

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRÜCÜLERDE UYKULULUK HALİ TESPİT
SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nur Yasin PEKER

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ZENGİN

Temmuz 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRÜCÜLERDE UYKULULUK HALİ TESPİT
SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nur Yasin PEKER

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 20.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Nur Yasin PEKER

20.07.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ZENGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunu seçmeme vesile olan, TÜBİTAK projesinde birlikte çalıştığım amcam Prof. Dr. Yüksel PEKER'e ve çalışmalarında bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini benim ile paylaşan Prof. Dr. Çiğdem EROĞULU ERDEM'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu süreçte yanımda olan, her türlü desteği sağlayan, öncelikle annem ve babam olmak üzere tüm aileme ve yakınlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Sürücülerde Uykululuk Hali	1
1.2. Uykululuk Hali ve Trafik Kazaları	1
1.2.1. Ülkemizde trafik kazalarının bilançosu	2
1.3. Uykulu Sürüş için Alınan Önlemler	3
1.4. Tezin Amacı	5
1.5. Tez Planı	6

BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Uykululuk Hali Ölçme Yöntemleri	7
2.1.1. Öznel ölçümler	7
2.1.2. Araç bazlı ölçümler	8
2.1.3. Davranışsal ölçümler	9
2.1.4. Fizyolojik ölçümler	11
2.2. Davranışsal Ölçümler ile Uykululuk Hali Tespiti Çalışmaları	13
2.3. Uykululuk Hali ve Göz Kırpma Tespiti için Kullanılan Veri Kümeleri ..	14

2.3.1. NTHU veri kümesi	15
2.3.2. DROZY veri kümesi	15
2.3.3. UTA-RLDD veri kümesi	15
2.3.4. EyeBlink8 veri kümesi	16
2.3.5. TalkingFace veri kümesi	17

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Görüntü İşleme	18
3.1.1. Görüntü yakalama	19
3.1.2. Ön işleme	19
3.1.3. Segmantasyon	19
3.1.4. Özellik çıkarma	20
3.1.5. Tanımlama	20
3.1.6. Bilgi tabanı	21
3.2. OpenCV Kütüphanesi	21
3.3. Yüz Tespiti	22
3.3.1. OpenCV ile yüz tespiti	23
3.3.1.1. Viola-Jones yüz tespit yöntemi	23
3.4. Python Programlama Dili	24
3.5. Dlib Kütüphanesi	24
3.6. Önerilen Sistem	24
3.7. Yüz İşaretlerinin Belirlenmesi	26
3.8. Göz Açıklığının Belirlenmesi	26
3.9. Sabit Eşik Değeri ile Göz Kırpma ve Uzun Süreli Göz Kapama Tespiti	27
3.10. Uyarlamalı (Adaptif) Eşik Değeri ile Göz Kırpma ve Uzun Süreli Göz Kapama Tespiti	28
3.10.1. Medyan filtreleme	28
3.10.2. Ortalama (Mean) filtresi	29
3.11. F1- Değerlendirme Yöntemi	29
3.12. Uzun Süreli Göz Kapamalar (CLOSDUR) ile Uykululuk Tespiti	30
3.13. PERCLOS Değeri ile Uykululuk Tespiti	31

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	32
4.1. F1- Değerlendirme Sonuçları ve Sistem Parametre Değerleri	32
4.2. Göz Açıklığı ve Göz Kırpma Tespiti Sonuçları	34
4.2.1. Sabit eşik değeri ile göz kırpma tespiti sonuçları	34
4.2.2. Uyarlamalı (Adaptif) eşik değeri ile göz kırpma tespiti sonuçları	35
4.3. Uzun Süreli Göz Kapamalar (CLOSDUR) ile Uykululuk Tespiti Sonuçları	38
4.4. PERCLOS ve CLOSDUR Değerleri ile Uykululuk Tespiti Sonuçları ...	40

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	43
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANN	: Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)
CCA	: Bağlantılı Bileşen Analizi
CDD	: Yük paylaşımli aygıt
CLOSDUR	: Uzun süreli göz kapamalar ile uykululuk tespiti yöntemi
EAR	: Gözün en-boy oranı (Eye Aspect Ratio)
EEG	: Elektroensefalografi
FPS	: Saniyedeki çerçeve sayısı (Frames Per Second)
IPP	: Entegre Performans İlkeleri (Integrated Performance Primitives)
IR	: Kızılötesi (Infrared)
KNN	: K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors)
KSS	: Karolinska Uykululuk Ölçeği
MLM	: Makine Öğrenmesi Modülü (Machine Learning Module)
PERCLOS	: Bir süre boyunca gözün kapalılık oranı
SDLP	: Şerit Konumunun Standart Sapması
SVM	: Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine)
SWM	: Direksiyon Simidi Hareketi
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Eyeblink8 göz kırpma veri setinde yer alan zorlayıcı videolardan örnekler...	16
Şekil 3.1. Görüntü işlemenin temem adımları.....	16
Şekil 3.2. Önerilen Sistemin Blok Şeması.....	25
Şekil 3.3. Dlib kütüphanesi ile tespit edilen 68 tane yüz işareti.....	26
Şekil 3.4. EAR Değişim Grafiği (x eksen: video çerçevesini temsil etmektedir).....	27
Şekil 3.5. CLOSDUR ve PERCLOS algoritmalarının beraber kullanıldığı akış şeması	31
Şekil 4.1. EyeBlink8 veri kümesine ait 9 numaralı videoda sabit eşik değeri ile göz kırpma tespiti.....	35
Şekil 4.2. EyeBlink8 veri kümesine ait 9 numaralı videoda uyarlamalı eşik değeri ile göz kırpma tespiti.....	35
Şekil 4.3. Veri setlerindeki videolara ait gerçek ve kestirilen göz kırpma sayıları ve karşılaştırmaları.....	36
Şekil 4.4. Uyku etikete sahip videoda uykululuğun başladığını gösteren örnek çerçeveler.....	38
Şekil 4.5. UTA-RLDD veri kümesine ait farklı etiketlerine sahip videolarda CLOSDUR ile uykululuk tespiti.....	39
Şekil 4.6. UTA-RLDD veri kümesine ait farklı etiketlere sahip videolar üzerinde uykululuk hali tespiti.....	41

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. 2009-2020 yılları arası Türkiye’de meydana gelen trafik kazası istatistikleri	3
Tablo 2.1. Karolinska Uykululuk Ölçeği (KSS).....	7
Tablo 2.2. Uykululuk tespiti için kullanılan göz kırpma parametreleri.....	14
Tablo 4.1. Veri kümelerinin her videosundan farklı parametreler ile elde edilen en iyi F1 değerleri.....	32
Tablo 4.2. Ortalaması alınmış en iyi F1 skorunu veren parametreler ve veri kümelerine ait ortalama F1 değerleri.....	33
Tablo 4.3. Deneme yapılan veri kümelerinin tüm videolarına ait gerçek ve kestirilen göz kırpma sayıları.....	33

ÖZET

Anahtar kelimeler: Görüntü işleme, yapay zeka, yüz tespiti, göz kırpma algılama, uykululuk tespiti

Uykululuk halinin önceden tespit edilmesi, uykululuğa bağlı trafik kazalarını önlemek, fiziksel ve ekonomik kayıpların önüne geçmek açısından önemlidir. Bir kamera yardımı ile kişilerin görüntüleri üzerinde görüntü işleme teknikleri uygulanarak uykululuk halini önceden kestirmek mümkündür.

Bu tezde, literatürde kullanılan uykululuk ölçme yöntemleri, veri kümeleri ve görüntü işleme tekniği incelenmiş ve uyarlamalı bir eşik değeri hesaplama yöntemi önerilmiştir. Veri kümelerinden yararlanılarak uykululuk halinin tespit edilmesinde büyük bilgiye sahip olan göz bölgesinden gelen öznitelikler ile göz kırpma ve uzun süreli göz kapama tespiti yapmak için sabit ve uyarlamalı eşik değerleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Böylece, kısa süreli göz kırpma ile uzun süreli göz kapamanın daha iyi ayırt edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada önerilen uyarlamalı eşik değerinin sabit bir eşik değerinden çok daha başarılı göz kırpma tespiti sonuçları verdiği, iki farklı veri kümesi üzerinde yapılan deneyler ile doğrulanmıştır.

Uykululuk tespiti için literatürde CLOSDUR ve PERCLOS yöntemleri kullanılmıştır. Uyarlamalı eşik değeri kullanılarak elde edilen göz açıklığı bilgisi ile gözün bir dakika için kapalı olduğu sürenin yüzdesel ifadesi (PERCLOS) belirlenmiş ve uzun süreli göz kapama bilgisi (CLOSDUR) ile birleştirilerek uykululuk tespiti çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan veri kümelerinin gerçek referans değerleriyle büyük oranda uyushmaktadır.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF DROWSINESS DETECTION SYSTEM FOR DRIVERS

SUMMARY

Keywords: Image Processing, Artificial Intelligence, Face Detection, Eyeblink Detection, Drowsiness Detection

Detecting drowsiness in advance is very important for preventing possible traffic accidents due to fatigue which result in physical and economic losses. It is possible to predict drowsiness by applying computer vision techniques to facial video captures using a camera.

In this thesis, drowsiness measurement methods, data sets and image processing techniques used in the literature were examined and an adaptive threshold value method was proposed. Using datasets, features from the eye region, which have great knowledge in the detection of drowsiness, as well as fixed and adaptive threshold values for blink and long-term eye-closure detection were evaluated separately. This is intended to enable a better distinction between short-term blinks and long-term blinks. It was verified through experiments on two different datasets that the proposed adaptive threshold approach provides much more successful blink detection results than a fixed threshold.

CLOSDUR and PERCLOS methods have been used in the literature for drowsiness detection. The percentile expression of the time the eye is closed for one minute (PERCLOS) was determined with the eye-opening information obtained using the adaptive threshold, and drowsiness detection studies were performed by combining it with the long-term eye-closure information (CLOSDUR). The results obtained are in good agreement with the actual reference values of the data sets found in the literature.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsan için uyku temel bir ihtiyaçtır. Uyku ile yeterli dinlenmenin sağlanması kişinin gerçekleştirdiği eylemi verimli bir şekilde sürdürmesini büyük ölçüde etkiler. Ancak uykunun ve dinlenmenin bir sürücüde çeşitli faktörler ve hastalıklar (uyku apnesi vb.) tarafından yeterli şekilde sağlanamaması, tepki süresi, gözlemlene, muhakeme ve dikkat gibi psikomotor ve bilişsel işlevleri bozar. Sürücü yeterince dinlenmediğinde sürüş sırasında istemsiz bir şekilde uyumaya başlar ve bu durum uykululuk halinin ana işaretlerinden biridir.

Son yıllarda, uykululuk hali, trafik kazalarının en önemli nedenlerinden biri olmuştur ve ciddi fiziksel yaralanmalara, ölümlere ve önemli ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Uykulu sürücülerin karar verme ve uygulama yetisi bozulduğu için herhangi bir kazaya meyilleri yüksektir. İstatistikler, özellikle sürücülerde erken aşamada uykululuğu tespit etmenin gerekliliğini göstermektedir [1].

1.1. Sürücülerde Uykululuk Hali

Sürücülerde uykululuk hali, yeterli dinlenmenin sağlanmadığı ve uzun süreli araç kullanımından sonra fizyolojik fonksiyonların dengesizliği nedeniyle nesnel olarak azalan sürüş becerilerini ifade eder [2]. Uykululuk hali, sürüş davranışını etkiler, sürücüler ve diğer trafik katılımcıları için ciddi bir güvenlik tehdidi oluşturabilir.

1.2. Uykululuk Hali ve Trafik Kazaları

Tüm dünyada artan araç sayısı ile birlikte trafik kazaları insan ölümlerinin başlıca nedenlerinden biri haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) raporuna göre, trafik kazaları 2015 yılında insan ölümlerinin ilk on nedeninden biridir [3].

Karayolu trafiğinin ana katılımcılarından olan sürücüler, karayolu trafik güvenliğini etkileyen en önemli faktördür. Ulusal Uyku Vakfı'nın (National Sleep Foundation) kayıtlarına göre sürücülerin %32'si ayda en az bir kere uykulu sürüş deneyimi yaşamaktadır [4]. Her yıl 100.000 trafik kazasının yaklaşık %25'i uykulu araç kullanımına bağlı olarak gerçekleşmektedir [5].

Dünya çapında karayolu trafik kazalarından dolayı, her yıl 1.3 milyon insan hayatını kaybetmektedir ve 20-50 milyon arasında kişi ölümcül olmayan yaralanmalara maruz kalmakta ve bunun sonucunda birçoğu engelli olmaktadır [6]. ABD Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (US National Highway Traffic Safety Administration) tahminlerine göre sürücü uykululuğundan kaynaklı 100.000 trafik kazasında 1.500'den fazla insan hayatını kaybetmektedir ve 40.000 kişi yaralanmaktadır [7,8].

Gerçekleşen kazalarda, birisi hayatta kalmadığı veya sürücünün durumuna tanıklık etmediği sürece kazanın uykululuk halinden dolayı meydana geldiğini belirlemek ve bu şekilde rapor etmek zordur. İstatistikler, sadece uykululuk halinden dolayı meydana geldiği rapor edilmiş durumlardan elde edilmiştir. Bu yüzden uykululuk halinden meydana gelen kazaların bahsedilen istatistiklerden çok daha yüksek sayıda olduğu muhtemeldir [8].

1.2.1. Ülkemizde trafik kazalarının bilançosu

TUİK verilerine göre Türkiye'de 2020 yılında toplam 983 bin 808 adet trafik kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 833 bin 533 adedi maddi hasarlı, 150 bin 275 adedi ise ölümlü yaralanmalı trafik kazasıdır. Meydana gelen 150 bin 275 adet ölümlü yaralanmalı trafik kazası sonucunda 2 bin 197 kişi kaza yerinde, 2 bin 669 kişi ise yaralanıp sağlık kuruluşlarına sevk edildikten sonra kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde hayatını kaybetmiştir [9]. 2009-2020 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen trafik kazalarının bulunduğu istatistikler Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. 2009-2020 yılları arası Türkiye’de meydana gelen trafik kazası istatistikleri [9]

Yıl	Toplam Kaza Sayısı	Ölümlü Yaralanma Kaza Sayısı	Maddi Hasarlı Kaza Sayısı	Ölü Sayısı			Yaralı Sayısı
				Toplam	Kaza Yerinde	Kaza Sonrası	
2009	1.053.346	111.121	942.225	4.324	4.324	-	201.380
2010	1.106.201	116.804	989.397	4.045	4.045	-	211.496
2011	1.228.928	131.845	1.097.083	3.835	3.835	-	238.074
2012	1.296.634	153.552	1.143.082	3.750	3.750	-	268.079
2013	1.207.354	161.306	1.046.048	3.685	3.685	-	274.829
2014	1.199.010	168.512	1.030.498	3.524	3.524	-	285.059
2015	1.313.359	183.011	1.130.348	7.530	3.831	3.699	304.421
2016	1.182.491	185.128	997.363	7.300	3.493	3.807	303.812
2017	1.202.716	182.669	1.020.047	7.427	3.534	3.893	300.383
2018	1.229.364	186.532	1.042.832	6.675	3.368	3.307	307.071
2019	1.168.144	174.896	993.248	5.473	2.524	2.949	283.234
2020	983.808	150.275	833.533	4.866	2.197	2.669	226.266

TUİK verilerine göre ülkemiz karayolu ağında 2020 yılında gerçekleşen trafik kazalarında ölen kişilerin %49,4'ü sürücü, %30,7'si yolcu, %19,9'u ise yayadır. Ölümlü yaralanmalı trafik kazasına neden olan toplam 177 bin 867 kusura bakıldığında kusurların %88,3'ünün sürücü, %7,0'ının yaya, %2,7'sinin taşıt, %1,4'ünün yolcu ve %0,5'inin yol kaynaklı olduğu görülmüştür. Meydana gelen 150 bin 275 ölümlü yaralanmalı kazanın %66,9'u gündüz, %30,4'ü gece ve %2,7'si alacakaranlıkta olmuştur [9]. İstatistikler sürücülerin ve sürücü kusurlarının trafik kazalarında ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

1.3. Uykulu Sürüş için Alınan Önlemler

Son yıllarda uykululuğa bağlı trafik kazalarının sayısını azaltmak için tüm dünyada bir dizi kanun ve yönetmelik çıkarılmıştır. Örneğin, Çin Karayolu Trafik Güvenliği Yasası, sürücünün bir aracı 4 saatten fazla kullanmasını yasaklamıştır [10]. Araştırmacılar trafik kazalarını önlemek amaçlı önlemler olarak sürüş öncesi veya sürüş esnasında uykululuk halini belirlemeye çalışmışlardır.

Uykululuk hali tespiti için alınan önlemler ve yaklaşımlar araç bazlı önlemler, davranışsal önlemler ve fizyolojik önlemler olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Araç bazlı önlemler, araç hızı değişkenliği, sık şerit değiştirme düzenleri, direksiyon simidi açısı ve gaz pedalına uygulanan basınç gibi araç özelliklerine dayalı olarak uykululuk halini tespit etmeye çalışır. Davranışsal önlemler, sürücülerin esneme, yüz ifadeleri, göz kapama oranı, baş pozisyonu ve göz kırpması gibi davranışsal parametreleri inceleyerek sürücülerin uykululuk halini ölçer ve uyarır. Fizyolojik önlemler, kalp hızı, nabız hızı ve solunum hızı gibi fizyolojik sinyallere dayalı olarak sürücü uykululuğu tespit eder. Araştırmacılar bu üç önlem dışında uykululuk düzeyinin derecelendirilmesi için sözel ve ankete dayalı öznel önlemler de kullanmışlardır [11].

Uykuluk halini tespit eden teknolojilerinin geliştirilmesi hem endüstriyel hem de akademik bir zorluktur. Ancak güvenli sürüşü sağlamak için sürücü durumunun önceden tespit edilmesi bir ihtiyaç haline gelmiştir ve otomotiv endüstrisinde uykulu sürüşü tespit etmek ve uyararak için sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Volvo, şeritten takip uyarı sistemine bağlı ve araca monteli bir kamera kullanarak uykulu sürüşten şüphelenilen sürücülerini uyararak Sürücü Uyarı Kontrolü (Driver Alert Control - DAC) geliştirmiştir [12]. Benzer bir şekilde, Mercedes-Benz tarafından bir sürücünün sürüş düzenlerinden alınan verileri toplayan ve elde edilen bilgilerin direksiyon hareketi ve eldeki sürüş durumu ile ilişkili olup olmadığını sürekli olarak tespit eden bir dikkat yardım sistemi geliştirmiştir [12]. Bosch tarafından geliştirilen sürücü uykululuk algılama sistemi, direksiyonda bulunan sensörden, araçların sürüş hızından, dönüş sinyali kullanımından ve aracın önüne monte edilmiş şerit yardımcısı kamerasından elde edilen verilere dayanarak sürücü uykululuğu ve yorgunluğu hakkında kararlar vermektedir [12]. Uykululuk hali algılayan güvenlik sistemleri genellikle lüks araçlarda bulunduğu için kullanımı yaygın değildir.

