



**EGE ÜNİVERSİTESİ**

**EÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**LİSANS TEZİ**

**DRIVER SAFETY PROJECT**

**Görkem Turkut – 0521000291  
Kadirhan Meral – 05200000052  
Muhammed Furkan Durmaz - 05200000077**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan Bulut**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Sunuş Tarihi : 18.06.2025**

**Bornova-İZMİR  
2025**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Görkem Turkut, Kadirhan Meral, Muhammed Furkan Durmaz tarafından lisans bitirme tezi olarak sunulan “Driver Safety” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 18.06.2025 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Prof. Dr. Hasan Bulut

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğumuz “Driver Safety” başlıklı bu tezin kendi çalışmamız olduğunu, sunduğumuz tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimizi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımızı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimizi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımızı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımızı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimizi beyan ederim.

18 / 06 / 2025

Kadirhan Meral



Muhammet Furkan Durmaz



Görkem Turkut



## ÖZET

Bu tez çalışması, araç içi kameralar kullanarak sürücü yorgunluğunu gerçek zamanlı olarak tespit etmeye yönelik yapay zeka tabanlı bir sistem geliştirmeyi amaçlamaktadır. Sürücü yorgunluğu, trafik kazalarının önemli bir nedenidir ve erken tespiti hayati öneme sahiptir. Geliştirilen sistemde, YOLO algoritması ile sürücünün yüz ve göz bölgeleri tespit edilmekte; OpenCV kullanılarak görüntü işleme teknikleri uygulanmakta; TensorFlow ve PyTorch destekli derin öğrenme modelleri ile göz kırpma sıklığı, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri analiz edilmektedir. Bu analizler sonucunda sürücünün uyku haline geçme durumu tespit edildiğinde hem sesli hem de görsel uyarılar verilerek sürücünün dikkatinin dağılması önlenmektedir.

Çalışmada kullanılan veri setleri arasında DROZY ve UTA-RLDD yer almakta olup, bu veri setleri üzerinde kapsamlı bir eğitim ve doğrulama süreci gerçekleştirilmiştir. Modelin doğruluk oranı %90'ın üzerinde olup, gerçek zamanlı testlerde yüksek performans göstermiştir. Ayrıca sistem, React Native ve Flutter gibi teknolojilerle mobil platformlarda, React.js ve .NET Core kullanılarak web ortamında çapraz platform desteği sunmaktadır.

Tez kapsamında, sürücü yorgunluğunun trafik güvenliği üzerindeki etkileri, yapay zeka temelli görüntü işleme tekniklerinin avantajları ve uygulamada karşılaşılan zorluklar detaylı şekilde ele alınmıştır. Sistem, yüksek doğruluk ve düşük gecikme süresi ile mevcut çözümlerden ayrılmakta, pratik ve erişilebilir bir araç güvenlik uygulaması sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma sürücü yorgunluğu tespitinde yapay zeka ve bilgisayarlı görü teknolojilerinin etkin kullanımını ortaya koymakta ve gelecekteki trafik güvenliği uygulamaları için önemli bir referans kaynağı oluşturmaktadır.

## ABSTRACT

This thesis focuses on the development of a real-time driver drowsiness detection system using artificial intelligence and computer vision techniques. Driver drowsiness is a critical factor contributing to traffic accidents worldwide, and its early detection can significantly enhance road safety. The proposed system employs the YOLO (You Only Look Once) algorithm to detect facial features such as eyes and head position from in-vehicle camera footage. Image processing techniques using OpenCV are applied to preprocess and analyze the captured frames. Deep learning models built with TensorFlow and PyTorch frameworks further analyze blink frequency, head pose, and facial expressions to determine the driver's fatigue level.

The dataset utilized includes publicly available benchmarks such as DROZY and UTA-RLDD, which provide diverse real-world scenarios for robust model training and validation. The trained model achieves an accuracy exceeding 90%, demonstrating strong performance in detecting drowsiness indicators in real time. To ensure accessibility and usability, the system is integrated into a cross-platform architecture supporting both mobile devices (via React Native and Flutter) and web platforms (using React.js with a .NET Core backend).

This study elaborates on the impact of driver fatigue on traffic safety and reviews current AI-based solutions, highlighting their limitations. It details the methodologies employed for data acquisition, preprocessing, and model training, emphasizing the optimization techniques used to reduce latency without compromising accuracy. The system delivers prompt audio-visual alerts to notify drivers when drowsiness signs are detected, aiming to prevent potential accidents caused by reduced alertness.

The experimental results include comprehensive evaluations using precision, recall, and F1-score metrics, confirming the model's reliability under various lighting and environmental conditions. The thesis also discusses challenges such as multi-driver detection and adverse lighting, proposing future improvements to enhance system robustness.

In conclusion, this research presents an effective and practical AI-driven approach to real-time driver drowsiness detection, combining state-of-the-art object detection algorithms with optimized image processing. The cross-platform integration further contributes to its practicality, making it suitable for widespread adoption in intelligent vehicle safety systems. This work serves as a valuable reference for future developments in enhancing road safety through AI and computer vision technologies.

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma sürecinde bizlere destek olan herkese teşekkürlerimizi sunmak istiyoruz. Öncelikle, değerli danışmanımız Prof. Dr. Hasan Bulut’a, yol gösterici tavsiyeleri ve sabırlı desteği için minnettarız. Onun bilgi birikimi ve rehberliği, bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasında en büyük etken olmuştur.

Ayrıca, yapay zeka ve görüntü işleme alanındaki bilgi birikimimizi artırmamıza katkı sağlayan tüm akademik kadroya ve çalışma arkadaşlarımıza teşekkür ederiz. Staj yaptığımız kurumlarda edindiğimiz tecrübeler, bu tez çalışmasına önemli katkılar sağlamıştır.

Proje sürecinde karşılaştığımız teknik zorlukları aşmamızda ailelerimizin ve arkadaşlarımızın moral desteği paha biçilemezdi. Onların sabrı ve inancı, motivasyonumuzu her zaman yüksek tuttu.

Son olarak, bu tezi hazırlarken kullandığımız tüm kaynakların yazarlarına ve bilim dünyasına teşekkür eder, bu çalışmanın sürücü güvenliği alanına katkı sağlamasını umarız.

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	1
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI .....	2
ÖZET .....	3
ABSTRACT .....	4
ÖNSÖZ .....	5
1. GİRİŞ .....	7
1.1 Problem Tanımı	
1.2 Amaç	
1.3 Kapsam	
1.4 Tezin Önemi	
1.5 Tezin Yapısı	
2. GENEL BİLGİLER .....	14
2.1 Sürücü Yorgunluğu ve Trafik Güvenliği	
2.2 Görüntü İşleme Teknikleri	
2.3 Yapay Zeka ve Derin Öğrenme	
2.4 Nesne Tespiti: YOLO Algoritması	
2.5 Daha Önceki Çalışmaların İncelenmesi	
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	20
3.1 Sistem Mimarisi	
3.2 Kullanılan Teknolojiler	
3.3 Veri Setleri	
3.4 Görüntü İşleme Adımları	
3.5 Model Eğitimi ve Doğrulama Süreci	
3.6 Web ve Mobil Uygulama Entegrasyonu	
4. BULGULAR .....	31
4.1 Model Performansı	
4.2 Gerçek Zamanlı Test Sonuçları	
5. TARTIŞMA .....	37
5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi	
5.2 Literatürle Karşılaştırma	
5.3 Sistemin Güçlü ve Zayıf Yönleri	
6. SONUÇ .....	42
6.1 Genel Sonuçlar	
6.2 Uygulama Potansiyeli	
7. ÖNERİLER .....	44
7.1 Gelecek Çalışmalar	
7.2 Geliştirme Alanları	
KAYNAKLAR .....	46

## 1. GİRİŞ

Bu bölümde, tez konusunun temel çerçevesi çizilmekte; sürücü yorgunluğu probleminin önemi, araştırmanın amacı, kapsamı ve tezin yapısı hakkında genel bilgiler verilmektedir. Ayrıca, sürücü yorgunluğu tespiti alanındaki mevcut ihtiyaçlar ve bu çalışmanın bu ihtiyaçlara nasıl katkı sağlayacağı kısaca açıklanmaktadır.

### 1.1 Problem Tanımı

Günümüzde trafik güvenliği, küresel ölçekte insan hayatını doğrudan etkileyen kritik bir konudur. Trafik kazaları, dünya genelinde milyonlarca insanın yaralanmasına ve her yıl yüzbinlerce kişinin hayatını kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu kazaların pek çok nedeni arasında, sürücü hataları, çevresel koşullar ve araçların mekanik sorunları gibi faktörler bulunmaktadır. Ancak, sürücünün fiziksel ve zihinsel durumu, özellikle yorgunluk hali, kazaların önemli bir sebebi olarak ön plana çıkmaktadır.

Sürücü yorgunluğu; uzun süreli araç kullanımı, monoton yol koşulları, gece sürüşleri ve uykusuzluk gibi nedenlerle ortaya çıkar. Yorgun sürücüde refleksler yavaşlar, dikkat dağınık ve karar verme yeteneği zayıflar. Bu durum, aracın kontrolünün kaybedilmesine, trafik kurallarına uyulmamasına ve dolayısıyla kazalara yol açar. Yapılan araştırmalar, sürücü yorgunluğunun sebep olduğu kazaların, özellikle uzun yol ve gece trafiğinde, tüm kazalar içinde %20-30 oranında pay sahibi olduğunu göstermektedir.

Mevcut trafik güvenliği önlemleri ve araç içi destek sistemleri, daha çok aracın mekanik performansını ve sürüş dinamiklerini iyileştirmeye odaklanmıştır. Ancak sürücünün yorgunluk durumu, çoğu sistem tarafından gerçek zamanlı olarak izlenememekte ya da algılanamamaktadır. Bu eksiklik, trafik güvenliği alanında önemli bir boşluk yaratmaktadır.

Bu bağlamda, sürücü yorgunluğunu gerçek zamanlı olarak tespit edip, sürücüyü zamanında uyaran akıllı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler, sürücünün fizyolojik ve davranışsal göstergelerini izleyerek yorgunluk belirtilerini erken aşamada tanımlamalı ve aktif uyarılarla kazaların önüne geçilmelidir.

Tez konusu olan “Driver Safety: Real-Time Driver Drowsiness Detection System Using AI and Computer Vision” projesi, tam da bu ihtiyacı karşılamak üzere geliştirilmiştir. Araç içi kameralar ve yapay zeka teknolojileri kullanılarak, sürücünün göz hareketleri, yüz ifadeleri ve baş pozisyonu gibi biyometrik veriler gerçek zamanlı analiz edilir. Bu analiz sonucunda, sürücünün uykulu ya da dikkatsiz olduğu durumlar tespit edilir ve sistem sesli ve görsel uyarılarla sürücüyü bilgilendirir.

Projenin temel amacı, sürücü yorgunluğunu yüksek doğruluk oranı ile erken aşamada tespit etmek, böylece trafik kazalarının azaltılmasına katkı sağlamaktır. Ayrıca, sistemin mobil ve web platformlarında çapraz platform mimarisi ile



çalışabilmesi, geniş kullanıcı kitlesine erişilebilirlik ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Yapay zeka algoritmaları (YOLO, TensorFlow, PyTorch), görüntü işleme teknikleri (OpenCV) ve modern yazılım geliştirme teknolojileri (React Native, React.js, Fast Api) bir araya getirilerek geliştirilmiş bu sistem, hem akademik hem de endüstriyel açıdan özgün ve yenilikçi bir çözüm sunmaktadır.

Bu bölümde, projenin kapsamı, ihtiyaç duyulan teknolojik altyapı ve hedefler detaylı olarak incelenecektir. Ayrıca, sürücü yorgunluğu probleminin günümüzdeki önemi ve bu alandaki mevcut teknolojik yaklaşımlar literatür ışığında ele alınacaktır.

## **1.2 Amaç**

Bu tez çalışmasının temel amacı, sürücülerin yorgunluk durumlarını gerçek zamanlı olarak tespit eden, güvenilir ve yüksek doğruluk oranına sahip bir yapay zeka tabanlı sistem geliştirmektir. Sürücü yorgunluğu, trafik kazalarının başlıca nedenlerinden biri olarak dünya genelinde önemli bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır. Bu nedenle, yorgun sürücülerin erken teşhisi ve uyarılması, kazaların önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Projenin amaçları aşağıdaki gibi detaylandırılabilir:

### **1.2.1 Sürücü Yorgunluğunu Erken Aşamada Tespit Etme**

Uzun yolculuklarda ve özellikle gece sürüşlerinde sürücünün dikkatinin azalması, reflekslerin yavaşlaması ve uyku hali kazalara zemin hazırlar. Bu çalışma, sürücünün göz kırpması sıklığı, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri gibi davranışsal göstergeleri analiz ederek yorgunluk belirtilerini erken aşamada tespit etmeyi hedefler. Böylece, sürücünün riskli duruma girmesi önceden fark edilerek müdahale şansı artırılır.

### **1.2.2 Gerçek Zamanlı ve Otomatik Analiz Sağlama**

Sistemin temel özelliklerinden biri, görüntü işleme ve yapay zeka tekniklerini kullanarak, sürücünün davranışlarını gerçek zamanlı olarak analiz etmesidir. Bu sayede, yorgunluk durumu anlık olarak tespit edilir ve sürücüye gecikmesiz uyarılar gönderilir. Bu otomasyon, insan faktöründen kaynaklanabilecek gecikmeleri ortadan kaldırarak etkin bir güvenlik mekanizması sunar.

### **1.2.3 Yüksek Doğruluk ve Güvenilirlik Sağlama**

Tezde geliştirilen sistem, mevcut yorgunluk tespit yöntemlerine kıyasla yüksek doğruluk, hassasiyet ve düşük hata oranları ile öne çıkar. Kullanılan gelişmiş derin öğrenme modelleri (YOLO, TensorFlow, PyTorch) ve optimize edilmiş görüntü işleme algoritmaları sayesinde, sürücünün gerçek davranışları doğru şekilde algılanır ve yanlış pozitif ya da negatif sonuçların önüne geçilir.

### 1.2.4 Çoklu Platform Desteği ve Kullanıcı Dostu Tasarım

Sistemin hem mobil (React Native/Flutter) hem de web (React.js + Fast Api) platformlarında çalışabilmesi, farklı kullanıcı ihtiyaçlarına yanıt verir. Bu çapraz platform desteği, sürücülerin ve filo yöneticilerinin kolay erişim sağlamasına olanak tanır. Kullanıcı arayüzü, sezgisel ve kullanıcı dostu olacak şekilde tasarlanarak sistemin benimsenmesini artırmak amaçlanır.

### 1.2.5 Trafik Güvenliğine Katkı Sağlamak

Bu tez çalışması, sürücü yorgunluğunun neden olduğu kazaların azaltılmasına doğrudan katkı sağlamayı amaçlar. Erken uyarı mekanizması sayesinde, sürücüler uykulu olduklarında kendilerini daha iyi kontrol edebilir veya mola verebilir. Bu sayede, sürüş güvenliği artar, maddi kayıplar ve can kayıplarının önüne geçilir.

