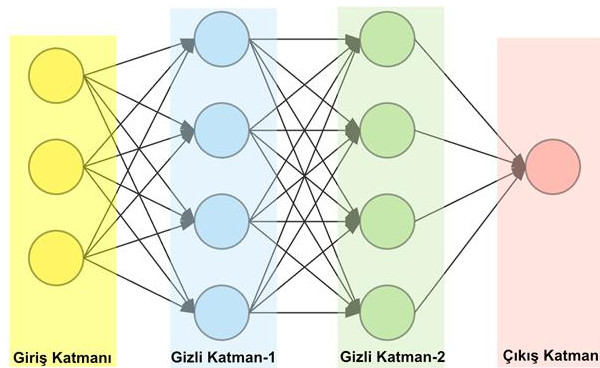
$$z = f\left(\sum_{i=0}^3 w_i x_i\right) \quad (8.1)$$

Sigmoid fonksiyonuna bağlı z çıkış fonksiyonunun genişletilmiş formülü, Denklem 8.2’de verilmiştir.

$$z = \frac{1}{1 + e^{-(\sum_i w_i x_i + w_0)}} \quad (8.2)$$

Burada i nöron girişlerine ait indeks değeri, x_i nörona ait i indeksli giriş, w_i o girişe uygulanan ağırlık faktörü ve w_0 nörona ait bias değeridir.

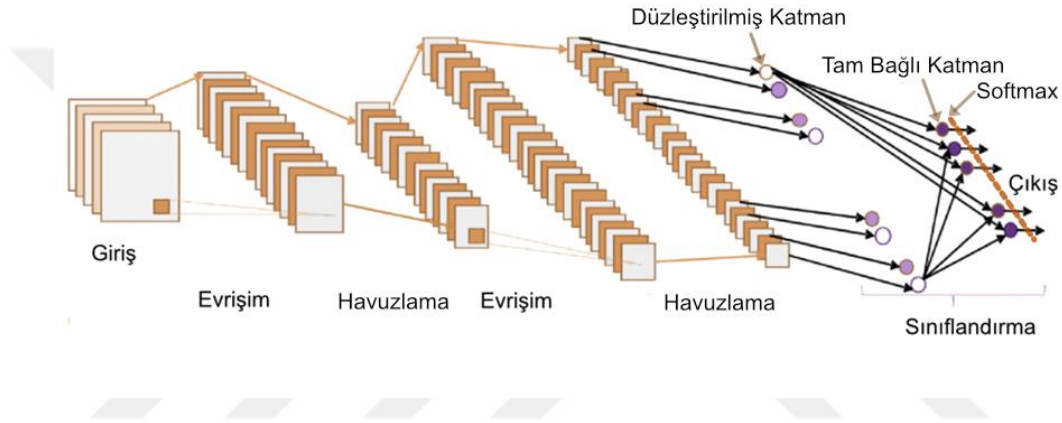
YSA birçok nöronun katmanlar halinde dizildiği bir yapıya sahiptir. Bir YSA’da giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı bulunmaktadır. Klasik bir YSA’da tek gizli katman bulunabildiği gibi bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile beraber birden çok gizli katmanın uygulandığı yapay sinir ağları da var olmakla beraber, bu tarz YSA’lar genel anlamda derin öğrenmenin çalışma alanına girmektedir. 2 adet gizli katman içeren YSA’ya ait sinir ağı modeli Şekil 8.5’de verilmiştir.



Şekil 8.5. Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network -ANN) Modeli

8.3. Evrişimli Sinir Ağları

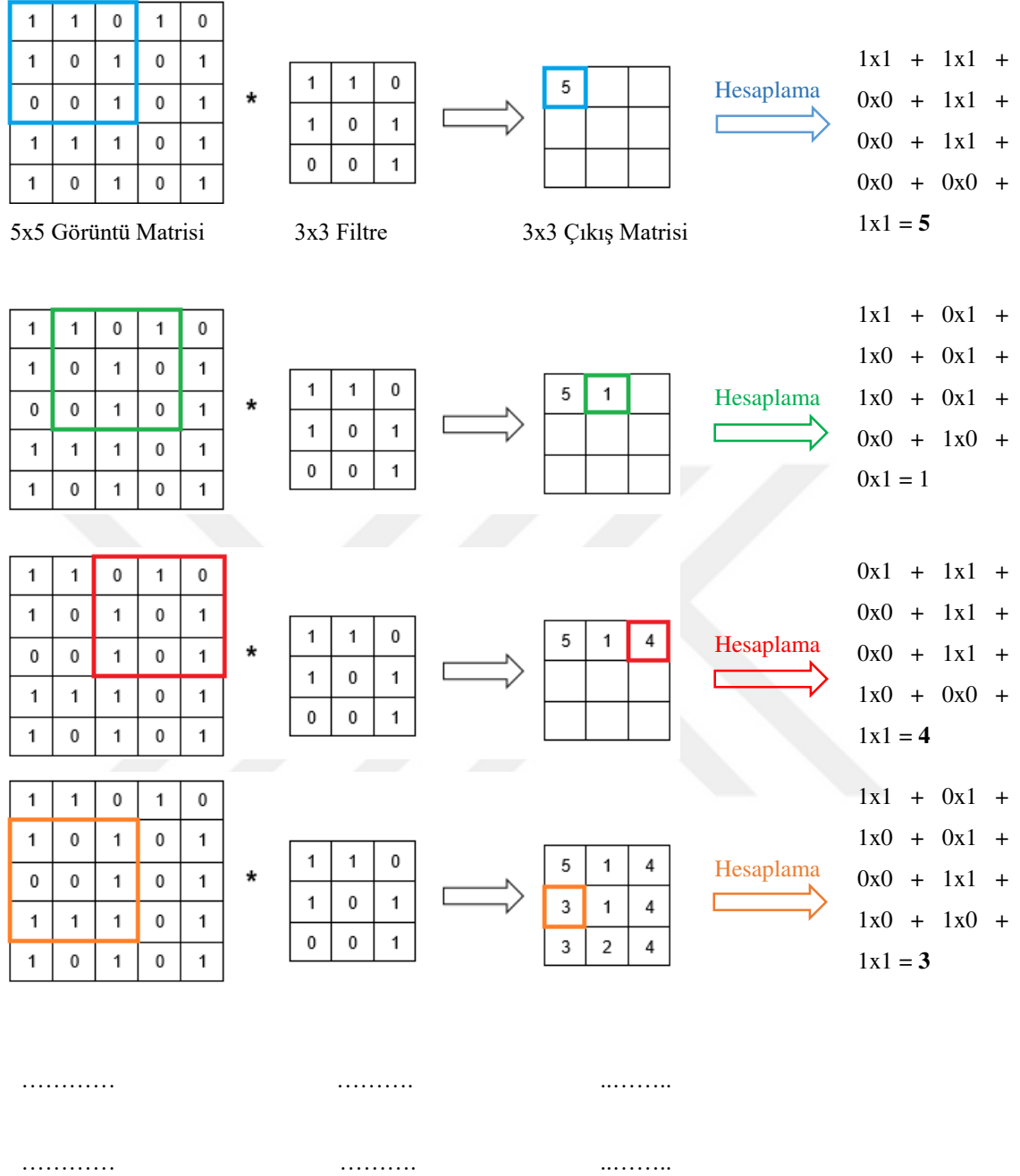
Derin öğrenmenin bir alt dalı olan Evrişimsel Sinir Ağı (ESA), sınıflandırılmış görüntülerle eğitilmiş bir sinir ağına giriş olarak verilen görüntünün hangi sınıfa ait olduğunu tahmin etmeye yönelik geliştirilmiş, matris tabanlı, bir derin sinir ağı algoritmasıdır. ESA genelde görsel veriler üzerinde uygulanan bir sinir ağı algoritmasıdır [73]. ESA’da sınıflandırma katmanına kadar olan kısım evrişim katmanı olarak adlandırılmaktadır. Sınıflandırma katmanı yapay sinir ağı modeline uygun olarak nöronlardan oluşmaktadır. ESA mimarisinin Giriş, evrişim, havuzlama, sınıflandırma ve çıkış katmanını içeren örnek Şekil 8.6’de verilmiştir [74].



Şekil 8.6. Evrişimli Sinir Ağı Mimarisi

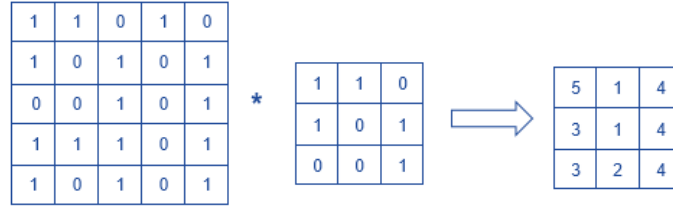
8.3.1. Evrişim Katmanı

ESA’da sisteme giriş verilerinin aktarıldığı ilk kısma giriş katmanı denmektedir. Giriş olarak verilen görüntü verisinin matris formuna dönüştürülmesi ve her katman içerisinde ağırlık değerlerini içeren matris formundaki filtrelerle evrişim işlemine tabi tutulması sonucunda eğitim işlemi gerçekleşmektedir. Filtrelerle evrişim işleminin gerçekleştiği ara katmanlara evrişim (konvolüsyon) katmanı denmektedir. Filtre matrisinin, görüntü verisine ait matris üzerinde yatay ve dikey yönde adım sayısı kadar hareket etmesi ile evrişim işlemi gerçekleşmektedir. Evrişim işleminde filtre matrisinin ağırlık değerleri ile görüntü matrisi üzerinde karşılık gelen piksel değerleri çarpılır, elde edilen çarpım değerleri toplanarak elde edilen değer, oluşturulacak yeni matrisin ilgili hücrelerine yazılır. Bu yolla oluşan her matris, birbirine bağlı sıralı katmanları meydana getirmektedir [75]. Örnek olarak, 5x5 görüntü matrisindeki piksel değerlerine rasgele 0-1 değerleri verilerek evrişim işlemi tanımlanmıştır ve bu işleme ait görsel Şekil 8.7’de verilmiştir. 3 kanallı bir görüntü matrisindeki pikseller 0-255 arasında değerler alabilmektedir.



Şekil 8.7. 5x5 Görüntü Matrisine 3x3 Filtre ile Evrişim Uygulanması

Şekil 8.7'deki 5x5 görüntü matrisi ile 3x3 filtre matrisi arasındaki * işareti evrişim işlemini temsil etmektedir. Evrişim işleminde filtre matrisi, görüntü matrisi üzerinde 1'er adım kayarak işlem yapmaktadır. Adım sayısı, gerek duyulduğu durumlarda değiştirilebilmektedir. Evrişim işleminin görüntü matrisinin tamamına uygulandıktan sonra çıkış matrisinin durumu Şekil 8.8'de verilmiştir.

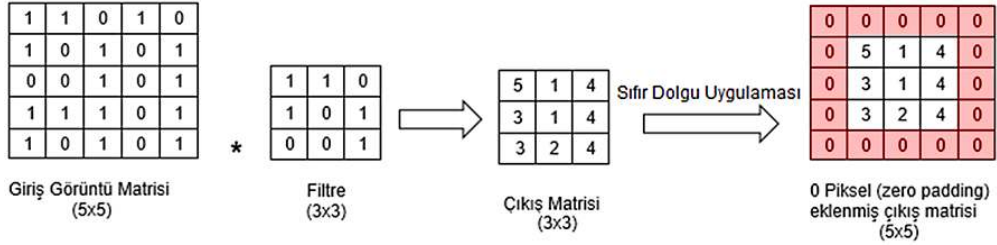


Şekil 8.8. Görüntü Matrisine Evrişim Uygulandıktan Sonraki Durum

Sıfır Dolgu (Zero Padding)

Evrişim sonrası orijinal görüntünün matris olarak ifade edilen boyutu azalmaktadır. Bu yüzden orijinal giriş boyutunun korunması için matrise sıfır dolgu uygulanmaktadır. Sıfır dolguda çıkış matrisinin etrafı sıfırlardan oluşan çerçevelerle kaplanarak orijinal matrisin boyutuna getirilir [76].

Şekil 8.8'deki 5x5 görüntü matrisine karşılık çıkış matrisi 3x3 boyutunda olduğundan aradaki boyut farkının giderilmesi için sıfır dolgu işlemi uygulanmaktadır. 3x3 çıkış matrisinin etrafı sıfırlarla doldurularak aradaki boyut farkı ortadan kaldırılmış olur. 3x3 çıkış matrisine sıfır piksel (zero padding) uygulanması Şekil 8.9'da verilmiştir.



Şekil 8.9. 3x3 Çıkış Matrisine Zero Padding Uygulanması

8.3.2. Havuzlama (Pooling) Katmanı

ESA içerisinde çok büyük boyuttaki matrislerin derinliğini etkilemeden yükseklik ve genişliğe bağlı boyutunu aşağı çekip parametre hesaplama maliyetini azaltmak amacıyla havuzlama (pooling) işlemleri gerçekleştirilir. ESA'da havuzlama işlemini uygulamamızdaki amaç hem bir sonraki katmanlar için hesaplama yükünü azaltmak, hem de sistemin ezberlemesinin önüne geçmektedir. Ezberlemedeki kasıt, sistemin eğitim sırasında iyi tahminler üretmesine rağmen, test aşamasında aynı başarıyı gösterememesidir. Evrişim işlemi gibi, havuzlama katmanında da belli filtreler tanımlanmaktadır. Bu filtreler görüntü matrisi üzerinde belli bir adım sayısına göre adım adım gezdirilerek, maksimum havuzlama ile piksellerin maksimum değerleri veya ortalama havuzlama ile piksellerin ortalama değerleri alınarak işlem yapılır. Elde edilen sonuçlara göre

uygulanan havuzlama tekniğinin sinir ağı üzerindeki başarısı, maksimum havuzlama veya ortalama havuzlama tekniğinin tercih edilmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Bunun yanında, havuzlama işlemi, konvolüsyon işlemindeki filtre sayısı ile eşit görüntü matrisine uygulanmaktadır [77].

I : Giriş Matris Boyutu

K : Havuzlama Filtre Boyutu

S : Adım Sayısı

P : Piksel Ekleme Sayısı

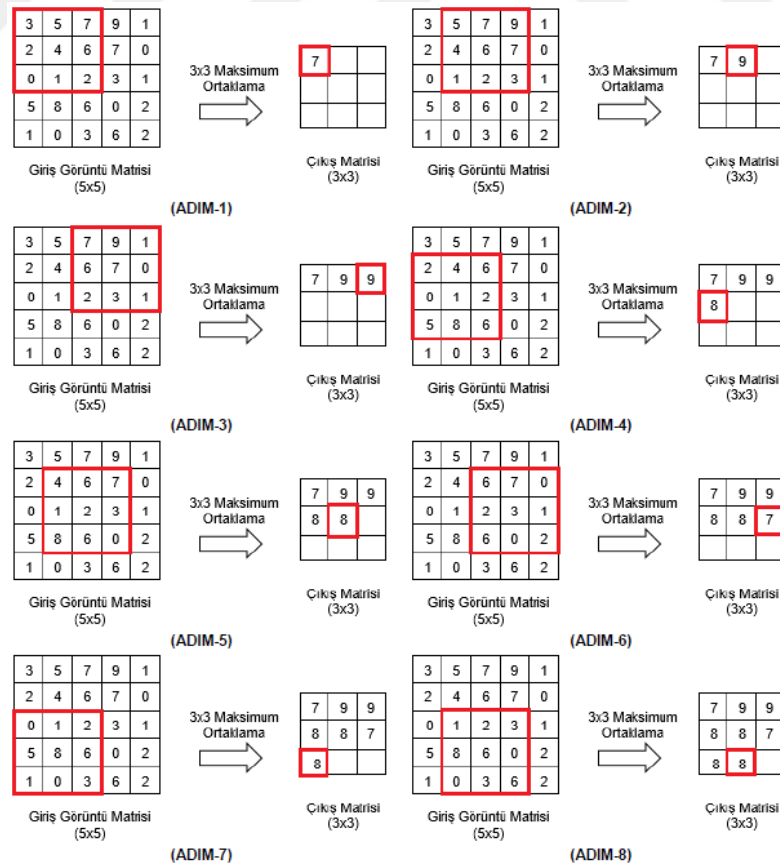
O : Çıkış Görüntü Matris Boyutu olmak üzere;

Piksel eklenmemiş havuzlama işlemi sonrasında oluşan çıkış görüntü matrisinin boyutu Denklem 8.3 ile hesaplanır. Havuzlama sonrası piksel ekleme durumunda oluşacak formül ise Denklem 8.4'de verilmiştir [78].

$$O = \left\lfloor \frac{I-K}{S} \right\rfloor + 1 \quad (8.3)$$

$$O = \left\lfloor \frac{I+2P-K}{S} \right\rfloor + 1 \quad (8.4)$$

5x5 boyutlu bir matrise maksimum havuzlamanın uygulanışı Şekil 8.10'da verilmiştir.



Şekil 8.10. 5x5 Matrise 3x3 Maksimum Havuzlama Uygulanması

Şekil 8.10’da görüldüğü gibi görüntü matrisine maksimum havuzlama uygulanırken, her adımda çerçeve içerisinde belirtilen piksel değerlerinden en büyüğü alınıp çıkış matrisinin ilgili hücresine yazılmıştır. Eğer burada ortalama havuzlama uygulanmış olsaydı, tüm hücrelerdeki piksel değerlerinin ortalaması alınıp ilgili hücreye yazılacaktı.

Örnek olarak; Şekil 8.10’daki Görüntü matrisi için, piksel ekleme değerini 0, adım sayısını 1 olacak şekilde ayarlayıp maksimum havuzlama uyguladığımızda çıkış matrisinin boyutu Denklem 8.3’den $\left\lceil \frac{5-3}{1} \right\rceil + 1 = 3$ çıkacaktır.

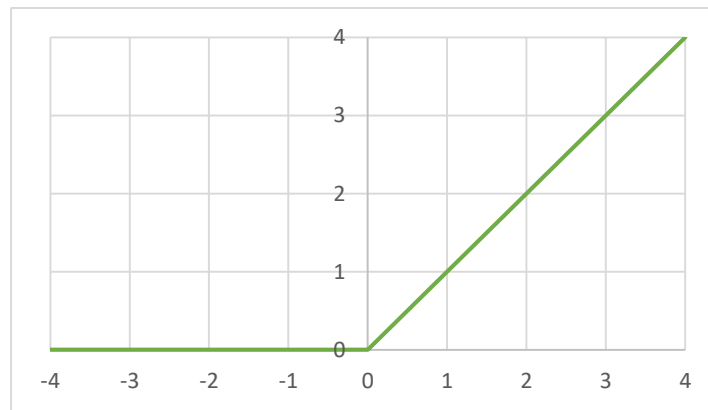
8.3.3. Düzleştirilmiş Doğrusal Birim Katmanı

Bir transfer fonksiyonu görevi gören “Düzleştirilmiş Doğrusal Birim Katmanı” (ReLU), evrişim işlemlerinin çıkışına uygulanır. Evrişim işleminden sonra ortaya çıkan değer eğer sayı doğrusunda eksi bölgede ise ReLu bu değeri sıfıra çeker aksi durumda ise değer kendisini alır [79]. Bu işlem, yapay sinir ağında nöronun negatif değer alması durumunda aktive edilmeyeceği anlamına gelmektedir.

ReLU’ya ait fonksiyon eşitliği Denklem 8.5 ile ifade edilmektedir. Burada evrişim katmanında her düğüm tarafından hesaplanan x_i değeri sıfıra eşit veya büyük ise x_i değeri bir sonraki düğüme aynen aktarılır. x_i sıfırdan küçük bir değer ise bir sonraki düğüme sıfır değeri girişi olarak verilir.

$$f(x) = \max(0, x) = \begin{cases} x_i, & \text{if } x_i \geq 0 \\ 0, & \text{if } x_i < 0 \end{cases} \quad (8.5)$$

ReLU Fonskiyonunda düğümün hesapladığı değer eksi bölgede olması durumunda düğümün çıkış değerinin sıfır; diğer durumlarda ise kendi değerini alması durumunu gösteren grafik Şekil 8.11’de verilmiştir.



Şekil 8.11. ReLu Transfer Fonksiyonu

8.3.4. Tam Bağlı Katman

Tam Bağlı Katman (Fully Connected Layer) ESA'da çıkış katmanı ile evrimsel katman arasında bulunan ve bu iki katmanı birbirine bağlayan katmandır. Tam bağlı katman, sınıflandırma katmanı içerisinde yer almaktadır. Katman içerisindeki her nörona bir önceki evrimsel katmandan türetilen düzleştirilmiş YSA nöronlarının tamamı bağlıdır ve bundan dolayı bu katmana tam bağlı katman denilmektedir. Tam bağlı katman, sınıflandırma katmanı içerisinde Softmax transfer fonksiyonu ile eşiklenerek çıkış için sınıf değeri üretir.

8.3.5. Softmax

Softmax (Maksimum Yumuşatma) ESA'da sınıflandırma işleminin yapılmasına yardımcı olan bir aktivasyon fonksiyonu olarak bilinmektedir. Bu fonksiyon, tam bağlı katmandaki nöronlardan gelen değerler vektöründen sınıflara ait olasılık dağılımını hesaplamak için kullanılır. Bu teknikte maksimum yumuşatma uygulanarak hesaplanan olasılıklar 0-1 arasında değerlere çekilmektedir. Üretilen bu değerler aynı zamanda her sınıf için tahmin değeri niteliğindedir [79]. Dağılımda Softmax değeri en yüksek olan sınıf, genel olarak tahmin edilen sınıf olarak kabul edilmektedir.

Softmax fonksiyonu çıkış katmanı için ana işlevselliğe sahip olan bir fonksiyondur. Çıkış katmanında elde edilen tahmin, sistemin eğitimi ve testi için kullanılabilir. Sinir ağının eğitiminde çıkış katmanında Softmax'ın tahmin ettiği sınıf ile gerçek değer kıyaslanarak, çapraz entropi ile bir hata (Loss) değeri hesaplanır ve hesaplanan bu değere göre sinir ağının ağırlıkları güncellenerek sistemin eğitimi sağlanmış olur. [80]. $f(x_i)$ Softmax fonksiyonunu temsil etmek üzere, Softmax fonksiyonu Denklem 8.6 ile ifade edilmektedir.

$$f(x_i) = \frac{\exp(x_i)}{\sum_j \exp(x_j)} \quad (8.6)$$

8.3.6. Yığın Normalleştirme (Batch Norm)

Yığın Normalleştirme (Batch Norm) Çok katmanlı ESA'da, gizli katmanlar arasındaki veri dağılımındaki değişimi azaltmak amacıyla kullanılan normalizasyon tekniğidir. Her katmanın girişi bir önceki katmanın çıkış vektörünün normalize edilip beslenmesiyle yığın normalizasyonu gerçekleştirilir. Yığın normalleştirme, eğitimin optimizasyon safhasında eğitimin daha hızlı gerçekleşmesine ve eğitimde daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşılmasına katkıda bulunur. Bunu yaparken veri dağılımındaki değişimleri minimuma indirerek, öğrenme adımlarında eğitimin daha hızlı yol almasını sağlamaktadır [81]

Yığın normalizasyonunun çalışma mantığı Denklem 8.7 – 8.10'da verilmiştir [82].

Yığın normalizasyonunda kullanılan “Giriş”, “Öğrenilecek Parametreler” ve “Çıkış” öğeleri aşağıdaki biçimde tanımlanmak üzere;

Giriş: Mini yığın içerisindeki X değerleri: $B = \{x_1 \dots x_m\}$;

Öğrenilecek Parametreler: γ, β

Çıkış: $\{y_i = \text{BN}_{\gamma, \beta}(x_i)\}$

Sinir ağı içerisinde mini yığın içerisindeki tüm x değerlerinin ortalamasını alarak, yığın ortalamasını veren eşitlik Denklem 8.7’de verilmiştir.

$$\mu_B \leftarrow \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (8.7)$$

Her x değerinden ortalama değer çıkartılıp karesi alınarak bu şekilde oluşan değerlerin ortalaması alınarak yığın varyansı hesaplanmaktadır. Bunun eşitliği Denklem 8.8’de verilmiştir.

$$\sigma_B^2 \leftarrow \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \mu_B)^2 \quad (8.8)$$

Sinir ağında x değerlerini i indisine bağlı iterasyon ile normalize eden eşitlik, Denklem 8.9’da verilmiştir.

$$\hat{x}_i \leftarrow \frac{x_i - \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}} \quad (8.9)$$

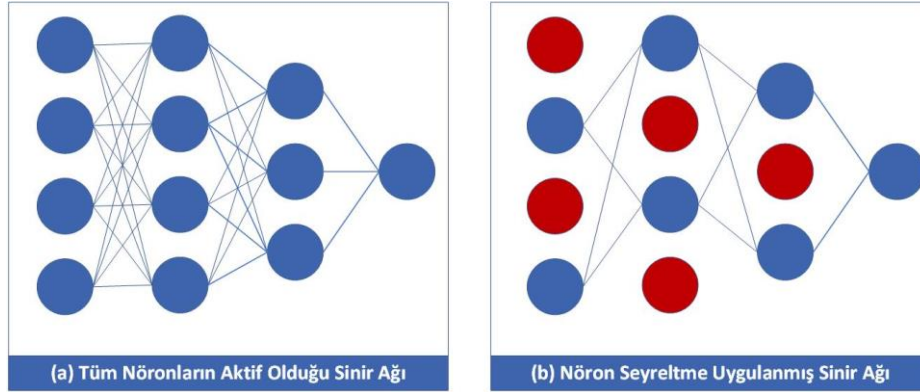
Her γ (gama) ve β (beta) parametresi normalize edilmiş x değerlerine göre kendilerini ayarlayarak normalize edilmiş x değerleri üzerinde ölçeklendirme ve kaydırma işlemi yapar. Bu işlem sonrasında oluşan değerler ayrı ayrı y_i ’ye eşitlenip çıkış olarak dışarı verilirler. Bunun ifadesi Denklem 8.10’da verilmiştir.

$$y_i \leftarrow \gamma \hat{x}_i + \beta \equiv \text{BN}_{\gamma, \beta}(x_i) \quad (8.10)$$

8.3.7. Nöron Seyreltme

Bir sinir ağında büyük miktardaki verilerle çalışıldığında, eğitim esnasında sinir ağının ezberlemesinin önüne geçmek ve hesaplama maliyetini azaltmak için havuzlama işlemi dışında nöron seyreltme (dropout) işlemi de kullanılmaktadır. Bu işlemde sinir ağı içerisindeki bazı nöronlar devre dışı bırakılarak sinir ağının ezberlemesinin önüne geçilmektedir. Bu yüzden nöron seyreltmenin test safhasındaki doğruluk oranına katkısı olabilmektedir. Şekil 8.12’de bir sinir ağına uygulanan nöron seyreltme işlemine ait görsel verilmiştir; Şekil 8.12 (a)’da sinir ağının tüm

nöronları aktif ve tam bağlı iken Şekil 8.12 (b)'de bu sinir ağında kırmızıya boyanmış nöronlar devre dışı bırakılarak, sinir ağına nöron seyreltme uygulanmıştır [83].



