

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARINI TESPİT EDEN VE
TANIMLAYAN YENİ BİR ALGORİTMA İLE AKILLI
TAKOGRAF GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Cevat ALTUNKAYA

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ZENGİN

Ortak Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Aslan ÇOBAN

Ocak 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARINI TESPİT EDEN VE
TANIMLAYAN YENİ BİR ALGORİTMA İLE AKILLI
TAKOGRAF GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Cevat ALTUNKAYA

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 10 / 01 /2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile
kabul edilmiştir.**

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.

Cevat ALTUNKAYA

10.01.2022

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilgi, deneyim ve yönlendirmelerinden yararlandığım danışmanlarım Prof. Dr. Ahmet Zengin ve Dr. Öğr. Üyesi Aslan Çoban'a, benden desteklerini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma, her türlü test ve laboratuvar imkânlarından yararlandığım Alberen Elektronik firması ve personeline, hem sürüş testlerindeki fiili desteklerinden hem de süreç boyunca manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon	2
1.2. Tezin Amacı	3
1.3. Yöntem.....	4
1.4. Tezin Literatüre Katkısı	6
1.5. Tez Planı	8
BÖLÜM 2.	
TAKOGRAFLAR	10
2.1. Takografin Tarihsel Gelişimi	10
2.2. Araçlarda Takograf Kullanımıyla İlgili Mevzuatlar	12
2.3. Güncel Takograf Sistemi	14
2.4. Takografin Trafik Güvenliğine Katkıları	16
2.5. Takograflarla İlgili Çalışmalar	19
BÖLÜM 3.	
SÜRÜCÜ VE SÜRÜŞ TANIMA YÖNTEMLERİ	21

3.1. Yanal Manevraların Tespiti	21
3.2. Doğrusal Manevraların Tespiti	25
3.3. Literatürde Yaygın Kullanılan Yöntemler ve Tez Kapsamında Önerilen Uzman Sistem Yaklaşımları.....	26
3.3.1. Uç nokta algılama yöntemi (End-point detection)	26
3.3.2. Dinamik zaman bükülmesi (Dynamic time warping-DTW)	26
3.3.3. Gizli Markov modeli (Hidden Markov model-HMM)	29
3.3.4. Maksimum olasılık (Maximum likelihood-ML)	32
3.3.5. İleri beslemeli sinir ağı (Feed-forward neural network-FFNN) ...	34
3.3.6. Tez kapsamında önerilen uzman sistem yaklaşımları.....	34

BÖLÜM 4.

SÜRÜCÜ MANEVRALARINI ALGILAYAN YENİ BİR ALGORİTMA İLE AKILLI TAKOGRAF TASARIMI

4.1. Donanım Kurulumu	39
4.1.1. Takograf tasarımı	39
4.1.2. Sensörler	40
4.2. Takograftan Elde Edilen Sensör Verilerinin Analizi.....	42
4.3. Yanal Manevra Tespiti ve Puanlaması için Yeni bir Algoritma Önerisi .	44
4.3.1. Ön işleme.....	44
4.3.2. Olay algılama algoritması.....	45
4.3.2.1. Kenar algılama algoritması	45
4.3.2.2. Kenar içi nokta tespit algoritması	48
4.3.3. Manevra sınıflandırma algoritması.....	51
4.3.3.1. Şerit değişikliği deseni	54
4.3.4. Yanal manevraların agresiflik şiddetinin puanlanması.....	58
4.3.4.1. Dönüş manevralarının puanlanması.....	58
4.3.4.2. Şerit değişikliklerinin puanlanması.....	61
4.3.4.3. Puanların kademelendirilmesi.....	62
4.4. Doğrusal Manevra Tespiti ve Puanlaması için Yeni Algoritma Önerisi .	63
4.4.1. Doğrusal manevra algılama algoritması.....	64
4.4.2. Jerk tabanlı doğrusal manevra puanlanması	66

4.5. Yanal Algoritmanın Literatürdeki Bir Veri Setine Uygulanması	68
4.5.1. Yolculuk - 16.....	70
4.5.2. Yolculuk - 17.....	72
4.5.3. Yolculuk - 20.....	73
4.5.4. Yolculuk - 21.....	75
4.6. Algoritmanın Prototip Akıllı Takograf Cihazına Uygulanması	77
4.7. Bir Yolculuğun Puanlanması	83
 BÖLÜM 5.	
SÜRÜŞ TESTLERİ VE ALGORİTMA BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ.....	87
5.1. Deneysel Kurulum	87
5.2. Yalova-Sakarya Yolculuğu.....	88
5.3. Bolu-Devrek Yolculuğu	92
5.4. Devrek-Bolu Yolculuğu	95
5.5. Geyve-Sakarya Yolculuğu	98
 BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
 KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ	111

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

3D	: 3 boyut
AB	: Avrupa Birliği
ABS	: Kilitlenmeyi Önleyici Fren Sistemi (Anti-lock Braking System)
ACC	: Hızlanma (Acceleration)
A_x	: İvme ölçerin X eksen
A_y	: İvme ölçerin Y eksen
BRK	: Fren (Brake)
CAN	: Araçlardaki haberleşme veri yolu (Controller Area Network)
DIN	: Standart otomobil teyp boyutu (Deutsches Institut für Normung)
DOF	: Eksen Sayısı (Degrees of Freedom)
dps	: Saniyedeki derece (degree per second)
DSRC	: Özel Kısa Menzilli İletişim (Dedicated Short Range Comm.)
DTW	: Dinamik Zaman Bükme (Dynamic Time Warping)
EEPROM	: Kalıcı hafıza birimi
FFNN	: Çok Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağı (Multilayer Feed Forward Neural Network)
g	: Yerçekimi ivmesi
GAS	: Jiroskop-İvmeölçer-Hız (Gyroscope-Accelerometer-Speed)
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	: Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
GSS	: Jiroskop-Eğim-Hız (Gyroscope-Slope-Speed)
Gz	: Jiroskopun Z eksen
HMM	: Gizli Markov Modeli (Hidden Markov Model)
I2C	: 2 telli bir haberleşme protokolü (Inter-Integrated Circuit)
IMU	: Atalet Ölçü Birimi (Inertial Measurement Unit)
K-NN	: K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors)

LCL	: Sola Şerit Değişikliği (Lane Change to Left)
LCR	: Sağa Şerit Değişikliği (Lane Change to Right)
LM	: Doğrusal Manevra (Linear Maneuver)
LSTM	: Uzun Kısa Süreli Bellek Ağı (Long Short Term Memory Network)
mg	: Mili g (Yerçekimi ivmesi)
ML	: Maksimum Benzerlik (Maximum Likelihood)
MLE	: Maksimum Olasılık Tahmini (Maximal Likelihood Estimation)
mpds	: Milisaniyedeki derece
ms	: Milisaniye
OBD	: Yerleşik Teşhis (On-board Diagnose)
RAM	: Bilgilerin geçici depolandığı hafıza birimi
RNN	: Tekrarlayan Sinir Ağı (Recurrent Neural Network)
SGM	: Sanayi Genel Müdürlüğü
SMA	: Basit Hareketli Ortalama (Simple Moving Average)
TL	: Sola Dönüş (Turn Left)
TR	: Sağa Dönüş (Turn Right)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Analog takograflar	11
Şekil 2.2. Türkiye’de üretilen elektronik takograf	11
Şekil 2.3. Avrupa akıllı takograf	12
Şekil 2.4. Avrupa akıllı takograf sistemi	15
Şekil 2.5. Avrupa takograf kayıt analiz yazılımı	16
Şekil 2.6. Avrupa Birliğinde ağır vasıta kazalarındaki ölüm oranlarının değişimi	17
Şekil 2.7. Çarpışma hızına bağlı trafik kazalarındaki ölüm riski	18
Şekil 3.1. Gizli Markov model gösterimi	30
Şekil 3.2. Tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı modeli	34
Şekil 3.3. Girdilerin ağırlıklarla çarpılması	35
Şekil 4.1. Yanal ve doğrusal algoritma aşamaları	38
Şekil 4.2. Prototip takograf cihazı blok şeması	39
Şekil 4.3. Araca monte edilen takograf cihazı	40
Şekil 4.4. Takografa kullanılan 10 DOF IMU sensörü	41
Şekil 4.5. 3 eksen ivmeölçer ve jiroskop koordinatları	42
Şekil 4.6. Kısa bir yolculuk için sensör verilerine ait grafikler	42
Şekil 4.7. Excel dosyasına aktarılan ham verilerin işlenmesi	43
Şekil 4.8. Algılanan kenarlara örnekler	45
Şekil 4.9. Fark (maksimum Gz - minimum Gz)	46
Şekil 4.10. Kenar bulma algoritması akış diyagramı	47
Şekil 4.11. Kenar içi nokta bulma (Tarama yönleri)	49
Şekil 4.12. Kenar içi nokta bulma algoritmasının akış diyagramı	50
Şekil 4.13. Yanal manevra tespit algoritması akış diyagramı	52
Şekil 4.14. Dönüş sırasında şerit değişikliği	51
Şekil 4.15. Dönüşlerdeki toplam Gz değerleri	53
Şekil 4.16. Şerit değişikliği desenleri	54

Şekil 4.17. Şerit değişikliği kontrolü için kenar devam noktalarının bulunması ...	55
Şekil 4.18. Şerit değişikliği kontrol ve kayıt prosedürünün akış diyagramı	56
Şekil 4.19. Şerit değişikliği başlangıç-bitiş noktaların algılanması	57
Şekil 4.20. Manevra başlangıç ve bitiş noktalarının algılanması.....	58
Şekil 4.21. Ax verilerinin etkisi. Gz-hız (Turuncu) ile Gz-Ax-hız (Mavi) büyüklüklerinin kıyaslanması	59
Şekil 4.22. Gz verileri katsayılarla çarpılan Ax ve Hız verileriyle aynı grafikte ...	60
Şekil 4.23. Bolu-Devrek yolculuğuna ait hız (üstte) ve Ay(alta) grafiği	63
Şekil 4.24. Doğrusal manevraların başlangıç-bitiş noktası tespit algoritmasının akış diyagramı.....	65
Şekil 4.25. Doğrusal manevraların tespit edildiği hız ve Ay verilerini içeren yolculuk grafikinden bir bölüm.....	67
Şekil 4.26. Veri setinin kaydedildiği telefondaki sensörlerin yere göre koordinat sistemi.....	68
Şekil 4.27. Yolculuk-16 şerit değişikliklerinin olduğu bölümün G_z grafiği.....	71
Şekil 4.28. Yolculuk-16 dönüş manevralarının olduğu bölümün G_z ve A_x grafiği	71
Şekil 4.29. Yolculuk-16'ya ait manevra büyüklükleri.....	72
Şekil 4.30. Yolculuk-17 şerit değişikliklerinin G_z grafiği	73
Şekil 4.31. Yolculuk-20 algoritmanın kaçırdığı agresif sağa dönüş manevrası	74
Şekil 4.32. Yolculuk-20 dönüş manevraları (GAS büyüklükleriyle birlikte).....	75
Şekil 4.33. Yolculuk-21 şerit değişikliklerinin G_z grafiği ve GSS büyüklükleri.....	76
Şekil 4.34. Prototip akıllı takograf elektronik devre	77
Şekil 4.35. Sensör ofset değerleri.....	78
Şekil 4.36. Takograf yanal manevra kontrolü ilerleme döngüsü.....	79
Şekil 4.37. Sağa dönüş manevrası ve şiddeti	80
Şekil 4.38. Sola şerit değişikliği manevrası ve şiddeti.....	81
Şekil 4.39. Fren manevrası ve şiddeti	82
Şekil 4.40. Bir yolculuk için agresif dönüş manevra bilgisi	84
Şekil 4.41. Bir yolculuk için agresif şerit değişikliği bilgisi.....	86
Şekil 5.1. Araca monte edilen prototip takograf cihazı	87
Şekil 5.2. Manevraların kaydedildiği uygulama ara yüzü.....	88
Şekil 5.3. Yalova-Sakarya yolculuk rotası	89

Şekil 5.4. Algoritmanın yakaladığı bütün dönüş manevralarının GAS değerleri ..	90
Şekil 5.5. Algoritmanın yakaladığı bütün şerit değişikliklerinin GSS değerleri....	91
Şekil 5.6. Bolu-Devrek yolculuk rotası.....	92
Şekil 5.7. Bolu-Devrek manevra GAS büyüklükleri	93
Şekil 5.8. Bolu-Devrek şerit değişikliği GSS büyüklükleri	94
Şekil 5.9. Yolculukta takograf ekranı ve yolun kaydedildiği sistem.....	95
Şekil 5.10. Devrek-Bolu güzergahı	96
Şekil 5.11. Geyve-Sakarya güzergahı	99
Şekil 5.12. Geyve-Sakarya yolculuğu ortalama yolculuk puanları.....	101



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Manevra algılama çalışmalarında kullanılan yöntem ve teknikler	24
Tablo 3.2. Optimum eşleşme matrisi.....	27
Tablo 3.3. Hesaplanmış optimum eşleşme matrisi.....	28
Tablo 3.4. Geri izleme prosedürüne göre oluşan şekil	29
Tablo 4.1. Algılanan yanal manevraların kademelendirilmesi	62
Tablo 4.2. Algılanan doğrusal manevraların kademelendirilmesi.....	67
Tablo 4.3. Yolculuk-16'ya ait veri seti test sonuçları	70
Tablo 4.4. Yolculuk-17'ye ait veri seti test sonuçları	72
Tablo 4.5. Yolculuk-20'ye ait veri seti test sonuçları	74
Tablo 4.6. Yolculuk-21'e ait veri seti test sonuçları	75
Tablo 4.7. Veri seti testlerinin doğruluk sonuçları	76
Tablo 4.8. Aynı sensör verileri için takograf ile Matlab karşılaştırması	82
Tablo 4.9. Takograf hata kodları	84
Tablo 5.1. Yalova-Sakarya manevra sayısı tespit doğruluğu	90
Tablo 5.2. Yalova-Sakarya manevra şiddet doğruluğu.....	91
Tablo 5.3. Bolu-Devrek manevra sayısı tespit doğruluğu.....	93
Tablo 5.4. Bolu-Devrek manevra şiddet doğruluğu	94
Tablo 5.5. Devrek-Bolu yolculuğu puanı en yüksek ve en düşük manevralar.....	97
Tablo 5.6. Devrek-Bolu yolculuğu doğruluk tablosu	98
Tablo 5.7. Geyve-Sakarya yolculuğu doğrusal manevralar	99
Tablo 5.8. Geyve-Sakarya yolculuğu doğruluk tablosu	100

ÖZET

Anahtar kelimeler: Akıllı takograf, uzman sistem, sürüş manevra algılama, sürüş puanlama, sensörler

Yollardaki araç sayısı arttıkça trafik güvenliği de önemli hale gelmektedir. Takograf cihazlarının kullanımının zorunlu olduğu kamyon, otobüs gibi ağır vasıta araçların karıştığı kazalardaki kayıplar hem ölüm ve yaralanma bakımından hem de maddi bakımdan daha yüksektir. Geçmişten günümüze takograflar özellikle güvenlik ve haberleşme açısından önemli ilerlemeler kaydetse de dikkatsizlik, uykusuzluk, yorgunluk, agresif sürüş ve benzeri sürücü davranışlarıyla ilgili herhangi bir veri sunamamaktadır. Bu çalışma ile takograflara yönelik yolculuklarda sürücü manevralarını tespit edip kaydeden akıllı bir uzman sistem önerilmektedir. Takografa yanal ve doğrusal manevraların agresiflik derecesiyle birlikte tespiti için düşük maliyetli 3D jiroskop ve 3D ivmeölçer içeren IMU (Inertial Measurement Unit) sensör modülü dahil edilmiştir.

Sağa-sola dönüşler ve şerit değişiklikleri gibi yanal manevraların yüksek doğrulukla tespiti için jiroskop-Z verileriyle öncelikle olayların kenarları yakalanır, ardından son iki kenar şerit değişikliği açısından incelenir. Bir dönüş manevrası başlangıcı veya bitişi olmayan ve şerit değişikliği desenine uygun olan kenarlar şerit değişikliği olarak, diğerleri manevra başlangıcı veya bitişi olarak kaydedilir. Aralıktaki jiroskop-Z, ivmeölçer-X ve hız verilerinin ortalamalarını bir formülle birleştirerek dönüş manevralarını GAS (Gyroscope-Accelerometer-Speed) büyüklüğü, şerit değişikliklerini ise jiroskop-Z eğimi ve hız ortalaması ile GSS (Gyroscope-Slope-Speed) büyüklüğü hesaplayarak puanlayan yeni bir algoritma önerilmektedir. Uygulamada algoritmanın dönüşleri tespit etmede %100, şerit değişikliklerinde ortalama %76 doğruluğa ulaştığı görülmüştür. Agresiflik puanı doğru olup dönüş olarak kaydedilenler dahil edildiğinde şerit değişikliklerindeki ortalama doğruluk %85'e çıkmaktadır. Fren ve hızlanma gibi doğrusal manevraların başlangıç ve bitiş noktaları hız verilerinin 3 aşamalı kontrolüyle tespit edildikten sonra puanlanması aralıktaki hız değişimi ve ivmeölçer-Y verilerinin maksimum-minimum farkıyla hesaplanmaktadır. Son yolculuğun video kaydındaki fren ve hızlanma manevralarının tamamı %100 doğrulukla takograf tarafından tespit edilmiştir. Yolculuk sonunda yolculuğa ait agresiflik puanları dönüş, şerit değişikliği ve doğrusal olmak üzere 3 kategoride takograf ekranında gösterilmektedir.

DEVELOPMENT OF SMART TACHOGRAPH WITH A NOVEL ALGORITHM DETECTING AND RECOGNITION OF DRIVER BEHAVIOUR

SUMMARY

Keywords: Smart tachograph, expert system, driving maneuver detection, driving scoring, sensors

Due to the increase in the number of vehicles on the roads, traffic safety becomes more important. Losses in accidents involving heavy-duty vehicles, where the use of tachograph devices are mandatory, are higher both in terms of death, injury and cost. Although tachographs have made significant progress especially in terms of safety and communication from past to present, they cannot provide any data about inattention, insomnia, fatigue, aggressive driving and to detect and recognise driver behaviors. In this study, a new expert system is proposed. A low-cost 3D gyroscope and an IMU sensor module with a 3D accelerometer are included in the tachograph for detection of lateral and linear maneuvers with their degree of aggressiveness.

For highly accurate detection of lateral maneuvers such as right-left turns and lane changes, the edges of events are first captured with gyroscope-Z data, then the last two edges are inspected for lane changes. Edges that do not have the beginning or end of a turning maneuver and that conform to the lane change pattern are recorded as lane changes, others as the start or end of the maneuver. With the new algorithm, for the turning maneuvers GAS magnitude including the gyroscope-Z, accelerometer-X and the speed data, and for the lane changes GSS magnitude including the gyroscope-Z slope and the speed average, are calculated. In practice, it was observed that the algorithm reached 100% accuracy in detecting turns and 76% accuracy in lane changes. The average accuracy of lane changes increases to 85% when the lane changes recorded as turns which have correct scores are included. After the start and end points of longitudinal maneuvers such as braking and acceleration are determined by 3-stage control of the speed data, the score is calculated with the speed change and the maximum-minimum difference of the accelerometer-Y data in the range. All of the braking and acceleration maneuvers in the video recording of the last trip were detected with 100% accuracy by the tachograph. At the end of the journey, the aggressiveness scores of the journey are displayed on the tachograph screen in 3 categories: turning, lane change and linear.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde yollardaki araç sayısı arttıkça trafik güvenliğinin önemi de artmaktadır. Birden çok aracın karıştığı trafik kazaları sürücü ve yolcuların hayatını tehdit etmektedir. Özellikle kamyon ve otobüs gibi ağır vasıta araçların sebep olduğu kazalarda kayıplar daha yüksek boyutlardadır. Maddi olarak da ağır vasıta araçların karıştığı kazalardaki hasarlar diğerlerine göre daha fazladır. İstatistiklere göre kazalar çok yüksek oranda sürücü kusurlarından kaynaklanmaktadır [1].

Karayollarında yük ve yolcu taşımacılığı yapan araçların büyük bir kısmında kullanılması zorunlu olan takograflar, trafik güvenliği için sürücülerin hız, araç kullanma ve dinlenme sürelerinin denetlenebilmesini sağlayan cihazlardır [2]. Mevcut takograflar, trafik kazalarının ve fazla yakıt tüketiminin en önemli nedenleri olan acemilik, dikkatsizlik, uykusuzluk, yorgunluk, agresif sürüş ve benzeri sürücü davranışları hakkında herhangi bir veri sunmamaktadır. Halbuki birçok kazanın sebebi tehlikeli sürüş davranışlarıdır. Trafik kazaları ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla sürücü davranışlarını tespit ederek düzeltmek için birçok çalışma yapılmıştır [3-6]. Çalışmaların bazılarında hızlanma, yavaşlama gibi doğrusal davranışlarla birlikte dönüş ve şerit değişikliklerini içeren yanal manevralara odaklanılmış [4-5] [7-8], bazı çalışmalarda doğrusal manevralar dikkate alınmamıştır [3] [6]. Doğrusal manevraların tespitinde GPS veya araçtan alınan hız bilgisi yeterli olurken [9] yanal manevraların tespitinde jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre gibi sensörler kullanılmıştır [10-14]. Artık hayatımızın vazgeçilmezi haline gelen akıllı telefonlar söz konusu sensörlerin hepsini ihtiva ettiği için son dönemde özellikle yanal manevra davranışlarıyla ilgili çalışmaların ana unsuru haline gelmiştir [5-6] [15]. Genellikle kişisel otomobillerde takograf kullanım zorunluluğu bulunmamaktadır. Buna karşın ağır vasıta araçlarda sürücüyü denetleme amacıyla kullanımı zorunlu olan takograf cihazı bulunmaktadır.

Geçmişten günümüze takograflar hız ve kullanım süresi dışında sürücü davranışlarıyla ilgili herhangi bir tespit veya kayıt yapmazlar.

Sürüşlerdeki agresif manevralar trafik güvenliğinin yanında araçların yakıt tüketimini de olumsuz etkilemektedir [14] [16-18]. Takograf cihazının kullanımının zorunlu olduğu araçlardaki yakıt tüketim miktarları ise otomobil gibi diğer araçlarla kıyaslanamayacak kadar yüksektir. Dolayısıyla ağır vasıtalarındaki agresif sürüşlerin azaltılması önemli oranlarda yakıt tasarrufu da sağlayacaktır. Böylece takograf çıktıları denetim yapan trafik polislerinin yanında ağır vasıta araçların sahibi olan şirketlerin de ilgisini çekecektir.

Yorgunluk, uykusuzluk, alkol kullanımı gibi çeşitli nedenlere bağlı agresif veya dengesiz sürücü davranışlarının tespit edilerek kayıt altına alınması kazaların önlenmesine ciddi oranda katkı sağlayacaktır. Hız ve sürüş süresi dışında sürücü davranışlarını tespit ederek sürücüyü uyarma ve kayıt altına almaya yönelik yapılan çalışmalar özellikle takograf özelinde oldukça azdır.

1.1. Motivasyon

Takograflar saniye veya daha uzun periyotlarla araç hızını kaydeder. Kart okuyucusuna takılan elektronik çip modülü ile haberleşerek sürücü kimlik bilgilerini de hafızasına alır. Kimliksiz kullanım da bir hata olarak takograf hafızasına kaydedilir. Takograflar araç hızı ve sürücünün kullanım süresi bilgilerine odaklanır. Kimlik kartlarında sürücü bilgilerinin yanında araç kullanma ve dinlenme süreleri ile sürücüye ait ihlaller de bulunur. Böylece sürücü araç değiştirse de bu bilgiler yeni araçtaki takograf cihazında okunarak hız ve süre ihlalleri tespit edilip kaydedilir. Bunun dışında kimliksiz kullanım, elektrik kesintisi ve hız sensörüne yetkisiz müdahale gibi takograf cihazının çalışmasını engellemeye yönelik teşebbüsler de tespit edilip kaydedilir. Fakat takograflar sürüşle ilgili araç kullanım süresi ve araç hızından başka hiçbir veri kaydetmez. Son yıllarda özellikle Avrupa ülkelerinde kullanılan takograflara GPS gibi konum belirleme modülleri eklenerek ihlallerin konumunun da kaydedilmesi sağlanmıştır. Fakat sürüş ihlalleri yine süre ve hızdan ibarettir.

Hız bilgisi hız sınırı ihlallerinin dışında kazalardan sonra aracın doğrusal hareketleri konusunda da bilgi vermektedir. Kazadan önce sürücünün fren yapıp yapmadığı bu şekilde anlaşılmaktadır. Fakat mümkün olduğu halde sürüş sırasında fren ve hızlanma gibi doğrusal hareketlerin agresifliği takograf tarafından tespit edilip herhangi bir puan verilmemektedir.