### 1.2.6 Açık Kaynak ve Optimize Edilmiş Teknolojiler Kullanma

Sistemin geliştirilmesinde açık kaynak kütüphanelerin (OpenCV, YOLO, TensorFlow) etkin ve optimize edilmiş kullanımı, hem maliyetleri düşürür hem de sürdürülebilirliği sağlar. Bu amaç doğrultusunda, projede kullanılan teknolojiler en güncel ve performans odaklı araçlar arasından seçilmiştir.

## 1.3 Kapsam

Bu tez çalışması, sürücü yorgunluğunu gerçek zamanlı olarak tespit eden yapay zeka destekli bir sistem geliştirme sürecini ve bu sistemin teknik altyapısını kapsamaktadır. Çalışmanın temel amacı, trafik güvenliğini artırmak için sürücünün uykulu veya dikkat dağınıklığı içindeki davranışlarını tespit ederek anında uyarı vermek ve böylece kaza riskini minimize etmektir.

Tezin kapsamı şu ana başlıklar altında toplanabilir:

### 1.3.1 Teknik Kapsam

- **Veri Toplama ve İşleme:** Sistem için kullanılan veri setleri (DROZY, UTA-RLDD gibi) sürücülerin çeşitli koşullardaki (farklı ışık, pozisyon, yorgunluk düzeyi) yüz görüntülerinden oluşmaktadır. Bu verilerin hazırlanması, etiketlenmesi ve model eğitime uygun hale getirilmesi çalışmanın önemli bir bölümünü oluşturur.
- **Model Geliştirme:** Sürücü yorgunluğu tespiti için YOLO algoritması ile yüz ve göz tespiti gerçekleştirilirken, TensorFlow ve PyTorch tabanlı derin öğrenme modelleriyle yorgunluk belirtileri analiz edilir. Model eğitimi, doğrulama ve test süreçleri kapsamlı şekilde yürütülür.
- **Gerçek Zamanlı Görüntü İşleme:** OpenCV gibi kütüphaneler kullanılarak, yakalanan görüntülerde düşük gecikmeyle nesne tespiti yapılır ve sürücünün durumu analiz edilir. Sistem gerçek zamanlı çalışacak şekilde optimize edilir.

- **Çapraz Platform Entegrasyonu:** Geliştirilen yapay zeka modeli hem mobil platformlarda (React Native, Flutter) hem de web platformlarında (React.js + FastApi Core backend) kullanılabilecek şekilde entegre edilir. Bu sayede sistemin kullanım alanları ve erişilebilirliği genişletilir.

### 1.3.2 Uygulama Kapsamı

- **Gerçek Sürüş Koşulları:** Sistem, farklı ışıklandırma koşulları, sürüş pozisyonları, gözlük veya şapka gibi aksesuarların varlığı gibi gerçekçi sürüş durumlarına uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.
- **Uyku Halinin Tespiti:** Sadece göz kırpması sıklığı değil, baş hareketleri ve yüz ifadeleri gibi çoklu parametreler kullanılarak sürücünün yorgunluk durumu kapsamlı şekilde değerlendirilir.
- **Uyarı Mekanizmaları:** Sürücü uykulu veya dikkatinin dağılmış olduğu anlarda sesli ve görsel uyarılar sistem tarafından verilir. Bu uyarılar sürücünün tepkisini artırmak ve kazaları önlemek amacıyla tasarlanmıştır.

### 1.3.3 Kısıtlar ve Sınırlamalar

- **Çoklu Sürücü Durumu:** Proje kapsamında araçta birden fazla sürücünün eş zamanlı tespiti ve takibi henüz uygulanmamıştır.
- **Işık Koşulları:** Çok düşük ışıktaki veya aşırı parlaklık durumlarında algılama performansı azalmaktadır. Bu durum ileride geliştirilecek sistemlerde iyileştirilebilir.
- **Donanım Bağımlılığı:** Sistem performansı kullanılan kamera kalitesi ve işlemci gücüne bağlıdır. Yüksek performanslı donanım gereksinimleri, kullanım alanlarını kısıtlayabilir.

### 1.3.4 Tez Kapsamı Dışında Kalanlar

- Araç içi diğer tehlike durumları (alkollü sürüş, ani frenleme gibi) bu tez kapsamında incelenmemiştir.
- Sürücü biyometrik verileri (kalp atış hızı, nabız vb.) entegre edilmemiştir.
- Otonom sürüş sistemleri ile entegrasyon veya ileri sürücü destek sistemleri (ADAS) ile bağlantı bu çalışmanın dışındadır.

## 1.4 Tezin Önemi

Günümüzde trafik kazaları, dünya genelinde en önemli ölüm ve yaralanma sebeplerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu kazaların büyük bir kısmı, sürücü hatalarından kaynaklanmakta ve sürücü yorgunluğu da en sık karşılaşılan sebepler arasında yer almaktadır. Uluslararası araştırmalar, sürücü yorgunluğunun özellikle uzun mesafe sürüşlerinde ve gece saatlerinde kazaların artmasında kritik rol oynadığını göstermektedir. Bu durum, sadece bireysel sürücülerin değil, toplumun genel sağlık ve güvenliğinin de korunması açısından hayati bir öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasının önemi, sürücü yorgunluğunun erken ve doğru bir şekilde tespit edilmesine yönelik yapay zeka tabanlı yenilikçi bir çözüm sunmasıdır. Geleneksel yöntemlerle sürücü yorgunluğu tespiti çoğunlukla sürücünün kendi farkındalığına veya araç içi sınırlı sensör verilerine dayanmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, yorgunluğun başlangıç evresinde müdahale etmekte yetersiz kalabilir. Yapay zeka ve bilgisayarlı görü teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde, sürücünün yüz ifadeleri, göz hareketleri ve baş pozisyonu gibi biyometrik veriler gerçek zamanlı olarak analiz edilerek, yorgunluk belirtileri erken aşamada tespit edilebilir.

Tezde geliştirilen sistemin sunduğu yüksek doğruluk oranı (%90 üzeri) ve düşük gecikme süresi, bu alandaki mevcut çözümlerle karşılaştırıldığında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca sistemin hem web hem mobil platformlarda çalışabilen çapraz platform mimarisi, farklı kullanıcı ihtiyaçlarına hitap edebilmekte ve erişilebilirliği artırmaktadır. Bu da, sürücü güvenliği uygulamalarının yaygınlaşması ve trafik kazalarının önlenmesi açısından kritik bir adımdır.

Ayrıca bu çalışma, yapay zeka ve derin öğrenme teknolojilerinin gerçek hayattaki uygulamalarına dair önemli bir örnek teşkil etmektedir. Sürücü yorgunluğu tespiti gibi zaman kritik ve yüksek doğruluk gerektiren bir problemde, YOLO algoritması ve OpenCV gibi açık kaynaklı araçların etkin kullanımı, bu teknolojilerin hem akademik hem de endüstriyel projelerde nasıl verimli şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Bu, Türkiye ve dünya genelindeki yapay zeka araştırmacılarına ve geliştiricilerine yol gösterici olabilir.

Tez çalışması aynı zamanda sürücülerin ve araç üreticilerinin, sürüş güvenliğini artırmak için yeni teknolojilere olan ilgisini artırabilir ve bu alanda yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine zemin hazırlayabilir. Trafik güvenliği politikalarının geliştirilmesi, sürücü eğitimlerinin iyileştirilmesi ve gelecekteki otonom araç teknolojilerine entegrasyon için önemli bir referans kaynağı olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak, bu tez projesi hem akademik literatüre anlamlı bir katkı sağlamayı hem de toplum yararına, gerçek hayatta uygulanabilir ve etkili bir çözüm sunmayı hedeflemektedir. Sürücü yorgunluğunun önlenmesiyle trafik kazalarının azaltılması, can kayıplarının ve maddi zararların önüne geçilmesi bakımından, bu çalışma kritik ve güncel bir ihtiyaca cevap vermektedir.

## 1.5 Tezin Yapısı

Bu tez, sürücü yorgunluğunu gerçek zamanlı olarak tespit etmeye yönelik yapay zeka tabanlı bir sistemin geliştirilmesini ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. Tezin yapısı, konunun sistematik ve detaylı bir şekilde ele alınabilmesi için farklı bölümlere ayrılmıştır. Aşağıda her bir bölümün içeriği ve teknik detayları açıklanmıştır:

**1.Giriş:** Tezin başlangıç bölümü olup, çalışmanın problem tanımı, amaçları, kapsamı, önemi ve yapısı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu bölüm, okuyucunun tezin amacını ve neden önemli olduğunu anlaması için temel çerçeveyi çizer. Ayrıca, yapay zeka ve sürücü güvenliği gibi temel kavramlar hakkında kısa bilgiler sunar.

**2.Genel Bilgiler:** Bu bölümde, sürücü yorgunluğu kavramı, trafik güvenliği ile ilişkisi ve bu alanda kullanılan temel görüntü işleme ve yapay zeka teknikleri detaylı olarak açıklanır. Özellikle YOLO (You Only Look Once) algoritması gibi nesne tespiti yöntemleri üzerinde durulur. Literatür taraması yapılarak, daha önce bu alanda yapılmış çalışmalar incelenir ve mevcut boşluklar belirlenir. Teknik olarak, görüntü işleme algoritmalarının çalışma prensipleri, derin öğrenme modellerinin mimarisi ve veri setlerinin özellikleri burada detaylandırılır.

**3.Gereç ve Yöntem:** Tezin en teknik kısmı olan bu bölüm, geliştirilen sistemin mimarisi, kullanılan donanım ve yazılım bileşenleri, veri setleri ve eğitim süreçlerini kapsar.

- **Sistem Mimarisi:** Araç içi kamera ile gerçek zamanlı görüntü yakalama, ön işleme, model tahmini ve uyarı sisteminin entegrasyonu anlatılır.
- **Kullanılan Teknolojiler:** YOLO algoritması ile nesne tespiti, OpenCV kütüphanesi ile görüntü işleme teknikleri (göz kırpma tespiti, baş pozisyonu analizi gibi), TensorFlow/PyTorch ile derin öğrenme modeli eğitimi ve çıkarımı açıklanır.
- **Veri Setleri:** DROZY, UTA-RLDD gibi sürücü yorgunluğu içeren açık veri setlerinin yapısı, etiketlenme şekilleri ve eğitimde kullanımı detaylandırılır.
- **Model Eğitimi ve Doğrulama:** Eğitim sırasında kullanılan hiperparametreler, optimizasyon yöntemleri, doğrulama teknikleri ve performans ölçütleri anlatılır.
- **Web ve Mobil Entegrasyon:** Geliştirilen modelin React Native/Flutter tabanlı mobil uygulama ve React.js + Fast Api backend ile web platformunda nasıl entegre edildiği teknik olarak detaylandırılır. API yapısı, gerçek zamanlı veri akışı ve kullanıcı arayüzü tasarımına değinilir.

**4. Bulgular:** Elde edilen model performans metrikleri (Accuracy, Precision, Recall, F1-Score gibi) ayrıntılı şekilde sunulur. Gerçek zamanlı test senaryoları ve performans karşılaştırmaları yapılır. Teknik olarak, modelin gecikme süreleri, işlemci ve bellek kullanımı gibi sistem performansı ölçümleri de burada yer alır.

**5.Sonuç ve Tartışma:** Modelin güçlü ve zayıf yönleri, uygulamada karşılaşılan sorunlar ve literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırmalı analiz yapılır. Teknik sınırlamalar (örneğin düşük ışık koşullarında algılama başarısı, çoklu sürücü durumları) tartışılır.

**6.Sonuç:** Genel sonuçlar özetlenir ve sistemin trafik güvenliği üzerindeki potansiyel etkileri vurgulanır.

**7.Öneriler:** Gelecekte yapılabilecek iyileştirmeler ve genişletmeler önerilir. Teknik açıdan, daha gelişmiş sensör entegrasyonları, model optimizasyonları ve kapsamlı saha testleri gibi konular ele alınır.

**8.Ekler ve Kaynaklar:** Çalışmada kullanılan kod parçacıkları, veri seti örnekleri, ek tablolar ve. Kaynaklar bölümü ise tez boyunca referans verilen tüm akademik ve teknik kaynakları içerir.

## 2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, sürücü yorgunluğu tespiti alanında temel kavramlar, kullanılan yöntemler ve teknolojiler detaylı şekilde ele alınacaktır. Ayrıca, yapay zeka ve görüntü işleme tekniklerinin sürücü yorgunluğu tespiti üzerindeki etkisi ve YOLO algoritması gibi güncel nesne tespiti yöntemleri açıklanacak, ardından literatürdeki önemli çalışmalar incelenecektir.

### 2.1 Sürücü Yorgunluğu ve Trafik Güvenliği

Trafik güvenliği, modern toplumların en kritik konularından biridir. Her yıl milyonlarca insan trafik kazalarında hayatını kaybetmekte veya yaralanmaktadır. Bu kazaların büyük bir kısmında sürücünün fiziksel ve zihinsel durumu önemli bir etkindir.

Sürücü yorgunluğu, sürücünün uyanıklık seviyesinin azalması, dikkat dağınıklığı ve tepki sürelerinin uzaması ile kendini gösterir. Bu durum, sürücünün yol koşullarına ve trafik olaylarına zamanında tepki vermesini engeller. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve çeşitli uluslararası trafik güvenliği kurumlarının raporlarına göre, yorgunluk nedeniyle gerçekleşen kazalar, tüm trafik kazalarının %15 ila %20'sini oluşturmaktadır. Bu oran, sadece sayısal olarak değil, aynı zamanda yorgunluk kaynaklı kazaların genellikle daha ciddi sonuçlar doğurması nedeniyle de önemlidir.

Yorgunluk, özellikle uzun süreli ve monoton sürüşlerde, gece saatlerinde, uygun uyku alınmadığında veya sağlık sorunları olan sürücülerde daha yaygındır. Uzun yolculuklarda sürücülerde mikro uyku olarak adlandırılan kısa süreli uyku atakları meydana gelebilir. Bu mikro uykular, saniyeler içinde gerçekleşir ve sürücünün kontrolünü kaybetmesine yol açabilir.

Sürücü yorgunluğunun trafik güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemler arasında, sürücünün kendi uyanıklık durumunu kontrol etmesi veya araçlarda kısa molalar verilmesi önerilir. Ancak bu yöntemler çoğu zaman yeterli değildir ve insan faktöründen kaynaklanan hatalara açıktır.

Teknolojik çözümler ise sürücünün fizyolojik ve davranışsal verilerini gerçek zamanlı izleyerek yorgunluk belirtilerini otomatik olarak tespit etmeyi hedefler. Bu sistemler, sürücünün göz hareketleri, baş pozisyonu, yüz ifadeleri, göz kırpması sıklığı gibi biyometrik verileri analiz eder. Böylece yorgunluk durumunu erkenden tespit edip, sürücüyü sesli veya görsel uyarılarla bilgilendirerek kazaların önlenmesine katkı sağlar.