Otomobillere sensörler ve mobil işletim sistemleri ile donatılmış akıllı cihazların entegre edilmesinin artışı 2015 yılında yapılan anketlerle gösterilmiştir [13]. Ayrıca, makine öğrenimi, özellikle derin öğrenme alanında, son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu nedenle, yeni teknolojilerin ve metodolojilerin kullanılması,

mevcut gerçek zamanlı uykululuk algılama sistemlerinin verimliliğini arttıracak ve uykululuk halinden kaynaklı kazaların sayısının düşmesinde etkili olacaktır.

1.4. Tezin Amacı

Bu tezin amacı; kişilerin göz kırpması, uzun süreli göz kapama gibi davranışsal parametrelerinden alınan bilgi ile uykululuk halini tespit etmek ve uykulu sürüşe bağlı trafik kazalarının azalmasına yönelik çalışmalara katkı sağlamaktır. Ayrıca göz kırpması tespiti ve uzun süreli göz kapama olaylarının tespiti için yeni bir uyarlamalı eşik değeri algoritması önerilmiştir. Uyarlamalı eşik değeri algoritmasının, göz bölgesinden gelen bilgilerin kullanıldığı uykululuk hali tespiti çalışmalarındaki başarıyı arttıracığı düşünülmektedir.

Uykululuk hali belirtileri kazadan birkaç dakika öncesine kadar görülmeyebilir. Sürücünün uyuması ve aracın belli bir hıza sahip olduğu düşünüldüğünde aracın kısa süre içerisinde yoldan çıkması veya kazaya sebebiyet verdiği durumlar gerçekleşebilecektir. Bu yüzden uygun tepkilere daha fazla zaman sağlamak için yüz ifadeleri ile uykululuk tespiti yapan sistemlerde uykululuğun erken aşamada ve doğru şekilde tespit edilmesi çok önemlidir. Önerilen sistem, sürücünün göz bölgesinden gelen bilginin karakteristiğini belli bir video çerçevesi boyunca tutarak uykulu sürüş gerçekleşmeden önce kişinin durumu hakkında karar verebilmektedir.

Sistem temel olarak kamera ile alınan görüntüyü işleyerek sürücü durumunu değerlendirir ve karar verir. Sistem üç adet modülden oluşmaktadır: Birinci modülde görüntüden kişinin yüz ve göz bölgesi tespit edilerek her video çerçevesi için EAR (Eye Aspect Ratio) değeri belirlenmektedir. İkinci modülde EAR değerlerinden her çerçeve için uyarlamalı eşik değeri belirlenir ve bu uyarlamalı eşik değeri ile göz kırpması ve uzun süreli göz kapanma bilgileri elde edilir. Üçüncü modül ise göz kapağının kapalılık oranına (PERCLOS) bağlı olarak sürücünün uykululuk durumunun (uyanık, yarı uykulu, uykulu) belirlendiği modüldür.

1.5. Tez Planı

Bu başlık altında tez içeriğinde bulunan bölümlerin içeriği özetlenmiştir.

Kaynak Araştırması bölümünde, literatürde bulunan uykululuk hali ölçme yöntemleri anlatılmış ve bu yöntemlerden biri olan Davranışsal Ölçümler hakkında çalışmalar karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu ölçüm yöntemi için literatürde kullanılan veri kümeleri hakkında bilgi verilmiştir.

Materyal ve Yöntem bölümünde, Davranışsal ölçümlerde kullanılan görüntü işleme tekniği, yüz tespiti ve yüz tespitinde kullanılan teknolojiler tanıtılmıştır. Tezde önerilen Uyarlamalı Eşik Değeri Algoritması, uykululuk tespiti için kullanılan CLOSDUR ve PERCLOS yöntemlerini ve F1-Değerlendirme yöntemi anlatılmıştır.

Araştırma Bulguları bölümünde, F1-Değerlendirme yöntemi ile elde edilen sistemin parametre değerleri ve veri kümeleri (EyeBlink8 ve TalkingFace) üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları paylaşılmıştır. Ek olarak, sabit eşik değeri ve uyarlamalı eşik değeri ile elde edilen göz kırpma ve uzun süreli göz kapama sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Uyarlamalı Eşik Değeri Algoritması kullanılarak PERCLOS ve CLOSDUR yöntemleri ile UTA-RLDD veri kümesi üzerinde uykululuk tespiti çalışmaları yapılmış ve sonuçları verilmiştir.

Son bölümde ise göz kırpma deneyleri ve uykululuk tespiti deneyleri ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Uykululuk Hali Ölçme Yöntemleri

Araştırmacılar uykululuk halini ölçmek ve önlem almak için çeşitli yöntemler kullanmıştır. Yaygın olarak kullanılan dört yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem sözel ve anket yoluyla, diğer üç yöntem ise çeşitli sensörler aracılığıyla ölçülür.

2.1.1. Öznel ölçümler

Uyuşukluk düzeyini değerlendiren öznel ölçümler, sürücünün kişisel derecelendirmelerine dayanmaktadır. Bu derecelendirmeyi sürücü uykululuğunun bir ölçüsüne çevirmek için birçok araç kullanılmıştır. En sık kullanılan uykululuk ölçeği, Tablo 2.1.'de gösterildiği gibi her adım için sözel bir dayanağa sahip olan dokuz derecelendirmeli Karolinska Uykululuk Ölçeği (KSS)'dir [14]. Portouli, hem bir anket hem de lisanslı bir pratisyen hekim tarafından sürücü uykululuğunu doğrulayarak EEG verilerini değerlendirmiştir [15]. Ingre, göz kırpması süresi ile sürüş görevi sırasında her 5 dakikada bir toplanan KSS arasında bir ilişki belirlemiştir [16].

Tablo 2.1. Karolinska Uykululuk Ölçeği (KSS)

Uykululuk Hali Derecesi	Açıklama
1	Son derece uyanık
2	Tam uyanık
3	Uyanık
4	Epeyce uyanık
5	Ne uyanık ne de uykulu
6	Bazı uykulu işaretler mevcut
7	Uykulu, uyanık kalmak için çaba yok
8	Uykulu, uyanık kalmak için biraz çaba var
9	Çok uykulu, uyanık kalmak için çok çaba var, uykuyla mücadele

Araştırmacılar, 5 ila 9 arasında KSS derecelendirmeleri için büyük şerit hareketlerinin, yüksek göz kırpmaya süresinin ve uyku hali ile ilgili fizyolojik sinyallerin yaygın olduğunu belirlemişlerdir [16]. Ancak öznel derecelendirmeler, araç bazlı, fizyolojik ve davranışsal ölçütlerle tam olarak örtüşmemektedir.

Uykululuk düzeyi yaklaşık her 5 dakikada bir ölçüldüğünden, ani değişiklikler öznel ölçümler kullanılarak tespit edilemez. Öznel derecelendirmelerin kullanılmasının bir başka kısıtlaması ise, kendi kendini gözlemlemenin sürücüyü uyarması ve böylece uykululuk seviyelerini azaltmasıdır. Buna ek olarak, gerçek bir sürüş durumunda bir sürücüden uykululuk hali geri bildirim elde etmek zordur. Bu nedenle öznel derecelendirmeler, simüle edilmiş bir ortamda uyuşukluğun belirlenmesinde yararlı olurken, geri kalan tedbirler gerçek bir ortamda uyuşukluğun saptanması için daha uygun olabilir [11].

2.1.2. Araç bazlı ölçümler

Sürücü uykululuğunu ölçmenin bir başka yöntemi, araç bazlı ölçümleri içerir. Bu ölçümler genellikle direksiyon simidi ve hızlandırma pedalı dahil olmak üzere çeşitli araç bileşenlerine sensörler yerleştirilerek simüle edilmiş bir ortamda belirlenir. Sensörler tarafından gönderilen sinyaller daha sonra uykululuk seviyesini belirlemek için analiz edilir. Liu çalışmalarında, mevcut araç bazlı önlemler hakkında bir inceleme yayınlamıştır [17]. Bazı araştırmacılar uyku yoksunluğunun sürüş hızında daha büyük bir değişkenliğe neden olabileceğini bulmuşlardır [18]. Direksiyon hareketi ve şerit konumunun standart sapması yaygın olarak kullanılan araç bazlı önlemlerdir.

Direksiyon Simidi Hareketi (SWM), direksiyon açısı sensörü kullanılarak ölçülür ve sürücü uykululuk seviyesini tespit etmek için yaygın olarak kullanılan araç bazlı bir ölçüdür [14,18,19]. Direksiyon koluna monte edilmiş bir açı sensörü kullanarak, sürücünün direksiyon davranışı ölçülür. Uykulu olduğunda, direksiyondaki mikro-düzeltilmelerin sayısı normal sürüşle karşılaştırıldığında azalır [20]. Fairclough ve Graham, uykusuz sürücülerinin, direksiyon simidinde normal sürücülere göre daha az

ani değişiklik yaptığını saptamışlardır [18]. Şerit değişikliklerinin etkisini ortadan kaldırmak ve yanal konumu ayarlamak için, araştırmacılar sadece küçük direksiyon hareketlerini ($0,5^\circ$ ila 5° arası hareketler) dikkate almışlardır [14]. Bu nedenle, küçük SWM'lere dayanarak, sürücünün uyuşukluk durumunu belirlemek ve gerektiğinde bir uyarı sağlamak mümkündür. Simüle edilmiş bir ortamda aracın yan tarafına doğru itilen hafif yan rüzgarlar, yanal pozisyonda varyasyonlar yaratmak ve sürücülerini kavisli bir yolda düzeltici SWM'ler yapmaya zorlamak sürüş öncesi uykululuk hali tespit yöntemlerindedir [19].

Şerit Konumunun Standart Sapması (SDLP), sürücü uyuşukluğunun seviyesinin değerlendirilebileceği diğer bir ölçektir [16]. Simüle edilmiş bir ortamda, yazılımın kendisi SDLP'yi verir ve saha deneyleri durumunda şerit konumunun harici bir kamera kullanılarak izlenmesi sağlanır. Ingre, SDLP'ye dayalı sayısal istatistikleri türetmek için bir deneme yapmıştır ve KSS derecelendirmeleri arttıkça SDLP'nin (metre) de arttığını gözlemlemiştir [16]. Ancak SDLP'nin yol işaretleme, iklim ve aydınlatma koşulları gibi dış faktörlere tamamen bağımlı olması bu yöntem için bir kısıtlamadır. Birçok çalışma, araç bazlı ölçümlerin uykulu hali nedeniyle performans hatası riskini tahmin etmede yeterli olmadığını belirlemiştir. Ayrıca, taşıt tabanlı metrikler sadece uykululuğa özgü değildir. SDLP, alkol veya diğer uyuşturucuların, özellikle de depresanların etkisi altında sürüş dahil olmak üzere, herhangi bir engelli sürüşten de kaynaklanabilir [21–23].

2.1.3. Davranışsal ölçümler

Uykulu kişiler, hızlı ve sürekli halde göz kırpmaya, baş sallama ve sık sık esneme gibi bir dizi karakteristik yüz hareketi sergiler [11]. Uykululuk halini belirlemek için davranışsal yaklaşımları kullanma konusundaki yayınlanmış çalışmaların çoğu, göz kırpmaya odaklanmaktadır [24–26]. PERCLOS, zaman içinde göz kapaklarının kapalı kalma yüzdesidir. Birçok çalışmada PERCLOS yöntemi analiz edilmiştir [27–29]. Bu ölçümün uykululuk halini tespit etmek için güvenilir bir ölçüm olduğu bulunmuş ve Seeing Machines ve Lexus gibi ticari ürünlerde kullanılmıştır [11]. Bazı araştırmacılar uyuşukluğu tespit etmek için iç kaş hareketi, dış kaş hareketi, dudak gerginliği, çene

düşmesi ve göz kırpma gibi birden fazla yüz eylemi kullanmışlardır [30,31]. Ancak, uyusukluk düzeyini belirlemek için esneme [32], baş pozisyonu ve göz bölgesinden gelen bilgiler [33,34] gibi diğer davranışsal önlemlerin kullanımı üzerine araştırmalar devam etmektedir.

Bilgisayarlı görü temelli bir yaklaşım kullanmanın temel sınırlaması aydınlatmadır. Normal kameralar gece iyi performans göstermez [24]. Bu sınırlamanın üstesinden gelmek için, bazı araştırmacılar kızılötesi Işık Yayan Diyot (LED) kullanan aktif aydınlatmayı kullanmışlardır [24]. Ek olarak, yöntemlerin çoğu, sürücünün doğal olarak uyukulu olduğu gerçek video verilerinin yerine uykusuz davranışları taklit eden sürücülerden elde edilen veriler üzerinde test edilmiştir. Çoğunlukla, görüntüler gündüz basit CCD veya web kamera, gece ise 30 FPS'de IR kamera kullanılarak elde edilmiştir [35]. Videoyu yakaladıktan sonra, yüz, göz veya ağzı tespit etmek için Bağlantılı Bileşen Analiz (CCA), Cascade Sınıflandırma veya Hough Dönüşümü, Gabor Filtresi, Haar Algoritması gibi bazı teknikler uygulanmıştır [25,27,31,35]. Görüntünün içerisindeki belirli bölgeyi lokalize ettikten sonra, PERCLOS, esneme frekansı ve baş açısı gibi özellikler, Dalgacık Ayırıştırma, Gabor Dalgacıkları, Ayrık Dalgacık Dönüşümü veya Yoğunlaşma Algoritması gibi verimli bir özellik çıkarma tekniği kullanılarak çekilip kullanılmıştır [25,31,35]. Davranış daha sonra destek vektör makinesi (SVM), bulanık sınıflandırıcı, nöral sınıflandırıcı ve lineer diskriminant analizi gibi sınıflandırma yöntemleri kullanılarak normal, hafif uyukulu, oldukça uyukulu olarak analiz edilmiş ve sınıflandırılmıştır [24,25,31]. Bununla birlikte, doğru özelliği algılama oranının veya bir dizi tespit girişimi arasında başarı yüzdesinin, uygulamaya ve sınıf sayısına bağlı olarak değiştiği bulunmuştur. PERCLOS ve göz kırpma kullanarak uyukuluğun belirlenmesi için yapılan çalışmalarda sırasıyla %100 [24] ve %98'e [26] yakın bir başarı oranına ulaşılmıştır. Elde edilen yüksek pozitif saptama oranının elde edilmesinde, deneklerin gözlük takmamasının etkili olduğu belirtilmiştir [24]. Benzer şekilde, çoğu araştırmacı deneylerini simüle edilmiş ortamda yaptıkları için daha yüksek bir başarı oranı elde etmişlerdir. Deney gerçek bir ortamda yapıldığında pozitif tespit oranı anlamlı olarak azalmıştır [36].

2.1.4. Fizyolojik ölçümler

Sürücüler uykulu hale geldikçe, başları sallanmaya başlar ve araç şeridinin merkezinden uzaklaşabilir. Daha önce tanımlanan araç bazlı ve davranışsal temelli önlemler, ancak sürücü uykululuk hali başladıktan sonra veya uyumadan hemen önce devreye girer, ki bu da bir kazayı önlemek için çok geç olabilir.

Ancak, fizyolojik sinyaller uyuşukluğun erken evrelerinde değişmeye başlar. Bu nedenle, fizyolojik sinyaller uyuşukluğu birkaç yanlış pozitif ile tespit etmek için daha uygundur. Uykusuz bir sürücüyü zamanında uyarma ve böylece birçok yol kazasını önleme imkânı olur.

Birçok araştırmacı uyuşukluğu tespit etmek için aşağıdaki fizyolojik sinyalleri göz önünde bulundurmıştır: elektrokardiyogram (EKG), elektromiyogram (EMG), elektroensefalografi (EEG) ve elektrookülogram (EoG) [37]. Bazı araştırmacılar, göz hareketleriyle sürücü uykululuğunu tanımlamak için EoG sinyalini kullanmışlardır [37–39]. Kornea ve retina arasındaki elektrik potansiyel farkı, gözlerin yönünü yansıtan bir elektrik alan oluşturur. Bu elektrik alan ölçülen EoG sinyalidir. Araştırmacılar, her bir gözün dış köşesine ve referans alınmak üzere alın bölgesinin merkezine üçüncü bir elektrot yerleştirerek yatay göz hareketini araştırmışlardır [38]. Böylece uyanırken ve uykulu olduğunda ortaya çıkan Hızlı Göz Hareketleri (REM) ve Yavaş Göz Hareketleri (SEM) parametreleri kolayca tespit edilebilir hale gelmiştir [40].

Kalp atım hızı (HR) ayrıca uyanıklık ve yorgunluk gibi farklı uykululuk dönemleri arasında önemli ölçüde farklılık gösterir [41,42]. Bu nedenle, EKG sinyali ile kolayca tespit edilebilen kalp hızı, uykululuk hali tespit etmek için kullanılabilir. Araştırmacılar, düşük (LF) ve yüksek (HF) frekansların sırasıyla 0.04-0.15 Hz ve 0.14-0.4 Hz aralığında olduğu Kalp Atış Hızı Değişkenliği (HRV) kullanarak uykululuk halini ölçmüşlerdir [37,43]. HRV, kalp hızında değişikliklerinin bir ölçüsüdür. Sürücü uyanık durumdan uykulu bir duruma geçtiğinde EKG'deki LF'nin HF'ye oranı giderek azalmaktadır [43,44].

Elektroensefalogram (EEG), uyuşukluğu ölçmek için en yaygın kullanılan fizyolojik işarettir. EEG sinyali, uyku aktivitesine karşılık gelen delta bandı (0.5–4 Hz), uykululuk hali ile ilgili teta bandı (4-8 Hz) ve alfa bandı (8-13 Hz) dahil olmak üzere çeşitli frekans bantlarına sahiptir. Akin, uyuşukluğu tespit etmek için EEG ve EMG sinyallerinin bir kombinasyonunu kullanmanın başarı oranının, tek başına bir sinyali kullanmaktan daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. [45].

Ham fizyolojik sinyallerin ölçülmesi her zaman sürüşle ilgili harekete bağlı olarak gürültü ve hataya eğilimlidir. Bu nedenle, gürültüyü ortadan kaldırmak için, düşük geçiş filtresi, dijital farklılaştırıcılar gibi çeşitli ön işlem teknikleri kullanılmıştır. Etkili bir dijital filtreleme tekniği, istenmeyen artıkları en uygun şekilde giderir [46]. Daha sonra, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT) ve Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) dahil olmak üzere bir dizi istatistiksel özellik çıkarma teknikleri kullanılarak işlenmiş sinyalden çıkarılır [45,47,48]. Ayıklanan özellikler daha sonra Yapay Sinir Ağları (ANN), Destek Vektör Makineleri (SVM), Doğrusal Ayırıcı Analizi (LDA) veya diğer benzer yöntemler kullanılarak sınıflandırılır [37–39].