Sürücü kusurlarından kaynaklanan kazaların büyük çoğunluğu fren ve hızlanma gibi doğrusal manevralardan ziyade viraj veya kavşaklardaki dönüşler ile şerit değişikliklerinden kaynaklanmaktadır. Dönüş manevralarını hız bilgisinden algılamak mümkün değildir. Son yıllarda ölçüm hassasiyeti artan, buna karşılık maliyeti azalan ivmeölçer ve jiroskop gibi sensörler sürüşlerdeki yanal manevralarla ilgili verileri yeterince sağlamaktadır. İvmeölçer ve jiroskop sensörlerinin donanımsal olarak ilave edildiği bir takograf cihazı, geliştirilecek bir algoritma ile hız verisiyle senkronize bir şekilde kaydedilen sensör verilerini kullanarak özellikle yanal dönüş ve şerit değişikliği manevralarının şiddetini tespit ederek kaydedebilir. Böylece yolculuk sırasında veya sonunda sürücünün aracı nasıl kullandığı hakkındaki verilere takograf üzerinden ulaşmak mümkün olacaktır. Son yıllarda bu konuda donanım tasarımı gerektirmediği için bütün sensörleri ihtiva eden akıllı telefonlar kullanılarak özel araçlara yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarla yanal ve doğrusal manevraların algılanmasında belirli bir mesafe de kaydedilmiştir.

Manevraların agresiflik derecesinin belirlenerek hem sürücünün uyarılması hem de bu verilerin kaydedilerek denetlenebilmesi sayesinde yollardaki yolcu ve yük taşıyan ağır vasıta araçlar için sürüş güvenliğinin artmasıyla kazaların azalması öngörülmektedir. Ayrıca denetim ve uyarılar sayesinde doğrusal ve yanal manevralardaki agresifliğin azalması, araçların yakıt tüketimini de azaltacak ve bu alanda önemli oranda tasarruf sağlanacaktır.

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı ivmeölçer ve jiroskop verilerini kullanarak sürücü davranışını tespit etmek ve derecelendirmek için yeni algoritmalar içeren uzman bir sistem

tasarlamak ve bu sistemi yeni bir takograf cihazına uygulamaktır. Çalışma ile geliştirilen sistem takograf verileri üzerinde denenerek sürüş manevralarının yüksek doğrulukla tespit edilmesi ve sürüşün puanlanması sağlanmıştır.

Yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktaları jiroskopun Z eksenindeki dönüş verileri üzerinden yakalanarak senkronize kaydedilen ivmeölçerin X eksen ve hız verileri de dikkate alınarak her bir manevra puanlanmıştır. Aynı şekilde ivmeölçerin Y eksen ve hız verileri kullanılarak doğrusal frenleme ve hızlanma manevralarının şiddeti de puanlanmıştır. Bunun dışında sürüş sırasında ve sonunda puanlanan bütün manevralardan dönüşler, şerit değişiklikleri ve doğrusal manevralar üç ayrı kategoride değerlendirilerek söz konusu yolculuk için genel puanlama yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen sistem takograf cihazlarının kullanıldığı ağır vasıta araçların sürüş manevraları için olmasına rağmen, testler ağır vasıta araçlara göre daha çevik manevralar yapabilen iki farklı otomobil üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle algoritmanın ağır vasıta araçlarda manevraların noktasal tespit, tür ve şiddet doğruluğunun daha yüksek olacağı öngörülmektedir. Test sonuçlarının analizi bu öngörüğü doğrulamaktadır.

1.3. Yöntem

Çalışma için maliyet, boyut ve montaj kolaylığı nedeniyle üzerinde 3D ivmeölçer, 3D jiroskop, 3D manyetometre ve basınç sensörü bulunan 10 DOF IMU sensör modülü takograf cihazına monte edilmiştir. Bu sensörler kullanılarak akıllı telefonlar üzerinde yanal manevraları algılamak için yapılan çalışmalar bulunmaktadır. GPS, IMU sensör modülü veya OBD-II gibi kaynaklardan veri alan çalışmalar da yapılmıştır [19-20]. Bu çalışmaların sürücüyü uyararak sürücü davranışlarının düzeltilmesi [3-4], sürücü davranışlarını tespit ederek sürücünün etiketlenmesi veya puanlanması [5-6] [11] [16-18] [21], yolculuklardaki manevraları inceleyerek sürüş özelliklerinin tespit edilmesi [10] [13] [15] [22-23], kaza riskinin algılanması [9] [12] [19] [21], yakıt tüketiminin azaltılması için toplanan sürüş verilerinin istatistiksel olarak incelenmesi [14] ve sürüş

sırasında sürücü dikkat dağınıklığı tespiti [24] gibi çeşitli alanlara odaklandığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında içine IMU modülü monte edilmiş ve aracın ABS sensörlerinden alınan hız ve sensör bilgilerini senkronize bir şekilde hafızasına kaydeden bir test takografi tasarlanmıştır. Veriler bilgisayar ortamında analiz edildikten sonra yanal ve doğrusal manevralar için ayrı ayrı olmak üzere manevraların başlangıç ve bitiş noktalarının tespit edilerek ayrıştırılması ve şiddetinin puanlanması amacıyla iki yeni algoritma içeren uzman bir sistem geliştirilmiştir.

Bir sürüşteki yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktalarının yüksek doğrulukla tespit edilmesi çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Yanal manevranın türünün ve şiddetinin belirlenmesi bu temel üzerine inşa edilmektedir. Yine bu temel, sürüşün ve sürücünün agresiflik şiddetinin belirlenmesindeki doğruluğu da etkilemektedir. Manevraların başlangıç ve bitiş noktalarını tespit ederken 0,5 saniye ve üstündeki periyotlarda alınan veriler için filtre veya Basit Hareketli Ortalama (SMA) benzeri yöntemler kullanılmamıştır. Daha yüksek frekanslarda alınan veriler 0,5 saniye veya daha küçük pencereler için filtre ile yumuşatılmıştır. Verileri gürültüden arındırmak amacıyla daha geniş periyotlar için filtre kullanıldığında veya manevra algılamak için ortalama değerler dikkate alındığında özellikle enerjisi düşük olan şerit değişikliklerinin bir kısmı kaçırılmaktadır [5] [10] [15]. Algoritma yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktalarını jiroskopun Z eksen verilerini kullanarak belirlemektedir [3-4] [11] [16] [22]. Jiroskop verileri ivmeölçer verilerine göre daha az gürültüye sahiptir.

Geliştirilen yanal manevra algoritması ile jiroskop-Z verileri taranırken fark değerlere bakılarak öncelikle kenarlar bulunur [12]. Daha sonra kenar içi nokta bulunurken söz konusu kenarın önceki kenarlara da bakılarak sağa-sola dönüş veya sağa-sola şerit değişikliği manevraları arasından hangisine uygun olduğuna karar verilir. Dönüş olduğunda sıfıra yakın kenar içi noktası, şerit değişikliklerinde ise müstakil olarak kenarların başlangıç veya bitiş noktaları bulunur. Dönüş manevrası olarak karar verilen iki kenar arası dar olduğunda iki kenarın şerit değişikliği desenlerine uyup

uymadığı ayrıca incelenir. Hassas bir şekilde yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktaları belirlendikten sonra sağa-sola dönüş manevralarının şiddetini belirlemek için aralıktaki jiroskop-Z, ivmeölçer-X ve hız bilgilerinin ortalama değerlerini harmanlayan bir formülle GAS değeri bulunur. Şerit değişikliklerinde ise jiroskop-Z ve ortalama hız değerlerini içeren bir eğim hesabıyla GSS değeri bulunur.

Doğrusal fren ve hızlanma manevralarının tespitinde gürültüden uzak olması ve manevra yansımasının belirgin olması nedeniyle hız verileri kullanılmıştır [25]. Manevranın başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde üç aşamalı bir yöntem izlenmektedir. Birinci aşamada 5 saniyelik pencerelerde hız, hız değişim oranı ve toplam hız farkı gibi değerler için alt eşik değer kontrolü yapılarak manevra olma ihtimali olan olaylar tespit edilir. İkinci aşamada ilk aşamadaki 5 saniye dahil toplam 16 saniyelik zaman dilimi için hız değişim oranı ve toplam hız farkı kontrol edilir. Bu durumda hız farkı eşik değeri ilk aşamadakinin iki katıdır. Şartlar sağlandığında geçilen üçüncü aşamada ileri ve geri yönde en fazla 8 saniye boyunca taramaya devam edilerek manevra türüne göre hızın en dip ve en üst noktaları bulunmaya çalışılır. Tarama yapılırken anlık küçük hız değişimlerinden minimum etkilenme için maksimum veya minimum nokta, sonraki veya önceki 3 nokta ile birlikte kıyaslanır. Doğrusal manevraların başlangıç ve bitiş noktaları bulunduktan sonra aralıktaki hız ve ivmeölçer-Y verileri için maksimum eğimler bulunur. Bulunan değerler belirli bir katsayı ile birbiriyle çarpılarak doğrusal manevranın puanı hesaplanmaktadır [16].

1.4. Tezin Literatüre Katkısı

Literatürde takograf cihazlarıyla ilgili yapılan çalışmalar incelendikten sonra sürücünün aracı nasıl kullandığına dair verilerin takograf cihazı tarafından tespit edilip kaydedilebilmesinin sürüş güvenliği ve yakıt tüketimi açısından faydaları ortaya konulmuştur. Ayrıca bu verilerin günümüzde üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı otonom sürüş için kaynak teşkil edebileceği vurgulanmıştır.

Sürüşteki yanal ve doğrusal manevraların tespit edilmesiyle ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiş, çalışmaların büyük çoğunluğunun ivmeölçer ve jiroskop gibi

sensörlere sahip akıllı telefonlarda yoğunlaştığı görülmüştür. Telefonların sürücü tarafından araçta sabit bir şekilde uygun bir yere monte edilmesi öngörülmüş, kullanımı sürücünün inisiyatifine bırakılmıştır. Halbuki yasal zorunluluk olmadan sürücünün kendi sürüşündeki agresifliği tespit etmeyi düşünmesi pek mümkün değildir. Dolayısıyla sürücü davranışlarının, ağır vasıta araçlarda kullanımı zorunlu olan ve yetkisiz müdahalelere karşı kendini koruyarak bu müdahale girişimlerini kayıt altına alan takograflar tarafından tespit edilerek kaydedilmesi ve sürücünün uyarılması çok daha etkin bir çözüm olacaktır. Böylece sürücü davranışıyla ilgili takografin kaydettiği veriler trafik ve kaza araştırmalarıyla ilgili birçok çalışmada kullanılabilecektir.

Jiroskop ve ivmeölçer gibi sensörler kullanılarak yapılan sürüş manevralarının tespiti ve puanlanmasına yönelik çalışmalar, özellikle yanal manevralarda tespit doğruluğu, puanlama ve kullanılan yöntemler açısından sınıflandırılarak kullanılan yöntemlerle ilgili eksiklikler ortaya konulmuştur.

10 DOF IMU sensör modülü ilave edilerek hız ile birlikte yarım saniyede bir sensör verilerini hafızasına kaydeden prototip takograf cihazı geliştirilmiştir. Aynı zamanda test sürüşleri sırasında Bluetooth üzerinden haberleşen telefon uygulaması ile manevraların tür ve şiddet açısından etiketlenebilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde yapılan test sürüşlerinden sonra veriler takograftan bilgisayara aktarılarak Matlab ortamında detaylı analiz ve testleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda şerit değişiklikleri dahil önceki çalışmalardan daha yüksek doğrulukta yanal ve doğrusal manevraları yakalayan yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Aynı şekilde manevraların agresiflik puanlanması da birkaç kategori yerine iki-üç basamaklı rakamlarla daha hassas bir şekilde tespit edilmektedir. Şerit değişikliklerinin yakalanması ve puanlanması önceki çalışmalardaki temel sorunlardan biri olarak göze çarpmaktadır. Yanal manevralar için geliştirilen algoritma şerit değişikliklerini de dönüşler kadar olmasa da yüksek doğrulukla yakalayıp puanlamaktadır.

Yanal ve doğrusal algoritmaları içeren uzman sistem takograf cihazına uygulanarak anlık olarak manevra agresiflik derecelerinin ve sürüş sonunda yanal ve doğrusal

manevraların sürüşe ait genel puanlarının görüntülenebilmesi sağlanmıştır. Sistemin işlem ve hafıza açısından yüksek kapasite gerektirmemesi birçok platforma kolaylıkla adapte edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Manevraların geniş ölçekte puanlanabilmesi sayesinde sürüşteki manevra agresiflik derecesi yanal ve doğrusal olarak ayrı ayrı ortalama şeklinde hesaplanabilmektedir. Yolculuk sonunda sürüşteki dönüş, şerit değişiklikleri ve doğrusal manevraların puanı takograf üzerinden ayrı ayrı görülebilmektedir.

Çalışma ile elde edilebilecek takograf kayıtlarının adli ve istatistiksel açıdan sürüş ve kaza araştırmalarına kaynak sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca çeşitli sebeplerle gerçekleşmekte olan dengesiz ve tehlikeli sürüşlerin tespit edilmesi, caydırıcı amaçlı sürücülere ceza kesilebilmesinin yanı sıra kazaları önlemeye yönelik erken uyarı sistemleriyle ilgili yapılan çalışmalara da katkı sağlayacaktır.

1.5. Tez Planı

Bölüm 1’de çalışmanın yapılmasına zemin oluşturan mevcut durum, çalışmanın amacı, hangi boşluğu dolduracağı ve diğer çalışmalardan özgün ve farklı yönleri ile literatüre olan katkısı ve tez organizasyonu anlatılmıştır.

Bölüm 2’de geçmişten günümüze takograf cihazlarının özellikleri, fonksiyonları, ağır vasıta araçlarda kullanım zorunluluğu ile ilgili mevzuatlar, trafik güvenliğine katkıları ele alınmaktadır. Ayrıca literatürde takograflarla ilgili yapılan çalışmaların yoğunlaştığı noktalar ile çalışma eksikliği bulunan alanlar belirtilmiştir.

Bölüm 3’te literatürde takograf cihazlarından bağımsız olarak yapılan sürücü ve sürüş tanıma yöntemlerinin neler olduğu, hangi alanlarda yoğunlaştığı anlatılmış, yakın konularda yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler belirtilmiştir. Manevra tespiti ve sınıflandırılmasında yaygın kullanılan yöntemler ile uzman sistemler açıklanmıştır.

Bölüm 4’te önce sürücü davranışlarını algılamaya yönelik geliştirilen yeni prototip takografin özellikleri, ardından takograftan alınan hız ve sensör verileriyle Matlab

ortamında yanal manevraların tespit edilmesi ve puanlanması için tasarlanan sistem detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Daha sonra doğrusal manevraların tespit ve puanlanması için geliştirilen algoritma, detaylarıyla anlatıldıktan sonra yanal manevra algoritmasının bir veri seti üzerinde denenmesi ve bulunan sonuçlar açıklanmıştır. Son olarak geliştirilen iki ayrı algoritmanın prototip takograf cihazına uygulanması ve takografin yeni özellikleri belirtilmiştir.

Bölüm 5'te yapılan 4 yolculuğa ait sürüş testleri ve bulunan sonuçlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır. İlk iki yolculuk olan Yalova-Sakarya ve Bolu-Devrek yolculuklarında geliştirilen yeni algoritmalar prototip takografa uygulanmamış, yolculuklarda hız ve sensör verileri takograf hafızasına kaydedildikten sonra bilgisayara aktarılmış ve yanal manevra algoritması Matlab ortamında çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Sonraki Devrek-Bolu yolculuğunda yanal manevra algoritması takograf cihazına uygulanmış ve sonuçlar bulunmuştur. En son Geyve-Sakarya yolculuğunda hem yanal manevra hem de doğrusal manevra algoritması takografa uygulanmıştır. Son iki yolculuğa (Devrek-Bolu ve Geyve-Sakarya) ait video kayıtları mevcuttur. Video kayıtlarında sürücünün görüş açısından yol durumunun dışında takograf ekranındaki gerçek zaman ve hız bilgisi ile manevralar yakalandığında verilen sesli ve görüntülü tepki gösterilmiştir.

Bölüm 6'da yapılan çalışma ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte ilgili alanlarda yapılabilecek çalışmalar ve düzenlemelerle ilgili önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. TAKOGRAFLAR

Takograflar sürücülerin araç kullanma ve dinlenme süreleri ile araç hızını kayıt altına alarak ihlal durumlarını tespit etmek için özellikle ağır vasıta araçlarda kullanımı zorunlu olan cihazlardır. Yetkisiz müdahalelere karşı mekanik ve elektronik mühürlerle korunmaktadırlar. Bir takograf sistemi, araç şanzımanına monte edilmiş bir hız sensör ünitesi, takograf kafası ve kayıt ortamından oluşmaktadır. Takograf kafaları analog veya dijital tiptedir. Analog takograflarda kayıtlar mumla kaplanmış kâğıt diskler üzerine yapılırken dijital ve elektronik takograflarda sürücü kartı, hafıza ve yazıcı çıktısı olmak üzere 3 kayıt ortamı vardır.

2.1. Takografin Tarihsel Gelişimi

Eski dönemlerde demiryollarında kullanımı göz ardı edilirse karayollarında 23 Aralık 1953'te Almanya'da Trafik Güvenliği Yasası kapsamında 7,5 ton ve üzeri tüm ticari araçlarda kullanımı zorunlu hale gelmiştir. O tarihten itibaren kullanılan takograflar analog cihazlardı. Analog takograflar mum kaplı yuvarlak kâğıt disk üzerine 24 saat için prob uçları ile hız grafiği ve kat edilen mesafe çizgilerinin çizilmesini sağlar. Aynı zamanda sürücünün manuel olarak seçtiği çalışma, mola ve dinlenmeler ile hazırda bekleme periyotları disk üzerine işaretlenir.

Avrupa'da 1 Mayıs 2006'dan önce üretilen takograflar analog hız göstergesi tipindeydi. Sonraki süreçte analog takograf kafa modelleri araç gösterge panelindeki bir DIN boyutuna sığacak şekilde modüler bir tasarıma sahip olmuştur. Böylece sonraki süreçte bu boyutta üretilecek dijital takograf modellerine geçiş daha kolay olmuştur [26]. Şekil 2.1.'de analog takografların önceki ve sonraki hali görülmektedir.



Şekil 2.1. Analog takograflar

Avrupa’da yaygın olarak kullanılan analog takograflar ithal araçların üzerinde takılı olduğu için bir süre Türkiye’de de kullanılmıştır. Fakat bu takograflara sürücülerin müdahalesi kolay olduğundan ilk defa 02.02.1986 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanan SGM-86/1-8 Sayılı Tebliğ ile elektronik takograf cihazı Türkiye’de tarif edilmiştir. Böyle bir takograf aslında dünyada da ilktir. Öngörülen sistemde Avrupa’da sonradan kullanılmaya başlanan dijital takograflara benzer şekilde üzerinde çip olan sürücü kartı, yazıcı ve hafıza bulunmaktadır. Çip, ağır vasıta sürücülerinin sürücü belgelerine monte edilmekteydi. Sürücü kartının hafızası o zamanın şartlarında 128 Byte’tan ibaret olduğu için sürüş yapılan bölümler son 24 saat için 2 dakikalık periyotlarla bit olarak işaretlenmekteydi. Şekil 2.2.’de örnek bir elektronik takograf görülmektedir. Türkiye’de sonraki süreçte elektronik takograflar sürücü müdahalelerine açık oldukları gerekçesiyle 2016 yılından itibaren kademeli olarak dijital takograflarla değiştirilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye’de üretilen elektronik takograf

Avrupa’da 29 Eylül 1986 tarihinden itibaren takograf kullanımı zorunlu hale gelmiştir. 1 Mayıs 2006 tarihinden itibaren ise tüm yeni araçlarda dijital takograf zorunlu olmuştur. Takograflarda yetkisiz müdahaleler daha çok sürücü kartlarına ve hız

sensörüne yapıldığından dijital takograflarda sensör ve sürücü kartları ile haberleşme yüksek güvenlik seviyesinde kriptolu bir şekilde yapılmaktadır. Hız sensörü mesafeye bağlı sinyallerin yanı sıra takograf cihazına kriptolu bir şekilde ayrı bir haberleşme hattı üzerinden veri göndermektedir. Dijital takograf kullanılması zorunlu olan ağır vasıta araçlar hız bilgisini CAN veri yolu üzerinden takograftan almaktadırlar. Dolayısıyla dijital takograf cihazı arızalı iken aracın kullanılması da mümkün değildir.

1 Mayıs 2006'dan günümüze dijital takografin özelliklerinde birçok gelişme olmuştur. Gelineen noktada "Akıllı Takograf" ismini alan dijital takografa hem yetkisiz sensör müdahalelerine karşı doğrulama amaçlı hem de aracın seyahat ettiği konumları raporlamak için GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) modülü eklenmiştir. Ayrıca takograf verilerinin ilave bir cihaza gerek kalmadan araç hareket halindeyken otomatik olarak indirilebilmesi için DSRC (Özel Kısa Menzilli İletişim) ara yüz modülü de dahil edilmiştir.



Şekil 2.3. Avrupa smart takograf

Şekil 2.3.'te Avrupa dijital takografa kriptolu haberleşen hız sensörünün daha da geliştirilmesi, GNSS konum bilgisi ve RF haberleşme gibi eklenen özellikler gösterilmiştir. Görüldüğü gibi takografa konum bilgisi eklense de temelde sürücü ve sürüş davranışıyla ilgili olarak süre ve hız kaydının dışına çıkılmamıştır.

2.2. Araçlarda Takograf Kullanımıyla İlgili Mevzuatlar

Avrupa ve Türkiye'de belli tonajın üstündeki yük ve yolcu taşımacılığı yapan ticari araçlarda takograf kullanılması karayolları trafik kanunları ile zorunlu hale

getirilmiştir [27]. Türkiye’de Karayolları Trafik Kanunu’nun 31. Maddesi gereğince şehirlerarası taşımacılık yapan araçlarda takografi çalışır halde bulundurmak zorunludur. Detaylar Karayolları Trafik Yönetmeliği’nin 98-100. Maddelerinde belirtilmiştir. Yönetmelikte sürücülerin araç kullanma, mola ve dinlenme süreleri ile yollara göre uyulması gereken hız sınırları araç cinslerine göre detaylı bir şekilde açıklanmaktadır [28].

Yönetmeliklerle Avrupa ve Türkiye’de karayolunda 3,5 ton üzeri yük taşıyan tüm araçlarda ve belirli istisnalar dışında 9'dan fazla kişiyi (sürücü dahil) taşıyabilen araçlarda takograf takılması zorunludur. Avrupa’da 1 Temmuz 2026'dan itibaren 2,5 tonun üzerindeki araçlara da takograf takılması gerekecektir [29].

Avrupa Birliği'nin (AB) 165/2014 Sayılı Yönetmeliği ile karayolu taşımacılığında kullanılan takografların yapımı, kurulumu, kullanımı, test edilmesi ve kontrolü ile ilgili gereklilikler ortaya konulmaktadır. (AB) 2020/1054 yönetmeliğinde takograflar vasıtasıyla konum bilgisinin kaydedilmesiyle ilgili detaylar belirtilir. (AB) 2020/1054 Tüzüğünde değişiklik yapılarak Avrupa Komisyonunun uygulama kanunları aracılığıyla Akıllı Takografin ikinci bir versiyonuna ilişkin teknik şartnamenin kabul edilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Ağustos 2023'ten itibaren yeni kayıtlı araçların akıllı takografin 2. versiyonu ile donatılması istenmiştir. Versiyon 2, diğerlerinin yanı sıra, sınır geçişlerini kaydetme, yükleme/boşaltma sırasında araç konumunu kaydetme veya Galileo tarafından sağlanan kimlik doğrulama sisteminin uygulanması gibi Versiyon 1'e göre çeşitli iyileştirmeler içermektedir.

Ayrıca AB ülkelerinin, denetim yapan yetkililerinin uzaktan iletişim teknolojisini kullanma konusunda eğitilmeleri için Ağustos 2024'e kadar süreleri bulunmaktadır. Veriler yalnızca yol kenarı kontrolü süresince saklanabilir ve takografla ilgili herhangi bir yanlış kullanım olmadığı sürece 3 saat içinde silinmelidir.