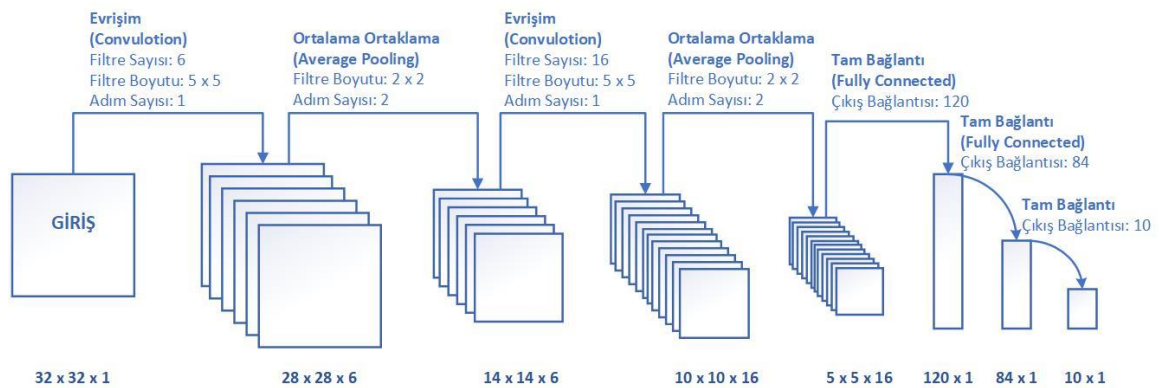
Şekil 8.12. Nöron Seyreltme (Dropout)

8.4. Evrişimli Sinir Ağı Algoritmaları

LeNET Mimarisi

Evrişimli sinir ağı mimarisinin ilk örneği olan LeNet, Yann Lecun tarafından ortaya konmuştur. LeNet el yazısı ile yazılmış rakam görüntülerini tanımada oldukça iyi performans göstermiştir. Bu özelliğinden ötürü ilk olarak banka çekleri üzerindeki sayıları tanımada kullanılmıştır. Ağ içerisinde evrişim işlemlerinin yanı sıra, piksellerinin ortalamasını almaya dayalı olarak uygulanan ortalama havuzlama (Average Pooling) yöntemi kullanılmıştır. LeNet mimarisi, evrişim, ortalama havuzlama, tam bağlı katman olmak üzere 7 katmandan oluşmaktadır.

LeNet Mimarisinde, el yazısı ile yazılmış herhangi bir rakama ait görüntü verisi 32×32 boyutunda giriş olarak alınmakta ve buna karşılık, 0-9 arasında herhangi bir rakam tahminini yapan çıktı üretilmektedir. Bu mimariye ait görsel Şekil 8.13'de verilmiştir.



Şekil 8.13. LeNet Mimarisi

AlexNet Mimarisi

2012 yılında yapılan ImageNet (ILSVRC) yarışmasından birinci olarak çıkan AlexNet, bir Evrişimli sinir ağı (CNN) modelidir. Mimari içerisinde kullanılan başlıca katmanlar şunlardır;

- 5 Adet evrişimli sinir ağı katmanı (CNN)
- 3 Tam bağlı katman (Fully Connected Layer)
- Maksimum havuzlama (Max Pooling) katmanları
- Nöron seyreltme (Dropout) katmanları

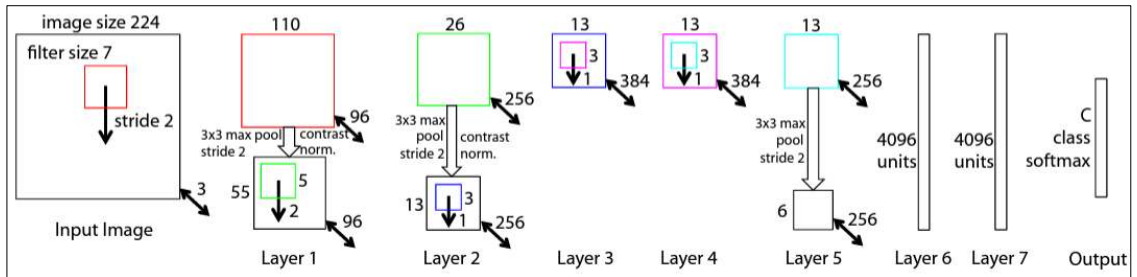
Yaygın olarak kullanılan sigmoid ve tanh fonksiyonlarının aksine, AlexNet mimarisi içerisinde ReLU fonksiyonu kullanılmıştır. Bu mimaride ReLu, evrişim ve tam bağlı katmanların sonunda transfer fonksiyonu olarak yer almaktadır. Mimaride ReLu fonksiyonunun kullanılması sebebi, diğer fonksiyonların sebep olduğu gradyan kaybı sorununu gidermesi ve hesaplama maliyetini en aza indirgeyerek algoritmanın daha hızlı çalışmasını sağlamasıdır.

AlexNet GPU teknolojisini en verimli şekilde kullanarak hızlı hesaplama işlemi yapmaktadır. Şekil 8.2’de görüldüğü üzere AlexNet mimarisinde katmanlar üst ve alt kısımlara bölünmüş ve her kısım ayrı bir GPU tarafından işlem görmek kaydıyla 2 GPU ile hesaplama işlemi yapılmıştır.

AlexNet’de, yerel tepki normalleştirme tekniği, (Local Response Normalization) kullanılarak algoritmanın genelleme yeteneği artırılmıştır. Bunun yanında sinir ağına nöron seyreltme uygulanarak aşırı öğrenme faktörü de ortadan kaldırılmış olur.

ZFNet Mimarisi

ILSVRC-2013 yarışmasında birinci olan ZFNet, AlexNet mimarisinin baz alınması ile geliştirilmiş bir sinir ağı mimarisidir. Bu mimarinin AlexNet’den en önemli farklılıkları; AlexNet’de 11x11 boyutunda uygulanan 1. Katman filtresi, ZFNet’de 7x7’ye düşürülmüş ve AlexNet’in 1. katmanına uygulanan adım sayısı 4 iken, ZFNet’de bu 2 olarak belirlenmiştir. ZFNet mimarisine ait görsel Şekil 8.14’de verilmiştir [84].



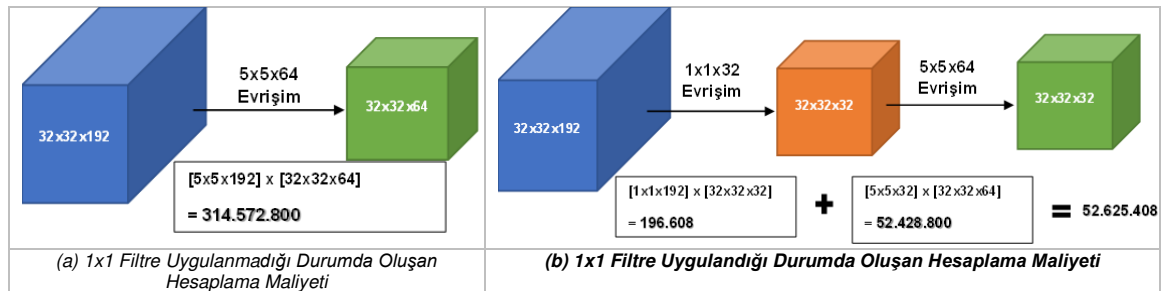
Şekil 8.14. ZFNet Mimarisi [84]

VGGNet Mimarisi

Evrişimli sinir ağında derinliğin temel alındığı bir yaklaşımla, Simonyan ve Zisserman tarafından geliştirilen VGGNet, katman sayısına göre; VGG-11, VGG-13, VGG-16, VGG-19 olarak adlandırılan farklı konfigürasyonlara sahip bir derin sinir ağı mimarisidir. 224x224 piksel boyutlu RGB görüntülerin giriş olarak alındığı VGGNet’de genelde her katmanda 3x3 boyutlu filtrelili evrişimler ve ReLu fonksiyonu uygulanarak tam bağlı katmana doğru ilerleme sağlanır. Bunun yanında 16 katmanlı VGG-16 konfigürasyonunda 3x3 boyutlu filtrelerin yanında farklı olarak 1x1 boyutlu filtreler de kullanılmıştır. 1x1 filtre kullanmanın amacı evrişim işlemindeki hesaplama maliyetini minimize edip, bellek kullanımını azaltarak algoritmanın çok daha hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Şekil 8.15’de görüldüğü gibi durum örneklenecek olursa;

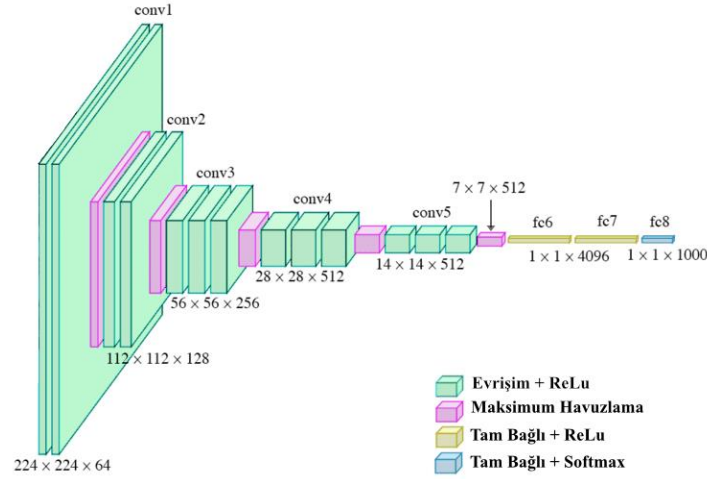
32x32x192 giriş verisine boyutu 5x5 olan 64 adet filtre uygulandığında sıfır dolgu (zero padding) ile çıkış verisinin de aynı boyutta kalacak şekilde 32x32 olduğu varsayılırsa, bu durumda elde edilecek hesaplama maliyeti miktarı 314.572.800 olacaktır. Bu durum Şekil 8.15’de verilmiştir.

32x32x192 giriş verisine 32 adet 1x1 filtre uygulanırsa giriş verisinin boyutu 32x32x192’den 32x32x32’ye çekmiş olacaktır ve bu işlem sonrasında parametre hesaplaması yapıldığında hesaplama maliyeti miktarı 196.608 olmaktadır. Sonrasında 32x32x32’lik veriye 5x5x64 filtre uygulandığında elde edilecek hesaplama maliyeti miktarının 52.428.800 olduğu görülmektedir. Bu işlemler için hesaplama maliyeti yapıldığında, toplam hesaplama maliyeti miktarı 52.625.408 çıkmaktadır. Burada 1x1 filtre uygulanması ile hesaplama maliyeti 314.572.800’den 52.625.408 düşürülerek hesaplamada 5/6 oranında verim sağlanmış olur. Genel olarak, hesaplama maliyeti yönüyle VGG-16 modeli daha tercih edilebilir bir sinir ağı modeli olmuştur.



Şekil 8.15. 1x1 Filtre Uygulanması ve Uygulanmaması Durumundaki Hesaplama Maliyeti

VGGNet’de tam bağlı üç katmanı vardır ve ilk ikisinin her biri 4096 kanala sahipken, çıkış olan üçüncüsü, her sınıf için 1’er tane olmak üzere 1000 kanala sahiptir. Burada çıkış için Softmax transfer fonksiyonu kullanılır. VGG-16 mimarisine ait görsel Şekil 8.16’da verilmiştir.

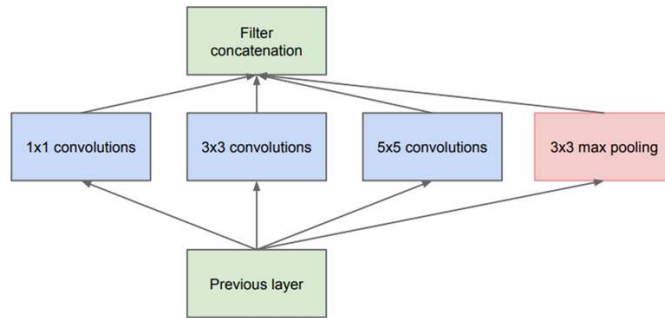


Şekil 8.16. VGG-16 Mimarisi

Inception Mimarisi

Inception sinir ağı mimarisi zaman içerisinde geliştirilerek, GoogLeNet (Inception-V1), Inception-V2 (BN-Inception), Inception-V3 ve Inception-V4 olmak üzere 4 farklı versiyon ile sunulmuştur. Inception versiyonlarını anlayabilmek için tarihsel süreç içerisindeki gelişimini incelemek gerekir.

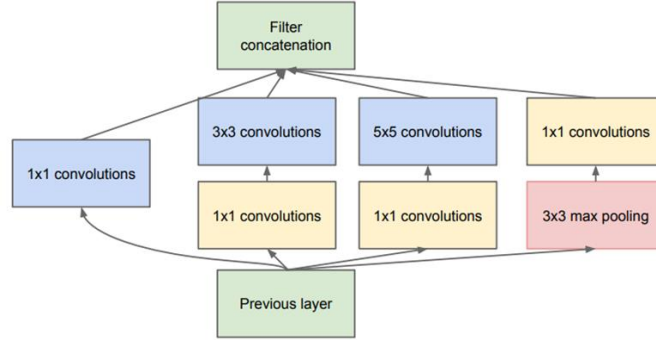
GoogLeNet (Inception-V1) mimarisinin ilk keşfedilmesindeki temel mantık, Şekil 8.17’de de görüldüğü gibi bir önceki katmandan alınan görüntü verisine 1x1, 3x3, 5x5 evrişim ve 3x3 maksimum havuzlama işlemlerinin paralel bir biçimde uygulanması ve bu işlemlerden türetilen matris verilerinin filtre birleştiricisi (Filter concatenation) ile birleştirilmesiyle elde edilen modüle dayalı sade bir mimariydi [85].



Şekil 8.17. Sade (Naive) Inception Modülü [85]

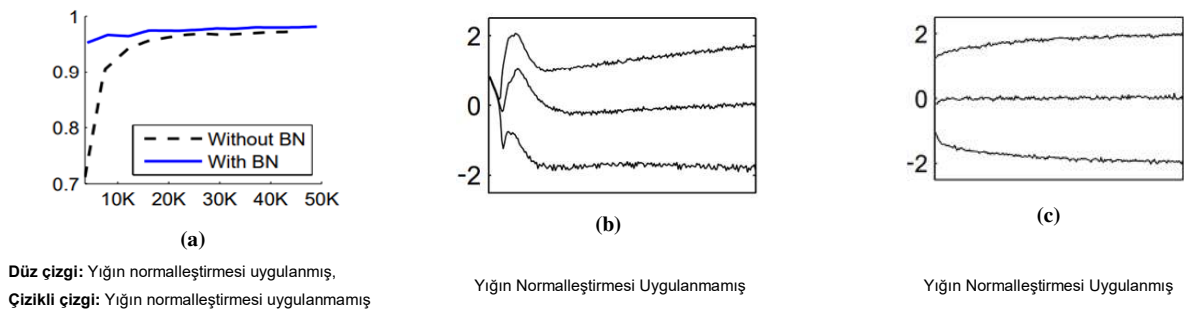
Sade Inception Modülündeki hesaplama maliyetini minimize etmek ve verimi arttırmak için her evrişim ve maksimum havuzlama işlemi için birden fazla 1x1 boyutunda evrişim işlemi uygulanmıştır. Sade Inception modülüne 1x1 boyutunda evrişim uygulanarak elde edilmiş

Inception-V1 modülü Şekil 8.18’de verilmiştir. Herhangi bir giriş matrisine 1x1 filtre evrişimi uygulanması çıkış matrisi ile giriş matrisi arasında boyutsal bir fark oluşturmayacaktır. Fakat giriş matrisi sayısı 1x1 filtre matrisi sayısı kadar aşağı çekileceği için hesaplama maliyeti ciddi manada düşecektir. Bu durum daha önce ele alınan Şekil 8.15’deki örnekle de açıklanabilir.



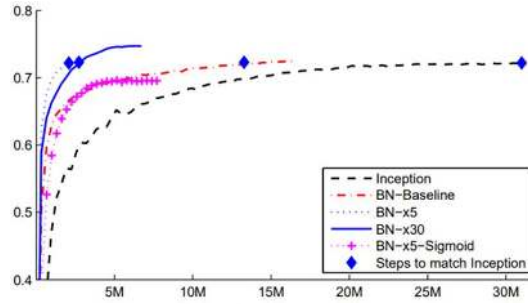
Şekil 8.18. Sade (Naive) Inception Modülüne 1x1 Filtre Uygulama [85]

Yığın normalleştirme tekniğinin Inception-V1 modülüne uygulanması ile Inception-V2 (BN-Inception) elde edilmektedir [86]. Bu tekniğin başarısını test etmek için Szegedy ve arkadaşları 28x28 boyutlu ve içinde el yazısıyla yazılmış rakamların resimlerini içeren MNIST dataseti üzerinde Inception’un yığın normalleştirme uygulanmış ve uygulanmamış versiyonları üzerinde çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmaya göre yığın normalleştirme uygulanmış Inception-V2 ile yığın normalleştirme uygulanmamış Inception modelinin eğitim döngüsüne bağlı doğruluk oranları Şekil 8.19 (a)’da verilmiştir. Şekil 8.19 (a)’dan da görüldüğü üzere yığın normalleştirme uygulanmış modelin en yüksek doğruluk oranına ulaşana kadar geçen eğitim döngü sayısı, yığın normalleştirme uygulanmamış modele göre daha düşüktür. Şekil 8.19 (a) ve (b)’de standart sigmoid fonksiyonu ile yığın normalleştirme uygulanmış ve yığın normalleştirme uygulanmamış eğitim süreci grafiksel olarak verilmiştir. Yığın normalleştirme uygulanmış Şekil 8.19 (c)’de Inception-V2’nin kararlı ve stabil bir şekilde eğitim sürecini devam ettirdiği görülmektedir [82].



Şekil 8.19. Yığın Normalleştirme Uygulanan ve Uygulanmayan Inception Modelleri [82]

Bir diğer çalışmada ImageNet LSVRC2012 ile çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada Inception modelinin yığın normalleştirilmesi uygulanmış varyantları ile çalışılmıştır. Bu çalışmada eğitim adımlarına bağlı doğruluk oranlarını içeren Inception varyantları ile ilgili istatistiksel veriler elde edilmiştir. İlgili verilere ait grafiksel gösterimler Şekil 8.20’de verilmiştir [82].



Şekil 8.20. Inception Varyantlarının Doğruluk Karşılaştırmaları [82]

Çalışmaya konu olan Inception varyantları, Inception, BN-Baseline, BN-x5, BN-x30 ve BN-x5-Sigmoid’dir. Burada öğrenme oranı (Learning Rate) ve yığın normalleştirilmesi değişkenleri üzerinde oynamalar yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Inception: Yığın normalleştirilmesi uygulanmamış Inception varyantıdır.

BN-Baseline: Yığın normalleştirilmesi uygulanmış Inception varyantıdır.

BN-X5: Inception’a yığın normalleştirilmesi uygulanarak öğrenme oranı 5 kat artırılarak 0,0015’ten 0,0075’e çıkarılan varyanttır.

BN-X30: BN-X5 gibidir fakat öğrenme oranı 30 katına çıkarılarak 0,0015’ten 0,045’e çıkarılan varyanttır.

BN-X5-Sigmoid: BN-X5 gibidir fakat aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu yerine Sigmoid kullanılmıştır.

Yapılan testlerde yığın normalleştirilmesi uygulanmamış Inception varyantının maksimum doğruluk oranı %72,2 çıkmıştır. Diğer varyantların bu doğruluk oranına ulaşması için gerekli olan eğitim adım sayısı ve varyantlara ait maksimum doğruluk oranları Tablo 8.1’de verilmiştir [82].

Tablo 8.1. Varyantlara Ait Doğruluk Oranları [82]

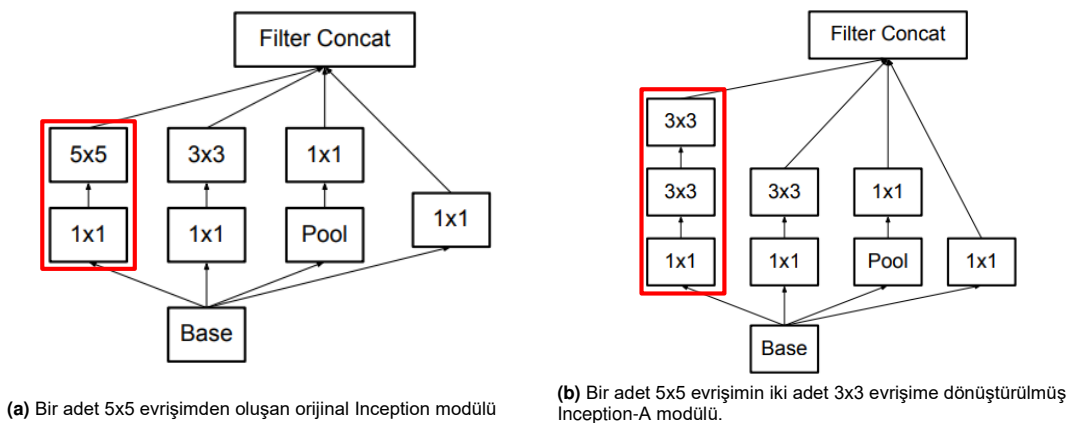
Model	%72,2 Doğruluk Oranına Ulaşmak için Gerekli Adım Sayısı	Maksimum Doğruluk Oranı
<i>Inception</i>	31 Milyon	%72,2
<i>BN-Baseline</i>	13,3 Milyon	%72,7
<i>BN-X5</i>	2,1 Milyon	%73,0
<i>BN-X30</i>	2,7 Milyon	%74,8
<i>BN-X5-Sigmoid</i>		%69,8

Tablo 8.1’de görüldüğü gibi yığın normalleştirilmesi uygulanmış Inception varyantlarının, yığın normalleştirilmesi uygulanmamış varyanta göre genel olarak daha hızlı ve yüksek doğruluk oranıyla eğitimi gerçekleştirdiği görülmektedir. Burada bahsedilen hızdaki kasıt, eğitim için gerekli olan adım sayısının az olması ile ilgilidir. Özellikle BN-X5 ve BN-X30 varyantlarının düşük adım sayısı ile yüksek doğruluk oranına ulaştıkları görülmektedir. BN-X30 varyantı, BN-X5 varyantına göre sadece 600.000 adım sayısı fazlalığı ile %1,8 oranında daha yüksek bir doğruluk oranına ulaştığı görülmektedir. Yığın normalleştirilmesi uygulanan modeller için yüksek öğrenme oranlarının daha verimli sonuçlar ortaya koyduğu bu çalışma ile gösterilmiştir.