Fizyolojik sinyaller kullanarak sürücü uyuşukluk tespiti güvenilirliği ve doğruluğu diğer yöntemlere göre çok yüksektir. Ancak, fizyolojik sinyallerin ölçülmesinin müdahaleci doğası ele alınması gereken bir konudur. Bunun üstesinden gelmek için araştırmacılar, elektrotları vücuda yerleştirerek ve Zigbee [49], Bluetooth [50] gibi kablosuz teknolojileri kullanarak fizyolojik sinyalleri daha az müdahaleci bir şekilde ölçmek için kablosuz cihazları kullanmışlardır. Bazı araştırmacılar fizyolojik sinyalleri müdahaleci olmayan bir şekilde ölçerek daha ileri gitmişlerdir. Direksiyon simidine [51,52] veya sürücü koltuğuna [51,53] elektrot yerleştirerek ölçüm yapmışlardır. Elde edilen sinyaller daha sonra Android tabanlı akıllı telefon cihazlarında işlenmiş ve sürücü zamanında uyarılmıştır [54,55]. Müdahaleci olmayan sistemlerin, yanlış elektrot teması nedeniyle meydana gelen harekete bağlı bozulmalardan ve hatalardan dolayı doğruluğu daha azdır. Ancak araştırmacılar, kullanıcı dostu olmasından dolayı bu sistemleri kullanmaya devam etmektedir. Son yıllarda, müdahaleci olmayan sistemleri doğrulamak için deneyler yapılmaktadır [52,53].

2.2. Davranışsal Ölçümler ile Uykululuk Hali Tespiti Çalışmaları

Kameralar tarafından müdahaleci olmayan uykululuk tespitindeki yaklaşımlar, el yapımı yöntemler veya Evrişimsel Sinir Ağı kullanılarak otomatik olarak öğrenilen yöntemler olarak ikiye ayrılır. El yapımı yöntemlerde uykululuk hakkında en bilgilendirici yüz bölgesi gözlerdir ve yaygın olarak kullanılan öznelilikler genellikle göz kırpma ile ilgilidir. Araştırmacılar reaksiyon süresini ölçerek ve bir göz izleyici kullanarak, göz kırpma frekansının ve süresinin normal olarak yorulma ile nasıl arttığını tespit etmektedirler [56]. Göz kırpma genliğinin de önemli bir faktör olabileceğini belirlemişlerdir [57]. Göz açma hızı, ortalama göz kapatma hızı, göz kırpma süresi, mikro uyku ve göz kırpma enerjisi ve kafa hareketi bilgisi gibi birçok göz kırpma bilgisi tespit edilip işlenmektedir [58]. Göz kapağı kapanma parametreleri, uyku halini izlemek, müdahalelerinin etkinliğini değerlendirmek ve uyku halinin önceden tahmin etmek için kullanılabilecek araçlardır ve Tablo 2.2.'de gösterilmiştir [59].

Diğer bir çalışmada [60] ise bir derin ağı gömülü sistemler için nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır. Düşük hesaplama gereksinimlerini de hedefleyen bu çalışmada rapor edilen doğruluk, göz ve dudak yamaları üzerine yapılan eğitime dayanarak üç sınıf (uyanıklık, esneme, uyku hali) kullanarak %89'dur. Bu alandaki önceki çalışmalarda çoğunlukla, esneme, başını sallama ve uzun süreli göz kapatma gibi belirgin işaretlerle aşırı uykululuk tespit etmeye odaklanılmıştır. Bununla birlikte, sürücüler ve çalışanlar için, bu tür açık işaretler, kazadan yalnızca birkaç dakika öncesine kadar görünmeyebilir.

Bahsedilen çalışmaların sonuçları büyük veya kamuya açık bir veri setine dayanarak doğrulanmamaktadır. Ayrıca çalışmalar sabit bir eşik değeri kullanılarak yapılmış olup, yüksek hassasiyette ölçüm yapan bir eşik değeri modeli ile değerlendirilmemektedir.

Makine öğrenmesi yöntemlerini kullanılarak oluşturulan tespit sistemleri gözün açık veya kapalı olduğunu sınıflandırıp belirleyerek tespit yapmaktadır [60]. Ancak bu

yöntemler, göz açıklığı, gözün açılma hızı, kapanma hızı ve Tablo 2.2.'de verilen parametreler ile elde edilen bilgileri kullanarak uykululuk tespiti yapmada yeterli olmamaktadır. Bunun yanı sıra gözün açık ve kapalı olduğu durumu daha iyi belirlemektedir. Bu nedenle, uygun tepkilere daha fazla zaman sağlamak için yüz ifadeleri ile uykululuk tespiti yapan sistemlerde göz kapağı hareketlerinden elde edilen bilgi ile uykululuğun erken aşamada ve doğru şekilde tespit edilmesi önemlidir. Bu durum erken aşamada göz kırpma ve uykululuk tespiti yapan el yapımı yöntemlerin gerekliliğini göstermektedir.

Tablo 2.2. Uykululuk tespiti için kullanılan göz kırpma parametreleri [59]

Ölçüm	Açıklama
Olay Süresi (milisaniye)	Göz kapağının maksimum kapanma hızı ile kapanması ve maksimum açılma hızı ile açılmasında geçen göz kırpma süresi.
Toplam Göz Kırpma Süresi	Tüm göz kırpma aşamalarının ortalama toplam süresi; her göz kırpmada gözün kapanması ve yeniden açılması için geçen süre.
Pozitif genlik / hız oranı	Dakikadaki göz kırpmaların kapanma aşaması için göz kapağının maksimum genliğinin maksimum hızına oranı.
Negatif genlik / hız oranı	Gözün açılması sırasında maksimum genlik oranının, göz kapağının maksimum hızına oranı (bir dakika boyunca oluşan kırpmalar için).
Uzun göz kapanışları (%)	10 milisaniyeden uzun süre gözlerin tamamen kapalı kaldığı süre (%). "Göz Kırpma Kapama Aşaması" (Blink Closing Phase) sonrasında gözler, göz kapağı hareketinin hızının bir hız eşliğinin altına düştüğü andan itibaren "Gözün Yeniden Açılma Aşaması" (Blink Reopening Phase) başlangıcını gösteren süratin bu eşğin üstüne çıktığı zamana kadar kapalı kabul edilir.
Uzun göz kapanışları (oran)	Saatte 10 veya daha fazla milisaniye boyunca gözlerin kapalı kalma sayısı.
John's Uyku hali Puanı	Çoklu oküler değişkenlerin birleşiminden hesaplanan ve sırasıyla 4,5 ve 5'e eşit veya daha büyük puanlara sahip bileşik bir uykululuk skoru (0-10), sırasıyla ihtiyati seviyeyi ve yüksek uykululuk riskini gösterir.

2.3. Uykululuk Hali ve Göz Kırpma Tespiti için Kullanılan Veri Kümeleri

Göz kırpma parametreleriyle uykululuk tespiti için pek çok çalışma vardır. Ancak pek azı hem halka açık hem de gerçekçi bir veri seti kullanmamaktadır. Sonuç olarak, önceki yöntemleri birbirleriyle karşılaştırmak zordur. Var olan birkaç yöntem, videoları paylaşmadan ve az sayıda denek üzerinde değerlendirilmiştir. Bazı çalışmalarda [61,62] deneklere uykulu davranmaları talimatı verilmiş, bazen de gerçekten uykulu olan deneklerden veri elde edilmeye çalışılmıştır.

Bazı araştırmacılar [63], yöntemlerini eğitmek ve değerlendirmek için 90 saatlik gerçek sürüş kullanmıştır. Ancak veri kümeleri özel olduğu için kıyaslama yapılamamaktadır.

2.3.1. NTHU veri kümesi

Bazı veri setleri [64–66], özellikle uykululuk tespiti için geçerli olmayan kısa ve genel mikro ekspresyon tespiti için oluşturulmuştur. NTHU sürücü uykululuk tespit veri seti, sürüş simülasyonu yaparken 36 kişinin IR videosunu içeren halka açık bir veri setidir [67]. Bununla birlikte, uykulu gibi davranan kişilerden kaydedilmiştir. Rol yaparak uykululuk videolarının, özellikle erken bir aşamada, gerçek uykululuğun tespitinde faydalı eğitim verileri olup olmadığı ve ne ölçüde faydalı olduğu tartışılmaktadır [60].

2.3.2. DROZY veri kümesi

DROZY veri kümesi [68], EEG, EOG ve yakın kızılötesi (NIR) görüntüler gibi sinyaller dâhil olmak üzere birden fazla uykululukla ilgili veri türü içerir. DROZY veri setinin bir avantajı, uykululuk verilerinin, uykulu gibi davranmanın aksine, gerçekten uykulu kişiler ile elde edilmesidir.

2.3.3. UTA-RLDD veri kümesi

Bir diğer veri seti olan UTA veri seti, DROZY veri setiyle karşılaştırıldığında, UTA veri setinin üç avantajı vardır: Birincisi, daha fazla sayıda denek mevcuttur. İkincisi, her konu için önceden tanımlanmış üç uyanıklık sınıfının (uyanık, yarı uykulu, uykulu) her birinde konuyu gösteren verilere sahipken, DROZY veri setinde bazı denekler üç durumda da kaydedilmemiştir. Üçüncüsü ise DROZY'de tüm videolar kontrollü laboratuvar koşullarında aynı kamera pozisyonu ve arka plan kullanılarak çekmiştir. UTA veri setinde ise her denek kendi cep telefonunu ve farklı bir arka planı kullanmıştır [60].

2.3.4. EyeBlink8 veri kümesi

Bir diğer çalışmada [69] EyeBlink8 veri kümesi üzerinde göz kırpması çalışması yapılmıştır. Eyeblink8 veri kümesi 4 kişiden (1 gözlük takan) ve 8 videodan oluşmaktadır. Her videonun uzunluğu birbirinden farklıdır. Videolar, çoğunlukla kişilerin yüzü doğrudan kameraya dönük olacak şekilde ve farklı koşullar altında kaydedilmiştir. Bu veri kümesi, 353 göz kırpması ve 82600'den fazla çerçeveden oluşmaktadır. Tüm videolar 30 fps (saniyedeki çerçeve sayısı) ile 640x480 çözünürlükte kaydedilmiştir. Veri kümesiyle birlikte videolardaki gerçek göz kırpması sayıları da paylaşılmıştır.

Videolardaki kişiler kafa hareketleri, konuşma, gülme gibi eylemlerde bulunmaktadır. Ayrıca videoların bazı bölümlerinde kişiler eliyle veya farklı bir cisimle yüzünü kapatmaktadır ve örnek görüntüler Şekil 2.1.'de verilmiştir. Bu gibi durumlar yüz ve yüz işareti (landmark) tespiti yapılmasını zorlaştırmaktadır.



Şekil 2.1. Eyeblink8 [69] göz kırpması veri setinde yer alan zorlayıcı videolardan örnekler

2.3.5. TalkingFace veri kümesi

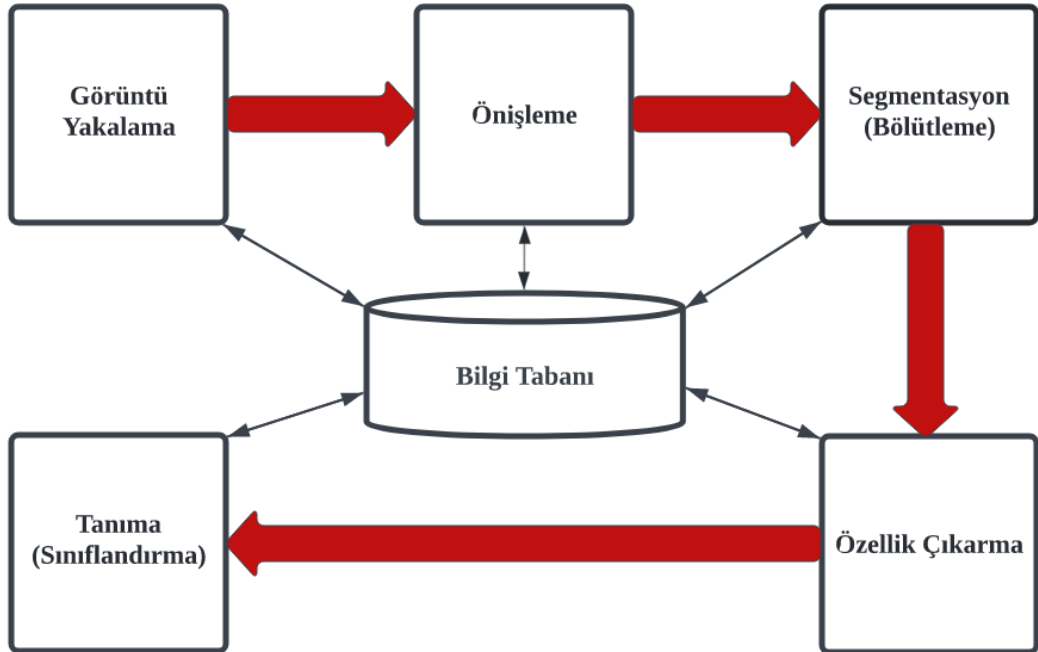
Literatürde göz kırpma tespiti için kullanılan bir veri kümesi de TalkingFace veri kümesidir. TalkingFace veri kümesi, 61 göz kırpma ve 5000 çerçeveden (720x576) oluşan bir video kaydı içerir. Kayıt sırası konuşma yapan bir adam bulunmaktadır ve çoğunlukla yüzü kameraya dönük veya hafifçe yana dönüktür [69]. Veri kümesiyle birlikte videolardaki gerçek göz kırpma sayıları da verilmiştir. Bu veri setinde de kafa hareketleri konuşma ve gülme eylemleri bulunmaktadır. Ancak Eyeblink8 veri setine göre yüz tespiti yapmak daha kolaydır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Görüntü İşleme

Görüntü işleme, bazı işlemler yaparak geliştirilmiş görüntü elde etmek veya görüntü üzerinden faydalı bilgilere ulaşmak için kullanılan bir yöntemdir. Giriş olarak bir video karesi veya görüntü, çıkış olarak ise bir görüntü veya o görüntüden üretilmiş ve işlenmiş bilgiler olabilir [70].

Görüntü işleme, bilgisayarlı görünün bir alt kümesidir [71]. Bilgisayarlı görü temel olarak bir görseli tanımlamaya, anlamlandırmaya ve sınıflandırmaya odaklanırken, görüntü işleme görüntü üzerinde bazı işlemler gerçekleştirerek bilgi üretmektedir. Bir çok durumda bilgisayarlı görü algoritmaları ve görüntü işleme teknikleri beraber kullanılır [72]. Tipik bir görüntü işlemenin temel adımları Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Görüntü işlemenin temel adımları

3.1.1. Görüntü yakalama

Herhangi bir görüntü işlemenin başlayabilmesi için, bir görüntünün bir kamera tarafından yakalanması ve yönetilebilir bir hale getirilmesi gerekir. Bu nedenle dijital bir görüntü elde etmek için görüntü sensörüne ve bu sensör tarafından üretilen sinyali sayısallaştırma yeteneğine ihtiyaç vardır [73]. Bu sensör bir televizyon kamerası, çizgi tarama kamerası, video, tarayıcı vb. olabilir. Sensörün çıkışı dijital değilse, görüntüyü dijitalleştirmek için bir analogdan dijitale dönüştürücü gereklidir. Dijital görüntü, bir analog görüntünün örneklenmesi ve nicelenmesinin bir sonucu olarak elde edilir veya zaten dijital biçimde oluşturulur [74].

3.1.2. Önileme

Dijital bir görüntü elde edildikten sonra, sayısal işlemde önce görüntünün verilerini iyileştirmek için çeşitli ön işleme yöntemleri uygulanabilir. Bu aşamada görüntü işlenir ve daha sonraki analizler için uygun bir forma dönüştürülür [75]. Önileme işlemlerine filtrasyon da denir. Bu tür işlemlere yumuşatma, poz düzeltme ve renk dengeleme, gürültü azaltma/giderme, keskinliği artırma, görüntü bulanıklaştırma, görüntü düzlemi ayırma, normalleştirme gibi işlemler örnek olarak verilebilir. Bu aşamadan sonra elde edilen görüntü, segmentasyon adımının girdisidir.

3.1.3. Segmentasyon

Segmentasyon, görüntü işlemedeki en zor aşamalardan biridir. Dijital bir görüntüyü birden çok segmente bölme işlemidir. Bölütleme olarak da adlandırılır. Amaç, bir görüntünün temsilini basitleştirmek, daha anlamlı ve analiz edilmesi daha kolay bir hale getirmektir [76]. Geniş bir segmentasyon süreci, görüntü işlemede tatmin edici bir çözümün sonucunu geciktirir. Öte yandan, zayıf bir segmentasyon süreci çoğu durumda hatalara yol açabilir. Segmentasyon işlemi sonucunda bölgeler arasındaki sınırları oluşturan ham piksel verileri veya hangi pikselin hangi bölgeye ait olduğu bilgisi elde edilir. Görüntü bölütleme, düşük seviyeden orta seviyeye görüntü işleme arasındaki geçişi işaretleyen işlemdir. Özetle birbirine benzeyen, birbiriyle ilişkili olan

alanlar belirlenir ve bölümlere ayrılır. En yaygın olarak kullanılan bölütleme yöntemleri arasında Eşikleme, Kontur Tespiti, Morfolojik Havzalar ve Bölge Büyütme yöntemleri bulunmaktadır [74].

3.1.4. Özellik çıkarma

Görüntü işleme sisteminde ön işleme aşamasından sonra özellik çıkarımı yapılır. Özellik çıkarma, herhangi bir model sınıflandırmasının oluşturulmasında önemli bir adımdır ve her sınıfı karakterize eden ilgili bilgilerin çıkarılmasını amaçlar. Bu süreçte ilgili özellikler nesnelere ayıklanarak kolayca ayırt edilmesi sağlanır. Özellik çıkarma, ham verilerden en önemli verileri alma işlemidir. Amacı karakterin şeklini kesin ve benzersiz bir şekilde tanımlayan parametre kümesini bulmaktır. Özellik çıkarma aşamasında, her karakter, kendi kimliği haline gelen bir özellik vektörü ile temsil edilir. Öznitelik çıkarmanın temel amacı, en az sayıda öğeyle tanıma oranını en üst düzeye çıkaran bir öznitelik kümesi çıkarmak ve aynı sembolün çeşitli örnekleri için benzer öznitelikler oluşturmaktır. Şablon Eşleştirme, Temel Bileşen Analizi, Bağımsız Bileşen Analizi, Lineer Diskriminant Analizi, Fourier Tanımlayıcıları ve Gabor Filtresi en yaygın kullanılan özellik çıkarma yöntemleridir [77].