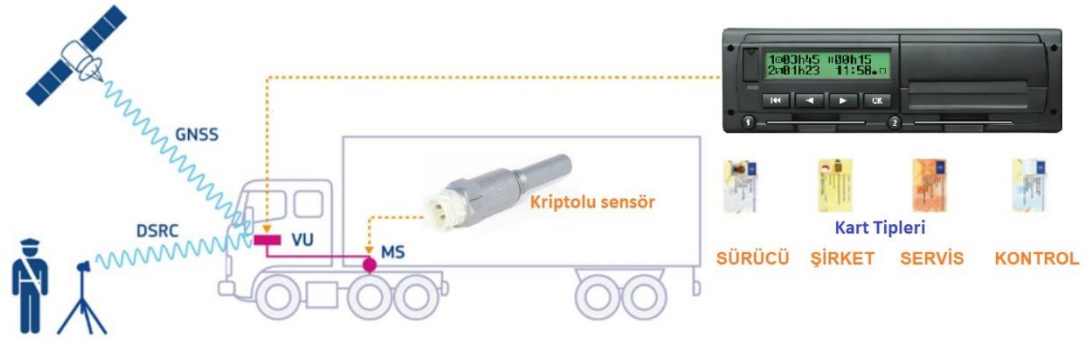
AB’de kullanım zorunluluğu olan dijital takografin özellikleri ve fonksiyonları ile nasıl test edilip onay verileceğiyle ilgili de detaylı bir mevzuat bulunmaktadır. 3821/85 olarak isimlendirilen 341 sayfalık bu mevzuat, cihazı kullanan sürücüler ve denetim

yapan görevlilerin kolay kullanımı için cihazın donanım ve yazılım özelliklerini ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. Opsiyonlu özelliklerin az olması nedeniyle takograf üreten farklı firmaların ürünleri birbirine benzemektedir [30].

2.3. Güncel Takograf Sistemi

Dijital takografa yeni donanım ve özelliklerin eklenmesiyle ortaya çıkan cihaz akıllı takograf olarak isimlendirilmektedir. Akıllı takograflarda kullanıcı ara yüzünde donanımsal bir değişiklik olmamıştır. Esasen yardımcı sürücü kartının takılabilmesi amacıyla bulunan 2. kart yuvası diğer kart yuvası ile birlikte çeşitli kart kombinasyonları ve farklı fonksiyonlar için de kullanılmaktadır. İlgili verileri indirme, işlemlerin kayıt altına alınabilmesi ve bazı fonksiyonların aktif hale gelmesi için takografa sürücü kartından başka şirket, servis ve denetim kartları da kullanılır. Bütün kartlar bir mikro denetleyiciye sahiptir ve kriptolu güvenli haberleşme ile çalışmaktadır. Takografa çeşitli raporların ve hız grafiğinin basılabilmesi için termal yazıcı bulunmaktadır. Mesafe sinyallerini de kriptolu olarak haberleştiği sensörden alır. Sensör, içinde güvenlik şartlarını sağlayan mikro denetleyicili elektronik bir karta sahiptir. Takografla haberleşirken mesafe sinyallerini gönderdiği hattın dışında kriptolu haberleşmeyi sağlayan ikinci bir haberleşme hattı vardır.

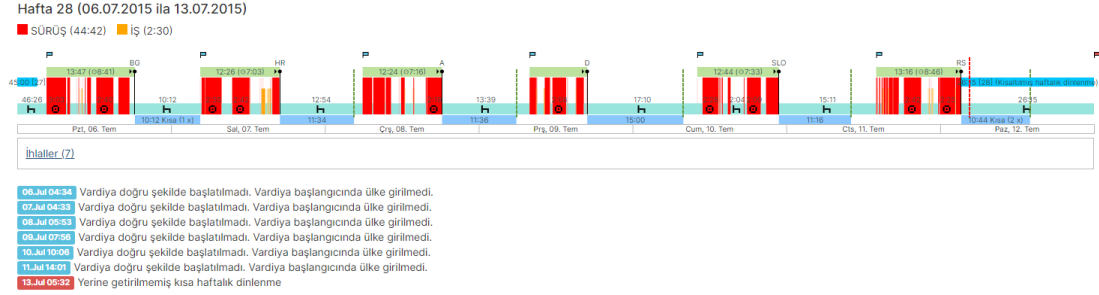
İhlaller ve çeşitli hata durumları hem takograf ana ünitesinin hafızasına hem de kartların hafızasına kaydedilir. Sürücü farklı araçları kullanabileceği için sistemde sürücü bazlı takip, sürücü kartı üzerinden yapılmaktadır. Kayıtlar sürücü kartına yapılır. Sürücü kartının kayıt kapasitesi kayıt sayısına bağlı olarak ortalama 1 ay öngörülmüştür. Takografin takılı olduğu aracı farklı sürücüler kullanabilir, dolayısıyla takograf ana ünitesindeki kayıtlar plaka bazında sürücü bilgileriyle birlikte kaydedilmektedir. Ana ünitenin kayıt kapasitesi de yine kayıt sayısına bağlı olarak yaklaşık 1 yıl olarak öngörülmüştür. Hem sürücü hem de ana üniteye kayıtların bu süreler dolmadan indirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla takografa veri indirme soketi bulunmaktadır. Bu sokete takılarak mevzuattaki haberleşme protokolüne göre verilerin indirilmesini sağlayan veri indirme modülleri bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Avrupa akıllı takograf sistemi

Şekil 2.4.'te Akıllı takograf sisteminin geldiği son durum itibariyle eklenen GNSS konum bilgisi ile araç hareket halindeyken denetim istasyonlarına DSRC haberleşme ile kayıtların özet bilgisinin gönderilmesi de gösterilmektedir. Takografda GNSS konum bilgisi hem kriptolu haberleşmeye rağmen yapılan sensör müdahalelerinin önüne geçmek için ikinci bir doğrulama kaynağı olarak hem de yolculuk başlangıç-bitiş konumları ve ileride ülke geçişlerinin otomatik algılanması gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. DSRC sistemiyle takografda ve sürücü kartındaki bütün kayıtlar hareket halinde gönderilebilecek veri kapasitesi oldukça sınırlı olduğundan transfer edilmemekte, sadece ihlal olup olmadığına dair özet bilgiler gönderilmektedir [31].

Avrupa takografı sürüş güvenliğinin yanında Çalışma Bakanlıkları için sürücülerin çalışma ve dinleme saatlerinin kaydedilmesini de hedeflemektedir. Takograf ve sürücü kartlarından indirilen ham dosyalardan eksik kayıt ve ihlal durumlarının anlaşılması çok zor olduğundan bu işlemleri gerçekleştiren analiz yazılımları bulunmaktadır. Analiz yazılımları ham dosyaları arşivleyip birleştirerek geçmişe dönük çalışma saatlerini, eksik kayıtları, yapılan ihlal ve diğer hataları sürücü ve araç bazlı olarak listelemektedirler. Ayrıca indirilen hız verilerinden saniye bazlı detaylı hız grafiklerinin görüntülenmesi de sağlanır. Fakat saniye bazlı hız bilgisi takografda kapasite zorluğu nedeniyle 1 yıl veya 1 ay için değil, son 24 saatlik sürüş için tutulmaktadır. Dolayısıyla toplam sürüş süresine bağlı olarak takografтан veriler indirildiğinde bir veya birkaç günlük sürüşe ait hız grafiklerine ulaşmak mümkündür.



Şekil 2.5. Avrupa takograf kayıt analiz yazılımı

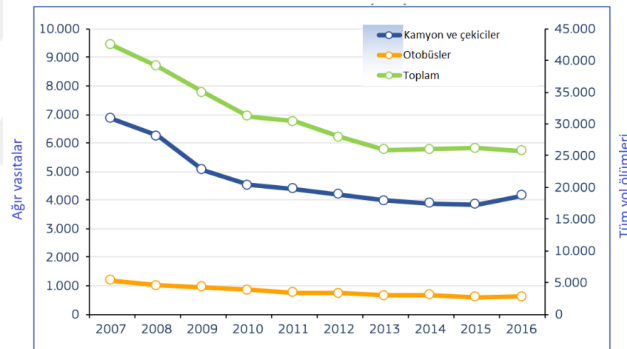
Şekil 2.5.'te analiz yazılımlarının görselleriyle ilgili bir kesit bulunmaktadır. Grafiklerde hangi tarih aralıklarında sürüş kayıtlarının bulunduğu gösterilerek kullanıcının incelemek istediği tarihi veya aralığı seçip o kısımdaki detaylı bilgileri ve ihlalleri inceleyebilmesi sağlanmaktadır. Dolayısıyla analiz yazılımları araçlar ve sürücüler için bir veri tabanı tutmakta, belli aralıklarla veriler bu veri tabanına aktarılırken aynı zaman dilimlerine ait veriler ayıklanarak veri tabanına kaydedilmektedir. Böylece geçmişe dönük kesintisiz takograf ve sürücü kartı kayıtları muhafaza edilmektedir. Çünkü kayıt eksikliğinin cezai müeyyidesi bulunmaktadır. Takografin geldiği noktada ihlaller araç hareket ederken otomatik olarak denetim istasyonlarına transfer edilmekte, ülke geçişleri konum bilgisi sayesinde otomatik olarak algılanacak hale gelmektedir. Fakat sistemde sürücü davranışıyla ilgili sürüş süresi ve konumu ile hız bilgisinin dışında doğrusal ve yanal manevraların agresifliğiyle ilgili herhangi bir yaklaşım söz konusu değildir.

2.4. Takografin Trafik Güvenliğine Katkıları

Temelde araç kullanım süresi ve hız ihlallerinin azaltılmasını amaçlayan mevcut takograflar ağır vasıtalar açısından hem trafik kazalarının sayısının hem de kazalarda kayıpları artıran çarpışma şiddetinin azalmasına katkı sağlarlar. Türkiye'de karayollarını kullanan araç dağılımında ağır taşıt oranı diğer gelişmiş ülkelere kıyasla oldukça yüksektir. Şehirlerarası yollardaki ağır taşıt oranı ortalama %40–50 arasındadır. Bu durum ağır vasıta araçların karıştığı kaza oranlarına yansımaktadır. Örneğin Türkiye'deki 2016 yılına ait trafik kazalarının yaklaşık %75'i yerleşim yeri içinde %25'i yerleşim yeri dışında gerçekleştiği halde ölümlerin %51,7'si yerleşim yeri dışında gerçekleşmiştir. Bu sonuç hız ortalamasının yüksek olduğu şehirlerarası

yollardaki kazaların çok daha ölümcül olduğunu göstermektedir. Aynı durum AB ülkelerinde de görülmekte ve konuyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün rakamlarına göre trafik kazalarında yaklaşık olarak her yıl 1,2 milyon kişi hayatını kaybederken, 50 milyon kişi de yaralanmaktadır. Ayrıca trafik kazalarındaki maddi kayıplar da oldukça yüksektir. Birleşik Krallık Taşımacılık Araştırma Laboratuvarı'nın düşük, orta ve yüksek gelirli 21 ülkeden aldığı verilerle yaptığı araştırma sonuçlarına göre dünya genelinde karayolu trafik kazalarının ülkelere toplam bedeli yaklaşık 518 milyar ABD Dolarıdır [32] .

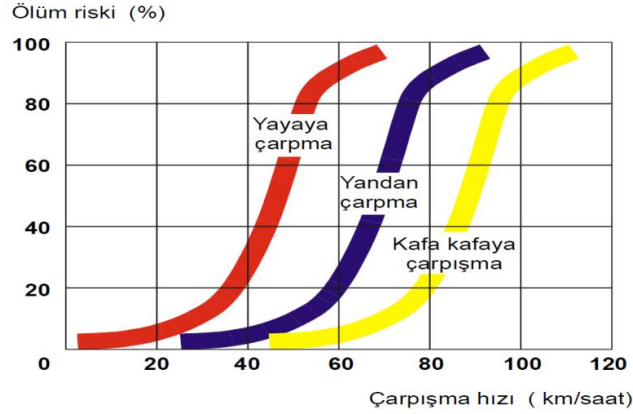
Şekil 2.6.'daki grafik Avrupa Birliğinde 2007 ve 2016 yılları arasında, ağır vasıta araçların sebep olduğu kazalardan kaynaklı ölümlerin %40 civarında azaltıldığını ortaya koymaktadır. Bu azalmanın dijital takograf uygulamasının başladığı 2006 yılından sonraki süreçte hızlandığı açıkça görülmektedir [33].



Şekil 2.6. Avrupa Birliğinde ağır vasıta kazalarındaki ölüm oranlarının değişimi [33]

Yüksek hız kaza riskini artırmaktadır. Hızın fazla olması sürücünün tehlike durumunu algılayarak refleks göstermesi için ihtiyaç duyacağı süreyi azaltmaktadır. Hız görülen nesnelerin fark edilmesini zorlaştırdığı için çevredeki yayalar ve taşıtlar yeterince algılanmamakta ve kazalar meydana gelmektedir. Sürücünün araç veya yayalarla karşılaşma noktalarında durmak veya manevra yapmak açısından karşılaşma süresini tahmin etmesi gerekmektedir. Dolayısıyla karşılaşma süresini tahmin etmek için de karşıdaki araç hızının tahmin edilmesi gerekmektedir. Ancak hız yüksek olduğunda karşılaştığı araçların hızlarını olduğundan düşük, uzaklıklarını ise olduğundan fazla tahmin etmektedir. Hız nedeniyle karşılaşma noktasını yanlış hesaplayan sürücü için

kaza riski artmaktadır [34]. Şekil 2.7.'de hız ile ölüm riski arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Çarpışma hızına bağlı trafik kazalarındaki ölüm riski [34]

70 km/h çarpma hızıyla çarpışan araçlardaki kişilerin ölüm riski %10 iken hız 100 km/h olduğunda ölüm riski %90 olmaktadır. Bu sonuçlar aşırı hızın ölüm riskini ne derece artırdığını ortaya koymaktadır.

Sürüş süresinin etkisini incelediğimizde yorgunluk ve uykusuzluğun trafik kazalarının en önemli sebepleri olduğu görülmektedir. Aslında uykusuzluk ve yorgunluk nedeniyle istatistiklere yansıyandan daha fazla kaza gerçekleşmektedir. Fakat kazadan sonra bu sebeplerin tespit edilmesinde bazı zorluklar mevcuttur. Örneğin Birleşik Krallık 'ta geçmiş yıllarda Uyku Araştırma Merkezince yapılan araştırmalarda, düz yollarda meydana gelen kazaların %20'den fazla bir oranla sürücü yorgunluğundan kaynaklandığı ortaya konulmuştur. Almanya Bavyera'da otoyol kazaları üzerine yapılan bir çalışmada otoyolda gerçekleşen ölümlü kazaların %35'inin uyku durumu nedeniyle gerçekleştiği öngörülmüştür [32].

Avrupa Komisyonunun 2011 yılında yayımladığı; "Takograf Sisteminin Verimliliğinin ve Yararlılığının Artırılması" ile ilgili raporda ağır vasıta ticari araçlar için yorgunluk faktörü maliyet açısından ele alınmıştır. Çalışma sonucundaki çarpıcı sonuçlardan biri, 27 AB Ülkesi açısından ağır vasıta ticari araç kazalarının temel sebeplerinden biri ve kazaları ağırlaştırıcı unsur olarak yorgunluğun tüm kazalardaki oranının %40 olarak tespit edilmesidir [32].

2.5. Takograflarla İlgili Çalışmalar

Literatürde takografla ilgili çalışmalarda; takografin detaylı özellik ve fonksiyonları, akıllı takografin yeni özelliklerinin değerlendirilip kıyaslanması, sürücü yorgunluğunu tespit eden takograf benzeri bir cihaz, sürüş tarzının değerlendirilmesi, izlenmesi ve ivmeölçer, jiroskop, manyetometre gibi sensörlerle donatılan dijital takografin akıllı şehir sistemlerine katkısı ve dijital takograflardaki kriptolu sensör verilerinin GNSS verileriyle doğrulanması gibi farklı alanlarda çalışmalar bulunmaktadır.

Rogavichene ve arkadaşları 2017 yılında sürüş tarzının değerlendirilmesi, izlenmesi ve düzeltilmesi için yeni yöntemler önermişlerdir [35]. Çalışmanın özgünlüğü sürüş stilinin değerlendirilmesi ve düzeltilmesi, sürüş özellikleri sisteminin geliştirilmesi ve düzeltme yöntemlerinin uygulama algoritması için kullanılabilecek teknolojilerin analizinde yatmaktadır.

Baldini ve arkadaşları 2018 yılında akıllı takografin detaylı özellikleri ile takografa eklenen yeni özelliklere ilişkin AB mevzuatında yapılan değişiklikleri ele almışlardır [31]. Çalışmada revize yeni takografin tasarımının temel unsurları önceki takografla kıyaslanmıştır.

Borio ve arkadaşları 2018 yılında akıllı takografa farklı sensörlerden gelen hız verilerinin tutarlılığını periyodik olarak doğrulamışlardır [36]. Bu amaçla GNSS'den gelen verilerle takografin kriptolu sensöründen gelen verileri kıyaslamışlardır.

Arai ve arkadaşları 2020 yılında dijital takografların yaygınlaşmasıyla otobüslerin gerçek zamanlı olarak rotasının düzeltilmesini amaçlamışlardır [37]. Sensör verilerinin akıllı şehir altyapısına katkı yapması amaçlanmıştır. İvme ölçer, jiroskop, magnetometre ve başka sensör verilerini hücresele ağ aracılığıyla sunucuya ileten bir dijital takograf önerilmektedir.

Pinola ve arkadaşları 2021 yılında sürücülerin yorgunluğunu ve diğer faktörleri tespit etmek için “İnsan Takografı” ismini verdikleri sensörlerle donatılmış giyilebilir

cihazlarla 5G bağlantısını kullanarak sürücü izlemeyi gerçekleştirmişlerdir [38]. Sürücü durumuna dayalı olarak bir trafik uyarı sisteminin yoldaki diğer sürücüleri uyarmasını hedeflemişlerdir.

Ugolkov 2021 yılında modern takografların türlerini ve ilkelerini araştırmıştır [39]. Problemlerin analizi ve takografların kullanımının ekonomik verimliliğini sorguladıktan sonra çalışma prensipleri, teknik gereksinimleri, yasal çerçeve ve metrolojik özelliklere ilişkin gereklilikleri açıklamıştır. Takograf kullanımı sayesinde kazalardaki düşüş miktarı anlatılmıştır.

Takografla ilgili farklı alanlarda birçok çalışma yapılmasına rağmen çeşitli sensörlerle tespit edilebilen sürücü manevralarının şiddetini belirleyerek hız ve sürüş süresi ihlalleriyle birlikte kayıt altına alınmasıyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez kapsamında yanal ve doğrusal sürücü manevralarını tespit ederek puanlayan, hız ve sürüş süresi ihlalleriyle birlikte kayıt altına alan yeni bir takograf geliştirilmesi için çalışma yapılacaktır.

BÖLÜM 3. SÜRÜCÜ VE SÜRÜŞ TANIMA YÖNTEMLERİ

Literatürdeki çalışmalar daha çok sürüş stilini, sürücü davranışını ve kaza riskini algılama ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik yönlendirme ve bilgi vermeye odaklanmıştır. Son yıllardaki çalışmaların akıllı telefonların gelişimiyle neredeyse her telefonda bulunan ivmeölçer, jiroskop, manyetometre ve GPS verilerini kullanmak suretiyle gerçekleştiği görülmektedir. Çalışmalarda virajlar, eğimler, şerit değişiklikleri ve u dönüşleri algılanmaya ve tasnif edilmeye çalışılmıştır. Sadece yanal manevralara odaklanan çalışmalar olduğu gibi doğrusal ve yanal manevralara birlikte odaklanan çalışmalar da bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda gözlenen bir unsur GPS verilerinin neredeyse sadece hız verisi için kullanılmasıdır. Dönüşler, şerit değiştirmeler ve u dönüşleri jiroskop, ivmeölçer ve manyetometrelerle algılanmaktadır. Birçok çalışmada sadece jiroskop verileri kullanılmıştır. GPS'den alınan hız verileri yüksek binalar nedeniyle yansımaların çok olduğu şehir merkezlerinde, tünellerde ve sinyallerin zayıf olduğu durumlarda hatalı olmaktadır. Diğer sensörler için araca koordinatları belirlenmiş bir şekilde monte edilmiş bir cihaz yerine sadece test amacıyla akıllı telefonların kullanılması çalışmaların pratikte uygulanabilirliğini güçleştirmektedir.

3.1. Yanal Manevraların Tespiti

Yanal manevraların tespitinde genellikle jiroskop ve/veya ivmeölçerin kullanıldığı görülmektedir. Çalışmalarda manevraların başlangıç ve bitiş noktalarını algılamada daha çok belirli bir pencere için basit hareketli ortalamaya veya karesel ortalamaya dayanan uç nokta algılama sistemi [40] veya standart sapma ve benzeri değerlerin eşik değere bağlı kontrolü gibi yöntemler kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda kontrol edilen verilerin zamana bağlı dalgaları eşik değer üzerinden incelenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktalarının doğru bir şekilde tespit

edilmesinin temel sorun olduğu ve sonuçların doğruluğunu büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Fakat önceki çalışmalarda bu kısmın üzerinde yeterince durulmadığı görülmüştür. Çünkü yukarıda sayılan yöntemlerle özellikle şerit değişikliklerinin çoğunun ve art arda gelen dönüş manevraların bir kısmının algılanması zordur. Yapılan testlerde bu durum gözlenmiştir.

Yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktalarını tespit ettikten sonra manevranın türünün tespit edilmesinde ise çoklu dalga (art arda gelen dalgaların yorumlanması) [3], bir desen eşleştirme yöntemi olarak Dinamik Zaman Bükme (Dynamic Time Warping - DTW) [4-6] [10] [15] [22] ve K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors – K-NN) [5] [23] gibi yöntemlerin yanı sıra olasılık ve tahmine dayalı Çok Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağı (Multilayer Feed Forward Neural Network - FFNN) [41], Gizli Markov Modeli (Hidden Markov Model - HMM) [16] [21-22] ve Maksimum Benzerlik (Maximum Likelihood - ML) [6] gibi teknikler de kullanılmıştır.

Johnson ve Trivedi 2011 yılında akıllı telefon ile belirli bir pencere için jiroskopun dönme enerjisinin basit hareketli ortalamasına dayanan uç nokta algılama yöntemini kullanarak olayları tespit etmişlerdir [5]. Daha sonra her üç sensörden (jiroskop, ivmeölçer, manyetometre) her olay için 5 farklı şablon olmak üzere toplam 120 şablon oluşturmuşlardır. Desen eşleştirme tekniği DTW ve sınıflandırma yöntemi olarak K-NN yöntemlerini kullanarak manevraları ayırt etmişlerdir. Birçok farklı şablonun kullanılması akıllı telefon dışında bir cihaz söz konusu olduğunda gecikmelere ve hatalara sebep olabilecek bir durumdur. Manevra puanlaması normal ve agresif olarak iki kategoride yapılmıştır.

Pholprasit ve arkadaşları 2015 yılında akıllı telefon ile doğrusal ve yanal manevraları algılamaya çalışmışlardır [4]. İvmeölçer verilerinin standart sapmasını eşik değer kontrolüne tabi tutarak olayları algıladıktan sonra DTW desen eşleştirme yöntemi ile manevraları ayırtmışlardır. İvmeölçer verileri jiroskop verilerine göre daha fazla gürültü içerdiğinden standart sapma hesabıyla özellikle şerit değişikliği ve art arda gelen dönüş manevralarının algılanmasında zorluklar bulunmaktadır. Manevraların puanlanması normal ve ani olmak üzere sadece iki kategori için yapılmıştır.

Engelbrecht ve arkadaşları tarafından 2015 yılında akıllı telefon vasıtasıyla yanal manevraları algılamak amacıyla olaylar belirli bir pencere için ortalama verilerini kullanarak uç nokta algılama sistemiyle tespit edilip DTW yöntemi ve bir olasılık yöntemi olarak ML ile ayırt edilmişlerdir [6]. Çalışmada iki yöntemin sonuçları kıyaslanarak ML'nin daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Kullanılan yöntemlerde agresif manevraların sınıflandırma doğruluğu normal manevradan daha düşük kalmaktadır. Diğer birçok çalışmada olduğu gibi agresif manevralar için ayrı şablonlar bulunduğundan bazı manevraların kaçırılması veya yanlış kategoride değerlendirilmesi kaçınılmazdır.

Daptardar ve arkadaşları 2015 yılında akıllı telefon vasıtasıyla jiroskop verilerini Kalman filtresiyle düzelttikten sonra saniyelik eğimleri hesaplayarak HMM'nin giriş katmanını oluşturmuşlardır [16]. Manevraların başlangıç ve bitiş bölümlerindeki eğimlerin çoğu bir saniyeden daha geniş olduğu için genişliği değişken esnek eğim modeliyle manevra kenarlarının daha iyi yakalandığı bu tez çalışmasında gözlenmiştir. Tablo 3.1.'de yapılan çalışmalarda kullanılan sensörler ve yöntemler toplu olarak verilmiştir.