Inception-V3 mimarisinin oluşumunda 3 kavramdan bahsedilmektedir:

- Çarpanlara Ayırma
- Yardımcı Sınıflandırıcılar
- Verimli Matris Boyutu Azaltma

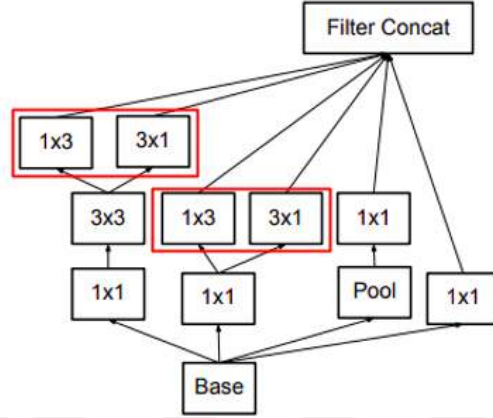
Inception-V3 mimarisinde çarpanlara ayırma (factorization) mantığı ön plandadır. Çarpanlara ayırmadaki temel mantık sinir ağının verimliliğini düşürmeden hesaplama maliyetini azaltarak eğitim için harcanan süreyi azaltmaktır. Hesaplama maliyetindeki herhangi bir azalma, parametre sayısının azalmasına neden olmaktadır Inception-V3 modülüne ait çarpanlara ayırma mantığı Şekil 8.21’de verilmiştir. Evrişim ağında tek katmanlı 5x5 filtresi uygulandığında hesaplama maliyeti $5 \times 5 = 25$ olmaktadır. Fakat çarpanlara ayırma mantığı ile tek katmanlı 5x5 filtre yerine 2 katmanlı 3x3 filtre kullanıldığında $3 \times 3 + 3 \times 3 = 18$ hesaplama maliyeti elde edilmektedir. Bu parametre sayısında %28’lik bir azalma sağlamaktadır. Şekil 8.21 (a)’daki orijinal Inception modülündeki 5x5’lik evrişim matrisi Şekil 8.21 (b)’deki 2 katmanlı 3x3 evrişim matrisiyle değiştirilerek Inception-A modülü elde edilmiştir [87].



Şekil 8.21. Orijinal Inception 5x5 Modülünün 3x3 Evrişimine Dönüştürülmesi [87].

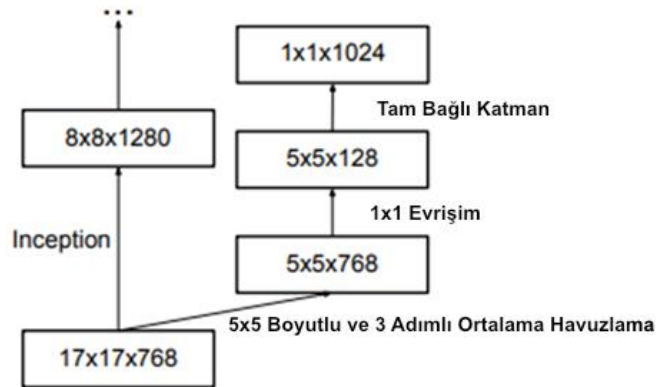
Çarpanlara ayırma işlemi Şekil 8.21 (b)’deki 3x3’lük evrişim üzerinde genişletilerek hesaplama maliyeti daha da azaltılabilir. Bunun için 3x3’lük evrişim üzerinde Şekil 8.22’deki gibi asimetrik

bir işlem yapılması yeterlidir. 1 katman için 3×3 'lük evrişimin hesaplama maliyetinin hesabını yaptığımızda $3 \times 3 = 9$ hesaplama maliyeti elde edilmektedir. Bu katmanın 1×3 ve 3×1 asimetrik dönüşümü yapıldığında ise $1 \times 3 + 3 \times 1 = 6$ hesaplama maliyeti elde edilir ve bu %33 oranında hesaplama maliyetini düşürmektedir. Bu dönüşüm Şekil 8.22'de verilmiştir [87].



Şekil 8.22. Inception-B Modülü için 1×3 - 3×1 Dönüşümü [87]

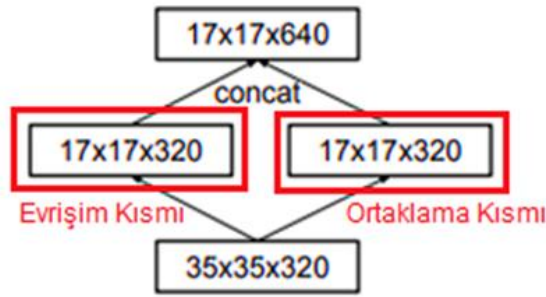
Yapay sinir ağlarında gradyan işlemi nöronlarda eğitimin gerçekleşmesi için gerekli olan ağırlık değerlerini düzenler. Sinir ağlarında derinlik arttıkça gradyan yok olmasına bağlı olarak ağırlık değerlerindeki değişim yok denecek kadar az düzeyde olacağı için ağın eğitimi gerçekleşemeyecektir. Derin yapıdaki sinir ağından ötürü Inception'da da bu sorunla karşılaşmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Inception ağlarında yardımcı sınıflandırıcılar kullanılmaktadır. Inception-V3'de 17×17 matris boyutlu katmanının üst kısmında olacak şekilde yardımcı sınıflandırıcılar kullanılmaktadır. Yardımcı sınıflandırıcılarla ilgili gösterim Şekil 8.23'de verilmiştir [87].



Şekil 8.23. Yardımcı Sınıflandırıcı[87]

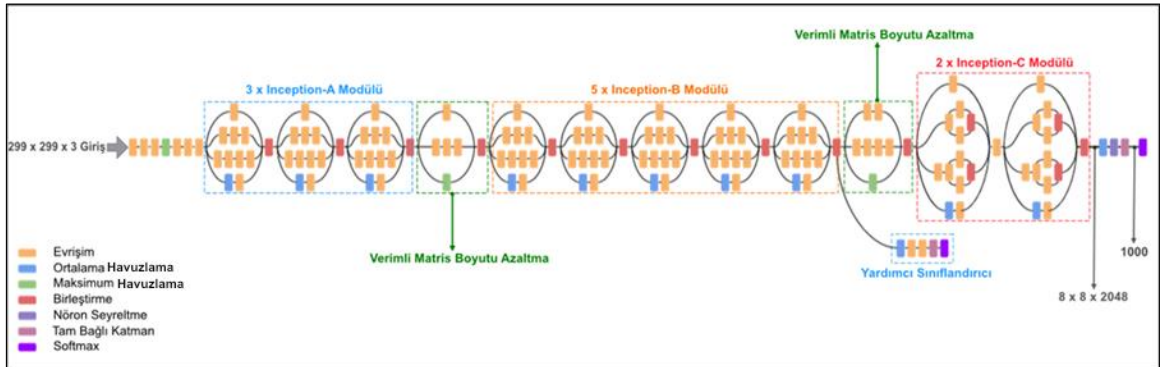
Yardımcı sınıflandırıcının başında 5x5 boyutunda Ortalama havuzlama ve onun hemen ardından boyutu azaltmak için 1x1 evrişim uygulanır. Bir sonraki aşamada ise matris verisi düzleştirilip tam bağlı katmana bağlandıktan sonra en son Softmax aktivasyon fonksiyonu ile çıkış verilir.

Verimli matris boyutunu azaltma işlemi, sinir ağının doğruluk oranını olumsuz yönde etkilemeden, hesaplama maliyetini düşürecek şekilde matris boyutunu düşürmeye yönelik bir evrişim işlemi ifade eder. Buradaki temel mantık, $d \times d$ boyutlu ve k filtre sayısına sahip bir katmanın matris boyutu $(d/2) \times (d/2)$ yapılı ve filtre sayısı $2k$ yapılırsa, bu matrisin boyutu verimli bir şekilde azaltılmış olur. Bu işlem yapılırken katmana paralel bir şekilde Havuzlama ve evrişim işlemleri ayrı ayrı uygulanır ve bu işlemlere ait matris verileri birleştirilir. Şekil 8.24’de örnek olarak verimli matris boyutu azaltma işleminin matematiksel gösterimi verilmiştir. Burada $35 \times 35 \times 320$ boyutlu bir giriş matrisinin boyutunun verimli bir şekilde $17 \times 17 \times 640$ boyutuna nasıl düşürüldüğü gösterilmiştir [87].



Şekil 8.24. Verimli Matris Boyutu Azaltma İşlemi [87].

Çarpanlara Ayrım, Yardımcı Sınıflandırıcılar, Verimli Matris Boyutu Azaltma gibi teknik yaklaşımlarla oluşan Inception-V3 mimarisi Şekil 8.25 ve Tablo 8.2’de verilmiştir.

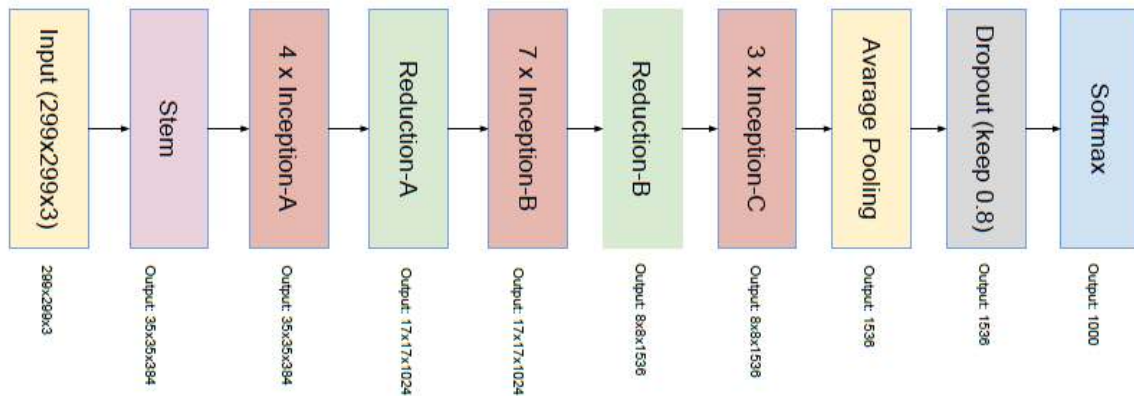


Şekil 8.25. Inception-V3 Mimarisi

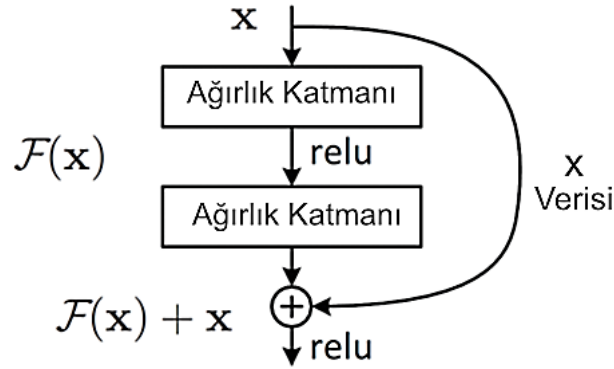
Tablo 8.2. Inception-V3 Mimarisi

Tip	Boyut/Adım – Modüller - İşlemler	Giriş Boyutu
Evrişim	$3 \times 3 / 2$	$299 \times 299 \times 3$
Evrişim	$3 \times 3 / 1$	$149 \times 149 \times 32$
Evrişim	$3 \times 3 / 1$ - Sıfır Dolgu	$147 \times 147 \times 32$
Havuzlama	$3 \times 3 / 2$	$147 \times 147 \times 64$
Evrişim	$3 \times 3 / 1$	$73 \times 73 \times 64$
Evrişim	$3 \times 3 / 2$	$71 \times 71 \times 80$
Evrişim	$3 \times 3 / 1$	$35 \times 35 \times 192$
$3 \times$ Inception	Inception-A Modülü	$35 \times 35 \times 288$
$5 \times$ Inception	Inception-B Modülü	$17 \times 17 \times 768$
$2 \times$ Inception	Inception-C Modülü	$8 \times 8 \times 1280$
Havuzlama	8×8	$8 \times 8 \times 2048$
Lineer	Lojik İşlem	$1 \times 1 \times 2048$
Softmax	Sınıflandırıcı	$1 \times 1 \times 1000$

Inception-V4 önceki karmaşık Inception mimarilerinden ziyade daha sade, esnek bir ağ tasarımı üzerine odaklanılarak oluşturulmuş Inception mimarisidir. Saf Inception-V4 ve Inception-ResNet hibrit modeli olmak üzere 2 farklı mimariye sahiptir. Saf Inception-V4 modeliyle eğitimde yüksek başarıya ulaşılmış olsa da Inception-ResNet hibrit modeli ile en az saf Inception-V4 modelindeki başarıya ulaşılmış ve aynı zamanda eğitim hızında artış sağlanabilmiştir. Inception-ResNet, Inception-V3 modeline göre kısmen yüksek başarı oranına sahip olsa da hesaplama maliyeti anlamında Inception-V3'ün çok üstünde olan bir Inception modelidir. Inception-V4 mimarisine ait gösterim Şekil 8.26'da verilmiştir [86].

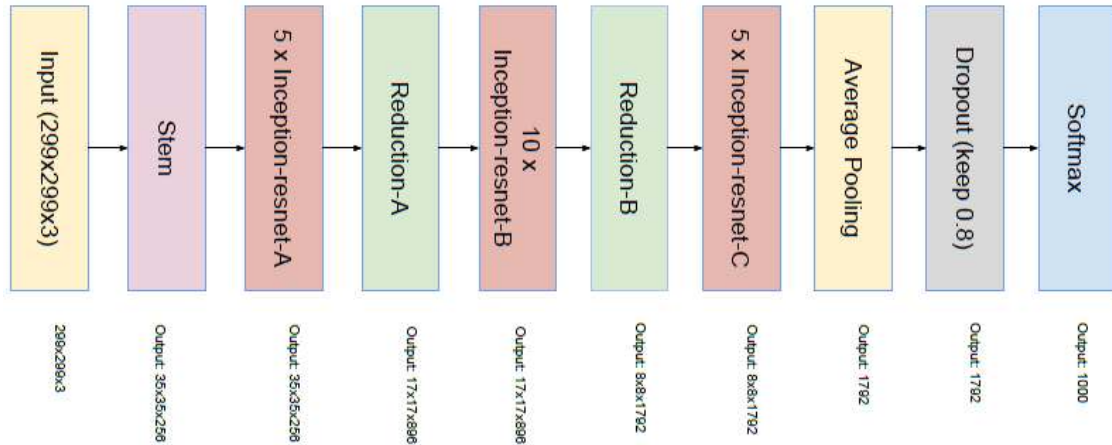
**Şekil 8.26.** Saf Inception-V4 Mimarisi [86].

Inception ile hibrit halde kullanılan ResNet mimarisi, 2015 yılında Microsoft ekibinden He ve arkadaşlarının ortaya koyduğu bir sinir ağı mimaridir. ResNet’de katmanlar arasında ReLu aktivasyon fonksiyonu ile hesaplama yapılırken 2 katman öncesindeki ReLu aktivasyon fonksiyonundan geçmiş değer alınarak bulunulan katmandaki aktivasyon fonksiyonu hesaplamasına dahil edilir. Böylece eğitimde önceki değerler de hesaba katılarak artırımlı (residual) öğrenme sağlanmış olur [88]. Artırımlı öğrenme bloğu Şekil 8.27’de verilmiştir.



Şekil 8.27. Artırımlı Öğrenme Bloğu [88].

Inception-ResNet hibrit modelinin oluşturulmasında genel olarak kullanılan yöntem, Inception-V4 mimarisinin belli kısımlarına ResNet bağlantılarının uygulanmasına dayalıdır. Inception-ResNet hibrit mimarisi Şekil 8.28’de verilmiştir.



Şekil 8.28. Inception-ResNet Mimarisi [86].

Inception-ResNet mimarisi ile saf Inception mimarisi arasındaki farklılıklar Stem ve Inception modüllerinde kendini göstermektedir. Bu iki mimari arasındaki temel farklılıklar Tablo 8.3’de verilmiştir.

Tablo 8.3. Saf Inception-V4 ve Inception-ResNet Arasındaki Farklılıklar

Kısım	Saf Inception-V4 Mimarisi	Inception-ResNet Mimarisi
Stem	35 x 35 x 384	35 x 35 x 256
Inception-A Modülü	4 x Inception-A	5 x Inception-resnet-A
Inception-B Modülü	7 x Inception-B	10 x Inception-resnet-B
Inception-C Modülü	3 x Inception-C	5 x Inception-resnet-C

Yapılan literatür taraması genel olarak incelendiğinde balistik inceleme sahasında farklı yöntemlerin kullanıldığı fakat elastomerli görüntüye dayalı derin öğrenme yönteminin kullanılmadığı görülmüştür. Bu tez çalışması ile elastomer üretim yöntemi ve derin öğrenmenin balistikte kullanımı yeni bir yaklaşımı da beraberinde getirmiştir.

9. MATERİYAL VE METOT

Retrografik elastomerik görüntüleme sisteminin imalatı için, tabancalardan mermi kovani elde etme sürecinden, mermi kovanından ateşli silah tespit yazılımının geliştirilmesi sürecine kadar birtakım aşamalardan geçilmiştir. Bu aşamalar şu başlıklar altında incelenebilir;

- Tabancadan mermi kovani elde etme
- Optik sistem için tezgâh ve aparat tasarımı
- Elastomer üretimi ve boyanması
- Veri seti için görüntü alma ve işleme
- Veri setinin derin öğrenme ile eğitilmesi
- Sistem için uygun yazılım geliştirme

Bu aşamalardaki önemli hususlardan biri, derin öğrenmede etkili bir makine öğrenmesi sağlamak için çok sayıda mermi kovani görüntülerine ihtiyaç duyulmasıdır. Bunun için azami miktarda mermi kovani temini yoluna gidilmiştir. Elde edilen görüntülerin kalitesi veri setinin kullanılabilirliği için önemli olduğundan, görüntü almayı sağlayacak en uygun elastomer numunesinin belirlenmesi birden çok deneysel çalışmayla sağlanmıştır.

9.1. Tabancadan Mermi Kovani Elde Etme

Ateşlenmiş mermi kovani için İl Emniyet Müdürlüğü ile görüşülerek temin yoluna gidilmiş fakat kurumun prosedürlerine bağlı bazı engeller olduğu için bu şekilde temin sağlanamamıştır. Bunun için alternatif yollar araştırılarak, özel poligon hizmeti veren bir işletmeden mermi kovani temini yoluna gidilmiştir.

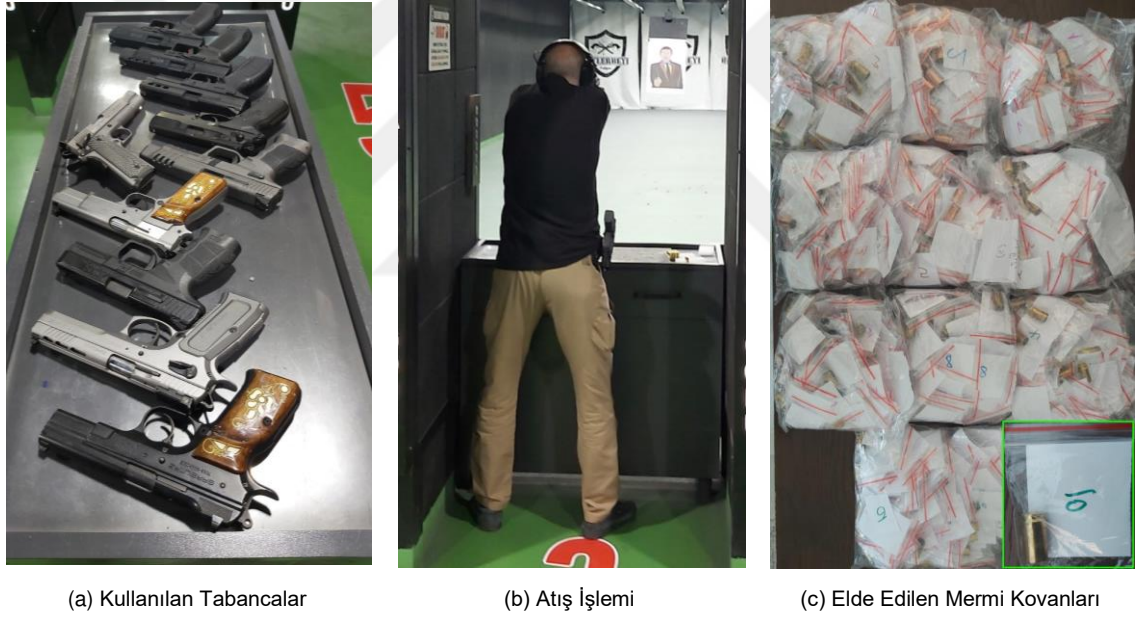
Mermi kovanları poligon hizmeti alınan işletmeye ait 10 farklı model tabancadan elde edilmiştir ve bu işlem yapılırken her tabancaya 0 ile 9 arasında benzersiz bir numara verilerek ilgili tabancaya ait kovanlar kategorize edilmiştir. Kovanların temin edildiği silahlar ve bu silahlardan elde edilen kovan adetleri Tablo 9.1’de verilmiştir.

Tablo 9.1. Kullanılan Silahlara Ait Özellikler ve Elde Edilen Kovan Adetleri

No	Marka	Model	Kalibre	Elde Edilen Kovan Adedi
0	Sarsılmaz	Ar-24	9x19 mm	82
1	Sarsılmaz	K-12 Sport X	9x19 mm	82
2	Sarsılmaz	Sar 9C	9x19 mm	82
3	Sarsılmaz	Sar 9 Mete Sport	9x19 mm	82
4	Tişaş	Zig 14	9x19 mm	82

5	Stoeger	Cougar 8000FT	9x19 mm	82
6	Tisaş	Zigana P9LC	9x19 mm	82
7	Canik	TP9 SFx	9x19 mm	82
8	Canik	TP9 SFT	9x19 mm	82
9	Girsan	MC 1911 SC9	9x19 mm	82

Tablo 9.1’de görüldüğü gibi farklı modelde silahlar kullanılarak, 9x19 mm’lik mermiler ile toplam 820 adet atış yapılmış ve bu şekilde mermi kovanı temini sağlanmıştır. Atış yapılan silahlar ve elde edilen mermi kovanlarına ait görseller Şekil 9.1’de verilmiştir. Kovanların temini, Şekil 9.1 (a)’daki tabancalar ile poligon personeli tarafından yapılan atışlarla sağlanmıştır. Elde edilen mermi kovanlarının dış etkenlere karşı muhafazası ve tasnifi için Şekil 9.1 (c)’deki gibi tek tek poşetlenip numaralandırılması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9.1. Atış Yapılan Silahlar ve Elde Edilen Mermi Kovanları

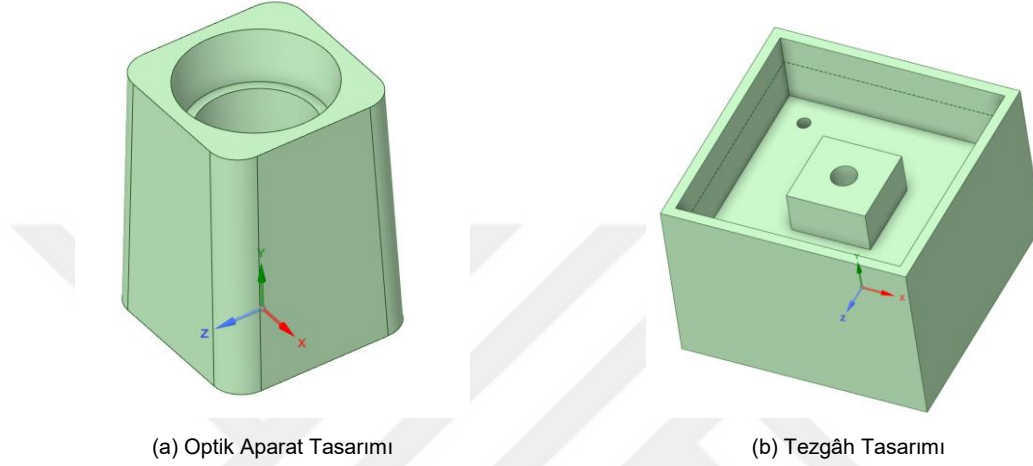
Sistemin test aşamasındaki tepkisini ölçmek amacıyla kullandığımız 10 tabanca haricinde, farklı tabancalardan elde edilen 18 adet mermi kovanı da sonradan kovan envanterine dahil edilmiştir.

9.2. Optik Sistem Tasarımı

Optik sistem tasarımı için tezgâh ve aparat üretimi, ışıklandırma ekipmanlarının tezgâha döşenmesi, elastomer üretimi ve boyanması ve son olarak mikroskobik kamera ile tümleşik bir sistem oluşturulması aşamalarından geçilmiştir.

9.2.1. Tezgâh ve Aparat Üretimi

Tezgâh ve aparat üretimi için ilk aşama gerekli 3D CAD modellemelerinin yapılmasıdır. Bunun için Ansys SpaceClaim uygulaması kullanılarak tezgâh ve aparatlar için gerekli 3D tasarımları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu tasarımlara ait dosyalar, 3D yazıcıya yüklenerek tezgâh ve aparat üretimi yapılmıştır. 3D CAD tasarımlarına ait görseller Şekil 9.2’de verilmiştir.