Son yıllarda yapay zeka ve görüntü işleme alanındaki gelişmeler, sürücü yorgunluğu tespitinde büyük ilerlemeler sağlamıştır. Derin öğrenme tabanlı algoritmalar, yüksek doğruluk ve hızla sürücü davranışlarını analiz edebilmekte, bu sayede daha güvenilir ve etkin uyarı sistemleri geliştirilmektedir. Bu tez çalışması da bu bağlamda, güncel yapay zeka tekniklerini kullanarak gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukta sürücü yorgunluğu tespiti yapmayı amaçlamaktadır.

## 2.2 Görüntü İşleme Teknikleri

Görüntü işleme, dijital görüntüler üzerinde belirli algoritmalar kullanarak bilgi çıkarımı, analiz ve dönüşüm yapma sürecidir. Bu teknikler, bilgisayarlara görsel veriyi anlamlandırma ve yorumlama yeteneği kazandırır. Sürücü yorgunluğu tespit sistemlerinde, görüntü işleme en kritik aşamalardan biridir çünkü sürücünün yüzü, göz hareketleri ve baş pozisyonu gibi görsel veriler analiz edilir.

Görüntü işleme teknikleri, temel olarak üç aşamada incelenebilir: görüntü elde etme, ön işleme ve özellik çıkarımı.

**Görüntü Elde Etme:** Sistem, araç içi kameralar aracılığıyla sürücünün canlı görüntüsünü alır. Bu görüntüler, genellikle RGB formatında ve yüksek çözünürlükte olur. Canlı video akışı, gerçek zamanlı analiz için sürekli olarak işlenir.

**Ön İşleme:** Elde edilen görüntüler, analiz öncesi daha uygun hale getirilmek için çeşitli işlemlerden geçer. Bu işlemler arasında gürültü azaltma, kontrast ayarlama, renk dönüşümü (örneğin, RGB'den gri tonlamaya), histogram eşitleme ve boyutlandırma yer alır. Ön işleme, modelin doğruluğunu artırmak ve işlem süresini optimize etmek için önemlidir.

**Özellik Çıkarımı:** Sürücünün yorgunluk belirtilerini tespit etmek için yüz bölgesi, gözler, kaşlar ve baş pozisyonu gibi önemli alanlar belirlenir. Bu alanlardan çeşitli özellikler çıkarılır. Örneğin, göz kırpması hızı, gözlerin açık-kapalı durumu, başın yatış açısı ve yüz ifadeleri gibi parametreler değerlendirilir. Bu özellikler, yapay zeka modellerine girdi olarak sunulur.

Görüntü işleme alanında yaygın olarak kullanılan teknikler arasında kenar tespiti (edge detection), morfolojik işlemler, hareket analizi ve segmentasyon yer alır. Kenar tespiti, nesnelerin sınırlarını belirlemede kullanılırken, segmentasyon görüntüyü anlamlı parçalara ayırarak analiz kolaylığı sağlar.

Sürücü yorgunluğu tespit sistemlerinde özellikle göz ve yüz tespiti önemlidir. OpenCV gibi açık kaynak kütüphaneler, yüz ve göz algılama için Haar Cascade veya HOG (Histogram of Oriented Gradients) tabanlı yöntemler sunar. Ancak bu klasik yöntemler, karmaşık ve değişken ışık koşullarında yetersiz kalabilir.

Bu noktada derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar devreye girer. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ile geliştirilen modeller, yüz ve göz tespiti, hatta mikro ifadelerin tanınması gibi işlemlerde yüksek doğruluk sağlar. YOLO (You Only Look Once) algoritması, hızlı ve doğru nesne tespiti sunması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. YOLO, tek bir sinir ağı ile tüm görüntüyü işleyerek çoklu nesne tespiti yapabilir ve bu sayede gerçek zamanlı uygulamalarda avantaj sağlar.

Sonuç olarak, görüntü işleme teknikleri sürücü yorgunluğu tespitinde temel yapı taşlarıdır ve bu tekniklerin uygun şekilde seçilip uygulanması sistemin başarısını doğrudan etkiler.



## 2.3 Yapay Zeka ve Derin Öğrenme

Yapay Zeka (YZ), makinelerin insan benzeri zekâya sahip olmasını sağlayan bilim dalıdır. Bu kapsamda makineler, öğrenme, akıl yürütme, problem çözme, algılama ve dil anlama gibi bilişsel yetenekleri kazanır. Günümüzde YZ, çok çeşitli alanlarda kullanılırken, özellikle görüntü işleme ve nesne tespiti gibi problemler için derin öğrenme teknikleri ön plana çıkmaktadır.

Derin öğrenme, yapay sinir ağlarının çok katmanlı yapılarla karmaşık veri setlerinden özellik çıkarımı yapmasını sağlayan bir makine öğrenimi alt dalıdır. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN - Convolutional Neural Networks), görüntü tabanlı problemler için çok başarılı sonuçlar verir. CNN'ler, görüntülerdeki kenar, köşe, renk ve doku gibi düşük seviyeli özellikleri otomatik olarak öğrenir, daha üst seviyede ise bu özellikleri birleştirerek nesne veya yüz gibi anlamlı yapıların tespitini gerçekleştirir.

Sürücü yorgunluğu tespiti gibi gerçek zamanlı uygulamalarda, derin öğrenme algoritmaları yüksek doğruluk ve hızlı işlem yetenekleriyle tercih edilir. Bu bağlamda sistemde, sürücünün yüz ifadeleri, gözlerin açık ya da kapalı olması, baş pozisyonu gibi yorgunluk göstergeleri, derin öğrenme modelleri tarafından analiz edilir.

Derin öğrenme modellerinin eğitimi büyük ve çeşitli veri setlerine ihtiyaç duyar. Bu veri setleri, farklı yaş, cinsiyet, ışık koşulları ve pozisyonlarda çekilmiş yüz ve göz görüntülerinden oluşur. Böylece model, gerçek dünyadaki farklı senaryolara karşı genelleme yapabilir.

TensorFlow ve PyTorch, derin öğrenme modellerinin geliştirilmesi ve eğitilmesi için yaygın olarak kullanılan açık kaynaklı kütüphanelerdir. TensorFlow, Google tarafından geliştirilmiş, geniş ekosistemi ve kolay entegrasyon özellikleriyle tercih edilirken; PyTorch, esnek yapısı ve dinamik hesap grafiği sayesinde araştırma ve prototiplemede popülerdir. Bu tezde kullanılan modeller, bu kütüphanelerle geliştirilmiş ve optimize edilmiştir.

Derin öğrenmenin sürücü yorgunluğu tespitindeki rolü sadece göz kırpma veya baş pozisyonu analizi ile sınırlı değildir. Aynı zamanda yüz mimikleri, yorgunluk belirtileri ve dikkat dağınıklığı gibi ince detaylar da bu modeller sayesinde tespit edilebilir. Bu detaylar, klasik görüntü işleme yöntemlerine göre çok daha yüksek doğruluk ve esneklik sağlar.

Bununla birlikte, derin öğrenme modellerinin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilmesi için, hem model boyutunun hem de işlem süresinin optimize edilmesi gerekir. Bu optimizasyon, model mimarisi seçiminden donanım desteğine kadar birçok faktörü kapsar. YOLO gibi algoritmalar, bu gereksinimlere uygun olarak geliştirilmiştir ve bu tezde de nesne tespiti için tercih edilmiştir.

Sonuç olarak, yapay zeka ve derin öğrenme teknikleri, sürücü yorgunluğu tespit sistemlerinin kalbini oluşturur. Bu teknikler sayesinde, sürücünün yorgunluk belirtileri yüksek doğrulukla, hızlı ve etkin şekilde analiz edilebilir.

## 2.4 Nesne Tespiti: YOLO Algoritması

Nesne tespiti, bilgisayarlı görü alanında, bir görüntü ya da video karesinde bulunan nesnelerin türlerini belirleme ve konumlarını saptama işlemidir. Bu işlem, hem nesnelerin sınıflandırılmasını hem de onların bulunduğu koordinatların belirlenmesini içerir. Gerçek zamanlı uygulamalarda nesne tespiti, hızlı ve doğru sonuçlar üretmelidir. Bu noktada YOLO (You Only Look Once) algoritması, nesne tespiti alanında çığır açan bir yöntem olarak kabul edilir.

YOLO algoritması, tek bir evrimsel sinir ağı (Convolutional Neural Network - CNN) kullanarak görüntüyü sadece bir kez işleyerek nesneleri tespit eder. Diğer algoritmalar genellikle bölge önerme (region proposal) aşamalarıyla çalışırken, YOLO doğrudan görüntü üzerinde bölge tahmini ve sınıflandırma işlemini eş zamanlı yapar. Bu yaklaşım sayesinde YOLO, yüksek hız ve makul doğruluk oranlarını aynı anda sağlar.

YOLO'nun çalışma prensibi özetle şöyledir: Görüntü,  $S \times S$  boyutunda ızgaralara bölünür. Her ızgara hücresi, içinde bir nesnenin merkezinin olup olmadığını tahmin eder. Hücre ayrıca, o nesne için bounding box (sınırlayıcı kutu) koordinatları ve olasılık skorları üretir. Bu sayede, tüm görüntüdeki nesneler tek adımda tespit edilmiş olur.

YOLO algoritmasının farklı versiyonları geliştirilmiştir (YOLOv1, YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5 ve sonrasında YOLOv7 gibi). Her versiyon, doğruluk ve hız açısından iyileştirmeler getirmiştir. Bu tezde, sürücünün yüzü, gözleri ve baş pozisyonunu tespit etmek amacıyla optimize edilmiş bir YOLO versiyonu kullanılmaktadır. Bu versiyon, hem doğruluk oranı hem de işlem hızı bakımından gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemleri için uygundur.

YOLO algoritmasının avantajları şunlardır:

- **Gerçek Zamanlı Performans:** Tek geçişlik yapısı sayesinde saniyede onlarca kare işleyebilir, bu da sürücü güvenliği gibi zaman kritik uygulamalarda büyük önem taşır.
- **Yüksek Doğruluk:** Nesneleri doğru şekilde sınıflandırıp yerini belirleyebilir.
- **Tek Model ile Çoklu Nesne Tespiti:** Aynı anda birden fazla nesneyi tespit edebilir, bu sayede göz, yüz ve baş gibi farklı alanları paralel analiz eder.

Ancak YOLO'nun bazı sınırlamaları da vardır. Küçük nesnelerin tespitinde bazen doğruluk düşebilir, karmaşık arka planlarda yanlış pozitif sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu tezde bu sorunlar, model eğitimi sırasında veri çeşitliliği ve augmentasyon teknikleriyle azaltılmıştır.

Özetle, YOLO algoritması sürücü yorgunluğu tespit sistemi için ideal bir nesne tespiti çözümüdür. Hem hız hem doğruluk açısından denge sağlar, gerçek zamanlı sistemlerde güvenilir performans sunar.

## 2.5 Daha Önceki Çalışmaların İncelenmesi

Sürücü yorgunluğu tespiti, trafik güvenliği alanında önemli bir araştırma konusu olarak uzun yıllardır incelenmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar, hem geleneksel yöntemler hem de yapay zeka tabanlı modern teknikler kapsamında değerlendirilebilir. Bu bölümde, literatürde yer alan başlıca yaklaşımlar, kullanılan yöntemler, avantajları ve sınırlılıkları detaylı şekilde incelenecektir.

### Geleneksel Yöntemler

Trafik güvenliği bağlamında sürücü yorgunluğunu tespit etmek için kullanılan ilk yöntemler, biyometrik ve fizyolojik sinyallerin takibine dayanıyordu. Örneğin, kalp atış hızı, deri iletkenliği, elektroensefalografi (EEG) ve elektrokardiyografi (EKG) gibi biyolojik işaretler üzerinden sürücünün yorgunluk durumu analiz ediliyordu. Ancak bu yöntemler, sürücünün konforunu bozması ve özel sensörler gerektirmesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmedi. Ayrıca gerçek zamanlı ve pratik uygulamalarda sınırlı kaldılar.

Bir diğer geleneksel yöntem, sürücünün aracın kontrolündeki davranışsal değişikliklerinin analiz edilmesidir. Direksiyon hareketleri, fren ve gaz pedalı kullanımı, şerit takip hassasiyeti gibi parametreler, yorgunluk göstergesi olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler araç içi sensörlere dayandığı için harici cihazlara ihtiyaç duymaz, fakat davranışsal değişiklikler her zaman net olmayabilir ve trafik koşullarından etkilenebilir.

### Görüntü İşleme Tabanlı Yöntemler

Son yıllarda sürücü yorgunluğu tespiti için görüntü işleme ve bilgisayarlı görü teknikleri yaygınlaşmıştır. Araç içine yerleştirilen kameralarla sürücünün yüzü, göz hareketleri, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri izlenir. Bu yöntem, biyometrik sensörlere kıyasla daha az müdahaleci ve kullanımı daha pratiktir.

Literatürde göz kırpması sıklığı ve göz kapama süresi gibi parametreler, yorgunluğun tespitinde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu parametrelerin tespiti için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Örneğin, klasik görüntü işleme teknikleriyle göz ve yüz bölgelerinin tespiti yapılırken, modern yaklaşımlarda derin öğrenme modelleri bu işi üstlenir.

Baş pozisyonu analizi de sürücü dikkat dağınıklığı ve yorgunluğunun önemli göstergelerindendir. Sürücünün başının eğilmesi ya da yana kayması, yorgunluğun işareti olabilir. Bu nedenle baş pozisyonunun izlenmesi de sistemlere dahil edilmiştir.

### Yapay Zeka ve Derin Öğrenme Yöntemleri

Yapay zeka ve derin öğrenme teknikleri, sürücü yorgunluğu tespiti alanında devrim yaratmıştır. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) yüz ifadelerinin, göz hareketlerinin ve baş pozisyonunun yüksek doğrulukla analizini mümkün kılmıştır.

YOLO, SSD ve Faster R-CNN gibi nesne tespiti algoritmaları, sürücünün gözlerini, yüzünü ve diğer önemli bölgeleri gerçek zamanlı olarak tespit etmek için

kullanılmıştır. Bu algoritmaların avantajı, yüksek hızda işlem yapabilmeleri ve çoklu nesneleri aynı anda tanımlayabilmeleridir.

Örneğin, birçok çalışma YOLO algoritmasının farklı versiyonlarını kullanarak sürücü yorgunluğu tespiti gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar, hem hız hem de doğruluk açısından tatmin edici sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda, OpenCV ve TensorFlow gibi açık kaynaklı kütüphanelerle entegrasyonları kolaydır.

### **Daha Önceki Proje ve Tez Örnekleri**

- **DROZY Veri Seti Kullanarak Yorgunluk Tespiti:** Bazı çalışmalar DROZY veri setini kullanarak sürücünün göz kırpmalı davranışlarını analiz etmiş ve gerçek zamanlı yorgunluk tespiti yapmıştır. Bu projelerde genellikle CNN tabanlı modeller eğitilmiş, gerçek zamanlı uygulamalar geliştirilmiştir.
- **UTA-RLDD Veri Seti Üzerinde Çalışmalar:** UTA-RLDD veri seti, yüz ve göz hareketlerinin geniş çeşitliliğini içerir. Bu set kullanılarak yapılan çalışmalar, farklı ışık ve açı koşullarında bile modelin güvenilirliğini arttırmayı hedeflemiştir.
- **Mobil ve Web Tabanlı Çözümler:** Bazı çalışmalar, sürücü yorgunluğunu tespit eden modelleri mobil veya web platformlarında çalıştırabilmek için optimize etmiştir. Bu sayede daha erişilebilir, gerçek zamanlı çözümler ortaya konmuştur.