Ouyang ve arkadaşları tarafından 2016 yılında akıllı telefon ile yanal manevraları algılamak için MultiWave ismi verilen yöntemle jiroskop verilerindeki dalgalar için eşik değer kontrolü yapıldıktan sonra art arda gelen dalga şekillerinden manevra türüne karar verilmiştir [3]. Dalgalar kontrol edilirken sıfıra göre eşik değere bakıldığından eşik değere bağımlılık yüksektir. Art arda gelen dalga formlarından şerit değişikliklerinin algılanması yöntemi ani yön değiştiren veya sağa-sola dönüş sırasında gerçekleşen şerit değişikliklerini algılamada zorlanacaktır.

Liu ve arkadaşları 2017 yılında akıllı telefon vasıtasıyla tehlikeli direksiyon hareketlerini jiroskop sinyallerinin kısa süreli enerji ortalamalarını kullanarak uç nokta algılama yöntemiyle tespit etmeye çalışmışlar, manevraları ayırt etmek için DTW desen eşleştirme yöntemini kullanmışlardır [15]. İlave olarak sürücünün dönüşler

sırasında sinyal verip vermediği bilgisini de ses algılama algoritmaları ile tespit etmeye çalışmışlardır.

Najim Al-Din ve arkadaşları 2018 yılında akıllı telefon vasıtasıyla olayları kısa süreli enerji ortalamalarını kullanarak uç nokta algılama sistemiyle tespit edip FFNN yöntemiyle ayırt etmişlerdir [41]. Olayların tespitinde kullanılan uç nokta algılama sistemiyle özellikle şerit değişikliği ve art arda gelen dönüş manevralarının başlangıç ve bitiş noktalarının doğru bir şekilde yakalanmasında çeşitli problemler bulunmaktadır.

Tablo 3.1. Manevra algılama çalışmalarında kullanılan yöntem ve teknikler

Çalışma	Sensörler	Olay algılama tekniği	Manevra sınıflandırma tekniği	Manevra puanlama tekniği
Johnson – Trivedi [5]	GPS, Jiroskop, İvmeölçer, Manyetik	Uç nokta algılama	DTW, k-NN	DTW-şablonlarla (Normal-agresif)
Pholprasit [4]	GPS, Jiroskop, İvmeölçer, Manyetik	Eşik değer algılama	DTW, Desen eşleştirme	Eşik değer kontrolü (Normal-Ani)
Engelbrecht [6]	GPS, Jiroskop, İvmeölçer	Uç nokta algılama	DTW, ML	Hız+jiroskop+ivme ile formül (Normal-agresif)
Daptardar [16]	GPS, Jiroskop, İvmeölçer,	Eğim kontrolü	HMM (Gizli Markov Modeli)	Doğrusal manevra için formül
Ouyang [3]	GPS, Jiroskop, İvmeölçer	Eşik değer algılama	Çoklu dalga kontrolü	Kullanılmamış
Liu [15]	Jiroskop, İvmeölçer, Dönüş sinyal sesi	Uç nokta algılama	DTW	Açısal hız eşikleri (Normal-Ani)
Najim Al-Din [41]	Jiroskop, İvmeölçer, Manyetik, OBD	Uç nokta algılama	FFNN	Kullanılmamış

Bu tez çalışması kapsamında yapılan testlerde şerit değişikliklerini kaçırmamak adına yarım saniyenin üstündeki periyotlarda filtre kullanılmamasının da etkisiyle yanal manevra desenlerinin manevradan manevraya çok fazla değişiklik göstermesi nedeniyle desen eşleştirme yönteminin uygun olmadığı görülmüştür. Bunun dışında bu çalışmada gerçekleştirilmiş veriler üzerinde inceleme yapıldığı için tahmin ve olasılığa dayalı yöntemlerin kullanılmasına da gerek görülmemiştir. Önceki çalışmalarda genellikle doğruluk sonuçlarında, yakalanan manevra sayıları dikkate alınmıştır. Bu

tez çalışmasında yakalanan manevra sayılarının yanı sıra manevra şiddet derecelerinin karşılaştırması da yapılmıştır.

3.2. Doğrusal Manevraların Tespiti

Doğrusal hızlanma ve fren manevralarının daha çok hız ve/veya ivmeölçer verileri kullanılarak tespit edildiği ve puanlandığı görülmüştür. Genellikle ivmeölçerin Y eksenini kullanılmaktadır. Doğrusal manevralarda başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde gürültünün neredeyse hiç olmadığı hız verilerinin kullanılması daha anlamlı olduğu halde bazı çalışmalarda hızın dışında ivmeölçer verilerinin de kullanıldığı anlaşılmaktadır. Doğrusal manevraların türünün ve şiddetinin belirlenmesinde yanal manevralarla birlikte DTW [4] ve FFNN [41] yöntemleri kullanıldığı gibi manevra sınıflandırılmasında K-Means [23] yöntemi de kullanılmıştır. Jerk Enerji ile ivme değişimlerini inceleyerek doğrusal manevraları ayırtıran çalışmalar da bulunmaktadır [16] [42]. Ayrıca hıza dayalı doğrusal manevraları tespit ve kontrol etmeye yönelik çeşitli çalışmalar da mevcuttur.

Chakravarty ve arkadaşları 2013 yılında ivmeölçer verilerinden Jerk enerjisi 1 saniyelik zaman penceresi için hesaplayarak riskli sürüşleri sınıflandırmak için kullanmışlardır [42].

Daptardar ve arkadaşları 2015 yılında doğrusal manevraları akıllı telefonlardan aldıkları doğrusal ivmeölçer ve hız verileri vasıtasıyla her pencere için aşağıdaki Jerk Enerji tabanlı doğrusal olay algılama formülüyle tespit etmişlerdir [16]. Denklem 3.1’de belirli bir pencere için Jerk enerjinin maksimum-minimum farkı kullanılmaktadır. RoV hızdaki değişim oranıdır.

$$Index = (RoV * (JEmax - JEmin))/100 \quad (3.1)$$

Mantouka ve arkadaşları 2019 yılında akıllı telefondan alınan ivmeölçer, jiroskop ve hız (GPS) verilerini K-Means sınıflandırma tekniğini kullanarak sürüşleri güvenli, agresif, riskli, dikkatsiz, agresif riskli ve agresif dikkatsiz şeklinde sınıflandırmışlardır

[23]. Sınıflandırma sonuçları 1. ve 2. seviye sınıflandırma için ayrı ayrı bulunmuş ve gösterilmiştir.

Mumcuoğlu ve arkadaşları 2020 yılında ağır vasıta araçların hızlanma ve frenleme davranışlarını sınıflandırmak için Uzun Kısa Süreli Bellek Ağı (Long Short Term Memory Network-LSTM) tekniğini kullanmışlardır [25]. LSTM ağı, zaman serisi sinyallerinde uzun vadeli bağımlılıkları yakalama kabiliyeti nedeniyle seçilen bir RNN-Tekrarlayan Sinir Ağı yapısıdır.

3.3. Literatürde Yaygın Kullanılan Yöntemler ve Tez Kapsamında Önerilen Uzman Sistem Yaklaşımları

3.3.1. Uç nokta algılama yöntemi (End-point detection)

Uç nokta algılama yöntemi olası bir manevranın ne zaman başlayıp ne zaman bittiğini algılamak için kullanılır. Sürüşe ait sensör verilerinin herhangi bir anında k boyutunda bir pencere için basit hareketli ortalama değeri kısa süreli enerji, sıfır-geçiş oranı, korelasyon, standart sapma ve benzeri karakteristik parametreleri kullanılarak bulunur. Sürüşteki muhtemel manevra olayları genellikle daha belirgin değişimler gösterdiği için jiroskop verileri ile tespit edilmektedir. Bu yöntemle sinyaldeki gürültünün de filtrelenmesi amaçlanmaktadır. Belirli bir pencerede olay olduğuna karar vermek için bulunan basit hareketli ortalama değeri ile eşik değer kontrolü yapılır. Sürekli olarak hesaplanan karakteristik parametre eşik değerinin üstüne çıkarsa bu nokta olayın başlangıç noktası demektir. Parametre eşik değerinin altına düşene kadar olay bölgesi kabul edilir. Eşik değerinin altına düşülen nokta olayın bitiş noktasıdır. Yapılan testlerde bu yöntemle özellikle enerjisi düşük şerit değişikliklerinin bir kısmının kaçırıldığı görülmüştür.

3.3.2. Dinamik zaman bükülmesi (Dynamic time warping-DTW)

Bir konuşma tanıma tekniği olarak tasarlanan DTW algoritması uzunlukları birbirinden farklı da olabilen iki zamansal dizi arasındaki benzerliği belirli

kısıtlamalarla sayısal olarak hesaplayan bir algoritmadır. İki dizi arasındaki en uygun hizalamayı bulan algoritma sayesinde sinyallerin önceden hafızaya kaydedilen şablonlarla kıyaslanabilmesi sağlanarak manevraların tasnif edilmesi amaçlanmaktadır [43]. Mesela “Örnek” ve “Test” adında iki dizi olsun, bu iki dizinin eşleşip eşleşmediği kontrol edilmek isteniyor.

$$\text{Örnek} = \{1, 2, 3, 5, 5, 5, 6\}$$

$$\text{Test} = \{1, 1, 2, 2, 3, 5\}$$

Bu iki dizi arasındaki en yakın eşleşme araştırılmaktadır. Öncelikle $d(x,y)=|x-y|$ iki nokta arasındaki mesafeyi tanımlar. Bu iki dizi kullanılarak 2 boyutlu bir matris oluşturulur. Matriste dizilerdeki satır ve sütunların ilk elemanları sıfır olarak kabul edilir. Dolayısıyla matrisin boyutu dizilerin boyutunun bir fazlası şeklinde olacaktır. Her nokta arasındaki mesafeler hesaplanacaktır. Örnek dizisinin her noktasıyla Test dizisinin noktaları arasındaki optimum eşleşmeyi bulmak için Tablo 3.2.’deki gibi bir matris tablosu oluşturulur.

Tablo 3.2. Optimum eşleşme matrisi

	0	1	1	2	2	3	5
0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞						
2	∞						
3	∞						
5	∞						
5	∞						
5	∞						
6	∞						

Tablonun herhangi bir noktasındaki $\text{Tablo}[i][j]$ gözlemlenen tüm optimal mesafeleri dikkate alarak iki dizi arasındaki optimal mesafeyi temsil eder. İlk satır için Örnek’ten hiçbir değer alınmadığında bununla Test dizisi arasındaki mesafe sonsuz olacaktır. Aynı durum ilk sütun için de geçerlidir. Bu nedenle ilk satır ve ilk sütunda sonsuzluk vardır. Daha sonra her adımda ilgili iki nokta arasındaki mesafe dikkate alınır ve o noktaya kadar bulunan minimum mesafeyle toplanır. Bu o noktaya kadar olan iki

dizinin en uygun mesafesini verecektir. Formül Denklem 3.2'deki gibi ifade edilmektedir:

$$\text{Tablo}[i][j] = d(i, j) + \min(\text{Tablo}[i-1][j], \text{Tablo}[i-1][j-1], \text{Tablo}[i][j-1]) \quad (3.2)$$

Dizideki ilk değer için $d(1,1)=0$ 'dır ve $\text{Tablo}[0][0]$ minimum değeri içerir. Dolayısıyla $\text{Tablo}[1][1]=0+0=0$ olacaktır. İkinci değer $d(1,2)=0$ 'dır ve $\text{Tablo}[1][1]$ minimumu temsil eder. $\text{Tablo}[1][2]=0+0=0$ olur. Üçüncü değer $d(1,3)=1$ ve $\text{Tablo}[1][2]$ minimumdur. $\text{Tablo}[1][3]=1+0=1$ olur. Bu şekilde Tablo 3.3.'teki gibi bütün değerler doldurulur.

Tablo 3.3. Hesaplanmış optimum eşleşme matrisi

	0	1	1	2	2	3	5
0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	0	0	1	2	4	8
2	∞	1	1	0	0	1	4
3	∞	3	3	1	1	0	2
5	∞	7	7	4	4	2	0
5	∞	11	11	7	7	4	0
5	∞	15	15	10	10	6	0
6	∞	20	20	14	14	9	1

$\text{Tablo}[7][6]$ 'da bulunan değer verilen iki dizi arasındaki maksimum mesafeyi temsil eder. Örnek ve Test dizileri arasındaki maksimum mesafenin "1" olduğu görülmektedir. Daha sonra bu son noktadan başlayıp (0,0) noktasına doğru geriye gidilirse yatay, dikey ve çapraz hareket eden bir çizgi elde edilir. Geri izlemenin prosedürü aşağıdaki şekilde olacaktır:

```

if  $\text{Tablo}[i-1][j-1] \leq \text{Tablo}[i-1][j]$  and  $\text{Tablo}[i-1][j-1] \leq \text{Tablo}[i][j-1]$ 
     $i = i - 1$ 
     $j = j - 1$ 
else if  $\text{Tablo}[i-1][j] \leq \text{Tablo}[i-1][j-1]$  and  $\text{Tablo}[i-1][j] \leq \text{Tablo}[i][j-1]$ 
     $i := i - 1$ 
else
     $j := j - 1$ 
end if

```

Yukarıdaki işlem (0,0)'a ulaşana kadar devam edecektir. Her hareketin bir anlamı vardır. Yatay hareket silmeyi dolayısıyla hızlanmayı, dikey hareket eklemeyi dolayısıyla yavaşlamayı temsil eder. Çapraz bir hareket ise eşleşmeyi temsil eder. Tablo 3.4.'te hareketin çizdiği yol renkli olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Geri izleme prosedürüne göre oluşan şekil

	0	1	1	2	2	3	5
0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1	∞	0	0	1	2	4	8
2	∞	1	1	0	0	1	4
3	∞	3	3	1	1	0	2
5	∞	7	7	4	4	2	0
5	∞	11	11	7	7	4	0
5	∞	15	15	10	10	6	0
6	∞	20	20	14	14	9	1

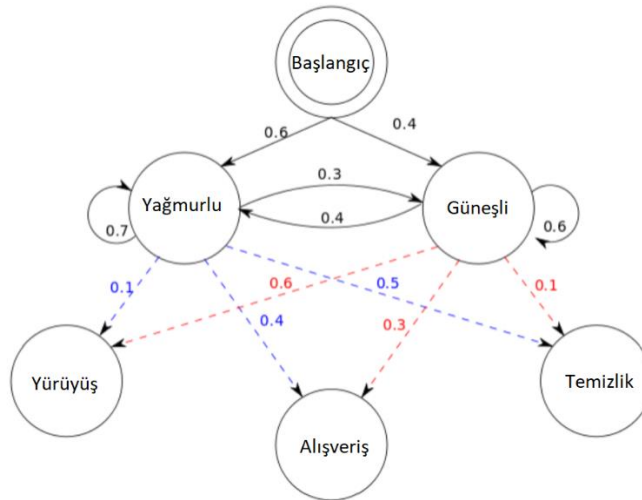
Bu yöntemle önceden hafızaya kaydedilen bir manevra modeli ile kontrol edilen sensör verilerinin herhangi bir bölümündeki benzerlik tespit edilmeye çalışılarak manevra tasnifi yapılmaktadır [44]. Agresif olanları da ayrı düşünüldüğünde her manevra türü için hafızada birçok şablon tutulması gerekmektedir. Kıyaslama işlemi de uzun sürdüğünden yöntemin kullanılması yüksek işlem ve hafıza kapasitesine sahip donanım platformları gerektirmektedir.

3.3.3. Gizli Markov modeli (Hidden Markov model-HMM)

Gizli Markov Modeli gizli birkaç durumu olan Markov modelinin bir türüdür. HMM modellenen sistemin gözlemlenmemiş veya gizli durumları olan Markov süreçleri olduğu istatistiksel bir modeldir. Markov varsayımı yardımıyla başka bir gizli durumun gözlemini verebilen bir gizli değişken modelidir. Gizli durum, doğrudan gözlemlenemeyen ancak Markov varsayımına göre bir veya daha fazla durumun gözlemlenmesiyle çıkarılabilen bir sonraki olası değişkene verilen terimdir. Markov varsayımı, gizli bir değişkenin yalnızca önceki gizli duruma bağlı olduğu varsayımdır. Matematiksel olarak, t anında bir durumda olma olasılığı sadece $(t-1)$ anındaki duruma bağlıdır. Sınırlı ufuk varsayımı olarak adlandırılır. Başka bir Markov varsayımı,

mevcut durum göz önünde tutulduğunda bir sonraki durum üzerindeki koşullu dağılımın zamanla değişmediğini belirtir. Bu aynı zamanda durağan süreç varsayımı olarak da adlandırılır. Bir Markov modeli durum geçişi ve birbirine koşullanmış gizli rastgele değişkenler olmak üzere iki bileşenden oluşur. Gizli bir Markov model ise beş önemli bileşenden oluşur:

- Başlangıç olasılık dağılımı: Durumlar üzerinde bir başlangıç olasılık dağılımı, π_i , Markov zincirinin i durumunda başlama olasılığıdır. Bazı j durumları $\pi_j = 0$ 'a sahip olabilir, yani bunlar başlangıç durumları olamaz. Başlangıç dağılımı, her bir gizli değişkeni $t=0$ zamanındaki (ilk gizli durum) başlangıç koşulunda tanımlar.
- Bir veya daha fazla gizli durum
- Geçiş olasılık dağılımı: Bir geçiş olasılık matrisi A , burada her bir a_{ij} i durumundan j durumuna geçme olasılığını temsil eder. Geçiş matrisi, gizli durumdan gizli duruma geçiş olasılıklarını göstermek için kullanılır.
- Bir dizi gözlem
- Emisyon olasılıkları: Her biri bir gözlem olasılığını ifade eden, emisyon olasılıkları olarak da adlandırılan bir dizi gözlem olasılığı o_i i durumundan üretiliyor. Emisyon olasılığı, gizli değişkeni bir sonraki gizli durumu açısından tanımlamak için kullanılır. $t=0$ anında her gizli durum için gözlemlenebilir bir çıktı üzerindeki koşullu dağılımı temsil eder.



Şekil 3.1. Gizli Markov model gösterimi

Şekil 3.1.'deki gizli Markov model gösterimi kullanılarak yukarıdaki özellikler şöyle açıklanır: Günün yağmurlu veya güneşli olmasına bağlı olarak birinin belirli bir günde yürüyor, alışveriş yapıyor veya temizlik yapıyor olup olmayacağını tahmin etme süreci temsil edilmektedir. Aşağıda verilen ifadeler gizli Markov modelinin beş bileşenini ifade etmektedir.

durumlar = ('Yağmurlu', 'Güneşli')

gözlemler = ('Yürüyüş', 'Alışveriş', 'Temizlik')

başlangıç olasılığı = {'Yağmurlu': 0.6, 'Güneşli': 0.4}

geçiş olasılığı = {

'Yağmurlu' : { 'Yağmurlu' : 0.7, 'Güneşli' : 0.3 },

'Güneşli' : { 'Yağmurlu' : 0.4, 'Güneşli' : 0.6 },

}

emisyon olasılığı = {

'Yağmurlu' : { 'Yürüyüş' : 0.1, 'Alışveriş' : 0.4, 'Temizlik' : 0.5 },

'Güneşli' : { 'Yürüyüş' : 0.6, 'Alışveriş' : 0.3, 'Temizlik' : 0.1 },

Yukarıdaki durumları açıklarsak;

- Yağmurlu ve güneşli olarak iki gizli durum vardır. Bu durumlar gizlidir çünkü işlem çıktısı olarak gözlenen şey kişinin alışveriş yapması, yürümesi veya temizlik yapmasıdır.
- Gözlem sırası alışveriş, yürüyüş ve temizlik şeklindedir.
- İlk olasılık dağılımı, başlangıç olasılığı ile temsil edilir
- Geçiş olasılığı, mevcut durumda verilen bir durumun (yağmurlu veya güneşli) diğer duruma geçişini temsil eder.
- Emisyon olasılığı, yağışlı veya güneşli durumlar göz önüne alındığında çıktının alışveriş, temizlik ve yürüyüş olma olasılığını temsil eder.

Gizli Markov modeli, ayrık rastgele değişkenler olan gizli değişkenlere sahip özel bir Bayes ağı türüdür. Birinci dereceden gizli Markov modeli, gizli değişkenlerin yalnızca bir duruma sahip olmasına izin verirken ikinci dereceden gizli Markov modelleri iki veya daha fazla gizli duruma sahip olmasına izin verir. Gizli Markov modeli iki farklı değişken durumunu temsil eder: Gizli durum ve gözlemlenebilir durum. Gizli durum doğrudan gözlemlenemeyen veya görülemeyen bir durumdur. Gözlemlenebilir durum

gözlemlenebilen veya görülebilen bir durumdur. Bir gizli durum birçok gözlemlenebilir durumla ilişkilendirilebilir ve bir gözlemlenebilir durum gizli durumlardan daha fazlasına sahip olabilir. Gizli Markov modeli gizli durumdan başka bir gizli duruma veya gizli durumlardan gözlemlenebilir durumlara bir emisyon olup olmayacağını belirlemek için olasılık kavramını kullanır [45].

3.3.4. Maksimum olasılık (Maximum likelihood-ML)

Belirli bir zamana kadar yapılan gözlemler kullanılarak bu zamandan sonraki durumun tahmin edilmesi olarak açıklanır. Genellikle, geçmiş ile gelecek arasındaki bağlantı bir fonksiyon cinsinden ifade edilir ve buna olasılık fonksiyonu (likelihood function) adı verilir. Örneğin bir yola ait trafik yoğunluğunu bir ay süreyle gözlemledikten sonra sonraki güne ait yoğunluğu bulmak amacıyla bir fonksiyon çıkarıldığında buna olasılık fonksiyonu denilebilir.

Örnek: Bir üretim hattındaki ürünler incelenerek bozuk üretilmiş ürünler tespit edilmeye çalışılsın. Numune olarak alınan 10 üründen 5'inin bozuk üretim olduğu varsayılınsın. Bu şartlarda bundan sonra üretilecek ürünlerin bozuk üretilme oranıyla ilgili %50 ihtimalle bozuk üretileceği söylenebilir. Böyle bir durum Denklem 3.3 ile ifade edilir.

$$P = \frac{n!}{K!(n-K)!} \prod^K (1-\prod)^{n-K} \quad (3.3)$$

$\prod$ kümedeki bozuk malları ifade ediyor olsun.

Yukarıdaki formülde, n tane ürün için K değeri seçilen malların bozuk olma oranını ifade ediyor olsun. Buna göre n tane farklı elemanın içinden K adet bozuk elemanın seçilmesi n'nin K'lı kombinasyonudur $C(n,K)$. Bu nedenle denklemin ilk kısmı bu formülden oluşmaktadır. Devamında gerçekteki bozuk malların içinden seçilen K adet ürünün bozuk olması durumunu, $1-\prod$ ifadesi ise bozuk olmaması halinin doğru bulunmasını göstermektedir. Bu şekilde yukarıdaki olasılık fonksiyonu, hatalı üretim tahminini tam olarak yansıtmaktadır [46].

Olasılık işleminin dayandığı bir nokta da maksimal durumu bulmaktır. Literatürde maksimal olasılık tahmini (maximal likelihood estimation) şeklinde de geçmektedir ve bazı kaynaklarda MLE kısaltmasıyla görülebilir. MLE yöntemi ile bir tahmin yapılırken, öncelikle tahmin ortamındaki (population) ortalama ile varyant (mean and variance) değeri hesaplanarak istatistiksel bir model önerilir. Önerilen bu modele göre de sistemin istenilen şekilde sorgulanmasına izin verilir.

Örneğin bir çağrı merkezine gelen aramaların yoğunluğu tahmin edilmek istenmektedir. Gün içinde on farklı zamanda beş dakikalık ölçümler yapılarak ölçülen süre içinde kaç arama geldiği hesaplanır. Bu ölçümler sonucundaki ortalama arama (zamandan bağımsız olarak) veya standart sapması hesaplanır. Bu hesaplamaların sonuçları önceden bilinen dağılımlar ile karşılaştırılır ve dağılımın poisson dağılımı olduğu bulunur. Bu sonuca göre ölçüm yapılan zamanların dışında kalan zamanlarda da aramaların nasıl bir yoğunlukta olacağını tahmin etmek artık mümkündür. Bunun sebebi dağılım modelinin eğri şeklinde farklı zamanlardaki durumu ifade eden bir model sunmasındandır.