Şekil 9.2. Tezgâh ve Aparat Tasarımı

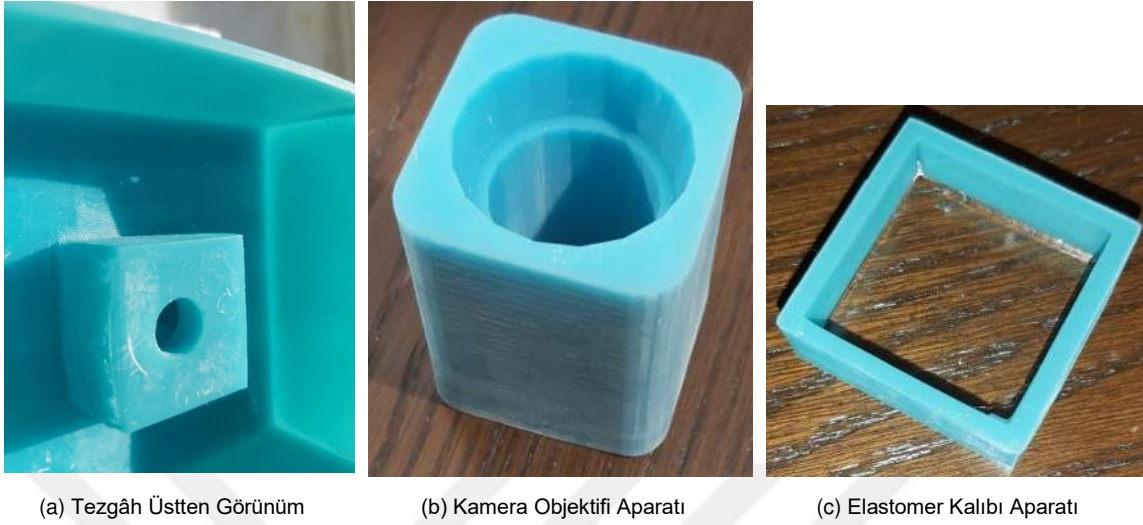
3D malzeme tasarımı için iki alternatif vardır. Bunlardan biri malzeme olarak termoplastik filamentler kullanan FDM (Fused Deposition Modelling) 3D yazıcıları; Diğeri ise malzeme olarak reçine kullanan SLA (Stereolithography) 3D yazıcılarıdır.

FDM yazıcılardan elde edilen modellerde düşük yüzey hassasiyeti büyük bir problemdir. Yüzey hassasiyetini arttırmak için optik sistemin tezgâh ve aparat tasarımında 3D SLA yazıcı tercih edilmiştir. Aparat tasarımında kullanılan SLA yazıcıya ait görsel Şekil 9.3’de verilmiştir.



Şekil 9.3. SLA Yazıcı

SLA yazıcı ile üretilen aparat ve tezgâh tasarımlarına ait görseller Şekil 9.4’de verilmiştir.



Şekil 9.4. Tezgâh ve Aparat Tasarımları

Şekil 9.4 (a)’daki tezgâh, optik sistem için gerek duyulan ışık tertibatını ve mermi kovanı haznesini barındıran kısımdır. Şekil 9.4 (b)’deki kamera objektifi aparatı ise mermi kovanı görüntülemesi için gerek duyulan karanlık ortamı sağlamasının yanı sıra, kamera için gerek duyulan odak mesafesini de sağlar. Şekil 9.4 (c)’deki aparat ise elastomer üretiminde karışım için gerek duyulan kalıp tasarımıdır.

9.2.2. Işık Tertibatı Tasarımı

Yüzeysel girinti ve çıkıntılara ait gölgelerin güçlü bir derinlik izlenimi yarattığı fikriyle, mermi kovanı yüzeyindeki hatlar üzerinde üç ana rengin ışığına bağlı oluşacak gölgelerden güçlü ve ayırt edilebilir derinlikler elde edilebilir. Bu bilgiden hareketle, mermi kovanı yüzeyindeki gölgelerden derinlik hissi oluşturacak biçimde retrografik görüntü alınması amaçlanmıştır. Bunun için tezgâh iç köşeleri baz alınarak, kare biçimde konumlandırılmış 4 yönlü yatay ışık kaynağı tasarımı benimsenmiştir. Bu tasarımda merkezde bulunan mermi kovanı etrafında 90 derece açılarla, kırmızı, yeşil, mavi ve beyaz ışıklar konumlandırılmıştır. Işıklandırma elemanı olarak da ışık uzantısında noktasal izler bırakmayan COB Led kullanılmıştır. Işık tertibatına ait görsel Şekil 9.5’de verilmiştir.



(a) Tezgâh için Işık Tertibatı Tasarımı



(b) Tezgâha Ait Tasarlanmış Işık Tertibatı

Şekil 9.5. Tezgâha Ait Işık Tertibatı Tasarımı

9.2.3. Elastomer Üretimi

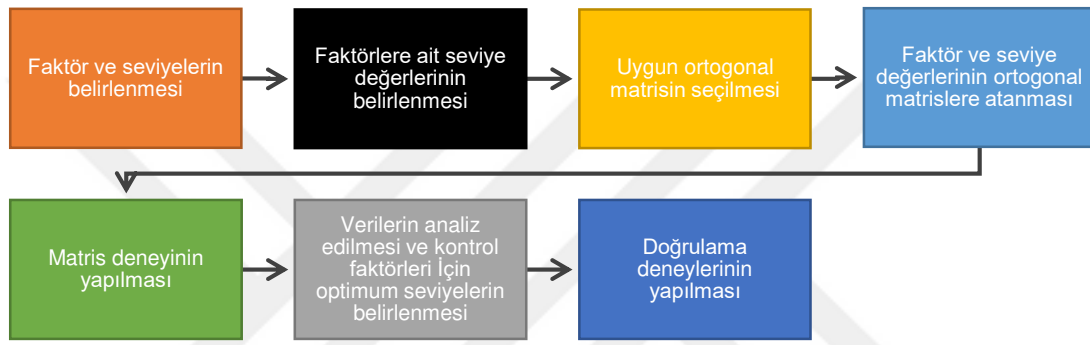
Mermi kovanı yüzeyindeki mikroskobik düzeydeki pürüzlere nüfuz edecek nitelikte yumuşaklığa ve yüksek şeffaflığa sahip bir elastomer üretimi, görüntü alma aşamasında ince detayları yakalamada önemlidir. Termoplastik elastomerlerden daha yumuşak Shore-A değerlerine ulaşabilen termoset grubundaki elastomerler bu gereksinimleri sağlamada yeterli geldiği için bu çalışmada termoset elastomer grubundaki silikon kauçuklar üzerinde durulmuştur. Termoset elastomer grubunda yer alan platinum kürlü silikon kaçuğun, peroksit kürlü silikon kauçuğa göre çok daha yumuşaklık göstermesinden ötürü, bu çalışmada platinum kürlü silikon kauçuk tercih sebebi olmuştur.

Platinum kürlü silikon kauçuk polimer türevli elastik bir malzemedir ve bu malzemenin üretimi A, B ve C olarak adlandırılan bileşenlerin belirli oranlarda karıştırılması ile gerçekleştirilmektedir. Burada A ve B bileşenleri silikon polimerleri olarak adlandırılan bileşenlerdir. Silikon imalatı için bu bileşenlerin belirli oranlarda karıştırılması ile silikon oluşumu için gerekli olan kimyasal reaksiyon gerçekleşmiş olur. C bileşeni ise silikon kaçuğun "hissini" daha yumuşak ve daha "et benzeri" bir malzemeye dönüştürmektedir. Ayrıca silikonun elastiki özelliklerini değiştirerek daha çok insan dokusunu andıran bir özelliğe kavuşmasını sağlamaktadır. En iyi dokunma hissini yakalayacak elastomerik yumuşaklığın elde edilmesi için bu bileşenlerin uygun karışım oranını yakalamak gerekmektedir. Bunu sağlamak için Taguchi ortogonal dizi seviyeleriyle uygun karışım oranı belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneyisel Olarak Uygun Karışım Oranını Belirleme: Taghuci Metodu

Taguchi metodu, üretim süreçlerinde deney yoluyla kalite geliştirmesini sağlamak için deneyde değişkenliği oluşturan unsurlara ait oranları uygun kombinasyonlarda seçerek, deneylere

ait kombinasyon sayısını en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur. Bu yöntem kalitede ulaşılması gereken hedef değer etrafındaki değişkenlikleri azaltıp, kalite geliştirme sürecinin maliyetini düşürerek, hedeflenen optimum kalite değerine ulaşılmasını sağlamaktadır. [89,90]. Taguchi yöntemi deney sürecinde malzemeden ve zamandan tasarruf sağlayarak, deney sayısını minimuma indirerek uygun malzemeyi elde etmeyi sağlayacağı için genel olarak bu tez çalışmsındaki tercih sebebi olmuştur. Taghuchi tasarımına ait akış şeması Şekil 9.6’da verilmiştir [91].



Şekil 9.6. Taguchi Metodu Akış Şeması

Çalışmada Taguchi deney metodu kullanılarak yumuşaklık, dayanım gibi deneysel sonuçlar göz önünde bulundurulmuş ve bu şekilde uygun malzeme oranı belirlenmiştir. Tablo 9.2’de Taguchi yönteminde kullandığımız faktörler ve bu faktörlere bağlı seviyeler verilmiştir. Üç faktöre ve üç seviyeye sahip bu deneyde en iyi malzemeyi belirlemek için normal şartlarda $3^3 = 27$ deney yapılması gerekirken bir Taguchi yöntemi olan L9 ortogonal tasarımı ile deney sayısı 9 deneye düşürülmüştür. Bu yöntem ile yapılacak deney sayısı %66,6 oranında azaltılmıştır.

Tablo 9.2. Faktörler ve Seviyeleri

Faktör Kodu	Faktör	Birimi	Seviyeler		
			1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
A	A Bileşeni	Oran	1	2	3
B	B Bileşeni	Oran	1	2	3
C	C Bileşeni	Oran	1	2	3

Deneye ait faktörler ve seviyelerinin belirlenmesi aşamasından sonra Taguchi L9 ortogonal deney tasarım matrisinin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla kullanılan yazılım vasıtası ile

üç parametrelili ve üç seviyeli Taguchi $L_9 (3^3)$ ortogonal deney tasarım matrisi çıkartılmış ve bu matris Tablo 9.3’de verilmiştir. Bu matristeki seviyeler, deneyimizin faktörleri olan A, B ve C bileşenlerine ait karışım oranlarını ifade etmektedir. Ortaogonal diziler L harfi ile tanımlanırlar ve $L_A (B^C)$ şeklinde gösterilirler. Burada L ortogonal dizi sembolünü, A deney sayısını, B faktör seviyelerini, C ise ortogonal dizideki sütun sayısını göstermektedir [92].

Tablo 9.3. Tasarım Matrisine Ait Faktör/Seviye Deseni

Deney No	Faktörler / Seviyeler		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Elastomer numunelerinin üretim aşamasında Tablo 9.3’deki oranlar göz önünde bulundurularak A, B ve C bileşenleri karıştırılmıştır. Bu karışımların reaksiyonu için uygun ortam sıcaklığı 23 °C’dir ve kuru ortamda gerçekleştirilmelidir. Bu koşullar göz önünde bulundurularak silikon kauçuk üretimi yaklaşık 23 °C derecede ve kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Bileşen viskozitesinin düşük olmasından ötürü her deneyde kullanılan bileşenin toplam karışım oranları sıvı cinsinden yaklaşık 90 ml olarak belirlenmiştir. Dokuz deney için farklı oran seviyelerinde A, B ve C bileşenlerini içeren toplam 9 adet numune elde edilmiştir. Taguchi ortogonal dizi seviyelerine bağlı olarak A, B ve C bileşenlerinin deney bazındaki miktarları Tablo 9.4’de verilmiştir.

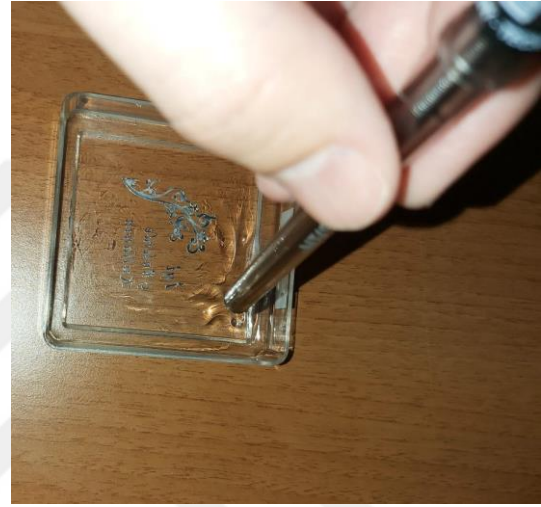
Tablo 9.4. Bileşenlere Ait Oranlar (ml)

Deney No	Oranlar (ml)		
	A Bileşeni	B Bileşeni	C Bileşeni
1	30	30	30
2	18	36	36
3	13	39	39
4	36	18	36
5	26	26	39
6	30	45	15
7	39	13	39
8	45	30	15
9	34	34	23

Taguchi deney tasarımı kapsamında A, B ve C bileşenleri için belirlenen oranların akabinde, ideal malzemeyi belirlemek için her numune üzerinde ayrı ayrı biçimde Shore-A yumuşaklık, ışık geçirgenliği, çekme dayanımı, kuruma süresi gibi testler uygulanmıştır. Numunelerin üretiminde her karışım için 2 ayrı döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Dökümlerden biri kalıptan geçirilen deney numunesiyken diğeri ise zaman içerisinde kuruma durumunu kontrol etmek için kullanılan numune olmuştur. Şekil 9.7 (a)'da dökülüp kurumaya bırakılan numunelerin görselleri verilmiştir. Şekil 9.7 (b)'de ise kuruma durumu kontrol işlemine ait görsel verilmiştir.



(a) Dökümü Yapılıp Kurumaya Bırakılan Numuneler



(b) Numune kontrolü

Şekil 9.7. Numune Kalıbı Dökümü ve Kontrolü

Polimer tipi yumuşak malzemelerin yumuşaklık ölçümü Shore-A ölçümü ile gerçekleştirilmektedir [93]. Ölçümün prensibi Shore metrenin yumuşaklık ölçümü yapılacak nesnenin üzerine Newton cinsinden basınç uygulanmasına dayalıdır. Elastomere temas edecek nesnenin yüzeyine ait tüm geometrik detayları kapsayacak biçimde bir temas gerçekleştirilmesi, yüzey ayrıntılarının hassas olarak kameraya aktarılması için önemlidir. Elastomer ne kadar yumuşak olursa, elastomer dokusunun nesnenin yüzeyine ait geometrik detaylara inmesi o kadar mümkündür. Bu yüzden Shore-A yumuşaklık testi yapılarak elastomerin yumuşaklığı hususunda bilgi edinilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında Shore-A ölçüm cihazı ile yapılan ölçüme ait görsel Şekil 9.8'de verilmiştir.



Şekil 9.8. Shore-A Ölçüm Cihazı ile Ölçüm Yapılması

Bir nesnenin şeffaflığı ışık geçirgenliği ile orantılı bir özelliktir ve bu özelliğin ölçümü için numuneler üzerinde UV Saydamlığını ölçen Spektroskopik ölçüm testi yapılarak numunenin saydamlığı ile ilgili bilgiler edinilmiştir [94].

Numunelere ait jel kıvamındaki karışımların kuruma sürelerinin kontrolü ve kaydı, 24 Saatlik süre içerisinde her saat başı incelenip çetele tutularak gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi testi ise çekme deneyi makinasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümün sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi amacıyla, ölçüm esnasında çekme makinasına ait tutmaç dışlarının elastomer numunesine zarar vermemesi için numunelerin tutmaçlara gelen uç kısımları bantlanmıştır. Çekme deneyine ait görsel Şekil 9.9’de verilmiştir.



Şekil 9.9. Çekme Deneyi

Numuneler üzerinde yapılan kuruma süresi, Shore-A yumuşaklık, ışık geçirgenliği, çekme dayanımı gibi testler sonrasında şu sonuçlar elde edilmiştir:

Bileşenler karıştırılıp deney kaplarına konduktan sonra ilgili numune için 24 saatlik süre içerisinde 1 saatlik periyotlar halinde kuruma durumu gözlemlenmiştir. 24 saatlik gözlem sonunda

3. Deneye ait numune dışındaki tüm numunelerde kuruma gözlemlenmiştir. Deney numunelerine ait oranlar ve kuruma süreleri Tablo 9.5’de verilmiştir.

Tablo 9.5. Numunelere Ait Kuruma Süreleri

D.N	ORAN			MİKTAR (ml)			Kuruma Zamanı
	A	B	C	A	B	C	
1	1	1	1	30	30	30	10. Saat
2	1	2	2	18	36	36	24. Saat
3	1	3	3	13	39	39	-
4	2	1	2	36	18	36	7. Saat
5	2	2	3	26	26	39	9. Saat
6	2	3	1	30	45	15	17. Saat
7	3	1	3	39	13	39	9. Saat
8	3	2	1	45	30	15	6. Saat
9	3	3	2	34	34	23	8. Saat

Deney oranlarına karşılık gelen kuruma sürelerine bakıldığında karışımdaki B bileşenin, A bileşenine göre oransal yükseklik göstermesi kuruma süresini arttırdığını göstermektedir. Bu sebeple 2,3 ve 6 nolu deneylerin kuruma süreleri diğer deneylerin kuruma sürelerine göre çok daha yüksektir. Bu gözlemden, B bileşeni miktarının, A Bileşenine göre oransal yükseklik veya düşüklük göstermesinin, kuruma süresi üzerinde anlamlı bir etki gösterdiği sonucuna varılabilir. C bileşenin ise karışımdaki kurumaya bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Deney numunelerinin tam olarak kurumasının ardından, numunelere ait köşelerin 1 cm içerisinde ve ayrıca orta noktada olacak şekilde toplam 5 farklı noktanın referans alındığı bir dizi yumuşaklık testi yapılmıştır. Testte her numune için 5 noktanın yumuşaklık değerlerinin ortalaması alınarak nihai yumuşaklık değerleri elde edilmiştir. Yumuşaklık ölçümünün yapıldığı yer itibarı ile elde edilen ortalama yumuşaklık değerlerini ifade eden değerler Tablo 9.6’da verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere her numuneye ait kısımlar için yapılan ölçümlerde homojen değerler elde edilmiştir.

Tablo 9.6. Numunelerin Yumuşaklık Ölçümleri

ÖLÇÜM YERİ	DENEYLER / ÖLÇÜMLER (Shore-A)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Köşe	12,00	7,00	6,00	16,00	11,00	8,00	17,00	16,50	12,00
2. Köşe	12,00	7,00	6,00	16,00	11,00	8,00	17,00	16,50	12,00
3. Köşe	12,00	7,00	6,00	16,00	11,00	8,00	17,00	16,50	12,00
4. Köşe	12,00	7,00	6,00	16,00	11,00	8,00	17,00	16,50	12,00
Orta Kısım	12,00	7,00	6,00	16,00	11,00	8,00	17,00	16,50	12,00
Ortalama	12	7	6	16	11	8	17	16,5	12

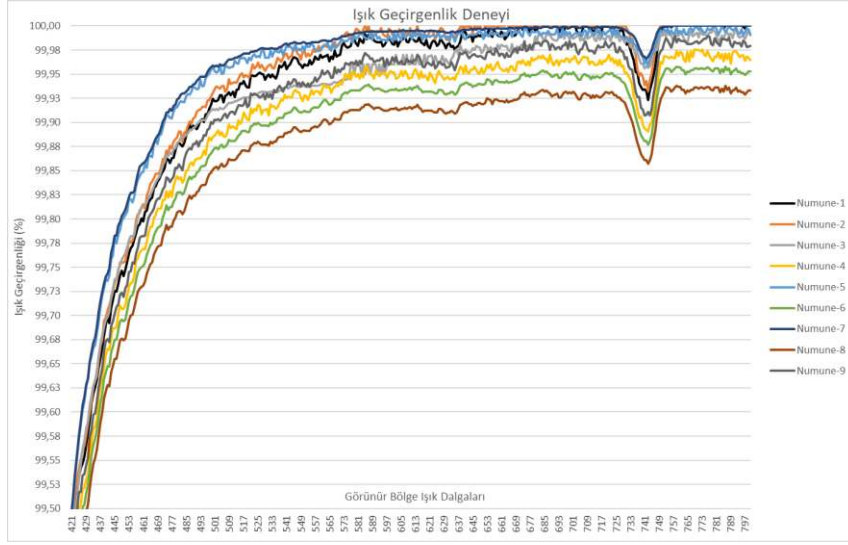
Bu testte karışımdaki B maddesine ait oranın yüksekliğine bağlı olarak numunenin yumuşaklığının arttığı görülmektedir. C maddesinin ise yumuşaklığa ait karakteristikte etkili olduğu görülmektedir. C maddesinin karışımdaki artan oranına bağlı olarak elastomer yumuşaklığının insan dokusuna yakın özellikler göstermesinin yanı sıra, elastomerin yapışkanlık özelliğini de arttırdığı gözlemlenmiştir [95]. Elastomerin İnsan dokusuna yakın yumuşaklık karakteristiğine sahip olması, retrografik elastomerik sensörün kovan yüzeyi ile etkili teması için istenilen bir özelliktir.

Numunelerin transparanlığı hakkında fikir edinebilmek için numunelere görünür dalga boyunun 400-800 nm arasında olduğu değerlerde ışık uygulanarak UV Spektroskopik ölçüm testi gerçekleştirilmiştir [96]. Işık testi için kullanılan cihaza ait görsel Şekil 9.10'da verilmiştir.



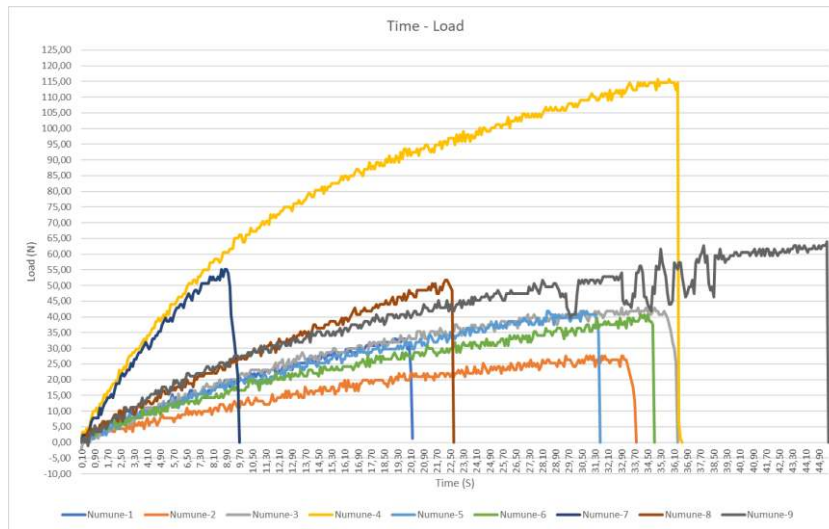
Şekil 9.10. UV Spektroskopik Ölçüm Cihazı

Test sonucunda numunelerin %98,80 ile %100 arasında değişen değerlerde ışık geçirgenliği gösterdiği görülmüştür. Yüksek değerdeki ışık geçirgenliklerine bakıldığında 1, 2 ve 5 nolu numunelerin %100 değerine daha yakın ışık geçirgenliği gösterdiği görülmüştür. Genel manada Işık geçirgenliği değer aralıklarına bakıldığında, tüm numunelerin sahip olduğu transparanlık özelliğinin ideal düzeyde olduğu sonucuna varılabilir. Numunelere ait ışık geçirgenliği grafiği Şekil 9.11'de verilmiştir.

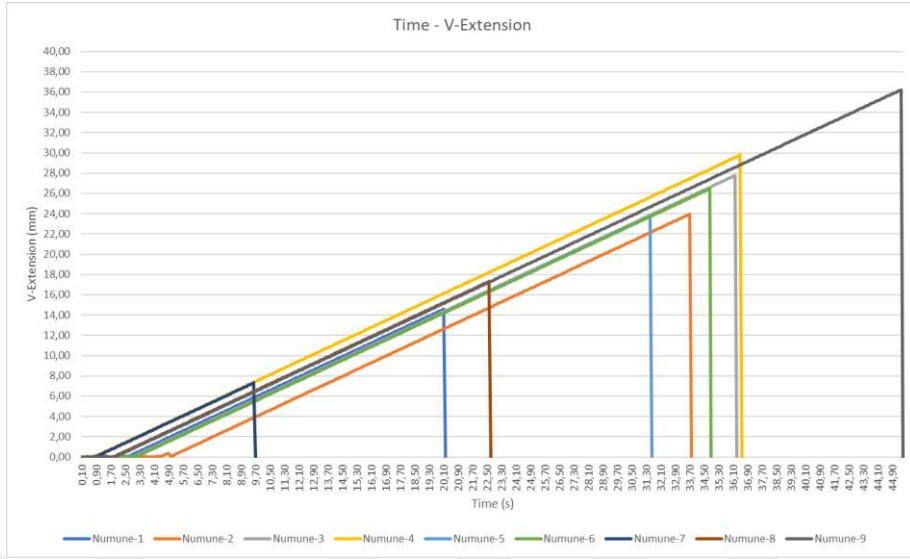


Şekil 9.11. Numunelere Ait Işık Geçirgenliği Testi

Retrografik elastomerik sensörün, nesneler ile basınçlı temas gerektiren özellikte bir cihaz olmasından ötürü, sensöre ait elastomer malzemenin mekanik etkilere karşı dayanıklı olması gerekli bir özelliktir. Mekanik etkilere karşı dayanımı en yüksek ve tahribatı en düşük olan malzemenin hangisi olduğu hususunda bilgi edinmek için numunelere çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Çekme deneyine bağlı olarak numune üzerine Newton cinsinden uygulanan yük (Load) ve numunenin mm cinsinden dikey uzaması (V-Extension) gibi referanslar hakkında bilgi edinilmiştir. Bu testteki en yüksek yük değeri olan 115 N'luk gerginlik değerine ulaşan 4. Deneye ait numune iken, 36,2 mm'lik dikey uzama ve 45,4 birimlik gerilme ile en yüksek değerlere, 9. Deneydeki numune ile ulaşılmıştır. Numunelere ait çekme dayanımı değerlerine ait grafikler Şekil 9.12 ve 9.13'de verilmiştir.