3.1.5. Tanımlama

Bu aşama, görüntü işlemenin yüksek seviyesini oluşturur. Tanıma, tanımlayıcıları tarafından sağlanan bilgilere dayalı olarak bir nesneye bir etiket atama işlemidir. Ayrıca, bir dizi tanınmış nesneye anlam atamayı içerir [78]. Tanıma algoritmaları, çeşitli görüntü özelliklerinin sayısal özelliklerini analiz eder ve verileri kategorilere ayırır. Tanıma için yapay sinir ağları (ANN), destek vektör makineleri (SVM) ve K-En Yakın Komşu (KNN), Naive Bayes Sınıflandırıcı, Euclidean, Manhattan mesafe ve benzerlik ölçümleri oldukça sık kullanılır [74].

3.1.6. Bilgi tabanı

Bilgi tabanı, belirli bir alanın bilgisinden oluşur. Herhangi bir karar verme sisteminin kalbidir [79]. Tüm işleme modülünün çalışmasına rehberlik eder ve modüller arasındaki etkileşimi kontrol eder.

Bilgi tabanı olarak, her bir görüntü işleme uygulamasının veri tabanı ayrı ayrı tutulur. Araştırmacılar bu veritabanına bilgi tabanından ulaşabilir. Bir kişinin veritabanına nasıl erişebileceği, ne tür tekniklerin kullanıldığı ve görüntü işleme için veritabanının tek tek nasıl okunacağı gibi bilgiler verir. Ayrıca programlama kodu bile bilgi tabanında bulunur. Örneğin, segmentasyon aşamasında ne tür bir gürültü olduğu, görüntüdeki gürültüyü gidermek veya azaltmak için hangi tekniğin nasıl kullanıldığı hakkında bilgi sağlayabilir ve farklı teknikler sunabilir. Bu sayede kullanılan yöntemlerin karşılaştırabilmesini sağlar [80].

3.2. OpenCV Kütüphanesi

Bu tezde uykululuk hali tespit uygulamasının gerçekleştirilmesinde OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır. OpenCV, açık kaynak kodlu bir bilgisayarlı görü kütüphanesidir. C ve C++ programlama dilinde yazılmıştır ve Windows, Linux, Android, Mac OS ve IOS ortamlarında icra edilebilir. Python, Matlab, Java ve diğer diller için geliştirme arayüzüne sahiptir [81].

Gerçek zamanlı uygulamalara odaklanarak hesaplama verimliliğini arttıracak şekilde tasarlanmıştır. Optimize edilmiş ve C++ dilinde yazılmıştır. Çok çekirdekli işlemcilerden faydalanabilir. Intel mimarisinde birçok algoritma için düşük seviyede optimize edilmiş rutinlerinden oluşan Entegre Performans İlkeleri (Integrated Performance Primitives - IPP) kütüphanesinin sistemde kurulu olması durumunda OpenCV otomatik olarak kullanılır.

OpenCV'nin temel amacı bilgisayarlı görü uygulamalarının hızlı bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olmak ve kullanımı kolay bir altyapı sağlamaktır. OpenCV,

bilgisayarlı görü ile ilgili 500'e yakın fonksiyon içerir. Bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesinin sıkça beraber kullanımından dolayı genel amaçlı bir MLM (Machine Learning Module) kütüphanesi de mevcuttur. Bu alt kütüphane istatistiksel örüntü tanıma ve kümelemeye odaklanmıştır. MLM, OpenCV'nin özünde olan bilgisayarlı görü için oldukça kullanışlıdır, ancak herhangi bir makine öğrenimi probleminde kullanılabilecek kadar da geneldir [81].

3.3. Yüz Tespiti

Yüz algılama sistemlerinde giriş olarak verilen görüntüde öncelikle yüzün tespit edilmesi gerekir. Video veya resimde yüzün olup olmadığı ve varsa yüzün konumunun nerede olduğu belirlenir. Yüz tanıma, yüz ifadesi tespiti, insan-bilgisayar etkileşimi, yüz doğrulama ve yüz modelleme gibi uygulamaların başlangıç aşamasıdır ve yüz tespitinin doğru yapılması sistemin doğruluğunu etkilemektedir. Ancak görüntüde yüzü algılamayı zorlaştıran ve engelleyen bazı etkenler olabilir [82]. Bu etkenler kısaca şöyle özetlenebilir:

- Yüz tespiti yapılabilecek genel bilgiler olmasına rağmen kişilerin farklı fiziksel özelliklere sahip olması (yüz şekli, ten rengi, çekik gözlülük v.b) her yüzün tespit edilmesini zorlaştırmaktadır.
- Sakal, bıyık gibi özellikler, gözlük ve şapka gibi aksesuarların kullanımı veya makyaj yüzün bölgelerinin tespitini zorlaştırabilir.
- Görüntüde yüzün bir kısmının saçlar, eller veya farklı nesnelere ile kapatılması.
- Yüz görünümünde değişikliğe sebep olan farklı yüz ifadelerinin (gülme, kızma, şaşırma ve konuşma gibi) kullanılması.
- Kamera açısına ve yüzün pozisyonuna (yandan, yukarıdan v.b.) bağlı olarak görüntüde yüzler tespit edilemeyecek şekilde görünebilir veya pozisyona bağlı olarak göz ve kulak gibi yüz bileşenleri tamamen veya kısmen görünmeyebilir.

- Elde edilen video veya resmin, kameranın ekseniyle yaptığı açının farklılığından dolayı (kameranın kişiye göre eğik tutulması) elde edilen görüntünün yönünün değişmesi.
- Görüntü elde edilirken ışık yansımalarının olması, ışık şiddetinin yetersiz olması, kaynak dağılımının orantılı olmaması gibi ışığa bağlı faktörlerin veya sensor ve lens gibi kamera özelliklerinin görüntü üzerinde gürültüye sebep olması.
- Günümüzde var olan yöntemlerin ve teknolojilerin, insanın sahip olduğu görme yetisine göre çok daha yetersiz kalması.

3.3.1. OpenCV ile yüz tespiti

OpenCV ile yüz tespitinde, Viola-Jones tarafından tasarlanan ve son yıllarda yaygın olan kaskad sınıflandırıcı modeli kullanılmaktadır. Bu modelde giriş olarak Viola-Jones tarafından paylaşılan Haar benzeri özellikler kullanılmaktadır.

3.3.1.1. Viola-Jones yüz tespit yöntemi

Viola-Jones sistemi, dijital bir resim veya video çerçevesinde yüz ve nesne tespiti için kullanılabilir. Ayrıca son yıllarda yüz tespiti için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Gerçek zamanda çalışabilme kabiliyetine sahip Viola-Jones yüz tespit sistemi dört ana bileşenden oluşur. Bunlar Haar benzeri özellikler, integral imge, AdaBoost sınıflandırıcı ve elemeli kaskad yapısıdır [82]. Temel olarak bir nesneyi veya yüzü, piksellerdeki farklı yoğunluk ve renk dağılımı bilgisini kullanarak alt parçalara ayırır. Bu parçalar farklı özellik setleriyle ifade edilerek nesne veya yüzün tamamı tanımlanır.

3.4. Python Programlama Dili

Bu tezde uykuluk tespiti için yapılan uygulama Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Python 1991 yılında Guido Van Rossum tarafından geliştirilmiş nesne yönelimli, yorumsal, modüler yüksek seviyeli ve açık kaynak kodlu bir programlama dilidir.

Programlama dilleri insan mantığı ile makine mantığının arasında bir köprü görevi görür. Python programlama dili kolay yazılabilir ve okunabilir şekilde tasarlanmıştır ve diğer programlama dillerine göre daha kolay bir sözdizimine (syntax) sahiptir. Linux, Mac, Windows ve Symbian olmak üzere hemen hemen her işletim sisteminde ve platformda çalışabilir. Python standart kütüphaneleri çok geniştir ve OpenCV kütüphanesini destekler.

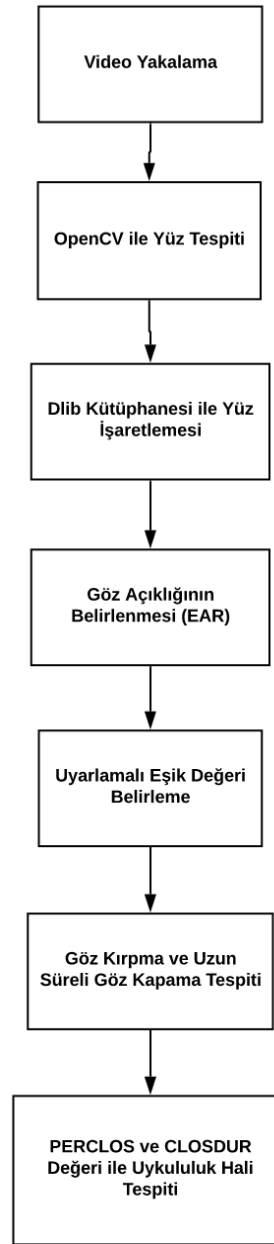
3.5. Dlib Kütüphanesi

Dlib kütüphanesi, açık kaynak kodlu, yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmalarını içeren C++ ile geliştirilmiş kompleks yazılımların oluşturulabileceği bir araçtır. Bu kütüphane C, C++, Java ve Python dillerinde çalışabilmektedir. Yüz tespiti, yüz tanıma ve yüz işaretleme (facial landmarks) gibi uygulamalar Dlib kütüphanesi kullanılarak geliştirilebilir.

3.6. Önerilen Sistem

Bir video boyunca kişinin uykulu olup olmadığını tespit edebilmek için öncelikle video çerçevelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Daha sonrasında elde edilen çerçeveler üzerinde yüz tespiti ve yüz işaretlemesi yapılır. Kişinin göz bölgesinden gelen bilgiler değerlendirilerek göz açıklığı (göz en-boy oranı: EAR) hesaplanır. Elde edilen EAR değerlerinin sabit bir eşik değeri altında kaldığı durumlar göz kırpmaya veya uzun süreli göz kapama olarak belirlenir ve PERCLOS değeri ile uykululuk tespiti yapmak için giriş parametleri olarak kullanılır. Ancak, tüm kişiler ve videolar için sabit bir eşik değeri kullanmak her durumda doğru sonuçlar vermemektedir. Örneğin,

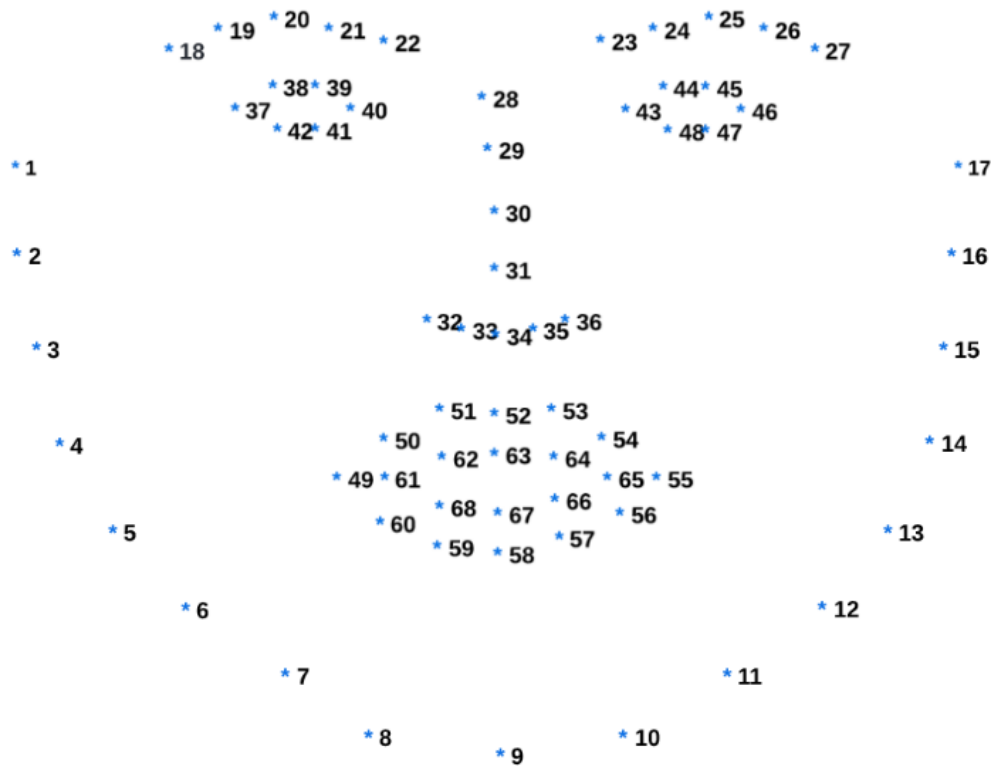
kamera pozisyonu göz hizasından aşağıda ise, göz açık bile olsa EAR değeri eşik değerinden küçük olabilmektedir. Anlık yüz ifadeleri (gülme, konuşma vb.), kafa hareketleri (sağa sola döndürme) ve kişilerin fiziksel özelliklerinden kaynaklı olarak göz açıklıklarının değişmesi hemen hemen her kişi ve duruma uyum sağlayabilen bir uyarlamalı (adaptif) bir eşik değerini ihtiyacını göstermiştir. Bu tezde uyarlamalı bir eşik değeri algoritması önerilmiş ve sabit eşik değeri ile karşılaştırması yapılarak uykululuk hali tespitindeki başarısı değerlendirilmiştir. Sistemin temel olarak çalışma şekli Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Önerilen Sistemin Blok Şeması

3.7. Yüz İşaretlerinin Belirlenmesi

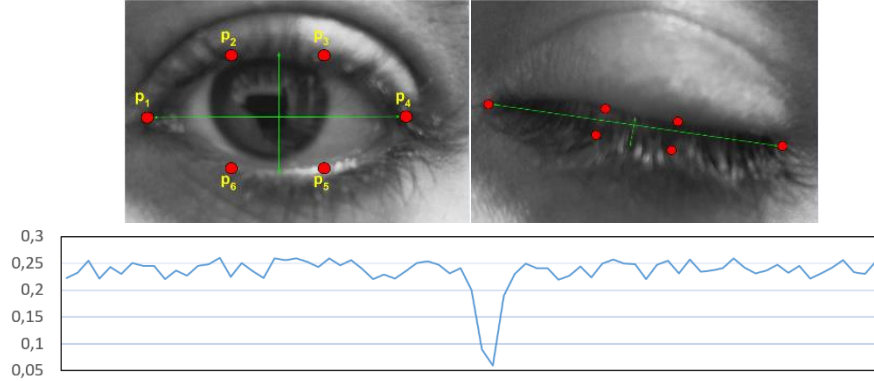
Yüz tespitinden sonra yüz üzerindeki nirengi noktalarının belirlenmesi için Dlib kütüphanesi kullanılmaktadır [83]. Dlib kütüphanesinin içinde önceden eğitilmiş yüz işaretleme dedektörü kullanılarak 68 noktanın koordinatları hesaplanır. Bu koordinatlar Şekil 3.3.'de verilmiştir. Bu tezde gözler için gerekli olan noktalar kullanılmıştır (37-48. noktalar).



Şekil 3.3. Dlib kütüphanesi ile tespit edilen 68 tane yüz işareti

3.8. Göz Açıklığının Belirlenmesi

Tespit edilen yüz işaretlerinden gözlerin açıklık değerinin bulunması için göz bölgesindeki noktalar kullanılır (Örneğin Sağ Göz için: 43, 44, 45, 46, 47, 48 numaralı noktalar). Bu noktaların göz üzerine yerleştirilmiş farklı bir görseli ve göz kırpma sırasında gözlerin açık ve kapalı olduğu durumlardaki EAR değerlerindeki değişimi gösteren grafik Şekil 3.4.'te verilmiştir. Gözlerin açık olduğu sırada EAR değeri 0,25 civarında iken, göz kırpma sırasında 0,1'in altına düşmektedir.



Şekil 3.4. EAR Değişim Grafiği (x eksen: video çerçevesini temsil etmektedir)

Göz çevresine yerleştirilen noktalar Denklem 3.1’de belirtilen şekilde kullanılarak iki gözün açıklık oranı hesaplanır ve ortalaması alınarak her bir video çerçevesi için bir göz en-boy oranı (Eye Aspect Ratio: EAR) belirlenir. Denklemde bulunan p_1 , p_2 , p_3 , p_4 , p_5 ve p_6 yüz işaretlemesinden sonra göz bölgesine karşılık gelen noktaların konumlarını temsil etmektedir.

$$EAR = \frac{||p_2 - p_6|| + ||p_3 - p_5||}{2||p_1 - p_4||} \quad (3.1)$$

3.9. Sabit Eşik Değeri ile Göz Kırpma ve Uzun Süreli Göz Kapama Tespiti

Literatürde göz kırpma testleri sabit bir eşik değeri ile gerçekleştirilmiştir. Göz açıklığının belli bir değer altına düşmesi göz kırpma olarak değerlendirilmiştir. Bu tezde, önerilen uyarlamalı eşik değeri algoritması ile sabit eşik değerini karşılaştırmak için öncelikle sabit bir eşik değeri kullanılmıştır. EAR değerleri hesaplandıktan sonra ilk olarak sabit bir eşik değeri seçilmiştir. Daha sonra EyeBlink8 ve TalkingFace veri setlerindeki videolar üzerinde denemeler yapılmıştır. Belli bir video çerçevesi süresinde EAR değerinin bu eşik değerinin altında kaldığı çerçeveler göz kırpma sayılır. Bir insanın ortalama göz kırpma süresi 100-400 milisaniye arasında olduğu için, en az 4 çerçeve boyunca eşik değerinin altında kalan EAR değerleri göz kırpma olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca uzun süreli göz kapama durumları bir uykululuk göstergesi olduğundan uzun çerçeveler boyunca EAR değerinin bu eşik değerinin altında kalması göz kırpma değil uzun süreli göz kapama olarak değerlendirilmiştir.

3.10. Uyarlamalı (Adaptif) Eşik Değeri ile Göz Kırpma ve Uzun Süreli Göz Kapama Tespiti

Uyarlamalı eşik değerini kestirmek için zamansal EAR değerleri önce ortanca (medyan) filtre ile filtrelenerek büyük ve ani sapmalar ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Her video çerçevesi için medyan filtreden yeni değerler alınmıştır. Daha sonrasında Medyan filtreden geçen değerlerin belirlenen boyutta geriye dönük ortalaması (ortalama filtresi) alınmıştır. Göz kırpmaların algılanması için eşik değerinin EAR değerinden daha küçük bir değere sahip olması gerekmektedir. Ancak ani EAR değişikliklerinin olduğu anlarda eşik değerinin EAR değerinden yüksek olduğu anlar gözlemlenmiştir. Bu yüzden medyan filtre ve ortalama filtre işlemi sonrasında elde edilen sonuçtan göz kırpma sırasında oluşabilecek EAR farkından çok daha küçük bir sabit değer çıkarılarak her çerçevede kendini yenileyen uyarlanabilir bir eşik değeri bulunmuştur. Medyan filtre uzunluğu, ortalama filtresinin uzunluğu ve çıkarılan sabit değer yöntemin parametreleridir ve en iyi sonu veren değerler F1-değerlendirme yöntemiyle deneysel olarak belirlenmiştir.