MLE hesabının genel bir formülle ifade edilmesi mümkündür. Herhangi bir dağılım için öncelikle kümenin bağımsız yoğunluk fonksiyonunun bulunması gerekir (joint density function). Bu fonksiyon verilen herhangi bir θ değeri için koşullu olasılık formülü Denklem 3.4 kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$f(x_1, x_1, \dots, x_n | \theta) = f(x_1 | \theta) \cdot f(x_2 | \theta) \cdot \dots \cdot f(x_n | \theta) \quad (3.4)$$

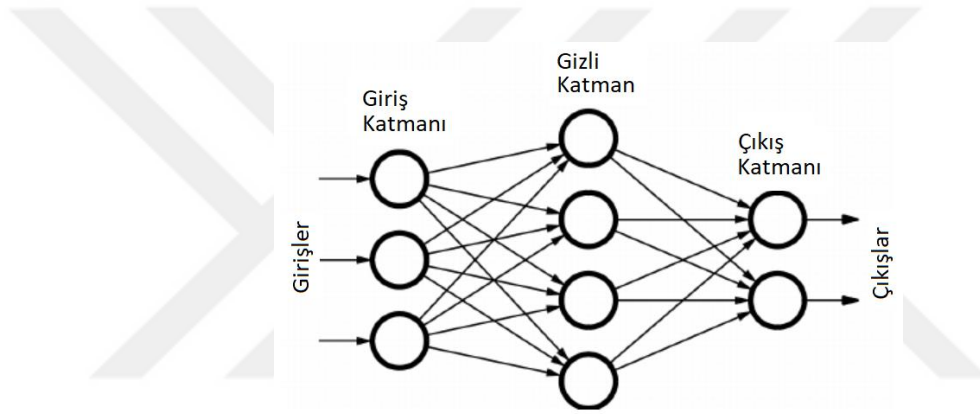
Burada x_1 'den x_n 'e kadar olan ölçüm değerleri koşullu olarak verilmiştir. Aslına bakılırsa işlemi tersinden de düşünmek mümkündür ve verilen bir θ değeri için x_1 'den x_n 'ye kadar olan gözlemler yerine x_1 'den x_n 'ye kadarki gözlemler sabit tutulmak şartıyla θ 'nın değerinin ne olduğu sorgulanabilir. Bu sorgulamanın cevabı da zaten olasılık fonksiyonudur ve fonksiyon aşağıda Denklem 3.5'deki şekilde yazılır:

$$\mathcal{L}(\theta | x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i | \theta) \quad (3.5)$$

Formüldeki L fonksiyonuna olasılık fonksiyonu adı verilmektedir ve önceki aşamada yazılan formülle aslında birebir aynıdır. Tek farkı bu formülde çarpmanın kapalı şekilde yazılmasıdır [46].

Literatürde manevra sınıflandırmada kullanılan HMM, ML ve MLE gibi olasılık yöntemlerinin gerçek zamanlı sensör verileriyle işlem yapılırken art arda gelen anlık manevra değişiklikleri de dikkate alındığında hatalı sonuçlara yol açacağı ve yeterli faydayı sağlamayacağı öngörülmüştür.

3.3.5. İleri beslemeli sinir ağı (Feed-forward neural network-FFNN)

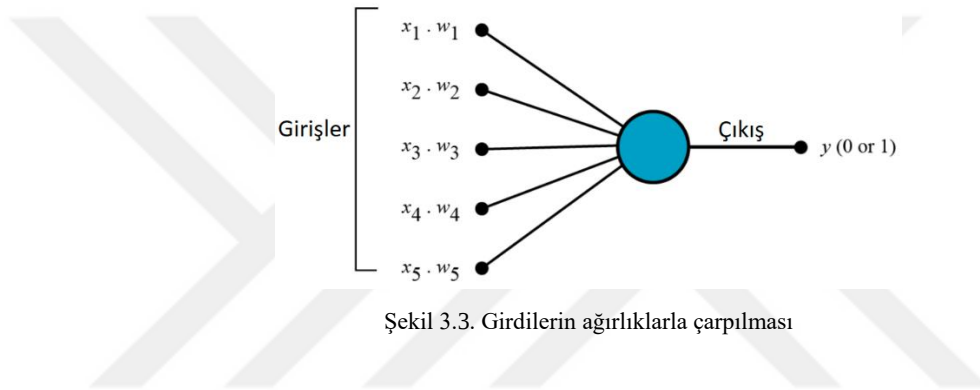


Şekil 3.2. Tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı modeli

İleri Beslemeli Sinir Ağı düğümler arasındaki bağlantıların bir döngü oluşturmadığı yapay bir sinir ağı olarak ifade edilir. Tersine belirli yolların döngüye girdiği tekrarlayan bir sinir ağıdır. İleri beslemeli modelde bilgi yalnızca bir yönde işlendiğinden sinir ağının en basit şeklidir. Veriler birden fazla gizli düğümden geçebilirken her zaman ileri yönde hareket eder ve asla geriye doğru hareket etmez [47].

Nasıl çalışır: İleri Beslemeli Sinir Ağı, yaygın olarak en basit haliyle tek katmanlı bir algılayıcı olarak Şekil 3.2.'deki gibi görülür. Bu modelde bir dizi girdi katmana girer ve ağırlıklarla çarpılır. Daha sonra, ağırlıklı girdi değerlerinin bir toplamını elde etmek için her değer Şekil 3.3.'te gösterildiği gibi birlikte eklenir. Değerlerin toplamı sıfıra ayarlanan belirli bir eşiğin üzerindeyse, üretilen değer genellikle 1'dir, toplam eşiğin altına düşerse çıktı değeri -1'dir. Tek katmanlı algılayıcı ileri beslemeli sinir

ağlarının önemli bir modelidir ve genellikle sınıflandırmada kullanılır. Ayrıca tek katmanlı algılayıcılar makine öğreniminin özelliklerini içerebilir. En küçük kareler öğrenme kuralı olarak bilinen bir özellik kullanılarak sinir ağı düğümlerinin çıktıları amaçlanan değerlerle karşılaştırabilir, böylece ağı daha doğru çıktı değerleri üretmek için eğitim yoluyla ağırlıklarını ayarlamasına izin verilir. Bu eğitim ve öğrenim süreci bir tür eğimli iniş üretir. Çok katmanlı algılayıcılarda ağırlıkları güncelleme süreci neredeyse benzerdir, ancak süreç daha spesifik geri yayılım olarak tanımlanır. Bu gibi durumlarda ağ içindeki her gizli katman son katmanın ürettiği çıktı değerlerine göre ayarlanır.



Bir dizi ileri beslemeli sinir ağı birbirinden bağımsız olarak çalıştırılarak birlikte kullanılabilir. İnsan beyni gibi bu süreç de daha büyük görevleri yerine getirmek ve işlemek için birçok bireysel nörona dayanır. Bireysel ağlar görevlerini bağımsız olarak yerine getirdiğinden sonuçlar sentezlenerek uyumlu bir çıktı üretmek için birleştirilebilir [47]. İleri beslemeli yapay sinir ağları ile farklı eksenlerdeki ivmeölçer, jiroskop ve hız verilerini birlikte kullanarak manevra sınıflandırmada anlamlı sonuçlara ulaşmak mümkündür. Fakat yüksek işlem ve hafıza kapasiteli donanımsal platformlara ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3.6. Tez kapsamında önerilen uzman sistem yaklaşımları

Yapay zekanın önemli uygulama alanlarından biri uzman sistemlerdir. Bir uzman sistem sorunları çözmek için uygulama alanındaki bilgileri veya insan uzmanlığı gerektiren bir çıkarım prosedürünü kullanan bilgiye dayalı bir sistemdir [48]. Uzman sistemlerin gücü öncelikle uzman sistemin bilgi tabanında depolanan ilgili alandaki

özel bilgiden kaynaklanır. Uygulama alanları sınıflandırma, teşhis, izleme, süreç kontrolü, tasarım, çizelgeleme, planlama ve seçeneklerin oluşturulmasını kapsar [48]. Herhangi bir uzman sistemin başarısı büyük ölçüde bilgi tabanında depolanan bilgilerin kalitesine, eksiksizliğine ve doğruluğuna bağlıdır. Uzman sistemler bilgi tabanı, çıkarım motoru ve kullanıcı ara yüzü bileşenlerinden oluşur. Bir uzman sistemin bilgi tabanı hem olgusal hem de buluşsal bilgiyi içerir. Bilgi temsili, bilgi tabanındaki bilgiyi organize etmek için kullanılan yöntemdir ve If-Then-Else kuralları şeklindedir. Çıkarım Motoru tarafından verimli prosedür ve kuralların kullanılması, doğru ve kusursuz bir çözüm elde etmek için esastır [49].

Manevra sınıflandırmada DTW, HMM, ML, FFNN, k-NN gibi yöntemler özellikle gerçek zamanlı işlemlerde güçlü işlem ve hafıza kapasitesine sahip mikro denetleyici veya bilgisayarların kullanılmasını gerektirmektedir. Halbuki akıllı uzman sistemlerin daha düşük kapasiteye sahip birçok platformda kullanılabilmesi mümkündür.

Bu tez çalışmasında tasarlanan takograf cihazında gerçek zamanlı olarak sensör verilerinin işlenip sürücü ve yetkililerin uyarılması söz konusu olduğu için yanal ve doğrusal manevraların tespit edilerek puanlanmasında birçok algorithmadan oluşan uzman bir sistem önerilmektedir. Sistemdeki algoritmalar öncelikle bilgisayar ortamında yolculuklara ait gerçek veriler kullanılarak geliştirilmiş, ardından takograf cihazına uygulanmıştır. Ayrıca yanal manevra algoritması bilgisayar ortamında bir veri setinde denenmiş ve başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

Yanal manevra algoritmasında jiroskop-Z verileri üzerinde öncelikle manevraların kenarları araştırılmakta, ardından sıfıra en yakın kenar içi noktaya bakılmaktadır. Bulunan son iki kenar ve aradaki ortalama veriler değerlendirilerek kenarların şerit değişikliği veya dönüş manevrasının bir parçası olup olmadığına karar verilir. Daha sonra başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilen yanal manevraların agresiflik derecesinin tespiti için, aralıktaki ivmeölçer-X ve hız verilerinin ortalama değerlerini dikkate alan bir formülle manevra puanı hesaplanır. Doğrusal fren ve hızlanma manevraları da hız verileri üzerinde üç aşamalı bir tarama işlemi ile bulunmaktadır. Birinci aşama olayın tetiklenmesi, ikinci aşama manevranın tespit edilmesi ve üçüncü

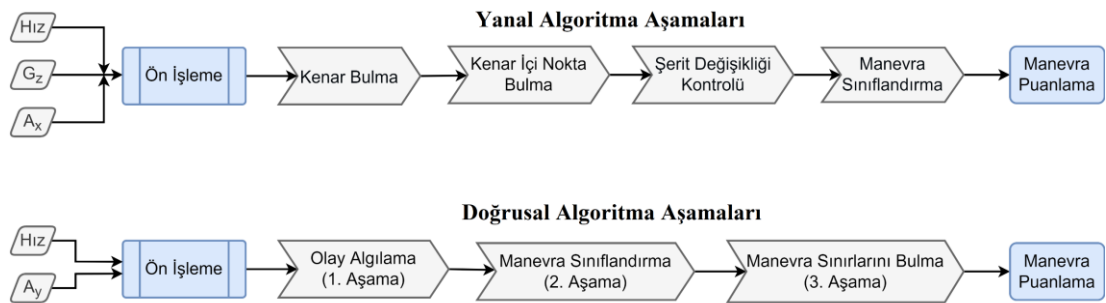
aşama başlangıç ve bitiş noktalarının hassas bir şekilde belirlenmesi içindir. Ardından aralıktaki ortalama hız ve ivmeölçer-Y değişiminin (Jerk) dikkate alındığı bir formülle doğrusal manevraların agresiflik puanı hesaplanır.

Geliştirilen uzman sistemin uygulandığı prototip takograf cihazı, yanal veya doğrusal bir manevra gerçekleştikten birkaç saniye sonra puanı eşik değeri geçen manevralar için sesli uyarıyla birlikte manevranın türü ve şiddetini ekranında gösterir. Yolculuk tamamlandıktan sonra dönüş, şerit değişikliği ve doğrusal olmak üzere üç kategoride yolculuk sırasında yapılan agresif manevralarla ilgili bilgi verilmektedir. Agresif manevraların sayısı ve ortalama puanı takografin bir tuşuna basılarak sırayla ekranda gösterilmektedir.

BÖLÜM 4. SÜRÜCÜ MANEVRALARINI ALGILAYAN YENİ BİR ALGORİTMA İLE AKILLI TAKOGRAF TASARIMI

Takograf cihazları genellikle son 24 saatlik hafıza kapasitesi için saniyede bir aracın anlık hız bilgisini kaydeder. Bunun dışında sürücünün binme ve inme zamanları da kaydedildiğinden herhangi bir sürüşün herhangi bir bölümü için hız grafiklerine ulaşmak mümkündür. Bu tez çalışmasında özellikle yanal manevraları algılamak amacıyla jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinin hız bilgisiyle senkronize olması da dikkate alınarak saniyede veya yarım saniyede bir hafızaya kaydedilmesi sağlanmıştır. Böylece bu veriler test sürüşlerinden sonra hız verisiyle birlikte takograftan bilgisayara aktarılarak detaylı analizler yapılması mümkün olmuştur.

Yanal ve doğrusal manevraları algılayarak kaydeden algoritma yazılımı yüklenmeden önce sürüşe ait senkronize hız ve sensör verilerine ihtiyaç olduğundan donanım ve yazılım olarak bu şartları sağlayan prototip bir takograf cihazı geliştirilmiştir. Bu işlem algoritma yazılımı takografa yüklense bile olması gereken bir işlemdir. Çünkü algoritma, içinde bulunulan saniyeden geriye doğru kayıtları inceleyerek manevraları tespit etmektedir. Manevralar bir dakikadan fazla sürmediği için hız ve diğer sensör verileri geçici bir hafızaya kaydedilerek manevra tespiti yapılabileceği halde bir sürüşteki verilerin tamamı hafızaya kaydedilir. Bunun sebebi hem sürücünün yaptığı ihlallere ait delillerin muhafaza edilmesi, hem de bazı özel durumlarda daha detaylı teknik inceleme yapılabilmesine olanak sağlanmasıdır.



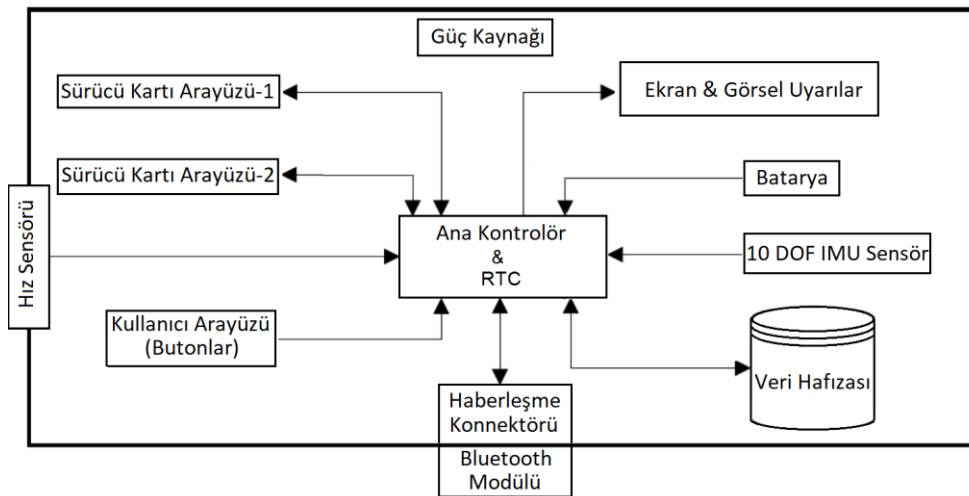
Şekil 4.1. Yanal ve doğrusal algoritma aşamaları

Yanal ve doğrusal manevralar için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4.1’de aşamaları gösterildiği gibi nihai hedef olarak manevraların puanlanması ve agresif manevralardan sürüşün puanlanmasını sağlayan uzman bir sistem önerilmektedir. Önerilen uzman sistem hem bilgisayar ortamında hem de takograf cihazında gerçek zamanlı olarak denenmiş ve başarılı sonuçlar bulunmuştur.

4.1. Donanım Kurulumu

4.1.1. Takograf tasarımı

Saha testleri için piyasada kullanılan bir takograf üzerinde donanımsal ve yazılımsal değişiklikler yapılmıştır. Standart bir takograf cihazı, sürücü kimlik kartları vasıtasıyla aracı kullanan sürücülerin hız ve kullanım süre bilgilerini kaydetmektedir [2]. Takografin içine I2C haberleşme ara yüzünü kullanarak takografin işlemcisiyle haberleşebilen 3 eksen Jiroskop, 3 eksen ivmeölçer, 3 eksen manyetometre ve basınç sensöründen oluşan 10 DOF IMU sensörü monte edilmiştir. IMU sensörü takograf içine yere paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yanal dönüşler jiroskopun Z eksenine, yanal ivmelenmeler ivmeölçerin X eksenine, doğrusal ivmelenmeler ise ivmeölçerin Y eksenine yansımaktadır. 3 eksenli manyetometre verileri stabil olmadığı için çalışmamızda kullanılmamıştır.



Şekil 4.2. Prototip takograf cihazı blok şeması

Şekil 4.2.'de prototip takografin blok şeması görülmektedir. İçine IMU sensör monte edilen, hız bilgisini araç göstergesinin aldığı sensörden alan takograf, araca titreşim ve darbelerden etkilenmemesi için sağlam bir şekilde monte edilmiştir.

Ayrıca Android bir uygulama ile manuel olarak manevra başlangıç, bitiş ve manevra şiddetinin takograf kayıtlarına eklenebilmesi için Bluetooth haberleşme donanımı seri port üzerinden takograf cihazına monte edilmiştir. Takografin kayıt kapasitesinin artırılması için ilave hafıza modülü (EEPROM) eklenerek takografla ilgili donanımsal ekleme ve bağlantılar tamamlanmıştır.



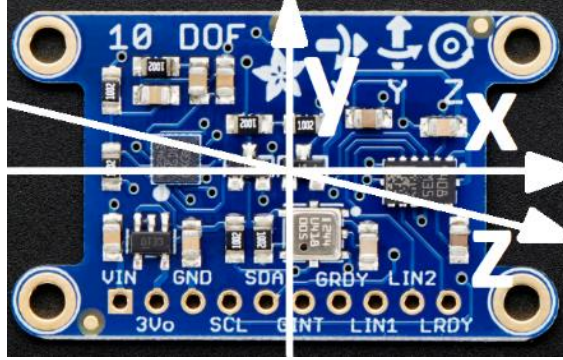
Şekil 4.3. Araca monte edilen takograf cihazı

Takografin yazılımı geliştirilerek her yarım saniyede ivmeölçer ve jiroskop verilerinin hafızaya kaydedilmesi sağlanmıştır. Hafıza kapasitesinin artırılmasıyla yaklaşık 4 saat civarında bir sürüş kayıt kapasitesine ulaşılmıştır. Prototip takografin araca montaj resmi yukarıda Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

4.1.2. Sensörler

Şekil 4.4.'te görülen 10 DOF IMU modülünde 3D ivmeölçer ve 3D manyetometre bulunan LSM303DLHC [50] entegresi ile 3D jiroskop L3GD20 [51] entegresi ve BMP180 [52] basınç sensörü bulunmaktadır. İvmeölçer saniyede 50 defa ölçüm yapacak şekilde, jiroskop saniyede 95 defa ölçüm yapacak şekilde ayarlanmıştır. Yapılan testlerde manyetometre ve basınç ölçer değerlerinin yeteri kadar stabil

olmadığı görüldüğünden ve yanal manevralarda etkisi az olduğundan dikkate alınmamıştır [3] [4] [15] [12].



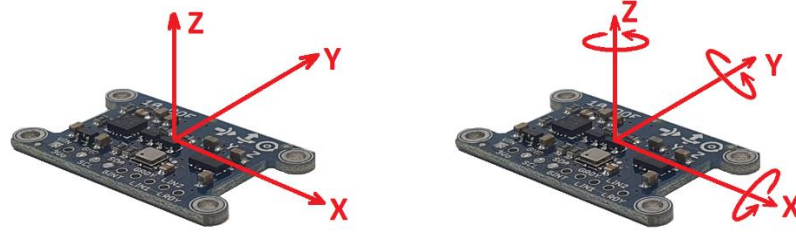
Şekil 4.4. Takografta kullanılan 10 DOF IMU sensörü

Hız sinyali test yapılan 2017 model HYUNDAI Accent Blue araç için 2400 pulse/km, 2020 model FIAT Egea araç için 3500 pulse/km şeklinde alınmakta, hız bu katsayılara göre hesaplanmaktadır. Hız dahil bütün sensör verileri saniyede bir okunarak hafızaya kaydedilir. İvmeölçerin her bir ekseninin ölçüm hassasiyeti 12 mg/dijit, jiroskopun her bir ekseninin ölçüm hassasiyeti 8,75 mdps/dijit, hız ölçümünün hassasiyeti ise Accent Blue için 1,5 km/h, Egea için 1,03 km/h'dir. Hız ölçümünün hassasiyetini araçtan alınan hız sinyallerinin kilometre başına pulse sayısı belirlemektedir. Dolayısıyla takografa değil araca bağlılık söz konusudur. Bu katsayı araçtan araca veya araçta sinyalin alındığı müşir veya encodere bağlı olarak değişmektedir. Testlerin yapıldığı araçların hassasiyeti çalışmamızda algoritmanın test edilmesi için yeterli görülmüştür.

İvmeölçer sensöründen okunan ham veriler 12 bittir. Veriler 2 baytlık Word olarak okunur ve sola dayalıdır. Yani en sağdaki 4 bit boştur. O nedenle okunan verilerin 4 bit sağa kaydırılması gerekmektedir. Hassasiyet de 12 mg olduğundan okunan verileri g'ye çevirmek için 0,00075 ile çarpılmaktadır. Jiroskop sensöründen okunan ham veriler hassasiyet 8,75 mdps olduğu için 0,00875 ile çarpılarak dps (degree per second)'ye çevrilmektedir.

Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi ivmeölçerin Y eksenı doğrusal ivmelenmeleri, X eksenı yanal ivmelenmeleri, Z eksenı ise yerçekimi veya tersi yöndeki ivmelenmeleri tespit etmektedir. Çalışmada yanal ivmelenmelerin tespiti için X eksenı kullanılmıştır. X

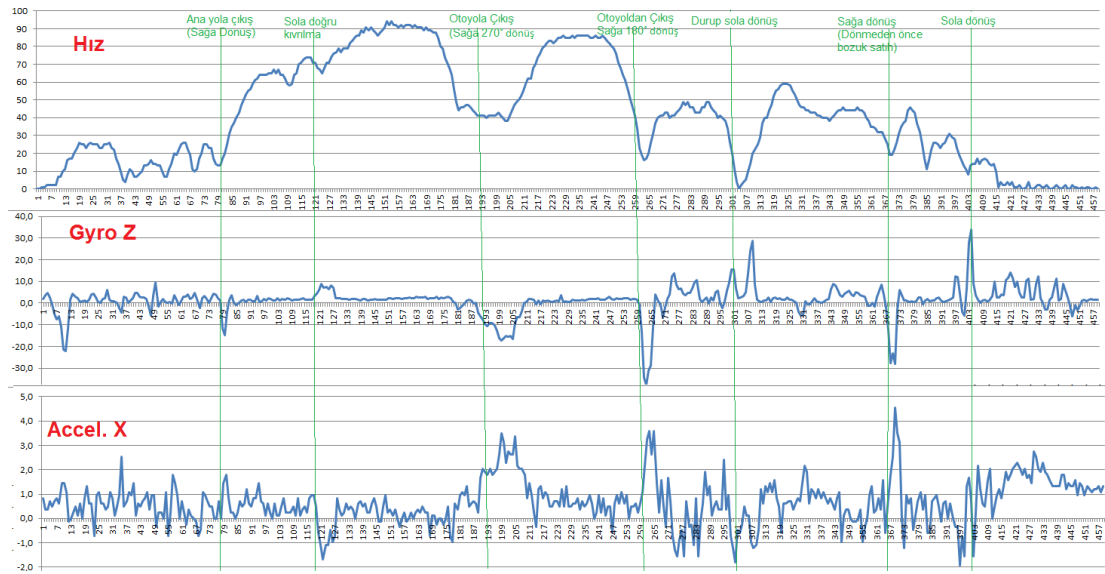
ekseninde sağa dönüş pozitif, sola dönüş negatif değer vermektedir. Sağa veya sola dönüş açıları jiroskopun Z eksenıyla tespit edilmektedir. O nedenle jiroskopun Z eksenindeki dönüş açıları kullanılmıştır. Jiroskopun pozitif dönüş yönü saat yönünün tersi olduğu için sola dönüşler pozitif işaretli, sağa dönüşler negatif işaretlidir.