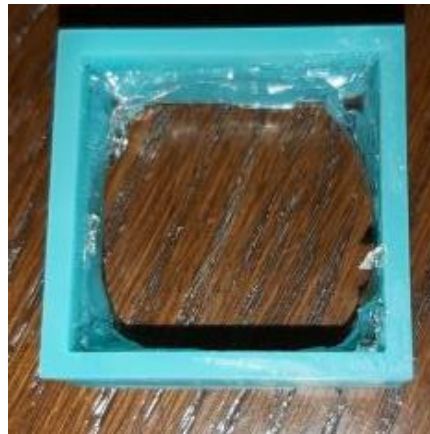


Şekil 9.12. Yük Testi



Şekil 9.13. Dikey Uzama Testi

Taguchi ortogonal matrisi ile elde edilen 9 farklı numuneye ait deneysel sonuçlar incelenmiş ve bu incelemeler sonucunda 5 nolu numunenin çalışma için ideal ışık geçirgenliğine, kuruma süresine, yumuşaklığa ve dayanıma sahip bir malzeme olduğu tespit edilmiştir. Bu referansların yanında numunelerin görüntü hassasiyetinin ölçümü yapılmıştır. Ölçümler için, elastomer üretiminde 30,5 mm kare biçiminde camlar kesilip, silikon bileşiği kalıp vasıtası ile bu camlar üzerine dökülerek, elastomer ve camdan tümleşik optik bir aparat üretimi çalışması yapılmıştır. 3D yazıcıdan üretilen kalıp ile yapılan döküm işleminde oda sıcaklığında 1 gün bekletildikten sonra silikon kauçuğun kalıbın yüzeyi ile kimyasal bir bağ oluşturduğu, söküm işleminde kalıptan ayrılmadığı ve deforme olduğu görülmüştür. Reçine dökümü için yapılan söküm işleminde elde edilen sonuç Şekil 9.14’de verilmiştir.



Şekil 9.14. Reçine Silikon Etkileşimine Bağlı Deformasyon

Reçine kalıptan istenilen sonucun elde edilememesi neticesinde çözüm olarak reçine kalıp yerine plastik kaplar döküm için kullanılmıştır. Plastik kaplar ile yapılan döküm işleminde elastomerin oda sıcaklığında 1 gün içerisinde kuruduğu ve kolayca kalıptan ayrıldığı fakat cam ile yeterince yapışık bir bağ oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Elastomer 3 gün bekletildikten sonra cam ile yeterli yapışık bağı oluşturmuş ve cama yapışık bir şekilde kalıptan kolay bir şekilde ayrılmıştır. Plastik kap ile yapılan camlı elastomer üretimine ait görsel Şekil 9.15’de verilmiştir.

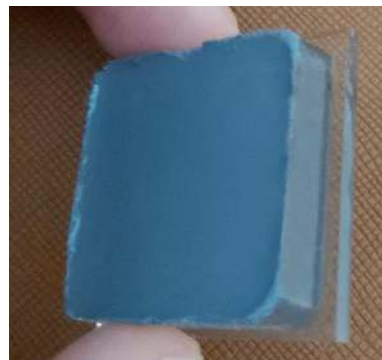


Şekil 9.15. Plastik Kap ile Camlı Elastomer Üretimi

Bir sonraki aşama için elastomerin yüzey boyaması gerçekleştirilmiştir. Boyama için elastomer üretiminde kullanılan A, B ve C bileşenlerinin yanı sıra silikon solventi, siyah ve beyaz pigment boya kullanılmıştır. Boya tabancası ile yapılan boyama denemelerinde boya maddesi için elastomer üretiminde kullanılan A, B ve C bileşenleri ve oranları baz alınmıştır. Elde edilen bileşik, siyah ve beyaz pigment ile karıştırılarak boya bileşiği oluşturulmuştur. Bileşiğin viskozitesi boyama için biraz yüksek olduğundan solvent ile hafif inceltme denemeleri yapılmış ve her denemede grinin tonlarında bir boya rengi elde edilmiştir. Boyalı haldeki elastomer numunelerine ait görseller Şekil 9.16’da verilmiştir.



(a) Boyanmış ve Kurumaya Bırakılmış Camlı Elastomer Numunesi



(b) Hazır Haldeki Camlı Elastomer Numunesi

Şekil 9.16. Camlı Elastomer

Görüntü Testi

Boyama işleminden sonra boyanmış camlı elastomer numuneleri, görüntü kalitesini belirlemek için görüntü testine tabii tutulmuştur. Numunelerden alınan görüntülerde, kalın tabakalı veya pigment oranı düşük olan yüzeylerin net olmayan, bulanık bir biçimde görüntü verdiği tespit edilmiştir. Bu tespitlerden sonra görüntü kalitesini arttırmak için yoğun pigmentli, ince tabakalı boyamalar yapılarak daha kaliteli görüntü elde etme yoluna gidilmiştir. Yapılan görüntü testinde 5 nolu numuneye ait görüntünün diğer numunelere nazaran yüksek kalitede görüntü verdiği gözlemlenmiştir. 5 nolu numunenin, Şekil 9.17 (a)'daki örnek mermi kovanına uygulanması ile elde edilen görüntüye ait görsel Şekil 9.17 (b)'de verilmiştir.



(a) Orjinal Görüntü



(b) Yoğun pigmentli boyama

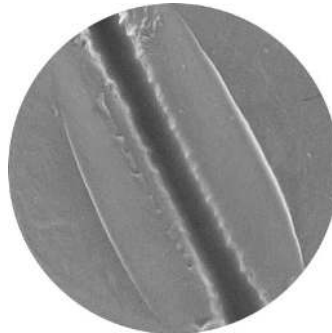
Şekil 9.17. Mermi Kovanına Ait Görüntü Testi Örnekleri

Görüntü Hassasiyeti

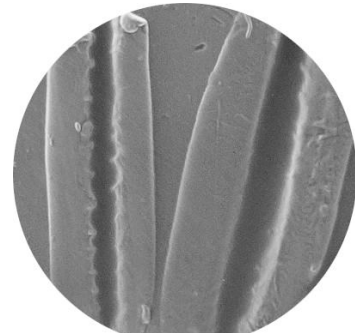
Görüntü hassasiyeti için 0,81, 0,85, 0,56 ve 0,59 mm silindirik çap izlerine sahip yüzeyler üzerinde görüntü hassasiyeti testi yapılmıştır. Yüzeylere ait görseller Şekil 9.18'de verilmiştir.



0,56 mm



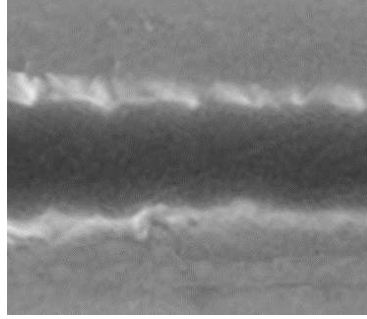
0,81 mm



0,59 ve 0,85 mm

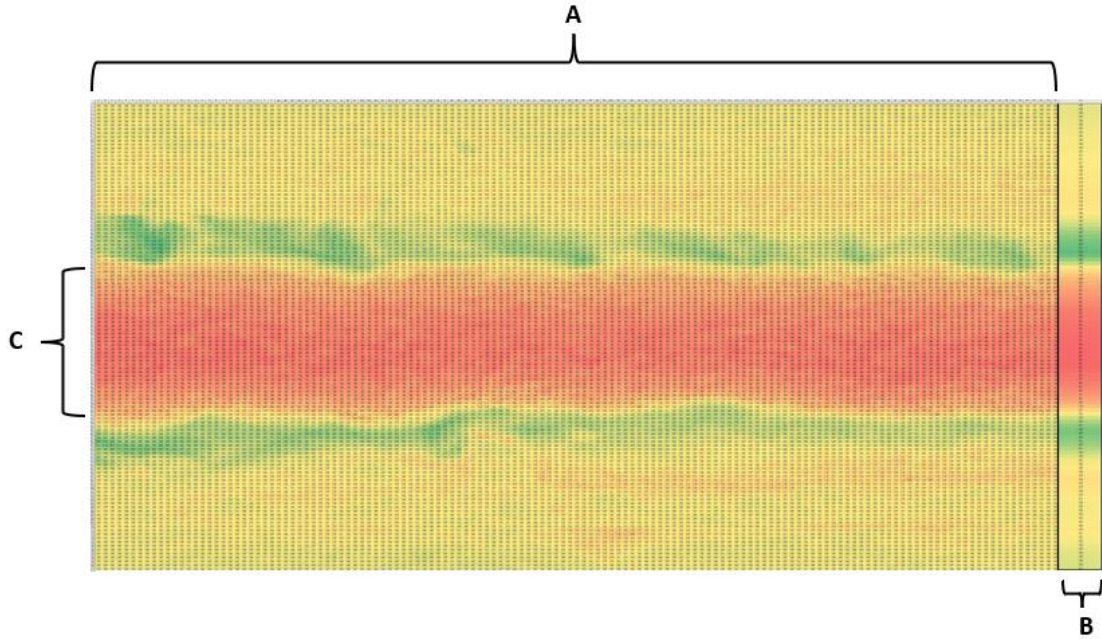
Şekil 9.18. Görüntü Hassasiyeti Tespiti için Kullanılan Yüzeyler

Bu test için geliştirilen yazılım sayesinde gri görüntünün derinliğini dikey eksende kesecek şekilde bir kesit alınarak Şekil 9.19'daki gibi kesitler üzerinde piksel bazlı hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 9.19. Görüntü Kesiti

Hesaplamanın ilk adımı için Şekil 9.19'daki gri görüntü kesiti, geliştirilen yazılım marifeti ile piksel bazında sayısallaştırılarak görüntü matrisi biçimine dönüştürülmüş ve elde edilen görüntü matrisinden, topoğrafik görüntü Şekil 9.20'deki biçimiyle elde edilmiştir.

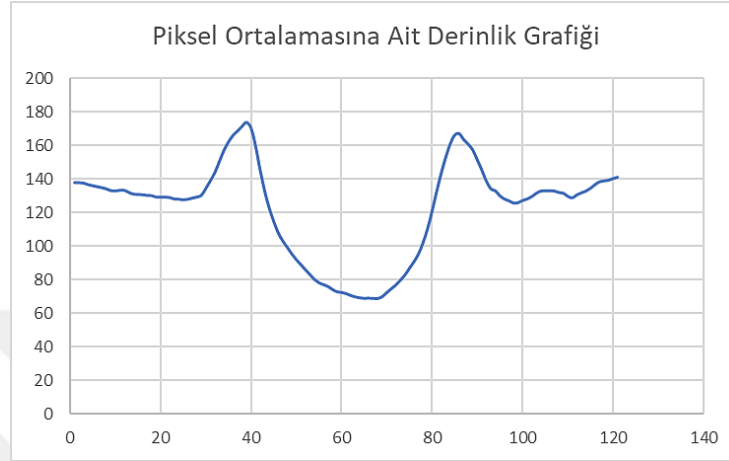


Şekil 9.20. Görüntü Matrisine Bağlı Oluşan Topoğrafik Görüntü

Şekil 9.20'de görüldüğü gibi, **A** kısmı 0,81 mm çaplı iğne izine sahip parçanın piksel bazlı topoğrafik görüntüsü iken **B** kısmı **A** kısmındaki yatay piksellerin ortalaması, **C** kısmı ise yüzeydeki 0,81 mm derinliğe sahip kısım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Derinlik faktörü hesaplaması için Şekil 9.20'de, **B** kısmındaki maksimum ve minimum piksel değerlerinin farkının alınması suretiyle elde edilen değer, yüzeydeki derinlik çizgisi olarak

adlandırılan **C** kısmının dikey açıklığına bağlı piksel sayısı ile çarpılarak bir derinlik faktörü elde edilmiştir. Burada **C** kısmının sütun bazında piksel sayısı, derinliği gösteren kırmızı piksellerin toplam sayısı ile **A** kısmındaki toplam sütun sayısının bölünmesi ile elde edilmektedir. **B** kısmı için derinliği görsel olarak ifade eden grafik Şekil 9.21’de verilmiştir.



Şekil 9.21. B Kısımına Ait Derinlik Grafiği

Derinliği ifade eden **C** kısmının piksel sayısını veren sözde kod Tablo 9.7’de verilmiştir.

Tablo 9.7. Yüzey Derinliğini İfade Eden Piksel Sayısını Bulan Sözde Kod

```

Giriş: kesit(b1,b2)
Çıkış: Derinliği ifade eden kısım için dikeyde her sütuna düşen ortalama piksel sayısı pso
ps ← 0
DÖNGÜ i = 1:m
    DÖNGÜ j = 1:n
        EĞER min < kesit(i,j) < maks
            ps ← ps + 1
        EĞER SONU
    DÖNGÜ SONU
DÖNGÜ SONU
pso ← ps / ss
    
```

Burada;

ps: Yüzey derinliğini ifade eden piksel sayısını, kesit(b1,b2) ise piksel değerlerinden oluşan b1xb2 boyutlu görüntü kesitine ait matris,

min: Derinliği ifade eden kırmızı alandaki minimum piksel değeri,

maks: derinliği ifade eden kırmızı alandaki maksimum piksel değeri,

pso: Derinliği ifade eden **C** kısmının dikeyde her sütuna düşen ortalama piksel sayısı,

ss: A kısmındaki sütun sayısı

SBPO_{Fark}: B kısmındaki maksimum ve minimum piksel farkı olarak ifade edilmektedir. **df** olarak adlandırılan derinlik faktörü ise Denklem 9.1’de verilmiştir.

$$df = SBPO_{Fark} \times pso \quad (9.1)$$

Denklem 9.1’de verilen hesaplama ya bağlı olarak her numuneye ait izlerin derinlik faktörü hesaplanmış ve şu değerler elde edilmiştir;

0,56 mm’lik ize sahip parçanın derinlik faktörü (df): 2511

0,59 mm’lik ize sahip parçanın derinlik faktörü (df): 2633

0,81 mm’lik ize sahip parçanın derinlik faktörü (df): 3632

0,85 mm’lik ize sahip parçanın derinlik faktörü (df): 3828

Tablo 9.8’de elde edilen (mm/df) oranları incelendiğinde yüzey hassasiyeti hakkında bir fikir edinilebilir. Burada her iğne izi için elde edilen mm/df oranı farklı bir iğne izinin derinlik faktörü ile çarpıldığında derinlik hassasiyeti için tutarlı sonuçlar vermektedir.

Tablo 9.8. Yüzeylere Ait (mm/df) Oranları

İğne İzi	Derinlik Faktörü (df)	(mm)/(df)
0,56 mm	2511	0,000223
0,59 mm	2633	0,000224
0,81 mm	3632	0,000223
0,85 mm	3828	0,000222

Tablo 9.8’deki mm/df için 0,00022’lik katsayı değeri ile istenilen hassasiyet sağlanabilmiştir.

9.2.4. Veriseti için Görüntü Alma ve İşleme

Bir merminin ateşlenmesini sağlayan kısım mermi kovanıdır. Silahın tetikleyici mekanizmasındaki iğnenin mermi kovanı kapsülüne darbe uygulayarak ateşlemesi yoluyla mermi hareket eder. Mekanik dizilim ve metal alışmasından dolayı bir silahtan çıkan mermi kovanı kapsülü üzerindeki tahrip izleri her mermi kovanında aynı olmamaktadır. Bu durum silahtan silaha farklılık gösterdiğinden, ayırt edicilik olarak ortaya çıkmaktadır. Mermi kovanındaki bu karakteristik özellikten hareketle, elastomer üretimi ve boyanması işleminin ardından optik düzenek hazır hale getirilmiş ve bu düzenek ile mermi kovanlarından 1280x720 çözünürlüğünde görüntüler alınarak veri seti oluşturulmasının ilk adımı gerçekleştirilmiştir. Optik düzenekte dizüstü bilgisayar, mikroskobik kamera ve bu kameranın ucuna bağlı odaklanmayı sağlayacak aparat, camlı

elastomer ve ışıktandırılmalı mermi kovarı tezgâhı kullanılmıştır. Düzenekte kullanılan kameraya ait özellikler Tablo 9.9’da verilmiştir.

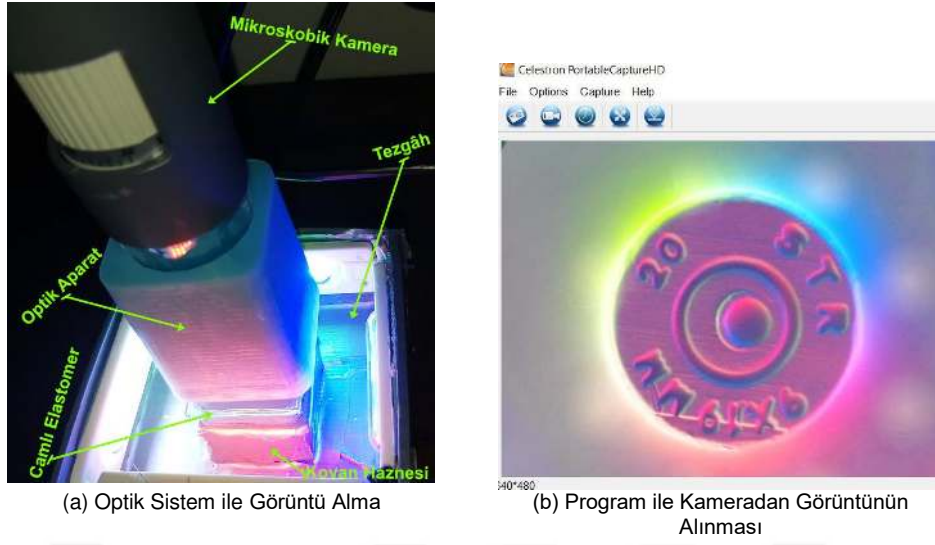
Tablo 9.9. Kullanılan Mikroskopik Kameraya Ait Özellikler

ÖZELLİK	DEĞERLER
Sensör	3.5 MP CMOS 1/3” High Speed
Piksel Büyüklüğü	2.2 μm x 2.3 μm
Hareketsiz Görüntü Yakalama	
Çözünürlüğü	Yazılım ile 640x480 ve 1280x720
Büyütme Oranı	24x’ten 220x’e kadar
Odak Aralığı	0 mm’den 35 mm’e kadar
Video Yakalama Çözünürlüğü	720p (HD) and 640 x 480 (VGA)
Video Akış Formatı	HDTV (HDMI Kablosu ile): 1080p (1920x1080)@30fps

Düzenegin genel görünümünü gösteren görsel Şekil 9.22’de verilmiştir. Optik düzenekten görüntü alımına ait görsel Şekil 9.23’de verilmiştir.



Şekil 9.22. Optik Düzenek



Şekil 9.23. Optik Sistemden Mermi Kovanı Görüntüsü Alma

Mermi kovanlarının, kameradan RGB ışıklı, tepeden kamera ışıklı, elastomerli RGB ışıklı olmak üzere 3 farklı görüntüsü alınmış ve bunlardan 3 farklı veri seti elde edilmiştir. Görüntülerin alınması işleminden sonra, bu görüntülerden kovanın ayırt edici özelliklerini taşıyan kapsül kısımlarının görüntüsü, basit bir görüntü işleme yazılımı ile alındı. Python tabanlı olarak geliştirilen görüntü işleme yazılımı ile alınan kapsül görüntülerinden veri seti oluşturuldu.

Kovana ait kapsül kısmının görüntüsü, görüntü işlemede sıkça kullanılan ve dairesel nesnelerinin görüntüsünü almada oldukça başarılı olan Hough Dairesel Dönüşüm (Hough Circle Transform) algoritması kullanılarak alınmıştır [97]. Hough dönüşüm algoritmasının uygulanışı ise OpenCV kütüphanesinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir [98]. Hough dönüşüm algoritmasından yararlanılarak, kapsül görüntüsünün alındığı uygulamaya ait görsel Şekil 9.24’de verilmiştir.



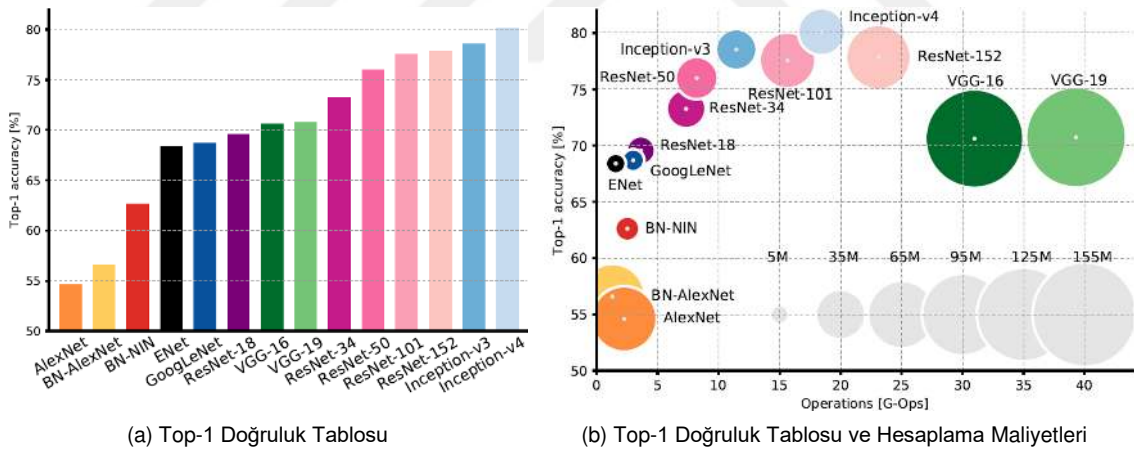
Şekil 9.24. Kapsül Görüntüsünün Alınmasını Sağlayan Yazılım

Bu tarz çalışmalardaki görüntülerden veri seti oluşturma mantığı, her sınıfa ait görüntülerin bilgisayar ortamında ilgili sınıf adı ile isimlendirilmiş dizinlerin içerisine ayrı ayrı olarak kaydedilmesine dayalıdır. Bu çalışmada da ilgili tabancalara ait mermi kovanı görüntüleri tabancalara verilen numaralardan oluşan dizinlerin altına kaydedilmiştir. Teşhiste daha başarılı sonuçlar için her görüntü 1280 x 720 HD çözünürlüğünde kaydedilmiştir.

Makine öğrenmesine dayalı derin öğrenmede, görüntülerin büyük bir kısmının eğitim safhası için küçük bir kısmının ise test safhası için kullanılması gerekmektedir. Bunun için veri seti oluşturulduktan sonra elde edilen görüntülerin %85'i eğitim verisi, %15'i ise test verisi olacak şekilde ayarlanmıştır.

9.2.5. Veri setinin derin öğrenme ile eğitilmesi

Canziani ve arkadaşlarının ResNet, VGGNet, Inception gibi birçok mimarinin performans kıyaslamasını yaptığı çalışma incelendiğinde Inception-V3'ün, ResNet, VGGNet gibi mimarilere oranla anlamlı bir şekilde düşük hesaplama maliyetine (G-Ops) ve yüksek başarı oranına (Top-1 accuracy) sahip olduğu görülmektedir. İlgili çalışmaya ait performans grafikleri Şekil 9.25'de verilmiştir [99].