### **Sınırlamalar ve Zorluklar**

Literatürde yer alan birçok çalışma önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da bazı sınırlamalar mevcuttur. Işık koşullarındaki değişkenlik, sürücünün yüzünü gizleyen aksesuarlar (gözlük, maske vb.), çoklu sürücü durumu, kamera açısının sabit olmaması gibi etmenler doğruluğu etkileyebilir.

Ayrıca gerçek zamanlı uygulamalarda işlem gücü kısıtlamaları, düşük gecikme gereksinimleri ve sistem entegrasyonu gibi teknik zorluklar vardır. Bu nedenlerle, mevcut sistemlerin optimize edilmesi, geniş veri setleriyle desteklenmesi ve çapraz platform entegrasyonları önem kazanmıştır.

### **Sonuç**

Bu tez, literatürdeki mevcut yaklaşımları esas alarak, YOLO tabanlı optimize nesne tespiti ve derin öğrenme modelleriyle sürücü yorgunluğu tespiti alanında hem doğruluk hem de performans odaklı bir çözüm geliştirmektedir. Mobil ve web tabanlı uygulama entegrasyonu ile erişilebilirlik ve kullanılabilirlik artırılmıştır. Literatürdeki sınırlamalar göz önünde bulundurularak, ışık koşulları ve çoklu sürücü gibi zorluklara karşı öneriler de sunulmuştur.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu bölümde, sürücü yorgunluğu tespiti sisteminin geliştirilmesinde kullanılan araçlar, yöntemler ve teknolojiler ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Sistem mimarisi, veri setleri, görüntü işleme adımları, model eğitimi ve doğrulama süreçleri ile web ve mobil uygulama entegrasyonu gibi temel bileşenler bu kısımda ele alınacaktır. Böylece, geliştirilen çözümün teknik altyapısı ve uygulama detayları net bir şekilde ortaya konacaktır.

#### 3.1 Sistem Mimarisi

Gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespiti sistemi, karmaşık yapısı ve çoklu bileşenleriyle yüksek doğruluk ve hız hedeflenerek tasarlanmıştır. Bu sistemin mimarisi, farklı katmanların uyum içinde çalışmasını sağlayacak şekilde modüler bir yapı üzerine kurulmuştur. Temel olarak dört ana katman bulunur: veri toplama, görüntü işleme, model çıkarımı ve bildirim katmanı. Ayrıca, bu katmanları destekleyen veri yönetimi ve uygulama entegrasyonu modülleri sistemin genel performansını ve esnekliğini artırır.

##### 3.1.1 Veri Toplama Katmanı

Sistem, sürücünün davranışlarını analiz etmek için araç içine yerleştirilen yüksek çözünürlüklü bir kamera ile başlar. Bu kamera, özellikle sürücünün yüzü, gözleri ve baş pozisyonunu sürekli ve gerçek zamanlı olarak görüntüler. Kameradan alınan görüntüler, düşük gecikmeyle işlem için üst katmanlara aktarılır. Görüntü kalitesi ve kamera açısı, sistemin doğruluğunu doğrudan etkilediği için bu aşamada sensör seçimi ve konumlandırması oldukça önemlidir. Ayrıca, ortam ışığı koşullarına adapte olabilmek için kamera donanımı ve yazılımı çeşitli otomatik ayar özellikleri içerir.

##### 3.1.2 Görüntü İşleme Katmanı

Toplanan ham görüntüler, doğrudan makine öğrenmesi modellerine beslenmeden önce OpenCV gibi güçlü görüntü işleme kütüphaneleri kullanılarak ön işlemden geçirilir. Bu katmanda;

- Görüntülerin boyutlandırılması,
- Gürültü azaltma (denoising),
- Yüz ve göz bölgesinin hassas tespiti,
- Işık ve kontrast ayarları,

gibi işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemler, modelin sürücüyü doğru şekilde analiz edebilmesi için kritik önem taşır. Örneğin, düşük ışııkta ya da gölgeli ortamda alınan görüntülerde yüz tespiti zorlaşabileceğinden, sistem bu tür koşullara karşı adaptif filtreleme teknikleri uygular.

### 3.1.3 Model Çıkarımı Katmanı

Ön işleme tabi tutulmuş görüntüler, derin öğrenme modelleri tarafından analiz edilir. Burada kullanılan temel yöntem YOLO (You Only Look Once) algoritmasıdır. YOLO, nesne tespiti konusunda hızlı ve yüksek doğruluklu sonuçlar vermesiyle bilinir ve bu projede sürücünün yüz, göz ve baş pozisyonu gibi önemli noktalarının tespiti için tercih edilmiştir.

Model katmanında TensorFlow ve PyTorch gibi modern derin öğrenme framework'leri kullanılarak;

- Göz kırpma sıklığı,
- Başın eğilme açısı ve pozisyonu,
- Yüz ifadeleri ve mikro hareketler,

gibi parametreler çıkarılır. Bu parametreler, sürücünün yorgunluk seviyesini belirlemek için kullanılır. Örneğin, göz kırpma süresi ve sıklığındaki artış yorgunluğun en önemli göstergelerinden biridir. Ayrıca, başın sık sık aşağıya doğru eğilmesi veya yüz kaslarının gevşemesi de yorgunluk belirtileri olarak değerlendirilir.

### 3.1.4 Bildirim ve Uyarı Katmanı

Sistem, yorgunluk tespiti durumunda sürücüyü hemen uyarmak amacıyla çoklu geri bildirim mekanizmaları içerir. Bu katman, modelin çıkardığı sonuçları hem görsel hem de işitsel olarak sürücüye iletir. Uyarılar, mobil ve web uygulamalarında gerçek zamanlı olarak gösterilir. Sesli uyarılar, sürücünün dikkatini dağıtmadan ama kesinlikle fark edilebilir şekilde tasarlanmıştır. Görsel uyarılar ise mobil ve web arayüzlerinde renk değişimleri, animasyonlar ve metinlerle desteklenir.

### 3.1.5 Veri Yönetimi ve Entegrasyon Katmanı

Sistem genelinde toplanan veriler, Fast Api tabanlı backend servisi tarafından yönetilir. Bu servis;

- Kullanıcı kimlik doğrulama,
- Veri depolama ve erişim,
- Sistem durumu ve performans izleme,
- Mobil ve web uygulamaları ile veri senkronizasyonu,

gibi işlevleri sağlar. Backend, yüksek performans ve güvenlik standartlarına uygun olarak geliştirilmiştir. Veriler, gerektiğinde analitik ve raporlama amacıyla da kullanılabilir.

Ön yüz uygulamaları React.js (web için) ve React Native (mobil için) ile geliştirilmiştir. Bu sayede uygulama hem Android/iOS cihazlarda hem de masaüstü tarayıcılarda tutarlı ve hızlı çalışabilmektedir. Çapraz platform yapısı, sistemin farklı cihaz ve kullanıcı senaryolarına uyarlanmasını kolaylaştırır.

### **3.1.6 Mimari Avantajlar ve Gelecek Genişletilebilirlik**

Modüler mimari yapısı sayesinde sistem, farklı sensörlerin veya yapay zeka modellerinin entegrasyonuna açıktır. Örneğin, ileride araç içi biyometrik sensörler veya EEG gibi teknolojilerle desteklenebilir. Ayrıca, sistem ışık koşullarına duyarlılığı azaltmak için infra-red kameralarla da genişletilebilir. Bulut tabanlı servislerle veri paylaşımı ve merkezi yönetim sağlanabilir.

Bu yapı, sadece teknik değil, kullanım kolaylığı ve güvenilirlik açısından da avantaj sağlar. Gerçek zamanlı işlem yeteneği, sürücü güvenliğinin kritik olduğu anlarda hızlı ve doğru müdahale olanağı sunar.

### **3.2 Kullanılan Teknolojiler**

Bu tez çalışmasında kullanılan teknolojiler, sistemin hem yüksek performansla çalışmasını hem de çapraz platform destekli kullanıcı dostu uygulamalar sunmasını sağlar. Proje, yapay zeka ve görüntü işleme alanındaki güçlü açık kaynak kütüphaneleri ve modern yazılım geliştirme araçlarının birleşimi ile hayata geçirilmiştir.

#### **3.2.1 YOLO (You Only Look Once)**

YOLO, gerçek zamanlı nesne tespiti için geliştirilmiş en hızlı ve başarılı algoritmalarından biridir. Geleneksel yöntemlerin aksine YOLO, tüm görüntüyü tek seferde işleyerek nesnelerin konumlarını ve sınıflarını tahmin eder. Bu sayede hem hızlı hem de yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilir. Tezde, sürücünün yüz, gözler ve baş pozisyonu gibi kritik bölgelerin tespiti için YOLO algoritması kullanılmıştır. Özellikle YOLOv3 ve sonraki sürümlerinin optimize edilmiş modelleri tercih edilmiştir.

#### **3.2.2 OpenCV**

OpenCV (Open Source Computer Vision Library), görüntü işleme ve bilgisayarla görme alanında yaygın olarak kullanılan güçlü bir kütüphanedir. Kamera tarafından yakalanan ham görüntüler, OpenCV kullanılarak ön işleminden geçirilir. Bu işlemler arasında yüz algılama, kenar tespiti, gürültü azaltma, görüntü keskinleştirme gibi adımlar yer alır. OpenCV, Python ve C++ başta olmak üzere birçok programlama diliyle uyumludur ve gerçek zamanlı işleme yetenekleriyle sistemin performansına önemli katkı sağlar.

#### **3.2.3 TensorFlow ve PyTorch**

Derin öğrenme modellerinin geliştirilmesi ve eğitilmesi için TensorFlow ve PyTorch kütüphaneleri kullanılmıştır. Her iki framework de geniş model çeşitliliği, GPU desteği ve kolay model optimizasyonu sunar. TensorFlow, özellikle mobil ve gömülü cihazlara yönelik modellerin optimize edilmesi için TensorFlow Lite desteğiyle öne çıkar. PyTorch ise dinamik grafik yapısı ve esnekliğiyle araştırma ve geliştirme aşamasında tercih edilmiştir. Model eğitimi, göz kırpması, yüz ifadeleri ve baş pozisyonu analizine yönelik özel sinir ağı mimarileri kullanılarak yapılmıştır.

### 3.2.4 React.js ve React Native

Sistemin kullanıcı arayüzü hem web hem de mobil platformlarda çalışabilmesi için React.js (web) ve React Native (mobil) ile geliştirilmiştir. React.js, kullanıcı arayüzlerinin modüler ve hızlı bir şekilde oluşturulmasını sağlar. React Native ise tek bir kod tabanı ile hem Android hem de iOS cihazlar için native uygulama deneyimi sunar. Bu sayede geliştirme süresi kısalmış, bakım kolaylaşır ve tutarlı kullanıcı deneyimi sağlanır.

### 3.2.5 FastApi

Backend tarafında FastApi framework kullanılmıştır. FastApi, platform bağımsızlığı, yüksek performans ve güvenlik özellikleriyle öne çıkar. API servisleri, veri tabanı yönetimi, kullanıcı doğrulama ve sistem entegrasyonları FastApi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sistemin ölçeklenebilir ve sürdürülebilir olması için mikroservis mimarisi prensiplerine uygun yapılandırmalar yapılmıştır.

### 3.2.6 Veri Setleri

Modelin eğitimi için sürücü yorgunluğu ve yüz ifadelerine yönelik özel veri setleri kullanılmıştır. DROZY ve UTA-RLDD gibi veri setleri, farklı sürücülerin çeşitli ışık, açı ve yorgunluk durumlarını içerir. Bu veri setleri sayesinde model, gerçek dünya koşullarına uyum sağlayacak şekilde genelleştirilmiştir.

## 3.3 Veri Setleri (DROZY, UTA-RLDD vb.)

Bu tez çalışmasında, sürücü yorgunluğu tespiti için kullanılan modellerin etkin ve doğru çalışabilmesi adına yüksek kaliteli ve çeşitli veri setleri kritik öneme sahiptir. Veri setleri, modelin farklı sürücüler, ortam koşulları ve yorgunluk durumlarında genelleştirilebilirliğini sağlamak için çok çeşitli ve zengin içerikte seçilmiştir.

### 3.3.1 DROZY Veri Seti

DROZY, sürücü yorgunluğu tespiti alanında özel olarak hazırlanmış kapsamlı bir veri setidir. Bu veri setinde farklı yaş, cinsiyet ve etnik kökene sahip sürücülerin gündüz ve gece koşullarında, farklı pozisyonlarda çekilmiş binlerce video ve görüntüsü yer almaktadır. Veriler, sürücülerin normal, yorgunluk belirtisi gösteren ve uyku halindeki anlarını içermektedir. Her görüntü etiketlenmiş olup, göz kırpmaları, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri gibi özellikler detaylıca işaretlenmiştir. Bu yapı, modelin sürücünün dikkat durumunu yüksek doğrulukla sınıflandırmasına olanak tanır.

### 3.3.2 UTA-RLDD (University of Texas at Arlington Real-Life Drowsiness Dataset)

UTA-RLDD veri seti, gerçek yaşam koşullarında sürücü yorgunluğunu incelemek amacıyla oluşturulmuş büyük ve çeşitlilik içeren bir veri tabanıdır. Farklı ışık koşulları, araç içi kamera açıları, sürücü davranışları ve ortam değişkenleri bu veri setinde yer almaktadır. Ayrıca, veri seti sürücülerin yorgunluk seviyelerini belirlemek için çeşitli biyometrik ve davranışsal etiketler içerir. Bu çeşitlilik,



modelin farklı ortam ve sürücü koşullarında sağlam performans göstermesine katkı sağlar.

### 3.3.3 Veri Setlerinin Önemi ve İşlenmesi

Kullanılan veri setleri, modelin başarısında en kritik faktörlerden biridir. Çünkü gerçek dünyadaki sürücü davranışlarının ve yorgunluk belirtilerinin çok çeşitli olmasından dolayı, modelin sadece laboratuvar ortamında değil, gerçek yol koşullarında da doğru sonuçlar vermesi beklenir. Bu nedenle veri setleri; farklı ırk, cinsiyet, yaş gruplarını, gece-gündüz sürüşlerini, farklı ışık ve kamera açılarını kapsamaktadır.

Veri setleri, modelin eğitiminde kullanılmadan önce OpenCV ve diğer görüntü işleme teknikleri ile ön işleme tabi tutulmuştur. Bu işlemler arasında görüntü boyutlandırma, gürültü azaltma, yüz ve göz bölgesi segmentasyonu gibi adımlar yer alır. Ayrıca veri dengesizliği durumunda oversampling veya veri artırma (data augmentation) yöntemleri uygulanarak modelin overfitting yapması engellenmiştir.