Şekil 4.5. 3 eksen ivmeölçer ve jiroskop koordinatları

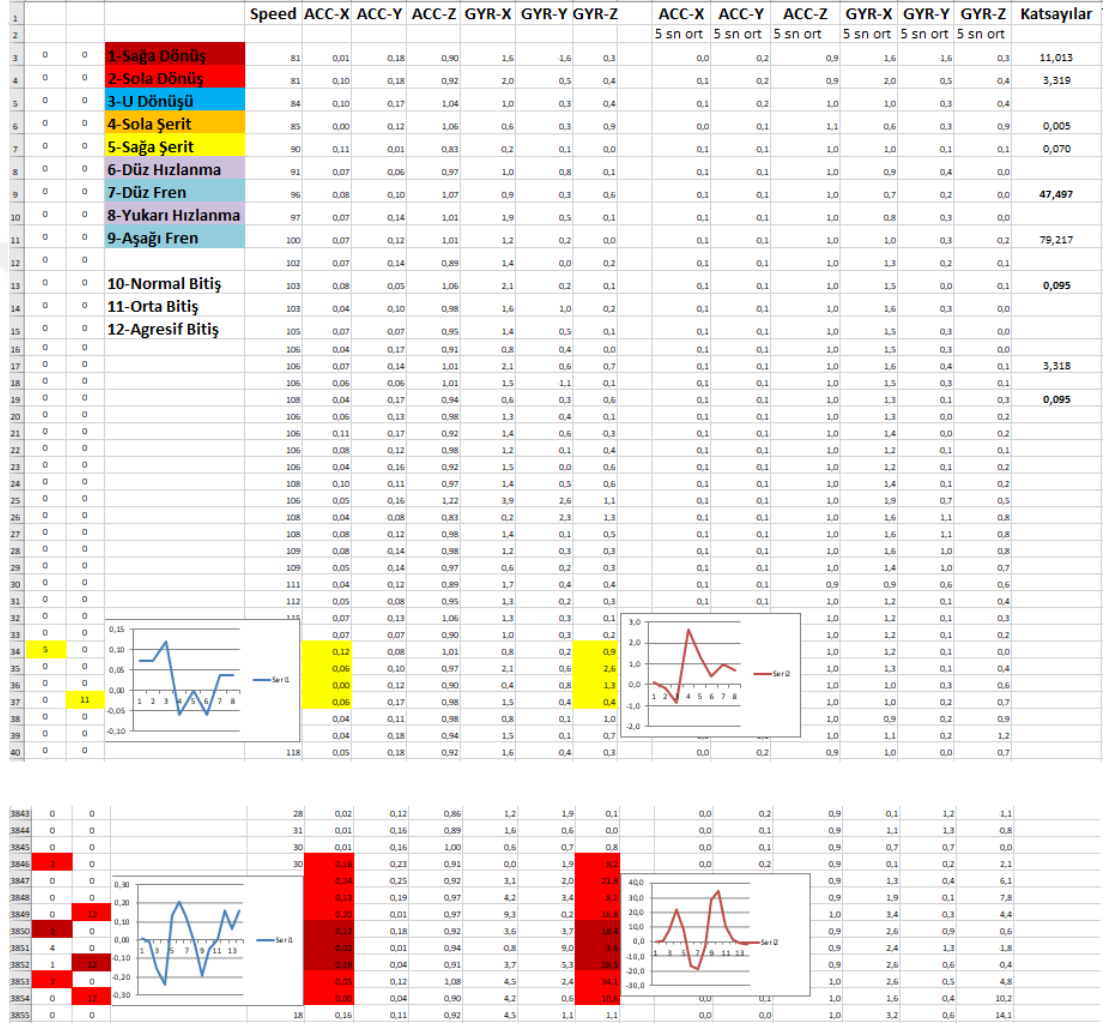
4.2. Takograftan Elde Edilen Sensör Verilerinin Analizi

Takograftan indirilen ham veriler öncelikle Excel dosyasına aktarılarak veri analizine uygun hale getirilmiştir. Özellikle manuel olarak kaydedilen manevraların bulunduğu bölümlerdeki jiroskop, ivmeölçer ve hız verilerindeki değişim, grafikler üzerinde incelenerek kullanılabilir yöntemler araştırılmış, yapılan incelemeler sonunda yanal manevraların algılanmasında jiroskop-Z, ivmeölçer-X ve hız verilerinin yeterli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Kısa bir yolculuk için sensör verilerine ait grafikler

Şekil 4.6.'da 8 dakika civarında kısa bir yolculuğun bir bölümündeki bilinen manevralar hız, jiroskop ve ivmeölçer grafikleri üzerinde işaretlenmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi dönüş manevralarının algılanmasında jiroskop-Z çok daha belirgin bir farklılık sunmaktadır. Diğer hız ve ivmeölçer-X verileri algılanan manevranın büyüklüğünü belirlemede kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Excel dosyasına aktarılan ham verilerin işlenmesi

Şekil 4.7.'de yapılan bir sürüşe ait takografa kaydedilen veriler ve bu veriler üzerinde yapılan çeşitli hesaplamaların küçük bir bölümü görülmektedir. Ham veriler takografa yarım saniyede bir kaydedilirken yolculuk sırasında manevralarla ilgili Android bir uygulama üzerinden yapılan manuel etiketlemelerle ilgili bilgiler de tabloda renkli olarak görülmektedir. Manevranın başladığı noktada manevra türüne ait endeks numarası (1 ile 9 arasında), manevranın bittiği noktada ise üç kademede manevranın

şiddetine ait endeks numarası (11 ile 13 arasında) mevcuttur. Endeks numaralarının olduğu bölümler renkli olarak işaretlenmiştir.

Üç koordinattaki verilerin ham, ortalama ile bulunan ofset değerlerine göre kaydırılmış, farklı saniyeler için basit hareketli ortalama yöntemiyle titreşimlere karşı yumuşatılmış ve karesel ortalama gibi farklı halleri işlenerek grafikleri çizdirilmiş ve manevralara etkisi incelenmiştir. Şekil 4.7.'de sadece ham ve 5 saniyelik ortalamaya göre hesaplanmış verilerin küçük bir kısmı gösterilmiştir.

4.3. Yanal Manevra Tespiti ve Puanlaması için Yeni bir Algoritma Önerisi

Algoritma hız, jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinden alınan verileri kullanarak sürüşlerde yanal manevraların agresiflik şiddetinin hesaplanmasını sağlar. Takografta sensörlerden alınan veriler hız dahil senkronizedir. Hız verisinin GPS yerine araçtaki hız sensörlerinden pulse olarak alınması kesintisiz ve gecikmesiz olmasını sağlamaktadır. Bu sayede manevraların başlangıç ve bitiş noktaları jiroskop-Z verileriyle algılanırken, şiddeti diğer sensör verilerinin birlikte kullanılmasıyla hesaplanmıştır [55].

4.3.1. Önışleme

Manevraların başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde aracın sağa-sola dönüşlerini ivmeölçere göre daha gürültüsüz olarak kaydeden jiroskopun Z eksenini kullanılmaktadır. G_z verisinin kullanılmasıyla ilgili birçok filtre denenmiş olup periyodu yarım saniye ve üstündeki verilerde filtre kullanmanın şerit değişikliklerini yakalamayı olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca sağa-sola dönüş manevralarının tespitinde filtrenin çok fazla önemi olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenlerle çalışmada manevraların başlangıç ve bitiş noktalarının tespit edildiği, frekansı 2 ve altındaki G_z verileri için filtre kullanılmamıştır. Cihazın araca montaj pozisyonuna bağlı olarak verilerde kayma olabilmektedir. O nedenle öncelikle ofset değerini sıfıra çekmek için aşağıdaki işlem uygulanır.

G_z ve A_x 'in sıfır ofset ayarı aşağıda Denklem 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te belirtilmiştir.

A_{x-ort} : Ortalama ivmeölçer-X, g

$$A_{x-ort} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_x(i) \quad (4.1)$$

$$A_x(i)_{ofset} = A_x(i) - A_{x-ort} \quad (4.2)$$

G_{z-ort} : Ortalama jiroskop-Z, dps

$$G_{z-ort} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_z(i) \quad (4.3)$$

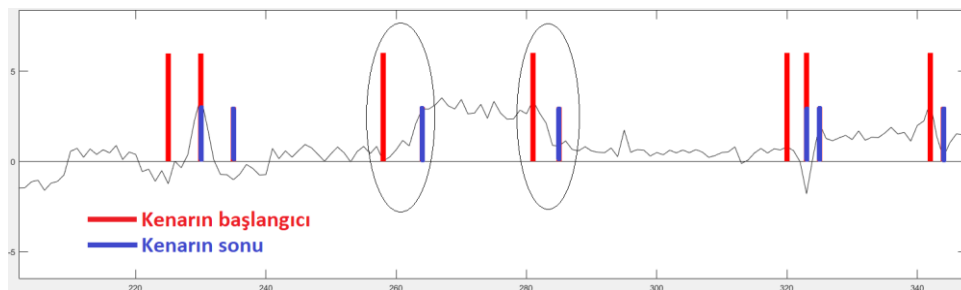
$$G_z(i)_{ofset} = G_z(i) - G_{z-ort} \quad (4.4)$$

4.3.2. Olay algılama algoritması

Geliştirilen yöntemde başlangıçta manevranın tamamı yerine kenarlara (edge) odaklanılmıştır. Bir dalganın (manevranın) öncelikle kenarlarını bulup daha sonra bu kenarın manevra başlangıcı, manevra bitişi veya müstakil bir şerit değişikliği olduğuna karar verme yoluna gidilmiştir.

4.3.2.1. Kenar algılama algoritması

Kenarların tespiti için sürekli olarak belirli bir aralık içinde maksimum ve minimum noktalar yakalanmaya çalışılmaktadır. Aralık olarak başlangıçta 7 saniye baz alınmaktadır. Veriler incelenerek 7 saniyenin bir kenar için olabilecek en geniş zaman olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.8.'de gerçek veriler üzerinden algılanan kenarların grafik üzerinde gösterimine ait bir kesit bulunmaktadır.



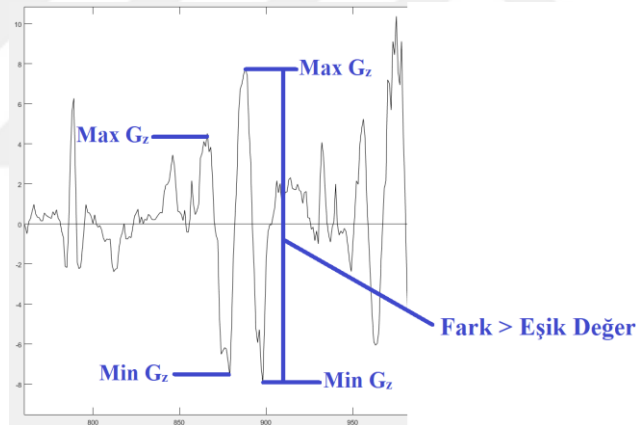
Şekil 4.8. Algılanan kenarlara örnekler

7 saniye içinde bulunan G_z değerlerinin maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark için bir eşik değeri belirlenmiştir. Eşik değeri olarak da yapılan testler sonucu 2 dps değeri kullanılmaya karar verilmiştir. Bu eşik değeri o kadar hassas değildir. Biraz daha azaltılırsa sadece fazladan manevra tespiti yapılmış olur. Agresiflik derecelendirilmesinde fazladan tespit edilen manevralar elenecektir.

$G_z(t)_{\text{offset}}$ ($t = 1, 2, \dots, T$) zaman serisinin tamamı olarak varsayarsak, t eksenini boyunca kenar bulmak amacıyla T/k zaman serisi bölümlerine ayrılmıştır. Her bölümde bir k değeri vardır. Her bir kesit için aşağıda Denklem 4.5'te gösterilen $E(n)$ değeri bulunur. n : zaman serisindeki kesit numarası

$$E(n) = \max_{1 \leq t \leq k} G_z(t, n)_{\text{offset}} - \min_{1 \leq t \leq k} G_z(t, n)_{\text{offset}} \quad (4.5)$$

$$E(n) > \text{Üst Eşik değeri} \quad (T_{\text{dif}} = 2 \text{ dps})$$

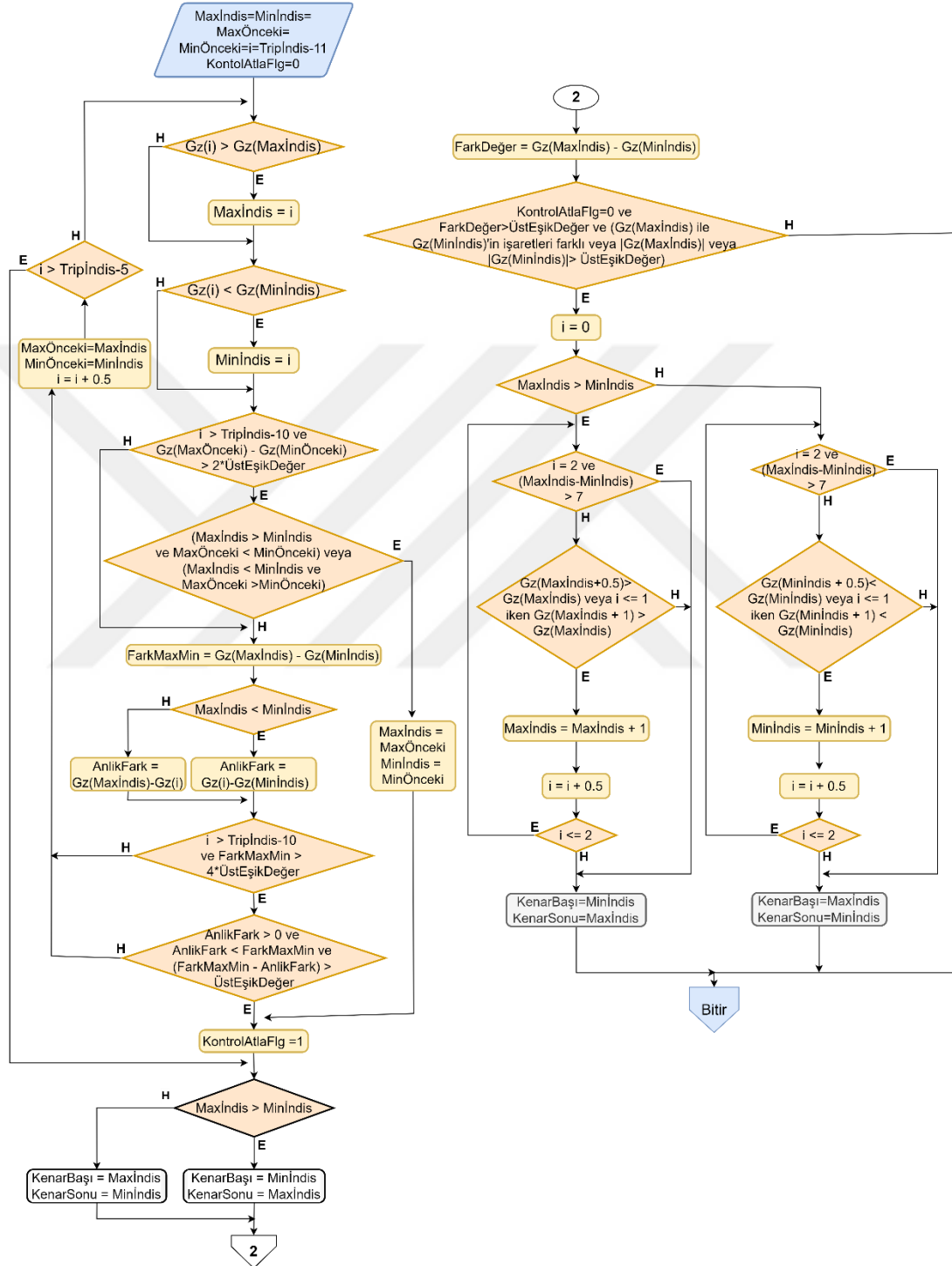


Şekil 4.9. Fark (maksimum G_z - minimum G_z)

Şekil 4.9.'da grafik üzerinde de gösterilen maksimum ve minimum noktalar arasındaki fark $E(n)$ eşik değerden büyükse ve bazı başka şartlar sağlanıyorsa ileri 3 saniye boyunca maksimum-minimum kontrolüne devam edilir. Böylece maksimum 9 saniye genişliğinde bir kenarı yakalamak mümkündür.

7 saniyeden daha kısa sürede fark eşik değerini iki katına ulaşırsa döngüden erken çıkılır. Böylece algoritmanın birinci aşaması olan kenar bulma tamamlanmış olur.

Kenarların bulunmasında sıfıra olan mutlak uzaklık yerine maksimum-minimum farklarının dikkate alınması manevraların tespitinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 4.10. Kenar bulma algoritması akış diyagramı

Şekil 4.10.'daki akış diyagramında görüldüğü gibi maksimum-minimum noktaları bulunurken aralıkta 3 saniye ilerledikten sonra önceki adıma ait maksimum-minimum noktalarının G_z değerleri arasındaki farkın eşik değerin iki katından fazlasına ulaşmış ve ulaşmadığı her adımda kontrol edilir. Amaç aralık içinde ilerlerken birden fazla kenar varsa diğer kenarları kaçırmayı önlemektir. O nedenle ilk kenar bulununca işlemin bitirilmesi gerekmektedir. Böylece söz konusu aralık içinde yer alan diğer kenarlar sonraki kenar bulma işleminde bulunabilecektir. Aralıktaki taramayı durdurmak için maksimum-minimumları oluşturan noktaların yön değiştirmesi beklenmektedir. Düşen kenar iken yükselen kenara veya yükselen kenar iken düşen kenara geçiş durumlarında önceki maksimum-minimum noktaları alınır ve işlem durdurulur. Bu durum oluştuğunda ileri 3 saniye boyunca maksimum-minimum nokta kontrolüne devam etme işlemi atlanır.

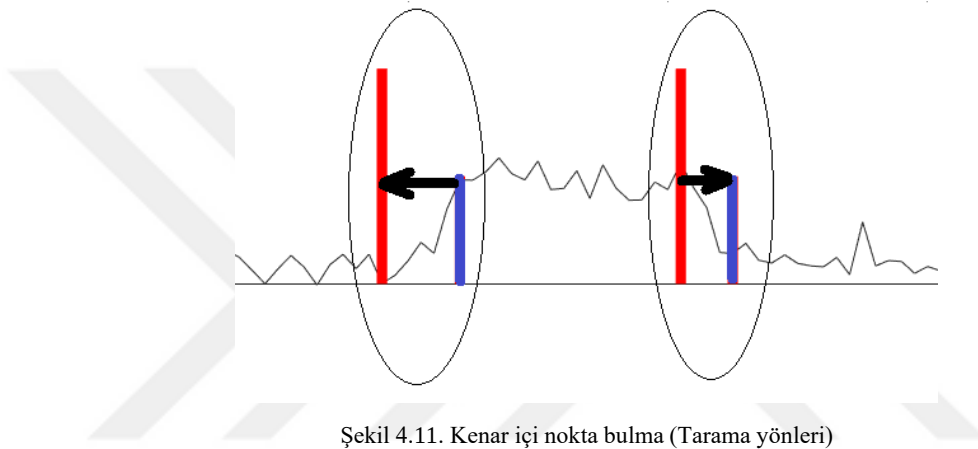
Aralıkta birden fazla kenar olma durumu gibi istisnai durumların dışında kenar bulunup maksimum-minimum noktalarındaki G_z değerlerinin farkı eşik değeri geçtiğinde döngüden çıkılır. Fakat işlem burada bitmez, çünkü kenar aralık dışında ileri doğru yükselmeye veya alçalmaya devam ediyor olabilir. O nedenle ileri 3 saniye boyunca kontrole devam edilir. İleri kontrolün yapılması için mevcut maksimum ve minimum noktalarındaki G_z değerlerinin işaretlerinin farklı olması ve ikisinden en az birinin mutlak değerinin üst eşik değerinin altında olması gibi ilave bazı şartlar bulunmaktadır. İleri kontrol yapılırken bir anda sadece bir sonraki değil iki sonraki değere de birlikte bakılarak arada ters yönde olabilecek küçük değişimlerden etkilenmenin azaltılması amaçlanmıştır.

4.3.2.2. Kenar içi nokta tespit algoritması

Maksimum-minimum noktaları bulunduktan sonra bu noktalar arasında kalan sifıra en yakın kenar içi noktanın bulunmasında şöyle bir yöntem izlenmektedir. Denklem 4.6'da ifade edildiği gibi kenarın maksimum ve minimum noktalarından mutlak değer olarak daha yüksek olandan daha düşük olana doğru ilerleyerek sifıra en yakın nokta bulunmaktadır.

$$G_z(t,n)_{nokta} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } \min_{1 \leq t \leq k} |G_z(t,n)_{offset}| < \text{Alt Eşik Değer (Tlow=1)} \\ 0, & \text{Diğer} \end{cases} \quad (4.6)$$

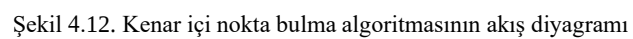
Manevra başında kenar içi noktayı bulmak için ileriye doğru tarama yapılarak sıfıra yakın nokta bulunduğu titişimler nedeniyle kenar içi noktanın tespitinde hatalar olabilmekte, daha geride bir nokta bulunabilmektedir. Bu nedenle Şekil 4.11.'de görüldüğü gibi kenar manevra başı ise geriye doğru manevra sonu ise ileriye doğru ilerleme söz konusudur.



Şekil 4.11. Kenar içi nokta bulma (Tarama yönleri)

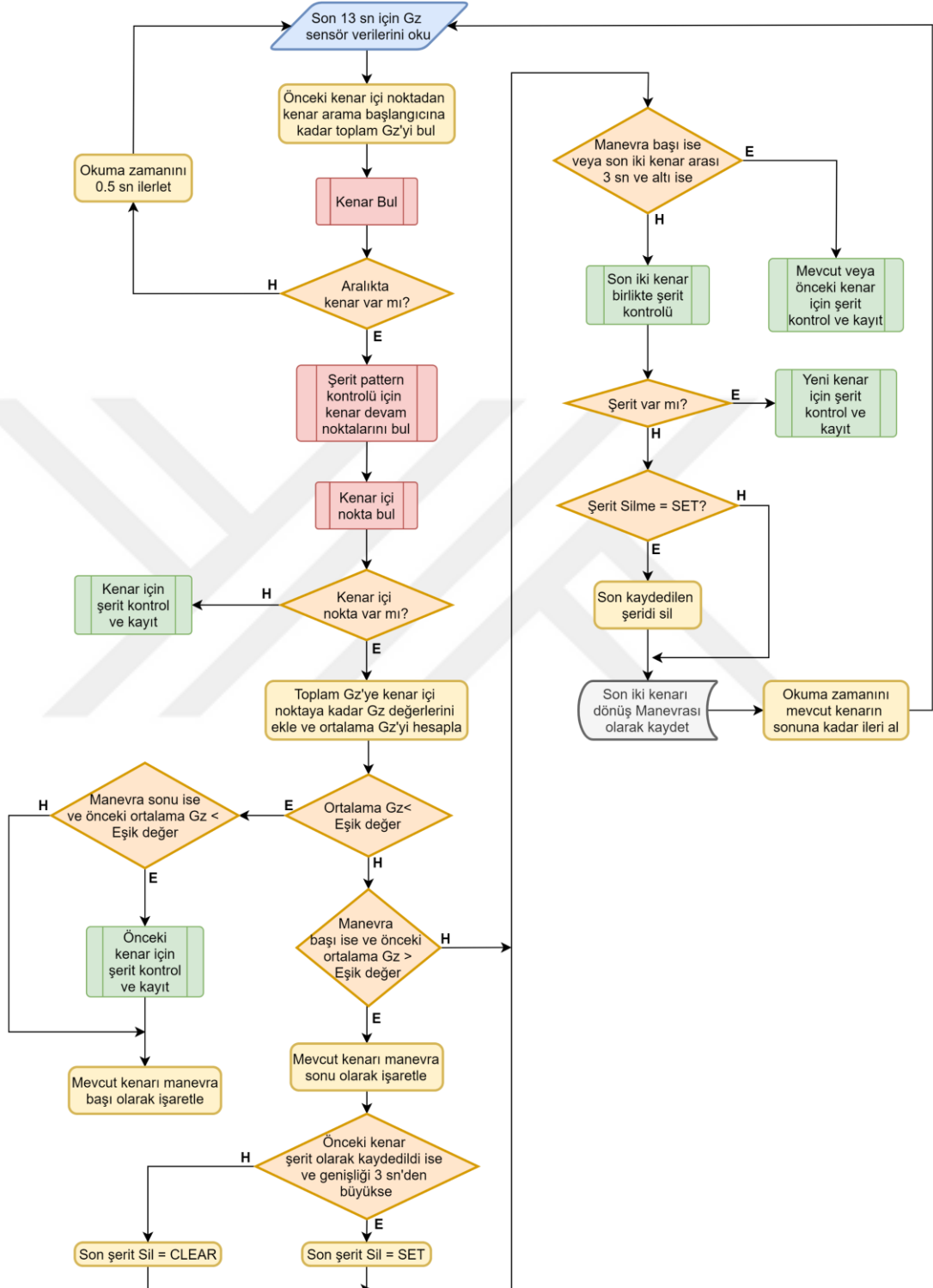
Kenar içi sıfıra en yakın nokta bulunurken Şekil 4.12.'deki akış diyagramında gösterildiği gibi öncelikle kenarın düşen veya yükselen kenar olmasına göre taramanın başlangıç noktası ve ilerleme yönü belirlenir. G_z 'nin mutlak değerinin alt eşikten küçük olması durumunda önceki değerden mutlak değer olarak daha küçük olup olmadığı kontrol edilir. İşaret indisi mutlak değeri daha küçük olanla değiştirilir. Bu işlemden sonra her adımda o noktadaki G_z değeri ile bir önceki ve bir sonraki noktaların G_z değerlerinin işaretleri kıyaslanır. İşaret değişikliği söz konusu olduğunda döngüden çıkılır.