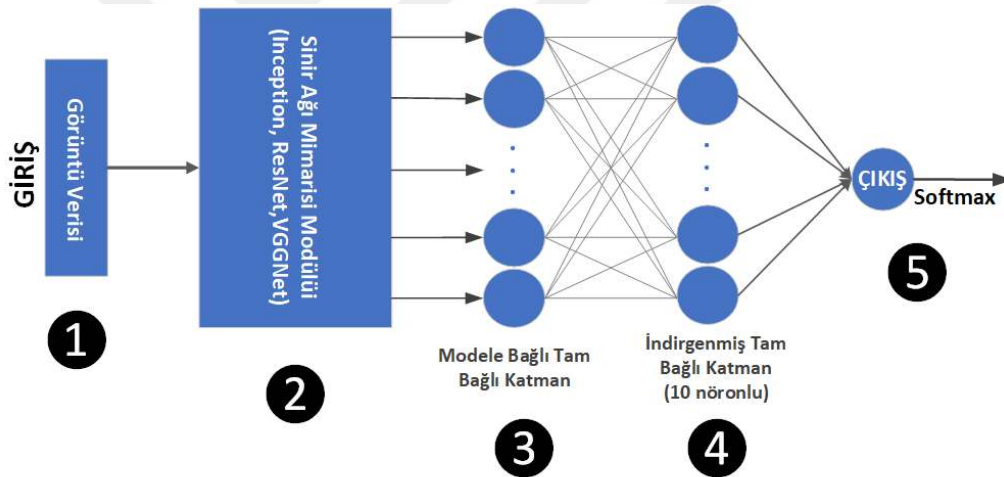


Şekil 9.25. Derin Öğrenme Mimarilerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada Inception-V4'ün, Inception-V3'e göre az bir farkla yüksek doğruluk oranına sahip olduğu gözükse de Inception-V4'ün gözle görülür bir farkla daha yüksek işlem maliyetine sahip olduğu dikkat çekmektedir. İşlem maliyetinin yüksekliği eğitim süresini uzatması ve daha çok sistem kaynağı gerektirmesinden ötürü bu çok tercih edilen bir durum değildir. Özellikle son zamanlarda sinir ağı modeli olarak önerilen EfficientNet ve Inception-ResNetV2 gibi sinir ağı modellerindeki yüksek hesaplama maliyetinden ötürü yüksek hafızalı kapasiteye sahip GPU işlem birimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan ötürü bu tez çalışması için tercih edilen derin öğrenme

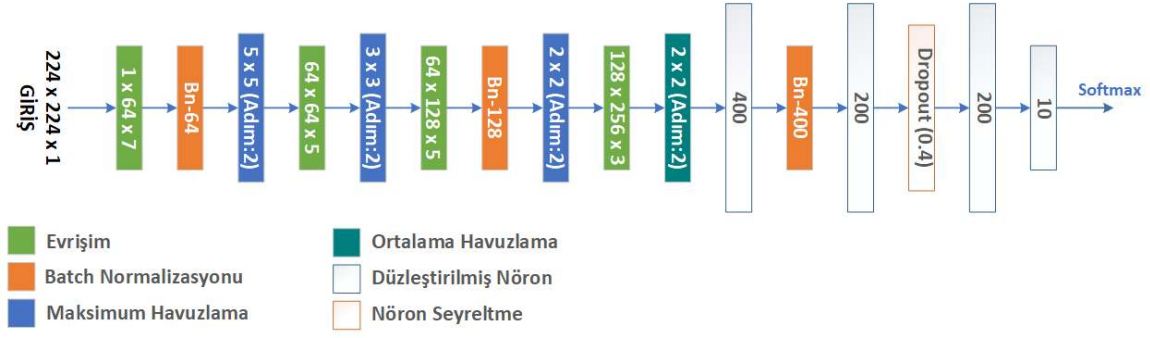
mimarisinin Inception-V3 olması öngörülmüştür. Inception-V3'ün performans kıyaslamasını yapmak için ayrıca ResNet, VGGNet gibi sinir ağı mimarileri ve özel olarak geliştirilen bir sinir ağının da veri seti üzerindeki başarısı deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan mimarilerin sinir ağı modeli Şekil 9.26'da verilmiştir. Burada 1 nolu kısım, mermi kovanlarına ait görüntü verisinin giriş olarak verildiği kısımdır. Giriş için tanımlı görüntü verisi Inception modülü için 299 x 299 piksel boyutunda; ResNet, VGGNet için ise 224 x 224 boyutunda ve 3 kanallıdır. 2 nolu kısım Inception, ResNet, VGGNet sinir ağı mimarilerine ait modülü temsil etmektedir. 3 Nolu kısım, VGG-16 modeli için 25088 adet nöron, ResNet50 için 2048 adet nöron ve Inception-V3 için ise 1000 adet nöron içeren düzleştirilmiş tam bağlı katmanı ifade eder. 4 nolu katman sınıf sayısı kadar olan 10 adet nörona sahiptir. Mermi kovanından silah tespitini sağlayan 5 nolu kısım çıkıştır. Bu kısım, softmax transfer fonksiyonu ile sınıflara ait tahmin skorlarını 0 ile 1 değerleri arasında vererek sınıflandırma işlemini yerine getirmektedir. Burada en yüksek tahmin skoru tahminin hangi sınıfa ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 9.26. Sinir Ağı Mimarisi

Sinir ağı mimarilerine ait modüllerin haricinde sistem için ayrıca özel bir sinir ağı da tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sinir ağı mimarisinde 224 x 224 ebadında tek kanallı (grayscale) görüntü verisi giriş olarak alınmış, ara işlemler sonrasında 200 nöronluk tam bağlı katmana bağlantı yapılmış ve oradan sınıf miktarı kadar 10 adet nörona çıkış verilmiştir. Tasarlanan sinir ağı içerisinde filtrelerle evrişim işlemleri, batch normalizasyonu (batchnorm), maksimum ve ortalama havuzlama, nöron seyreltme (dropout) gibi teknikler kullanılmıştır. Sinir ağına ait görsel Şekil 9.27'de verilmiştir.



Şekil 9.27. Özel Olarak Tasarlanmış Sinir Ağı

Bu tez çalışmasında tüm modeller için öğrenme oranı (learning rate), çevrim sayısı (epoch), parça sayısı (mini batch) gibi hiperparametre değerleri, adım adım artırılarak deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Bu şekilde optimum düzeyde öğrenmeyi sağlayacak sinir ağı modelinin elde edilmesi için çalışılmıştır.

Sinir ağı içerisinde tahmin edilen sınıf ile gerçek sınıf arasındaki hata değerini hesaplamak için çapraz düzensizlik (Cross-Entropy) fonksiyonu, hesaplanan hata değerinden minimum hata değerine ulaşmak için ise olasılıksal dereceli azalma (SGD) optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Denemeler neticesinde her çevrimde eğitim verisetinden alınacak veriler için en uygun parça sayısının 32, çevrim sayısının 600, öğrenme oranının ise 100 çevrimde bir aşamalı olarak 0,0001'den 0,001 değerine doğru arttırılan öğrenme oranı ile sabit 0,0001 öğrenme oranının oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu iki öğrenme oranı değerlerine bağlı olarak eğitilen modellere ait güçlü yönlerin başarıyı arttırmada tamamlayıcı etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yazılımda tek eğitilmiş model yerine 2 farklı modelin güçlü yönlerinin birleştirilmesi ile elde edilmiş bir hibrit çıkış modeli kullanımı tercih edilmiştir. Hibrit çıkış modeli, 2 ayrı modelin çıkışına softmax transfer fonksiyonu uygulanarak, her iki model için elde edilen sınıf tahmin oranlarının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Elde edilen hibrit çıkış modeline ait denklem Denklem 9.2'de verilmiştir.

$$Z_h = \frac{(Softmax(Z_1) + Softmax(Z_2))}{2} \quad (9.2)$$

Burada Z_h elde edilen hibrit modele ait çıkışı, Z_1 , 0,0001'den 0,001'e doğru arttırılan öğrenme oranı ile eğitilmiş modelinin çıkışını, Z_2 sabit 0,0001 öğrenme oranı ile eğitilmiş sinir ağı modelinin çıkışını, Softmax ifadesi ise modelin çıkışına uygulanan softmax transfer fonksiyonunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada, 0,0001'den 0,001 değerine doğru arttırılan öğrenme oranı ile eğitilmiş sinir ağı modeline “model-1”, sabit 0,0001 öğrenme oranı uygulanarak eğitilmiş sinir ağı modeline ise “model-2” adlandırmaları uygulanmıştır.

9.2.6. Sistem için Yazılımı Geliştirme

Çalışma için tasarlanan derin öğrenme modelinin, veri setine uygulanması için derin öğrenme kütüphanelerine ihtiyaç vardır. Bunun için yaygın olarak kullanılan Pytorch veya Tensorflow kütüphaneleri kullanılabilir. Bu çalışma için yeterince geniş özelliklere sahip olan ve Python dili destekli Pytorch kütüphanesi tercih edilmiştir. Pytorch kütüphanesi CPU ve GPU destekli derin öğrenme çalışmalarına imkân sağlar [100]. Bu çalışma için gerek duyulan performansta hızlı eğitim ve test süreçlerini gerçekleştirmek için GPU destekli Pytorch kütüphanesi kullanılmıştır. GPU destekli çalışmayı sağlamak için güncel CUDA versiyonuna sahip güçlü bir ekran kartı kullanılmalıdır. Bunun için 16 GB'a kadar GPU işlem birimi desteği sunan bulut tabanlı uygulama tercih edilmiştir. Çalışmada ayrıca kullanılan bilgisayar donanımı kaynakları Tablo 9.10'da verilmiştir.

Tablo 9.10. Kullanılan Bilgisayar Donanımı Kaynakları

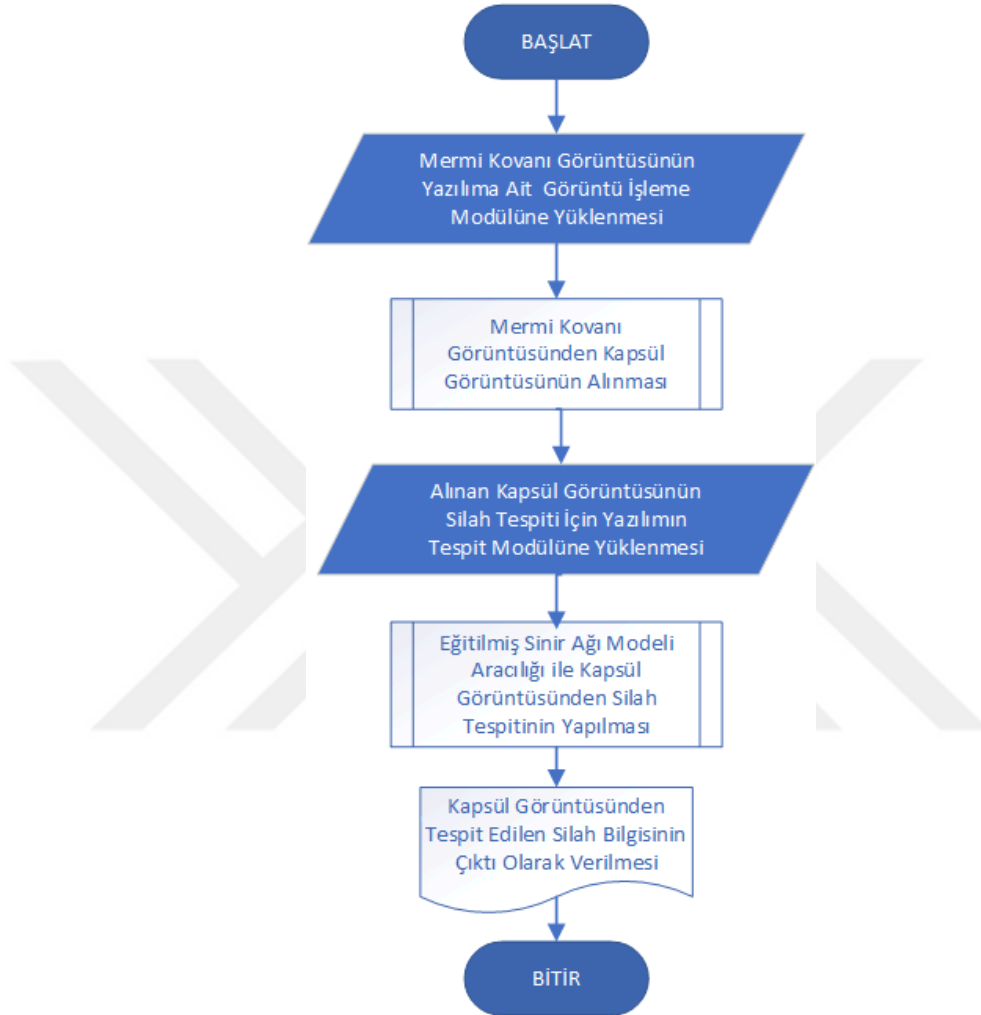
İşlemci	Ryzen 7 4800H
RAM	16 GB
Grafik Kartı	Nvidia Geforce GTX 1650Ti
SSD Disk	512 GB
Bulut Tabanlı GPU Desteği	16 GB Tesla P100 GPU İşlem Birimi

Derin öğrenme ile veri seti üzerinde gerekli eğitim ve test işlemlerinden sonra PyTorch kütüphanesi ile eğitilmiş modelin “pth” dosya formatında kaydedilmesi gerekmektedir. Bu dosya girdi olarak verilen kapsül görselinden silah tespitini gerçekleştirecek eğitilmiş sinir ağına ait ağırlıklandırılmış verileri içermektedir. Dosyanın bu işlevi, geliştirilen yazılım içerisinde girdi olarak verilen kapsül görüntüsünden çıktı olarak silah bilgisini elde etmeyi sağlamaktadır. Çalışmanın yapılması için kullanılan yazılım kaynakları Tablo 9.11'de verilmiştir.

Tablo 9.11. Kullanılan Yazılımsal Kaynaklar

Yazılımsal Araç	Kullanım Amacı
Windows 11 Pro 64 Bit	Sistemin eğitimi gerçekleştirmek ve silah tespitini yapacak yazılımın çalıştırılması için gerekli olan işletim sistemi
Python 3.10 ve gerekli olan kütüphaneler	Sistemin eğitimi gerçekleştirecek ve silah tespitini yapacak masaüstü yazılımının geliştirilmesi için gerekli olan programlama dili.
Pycharm Community	Python kütüphaneleri ve derin öğrenme frameworkleri ile uyumlu çalışan Python kod geliştirme ortamı.
Qt Desinger	PySide Python kütüphanesi ile beraber kullanılarak masaüstü uygulama geliştirmeye yarayacak yazılım.
PySide2	Python'da etkileşimli form uygulamalarını geliştirmek için kullanılan kütüphane
PyTorch	Sistemi eğitmek için kullanılan Python tabanlı kütüphane

Mermi kovanından silah tespitini yapacak yazılımın geliştirilmesi, Qt Designer yazılım geliştirme ortamında Python tabanlı Pyside2 kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamaya ait akış diyagramı Şekil 9.28’de gösterilmiştir.



Şekil 9.28. Mermi Kovanından Silah Tespiti Yapacak Yazılıma Ait Akış Diyagramı

Akış diyagramı genel olarak incelendiğinde; Başlangıç olarak, kovana ait görüntü, tasarlanan yazılıma yüklenir. Bir sonraki adımda, görüntü işleme fonksiyonu ile kovan görüntüsündeki kapsül kısmı alınır ve alınan kapsül görüntüsü silah tespit modülüne yüklenir. Sonraki adımda, yazılımın silah tespit fonksiyonu kullanılarak kapsül görüntüsünden silah tespiti yapılır ve son adımda tespiti yapılan silah bilgisi çıktı olarak verilir.

Sisteme giriş olarak verilecek görüntü formatının sistem içerisinde elde edilen görüntü formatlarıyla uyuşmaması durumunda bu görüntüler HSV eşiklemesi ve çözünürlük kontrolü ile sistem tarafından elenmekte ve kabul edilmemektedir. Sistem için geliştirilen yazılıma ait görsel Şekil 9.29’da verilmiştir.



Şekil 9.29. Geliştirilen Yazılıma Ait Görsel

Şekil 9.29’da yazılımın **B** kısmında “Görüntüyü Seç” butonuna tıklanarak tespiti istenen kovan görüntüsü seçilir. **C** kısmındaki “Kapsülü Al” butonuna basılarak kovanın kapsül kısmına ait görüntü Hough dairesel dönüşüm algoritması ile Şekil 9.30’deki gibi alınır.



Şekil 9.30. Kapsül Görüntüsünün Alınması

Eğer alınan kapsül görüntüsü istenilen formatta değilse Şekil 9.29’da **D** kısmındaki “Kalibre Et” butonuna basılarak kapsül görüntüsü kalibre edilebilir. Kapsül görüntüsü hazır olduğunda **E** kısmındaki “Kapsülü Aktar” butonuna basılarak kapsül silah tespiti için tespit kısmına aktarılır. Aktarıma ait görsel Şekil 9.31’de verilmiştir.



Şekil 9.31. Kapsülün Silah Tespiti için Aktarılması

Kapsül görüntüsünün silah tespitine hazır hale gelmesinin akabinde, Şekil 9.29’da **F** kısmındaki “Tespit Et” butonuna tıklanarak silahın tespiti sağlanır. Tahmin sonucunun doğruluğu seçilen test kovanına ait silah ile sistemin teşhis ettiği silahın eşleşmesi ve belirli eşik değerlerini sağlaması durumuyla test edilir. Test kovanına ait silah ile sistemin teşhis ettiği silahın eşleştiği varsayıldığında, tespitin sonuçlandırılması için tahmin oranına uygulanan eşik değerleri ve bu değerlere bağlı eşleşme sonuçları Tablo 9.12’de verilmiştir.

Tablo 9.12. Eşik Değerlerine Bağlı Eşleşme Sonuçları

SINIF İÇİN TAHMİN ORANI ARALIĞI	SONUÇ
0,9 – 1,0	Doğru
0,70 – 0,89	Tanımsız ama Yardımcı Tespit yapılabilir
0,7 altı	Tanımsız

Tablodan da görüldüğü gibi, kapsül görüntüsünün 0,9 – 1,0 eşik değerleri arasında eşleşmesi durumunda “DOĞRU” sonucu ortaya çıkar. Bu durum, kesin bir silah teşhisinin yapıldığı anlamına gelir. Eğer kapsülün sistemde kesin olarak eşleştiği bir silah varsa Şekil 9.32’deki gibi bir sonuç döndürülür.



Şekil 9.32. Kapsülden Silah Tespiti Gerçekleştirilmesi

Burada tahmin sonucu için üç adet parametre vardır. Bunlar; Tahmin edilen silah bilgisi, tahmin edilen silahın ilgili sınıftaki benzerlik oranı ve tahminin sonucunun doğru, tanımsız ya da yanlış olduğu bilgisidir.

Şekil 9.33’de Tanımsız eşleşme sonrası yardımcı tespit işlemine ait görsel verilmiştir. Şekil.10.33 (a)’da görüldüğü gibi sınıf için tahmin oranı aralığının 0,70 – 0,89 aralığında olması durumunda “Tanımsız” sonucu ortaya çıkar fakat silah tespitini yapan operatöre sistemin yardımcı olması için Şekil 9.29’da G kısmındaki “Yardımcı Tespit” butonu aktif edilir. Bu butona basıldığında tanımsız olarak nitelenen silahın 0,70 – 0,89 aralığında hangi silahla eşleştiği bilgisi Şekil 9.33 (b)’de verilir.



(a) Tespit Edilen Silahın Tanımsız Eşleşmesi



(b) Yardımcı Tespit Sonrası Eşleşme Durumu

Şekil 9.33. Tanımsız Eşleşme Sonrası Yardımcı Tespit Yapılması

Yardımcı tespitten sonra herhangi bir silah eşleşmesi gerçekleşirse, silah tespitinden sorumlu görevli personelin, tahmin edilen silah için manuel bir inceleme yaparak doğrulama yapması gerekmektedir. Yardımcı eşleşme sonrası eğer 0,70 – 0,89 aralığında bir sonuç tahmini yoksa sistem silahı tanımsız olarak kabul eder. Test kovanına ait silah ile sistemin teşhis ettiği silahın eşleşmediği ve tahmin oranının 0,9 ile 1,0 arasında olduğu durumda ise sistem teşhisin yanlış olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Bu durum Şekil 9.34’de verilmiştir.



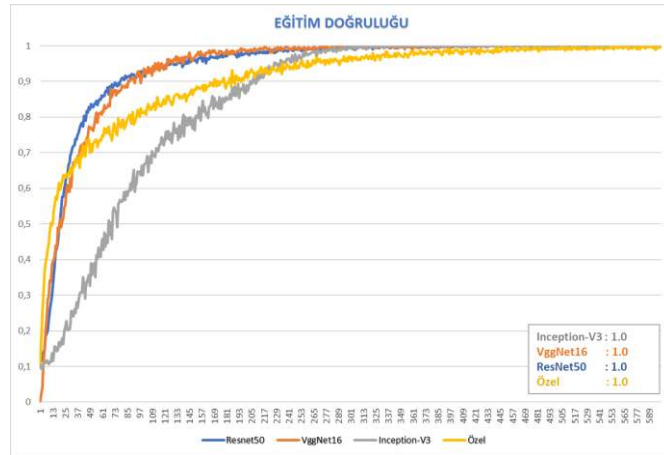
Şekil 9.34. Yanlış Silah Tespiti Durumu

10. BULGULAR VE TARTIŞMA

Alınan farklı kapsül görüntülerinden iğne izine bağlı karakteristik izler incelendiğinde 1 mm çapına varan genişlik ve 300-500 mikron aralığında derinliğe sahip iğne izlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında bazı kovanların iğne izi kenarlarında 470 mikron ile 560 mikron aralığında değişen kalınlıklarda kabartıların olduğu ayrıca gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerin bir sonucu olarak iğne izi genişliği ve kenarında oluşan kabartıların ölçüsü, görüntü işlemede ayırt edici bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. İğne izine bağlı derinlik arttıkça RGB ışık altında daha koyu bir gölge görüntüsü oluşturmakta ve bu durum, evrimsel sinir ağları için ayırt edici bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ayırt edici özelliklerden yararlanılarak başarılı bir sinir ağı modeli belirlemek için farklı sinir ağı modelleri üzerinde testler yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına bağlı olarak tespit edilen en başarılı sinir ağı modeli ile kovanlara ait beyaz ışıklı, RGB ve camlı elastomerli görüntü formatları üzerinde testler yapılmıştır. Görüntü formatları üzerinde yapılan testlerin sonuçlarına bağlı olarak, en yüksek başarıyı gösteren görüntü formatı kullanılarak sinir ağı modeli eğitilmiştir. Bu tez çalışmasında, modeller başarımlarına tabii tutulmuş ve test sonuçlarına bağlı olarak belirlenen en başarılı model, geliştirilen yazılım içerisinde ayrıca test edilerek nihai bulgu sonuçlarına ulaşılmıştır.

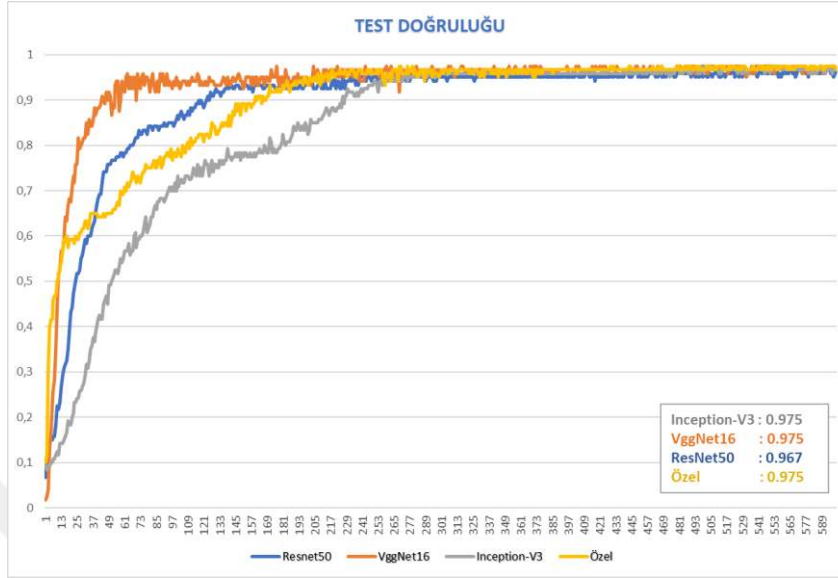
10.1. Sinir Ağı Modellerine Ait Test Sonuçları

İyi sonuç vermesinden dolayı, sinir ağı modellerinin performanslarını incelemek için görüntü formatı olarak camlı elastomer görüntüleri baz alınmıştır. Bu görüntüler Inception-V3, ResNet50, VGG-16 ve özel sinir ağı modelleri üzerinde uygulanarak veriler elde edilmiştir. Veriler incelendiğinde, eğitim safhasında tüm modeller 1,0 doğruluk değerine ulaşarak en yüksek orana ulaşmışlardır. İlgili oranlara ait grafik Şekil 10.1'deki görsellerde verilmiştir.



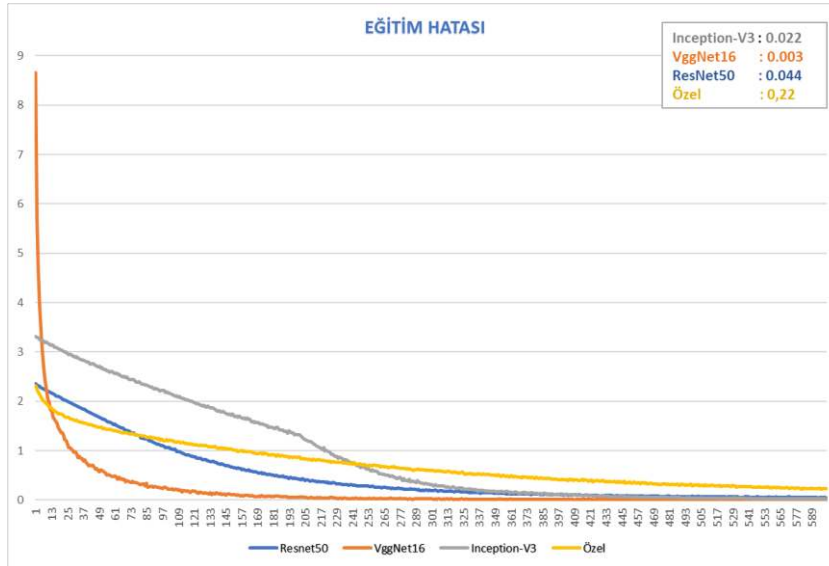
Şekil 10.1. Modellerin Eğitim Safhasındaki Doğruluğu

Test safhasında ise ResNet50 sinir ağı modeli 0,967 oranına ulaşırken, diğer modeller 0,975 oranına ulaşmışlardır. İlgili oranlara ait grafik Şekil 10.2'deki görselde verilmiştir.