3.10.1. Medyan filtreleme

Medyan filteme, bir görüntü veya sinyalden gürültüleri gidermek için kullanılan ve doğrusal olmayan bir sayısal işleme tekniğidir. Temel olarak bir sonraki adım için ani sapmaları ve gürültüyü yumuşatarak sonuçlarını iyileştirir. Bu yöntemde, girişin ve komşu sinyallerdeki girişlerin değerine bakarak hesaplama yapılır. Her giriş ve komşuları birer penceredir. Her giriş değeri için bulunduğu pencerenin medyanı (ortancası) alınır ve tekrar giriş olarak verilir. Tüm sinyal boyunca uygulanması kayan pencere olarak adlandırılır. Ayrıca pencere boyutu belirlenebilir. Sonuç olarak, n 'in tek sayı olduğu ve n adet sayının $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ küçükten büyüğe sıralanarak ortada bulunan değerini çıktısı olarak verilmesi olarak tanımlanabilir.

Örneğin beş elemanlı ve pencere boyutu beş olarak belirlenmiş tek boyutlu bir sinyal medyan filter uygulanırsa işlem şu şekilde olacaktır:

$$x = (8, 2, 3, 5, 7), \quad y_l = \text{medyan} (8, 2, 3, 5, 7) = 5, \quad y = (y_l) = (5)$$

Tezde uyarlamalı eşik değeri belirlenmesinde, her video çerçevesinde gelen EAR değerleri belirlenen pencere boyutu ile medyan filtreye giriş değeri olarak verilir. En iyi sonucu veren pencere boyutu F1 değerlendirme yöntemiyle test edilerek belirlenmiştir.

3.10.2. Ortalama (Mean) filtresi

Ortalama filtresi, bir sinyal veya görüntüdeki gürültüyü gidermek için kullanılan bir başka yöntemdir ve matematiksel aritmetik ortalamaya dayanır. İlk olarak ortalaması alınacak değerlerin boyutu (adeti) belirlenir. Giriş değerleri belirlenen boyutta ortalaması alınmış değerler olarak değiştirilir.

Uyarlamalı eşik değerinin belirlenmesinde, medyan filtreden çıkış olarak alınan değerler ortalama filtresinin giriş değerleridir. Ortalama filtresinin boyutu F1 değerlendirme yöntemiyle belirlenmiştir. Her bir giriş değeri, belirlenen boyutta kendinden önce gelen değerler ile ortalama filtre işlemine alınır.

Ortalama filtresi, uyarlamalı eşik değerinin belirlenmesinin bir önceki adımıdır. Eşik değerinin EAR değerinden yüksek olduğu durumları ortadan kaldırmak için son olarak ortalama filtresinden elde edilen çıktılarından göz kırpması sırasında oluşabilecek EAR farkından çok daha küçük bir sabit değer çıkarılarak uyarlamalı eşik değeri elde edilmiştir. Sabit değer belirlenmesinde F1 değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.

3.11. F1- Değerlendirme Yöntemi

F1- Değerlendirme (F1-Score) bir veri kümesindeki modelin doğruluğunun bir ölçüsüdür. Modeldeki örnekleri pozitif veya negatif olarak ayıran ikili sınıflandırma sistem değerlendirmek için kullanılır. F1 Değerlendirme hesaplanırken modelin hassasiyeti ve keskinliği hesaplanır. Hassasiyet (duyarlılık) pozitif olarak sınıflandırılan örneklerin toplam gerçek pozitif örnek sayısı içindeki oranıdır. Başka

bir deyişle, doğru pozitif sayısının, doğru pozitif (DP) ve yanlış negatif (YN) toplamına bölünmesidir. Keskinlik ise, doğru pozitif olarak sınıflandırılan örneklerin, doğru pozitif ve yanlış pozitif (YP) toplamına bölünmesidir. Hassasiyet, Keskinlik ve F1 Değerlendirme formülü Denklem 3.2’de verilmiştir.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP + YN}, \quad \text{Keskinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (3.2)$$

$$\text{F1 Değerlendirme} = 2 \frac{\text{Hassasiyet} \times \text{Keskinlik}}{\text{Hassasiyet} + \text{Keskinlik}}$$

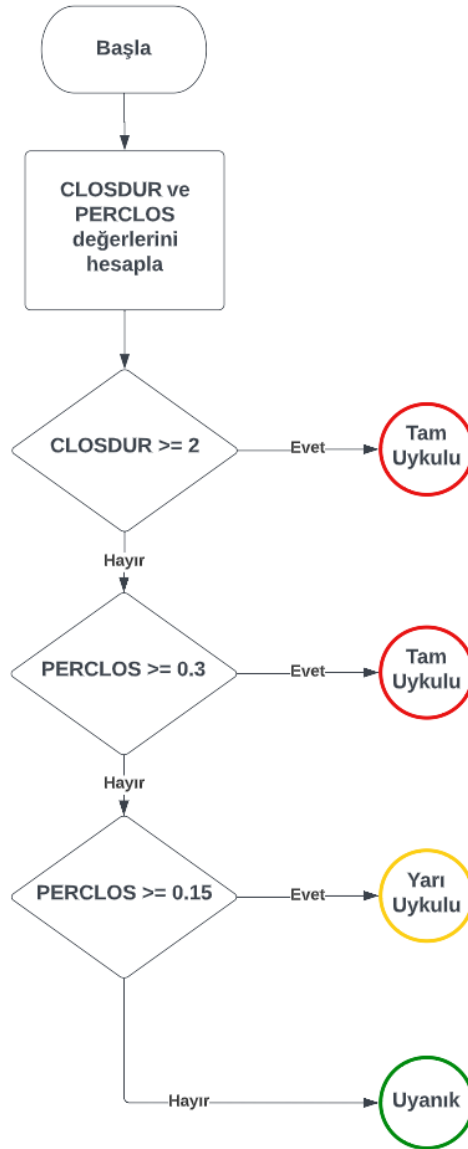
F1 Değerlendirme, EyeBlink8 ve TalkingFace veri kümelerine ait videolar üzerinde göz kırpmaların doğruluğunu ve sistemin giriş parametrelerini (Sabit değer, Medyan Filtre ve Ortalama Filtre boyutu) belirlemek için kullanılmıştır. Videolardaki her bir çerçeve için göz kırpması 1 değeri, kırpması 0 değeri ile gösterilmektedir. Modelin göz kırpması olarak algıladığı göz kırpmaları kestirilen değerler, veri kümesine ait gerçek göz kırpması değerleri ise gerçek doğru değerler olarak adlandırılmıştır. Bir çerçevede her iki değerin de (gerçek doğru ve kestirilen) 1 olması doğru pozitif (DP), her iki değerin de 0 olması doğru negatif (DN), gerçek değerin 0 olduğu ama kestirilen değerin 1 olması yanlış pozitif (YP), gerçek değerin 1 ama kestirilen değerin 0 olması ise yanlış negatif (YN) olarak sayılmaktadır. Bu değerlerden F1 skoru hesaplanır.

3.12. Uzun Süreli Göz Kapamalar (CLOSDUR) ile Uykululuk Tespiti

Uzun süreli göz kapamaları da bir göz kırpması olarak algılanır. Ancak gözlerin uzun süreli kapalı olması önemli bir uykululuk göstergesidir. Bu yüzden gözlerin belli bir süreden (video çerçevesi) fazla kapalı olması göz kırpması olarak değil uzun süreli göz kapama olarak değerlendirilir. Literatürde uzun süreli göz kapama ve PERCLOS yöntemiyle uykululuk tespiti beraber kullanılmıştır. Gözün 2 saniyeden daha fazla kapalı kaldığı durumlar (CLOSDUR ≥ 2) uykulu olarak etiketlenmiştir [84]. Bu tezde uzun süreli göz kapamaları uyarlamalı eşik değeri ile tespit edilmiştir.

3.13. PERCLOS Değeri ile Uykululuk Tespiti

Gözün son bir dakika içinde kapalı kaldığı sürenin yüzdesel ifadesi PERCLOS (percentage of closure) uykululuk tespiti için literatürde kullanılmaktadır [2], [6]. Daha önceki çalışmalarda PERCLOS değerinin 0,15'ten küçük olması uyanık, 0,15'ten büyük veya eşit olması yarı uykulu, 0,3'ten büyük veya eşit olması ise tam uykulu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca CLOSDUR yöntemi 2 saniyeden fazla kapalı kalması uykulu olarak etiketlenmiştir [6]. PERCLOS ve CLOSDUR algoritmalarının bir arada kullanıldığı akış şeması Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. CLOSDUR ve PERCLOS algoritmalarının beraber kullanıldığı akış şeması [84]

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. F1- Değerlendirme Sonuçları ve Sistem Parametre Değerleri

Göz kırpma tespitinin performansını ölçmek için EyeBlink8 ve TalkingFace veri kümelerindeki tüm videolar ile deneyler yapılmıştır. Uyarlamalı eşik değeri yönteminin doğruluğunu belirlemek amacıyla veri kümelerinde bildirilmiş olan göz kırpmaların gerçek referansları ile önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her video çerçevesinde bildirilen göz kırpma var/yok gerçek referans bilgisinin önerilen yöntemden elde edilen göz kırpmalar ile ne kadar eşleştiği bulunmuştur. Eşleşme sonucunu görmek ve sistemin giriş parametrelerini belirlemek için F1-Değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.

Veri kümelerine ait videolarda en iyi sonucu veren giriş parametreleri farklı olabilmektedir. Tablo 4.1.'de farklı parametreler ile EyeBlink8 ve TalkingFace veri kümelerine ait videolardaki en iyi F1 değerleri verilmiştir. EyeBlink8 veri kümesine ait Video 1' de yüz tespitini zorlaştıran durumlar olduğu için elde edilen sonucun başarı değeri düşüktür. Ancak yüz tespitinin nispeten daha kolay olduğu Video 2, Video 9 ve TalkingFace veri kümesine ait videoda başarı değeri çok daha yüksektir.

Tablo 4.1. Veri kümelerinin her videosundan farklı parametreler ile elde edilen en iyi F1 değerleri

Veri Seti	Farklı Parametreler ile En İyi F1-Değerlendirme Sonuçları
Eyeblink8 – Video 1	0,389
Eyeblink8 – Video 2	0,814
Eyeblink8 – Video 3	-
Eyeblink8 – Video 4	0,721
Eyeblink8 – Video 8	0,661
Eyeblink8 – Video 9	0,817
Eyeblink8 – Video 10	0,689
Eyeblink8 – Video 11	0,547
TalkingFace	0,852

Bir videoda en iyi sonucu veren parametreler diğer videolarda en iyi sonuç veren parametreler olmayabileceğinden deneme yapılan veri kümelerinde (Eyeblink8 ve TalkingFace) tüm videolarda ortalama olarak en iyi sonucu veren parametre değerleri kullanılmıştır. Tablo 4.2.'de tüm videolar üzerinden hesaplanan ve en iyi F1 skoru veren parametreler ve veri kümelerine ait ortalama F1 değerleri verilmiştir. İki veri kümesinde de en iyi ortalama sonucu veren değerler parametre değerleri olarak belirlenmiştir. EyeBlink8 veri kümesinde yüz tespitinin yapılamadığı videolar bulunduğu için ortalama F1 Değerlendirme sonuçları TalkingFace veri kümesine kıyasla daha düşüktür. Belirlenen parametre değerleri ile elde edilen göz kırpma sayıları ve veri kümelerinden alınan göz kırpmaların gerçek değerleri Tablo 4.3.'te gösterilmiştir. Tablo 4.3.'te görüldüğü gibi bazı videolarda gerçek göz kırpma sayısı tam olarak tespit edilebilmiştir. Diğer videolarda elin yüze gitmesi gibi yüz tespitini zorlaştıran durumlar olduğu için tespit edilen değerlerde sapmalar vardır. TalkingFace videosunda da tespit edilen kırpma sayısı gerçek kırpma sayısına oldukça yakındır (gerçek göz kırpma sayısı 61, kestirilen göz kırpma sayısı 58).

Tablo 4.2. Ortalaması alınmış en iyi F1 skorunu veren parametreler ve veri kümelerine ait ortalama F1 değerleri

Parametreler	Belirlenen Parametre Değerleri
Medyan Filtre Pencere Boyutu	17
Ortalama Boyutu	5
Sabit Değer	0,04
EyeBlink8 Ortalama F1-Değerlendirme	0,665
TalkingFace F1-Değerlendirme	0,846

Tablo 4.3. Deneme yapılan veri kümelerinin tüm videolarına ait gerçek ve kestirilen göz kırpma sayıları

Veri Seti	Gerçek Göz Kırpma Sayısı	Bulunan Göz Kırpma Sayısı
Eyeblink8 – Video 1	35	62
Eyeblink8 – Video 2	87	98
Eyeblink8 – Video 3	65	-
Eyeblink8 – Video 4	31	35
Eyeblink8 – Video 8	30	39
Eyeblink8 – Video 9	41	41
Eyeblink8 – Video 10	72	85
Eyeblink8 – Video 11	43	43
TalkingFace	61	58

4.2. Göz Açıklığı ve Göz Kırpma Tespiti Sonuçları

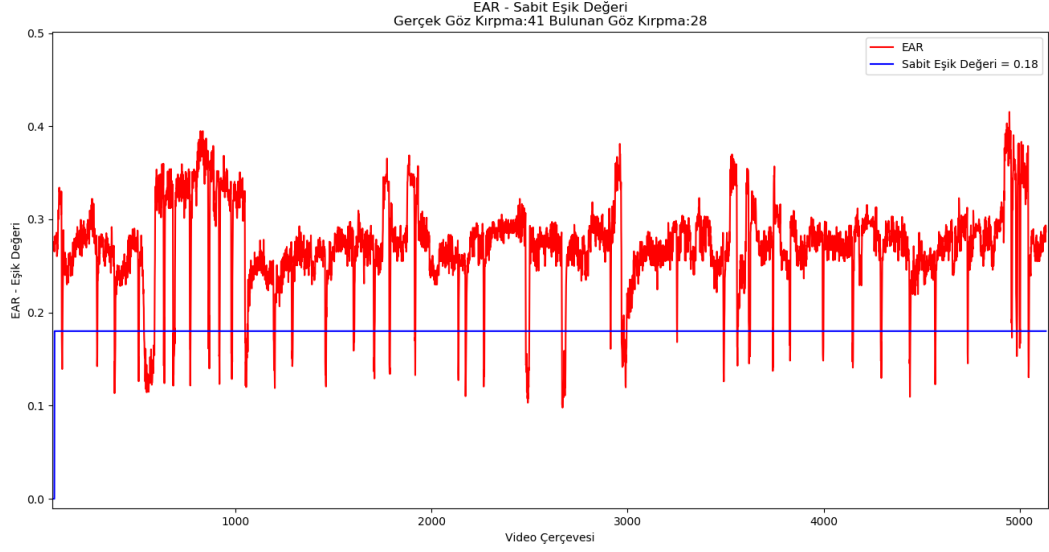
EAR değerleri hesaplandıktan sonra ilk olarak sabit bir eşik değeri seçilmiştir. Daha sonra EyeBlink8 ve TalkingFace veri kümelerindeki videolar üzerinde denemeler yapılmıştır. Belli bir video çerçevesi süresinde EAR değerinin bu T'nin altında kaldığı çerçeveler göz kırpma sayılmıştır. Aynı şekilde uzun süreli göz kapama durumları farklı bir uykululuk göstergesi olduğu için uzun çerçeveler boyunca EAR değerinin bu eşik değerinden küçük olması göz kırpma olarak değil uzun süreli göz kapama olarak değerlendirilmiştir.

Sabit eşik değerinin kullanıldığı videolar, Tablo 4.2.'de verilen parametrelerin kullanıldığı uyarlamalı eşik değeri ile tekrar değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen göz kırpmaların veri kümeleri tarafından belirtilen göz kırpmalar ile aynı video çerçevesinde olup olmadığını belirlemek için çalışmalar yapılmıştır.

4.2.1. Sabit eşik değeri ile göz kırpma tespiti sonuçları

Sabit eşik değeriyle göz kırpma tespiti yöntemi, göz açıklığının belirlenen eşik değerinden düşük olduğu durumları göz kırpma olarak algılar. Denemelede sabit eşik değeri 0.18 olarak belirlenmiştir. Göz açıklığının bu sabit eşik değerinden düşük olduğu durumların göz kırpma sayılması için en az 4 video çerçevesi boyunca eşik değeri altında kalması gerekmektedir. EyeBlink8 veri kümesindeki 9 numaralı video için örnek bir EAR değeri çerçeve numarasına göre çizdirilmiş ve Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Sabit bir eşik değeri seçildiğinde eşik değeri üzerinde oluşan göz kırpmalar ve kısa süreli eşik değeri altında kalma durumları gerçek göz kırpma sayısından uzaklaşmaya sebep olmaktadır.

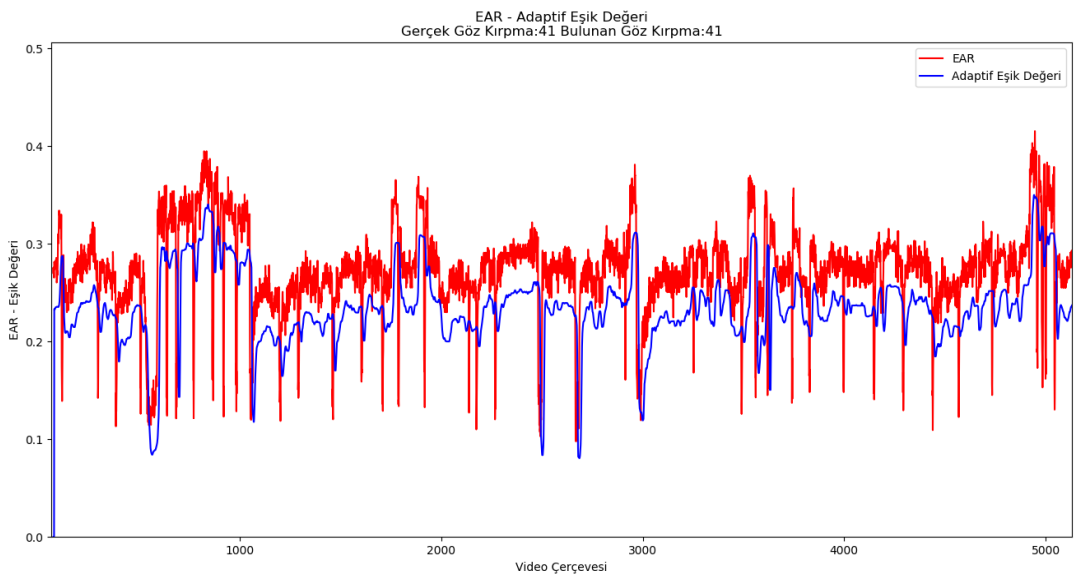
Şekil 4.1.'de verilen örnekte, kırmızı çizgi EyeBlink8 veri kümesindeki 9 numaralı videonun her çerçeve için EAR değerlerini göstermektedir. Mavi çizgi ise belirlenen sabit eşik değerini göstermektedir. Örnek olarak verilen videoda 41 tane gerçek göz kırpma bulunmasına rağmen, sabit eşik değeri ile 28 tane göz kırpma bulunmuştur.