Tarama sırasında G_z 'nin mutlak değerinin alt eşikten büyük eşit olması durumunda önceki değerle işaretlerin farklı olup olmadığına bakılır. İşaret farklıysa döngüden çıkılır. Eğer kenar içinde herhangi bir nokta daha önce işaretlenmemişse şimdiki ve bir önceki G_z 'nin mutlak değerleri kıyaslanır ve küçük olanın indisi kenar içi nokta olarak işaretlenir.



Şekil 4.12. Kenar içi nokta bulma algoritmasının akış diyagramı

4.3.3. Manevra sınıflandırma algoritması

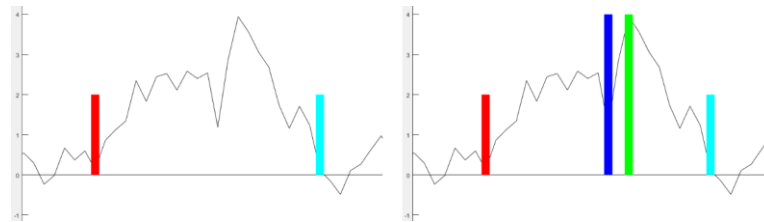


Şekil 4.13. Yanal manevra tespit algoritması akış diyagramı

Sıfıra en yakın olarak bulunan kenar içi noktanın önceki değerlere bakılarak manevra başı veya manevra sonu olup olmadığı incelenir. Her ikisi de değilse bu kenarın şerit değişikliği olup olmadığı incelenir. Algoritma bulunan noktanın bir manevra kenarı olmayıp şerit değişikliği olduğunu tespit ederse şerit değişikliği parametresi olarak bulunan bu sıfıra en yakın kenar içi noktayı değil kenarın başlangıç ve bitiş noktalarını kaydeder.

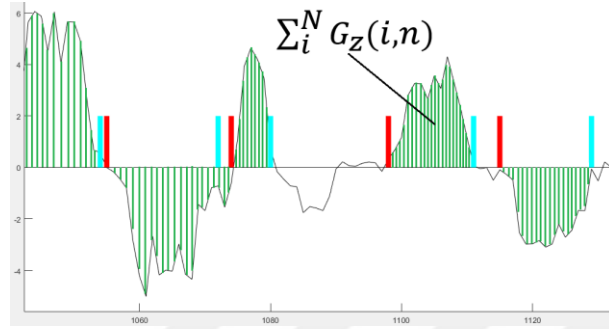
Dar (3 saniye ve altı) manevralar ile öncesinde ve sonrasında belirli bir ortalama eşik değerin üstünde bir darbe olmayan kenarlar şerit değişikliği kategorisinde incelenmektedir. Şekil 4.13.'deki akış diyagramında okunan son 13 saniyelik veriler üzerinde kenar bulma işleminden başlanıp önceki kenar da dikkate alınarak kenarların nasıl dönüş manevrası veya şerit değişikliği olarak tasnif edildiği gösterilmiştir. Pembe ve yeşil renkli kutucuklarda hangi alt işlemlerin yapıldığı belirtilmiştir. Yeşil renkli kutucuklar hangi durumlarda şerit kontrol prosedürünün işletildiğini göstermektedir. Başlangıçta aralık içinde kenar olup olmadığı araştırılmaktadır. Ardından kenar içi sıfıra en yakın nokta olup olmadığına bakılmaktadır. Kenar ve kenar içi nokta bulma işlemlerinin nasıl bir algoritma ile gerçekleştirildiği önceki bölümlerde açıklanmıştır.

İlk şerit kontrol prosedürü bir kenarda kenar içi nokta bulunamadığında işletilmektedir. Bu, dönüş manevrası sırasında bir şerit değişikliği yapıldığı manasına gelebilir. Şekil 4.14.'te gerçek kayıtlardan alınmış olan sola dönüş manevrası sırasında gerçekleşen sağa şerit değişikliğinin bir örneği görülmektedir. Şeklin solunda henüz şerit değişikliği noktalarının işaretlenmemiş hali, sağında işaretlenmiş hali görülmektedir.



Şekil 4.14. Dönüş sırasında şerit değişikliği

Eş zamanlı olarak tespit edilen kenar içi sifıra yakın noktadan itibaren G_z değerleri toplanmaktadır. Böylece herhangi bir anda bir kenar içi noktaya ulaşıldığında bir önceki kenar içi noktadan itibaren Şekil 4.15.'te taralı olarak gösterilen toplam G_z değeri ve nokta sayısı (N) bilinmektedir.



Şekil 4.15. Dönüşlerdeki toplam G_z değerleri

Bu sayede Denklem 4.7'de görülen ortalama dönüş açısı (θ_{ort}) değeri bulunmaktadır.

$$\theta_{ort} = \frac{\sum_i^N G_z(i,n)}{N} \quad (4.7)$$

Denklem 4.8'de belirtildiği gibi ortalama dönüş açısı (θ_{ort}) belirli bir eşik değerinin altında ise kenar içi nokta manevra başı, üstünde ise manevra sonu olarak değerlendirilecektir.

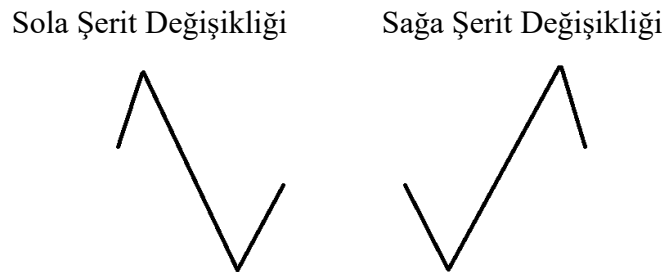
$$n = \begin{cases} \text{Manevra başı,} & \theta_{ort} < \text{Eşik Değer } (T_{av} = 1.4) \\ \text{Manevra sonu,} & \text{Diğer} \end{cases} \quad (4.8)$$

Ortalama G_z değerine bakılarak bir kenar manevra başı veya sonu olarak kaydedilmeden önce muhtemel şerit değişikliğiyle ilgili bütün ihtimaller değerlendirilmektedir. Hem son iki kenar içi nokta arasındaki ortalama hem de bir önceki kenar içi nokta ile ondan da önceki kenar içi nokta arasındaki önceki ortalama değer birlikte değerlendirilerek son iki kenarın durumu hakkında karar verilmektedir. Her iki ortalama değer de eşik değerinin altında ise önceki kenar için şerit kontrol ve kayıt prosedürü işletilir ve mevcut kenar manevra başlangıcı olarak işaretlenir. Her iki ortalama da eşik değerden büyükse bu durumda mevcut kenar manevra sonu olarak

değerlendirilecektir. Bu durumda önceki kenar şerit olarak kaydedildiyse bütün kontrollerden sonra mevcut kenarın dönüş manevrası sonu olduğuna karar verilirse son kaydedilen şeridin silinmesi için bir bayrak değeri güncellenir. Sonra mevcut ortalama eşik değerden büyükken önceki ortalamaya bakılmaksızın son iki kenar içi nokta arasının dar olup olmadığına göre son şerit kontrolleri yapılır. Dar ise son kenar veya önceki kenar için şerit kontrolü yapılır. Dar değilse son iki kenarın dönüş manevrası olduğuna karar vermeden önce son bir şerit değişikliği kontrolü bu iki kenarı birlikte değerlendirmek suretiyle yapılır. Son kontrolde de şerit değişikliği şartları sağlanmadığı takdirde son iki kenar sağa veya sola dönüş manevrası olarak kaydedilir.

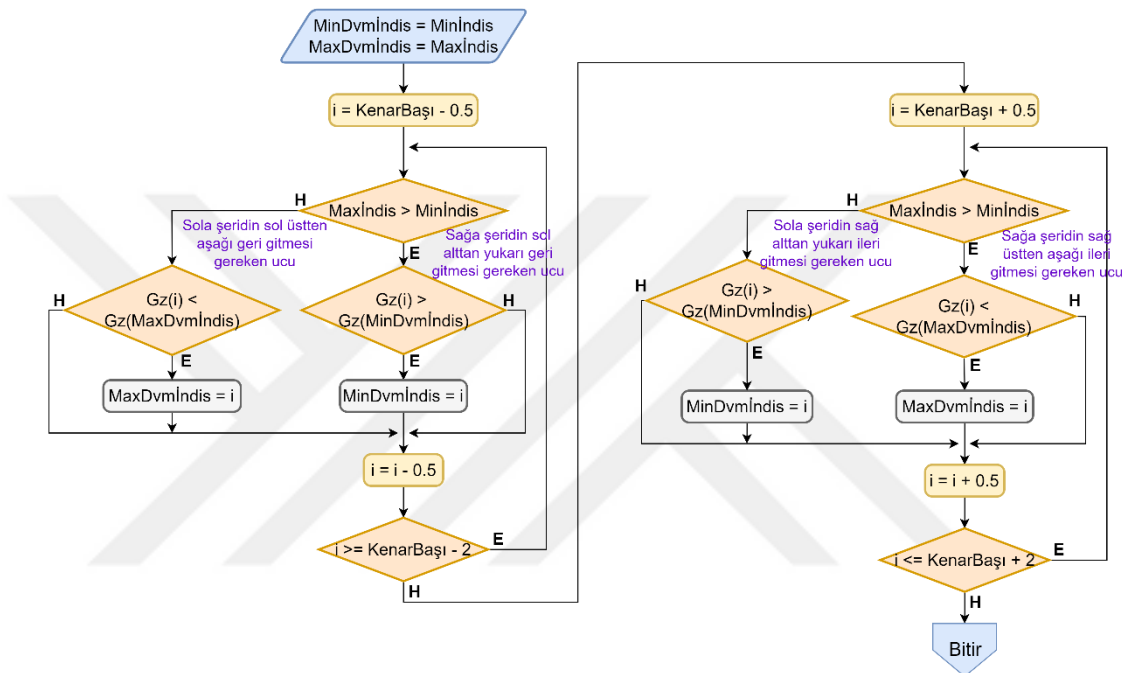
4.3.3.1. Şerit değişikliği deseni

Çalışmada manevraların algılanması için önce kenar, ardından kenar içi nokta bulunduğundan sonra iki kenarın arasındaki ortalama değere bakılarak manevra tespit edilmektedir. Sağa ve sola şerit değişiklikleri zamana bağlı G_z değerlerinde en fazla 3-4 saniye içindeki bir değişikliğe yol açmaktadır. Hız verileriyle senkronize olması için ivmeölçer ve jiroskop verileri yarım saniyede veya saniyede bir kaydedilmektedir. Şerit değişiklikleri iki kenarı olan manevralar yerine herhangi bir manevraya ait olmayan müstakil kenarların veya çok dar olan (3 saniye ve altı) manevraların incelenmesiyle tespit edilmektedir. Manevraya ait olmadığı anlaşılan bir kenarın şerit değişikliği olup olmadığını tespit için başlangıç ve bitiş noktalarının ötesine bakılmaktadır. Yapılan incelemelerde sağa ve sola şerit değişikliklerinin Şekil 4.16'daki gibi bir desene sahip olduğu görülmüştür.



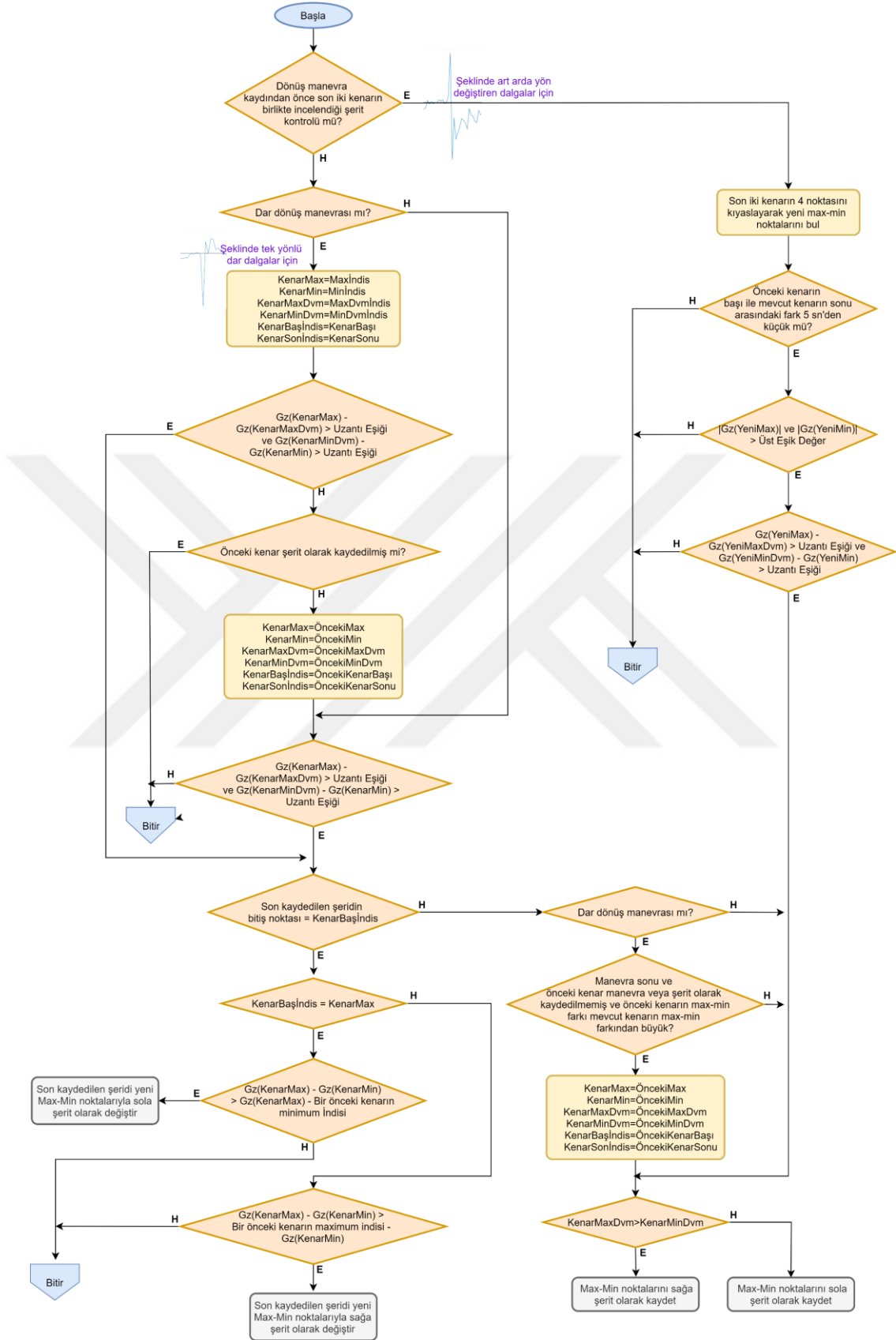
Şekil 4.16. Şerit değişikliği desenleri

Bu şekilde şerit değişikliği desenlerinin tespit edilebilmesi için kenarlarının maksimum-minimum noktalarının devamına da bakılması gerekmektedir. Bu amaçla kenarlar bulunduktan hemen sonra manevra kontrolü yapılmadan önce kenarların 2-3 saniye devamı da kaydedilmektedir. Böylece kenarlara göre yapılan manevra kontrolünden sonra müstakil olduğu anlaşılan bir kenar için maksimum-minimum noktalarının devamına bakılarak şerit değişikliği kontrolü yapılmaktadır.



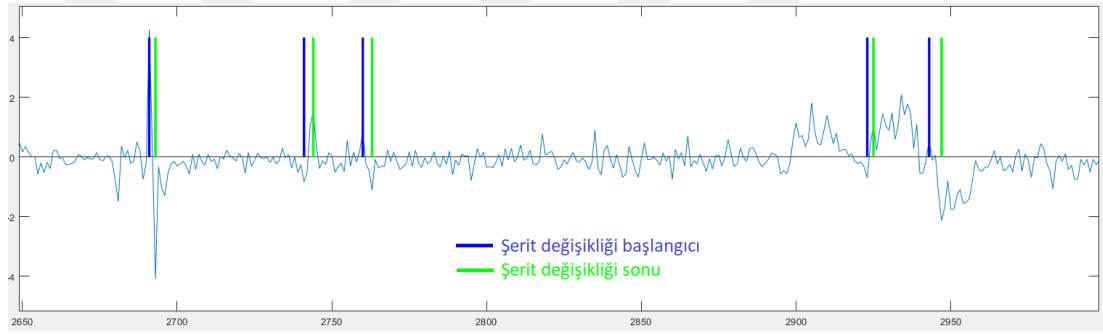
Şekil 4.17. Şerit değişikliği kontrolü için kenar devam noktalarının bulunması

Şekil 4.17.'deki akış diyagramında görüldüğü gibi kenar bulma işleminden sonra her kenar için devam noktaları bulunmaktadır. Devam noktaları sağa veya sola şerit değişikliği desenine göre değerlendirilmektedir. Örneğin sola şerit değişikliğindeki ileri alt ucunun devam noktaları minimum değerden yüksek olmalıdır. Devam noktaları için de bir eşik değeri belirlenmiştir. Kontrol her iki yönde 2 saniye boyunca devam etmektedir. Şekil 4.18.'deki şerit değişikliği kontrolüyle ilgili akış diyagramında üç farklı kategoride şerit değişiklikleri incelenmektedir. Mevcut veya bir önceki kenarın kontrol edilmesi, dönüş manevrası olarak değerlendirilebilecek olan 3 saniye ve altındaki dar manevra kenarlarının sırayla kontrol edilmesi ve daha geniş manevraların iki kenarının birlikte tek bir kenar gibi ele alınarak kontrol edilmesi söz konusudur.



Şekil 4.18. Şerit değişikliği kontrol ve kayıt prosedürünün akış diyagramı

Akış diyagramının başlangıç bölümünde dar veya geniş manevra olarak kaydedilmeden önce yapılan şerit kontrollerinde yaklaşık olarak nasıl bir desene sahip kenarların kastedildiği grafiklerle gösterilmiştir. Dar manevraların kontrolünde önce mevcut kenara, kenarın deseni uygun değilse önceki kenara bakılmaktadır. Geniş olan manevraların kontrolünde önce iki kenarın 4 noktası için maksimum-minimumlar yeniden hesaplanır. İki kenarın birlikte toplam genişliğinin 3 saniye olan dar manevra sınırının iki katı 6 saniye ve altında olup olmadığına bakılır. Ayrıca hem maksimum hem de minimum noktasının Gz mutlak değerlerinin üst eşik değerden yüksek olması şartı aranmaktadır. Sonrasında devam noktalarının sağa veya sola şerit değişikliği desenlerine uygun olarak eşik değer şartlarını taşıyıp taşımadıkları kontrol edilmektedir.

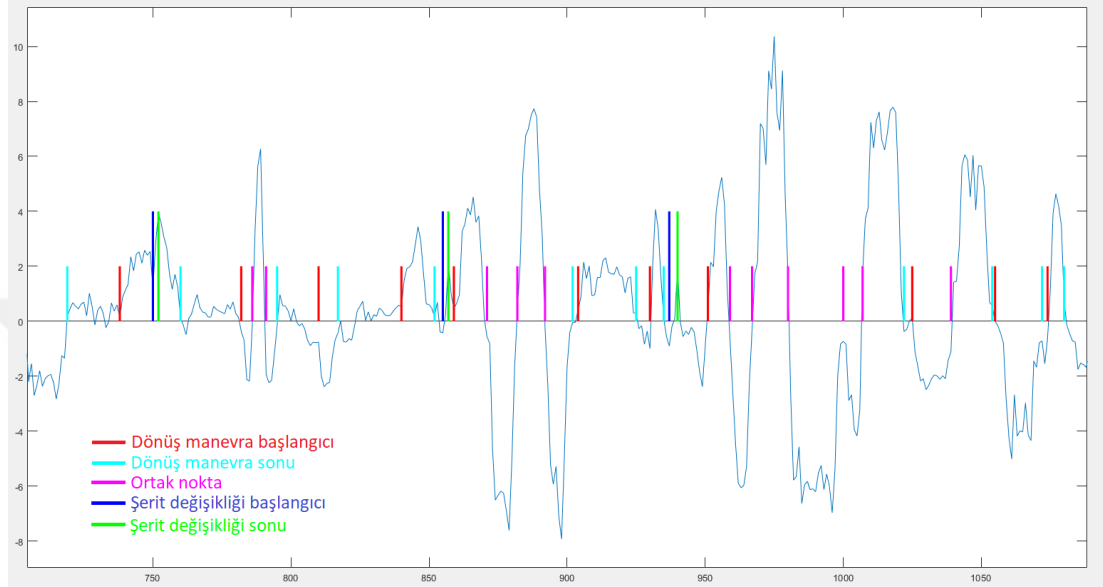


Şekil 4.19. Şerit değişikliği başlangıç-bitiş noktalarının algılanması

Şekil 4.19.'da algoritmanın takografı ile yapılan gerçek bir yolculuğa ait veriler üzerinde çalıştırılması sonucu Matlab'ta çizdirilen yolculuk grafiğinin bir bölümü görülmektedir. Matlab'taki yazılımda şerit değişikliği kenarlarının başlangıç noktası lacivert bitiş noktası yeşil çizgilerle işaretlenmiştir. Şeklin sol bölümünde art arda gelen 3 şerit değişikliği de yolculuk sırasında manuel olarak takograf verilerinde işaretlenmiş olan şerit değişiklikleridir. Sağ tarafta şerit değişikliği olarak işaretlenen 2 manevra ise gerçekte şerit değişikliği olmayan, yol şartları gereği yapılan dönüşlerden kaynaklanmıştır.

Şekil 4.20.'de ise başlangıcı kırmızı, bitiş turkuaz olarak işaretlenen dönüş ve şerit değişikliği manevralarının birlikte olduğu bir bölüm görülmektedir. Pembe rengiyle işaretlenmiş çizgiler önceki dönüş manevrasının bittiği, sonraki dönüş manevrasının

başladığı ortak noktayı göstermektedir. Grafiğin X eksenindeki rakamlar zamanı yani saniye indisini göstermektedir. Grafiğin 750. saniye civarında sola dönüş manevrası sırasında yapılan bir şerit değişikliğinin dönüş içinde lacivert ve yeşil çizgilerle işaretlendiği görülmektedir.



Şekil 4.20. Manevra başlangıç ve bitiş noktalarının algılanması

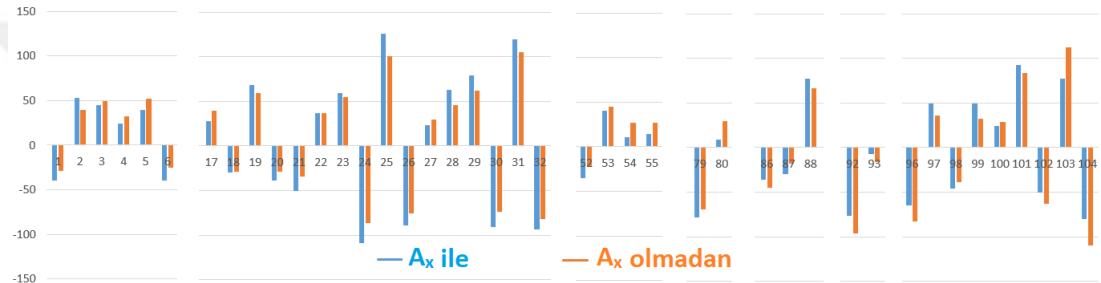
4.3.4. Yanal manevraların agresiflik şiddetinin puanlanması

Başlangıç ve bitiş noktaları hassas bir şekilde tespit edilirken aynı zamanda bu iki nokta arasındaki G_z değerlerinin ortalaması da hesaplanmaktadır. İki kenar arasındaki bölümün bir manevra olup olmadığına, bu ortalama değerlerin eşik değerle kıyaslanması sonucu karar verilmektedir. Veriler senkronize olduğu için başlangıç ve bitiş indisleri bulunan manevranın A_x ve hız ortalama değerleri de hesaplanmaktadır.