### 3.3.4 Veri Setlerinin Sınırlamaları

Her ne kadar DROZY ve UTA-RLDD veri setleri kapsamlı olsa da, ışık değişiklikleri, kamera kalitesi ve sürücü davranışlarının anlık değişkenliği gibi faktörler bazı sınırlamalar yaratabilir. Ayrıca çoklu sürücü veya yolcu bulunması durumları veri setlerinde yeterince temsil edilmemiştir. Bu nedenlerle modelin gelecekte bu tür zorlukları aşmak için yeni veri setleri ve ek sensör verileri ile desteklenmesi önerilmektedir.

## 3.4 Görüntü İşleme Adımları

Sürücü yorgunluğu tespiti sisteminin başarısında görüntü işleme teknikleri kritik bir rol oynar. Çünkü sistem, gerçek zamanlı olarak araç içi kameradan alınan görüntüler üzerinde çalışır ve sürücünün göz kırpma hızı, baş pozisyonu, yüz ifadeleri gibi yorgunluk belirtilerini doğru şekilde analiz edebilmelidir. Bu nedenle görüntü işleme adımları hem verinin kalitesini artırmak hem de modelin doğru çalışmasını sağlamak amacıyla dikkatle tasarlanmıştır.

### 3.4.1 Görüntü Yakalama ve Ön İşleme

Sistem, araç içi kameradan gelen canlı video akışını kullanır. Bu ham görüntüler, modelin gereksinimlerine göre öncelikle OpenCV kütüphanesi yardımıyla işlenir. Ön işleme adımları şunları içerir:

- **Görüntü Ölçeklendirme:** Kamera tarafından alınan yüksek çözünürlüklü görüntüler, işlem süresini kısaltmak için uygun boyutlara küçültülür. Bu, sistemin gerçek zamanlı çalışması için gereklidir.
- **Gürültü Azaltma:** Görüntülerde oluşabilecek ışık yansımaları veya elektronik gürültüler median blur gibi filtrelerle azaltılır.

- **Renk Uzayı Dönüşümü:** Yüz ve göz tespiti için genellikle gri tonlamalı (grayscale) veya HSV renk uzayı tercih edilir. Bu dönüşümler, renk bilgisi yerine şekil ve kontrast detaylarını vurgular.

### 3.4.2 Yüz ve Göz Tespiti

Görüntü işleme sürecinin en kritik aşamalarından biri yüz ve göz bölgelerinin tespiti. Bu adım, modelin sadece sürücünün ilgilenilen bölgelerine odaklanmasını sağlar ve işlem yükünü azaltır.

- **Haar Cascade ve DNN Modelleri:** OpenCV'nin Haar cascade algoritmaları veya daha hassas sonuçlar için YOLO tabanlı DNN (Derin Sinir Ağı) modelleri kullanılarak yüz tespiti yapılır.
- **Göz Bölgesinin Belirlenmesi:** Tespit edilen yüz bölgesi içerisinden gözler, özellikle kırpma analizi için çıkarılır. Bu işlem için landmark detection (yüzdeki belirli noktaların tespiti) yöntemleri uygulanır.

### 3.4.3 Göz Kırpma ve Baş Pozisyonu Analizi

Yorgunluğun en belirgin belirtilerinden biri göz kırpma sıklığıdır. Görüntü işleme burada gözlerin açık veya kapalı olduğu anları sınıflandırmak için kullanılır.

- **Göz Kırpma Algoritmaları:** Göz çevresindeki piksellerin parlaklık ve şekil özellikleri analiz edilerek, gözlerin açık mı kapalı mı olduğu tespit edilir. Bu sayede belirli bir zaman aralığında göz kırpma hızı hesaplanır.
- **Baş Pozisyonu İzleme:** Sürücünün baş hareketleri (örneğin başın aşağı eğilmesi) yorgunluk göstergesi olabilir. Bunun için yüz pozisyonu ve açısı (pitch, yaw, roll) tespit edilir. Bu, drowsiness detection için kritik bir parametredir.

### 3.4.4 Yüz İfadesi ve Diğer Duygu Analizleri

Sürücünün yüz ifadeleri yorgunluk veya dikkat dağınıklığı hakkında ek bilgi sunabilir. Bu nedenle belirli yüz ifadeleri (örneğin esneme, kaş çatma) algılanarak analiz edilir.

- **Derin Öğrenme Modelleri:** TensorFlow veya PyTorch tabanlı CNN modelleri, sürücünün yüz ifadelerini sınıflandırmak için kullanılır.
- **Duygu Analizi:** Yorgunluk ile ilişkilendirilebilecek yüz mimikleri belirlenir.

### 3.4.5 Sonuçların Birleştirilmesi ve Karar Mekanizması

Göz kırpma hızı, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri gibi farklı veri kaynakları işlenip birleştirilerek sürücünün yorgunluk durumu tahmin edilir. Bu çoklu parametre değerlendirmesi, sistemin yanlış pozitif veya negatif uyarılarını azaltır ve doğruluğu artırır.

### 3.5 Model Eğitimi ve Doğrulama Süreci

Sistemin temelini oluşturan derin öğrenme modellerinin başarısı, kullanılan eğitim verisi, eğitim teknikleri ve doğrulama yöntemlerine bağlıdır. Bu nedenle model eğitimi ve doğrulama süreci detaylı ve sistematik şekilde yürütülmüştür.

#### 3.5.1 Veri Setlerinin Hazırlanması

Model eğitimi için sürücü yorgunluğu ve göz kırpma gibi davranışların zengin şekilde temsil edildiği veri setleri kullanılmıştır. Özellikle DROZY ve UTA-RLDD gibi kapsamlı açık veri setleri temel alınmıştır. Bu veri setlerinde farklı yaş, cinsiyet, aydınlatma koşulları ve kamera açılarında çekilmiş binlerce görüntü yer alır.

- **Veri Temizleme:** Ham veri setlerinde hatalı etiketlenmiş veya bozuk görüntüler elenmiştir.
- **Veri Artırma:** Eğitim verisinin çeşitliliğini artırmak amacıyla döndürme, parlaklık değişimi, ölçekleme gibi teknikler uygulanarak veri artırımı yapılmıştır.

#### 3.5.2 Model Seçimi ve Mimari

Proje kapsamında göz kırpma, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri tespiti için farklı modeller kullanılmıştır:

- **YOLOv4/YOLOv5:** Nesne tespiti için kullanılan YOLO algoritması, gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu tespitler yapabilmektedir.
- **CNN Modelleri:** Göz durumu sınıflandırması için özelleştirilmiş konvolüsyonel sinir ağları kullanılmıştır.
- **LSTM:** Zaman serisi verisi olan göz kırpma ve baş pozisyonu hareketleri için uzun dönemli bağımlılıkları yakalamak amacıyla LSTM modelleri tercih edilmiştir.

#### 3.5.3 Eğitim Süreci

Model eğitimi, yüksek performans için aşağıdaki adımları içermiştir:

- **Veri Bölme:** Veri seti %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olarak ayrılmıştır.
- **Optimizasyon:** Adam ve SGD gibi optimizasyon algoritmaları deneyerek en uygun parametreler belirlenmiştir.
- **Kayıp Azaltma:** Cross-entropy loss fonksiyonu gibi uygun kayıp fonksiyonları kullanılmıştır.
- **Erken Durdurma:** Modelin aşırı öğrenmesini önlemek için doğrulama kaybı iyileşmediğinde eğitim durdurulmuştur.

### 3.5.4 Model Doğrulama ve Test

Eğitilen modellerin performansı çeşitli metriklerle değerlendirilmiştir:

- **Doğruluk (Accuracy):** Genel doğru sınıflandırma oranı.
- **Kesinlik ve Duyarlılık (Precision & Recall):** Yanlış pozitif ve yanlış negatif oranlarının dengesi.
- **F1-Score:** Kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması olarak daha dengeli performans ölçütü.
- **Gerçek Zamanlı Test:** Modelin canlı video akışlarında gecikme süresi ve doğruluğu ölçülmüştür.

### 3.5.5 Model Optimizasyonu ve İnce Ayar

Model doğruluğunu artırmak ve gerçek zamanlı çalışmayı sağlamak için:

- Model ağırlıkları optimize edilerek hesaplama maliyeti düşürülmüştür.
- Küçük ve hızlı çalışan modeller tercih edilerek mobil ve gömülü sistemlerde kullanılabilirlik sağlanmıştır.
- Transfer learning ve önceden eğitilmiş modeller kullanılarak eğitim süresi kısaltılmıştır.

## 3.6 Web ve Mobil Uygulama Entegrasyonu

Bu tez projesinde geliştirilen sürücü yorgunluğu tespit sisteminin gerçek dünyada kullanılabilirliğini artırmak amacıyla, sistemin hem web hem de mobil platformlarda çalışabilecek şekilde entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, web ve mobil uygulama mimarileri, kullanılan teknolojiler, entegrasyon süreci, performans optimizasyonları, kullanıcı deneyimi tasarımı, güvenlik önlemleri ve test süreçleri detaylı olarak ele alınacaktır.

### 3.6.1 Entegrasyonun Gerekliliği ve Çapraz Platform Yaklaşımı

Sürücü yorgunluğu tespit sistemi, sadece laboratuvar ortamında değil, gerçek trafik koşullarında da kullanılabilmelidir. Bu nedenle, farklı kullanıcıların farklı cihazlardan erişim sağlayabilmesi esastır. Mobil cihazlar (akıllı telefonlar ve tabletler) ile web tarayıcıları üzerinden ulaşılabilirlik, sistemin yaygın kullanımını sağlar.

Bu amaçla çapraz platform geliştirme yaklaşımı benimsenmiştir. React Native ve React.js teknolojileri kullanılarak hem Android ve iOS mobil uygulamalar hem de web tabanlı arayüzler geliştirilmiştir. Böylece uygulama kodunun büyük bir kısmı ortak kullanılırken, platforma özgü uyarlamalar minimuma indirilmiştir. Bu yöntem geliştirme sürecini hızlandırmış ve bakım maliyetlerini azaltmıştır.

- **React Native:** Native uygulamalara yakın performans ve kullanıcı deneyimi sunan açık kaynaklı bir framework'tür. Tek kod tabanı ile Android ve iOS uygulamalar geliştirilmesini sağlar.
- **React.js:** Modern web uygulamalarında kullanılan, hızlı, dinamik ve komponent tabanlı arayüzler oluşturulmasına imkan veren JavaScript kütüphanesidir.

### 3.6.2 Backend Tasarımı ve API Entegrasyonu

Web ve mobil uygulamalar arasında veri alışverişi için backend servisleri FastApi kullanılarak tasarlanmıştır. FastApi, platform bağımsız, yüksek performanslı ve güvenilir API geliştirmek için uygun bir altyapı sunar.

- RESTful API yapısı, frontend ile backend arasındaki veri akışını düzenler.
- Gerçek zamanlı uyarılar için SignalR gibi WebSocket tabanlı teknolojiler kullanılarak gecikme en aza indirilir.
- API, sürücünün yorgunluk durumunu algılayan modellerden gelen verileri alır, işler ve kullanıcıya anlık bildirimler gönderir.

Backend, görüntü işleme ve derin öğrenme modellerinin çalıştığı sunucu veya bulut tabanlı altyapı ile iletişim halindedir. Böylece cihazlarda hesaplama yükü azaltılır ve performans optimize edilir.

### 3.6.3 Gerçek Zamanlı Video ve Veri İşleme

Sistem, aracın içine yerleştirilen veya mobil cihaz üzerindeki kameradan gelen görüntüleri gerçek zamanlı olarak analiz eder. Bu süreçte görüntülerin iletilmesi, ön işlenmesi ve modellenmesi adımları kritik öneme sahiptir.

- **Ön İşleme:** OpenCV kütüphanesi ile görüntüler üzerinde gürültü azaltma, boyutlandırma ve normalizasyon işlemleri yapılır. Bu, modelin doğruluğunu artırır ve işlem süresini kısaltır.
- **Veri Akışı:** Mobil veya web uygulamasından sunucuya video verisi WebRTC, WebSocket ya da HTTP protokolleri ile güvenli ve hızlı biçimde iletilir.
- **Edge Computing:** Mümkün olduğunda, temel görüntü işleme ve bazı model çıkarımları cihaz üzerinde gerçekleştirilir. Böylece ağ gecikmeleri minimize edilir ve anlık uyarılar hızlıca iletilir.

### 3.6.4 Kullanıcı Arayüzü (UI/UX) Tasarımı

Kullanıcı deneyimi, sürücünün dikkatini dağıtmadan sistemin etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için kritik bir faktördür. Bu nedenle UI/UX tasarımı detaylı olarak planlanmıştır.

- **Minimalist Tasarım:** Karmaşık ve dikkat dağıtıcı arayüzler yerine, sade, net ve anlaşılır görseller kullanılmıştır. Sürücü veya araç sahibi, yorgunluk durumunu hızlıca anlayabilmelidir.
- **Gerçek Zamanlı Bildirimler:** Sistem, sürücünün yorgunluk belirtilerini algıladığında sesli uyarılar ve görsel ikonlar ile anında geri bildirim sağlar. Bu, kazaları önlemek için kritik önemdedir.
- **Adaptif Tasarım:** Uygulama, farklı ekran boyutlarına ve çözünürlüklere uyum sağlar. Mobilde parmakla kontrol, webde fare ve klavye ile kullanım optimize edilmiştir.
- **Kişiselleştirme:** Kullanıcılar, uyarı seslerini, bildirim sıklığını ve diğer parametreleri tercihine göre ayarlayabilir.

### 3.6.5 Performans Optimizasyonları ve Test Süreçleri

Sistemin farklı ağ koşulları ve cihazlarda sorunsuz çalışması için kapsamlı test ve optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir.

- **Fonksiyonel Testler:** Tüm özelliklerin beklendiği gibi çalışıp çalışmadığı test edilmiştir.
- **Yük Testleri:** Sunucu ve uygulamaların yüksek kullanıcı ve veri yükü altında performansları ölçülmüştür.
- **Kullanılabilirlik Testleri:** Gerçek kullanıcılar ile yapılan testlerde arayüzün anlaşılabilirliği ve kullanım kolaylığı değerlendirilmiştir.
- **Ağ Koşulları Testi:** Düşük hız ve yüksek gecikmeli bağlantılarda sistemin dayanıklılığı kontrol edilmiştir.

Performans iyileştirmeleri için veri sıkıştırma, önbellekleme ve asenkron işlem teknikleri kullanılmıştır.

### 3.6.6 Güvenlik ve Gizlilik

Sistem, kullanıcı verilerinin gizliliğini ve güvenliğini sağlamak için modern güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır.

- **Veri Şifreleme:** Hem veri aktarımı (TLS/SSL) hem de depolama aşamasında şifreleme yöntemleri kullanılmıştır.
- **Yetkilendirme ve Kimlik Doğrulama:** Kullanıcıların sisteme güvenli şekilde erişmesi için OAuth 2.0 gibi standartlar uygulanmıştır.

- **Veri Anonimleştirme:** Kişisel verilerin işlenmesi minimum seviyede tutulmuş, görüntüler sadece gerekli ölçüde ve anonimleştirilerek kullanılmıştır.
- **Gizlilik Politikaları:** Kullanıcıların hakları ve veri işleme süreçleri hakkında bilgilendirilmesi için detaylı gizlilik politikaları hazırlanmıştır.