Şekil 4.1. EyeBlink8 veri kümesine ait 9 numaralı videoda sabit eşik değeri ile göz kırpma tespiti

4.2.2. Uyarlamalı (adaptif) eşik değeri ile göz kırpma tespiti sonuçları

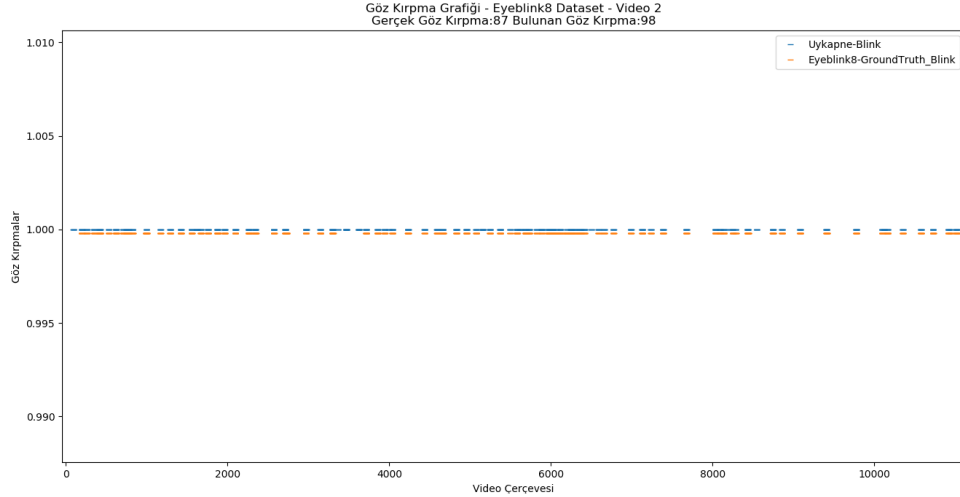
Belirlenen parametre değerleri ile uyarlamalı eşik değeri yöntemi EyeBlink8 ve TalkingFace veri kümelerine ait her videoda denenmiştir. Sabit eşik değeri ile göz kırpma tespiti denemelerinin yapıldığı ve EyeBlink8 veri kümesine ait 9 numaralı video, uyarlamalı eşik değeri ile çizdirilmiş ve Şekil 4.2.'de verilmiştir. Uyarlamalı eşik değeri, videodaki kişinin uyanıklık halinin EAR değerleri ile orantılı olarak değiştiği için hemen hemen her EAR değerindeki göz kırpmayı yakalar ve kısa süreli göz kırpmalar gerçek bir göz kırpma ise tespitini yapar.



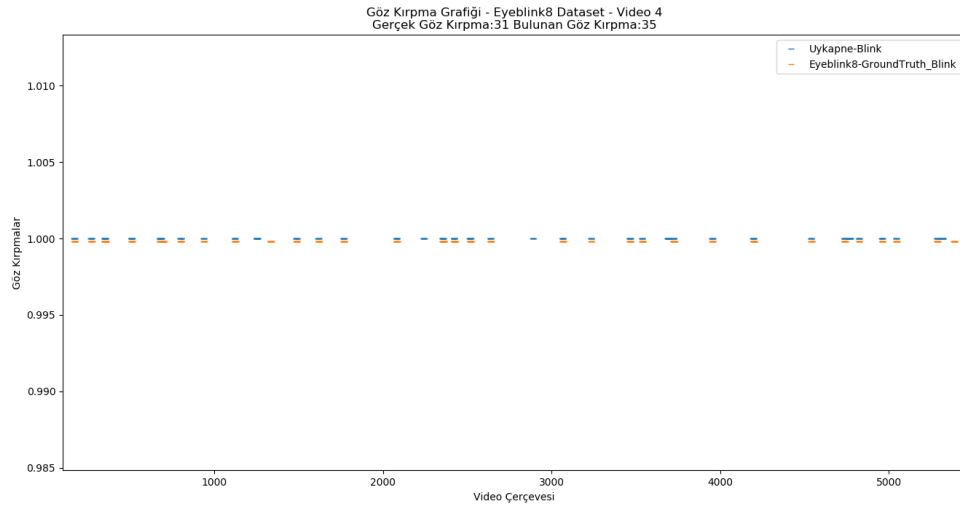
Şekil 4.2. EyeBlink8 veri kümesine ait 9 numaralı videoda uyarlamalı eşik değeri ile göz kırpma tespiti

Şekil 4.2.'de verilen örnek grafikte, kırmızı çizgi Eyeblink8 veri setindeki 9 numaralı video için EAR değerlerini, mavi çizgi ise uyarlamalı (adaptif) eşik değerini göstermektedir. Doğru kırpma sayısı 41, kestirilen kırpma sayısı da 41'dir.

Uyarlamalı eşik değeri sayesinde gerçek göz kırpma sayısı ile aynı değer kestirilmiştir. Ancak göz kırpma sayılarının aynı olması kestirimin her çerçevede doğru olduğunu göstermeye yetmez. Her çerçeve üzerindeki doğruluğun değerlendirilmesi F1-Değerlendirme yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen DP ve YP kestirilen göz kırpmaları, DP ve YN ise veri kümesi tarafından belirtilen gerçek göz kırpmalarını temsil etmektedir. Farklı videolara ait, uyarlamalı eşik değeri ile elde edilen göz kırpmalar ve veri kümelerinin belirttiği göz kırpmalar Şekil 4.3.'te verilmiştir.

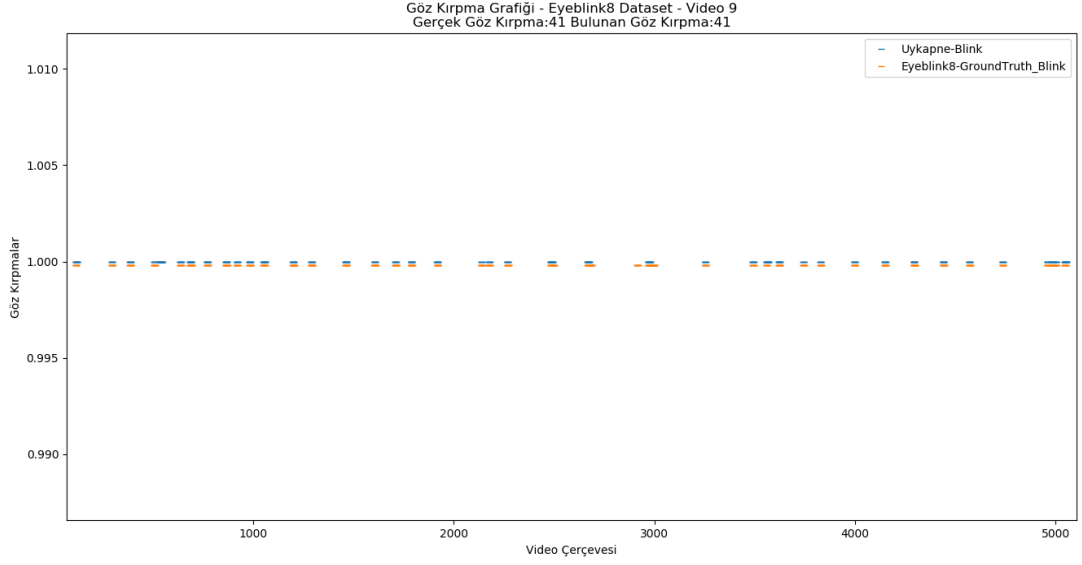


(a) Eyeblink8 Veri seti 2 Numaralı Video Göz Kırpma Sayıları ve Karşılaştırılması

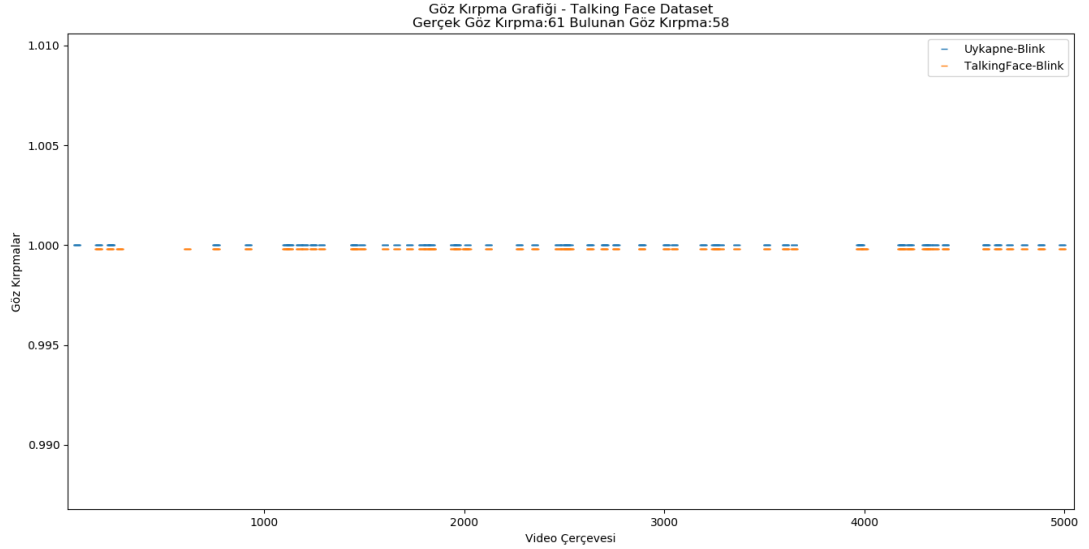


(b) Eyeblink8 Veri kümesi 4 Numaralı Video Göz Kırpma Sayıları ve Karşılaştırılması

Şekil 4.3. Veri setlerindeki videolara ait gerçek ve kestirilen göz kırpma sayıları ve karşılaştırmaları



(c) Eyeblink8 Veri kümesi 9 Numaralı Video için Göz Kırpma Sayıları ve Karşılaştırılması



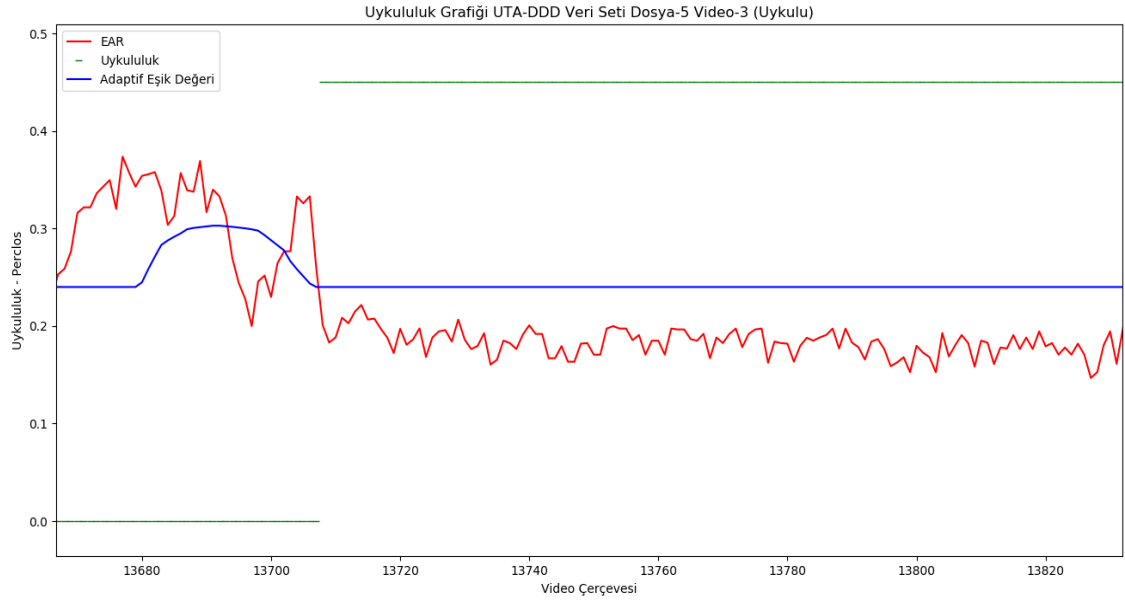
(d) TalkingFace Veri kümesi için Göz Kırpma Sayıları ve Karşılaştırılması

Şekil 4.3. (Devamı)

Şekil 4.3. (a), (b), (c) ve (d) grafikleri, kullanılan veri setlerindeki farklı videoların işlenmesiyle elde edilmiş sonuçlardır. Tüm video boyunca her bir çerçevedeki göz kırpma durumlarını göstermektedir. Turuncu çizgiler (Eyeblink8-GroundTruth_Blink, TalkingFace-Blink) gerçek referans kırpmaları, mavi çizgiler (Uykapne-Blink) ise kestirilen kırpmaları göstermektedir. Veri kümelerine videolara ait Gerçek Göz Kırpma sayısı ve Kestirilen Göz Kırpma sayısı, her grafiğin başlığında belirtilmiştir. Özellikle (c) ve (d) grafiklerinde gerçek göz kırpmalar ile kestirilen göz kırpmaların oldukça iyi örtüştüğü görülmektedir.

4.3. Uzun Süreli Göz Kapamalar (CLOSDUR) ile Uykululuk Tespiti Sonuçları

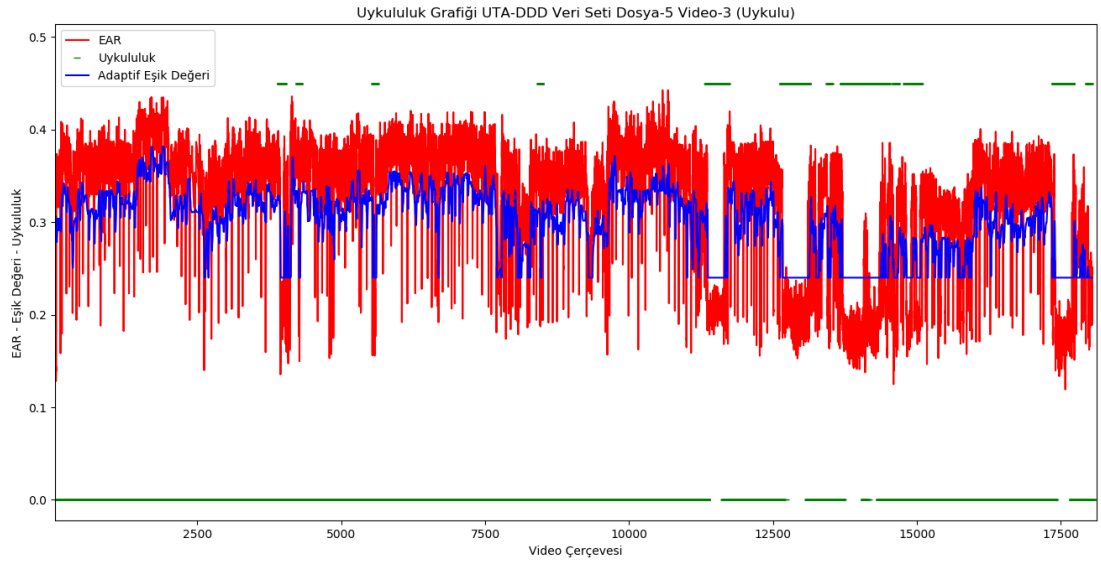
Uyarlamalı eşik değeri, uzun süreli göz kapamaları yakalamakla beraber göz kırpma olarak algılanabilecek uzun süreli göz kapamaların tespitini de sağlar. Uzun süreli göz kapamalarda gözün kapanıp tekrar açıldığı çerçevelerde uyarlamalı eşik değeri ortalamasının düşmemesi için gözün kapalı olduğu çerçeveler boyunca uyarlamalı eşik değeri en son açık olduğu durumdaki eşik değerini alacak şekilde sabit tutulmuştur. Minimum göz kırpma süresi 4, maksimum göz kırpma süresi 15 video çerçevesi olarak belirlenmiştir. Daha uzun çerçeveler boyunca gözün kapalı olması uzun süreli göz kapama olarak değerlendirilmiştir.



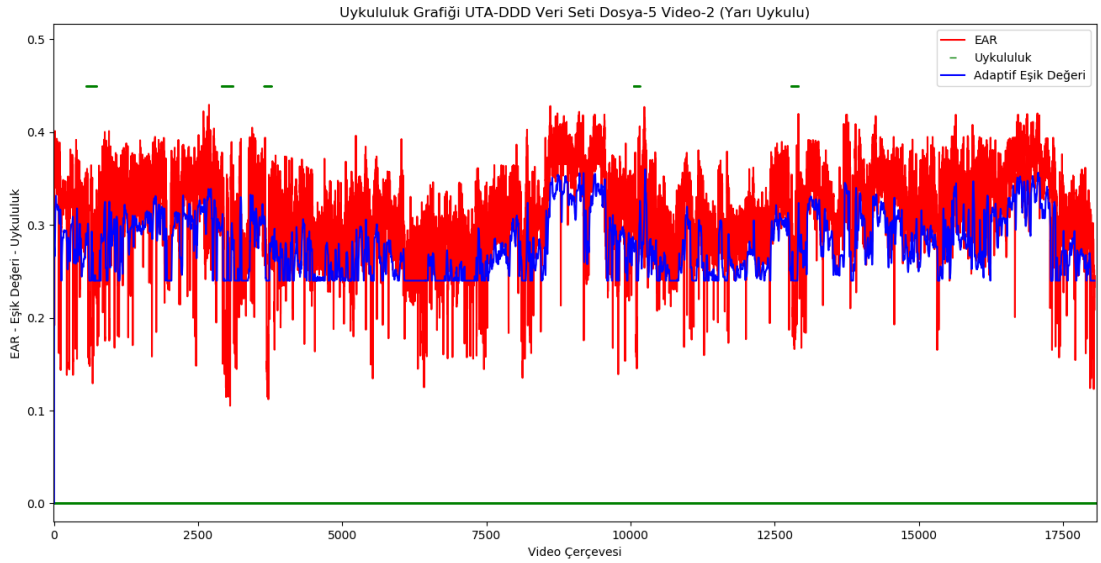
Şekil 4.4. Uykulu etikete sahip videoda uykululuğun başladığını gösteren örnek çerçeveler

Uzun süreli göz kapama denemeleri UTA-RLDD veri kümesindeki videolardan yararlanılarak yapılmıştır. Bu veri kümesinde video bazında gerçek referans etiketleri sağlanmış olup, her video için uyanık, yarı uykulu veya uykulu şeklindedir. Uykulu olarak etiketlenmiş bir videoya ait örnek Şekil 4.4.'te verilmiştir. Kırmızı çizgi EAR değerini, mavi çizgi uyarlanabilir eşik değerini, yeşil çizgi ise uzun süreli göz kapama yöntemi (CLOSDUR, closed duration) ile uykulu olarak işaretlenmiş çerçeveleri göstermektedir.