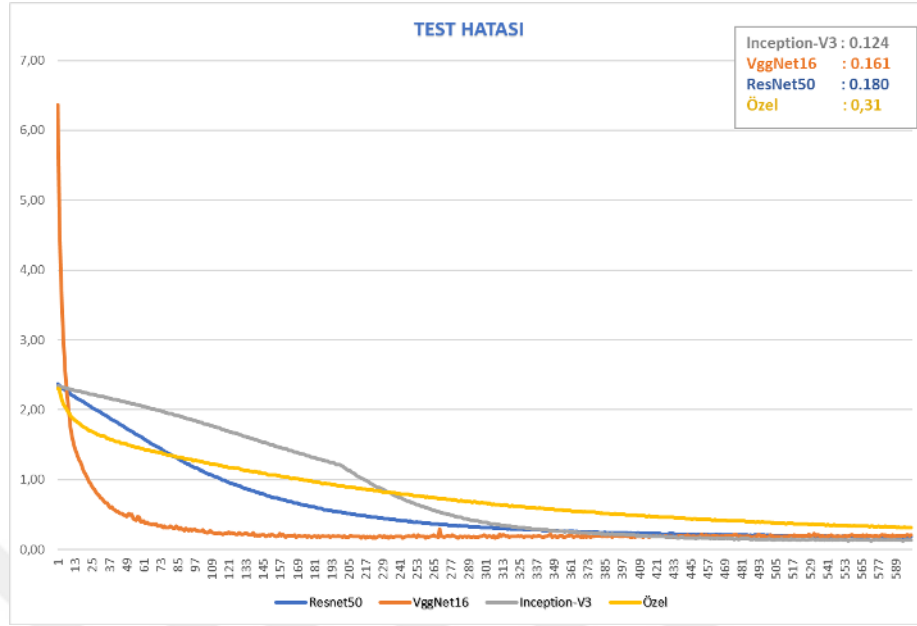
Şekil 10.2. Modellerin Test Safhasındaki Doğruluğu

Eğitim safhasındaki hata grafiği Şekil 10.3'de verilmiştir. Burada en düşük hata oranına 0,003 değeri ile VGG-16 sinir ağı modeli ulaşmıştır.



Şekil 10.3. Eğitim Safhasında Modellere Ait Hata Oranları

Test safhasındaki hata grafiği ise Şekil 10.4'de verilmiştir. Burada en düşük hata oranına 0,124 değeri ile Inception-V3 sinir ağı modelinin ulaştığı görülmektedir.



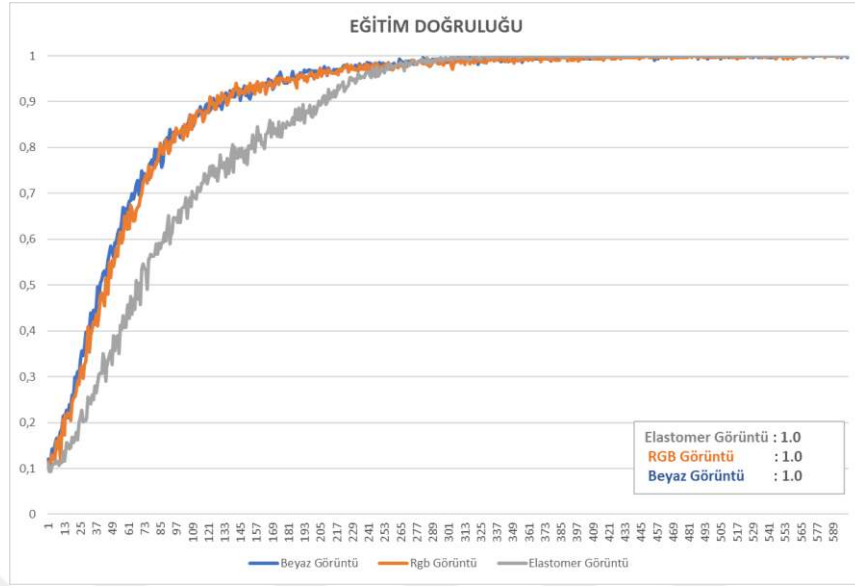
Şekil 10.4. Test Safhasında Modellere Ait Hata Oranları

Sinir ağı modelinin eğitim sürecine dahil edilmemiş görüntüler ile yapılan testlerde elde edilen sonuçlar, bir sinir ağının nihai başarımını ortaya koymaktadır. Test safhasında bir sinir ağından beklenen, yüksek doğruluğa ve düşük hataya sahip olmasıdır. Bu düşünceden hareketle Inception-V3 sinir ağı modelinin test boyunca en yüksek değer olan 0,975 değerine ulaşması ve diğer modellere göre daha düşük değer olan 0,124 hata oranında olması, bu çalışma için Inception-V3'ün diğer 3 sinir ağı modeline göre daha ideal ve tercih edilebilir bir sinir ağı modeli olmasını sağlamıştır.

10.2. Görüntü Formatlarına Bağlı Inception-V3 Modelinin Başarım Testi

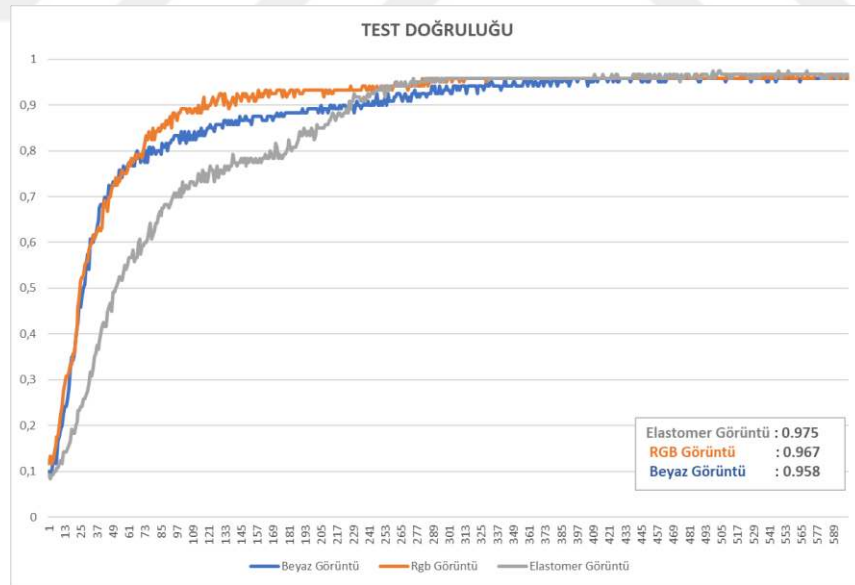
Çalışmada kullanılacak en uygun sinir ağı modelinin belirlenmesinden sonra farklı formattaki kovan görüntülerinin başarımlarını gözlemlemek amacıyla, Beyaz ışık uygulanmış, RGB ışık uygulanmış ve camlı elastomer kullanılarak RGB ışık uygulanmış görüntü biçimleri kullanılmıştır. Bu görüntü formatlarıyla Inception-V3 sinir ağı modeli üzerinde ayrı ayrı yapılan eğitimler ve testler sonrasında, eğitim ve test aşamaları için doğruluk ve hata oranlarına bağlı olarak veriler elde edilmiştir.

Veriler üzerinde yapılan incelemelerde, eğitim safhasında tüm görüntü formatlarının tam değer olan 1,0 değerine ulaşarak en yüksek doğruluk oranını sağladığı görülmüştür. İlgili oranlara ait grafik Şekil 10.5'deki görselde verilmiştir.



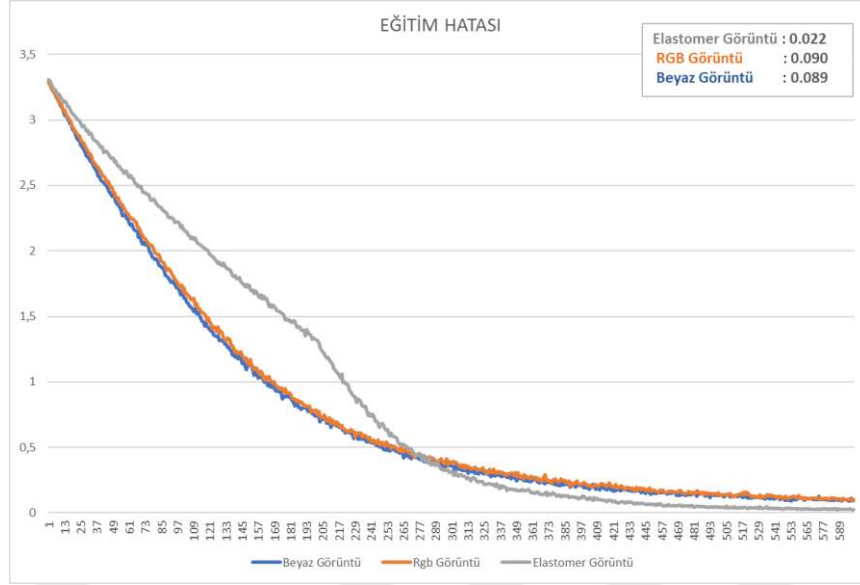
Şekil 10.5. Eğitim Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Doğruluk Oranları

Test safhasında ise camlı elastomerden elde edilen görüntülerin en yüksek doğruluk oranıyla 0,975 oranına ulaştığı gözlemlenmiştir. İlgili oranlara ait grafik Şekil 10.6'daki görselde verilmiştir.



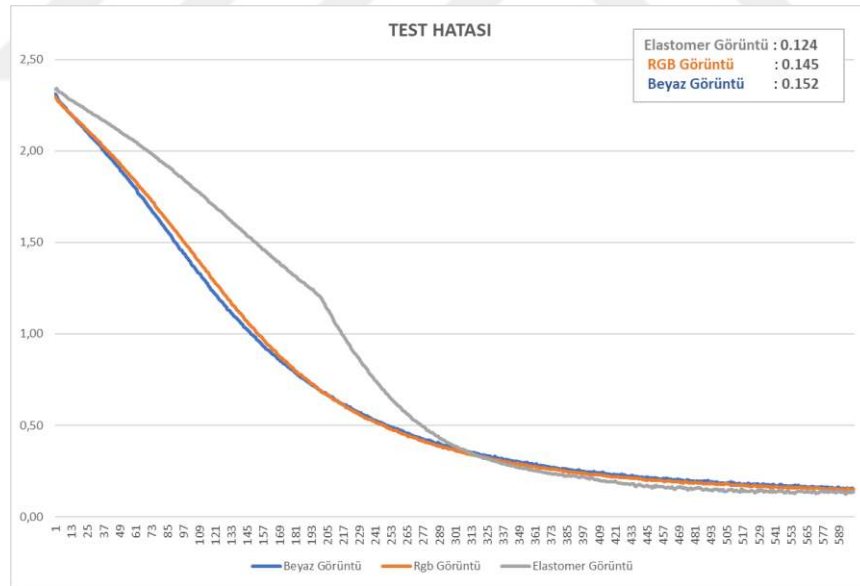
Şekil 10.6. Test Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Doğruluk Oranları

Eğitim safhasındaki hata grafiği, Şekil 10.7'de verilmiştir. Burada en düşük hata oranına 0,0022 değeri ile camlı elastomerden elde edilen görüntü ile ulaşılmıştır.



Şekil 10.7. Eğitim Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Hata Oranları

Test safhasındaki hata grafikleri ise Şekil 10.8'de verilmiştir. Burada en düşük hata oranına 0,124 değeri ile camlı elastomere elde edilen görüntü ile ulaşılmıştır.



Şekil 10.8. Test Safhasında Görüntü Formatlarına Ait Hata Oranları

Görüntü formatlarının Inception-V3 sinir ağı modeli üzerindeki performans testleri incelendiğinde, eğitim doğruluğunda başarı oranlarının tüm modeller için eşit derecede olduğu görülmüş fakat diğer testlere ait incelemelerde ise camlı elastomere alınan görüntülerin, beyaz ve RGB ışıktan alınmış görüntü formatlarına göre daha başarılı sonuçlar verildiği gözlemlenmiştir.

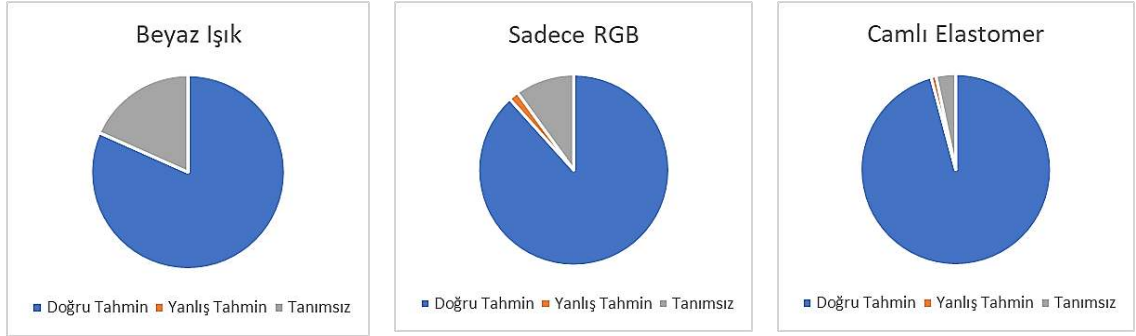
10.3. Görüntülerin Silah Tespit Yazılımı ile Test Edilmesi

10.3.1. Silahlı Bilinen Kovanlarla Yapılan Testler

Bu testte silahlı bilinen kovanların eğitime dahil edilmeyen görüntüleriyle çalışma yapılmıştır. Her bir görüntü formatı model-1 sinir ağı ile eğitilerek, eğitilmiş sinir ağı modelleri elde edilmiştir. Bu modellerin yazılıma uygulanmasıyla yapılan testlerde beyaz ışık, sadece RGB ışık ve camlı elastomer görüntüleri 0,82 eşik değerine tabi tutulmuştur. Burada eşik değerinin belirlenmesi süreci, yazılım üzerinde görüntü verilerinin denenerek en uygun değere ulaşılması şeklinde ilerlemiştir. Testlerin sonuçlarına göre elde edilen sayısal veriler Tablo 10.1’de; ilgili sayısal verilere ait grafikler ise Şekil 10.9’da verilmiştir. Bu testlerde her görüntü formatıyla elde edilen eğitilmiş modelin, ilgili görüntü formatına uygulanmasıyla sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 10.1. Test Verileri Üzerinde Yazılım Testi Sonuçları

Görüntü Tipi	Görüntü Sayısı	Doğru Tahmin	Yanlış Tahmin	Tanımsız
Beyaz Işık	120	98	0	22
Sadece RGB	120	106	2	12
Camlı Elastomer	120	115	1	4



Şekil 10.9. Test Verileri Üzerinde Yazılım Testi Sonuçlarına Ait Grafikler

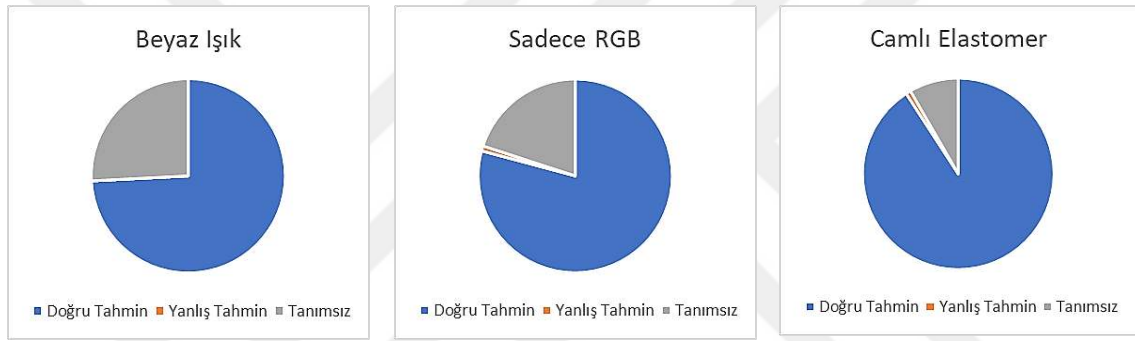
Yapılan test sonuçlarına göre, camlı elastomer görüntüleri tahminlerde daha yüksek doğruluk oranına ulaşarak diğer görüntü formatlarına kıyasla daha başarılı sonuçlar ortaya koymuştur.

Eşik değerinin 0,82’ye ayarlanması durumunda, envanter dışındaki silahlardan elde edilen kovan görüntülerinin tespitinde, sistem mevcut silahlar içerisinde tahminde bulunabilmektedir. Bu olumsuz durumun bertaraf edilmesi için eşik değeri yükseltilmiş ve sorunun nispeten ortadan

kalktığı görülmüştür. Bu yüzden görüntü formatlarına 0,90 eşik değeri uygulanmış ve oluşan doğruluk değerlerine ait sayısal veriler Tablo 10.2’de, bu değerlere bağlı oluşan grafik ise Şekil 10.10’da verilmiştir.

Tablo 10.2. Eşik Değerinin Yükseltilmesi Durumundaki Yazılım Testi Sonuçları

Görüntü Tipi	Görüntü Sayısı	Doğru Tahmin	Yanlış Tahmin	Tanımsız
Beyaz Işık	120	89	0	31
Sadece RGB	120	95	1	24
Camlı Elastomer	120	109	1	10



Şekil 10.10. Eşik Değerinin Yükseltilmesi Durumundaki Yazılım Testi Sonuçlarına Ait Grafikler

0,90 eşik değeri uygulanarak sistem içerisindeki tanımlı silahlar dışındaki silahların beklendiği gibi tanımsız olarak yorumlandığı görülmüştür, fakat bu sefer Tablo 10.2’de de görüldüğü gibi tüm görüntü formatlarının test verileri üzerindeki tanımsız tespit sayısı artmıştır.

Camlı elastomer görüntülerinin test verilerine uygulanan 0,90 eşik değerine bağlı oluşan tanımsız teşhis sayısını azaltmak için model-1 ve model-2’den elde edilen hibrit model uygulanmış ve tanımsız silah sayısı yaklaşık %55 oranında azalarak sayı 5’e düşmüştür. Geriye kalan 5 tanımsız, 1 yanlış sonuç için yardımcı tespit uygulandığında, tanımsızların 3’ü için doğru tahmin alınarak, geriye 2 adet tanımsız, 1 adet yanlış sonuç kalmıştır. Bu sonuçlar ile hibrit çıkışlı modelin silah tespitinde başarıyı arttırıcı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

10.3.2. Silahı Bilinmeyen Kovanlarla Yapılan Testler

Bu testte silahı bilinmeyen 19 adet kovan ile çalışma yapılmış ve tüm görüntü formatları için yazılımda 0,90 eşik değeri uygulanmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına bağlı oluşan sayısal değerler Tablo 10.3’de verilmiştir.

Tablo 10.3. Silahı Bilinmeyen Kovanlarla Yapılan Testler

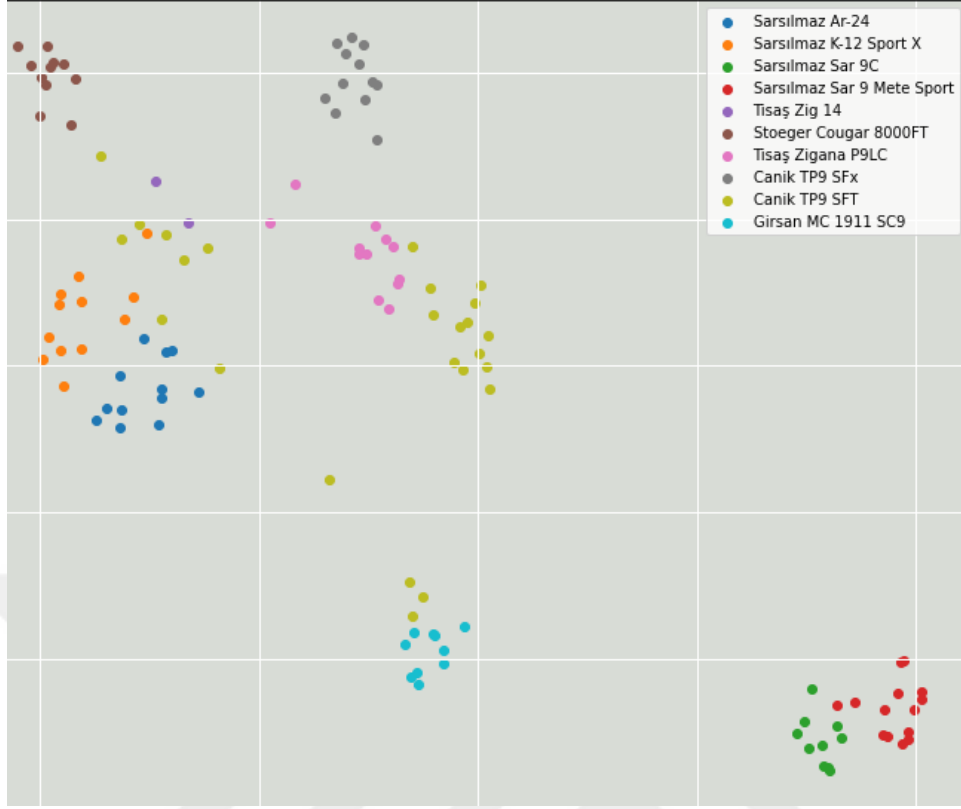
Görüntü Tipi	Görüntü Sayısı	Silah Tahmini	Tanımsız
Beyaz Işık	19	1	18
Sadece RGB	19	1	18
Camlı Elastomer	19	1	18

Yapılan testte bütün görüntü formatları yüksek tahmin oranıyla aynı kovan için Sarsılmaz K-12 Sport X silah tahmininde bulunmuşlardır. Elde edilen bu sonuç sonrasında silahı bilinmeyen bu kovan, envanterde bulunan diğer Sarsılmaz K-12 Sport X kovanlarıyla eşleştirilmiştir. Yapılan eşleştirmede bu kovanın, silahı bilinen diğer kovanlarla çok büyük benzerlikler taşıdığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden elde edilen bu sonuç kayda değer bir sonuç olarak ele alınmıştır.

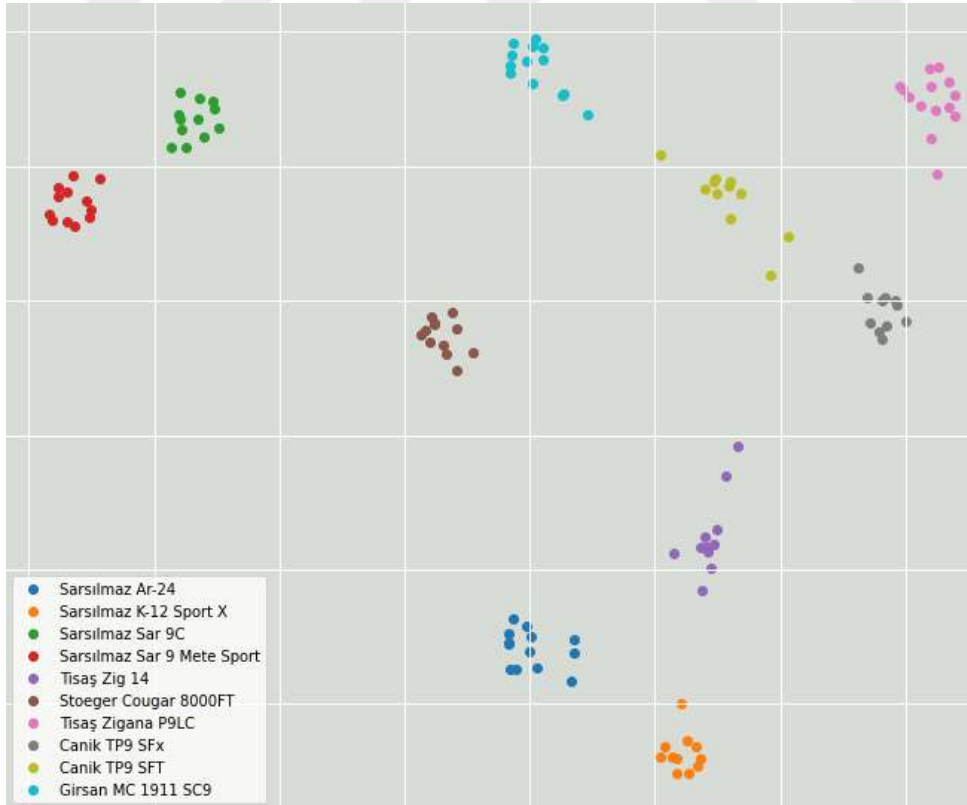
10.4. Silahlara Ait Sınıf Dağılımının Yorumlanması

Eğitilmiş sinir ağı modeli üzerinde silah sınıflarına ait dağılımlar t-SNE grafiği ile görselleştirilerek sınıfların düzlemdeki kümelenme yapısı incelenmiştir. Sınıflar düzlemde birbirine mesafeli kümeler biçimde dağılım gösterdikçe, sinir ağı modelinin genelleme yapma yeteneğinin de bir o kadar arttığı görülmüştür. Burada, genelleme yapma yeteneği yüksek olan model, envanter dışındaki silah kovanlarında daha tutarlı sonuçlar ortaya koyan model olarak düşünülebilir.