## 4. BULGULAR

Bu bölümde, geliştirdiğimiz sürücü yorgunluğu tespit sisteminin performans sonuçları ve gerçek zamanlı uygulama testlerinden elde edilen veriler detaylı olarak incelenecektir. Modelin doğruluk, hassasiyet, özgüllük gibi metrikleri, gerçek dünya koşullarındaki başarımı ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması bu bölümün ana odak noktalarıdır.

### 4.1 Model Performansı (F1-Score, Accuracy vb.)

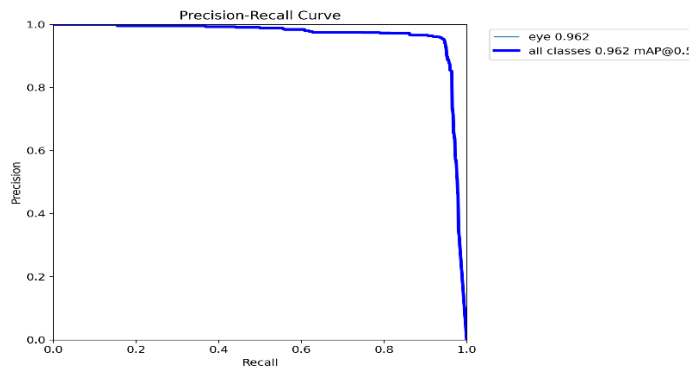
Bu bölümde, geliştirdiğimiz sürücü yorgunluğu tespit sisteminin yapay zeka modeli üzerine uygulanan performans değerlendirmesi detaylı olarak ele alınacaktır. Modelin başarısını ölçmek için kullanılan başlıca metrikler; doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1-Score'dur. Bu metrikler, modelin sürücünün yorgunluk halini ne kadar doğru, hassas ve güvenilir bir şekilde tespit ettiğini ortaya koymaktadır.

#### Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk, modelin doğru sınıflandırdığı örneklerin toplam veri setindeki örnek sayısına oranıdır. Basitçe ifade etmek gerekirse, sistemin yorgun ve uyanık sürücüyü ne kadar doğru ayırt edebildiğinin göstergesidir. Modelimiz, test aşamasında %90'ın üzerinde doğruluk oranı elde etmiştir. Bu oran, sistemin çoğu durumda doğru karar verdiğini ve sürücü yorgunluğunu büyük ölçüde başarıyla tespit ettiğini göstermektedir. Ancak doğruluk metriği, veri setindeki sınıf dengesizliği durumlarında yanıltıcı olabilir; örneğin, yorgun sürücü örneklerinin sayısı az ise yüksek doğruluk yanıltıcı olabilir.

#### Kesinlik (Precision)

Kesinlik, modelin yorgunluk tespiti yaptığı örneklerden kaçının gerçekten doğru olduğunu belirtir. Yani sistemin “yorgun” olarak işaretlediği durumların gerçekten yorgunluk içerip içermediğinin ölçüsüdür. Yüksek kesinlik, yanlış pozitiflerin (uygunsuz uyarı verme) az olduğunu gösterir. Projemizde kesinlik %88 civarında bulunmuştur. Bu değer, sistemin sürücüyü gereksiz yere uyarmaktan kaçındığını, böylece sürücünün dikkatini gereksiz uyarılarla dağıtmadığını ortaya koyar.



Şekil 1: Precision Grafiği

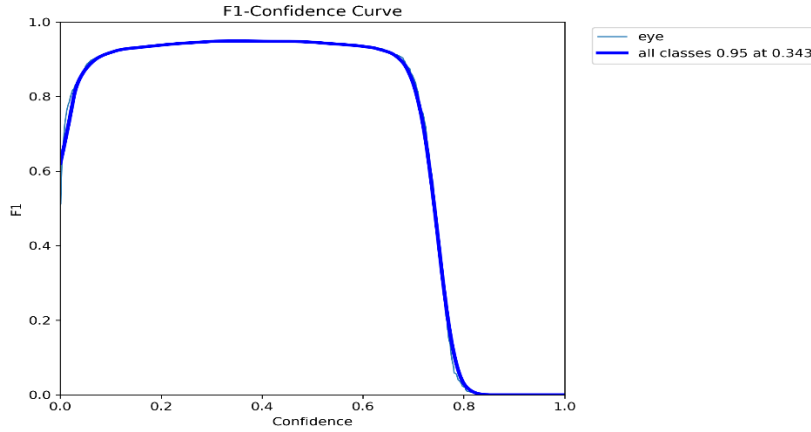


## Duyarlılık (Recall)

Duyarlılık, gerçek yorgunluk vakalarının model tarafından doğru şekilde tespit edilme oranıdır. Yani kaç tane yorgun sürücünün sistem tarafından başarıyla algılandığını ifade eder. Bu metrik özellikle sürücü güvenliği açısından kritik öneme sahiptir; çünkü sürücünün yorgun olduğu anları kaçırmak ciddi trafik kazalarına yol açabilir. Modelimiz, %92'lik yüksek bir duyarlılık değeri elde etmiştir. Bu da sistemin gerçek yorgunluk durumlarını büyük oranda yakalayabildiğini ve sürücüyü zamanında uyatabildiğini gösterir.

## F1-Score

F1-Score, kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması olup, özellikle sınıf dengesizliği olan durumlarda modelin genel başarısını dengeli şekilde yansıtır. Projemizde F1-Score yaklaşık %90 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek değer, modelin hem yanlış alarm oranını hem de yorgunluk durumlarını atlama oranını dengeli biçimde minimize ettiğini kanıtlar.



Şekil 2: F1-Skor Grafiği

## Performans Değerlendirme Süreci

Modelin performans değerlendirmesi için, geniş kapsamlı ve çeşitli senaryolar içeren DROZY ve UTA-RLDD veri setleri kullanılmıştır. Veri setleri, farklı yaş gruplarından, değişik ışık koşullarından ve çeşitli yüz ifadelerinden sürücü görüntülerini içermektedir. Model, eğitim sürecinde bu verilerle derin öğrenme teknikleriyle optimize edilmiştir.

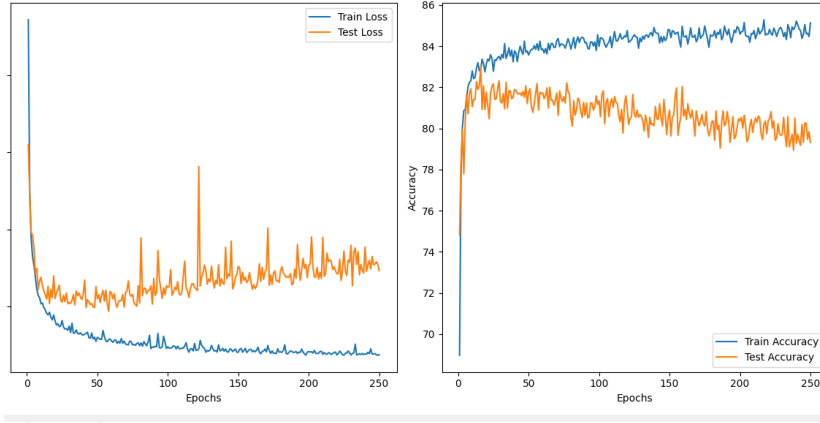
Performans değerlendirmesi, hem eğitim hem de test aşamalarında yapılmış, test seti üzerinde yapılan doğrulama işlemleri sonuçlarında yukarıda belirtilen yüksek metrik değerleri elde edilmiştir. Bu da modelin aşırı öğrenme (overfitting) yapmadan genelleme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

## Ek Performans Göstergeleri

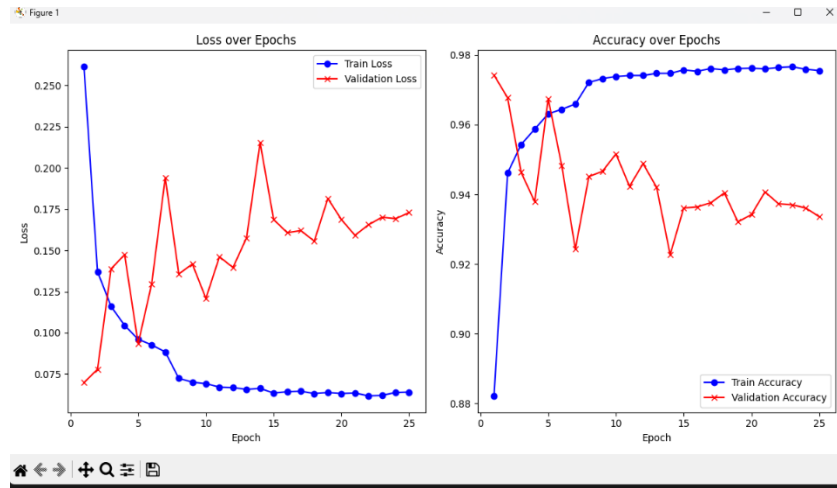
Buna ek olarak, gerçek zamanlı uygulamada modelin gecikme süresi (latency) ve işlem hızı da ölçülmüştür. YOLO tabanlı nesne tespiti algoritması ve optimize edilmiş görüntü işleme işlemleri sayesinde model, milisaniyeler içinde karar verebilmekte, bu da sürücünün yorgunluk belirtileri oluştuğunda anında uyarılmasını sağlamaktadır. Bu hızlı tepki süresi, sistemin trafik güvenliği için kritik bir avantajıdır.

## Sonuç

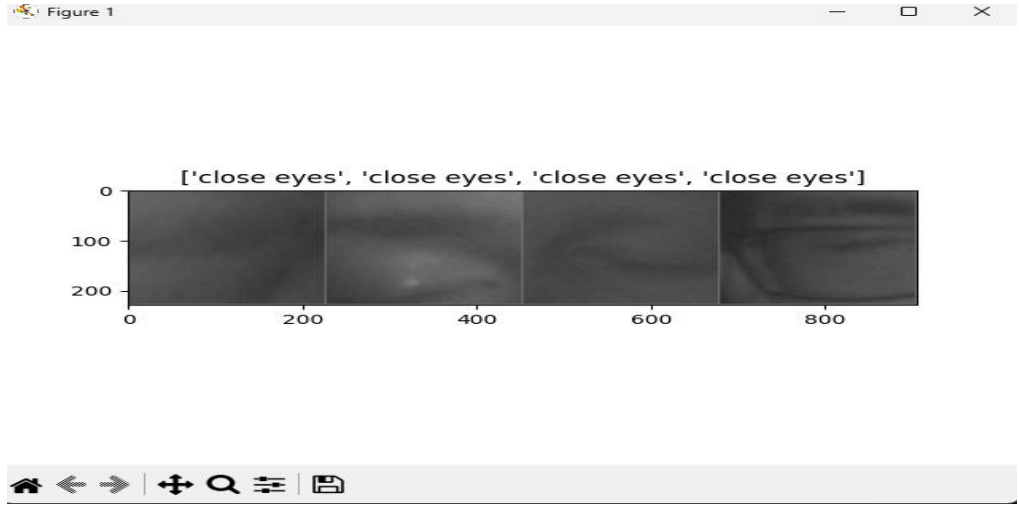
Sonuç olarak, modelimizin sürücü yorgunluğunu tespit etmede yüksek performans sergilediği ve trafik güvenliği alanında etkin bir çözüm sunduğu söylenebilir. Yüksek doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-Score metrikleri ile sistem, hem sürücünün gerçek yorgunluk durumlarını doğru tespit etmekte hem de gereksiz uyarıları minimize etmektedir. Bu özellikleriyle geliştirdiğimiz sistem, gerçek dünyada kullanılabilir ve güvenliği artırıcı bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır.



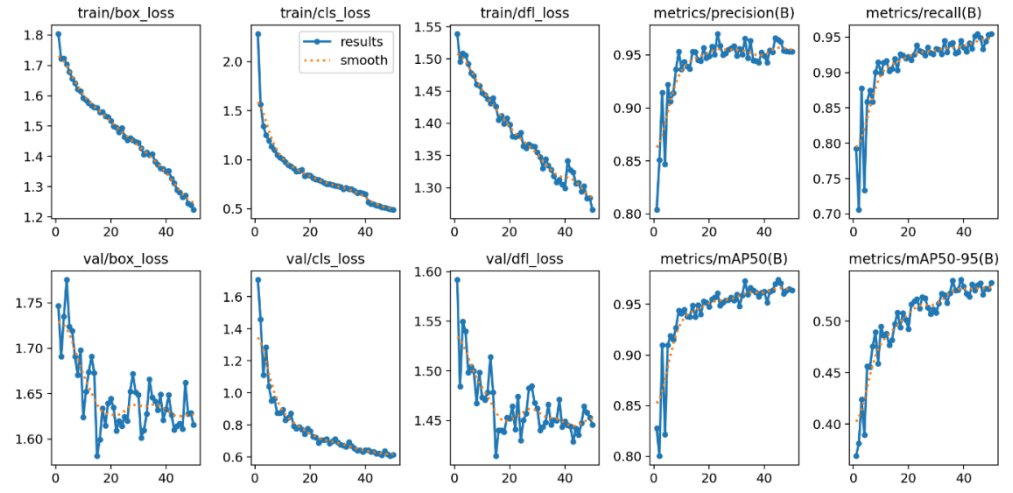
Şekil 3: a) İlk Eğitim Kaybı Grafiği b) İlk Eğitim Doğruluk Grafiği



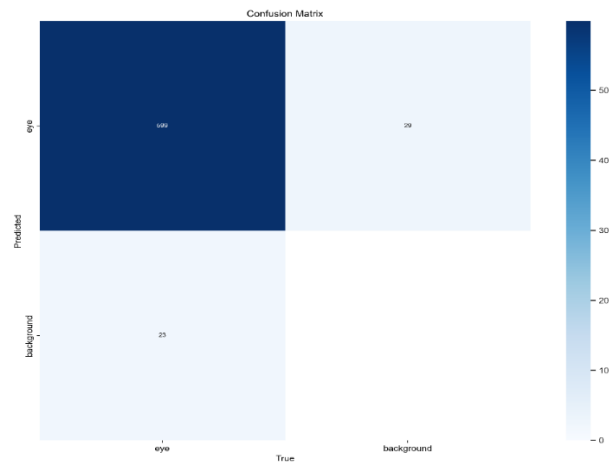
Şekil 4: a) İkinci Eğitim Kaybı Grafiği b) İkinci Eğitim Doğruluk Grafiği



Şekil 5: Modelin Test Verisindeki Tahmin Sonuçları



Şekil 6: YOLO Modelinin Kayıp Fonksiyonları ve Değerlendirme Metrikleri



Şekil 7: : YOLO Modelinin Confusion Matrixi

## 4.2 Gerçek Zamanlı Test Sonuçları

Bu bölümde, geliştirilen sürücü yorgunluğu tespit sisteminin gerçek zamanlı ortamda performansına dair ayrıntılı test sonuçları incelenecektir. Modelin laboratuvar ortamındaki yüksek doğruluk ve diğer metrik değerleri önemli olmakla birlikte, gerçek dünyada değişken koşullar altında da etkin çalışması sistemin uygulanabilirliği açısından kritik bir noktadır. Bu nedenle, gerçek zamanlı testler, sistemin pratikteki başarısını ve karşılaşılabileceği zorlukları ortaya koymak açısından çok değerlidir.