Şekil 4.5.'te, uykulu, yarı uykulu ve uyanık gerçek etiketine sahip üç video için uykululuk tespiti sonuçları verilmektedir. Şekil 4.5. (a) ve (b) videoları için en üst kısımdaki kesikli yeşil çizgiler ile belirtilen çerçeveler boyunca CLOSDUR yöntemi kullanarak uykululuk tespiti yapılmıştır. Uykulu etikete sahip videoda daha fazla sayıda yeşil işaret görülmektedir. Şekil 4.5. (c) videosu için uykululuk tespiti maksimum göz kırpması süresi 15 olarak belirlendiğinde bile sadece bir bölgede uykululuk gözükmemektedir ve gerçek referans etiketi ile uyumludur.

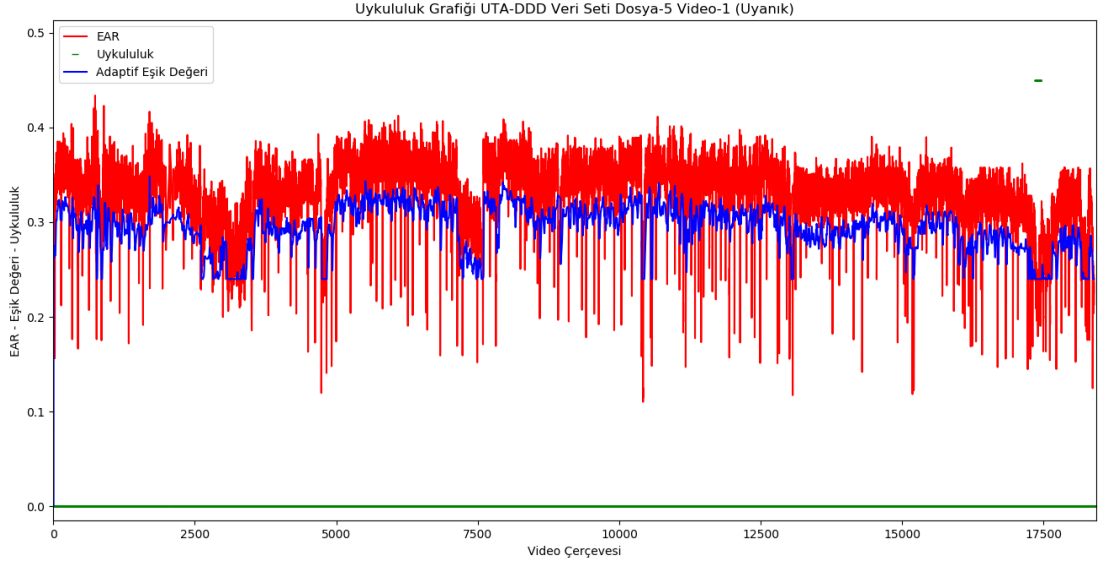


(a) Uykululuk grafiği UTA-RLDD Veri Kümesi dosya-5 video-3 (uykulu)



(b) Uykululuk grafiği UTA-RLDD Veri Kümesi dosya-5 video-2 (yarı uykulu)

Şekil 4.5. UTA-RLDD veri kümesine ait farklı etiketlerine sahip videolarda CLOSDUR ile uykululuk tespiti



(c) Uykululuk grafiği UTA-RLDD Veri Kümesi dosya-5 video-1 (uyanık)

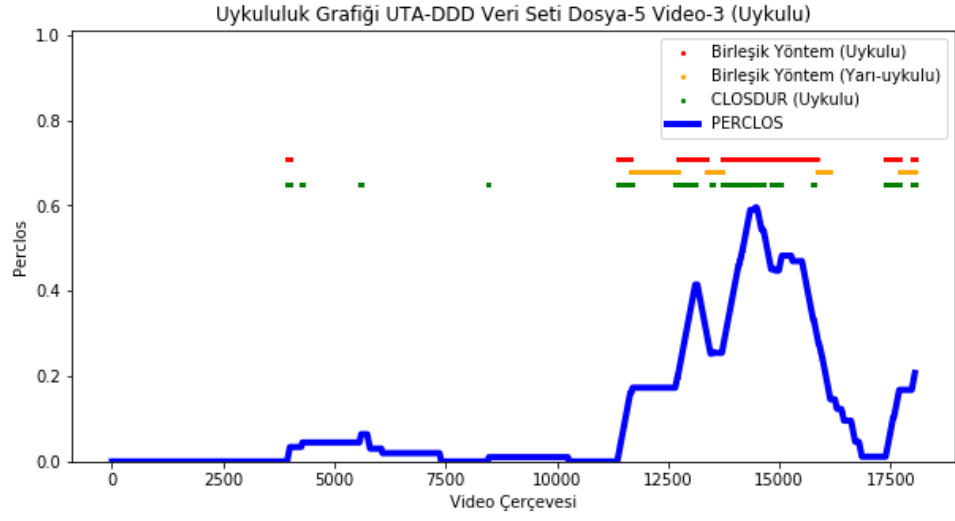
Şekil 4.5. (Devamı)

4.4. PERCLOS ve CLOSDUR Değerleri ile Uykululuk Tespiti Sonuçları

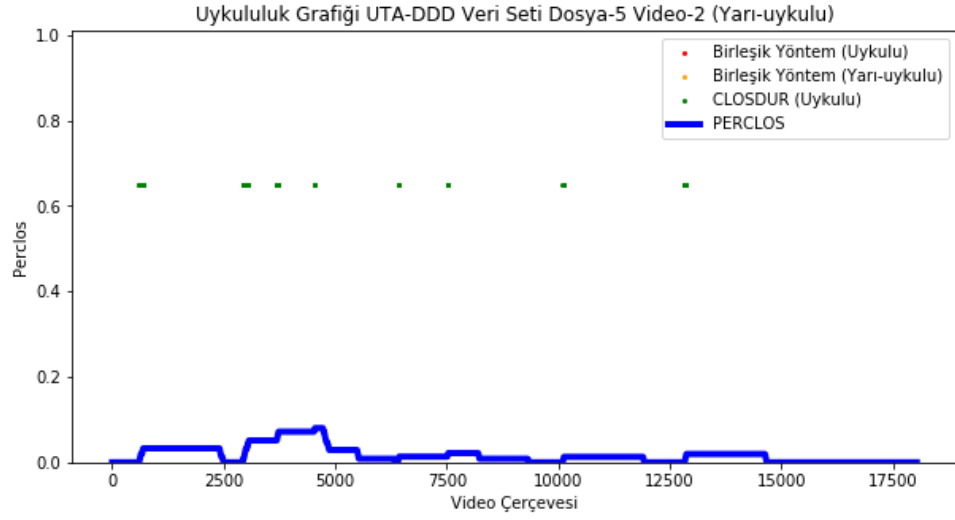
PERCLOS ile uykululuk tespitinde, gözün bir dakika içinde kapalı olduğu sürenin yüzdesel ifadesi kullanılmaktadır. PERCLOS değeri 0,3'e eşit veya daha büyükse tam uykulu, 0,15'e eşit veya daha büyükse yarı uykulu, diğer durumlarda ise uyanık olarak etiketlenir. Videolar boyunca gözün kapalı olduğu çerçeveler 1, açık olduğu çerçeveler 0 olarak etiketlenmiştir. Üzerinde bulunulan çerçeveden bir dakika öncesine kadar karşılık gelecek çerçeve boyunca gözlerin kapalı olduğu çerçeveler belirlenmiş ve yüzdesel olarak PERCLOS değeri hesaplanmıştır.

CLOSDUR yöntemi tam uykulu veya uyanık olmak üzere iki şekilde sınıflandırma yapmaktadır. Gözün kapalı olduğu çerçeve sayısı iki saniyeye karşılık gelecek çerçeve boyutuna ulaştığında PERCLOS değerine bakılmaksızın tam uykulu etiketi üretilir.

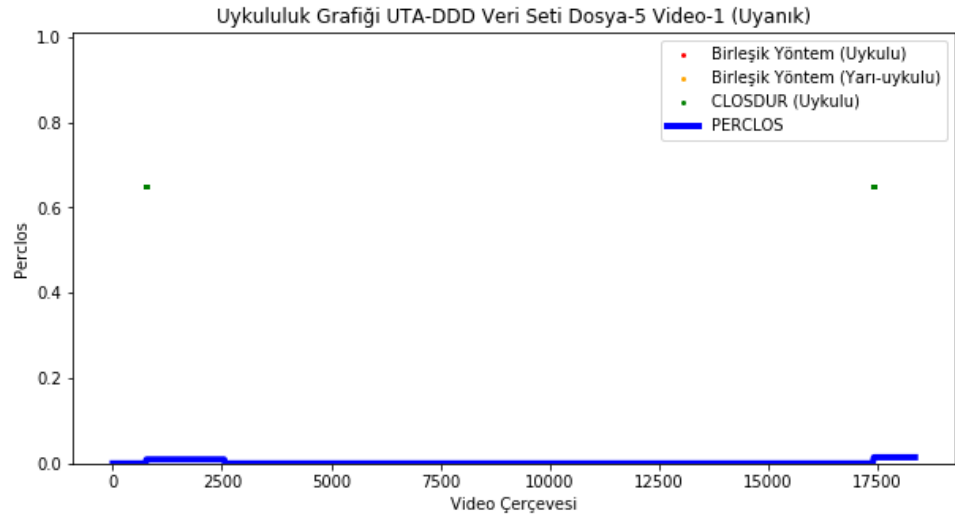
Birleşik yöntem, PERCLOS ve CLOSDUR yöntemlerini bir arada kullanarak uyku durumunu belirlemektedir. Literatürde bu yöntemin daha başarılı olduğu görülmektedir [86]. Yarı uykulu etiketi sadece PERCLOS yöntemi ile sağlanırken, tam uykulu etiketi CLOSDUR veya PERCLOS yöntemlerden birinin şartının sağlanması halinde verilmektedir.



(a) UTA-RLDD Veri Kümesi dosya-5 video-3 (uykulu)



(b) UTA-RLDD Veri Kümesi dosya-5 video-2 (yarı uykulu)



(c) UTA-RLDD Veri Kümesi dosya-5 video-1 (uyanık)

Şekil 4.6. UTA-RLDD veri kümesine ait farklı etiketlere sahip videolar üzerinde uykululuk hali tespiti

Şekil 4.6.'te UTA-RLDD veri kümesine ait üç video için PERCLOS değeri (mavi çizgi) gösterilmektedir. Uykulu etikete sahip videoda PERCLOS değerleri 0,3'ün üzerine çıkmaktadır. Yarı uykulu etikete sahip videoda 0,1'in altında değerler görülmektedir. Bu grafiklerde bir önceki başlıkta bahsedilen uzun süreli göz kapama yöntemi (CLOSDUR - yeşil nokta), PERCLOS yöntemi ve iki yöntemin bir arada değerlendirildiği Birleşik Yöntem (kırmızı ve turuncu noktalar) gösterilmiştir.

Şekil 4.6. (b) ve (c) grafiklerine ait videolar veri kümesi tarafından uyanık ve yarı uykulu olarak etiketlenmiştir. Bu grafiklerde PERCLOS veya Birleşik Yöntem ile tam uykulu veya yarı uykulu etiketlemesi yapılmamıştır ve gerçek referans etiketler ile uyumludur. Ancak bazı çerçeveler boyunca CLOSDUR ile uykululuk hali tespit edilmiştir ve yarı uykulu etikete sahip videoda daha çoktur.

Şekil 4.6 (c) grafiği, veri kümesi tarafından tam uykulu olarak etiketlenmiştir ve elde edilen sonuçlarda hem PERCLOS hem CLOSDUR hem de Birleşik Yöntem ile tam uyku hali tespit edilmiştir. Özellikle videonun sonuna doğru uykululuk halinin başladığı görülmektedir. Uykululuk halinin başlamasından itibaren CLOSDUR tarafından etiketleme yapılamayan çerçevelerde PERCLOS değeri kullanılarak Birleşik Yöntem ile yarı uykulu etiketleme yapılması ve gerçek referans değerleri ile uyumlu olması iki yöntemin (PERCLOS ve CLOSDUR) birlikte kullanılarak daha doğru sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tezde, görüntü işleme teknikleri kullanılarak göz kırpma, uzun süreli göz kapama ve uykululuk hali tespiti çalışmaları yapılmıştır ve uyarlamalı bir eşik değeri algoritması önerilmiştir.

Uykululuk tespitinde, göz bölgesinden gelen göz kırpma, uzun süreli göz kapama ve gözün kapalı kaldığı sürenin yüzdesel ifadesi önemli bir bilgiye sahiptir. Literatürde göz kırpma ve uzun süreli göz kapama tespiti sabit bir eşik değeri kullanılarak yapılmaktadır. Ancak kişilerin fiziksel özellikleri, kamera açısı, ışık yansımaları gibi birçok durum kişilerin göz açıklığı değerinin hesaplanmasında bir etkendir. Sabit bir eşik değeri ile yapılan göz kırpma ve uzun süreli göz kapama tespiti birçok durumda doğru sonuçlar üretememektedir. Bu yüzden kişilerin fiziksel özelliklerine, kameraya olan uzaklıklarına, göz açıklığı belirlenemeyen durumlara uyum sağlayabilecek uyarlamalı bir eşik değeri algoritması önerilmiştir. EyeBlink ve TalkingFace veri kümeleri üzerinde iki yöntem kullanılarak göz kırpma tespiti çalışmaları yapılmıştır. Uyarlamalı eşik değeri ile elde edilen göz kırpma sayıları, sabit eşik değeri ile elde edilmiş göz kırpma sayısının aksine, veri kümeleri tarafından bildirilmiş olan gerçek göz kırpma sayıları ile uyumludur. Yapılan çalışmalar uyarlamalı eşik değeri algoritmasının, sabit eşik değerine göre çok daha doğru sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Önerilen uyarlamalı eşik değeri algoritması F1-Değerlendirme ile değerlendirildiğinde elde edilen göz kırpma sonuçları kullanılan veri kümelerinin gerçek referansları ile uyumludur. Özellikle bazı videolarda göz kırpmaların tamamının tespit edildiği belirlenmiştir. Tespit edilen göz kırpmaların bulunduğu video çerçevelerinin veri kümesi tarafından bildirilen çerçeveler ile uyumlu olması, göz kırpma sayısının yanında göz kırpmaların doğru zamanda tespit edildiğini de göstermektedir. Önerilen uyarlamalı eşik değeri ile göz kırpma tespiti yapılan EyeBlink8 veri kümesine ait

videolarda farklı parametreler (medyan filtre pencere boyutu, ortalama boyutu ve sabit değer) kullanılarak elde edilen en iyi F1 değeri 0,817, en kötü F1 değeri 0,389 olarak bulunmuştur. TalkingFace veri kümesinde en iyi F1 değeri ise 0,852 olarak bulunmuştur. Ortak parametreler kullanılarak EyeBlink8 veri kümesine ait tüm videolar için ortalama F1 değeri 0,665, TalkingFace veri kümesinde ise 0,846 olarak bulunmuştur. Düşük F1 değerleri elde edilen bazı videolarda (EyeBlink8 – Video 1) yüz tespitini zorlaştıran (el veya başka bir cisimle yüzü kapatma, başı sağa sola çevirme vb.) durumların fazla olması, yüz tespitine engel olan durumlardan dolayı göz kırpma tespiti yapılamadığını göstermektedir. Ayrıca yüz tespitini zorlaştıran durumların çok daha az olduğu TalkingFace veri kümesindeki F1 değerinin daha yüksek olması bu sonucu doğrulamaktadır.

Uzun süreli göz kapamalar, göz bölgesinden gelen ve uyku hali tespitinde kullanılan en önemli işaretlerden biridir. Göz kırpma tespitinin doğru şekilde yapılması uzun süreli göz kapamaların da daha etkin şekilde tespit edilmesini sağlamaktadır. Uzun süreli göz kapamalarda birer göz kırpma olarak hatalı şekilde tespit edilebilir. Bu durumun önüne geçmek için göz kırpma süresi belirlenmiştir. Bir insanın ortalama göz kırpma süresi 100-400 milisaniyedir ve deneme yapılan veri kümelerine ait videolar 30 fps ile kaydedildiği için en kısa göz kırpma süresi 4, en uzun göz kırpma ise 15 video çerçevesi olacak şekilde belirlenmiştir. Önerilen uyarlamalı eşik değeri modelinde her çerçevede eşik değeri hesaplanmaktadır. Özetlemek gerekirse, EAR değerleri belirlenen eşik değerinin altında 4 çerçeveden daha az kalırsa göz kırpma yok, 4-15 çerçeve aralığının altında kalırsa göz kırpma var, 15 çerçeveden daha fazla altında kalırsa uzun süreli göz kapama olarak değerlendirilmiştir. Uzun süreli göz kapamalar, CLOSDUR yönteminde kullanılmaktadır. Gözün kapalı olduğu süre 2 saniyeyi (60 video çerçevesi) aşıyor ise tam uyku hali olarak etiketleme yapılmaktadır. CLOSDUR yöntemi ile uyku tespiti denemelerinin yapıldığı UTA-RLDD veri kümesine ait uyanık etikete sahip videoda (dosya 5, video 1) sadece bir bölgede uyku hali tespit edilmiştir. Tam uykulu (dosya 5, video 3) ve yarı uykulu (dosya 5, video 3) etiketlere sahip videolarda ise tespit edilen bölge sayısı ve uyku halinin süresi orantılı şekilde artmaktadır. Özellikle tam uykulu

etiketine sahip videoda kişinin uyku halinde olduğu bölgeler kestirilmiştir. Elde edilen sonuç veri kümelerinin paylaştığı etiketler ile uyumludur.