İki modelin genelleme yeteneğini yorumlamak için bu modellere ait t-SNE gösterimi Şekil 10.11’de verilmiştir. Şekil 10.11 (a)’daki sınıf dağılımına bakıldığında sınıfların kümelenme durumunun çok belirgin olmadığı ve sınıfların girift bir biçimde birbirine yakınsadığı görülmektedir. Bu model, envanter içerisindeki 120 adet test kovanından sadece 4 tanesini tanıyamamasına rağmen envanter dışındaki kovanlara uygulandığında düşük genelleme yeteneği göstererek, 19 kovandan 3’ü dışında tamamı için silah tahmininde bulunmuştur. Bu durumdan kurtulmak için Şekil 10.11 (b)’deki gibi birbirine mesafeli kümeler biçimde dağılım gösteren sınıflardan oluşan hibrit model ile testler yapılarak hem envanter içerisindeki test kovanlarından hem de envanter dışındaki kovanlardan tutarlı test sonuçları elde edilmiştir.



(a) Düzgün Kümelenmemiş Sınıf Dağılımı



(b) Düzgün Kümelenmiş Sınıf Dağılımı

Şekil 10.11. Modellere Ait Sınıfların t-SNE Gösterimi

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

- 1) Tez Çalışması için en uygun elastomer numunesi 5 nolu numunedir ve bu doğrultuda retrografik elastomerik sensör tasarımı yapılmıştır.
- 2) Veri setleri içerisinde Elastomerli görüntüler, sadece RGB ve beyaz ışıktan elde edilen görüntülere göre daha yüksek doğruluk oranı ortaya koymuştur. Elastomerli görüntülere ait başarımlar oranı model-1 ve model-2'den elde edilen hibrit çıkış modeli ile anlamlı bir biçimde arttırılabilmektedir.
- 3) Silah tespitinde en iyi sonuç veren derin öğrenme algoritmasının Inception-V3 olduğu görülmüştür.
- 4) 5 Nolu numune ile mikroskopik kameradan alınan yüzey görüntüleri 0,00022 mm/df katsayısı ile istenilen görüntü hassasiyetini sağlamıştır.
- 5) Mermi kovanı kapsülü üzerindeki izler, derin öğrenme algoritması içerisinde anlamlı ve ayırt edici özelliğe sahiptir.
- 6) Elastomer üretimi safhasında bileşen miktarının ayarlanması, karışımların hazırlanması ve boyanması ince ayar gerektiren zorlu süreçlerdir. Bu süreçlerin endüstriyel tekniklerle gerçekleştirilmesi üretimi daha verimli ve kolay hale getirecektir.
- 7) Retrografik elastomerik sensörün mobilitesini arttırmak için optik bir sistem ve bilgisayarın bir arada olduğu gömülü bir sistem tasarımı yapılabilir.
- 8) Sistem tasarımı için daha az maliyetli farklı silikon bileşenler kullanılarak elastomer üretimi yapılabilir.
- 9) Sistem tasarımında daha yüksek çözünürlüğe sahip mikroskopik kameralar kullanılarak görüntü hassasiyeti arttırılabilir.
- 10) Daha yüksek grafik işlem birimi (GPU) kapasitesine sahip donanımlar kullanılarak eğitim ve test safhasındaki başarımlar arttırılabilir.
- 11) Evrişimli sinir ağı modelinin eğitiminde, silah çeşitliliği ve silah başına düşen kovan görüntüsü sayısı arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Whitehouse, D. (2002). *Surfaces and their Measurement*, Hermes Penton Science, London
- [2] Whitehead, S.A., Shearer, A.C., Watts, D.C., Wilson, N.H.F. (1999). Comparison of two stylus methods for measuring surface texture, *Dental Materials*, 15(2), ss. 79-86
- [3] Townsend, A., Senin, N., Blunt, L., Leach, R., Taylor J. (2016). Surface Texture Metrology For Metal Additive Manufacturing: A Review, *Precision Engineering*, 46, ss. 34-47
- [4] Marrugo, A.G., Gao, F., Song, Z. (2020). State of the art active optical techniques for three-dimensional surface metrology, *Journal of the Optical Society of America A*, cilt 37(9), ss. 1-13
- [5] Yuan, W., Dong, S., Adelson, E.H. (2017). GelSight: High-Resolution Robot Tactile Sensors for Estimating Geometry and Force, *MPDI*, cilt 17(12), ss. 1-21
- [6] Tanyeri, B., Atila, O., Barak, B.U., Yılmaz, E. (2020). Retrografik Elastomerik Sensör ile Mikron Hassasiyetli Yüzey Pürüzlülüğünün Görüntü İşleme Yöntemi ile Tespiti, *insac*, ss. 1-7
- [7] Johnson, M.K., Adelson, E.H. (2009). Retrographic sensing for the measurement of surface texture and shape, *IEEE*, doi:10.1109/CVPR.2009.5206534, ss. 1070-1077
- [8] Kontsevich, L.L., Petrov, A.P., Vergelskaya, I.S. (1994). Reconstruction of shape from shading in color images, *J. Opt. Soc. Am. A*, cilt 11(3), ss. 1047-1052
- [9] Dağıştanlı, E., Taşdemir, C., Sevin, M. (2020). *Silah Bilgisi ve Atış*, EGM Özel Güvenlik Denetleme Başkanlığı, Ankara
- [10] Buldukoğlu, E. (2001). *Mermi Çekirdeklerinin Balistik İncelemesi ile Ateşli Silah Markasının Belirlenmesi*, İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul
- [11] Alim, Y. (2009). *Aynı Marka Farklı Seri Numaralı Tabancalarda Çıkan Mermi Çekirdeğinin Hangi Tabancaya Ait Olduğunun Saptanması İçin Yapılan Balistik Analizler*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] *Ateşli Silahlar ve Bıçaklar ile Diğer Aletler Hakkında Yönetmelik* (1991). Resmî Gazete: Madde 2/f., Ankara
- [13] Glock Pistol, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/GLOCK_17_Gen_4_Pistol_MOD_45160305.jpg, Erişim: 15 Kasım 2021.
- [14] Frame/Body Gamo Compact PCA pistol, <https://www.lojademarmas.pt/Gamo-Body/Box-Compact-PCA-pistol>, Erişim: 18 Kasım 2021.
- [15] Işık, H. (2016). Namlu İçerisindeki Balistik Parametrelerin Modellenmesi, *Savunma Bilimleri Dergisi*, cilt 15(2), ss. 158-161
- [16] Özgüder, O., Özbay, M., Adin, H. (2017). Namlu İçi Balistik Davranışın Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, cilt 8(3), ss. 610-618.
- [17] Heard, B. (2008). *Firearms And Ballistics*, Wiley, West Sussex
- [18] Gardner, G.Y. (1978). Computer identification of bullets, *IEEE Transactions on Systems*, cilt 8(1), ss. 69-76
- [19] Catterick, T., Taylor, M.C. (1987). A photometric method for the quantitative mapping of parallel striated marks, *Forensic Science International*, cilt 33(3), ss. 197-207
- [20] Gerules, G., Bhatia, S.K., Jackson, D.E. (2013). A survey of image processing techniques and statistics for ballistic specimens in forensic science, *Science & Justice*, 53, ss. 236-250

- [21] Chase, T.C., Li, D.G. (2001). Web Based Image Database System for Ballistic Firearm Identification, *IEEE*, 5, ss. 30-35
- [22] Bachrach, B. (2000). *Ballistics matching using 3D images of bullets and cartridge cases*, National Criminal Justice Reference Service, Rockville
- [23] Bachrach, B. (2006). *A Statistical Validation of the Individuality of Guns Using 3D Images of Bullets*, National Criminal Justice Reference Service, Rockville
- [24] Sakarya, U., Leloğlu, U.M., Turnalı, E. (2008). Three-dimensional surface reconstruction for cartridge cases using photometric stereo, *Forensic Science International*, cilt 175(2/3), ss. 209-217
- [25] Banno, A., Masuda, T., Ikeuchi, K. (2004). Three dimensional visualization and comparison of impressions on fired bullets, *Forensic Science International*, cilt 140(2/3), ss. 233-240
- [26] Durini, D. (2019). *High Performance Silicon: Fundamentals and Applications of CMOS and CCD Sensors*, Elsevier, Duxford
- [27] Bonfanti, M.S., Ghauharali, R.I. (2000). Visualisation by confocal microscopy of traces on bullets and cartridge cases, *Scientific & Technical*, cilt 40(4), ss. 241-256
- [28] Heizmann, M., León, F.P. (2001). *Automated analysis and comparison of striated toolmarks*, European Meeting for Shoeprint/Toolmark Examiners, Berlin
- [29] Geradts, Z., Bijhold, J. (2002). Content Based Information Retrieval in Forensic Image Databases, *Journal of Forensic Sciences*, cilt 47(2), ss. 285-292
- [30] Huai, S.W., Dongguang, L. (2007). *Characteristic of a Bullet's Digital Images Under the Illumination of Different Wavelengths*, ICEMI'2007, Xi'an
- [31] Prokoski, F. (2012). *Improve the NIBIN System by Providing Examiners a Capability to Match Infrared Images of Firing Pin Impressions and Deformed Bullets as Well as Accurate Large Database Searches*, National Criminal Justice Reference Service, Rockville
- [32] Smet, P.D., Hermesen, R., Leuven, B.V., Kinder, J.D., Hoffmann, K. (2008). Experimental evaluation of the impact of seating depth variations on observed marks on primers, *Forensic Science International*, cilt 179(2/3), ss. 163-171
- [33] Breitmeier, U., Schmid, H. (1997). Lasercomp: a surface measurement system for forensic, *Forensic Science International*, cilt 89(1/2), ss. 1-13
- [34] Senin, N., Groppetti, R., Garofano, L., Fratin, P., Pierni, M. (2006). Three-Dimensional Surface Topography Acquisition and Analysis for Firearm Identification, *American Academy of Forensic Sciences*, cilt 51(2), ss. 282-295
- [35] Smith, C.L. (2006). *Profiling Toolmarks on Forensic Ballistics Specimens: An Experimental Approach*, Proceedings 40th Annual 2006 International Carnahan Conference on Security Technology, Lexington
- [36] Bruno, M. (2016). Method For Automatically Defining Regions Of Interest For Matching And Visualizing Forensic Images. *European Patent Specification*, Patent: EP1 567 983B1
- [37] Brein, C. (2005). Segmentation of cartridge cases based on illumination and focus series, *SPIE and IS&T*, 5685, ss. 228-238
- [38] Li, D. (2008). *Firearm Identification System Based on Ballistics Image Processing*, Congress on Image and Signal Processing, Perth
- [39] Chu, W., Song, J., Vorbuerger, T., Ballou, S. (2010). Striation density for predicting the identifiability of fired bullets with automated inspection systems, *Journal Of Forensic Science*, cilt 55(5), ss. 1222-1226

- [40] Cheng, H.D., Shi, X.J. (2004). A simple and effective histogram equalization approach to image enhancement, *Digital Signal Processing*, 14, ss. 158-170
- [41] Geradts, Z., Bijhold, J., Hermesen, R., Murtagh, F. (2001). Image matching algorithms for breech face marks and firing pins in a database of spent cartridge cases of firearms, *Enabling Technologies for Law Enforcement and Security*, 4232, ss. 545-552
- [42] Gonzalez, R.C., Woods, R.E. (2018). *Digital Image Processing Fourth Edition*, Pearson, New York
- [43] Zhou, J., Xin, L., Zhang, D. (2001). *Automated cartridge identification for firearm authentication*, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai
- [44] Bernardini, F., Rushmeier, H.E. (2002). The 3D Model Acquisition Pipeline, *Computer Graphics Forum*, cilt 21(2), ss. 149-172
- [45] Vorburger, T. V, Song, J.F., Chu, W., Ma, L., Bui, S., Zheng, A, Renegar, T. (2011). Applications of cross-correlation functions, *Wear*, 271, ss. 529-533
- [46] Woodham, R.J. (1980). Photometric method for determining surface orientation from multiple images, *Optical Engineering*, cilt 19(1), ss. 139-144
- [47] Vahaboğlu, V. (2013). Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 4(1), ss. 25-34
- [48] Saçak, M. (2017). *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitapevi, Ankara
- [49] Kear, E.K. (2003). *Developments in Thermoplastic Elastomers*, Rapra, Shawbury
- [50] BRAZEL, C.S., ROSEN S.L. (2012). *Fundamental Principles Of Polymeric Materials*, Wiley, New Jersey
- [51] McKeen, L.W. (2018). *The Effect Of Sterilization On Plastics And Elastomers*, Elsevier, Oxford
- [52] KATUN, N. (1996). Non-sulphur Vulcanization Of Rubber A Brief Overview, *Jurnal Teknologi, Universiti Teknologi Malaysia*, 25, ss. 19-25
- [53] TPE (Termoplastik Elastomer) Nedir?, Elastron, <https://www.elastron.com/tr/tpe-termoplastik-elastomer-nedir>, Erişim: 11 Aralık 2021.
- [54] Deng, L., Yu, D. (2014). Deep Learning: Methods and Applications, *Now Publishers Inc*, cilt 7(3/4), ss. 197-387
- [55] Şeker, A., Diri, B., Balık, H.H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 3(3), ss. 47-64
- [56] Alloghani, M., Al-Jumeily, D., J. Mustafina,, Hussain, A., Aljaaf, A. J. (2020). *A Systematic Review on Supervised and Unsupervised Machine Learning Algorithms for Data Science*, Springer, Liverpool
- [57] Sutton, R.S., Barto, A.G. (2015). *Reinforcement Learning: An Introduction*, MIT Press, London
- [58] Şuică, M., Năstase, I. (2021). Neural networks and some practical applications in the field of artificial intelligence, *Earth and Environmental Science*, 664, ss. 1-7
- [59] Gogas, P. ve Papadimitriou, T. (2021). Machine Learning in Economics and Finance, *Computational Economics*, 57, ss. 1-4
- [60] Ivakhnenko, A.G., Lapa, V.G. (1966). *Cybernetic Predicting Devices*, Joint Publications Research Service, Kiev
- [61] Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model for a Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position, *Biological Cybernetics*, 36, ss. 193-202

- [62] Hopfield, J.J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proc. Nat. Acad.*, 79, ss. 2554-2558
- [63] Sejnowski, T. J., Rosenberg, C. R. (1987). Parallel Networks that Learn to Pronounce English Text, *Complex Systems*, cilt 1(1), ss. 145-168
- [64] Schmidhuber, J. (1993). A Neural Network That Embeds Its Own Meta-levels, *IEEE*, 93, ss. 407-412
- [65] Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1996). LSTM Can Solve Hard Long Time Lag Problems, *NIPS'96*, 1, pp. 473-479
- [66] Lecun, Y., Bottou, L., Bengio Y., Haffner, P. (1998). *Gradient-based learning applied to document recognition*, *IEEE*, cilt 86(11), ss. 2278-2324
- [67] Aizenberg, I.N., Aizenberg, N.N., Vandewalle, J. (2000). *Multiple-Valued Threshold Logic and Multi-Valued Neurons*, Springer Science Business Media Dordrecht, Springer, Boston
- [68] Hinton, G.E. (2007). Learning multiple layers of representation, *TRENDS in Cognitive Sciences*, cilt 11(10), ss. 428-433
- [69] Deng, J., Dong W., Socher R., Li, L., Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database, *IEEE*, cilt 9(1), ss. 248-255
- [70] Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, *Communications Of The Acm*, cilt 60(6), ss. 84-90
- [71] Graupe, D. (2007). Basic Principles of ANNs and Their Early Structures, *Principles Of Artificial Neural Networks*, World Scientific, ss. 1-25.
- [72] Priddy, K.L., Keller, P.E. (2005). *Artificial Neural Networks An Introduction*, SPIE Press, Washington
- [73] İnik, Ö., Ülker, E. (2017). Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, cilt 6(3), ss. 85-104
- [74] Alom, M. Z., Taha, T. M., Yakopcic C., Westberg, S., Sidike, P., Nasrin, M. S., Hasan, M., B. C. Essen, V., Awwal, A. S., Asari, V. K. (2019). A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theory and Architectures, *MDPI*, cilt 8(3), s. 292,
- [75] Liu, T., Fang, S., Zhao, Y., Wang, P., J. (2015). Implementation of Training Convolutional Neural Networks, *Arxiv*, arXiv:1506.01195, ss. 1-10
- [76] Liu, G., Shih, K. J., Wang, T.C., Reda, F. A., Sapra, K., Yu, Z., Tao, A., Catanzaro, B. (2018). Partial Convolution based Padding, *Arxiv*, arXiv:1811.11718, ss. 1-11
- [77] Sun, M., Song, Z., Jiang, X., Pan, J., Pang, Y. (2017). Learning Pooling for Convolutional Neural Network, *Neurocomputing*, 224, ss. 96-104
- [78] Dumoulin, V., Visin, F. (2018). A guide to convolution arithmetic for deep learning, *Arxiv*, arXiv:1603.07285, ss. 15-18
- [79] Nwankpa, E., Ijomah, W., Gachagan, A., Marshall, S. (2018). Activation Functions: Comparison of Trends in Practice and Research for Deep Learning, *Arxiv*, arXiv:1811.03378, ss. 1-11
- [80] Liang, X., Wang, X., Lei, Z., Liao, S., Li, S. Z. (2017). Soft-Margin Softmax for Deep Classification, Neural Information Processing, *ICONIP 2017*, doi: 10.1007/978-3-319-70096-0_43, ss. 413-421.
- [81] Santurkar, S., Tsipras, D., Ilyas, A., Madry, A. (2019). How Does Batch Normalization Help Optimization?, *Arxiv*, arXiv:1805.11604, ss. 1-26
- [82] Lofe, S., Szegedy, C. (2015). Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift, *Arxiv*, arXiv:1502.03167, ss. 1-4

- [83] Srivastava, N., Hinton, G. ve diğ. (2014). Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting, *Journal of Machine Learning Research*, cilt 6(14), ss. 1929-1958
- [84] Zeiler, M. D., Fergus, R. (2013). Visualizing and Understanding Convolutional Networks, *Arxiv*, arXiv:1311.2901, ss. 1-11
- [85] Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., Rabinovich, A. (2014). Going deeper with convolutions, *Arxiv*, arXiv:1409.4842, ss. 1-12
- [86] Szegedy, C., Lofte, S., Vanhoucke, V. (2016). Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning, *Arxiv*, arXiv:1602.07261, ss. 1-4
- [87] Szegedy, C., Vanhoucke, V., Lofte, S., Shlens, J., Wojna, Z. (2016). *Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision*, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas
- [88] He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2015). Deep Residual Learning for Image Recognition, *Arxiv*, arXiv:1512.03385, ss. 1-12
- [89] Atıl, H., Ünver, Y. (2000). A Different Approach of Experimental Design: Taguchi Method, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, cilt 3(9), ss. 1538-1450
- [90] Pundir, R. Chary, G., Dastidar, M. (2018). Application of Taguchi method for optimizing the process parameters for the removal of copper and nickel by growing *Aspergillus* sp., *Water Resources and Industry*, 20, ss. 83-92
- [91] Chen, Y.H., Tam, S.C., Chen, W.L., Zheng, H.Y. (1996). Application Of Taguchi Method In The Optimization Of Laser Micro-engraving Of Photomasks, *International Journal of Materials and Product Technology*, cilt 7(3), ss. 333-344
- [92] Davim, J. P. (2002). Design of optimisation of cutting parameters for tuning metal matrix composites based on the orthogonal arrays, *Materials Processing Technology*, 132, ss. 340-344
- [93] Casa, F., Mendichi, R. (1987). Shore A Hardness and Thickness, *Elsevier Applied Science Publishers*, 7, ss. 165-175
- [94] Sackey, S.S., Vowotor, M.K., Owusu, A., Amoah, P.M. (2015). Spectroscopic Study of UV Transparency of Some Materials, *Environment and Pollution*, cilt 4(4), ss. 1-17
- [95] Smooth-On, Solaris Product Information, <https://www.smooth-on.com/products/solaris/>, Erişim:10 Eylül 2021.
- [96] Bastiaansen, C., Schmidt, H.W., Nishino, T., Smith, P. (1993). Transparency and dichroism of ultra-drawn UHMW-PE films in the visible wavelength range, *Polymer*, cilt 34(18), ss. 3951-3954
- [97] Duda, R.O., Hart, P.E. (1972). Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures, *Communications of the ACM*, cilt 15(1), ss. 11-15
- [98] Hough Circle Transform, https://docs.opencv.org/4.x/d4/d70/tutorial_hough_circle.html, Erişim: 5 Ocak 2022.
- [99] Canziani, A., Culurciello, E., Paszke, A. (2017). An Analysis Of Deep Neural Network Models For Practical Applications, *Arxiv*, arXiv:1605.07678, ss. 1-7
- [100] PyTorch, <https://pytorch.org>, Erişim: 10 Aralık 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Selman UZUN

[illegible]

[REDACTED]
 [REDACTED]
 [REDACTED]

- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]

██████████

Category	Value
Category 1	Value 1.1
Category 1	Value 1.2
Category 2	Value 2.1
Category 2	Value 2.2
Category 3	Value 3.1
Category 3	Value 3.2
Category 3	Value 3.3
Category 3	Value 3.4
Category 3	Value 3.5
Category 3	Value 3.6
Category 3	Value 3.7
Category 3	Value 3.8
Category 3	Value 3.9
Category 3	Value 3.10
Category 3	Value 3.11
Category 3	Value 3.12
Category 3	Value 3.13
Category 3	Value 3.14
Category 3	Value 3.15
Category 3	Value 3.16
Category 3	Value 3.17
Category 3	Value 3.18
Category 3	Value 3.19
Category 3	Value 3.20
Category 3	Value 3.21
Category 3	Value 3.22
Category 3	Value 3.23
Category 3	Value 3.24
Category 3	Value 3.25
Category 3	Value 3.26
Category 3	Value 3.27
Category 3	Value 3.28
Category 3	Value 3.29
Category 3	Value 3.30
Category 3	Value 3.31
Category 3	Value 3.32
Category 3	Value 3.33
Category 3	Value 3.34
Category 3	Value 3.35
Category 3	Value 3.36
Category 3	Value 3.37
Category 3	Value 3.38
Category 3	Value 3.39
Category 3	Value 3.40
Category 3	Value 3.41
Category 3	Value 3.42
Category 3	Value 3.43
Category 3	Value 3.44
Category 3	Value 3.45
Category 3	Value 3.46
Category 3	Value 3.47
Category 3	Value 3.48
Category 3	Value 3.49
Category 3	Value 3.50
Category 3	Value 3.51
Category 3	Value 3.52
Category 3	Value 3.53
Category 3	Value 3.54
Category 3	Value 3.55
Category 3	Value 3.56
Category 3	Value 3.57
Category 3	Value 3.58
Category 3	Value 3.59
Category 3	Value 3.60
Category 3	Value 3.61
Category 3	Value 3.62
Category 3	Value 3.63
Category 3	Value 3.64
Category 3	Value 3.65
Category 3	Value 3.66
Category 3	Value 3.67
Category 3	Value 3.68
Category 3	Value 3.69
Category 3	Value 3.70
Category 3	Value 3.71
Category 3	Value 3.72
Category 3	Value 3.73
Category 3	Value 3.74
Category 3	Value 3.75
Category 3	Value 3.76
Category 3	Value 3.77
Category 3	Value 3.78
Category 3	Value 3.79
Category 3	Value 3.80
Category 3	Value 3.81
Category 3	Value 3.82
Category 3	Value 3.83
Category 3	Value 3.84
Category 3	Value 3.85
Category 3	Value 3.86
Category 3	Value 3.87
Category 3	Value 3.88
Category 3	Value 3.89
Category 3	Value 3.90
Category 3	Value 3.91
Category 3	Value 3.92
Category 3	Value 3.93
Category 3	Value 3.94
Category 3	Value 3.95
Category 3	Value 3.96
Category 3	Value 3.97
Category 3	Value 3.98
Category 3	Value 3.99
Category 3	Value 3.100

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler:

1. MEB, Proje Tabanlı Beceri Yarışması, “Online Güvenlik Sistemi” isimli proje, Danışman Öğretmen, 2009
2. TÜBİTAK 2242- Lisans Öğrencileri Yazılım Projeleri Yarışması, “Biyometrik Kapı Kilidi Kontrolü” isimli proje, Öğrenci, 2016
3. TÜBİTAK 2204-A Lise Öğrencileri Araştırma Projeleri Yarışması, “Haber Örümceği” isimli proje, Danışman Öğretmen, 2017

4. T  B  TAK 4006 Bilim Fuarı, “Yüz Tanımaya Dayalı Kapı Kilit Sistemi” isimli proje, Danışman   ğretmen, 2018
5. T  B  TAK 2204-A Lise   ğrencileri Araştırma Projeleri Yarışması, “Elektronik Raf” isimli proje, Danışman   ğretmen, 2019
6. Fırat Üniversitesi BAP (FÜBAP) SHY.21.01 numaralı, “Retrografik Elastomerik Sensör Kullanarak Mermi Kovanından Ateşli Silah Tespiti” isimli yüksek lisans tezi projesi, 2021
7. T  B  TAK 4006 Bilim Fuarı, “Engelsiz Fare” isimli proje, Danışman   ğretmen, 2021
8. T  B  TAK 4006 Bilim Fuarı, “Sağlıklı mıyım?” isimli proje, Danışman   ğretmen, 2022