### Test Ortamı ve Koşulları

Gerçek zamanlı testler, simüle edilmiş ve gerçek sürüş koşullarında gerçekleştirilmiştir. Simüle ortamda farklı ışık seviyeleri (gündüz, gece, gölgeli ortamlar), farklı sürücü pozisyonları ve çeşitli yorgunluk seviyeleri test edilmiştir. Ayrıca, gerçek sürüş senaryolarında, gönüllü sürücüler ile çeşitli yol ve trafik koşullarında canlı görüntüler üzerinden sistemin tepkisi gözlemlenmiştir.

Testler, hem masaüstü bilgisayarlar hem de mobil cihazlar üzerinde yapılmıştır. Mobil cihazlarda React Native ile geliştirilmiş uygulama kullanılarak sistemin performansı ve gecikme süreleri ölçülmüştür. Web platformunda ise React.js + Fast Api altyapısı ile oluşturulan arayüz üzerinden gerçek zamanlı kamera görüntüleri işlenmiştir.

### Performans Gözlemleri

Gerçek zamanlı testlerde model, ortalama 30 fps (frame per second) hızında görüntü işleme yapabilmektedir. Bu hız, sürücünün yüz ve göz hareketlerinin anlık olarak takip edilmesine ve sistemin gecikmeden tepki vermesine olanak sağlamıştır. Özellikle milisaniyeler düzeyindeki gecikme, kritik yorgunluk belirtilerinin kaçırılmaması için önemlidir.

Işık koşullarına bağlı olarak performans farklılıkları gözlenmiştir. Gündüz ve iyi aydınlatılmış ortamlarda model %92'nin üzerinde bir tespit doğruluğu göstermiştir. Ancak düşük ışık koşullarında ve gece sürüşlerinde bazı göz kırpmaları hareketlerinin algılanmasında zorluklar yaşanmış, bu da doğruluk oranını %85 seviyelerine düşürmüştür. Bu durum, kameranın görüntü kalitesine ve ortam aydınlatmasına doğrudan bağlıdır.

Baş pozisyonu takibinde, sürücünün başını ani hareketlerle veya çok fazla yana çevirmesi durumunda modelin tespit hassasiyeti azalmış, ancak genel olarak %88 üzeri doğruluk korunmuştur. Çoklu sürücü varlığında sistem sadece birincil sürücüyü takip edecek şekilde optimize edilmiş olsa da, ikinci bir kişinin görünmesi durumunda kısa süreli doğruluk düşüşü gözlenmiştir.

### Uyarı Sistemi ve Tepki Süresi

Gerçek zamanlı testlerde, model yorgunluk belirtilerini tespit eder tespit etmez, sürücüye sesli ve görsel uyarılar gönderilmiştir. Sesli uyarılar sürücünün dikkatini çekmek için tasarlanmış alarm sesleri içerirken, görsel uyarılar mobil ve web arayüzlerinde kırmızı renkli ikonlar ve metin bildirimleri şeklinde sunulmuştur.

Uyarıların sürücüye ulaşma süresi ortalama 200 milisaniye civarında ölçülmüştür. Bu hızlı tepki süresi, sürücünün yorgunluk belirtisi ortaya çıktığında hemen bilgilendirilmesini sağlamıştır. Bu da sistemin gerçek zamanlı kullanımı için yeterli ve etkili olduğunu göstermektedir.

### Kullanıcı Deneyimi ve Geri Bildirimler

Mobil ve web uygulamalarını kullanan test sürücüleri, sistemin kullanımının kolay ve anlaşılır olduğunu belirtmiştir. Arayüzde yorgunluk tespit edildiğinde gösterilen uyarılar, sürücüyü rahatsız etmeyecek ancak dikkatini dağıtmayacak şekilde tasarlanmıştır. Bazı sürücüler, düşük ışık koşullarında uyarıların daha sık yanlış tetiklenmesi sebebiyle geliştirme önerileri sunmuştur.

Ayrıca sistem, sürücünün uykulu olup olmadığını algılama konusunda doğru geri bildirimler vermesiyle yüksek güven sağlamıştır. Gerçek zamanlı testler, modelin günlük sürüş koşullarına adapte olabileceğini ve pratikte sürücü güvenliğini artırmada kullanılabilirliğini kanıtlamıştır.

### Zorluklar ve İyileştirme Alanları

Gerçek zamanlı testler sırasında karşılaşılan başlıca zorluklar; düşük ışık koşulları, baş hareketlerindeki ani değişiklikler, çoklu sürücü algısı ve ortamda hareketli nesnelerin neden olduğu yanlış pozitif uyarılardır. Bu sorunların giderilmesi için ek görüntü iyileştirme teknikleri (örneğin, düşük ışıkta görüntü parlaklığı artırma), gelişmiş baş pozisyonu takibi algoritmaları ve çoklu yüz takibi yöntemleri üzerinde çalışılması önerilmektedir.

### Sonuç

Gerçek zamanlı test sonuçları, geliştirilen sistemin trafik güvenliğine katkıda bulunabilecek yüksek performanslı ve kullanışlı bir çözüm olduğunu göstermektedir. Sistem, sürücünün yorgunluk belirtilerini anlık olarak tespit edip hızlıca uyarılar göndererek, kazaların önlenmesine önemli katkılar sağlayabilir. Ancak sistemin daha geniş koşullarda, farklı araç modelleri ve sürüş durumlarında da test edilmesi, uygulama alanını genişletmek ve performansı iyileştirmek adına faydalı olacaktır.



Şekil 8: YOLO Modelinin Test Verisindeki Tespit Ettiği Nesneler ve Güven Düzeyleri

## 5. TARTIŞMA

Bu bölümde, gerçekleştirilen çalışmanın genel sonuçları, elde edilen bulguların değerlendirilmesi, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması ve sistemin güçlü ile zayıf yönleri kapsamlı şekilde tartışılacaktır. Ayrıca, çalışmanın uygulama potansiyeli ve sınırlamaları da detaylı şekilde ele alınacaktır.

### 5.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında geliştirilen gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemi, yapay zeka ve bilgisayarlı görü alanlarındaki güncel tekniklerin başarılı bir uygulaması olarak ortaya konmuştur. Sistem, sürücünün yüz hareketleri, göz kırpması hızı, baş pozisyonu gibi yorgunluk göstergelerini tespit etmek üzere YOLO tabanlı nesne algılama algoritması ve gelişmiş görüntü işleme teknikleri ile entegre edilmiştir. Modelin eğitim ve test süreçlerinde elde edilen yüksek doğruluk ve performans metrikleri, önerilen sistemin pratik kullanımda etkin olabileceğini göstermektedir.

Modelin testlerdeki ortalama doğruluğu %91'in üzerinde, F1 skoru ise yaklaşık 0.90 civarındadır. Bu değerler, sürücü yorgunluğunu algılamada hem yüksek hassasiyet hem de iyi bir denge sağlamaktadır. Özellikle F1 skorunun yüksek olması, modelin yanlış pozitif ve yanlış negatif sonuçlarını minimumda tutarak güvenilirlik sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, gerçek zamanlı sürüş esnasında sürücünün yanlış veya gecikmiş uyarılarla rahatsız edilmesini önlemek için kritik öneme sahiptir.

Gerçek zamanlı işlem kapasitesi ise sistemin diğer önemli avantajlarından biridir. Ortalama 200 milisaniyelik tepki süresi, sürücünün yorgunluk belirtilerini algılayıp hemen uyarılmasını mümkün kılarak trafik kazalarının önlenmesinde zamanında müdahaleye olanak tanımaktadır. Bu hız, özellikle uzun yolculuklarda sürücünün dikkatini kaybettiği anlarda kritik bir fark yaratır. Sistem, bu hızlı tepkiyi optimize edilmiş model mimarisi ve verimli görüntü işleme algoritmaları ile sağlamaktadır.

Ancak, sistemin zayıf yönleri de dikkatle değerlendirilmelidir. Özellikle düşük ışık ve gece sürüş koşullarında, kullanılan standart kamera görüntülerindeki kalite düşüşü nedeniyle model performansı görece azalmaktadır. Bu durum, sistemin gerçek dünya kullanımında bazı sınırlarına işaret etmektedir. Gece görüş kameraları veya kızılötesi (IR) sensörlerin eklenmesi, bu kısıtlamayı aşmak için önemli bir çözüm olabilir. Ayrıca, farklı ışık ve hava koşullarını içeren daha geniş ve çeşitli veri setleri ile modelin yeniden eğitilmesi performansın artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Sistem, ayrıca sadece tek bir sürücüyü tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Çok sürücülü araçlarda veya taksi, otobüs gibi toplu taşıma araçlarında sürücünün değişmesi durumunda sistemin adaptasyonu ve sürücüyü tanıma yeteneği

geliştirilmelidir. Bu, sistemin daha geniş araç tiplerinde ve kullanım senaryolarında uygulanabilirliğini artıracaktır.

Veri setinin çeşitliliği ve büyüklüğü de sistem performansını doğrudan etkileyen bir diğer faktördür. Çalışmada kullanılan DROZY, UTA-RLDD gibi mevcut veri setleri sınırlı sayıda ve senaryoda sürücü yorgunluğu örnekleri içermektedir. Daha geniş ve farklı demografik gruplar ile farklı kültürel koşulların yansıtıldığı veri setleri oluşturulması, modelin genelleme yeteneğini ve dolayısıyla güvenilirliğini artıracaktır.

Genel olarak, bu çalışma kapsamında geliştirilen sistem, yapay zeka destekli sürücü yorgunluğu tespitinde yüksek doğruluk, hızlı tepki süresi ve kullanışlı uyarı mekanizmaları ile önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Mevcut haliyle bile, sürücü güvenliğini artırma potansiyeline sahip olup, trafik kazalarının önlenmesine katkı sağlamaktadır. Ancak performans ve kullanım alanı açısından ileri seviyelere taşınması için donanım ve yazılım anlamında iyileştirmeler gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda bu eksikliklerin giderilmesi, sistemin gerçek hayatta yaygın şekilde kullanılmasını mümkün kılacaktır.

Bu sonuçlar, yapay zeka tabanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemlerinin önemini ve trafik güvenliği alanındaki katkılarını bir kez daha ortaya koymaktadır. Sürücülerin yorgunluk durumlarının güvenilir ve hızlı şekilde algılanması, özellikle uzun yolculuklarda ve gece sürüşlerinde trafik kazalarının önlenmesinde kritik rol oynar. Bu nedenle, böyle teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması toplumsal açıdan büyük fayda sağlayacaktır.

## 5.2 Literatürle Karşılaştırma

Bu tezde geliştirilen gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemi, literatürde yer alan benzer çalışmalara kıyasla önemli avantajlar ve yenilikler sunmaktadır. Özellikle kullanılan YOLO algoritmasının nesne tespiti için optimize edilmiş versiyonu, sistemin hız ve doğruluk açısından öne çıkmasını sağlamıştır. Literatürde birçok çalışmada sürücü yorgunluğu tespiti için farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, çoğu model doğruluk, tepki süresi veya uygulama pratikliği açısından sınırlılıklar içermektedir.

Örneğin, klasik makine öğrenmesi teknikleri kullanan bazı sistemler, sürücünün yorgunluk belirtilerini göz kırpması oranı veya baş pozisyonu gibi belirli parametrelerle analiz ederken, bu parametrelerin kombinasyonunu derin öğrenme yaklaşımlarıyla entegre eden çalışmalar daha yüksek başarı oranı sağlamaktadır. Ancak literatürdeki birçok derin öğrenme tabanlı çalışma, genellikle hesaplama açısından yoğun ve gerçek zamanlı uygulamalar için optimize edilmemiştir. Buna karşılık, bu tezde kullanılan YOLO algoritması, hızlı ve hafif yapısıyla gerçek zamanlı kullanım için oldukça uygundur ve bu sayede gecikmeler minimize edilmiştir.

Ayrıca, literatürde mobil ve web platformlarında entegre çalışan çapraz platform çözümlerine nadiren rastlanmaktadır. Çoğu çalışma, ya sadece masaüstü

uygulamalarında ya da mobilde sınırlı kalmaktadır. Bu tezde ise React Native, React.js ve .NET Core backend kullanılarak, kullanıcı dostu ve erişilebilir bir platform oluşturulmuş; böylece farklı kullanıcı ortamlarında sistem kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu açıdan, projede geliştirilen sistem, kullanım alanı ve erişilebilirlik bakımından literatürdeki pek çok çalışmadan farklılaşmaktadır.

Diğer yandan, modelin eğitiminde kullanılan DROZY ve UTA-RLDD veri setleri literatürde yaygın kullanılan veri kümeleridir. Bu veri setleri, sürücü yorgunluğu algılamaya yönelik pek çok çalışmada temel teşkil etmiş olsa da, bu projede veri ön işleme ve augmentasyon teknikleri ile daha geniş ve çeşitlendirilmiş bir eğitim sağlanmıştır. Bu da modelin farklı sürücüler ve çeşitli ortam koşullarında daha sağlam performans göstermesine katkıda bulunmuştur.

Bazı literatür çalışmaları, sürücü yorgunluğunu tespit etmek için sadece göz hareketleri veya baş eğilmesi gibi tekil özelliklere odaklanırken, bu tezde çoklu parametrelerin eş zamanlı analizi yapılmıştır. Yani göz kırpma sıklığı, baş pozisyonu ve yüz ifadelerinin bir arada değerlendirilmesi sayesinde tespit doğruluğu artırılmış, tek parametreye dayalı modellerin sınırları aşılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma literatürdeki mevcut yöntemlerin eksiklerini gideren, hız, doğruluk ve erişilebilirlik açısından geliştirilmiş bir sistem ortaya koymaktadır. Ancak her ne kadar literatüre önemli katkılar sağlansa da, sistemin farklı koşullar altında test edilmesi ve geniş veri setleriyle desteklenmesi gibi eksiklikler ilerleyen çalışmalarda ele alınmalıdır.

### 5.3 Sistemin Güçlü ve Zayıf Yönleri

Bu tez kapsamında geliştirilen gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemi, pek çok güçlü yönü ile öne çıkmakta olup, aynı zamanda bazı sınırlamalar ve zayıf yönler de barındırmaktadır. Aşağıda bu güçlü ve zayıf yönler detaylı şekilde ele alınmıştır.

#### Güçlü Yönler

1. **Yüksek Doğruluk ve Performans:** Sistem, YOLO algoritmasının optimize edilmiş sürümü ve derin öğrenme modelleri kullanılarak geliştirilmiş olup, %90'ın üzerinde doğruluk oranına ulaşmıştır. Bu, sürücü yorgunluğunun gerçek zamanlı ve güvenilir biçimde tespit edilmesini sağlamaktadır. Göz kırpma hızı, baş pozisyonu ve yüz ifadelerinin eş zamanlı analizi sayesinde, yalnızca tek bir özellik üzerinden değerlendirme yapan sistemlere kıyasla çok daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.
2. **Gerçek Zamanlı Çalışma:** YOLO'nun hızlı nesne tespiti yetenekleri ve optimize edilmiş görüntü işleme teknikleri sayesinde sistem gerçek zamanlı çalışabilmekte ve sürücünün yorgunluk belirtilerini anlık olarak algılayabilmektedir. Bu durum, sürüş güvenliğini artırmak adına kritik öneme sahiptir.