PERCLOS değeri, gözün 1 dakika içinde kapalı olduğu sürenin yüzdesel ifadesini gösterir. Literatürde PERCLOS yöntemi ile uykuluk tespiti yapılmaktadır. Ancak CLOSDUR ve PERCLOS yöntemlerinin bir arada kullanıldığı Birleşik Yöntemin uykuluk tespitinde daha başarılı sonuçlar ürettiği yapılan çalışma sonucunda görülmüştür. UTA-RLDD veri kümesine ait uyanık etikete sahip videoda (dosya 5, video 1) CLOSDUR yöntemiyle kısa süreli uykuluk hali tespit edilmiştir. Ancak PERCLOS ve Birleşik Yöntem ile uykuluk tespit edilmemiştir. Yarı uykulu etikete sahip videoda (dosya 5, video 2) CLOSDUR yöntemi ile daha fazla ve uzun süreli uykuluk hali tespit edilmiş ve PERCLOS değerinde artış gözlenmiştir. Ancak Birleşik yöntem ile uykuluk tespit edilmemiştir. Bu videodan elde edilen sonuç, veri kümesinin bildirdiği referanstan farklı olarak uyanık olarak etiketlenmiştir. Tam uykulu etikete sahip videoda (dosya 5, video 3) ise CLOSDUR yöntemi ile tam uykulu ve PERCLOS değerindeki artışa bağlı olarak Birleşik Yöntem ile hem yarı uykulu hem tam uykulu etiketlemeler yapılmıştır. Etiketlemenin yapıldığı bölgelerde kişinin uyuduğu videolardan izlenerek gözlenmiştir. Özellikle videonun sonuna doğru uykuluk halinin başladığı görülmektedir. Elde edilen sonuç veri kümesinin bildirmiş olduğu etiketle uyumludur. Uykuluk halinin başlamasından itibaren CLOSDUR tarafından etiketleme yapılamayan çerçevelerde PERCLOS değeri kullanılarak Birleşik Yöntem ile yarı uykulu ve tam uykulu etiketleme yapılması ve gerçek referans değerleri ile uyumlu olması iki yöntemin birlikte kullanılarak daha doğru uykuluk hali tespiti yapıldığını doğrulamaktadır.

Tezde önerilen uyarlamalı eşik değeri algoritmasının ilgili çalışmalarda göz kırpmaları ve uzun süreli göz kapamaları doğru zamanda tespit etmek ve bu bilgilerin beraber kullanarak el yapımı yöntemler ile kişinin uykuluk halinin önceden tespit edilmesinde başarıyı arttıracak düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda göz bölgesinden elde edilen diğer bilgiler (gözün açılma ve kapanma süresi, belirli bir süre içerisindeki göz kırpması vb.) ve bazı fizyolojik ölçme yöntemleri dâhil edilerek uykuluk halinin daha erken ve daha yüksek hassasiyette tespitinin planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Belge, E. Yildiz, A., Identification of driver doiness as real time with image processing technigue and warning of driver, 9th International Automotive Technologies Congress, OTEKON 2018, 1400–1409, 2018.
- [2] Mollicone D. Kan, K. Mott, Bartels, C. R. Bruneau, S. Van Wollen, Sparrow, M. A.R. Van Dongen, H.P.A., Predicting performance and safety based on driver fatigue, Accident Analysis and Prevention, 126, 142–145, 2019.
- [3] Amodio, A. Ermidoro, M. Maggi, D. Formentin, S. Savaresi, S.M., Automatic detection of driver impairment based on pupillary light reflex, IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems. 20, 2019.
- [4] Li, X. Lian, X. Liu, F., rear-end road crash characteristics analysis based on chinese in-depth crash study data, cictp 2016 - green and multimodal transportation and logistics - proceedings of the 16th cota international conference of transportation professionals, American Society of Civil Engineers, 1536–1545., 2016.
- [5] Zhang, G. Yau, K.K.W. Zhang, X. Li, Y., Traffic accidents involving fatigue driving and their extent of casualties, Accident Analysis and Prevention. 87, 34–42, 2016.
- [6] Road Traffic Injuries, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>, Erişim Tarihi: 21.04.2022.
- [7] JS, W. R, K.R., Revised Estimates of the U.S. Drowsy driver crash problem size based on general estimates system case reviews, Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine. 39, 451–466, 1995.
- [8] Statistics Related to Drowsy Driver Crashes, <http://www.americanindian.net/sleepstats.html>, Erişim Tarihi: 21.04.2022.
- [9] TUIK, Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu. 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2020-37436>, Erişim Tarihi: 22.04.2022.

- [10] Sun, X. Zhang, H. Meng, W. Zhang, R. Li, K. Peng, T., Primary resonance analysis and vibration suppression for the harmonically excited nonlinear suspension system using a pair of symmetric viscoelastic buffers, *Nonlinear Dynamics*. 94, 1243–1265, 2018.
- [11] Sahayadhas, A. Sundaraj, K. Murugappan, M. Detecting driver drowsiness based on sensors: A review, *Sensors (Switzerland)*. 12, 16937–16953, 2012.
- [12] Jabbar, R. Al-Khalifa, K. Kharbeche, M. Alhajyaseen, W. Jafari, M. Jiang, S., Real-time Driver Drowsiness Detection for Android Application Using Deep Neural Networks Techniques, *Procedia Computer Science*. 130, 400–407, 2018.
- [13] Cornez, T. Cornez, R., *Android Programming Concepts*, Jones & Barlett Publishers, 2015.
- [14] Otmani, S. Pebayle, T. Roge, J. Muzet, A., Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers, *Physiology and Behavior*. 84, 715–724, 2005.
- [15] Portouli, E. Bekiaris, E. Papakostopoulos, V. Maglaveras, N., On-road experiment for collecting driving behavioural data of sleepy drivers, *Somnologie*. 11, 259–267, 2007.
- [16] Ingre, M. Åkerstedt, T. Peters, B. Anund, A. Kecklund, G., Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: Examining individual differences, *Journal of Sleep Research*. 15, 47–53, 2006.
- [17] Liu, C.C. Hosking, S.G. Lenné, M.G., Predicting driver drowsiness using vehicle measures: Recent insights and future challenges, *Journal of Safety Research*. 40, 239–245, 2009.
- [18] Fairclough, S.H. Graham, R., Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol: A comparative study, *Human Factors*. 41, 118–128, 1999.
- [19] Thiffault, P. Bergeron, J., Monotony of road environment and driver fatigue: A simulator study, *Accident Analysis and Prevention*. 35, 381–391, 2003.
- [20] Feng, R. Zhang, G. Cheng, B. An on-board system for detecting driver drowsiness based on multi-sensor data fusion using dempster-shafer theory, *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC*, 897–902, 2009.

- [21] Simons, R. Martens, M. Ramaekers, J. Krul, A. Klöpping-Ketelaars, I. Skopp, G., Effects of dexamphetamine with and without alcohol on simulated driving, *Psychopharmacology*. 222, 391–399, 2012.
- [22] Das, D. Zhou, S. Lee, J.D., Differentiating alcohol-induced driving behavior using steering wheel signals, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 13, 1355–1368, 2012.
- [23] Mets, M.A.J. Kuipers, De Senerpont Domis, E. L.M. Leenders, M. Olivier, B. Verster, J.C., Effects of alcohol on highway driving in the STISIM driving simulator, *Human Psychopharmacology*. 26, 434–439, 2011.
- [24] Bergasa, L.M. Nuevo, J. Sotelo, M.A. Barea, R. Lopez, M.E., Real-time system for monitoring driver vigilance, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 7, 63–77, 2006.
- [25] D’Orazio, T. Leo, M. Guaragnella, C. Distanto, A., A visual approach for driver inattention detection, *Pattern Recognition*. 40, 2341–2355, 2007.
- [26] Liu, D. Sun, P. Xiao, Y.Q. Yin, Y., Drowsiness detection based on eyelid movement, 2nd International Workshop on Education Technology and Computer Science, ETCS 2010. 2, 49–52, 2010.
- [27] Zhang, Z. Zhang, J., A new real-time eye tracking based on nonlinear unscented Kalman filter for monitoring driver fatigue, *Journal of Control Theory and Applications*. 8, 181–188, 2010.
- [28] Abe, T. Nonomura, T. Komada, Y. Asaoka, S. Sasai, T. Ueno, A. Inoue, Y., Detecting deteriorated vigilance using percentage of eyelid closure time during behavioral maintenance of wakefulness tests, *International Journal of Psychophysiology*. 82, 269–274, 2011.
- [29] McKinley, R.A. McIntire, L.K. Schmidt, R. Repperger, D.W. Caldwell, J.A., Evaluation of eye metrics as a detector of fatigue, *Human Factors*. 53, 403–414, 2011.
- [30] Yin, B.C. Fan, X. Sun, Y.F., Multiscale dynamic features based driver fatigue detection, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 23, 575–589, 2009.
- [31] Vural, E. Cetin, M. Ereil, A. Littlewort, G. Bartlett, M. Movellan, J., Drowsy driver detection through facial movement analysis, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 4796 LNCS, 6–18, 2007.

- [32] Smith, P. Shah, M. Da Vitoria Lobo, N., Determining driver visual attention with one camera, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 4, 205–218, 2003.
- [33] Murphy-Chutorian, E. Trivedi, M.M., Head pose estimation and augmented reality tracking: An integrated system and evaluation for monitoring driver awareness, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 11, 300–311, 2010.
- [34] Zhang, X. Zheng, N. Mu, F. He, Y., Head pose estimation using isophote features for driver assistance systems, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 568–572, 2009.
- [35] De La Escalera, A. Flores, M.J. Armingol, J.M., Driver drowsiness warning system using visual information for both diurnal and nocturnal illumination conditions, *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2010.
- [36] Philip, P. Sagaspe, P. Moore, N. Taillard, J. Charles, A. Guilleminault, C. Bioulac, B., Fatigue, sleep restriction and driving performance, *Accident Analysis and Prevention*. 37, 473–478, 2005.
- [37] Khushaba, R.N. Kodagoda, S. Lal, S. Dissanayake, G., Driver drowsiness classification using fuzzy wavelet-packet-based feature-extraction algorithm, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 58, 121–131, 2011.
- [38] Hu, S. Zheng, G., Driver drowsiness detection with eyelid related parameters by Support Vector Machine, *Expert Systems with Applications*. 36, 7651–7658, 2009.
- [39] Kurt, M.B. Sezgin, N. Akin, M. Kirbas, G. Bayram, M., The ANN-based computing of drowsy level, *Expert Systems with Applications*. 36, 2534–2542, 2008.
- [40] Lal, S.K.L. Craig, A., A critical review of the psychophysiology of driver fatigue, *Biological Psychology*. 55, 173–194, 2001.
- [41] Liang, W.C. Yuan, J. Sun, D.C. Lin, M.H., Changes in physiological parameters induced by indoor simulated driving: Effect of lower body exercise at mid-term break, *Sensors*. 9, 6913–6933, 2009.
- [42] Miyaji, M. Kawanaka, H. Oguri, K., Driver’s cognitive distraction detection using physiological features by the AdaBoost, *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*. 90–95, 2009.

- [43] Patel, M. Lal, S.K.L. Kavanagh, D. Rossiter, P., Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue, *Expert Systems with Applications*. 38 7235–7242, 2011.
- [44] Yang, G. Lin, Y. Bhattacharya, P., A driver fatigue recognition model based on information fusion and dynamic Bayesian network, *Information Sciences*. 180, 1942–1954, 2010.
- [45] Akin, M. Kurt, M.B. Sezgin, N. Bayram, M., Estimating vigilance level by using EEG and EMG signals, *Neural Computing and Applications*. 17, 227–236, 2008.
- [46] Michail, E. Kokonozi, A. Chouvarda, I. Maglaveras, N., EEG and HRV markers of sleepiness and loss of control during car driving, *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS'08 - "Personalized Healthcare through Technology"*. 2566–2569, 2008.
- [47] Lin, F.C. Ko, L.W. Chuang, C.H. Su, T.P. Lin, C.T., Generalized EEG-based drowsiness prediction system by using a self-organizing neural fuzzy system, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 59, 2044–2055, 2012.
- [48] Lin, C.T. Chang, C.J. Lin, B.S. Hung, S.H. Chao, C.F. Wang, I.J., A real-time wireless brain-computer interface system for drowsiness detection, *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. 4, 214–222, 2010.
- [49] Kobayashi, H., EMG/ECG acquisition system with online adjustable parameters using ZigBee wireless technology, *Electronics and Communications in Japan*. 96, 1–10, 2013.
- [50] Klingeberg, T. Schilling, M., Mobile wearable device for long term monitoring of vital signs, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 106, 89–96, 2012.
- [51] Yu, X., Real-time nonintrusive detection of driver drowsiness, *University of Minnesota Center for Transportation Studies*, 1–27, 2009.
- [52] Gómez-Clapers, J. Casanella, R., A fast and easy-to-use ecg acquisition and heart rate monitoring system using a wireless steering wheel, *IEEE Sensors Journal*. 12, 610–616, 2012.
- [53] Baek, H.J. Chung, G.S. Kim, K.K. Park, K.S., A smart health monitoring chair for nonintrusive measurement of biological signals, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 16, 150–158, 2012.

- [54] Lee, B.G. Chung, W.Y., Multi-classifier for highly reliable driver drowsiness detection in android platform, *Biomedical Engineering - Applications, Basis and Communications*. 24, 147–154, 2012.
- [55] Hii, P.C. Chung, W.Y., A comprehensive ubiquitous healthcare solution on an Android™ mobile device, *Sensors*. 11, 6799–6815, 2011.
- [56] McIntire, L.K. McKinley, R.A. Goodyear, C. McIntire, J.P., Detection of vigilance performance using eye blinks, *Applied Ergonomics*. 45, 354–362, 2014.
- [57] Svensson, U., Blink behaviour based drowsiness detection: method development and validation, *Applied Physics and Electrical Engineering*. MSc, 85, 2004.
- [58] Suzuki, M. Yamamoto, N. Yamamoto, O. Nakano, T. Yamamoto, S., Measurement of driver's consciousness by image processing - A method for presuming driver's drowsiness by eye-blinks coping with individual differences, *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, ss. 2891–2896, 2006.
- [59] Soleimanloo, S.S. Wilkinson, V.E. Cori, J.M. Westlake, J. Stevens, B. Downey, L.A. Shiferaw, B.A. Rajaratnam, S.M.W. Howard, M.E., Eye-blink parameters detect on-road track-driving impairment following severe sleep deprivation, *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 15, 1271–1284, 2019.
- [60] Ghoddoosian, R. Galib, M. Athitsos, V., A realistic dataset and baseline temporal model for early drowsiness detection, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 178–187, 2019.
- [61] Jo, J. Lee, S.J. Park, K.R. Kim, I.J. Kim, J., Detecting driver drowsiness using feature-level fusion and user-specific classification, *Expert Systems with Applications*. 41, 1139–1152, 2014.
- [62] Reddy, B. Kim, Y.H. Yun, S. Seo, C. Jang, J., Real-Time Driver drowsiness detection for embedded system using model compression of deep neural networks, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 438–445, 2017.
- [63] Friedrichs, F. Yang, B., Camera-based drowsiness reference for driver state classification under real driving conditions, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 101–106, 2010.

- [64] Li, X. Pfister, T. Huang, X. Zhao, G. Pietikainen, M., A Spontaneous Micro-expression Database: Inducement, collection and baseline, 2013 10th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition, FG, 2013.
- [65] Yan, W.J. Wu, Q. Liu, Y.J. Wang, S.J. Fu, X., CASME database: A dataset of spontaneous micro-expressions collected from neutralized faces, 10th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition, FG, 2013.
- [66] Yan, W.J. Li, X. Wang, S.J. Zhao, G. Liu, Y.J. Chen, Y.H. Fu, X., CASME II: An improved spontaneous micro-expression database and the baseline evaluation, PLoS ONE. 9, 2014.
- [67] Weng, C.H. Lai, Y.H. Lai, S.H., Driver drowsiness detection via a hierarchical temporal deep belief network, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Springer, Cham: ss. 117–133, 2017.
- [68] Massoz, Q. Langohr, T. Francois, C. Verly, J.G., The ULg multimodality drowsiness database (called DROZY) and examples of use, 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, WACV 2016, 2016.
- [69] Drutarovsky, T. Fogelton, A., Eye blink detection using variance of motion vectors, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 8927, 436–448, 2015.
- [70] What is Image Processing? - Great Learning. <https://www.mygreatlearning.com/blog/introduction-to-image-processing-what-is-image-processing/>, Erişim Tarihi: 07.05.2022.
- [71] Gonzalez, R.C. Wintz, P.A., Digital image processing, 2nd ed., Addison-Wesley, Reading Mass., 1987.
- [72] Difference Between Computer Vision and Image Processing | Difference Between,. <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-computer-vision-and-image-processing/>, Erişim Tarihi: 07.05.2022.
- [73] Wandell, B.A. El Gamal, A. Girod, B., Common principles of image acquisition systems and biological vision, Proceedings of the IEEE, 90, 5-17, 2002.

- [74] Vergara-Villegas, O.O. Cruz-Sánchez, V.G. De Jesús Ochoa-Domínguez, H. De Jesús Nandayapa-Alfaro, M. Flores-Abad, Á., Automatic product quality inspection using computer vision systems, *Lean Manufacturing in the Developing World: Methodology, Case Studies and Trends from Latin America*. 9783319049, 135–156, 2014.
- [75] Choi, J.Y. Ro, Y.M. Plataniotis, K.N., A comparative study of preprocessing mismatch effects in color image based face recognition, *Pattern Recognition*. 44, 412–430, 2011.
- [76] Nanthagopal, P.A. Sukanesh, R., Wavelet statistical texture features-based segmentation and classification of brain computed tomography images, *IET Image Processing*. 25–32, 2013.
- [77] Kumar, G. Bhatia, P.K., A detailed review of feature extraction in image processing systems, *International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies, ACCT*. 5–12, 2014.
- [78] Xiao, B. Wang, G.Y., Generic radial orthogonal moment invariants for invariant image recognition, *Journal of Visual Communication and Image Representation*. 24 (2013) 1002–1008, 2013.
- [79] Khobragade, K., *Knowledge-Based Image Processing Applications*, 1–5, 2016.
- [80] Mundra, N., Achieving sustainable competitive advantage through knowledge management and innovation, *IUP Journal of Knowledge Management*. 7–25, 2011.
- [81] Bradski, G. Kaebler, A., *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [82] Golgiyaz, S. Gerçek zamanlı uyuklu sürüş algılama sistemi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. 2013.
- [83] King, D.E., Dlib-ml: A machine learning toolkit, *Journal of Machine Learning Research*, 1755–1758, 2009.
- [84] Umut, İ. Aki, O. Uçar, E. Öztürk, L., Detection of driver sleepiness and warning the driver in real-time using image processing and machine learning techniques, *Advances in Science and Technology Research Journal*. 95–102, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nur Yasin Peker

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği	2017
Lise	Eskişehir 19 Mayıs Anadolu Lisesi	2012

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2022-Halen	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2020-2022	İstanbul Gedik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2018-2020	Uykapne Danışmanlık & İnovasyon LTD ŞTİ.	Yazılım Geliştirici

YABANCI DİL

İngilizce