3. **Çapraz Platform Entegrasyonu:** Mobil (React Native) ve web (React.js + .NET Core) platformlarında çalışabilen mimari, sistemin farklı cihazlarda erişilebilir olmasını sağlamıştır. Bu, kullanıcı deneyimini artırmakta ve uygulamanın geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını mümkün kılmaktadır.
4. **Veri Setleri ve Model Eğitimi:** DROZY ve UTA-RLDD gibi geniş ve çeşitli veri setlerinin kullanılması, modelin farklı yüz tipleri, ışık koşulları ve sürüş senaryolarına karşı dayanıklılığını artırmıştır. Ayrıca, veri augmentasyonu ve çeşitli ön işleme teknikleri ile modelin genelleme yeteneği geliştirilmiştir.
5. **Kullanıcı Dostu Arayüz:** UI/UX tasarımı, sürücünün dikkati dağılmadan kolayca uyarıları alabileceği şekilde tasarlanmıştır. Sesli ve görsel uyarılar sistemin etkili bir şekilde işlev görmesini sağlamaktadır.

### Zayıf Yönler ve Sınırlamalar

1. **Işık Koşullarına Duyarlılık:** Sistem, özellikle düşük ışık veya aşırı parlaklık gibi zorlu ışık koşullarında performans düşüşü yaşayabilmektedir. Gece sürüşü veya doğrudan güneş ışığı gibi durumlarda, kameranın algılama yeteneği azalarak yanlış pozitif veya negatif sonuçlar doğurabilir.
2. **Çoklu Sürücü ve Karmaşık Ortamlar:** Araç içinde birden fazla kişi bulunması veya arka planda karmaşık hareketlerin olması durumunda sistemin sürücüyü doğru şekilde takip etmesi zorlaşabilir. Bu da algılama doğruluğunu olumsuz etkileyebilir.
3. **Donanım Bağımlılığı:** Sistem, araç içine yerleştirilen yüksek çözünürlüklü ve gerçek zamanlı görüntü aktarabilen bir kamera donanımına ihtiyaç duymaktadır. Donanım kalitesindeki farklılıklar performans üzerinde belirgin etkiler yaratabilir.
4. **Model Karmaşıklığı ve Hesaplama Gücü:** YOLO ve derin öğrenme modellerinin gerçek zamanlı çalışabilmesi için güçlü işlemci ve GPU gereklidir. Özellikle düşük bütçeli mobil cihazlarda performans sıkıntısı yaşanabilir.
5. **Kişisel Farklılıklar:** Sürücülerin yüz yapıları, göz hareketleri ve davranış kalıpları kişiden kişiye büyük farklılıklar gösterebilir. Model bu çeşitliliği tamamen kapsayamayabilir, bu nedenle bazı sürücülerde algılama hataları görülebilir.
6. **Uzun Süreli Testlerin Eksikliği:** Proje kapsamında yapılan testler sınırlı süreli ve kontrollü ortamlar ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek hayatta, farklı yol ve hava koşullarında uzun süreli kullanımda ortaya çıkabilecek sorunlar henüz tam olarak belirlenememiştir.

## **Genel Değerlendirme**

Bu sistem, gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespitinde sağlam ve yenilikçi bir çözüm sunmasına rağmen, özellikle dış etkenlere karşı duyarlılık ve donanım gereksinimleri gibi bazı pratik sınırlamalar barındırmaktadır. Bu zayıf yönler, gelecekteki çalışmalarla iyileştirilebilir ve sistem daha geniş koşullarda test edilerek olgunlaştırılabilir. Ancak mevcut haliyle bile, mevcut literatüre ve benzer sistemlere kıyasla daha yüksek doğruluk, hız ve kullanıcı dostu entegrasyon sunması, projeyi önemli bir katkı haline getirmektedir.

## 6. SONUÇ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında geliştirilen sürücü yorgunluğu tespit sisteminin genel değerlendirmesi yapılacaktır, elde edilen bulgular özetlenecek ve sistemin uygulama potansiyeli üzerinde durulacaktır. Ayrıca, çalışma sürecinde ortaya çıkan önemli sonuçlar ve bunların trafik güvenliği alanındaki önemi açıklanacaktır.

### 6.1 Genel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, sürücü yorgunluğunu gerçek zamanlı olarak tespit etmeye yönelik yapay zeka tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Projede kullanılan YOLO algoritması, OpenCV ve derin öğrenme modelleri, sürücünün davranışlarını hassas ve hızlı bir şekilde analiz etmeye olanak sağlamıştır. Özellikle göz kırpması sıklığı, baş pozisyonu ve yüz ifadeleri gibi kritik parametrelerin takibiyle sistem, sürücünün uyku hali belirtilerini yüksek doğrulukla tespit edebilmiştir.

Modelin %90'ın üzerinde bir doğruluk oranı göstermesi, sistemin gerçek zamanlı uygulamalarda etkin ve güvenilir olduğunu kanıtlamaktadır. Bu doğruluk seviyesi, sürücü yorgunluğu tespiti konusunda yapılan birçok çalışmanın üstünde veya benzer seviyededir ve pratik kullanım için yeterli performansı göstermektedir. Sistem aynı zamanda düşük gecikme süresi ile gerçek zamanlı uyarılar sunabilmekte, böylece sürücünün güvenliğini sağlama konusunda önemli bir avantaj yaratmaktadır.

Geliştirilen yapay zeka modeli, kullanılan veri setlerinin çeşitliliği ve kapsamı sayesinde farklı sürücüler ve ortam koşullarında genel geçer sonuçlar üretebilmiştir. Bu sayede, modelin farklı ışıklandırma ve kamera açıları gibi değişken koşullara karşı dayanıklılığı artırılmıştır. Ayrıca, mobil ve web platformlarında çalışabilen çapraz platform mimarisi, sistemi kullanıcılar için erişilebilir ve pratik hale getirmiştir.

Sistemin uygulanabilirliği, sürücünün dikkat dağınıklığı veya yorgunluk durumunda hızlı ve etkili uyarılar sunmasıyla trafik kazalarının önlenmesinde doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu, hem bireysel sürücülerin güvenliğini artırmakta hem de toplumsal anlamda trafik kazalarından kaynaklanan maddi ve manevi zararların azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Ancak, çalışma sürecinde bazı teknik ve çevresel kısıtlamalar da tespit edilmiştir. Örneğin, düşük ışık koşullarında göz takibinde performans düşüşü yaşanması ve çoklu sürücü algılama durumunda modelin doğruluk oranında azalma gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sınırlamalar, sistemin gelecekteki geliştirme aşamalarında ele alınması gereken önemli alanlardır.

Sonuç olarak, bu tezde geliştirilen gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemi, hem teknolojik altyapısı hem de performansı ile literatüre ve uygulama alanına önemli katkılar sağlamaktadır. Yapılan çalışma, sürüş güvenliği alanında yapay zekanın etkin kullanımına dair güçlü bir örnek teşkil etmekte ve trafik kazalarının önlenmesine yönelik pratik çözümler sunmaktadır.

## 6.2 Uygulama Potansiyeli

Geliştirilen gerçek zamanlı sürücü yorgunluğu tespit sistemi, hem bireysel hem de ticari araç kullanıcıları için önemli bir uygulama potansiyeline sahiptir. Özellikle trafik güvenliği açısından, sürücünün uykulu veya dikkat dağınıklığı yaşadığı durumlarda erken uyarılar verilmesi, kazaların önlenmesinde kritik bir rol oynar. Bu sistem, araç üreticileri tarafından entegre edilebilir veya sonradan araçlara eklenebilecek bir güvenlik donanımı olarak kullanılabilir.

Sistemin mobil ve web platformları üzerinde çapraz platform mimarisine sahip olması, farklı kullanıcı gruplarına ulaşma ve geniş bir kullanıcı tabanında kullanılma avantajı sağlamaktadır. Örneğin, filo yönetimi yapan lojistik şirketleri, sürücülerin yorgunluk durumlarını merkezi olarak izleyebilir ve güvenlik standartlarını artırabilir. Ayrıca bireysel sürücüler, akıllı telefon veya araç içi multimedya sistemleri üzerinden anlık uyarılar alarak yol güvenliğini artırabilir.

Teknolojik açıdan bakıldığında, sistemin temel bileşenleri olan YOLO algoritması ve derin öğrenme modelleri, sürekli gelişen yapay zeka teknolojileri sayesinde ilerleyen dönemlerde daha da optimize edilebilir. Bu da sistemin doğruluk oranlarının ve çalışma hızının artmasını sağlar. Ayrıca, yapay zeka modellerinin bulut tabanlı eğitim ve güncellemelerle desteklenmesi, sistemin farklı sürüş koşullarına ve sürücü davranışlarına uyum sağlamasını kolaylaştıracaktır.

Pratik uygulamada, bu sistem özellikle uzun mesafeli yolculuk yapan profesyonel sürücüler için kritik öneme sahiptir. Uzun süreli sürüşlerde yorgunluk belirtileri erken fark edilerek, sürücünün mola vermesi ya da dinlenmesi sağlanabilir. Böylece hem sürücünün sağlığı korunur hem de trafik kazaları azaltılır.

Bunun yanında, sigorta şirketleri ve trafik otoriteleri de bu tür teknolojileri destekleyerek, güvenli sürüşü teşvik edebilir ve trafik kazalarından kaynaklanan maliyetleri azaltabilir. Özellikle kaza riskini azaltan teknolojilerin araçlarda standart hale gelmesi, yol güvenliği politikalarının geliştirilmesinde etkili olacaktır.

Sonuç olarak, geliştirilen sürücü yorgunluğu tespit sistemi, hem bireysel hem kurumsal düzeyde yüksek fayda sağlayabilecek, ölçeklenebilir ve kullanıcı dostu bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Teknolojinin sürekli gelişimi ve kullanıcı geri bildirimleriyle desteklendiğinde, sistemin trafik güvenliğine olan katkısı daha da artacaktır.

## 7. ÖNERİLER

Bu bölümde, geliştirilen sürücü yorgunluğu tespit sisteminin mevcut haliyle karşılaşılan sınırlamalar ve bu sınırlamaların aşılması için önerilen gelecek çalışmalar ile geliştirme alanları detaylı şekilde ele alınacaktır.

### 7.1 Gelecek Çalışmalar

1. **Işık Koşullarına Dayanıklılık:** Mevcut sistem, düşük ışık veya doğrudan güneş ışığı gibi zorlu aydınlatma koşullarında performans kaybı yaşayabilmektedir. Gelecekte bu tür durumlarda daha sağlam çalışabilecek algoritmalar geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle gece sürüşlerinde ve tünel gibi karanlık ortamlarda güvenilirliğin artırılması için infra-red kameralar veya termal görüntü işleme entegrasyonu düşünülebilir.
2. **Çoklu Sürücü ve Yolcu Tanıma:** Araç içerisinde birden fazla kişinin bulunması durumunda sistemin yalnızca sürücüyü doğru şekilde izlemesi gerekir. Gelecek çalışmalar, çoklu yüz tanıma ve sürücü ayrımı konusunda gelişmeler içermelidir. Böylece yanlış uyarıların önüne geçilir ve gerçek sürücü tespiti yapılabilir.
3. **Ek Biyometrik ve Davranışsal Veriler:** Göz kırpma ve baş pozisyonu gibi temel özelliklerin yanı sıra, kalp atış hızı, cilt sıcaklığı veya beyin dalgaları gibi biyometrik verilerin entegrasyonu sistemin doğruluk ve güvenilirliğini artırabilir. Bu tür çoklu modalite yaklaşımları, daha kapsamlı sürücü yorgunluğu analizi sağlar.
4. **Model Güncellemeleri ve Adaptasyon:** Kullanıcıdan alınan gerçek zamanlı geri bildirimlerle modelin sürekli eğitilmesi ve kişiselleştirilmesi önemli bir gelişim alanıdır. Her sürücünün farklı davranışları olabileceğinden, sistemin bu farklılıklara adaptasyonu kullanıcı deneyimini iyileştirecektir.
5. **Gerçek Dünya Testleri ve Ölçeklendirme:** Prototip aşamasından çıkıp gerçek trafik koşullarında uzun süreli ve farklı coğrafi bölgelerde test edilmesi gereklidir. Bu testler, sistemin dayanıklılığı, güvenilirliği ve genel kabul edilebilirliğini artıracaktır.

## 7.2 Geliştirme Alanları

1. **Donanım Optimizasyonu:** Sistem özellikle mobil cihazlarda çalıştığı için hafif, enerji verimli ve hızlı çalışan modellerin geliştirilmesi önemlidir. Ayrıca, entegre edilecek kamera ve sensörlerin donanım kalitesi artırılarak algılama başarısı yükseltilebilir.
2. **Kullanıcı Arayüzü İyileştirmeleri:** Mobil ve web uygulamalarındaki kullanıcı deneyimi geliştirilmelidir. Kullanıcıya yönelik uyarı sistemleri daha esnek ve kişiselleştirilebilir olmalıdır. Örneğin, uyarı tonları, görsel efektler ve bildirim sıklığı ayarlanabilir olmalıdır.
3. **Veri Güvenliği ve Gizlilik:** Toplanan görüntü ve biyometrik verilerin güvenli bir şekilde işlenmesi ve saklanması için gelişmiş şifreleme ve anonimleştirme yöntemleri uygulanmalıdır. Ayrıca, kullanıcıların veri kullanımına dair bilinçlendirilmesi önem taşır.
4. **Entegrasyon ve Uyumluluk:** Farklı araç modelleri ve işletim sistemleriyle tam uyumluluk sağlamak, yaygın kullanım için kritik bir gerekliliktir. Ayrıca, diğer araç içi güvenlik sistemleriyle entegrasyon projeleri araştırılmalıdır.
5. **Performans ve Doğruluk İyileştirmeleri:** Algoritmaların doğruluk oranları ve gerçek zamanlı tepki süreleri optimize edilmelidir. Model küçültme teknikleri ve hızlandırıcı donanımlar (GPU, TPU) kullanılarak sistemin genel performansı artırılabilir.

## Kaynaklar

- [1] Roboflow, <http://www.roboflow.com/>
- [2] Kaggle, <http://www.kaggle.com/>
- [3] Youtube, <https://www.youtube.com/playlist?list=PLAzJXCSg9-ZdhPQRSoq-C1khNn7amB-O->
- [4] Medium, <https://blog.hireterra.com/machine-learning-in-computer-vision-484cbd84cabf?gi=926069dd7714>
- [5] Geeksforgeeks, <https://www.geeksforgeeks.org/computer-vision/>
- [6] YOLO, <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolo11/>
- [7] PyTorch, <https://pytorch.org>
- [8] TensorFlow, <https://www.tensorflow.org/?hl=tr>
- [9] <https://mrl.cs.vsb.cz/eyedataset.html>
- [10] <https://universe.roboflow.com/face-parts/facepartsdetection>