4.3.4.1. Dönüş manevralarının puanlanması

Yanal manevraların agresiflik derecesinin saptanmasında sadece G_z verilerinin yeterli olmadığı gözlenmiştir. İlave olarak yanal ivmelenme ve hız verilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Hız verilerinin hesaba katılması konusunda herhangi bir tereddüt bulunmamaktadır. Çünkü yanal manevraların şiddetinin yüksek hızlarda oluşturduğu tehlike ile düşük hızlarda oluşturduğu tehlike farklılık arz eder. Burada

araştırılması gereken konu yanal manevraların şiddetinin doğru bir şekilde tespit edilmesinde G_z ve hız verilerine ilave olarak A_x verilerinin kullanılmasının ne kadar gerekli olduğu konusudur. Veriler incelendiğinde G_z ve hız verilerinin ortalamasına bakılarak agresif olduğuna karar verilen bazı manevraların A_x verilerinin ortalaması düşük olabilmektedir, tersi de mümkündür. Şekil 4.21'deki grafikte verilerin ortalamasına uygun bir katsayı ile çarpılarak agresiflik hesabına A_x verilerinin dahil edilmesinin etkilediği bölümler gösterilmiştir. Grafikte turuncu ile gösterilen büyüklükler G_z ve Hız bileşenlerinden oluşmakta, mavi ile gösterilen büyüklükler G_z , A_x ve hız verilerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.21. A_x verilerinin etkisi. G_z -hız (Turuncu) ile G_z - A_x -hız (Mavi) büyüklüklerinin kıyaslanması

Sonuçlar üç verinin ortalamasının birlikte hesaba katılmasının agresifliği derecelendirmede daha isabetli sonuçlar vereceğini göstermiştir. Bu amaçla her bir manevrada G_z , A_x ve hızın ortalama değerleri Denklem 4.9'da birleştirilerek manevranın GAS değeri bulunmaktadır.

$$GAS(n) = (G_{z-ort}(n) - D.A_{x-ort}(n)).F.Hız_{ort}(n) \quad (4.9)$$

n: Manevra indeksi

$G_{z-ort}(n)$: İki kenar arasındaki manevranın ortalama G_z değeri

$A_{x-ort}(n)$: İki kenar arasındaki manevranın ortalama A_x değeri

$Hız_{ort}$: İki kenar arasındaki manevranın ortalama hız değeri

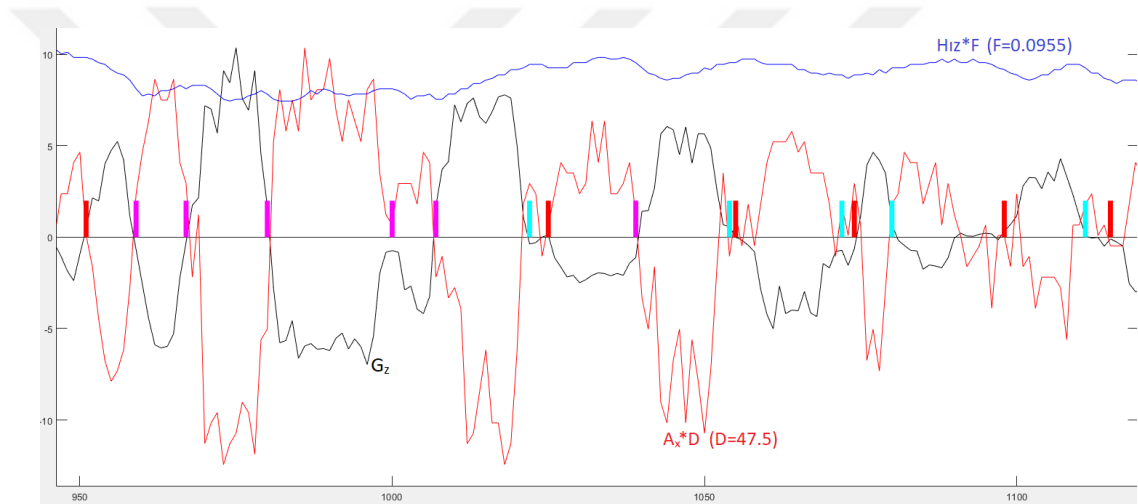
D: Manevranın ortalama A_x değerinin katsayısı. Büyüklüğü iki katına çıkarmak için Denklem 4.10 ve 4.11'de ifade edildiği gibi G_z genel karekök ortalamasının A_x genel karekök ortalamasına oranı olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{RMS}(G_z) = \sqrt{\frac{\sum_i^n G_z(i)^2}{n}}, \quad \text{RMS}(A_x) = \sqrt{\frac{\sum_i^n A_x(i)^2}{n}} \quad (4.10)$$

$$D = \text{RMS}(G_z) / \text{RMS}(A_x) \quad (4.11)$$

F: Manevranın ortalama hız değerinin katsayısı. Yolculuktaki genel ortalama hız değeri dikkate alınarak GAS değerini 100'e ölçeklemek maksadıyla ortalama için 50 değeri referans alınarak F katsayısı aşağıdaki formülle bulunur (Denklem 4.12).

$$F = (1/\text{Hız}_{\text{gen_ort}}) \cdot 50 / (2 \cdot \text{RMS}(G_z)) \quad (4.12)$$



Şekil 4.22. Gz verileri katsayılarla çarpılan Ax ve Hız verileriyle aynı grafikte

Şekil 4.22.'de D katsayısı ile çarpılmış Ax büyüklükleri ve F katsayısıyla çarpılmış hız büyüklüklerinin aynı grafik üzerinde görünümünün bir bölümü yer almaktadır. Grafikte ilgili katsayılarla çarpılan Ax ve hız büyüklüklerinin Gz büyüklüklerine yaklaşılarak oluşturduğu anlamlı korelasyon göze çarpmaktadır. Ayrıca dönüş manevralarının Gz verilerine göre işaretlenmiş başlangıç ve bitiş noktalarının Ax verilerinin sıfıra yakın noktalarıyla da örtüştüğü grafikten görülebilir.

GAS formülünde Gz ortalama değerleri ana referans olarak alınmış, Gz'ye göre ters işaretli olan Ax ortalama değerleri eksi işaretli belirli bir katsayı ile çarpılarak Gz ortalamalarına eklenmektedir. Böylece yolculuktaki genel ortalamalar dikkate alındığında Gz büyüklükleri iki katına çıkmaktadır. Her bir manevra için bulunan GAS

değerlerinin işareti yanal manevranın yönünü, büyüklüğü agresiflik derecesini belirlemektedir. GAS değerinin işareti pozitif ise sola dönüş, negatif ise sağa dönüş manevrasıdır. F katsayısı ile birlikte ortalama hız da manevranın büyüklüğünün belirlenmesinde çarpan olarak dahil edilerek belirleyici olmaktadır. Çünkü düşük hızlarda yapılan agresif manevraların tehlikesi ile yüksek hızlardakilerin tehlikesi birbirinden çok farklı olmaktadır.

4.3.4.2. Şerit değişikliklerinin puanlanması

Şerit değişikliği manevralarının büyüklüğü sağa-sola dönüş manevralarından farklı olarak bulunan kenarın eğimiyle tespit edilmektedir. GSS olarak adlandırılan büyüklük eğimin yüksekliğine ve aralığın ortalama hızına bağlı olarak değişmektedir. Eğim söz konusu olduğu için Denklem 4.13'te ifade edilen şerit değişikliklerine ait büyüklükler işaretsizdir.

$$GSS(n) = \frac{\max G_z(n) - \min G_z(n)}{\Delta t} \cdot F \cdot H_{Zort}(n) \quad (4.13)$$

n: Şerit değişikliği indeksi

F: Manevranın ortalama hız değerinin katsayısı.

Şerit değişikliğindeki F katsayısı bulunurken büyüklük olarak maksimum-minimum fark değerleri kullanıldığından uyumlu olması için Denklem 4.14'te gösterilen yolculuktaki G_z verilerine ait RMSD (G_z) standart sapma değeri referans alınmaktadır.

$$RMSD (G_z) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (G_z(i) - G_{z_gen_av})^2}{n}} \quad (4.14)$$

Yolculuktaki genel ortalama hız dikkate alınarak GSS değerini 100'e ölçeklemek amacıyla ortalama için 50 değeri referans alınarak F katsayısı Denklem 4.15 ile bulunur.

$$F = (1/H_{Zgen-ort}).50/(2. RMSD(G_z)) \quad (4.15)$$

Şerit değişikliklerinin yönü yukarıda anlatılan sağa ve sola şerit değişikliği desenlerinden bulunmaktadır. Algoritma bir kenarın veya dar bir manevranın şerit değişikliği olduğuna karar verdiğinde sağa veya sola hangi yöne olduğuna da karar vermektedir.

4.3.4.3. Puanların kademelendirilmesi

Algoritma tarafından tespit edilen yanıl manevraların puanlarının saha testlerindeki manuel işaretlemelerle kıyaslanabilmesi için puan seviyeleri düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 kademeye ayrılmıştır. Tablo 4.1.'de puan aralıkları görülmektedir.

Tablo 4.1. Algılanan yanıl manevraların kademelendirilmesi

	TR	TL	LCR	LCL
Kullanılan sensörler	Jiroskop-Z, İvme ölçer-X, Hız		Jiroskop-Z, Hız	
Düşük	>-60	<60	<12	
Orta	<=-60	>=60	>=12	
	>-100	<100	<24	
Yüksek	<=-100	>=100	>=24	
Puanlama birimi	GAS		GSS	

TR : Sağa dönüş

TL : Sola dönüş

LCR: Sağa şerit değişikliği

LCL: Sola şerit değişikliği

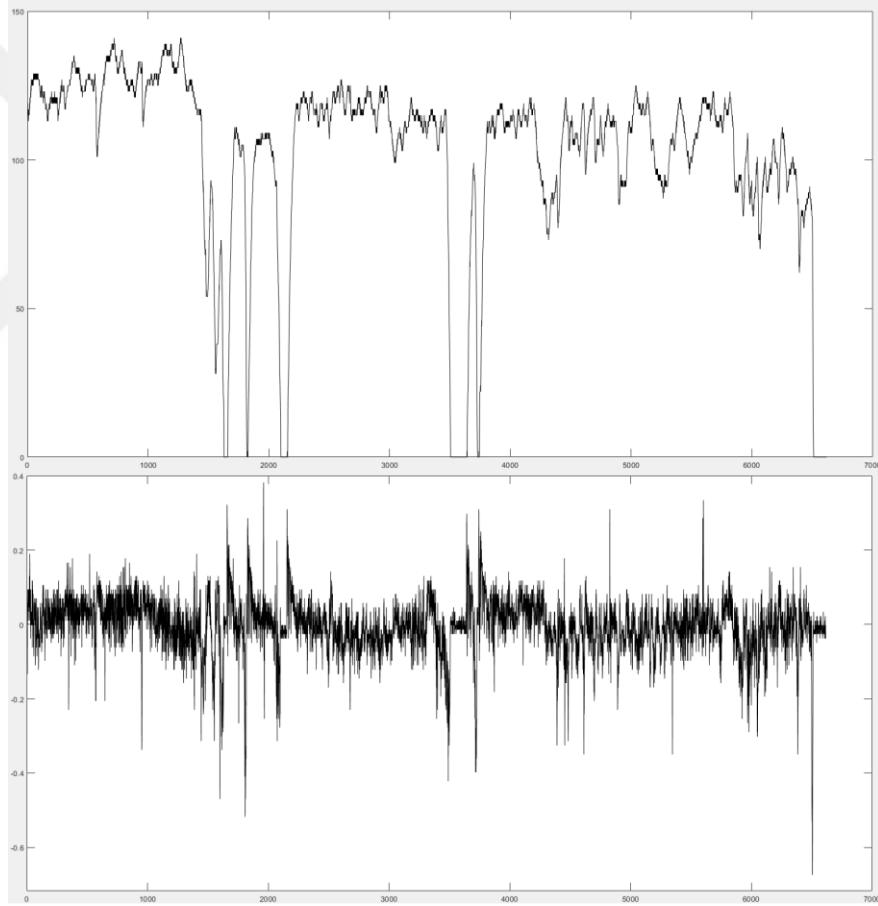
GAS: Dönüş manevra puanı (Gyroscope-Accelometer-Speed)

GSS: Şerit değişikliği puanı (Gyroscope-Slope-Speed)

Tabloda sağa-sola dönüş manevraları ve sağa-sola şerit değişikliklerine ait büyüklüklerin aralığı üç kademe için verilmiştir. Elde edilen GAS ve GSS büyüklüklerini daha fazla kademelendirmek de mümkündür. Algoritma ile yanıl manevraların agresiflik derecesine odaklanıldığından u dönüşleri ayrı bir kategori olarak değil, sağa veya sola dönüş olarak kaydedilmektedir.

4.4. Doğrusal Manevra Tespiti ve Puanlaması için Yeni Algoritma Önerisi

Şekil 4.23.'teki bir yolculuğa ait hız grafiğinden de anlaşılacağı gibi frenleme ve hızlanma gibi doğrusal manevraları hız verilerinden sağlıklı bir şekilde tespit etmek mümkündür. Doğrusal manevralardaki etki doğrudan aracın hızına yansımaktadır. Hız verileri diğer jiroskop ve ivmeölçer verileriyle kıyaslandığında titreşim ve gürültüden çok daha az etkilenmektedir. Doğrusal manevralar herhangi bir ekseninde dönüş sözü konusu olmadığından jiroskop sensör verilerinde sınırlı miktarda değişime yol açmaktadır. Fakat hızlanırken ve yavaşlarken ivmeölçerin Y eksenine bir kuvvet etki ettiğinden ivmeölçer verilerinde anlamlı değişiklikler olmaktadır.



Şekil 4.23. Bolu-Devrek yolculuğuna ait hız (üstte) ve A_y (altta) grafiği

Şekil 4.23'te hız ve doğrusal ivmeölçer grafikleri birlikte incelendiğinde hız grafiğindeki frenleme ve hızlanma bölgelerinde ivmeölçer verilerinin pik yaptığı görülmektedir. Dolayısıyla A_y verileri doğrusal manevraların şiddetine dair anlamlı

bilgiler sunmaktadır. Fakat grafiklerden de görüldüğü gibi doğrusal manevraların başlangıç ve bitiş noktalarını tespit etmekte hız verileri A_y verilerine göre çok daha stabildir. Bu nedenle doğrusal manevra başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde sadece hız verileri dikkate alınmıştır.

4.4.1. Doğrusal manevra algılama algoritması

Doğrusal frenleme ve hızlanma manevralarının başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde Şekil 4.24.'deki akış diyagramından da görüldüğü gibi üç aşamada işlem yapılmaktadır. Birinci aşamada okunan son 32 saniyelik veriler içinde en eski 8 saniyelik bölümden sonraki 5 saniyelik bölümde maksimum ve minimum noktaları bulunur. Hız farkı (10 km/h), maksimum noktasının belirli bir hızın (30 km/h) üstünde olması ve aralıktaki hız değişim oranının belirli bir eşik değerin (2,5 km/h)/saniye üstünde olması gibi kriterlerle ilk kontrol yapılır. Algoritmanın diğer safhalarına geçilmesi için öncelikle bu ilk kontrolün aşılması gerekmektedir. İlk aşama olayların tetiklenmesi içindir.

Sonraki ikinci aşamada birinci aşamanın devamı şeklinde toplam 16 saniye olacak şekilde 11 saniye boyunca maksimum-minimum kontrolüne devam edilir. Ardından hız farkı ilk aşamadaki değerin iki katı (20 km/h) ve aynı hız değişim oranı ile tekrar kontrol yapılır. Şartlar sağlandığı takdirde üçüncü aşamaya geçilir. Üçüncü aşamanın amacı maksimum ve minimum noktaları bulunan hız değişim aralığını ileriye ve geriye doğru devam ettirerek değişim bölgesinin tamamına ulaşmaktır. Böylece değişimin başlangıç ve bitiş noktaları daha yüksek doğrulukla tespit edilebilmektedir. Bu şekilde manevra türüne bağlı olarak manevranın başlangıcından geriye ve manevranın bitiminden ileriye doğru maksimum 8'er saniye tarama işlemi devam etmektedir. Tarama sırasında maksimum veya minimum nokta için sonraki veya önceki 3 nokta ile kıyaslama yapılır. 3 nokta ile kıyaslama yapıldıktan sonra maksimum veya minimum nokta değişmezse o yöndeki tarama durdurulmaktadır. 3 nokta kontrolü, algoritmanın hız verilerindeki anlık yön değişimlerinden etkilenmesini minimuma indirmek içindir.

4.4.2. Jerk tabanlı doğrusal manevra puanlanması

Doğrusal manevraların agresiflik derecesinin puanlanmasında frenleme veya hızlanma bölümündeki hız değişim oranının yanında aynı aralık için ivmeölçerin Y eksenindeki veriler de dikkate alınmaktadır. Çünkü sadece hız verileri manevranın düz yolda mı, yokuş yukarı mı veya yokuş aşağı mı olduğu konusunda bilgi vermemektedir. Halbuki örneğin sert bir frenleme manevrasının yokuş aşağı yapıldığı takdirde oluşturduğu tehlike artmaktadır. Bunu algılamamanın en kolay yolu ivmeölçerin doğrusal olan Y eksenindeki ivmelenmeyi incelemektir. Çünkü yokuş aşağı yapılan frendeki ivmelenme, yokuş yukarı yapılan frendeki ivmelenmeden daha yüksek olacaktır. İvmelenmedeki değişim oranı Jerk olarak tanımlanır. Doğrusal manevralar puanlanırken sonucun pozitif çıkmasını sağlamak için bazı çalışmalarda Jerk yerine karesel toplamla ifade edilen Jerk Enerji değeri kullanılmıştır [16][42]. Bu tez çalışmasında puanlama algoritmasındaki maksimum-minimum farkları pozitif olduğundan Jerk Enerji yerine Jerk değerinin daha iyi sonuç verdiği değerlendirilmiştir. Yolculuktaki herhangi bir manevraya (n) ait maksimum-minimum noktaları arasındaki Jerk değeri hesaplanmaktadır. Her bir kesit için Denklem 4.16’de gösterilen J(n) değeri bulunur.

n: Zaman serisindeki kesit numarası

$$J(n) = \frac{\max A_y(n) - \min A_y(n)}{\Delta t} \quad (4.16)$$

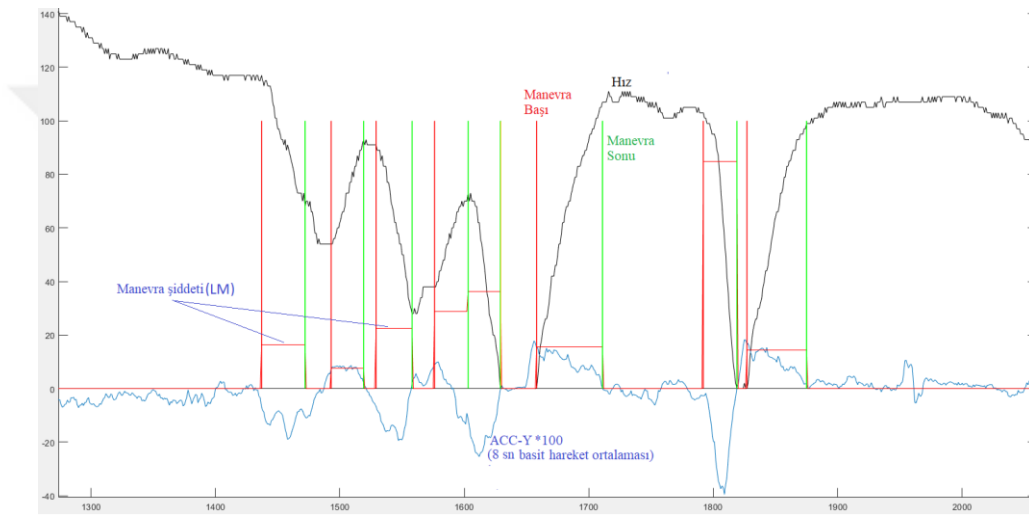
Aynı şekilde herhangi bir n kesit numarası için t değerleri arasında Denklem 4.17’de gösterildiği gibi S(n) değeri bulunur.

$$S(n) = \frac{\max Hız(n) - \min Hız(n)}{\Delta t} \quad (4.17)$$

Daha sonra herhangi bir n manevrası için agresiflik derecesini belirleyen LM (Doğrusal manevra şiddeti) değeri Denklem 4.18 ile bulunur [16].

$$LM(n) = 250 \cdot J(n) \cdot S(n) \quad (4.18)$$

Formüldeki 250 çarpanı agresif olan doğrusal manevraların büyüklüklerini 100'ün üzerine ölçeklemek amacıyla yolculuk verilerinin incelenmesi sonucu bulunan bir değerdir. Şekil 4.25.'de hem hız hem de A_y verilerinin bir arada verildiği grafik bulunmaktadır. A_y verileri 100 ile çarpılmıştır. Grafikte algoritma tarafından işaretlenen manevra başlangıçları dik kırmızı çizgilerle, manevra sonları dik yeşil çizgilerle ifade edilmiştir. Ayrıca kırmızı ve yeşil çizgiler arasına çizilen yatay kırmızı çizgiler, yukarıdaki formülle hesaplanan doğrusal manevra şiddeti $LM(n)$ değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.25. Doğrusal manevraların tespit edildiği hız ve A_y verilerini içeren yolculuk grafiğinden bir bölüm

Grafikten anlaşılacağı gibi eğimi yüksek olan manevraların yatay çizgilerle ifade edilen şiddetleri daha büyüktür. Doğrusal manevraların puanlarının kademelendirilmesi Tablo 4.2.'de gösterildiği gibi dönüş manevralarına benzer şekilde yapılmıştır.

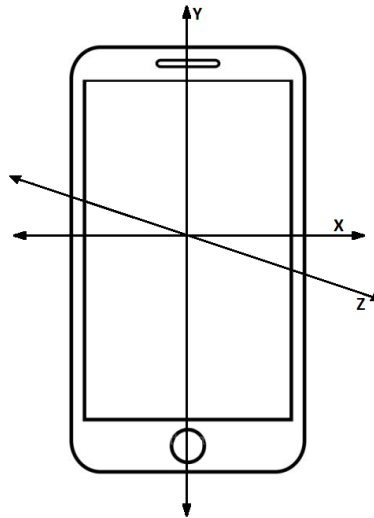
Tablo 4.2. Algılanan doğrusal manevraların kademelendirilmesi

	BRK	ACC
Kullanılan sensörler	Hız, İvmeölçer-Y	
Düşük		<60
Orta		>=60 ve <100
Yüksek		>=100
Puanlama birimi		LM
BRK: Fren, ACC: Hızlanma		

4.5. Yanal Algoritmanın Literatürdeki Bir Veri Setine Uygulanması

Bu tez çalışmasında yanal manevraların algılanması ve puanlanmasıyla ilgili geliştirilen algoritmanın başarı durumunun teyit edilmesi için Ferreira ve arkadaşlarının oluşturduğu veri seti kullanılmıştır [53]. Veri setinde ivmeölçer, doğrusal ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre verilerinin olduğu akıllı telefonların IMU sensörü kullanılmıştır. Veriler bir telefon uygulaması vasıtasıyla kaydedilmiştir. Veri setinde 16, 17, 20, 21 numaralarıyla ifade edilen 4 farklı yolculuk bu tez çalışmasında da aynı numaralarla anılmış, detaylar aşağıda sıralanmıştır:

- Araç 2011 model Honda Civic, telefon Android 5.1 yüklü Motorola XT1058
- Test sürüşleri her biri ortalama 13 dakikalık 4 farklı yolculuktan oluşmaktadır.
- Yolculuklar 15 yıldan fazla sürüş tecrübesine sahip 2 farklı sürücü ile yapılmıştır.
- Hava güneşli, yollar kuru ve asfalt kaplıdır.
- Jiroskop ve ivmeölçer verilerinin örnekleme frekansı 50 Hz'dir.
- Telefon bir tutucu vasıtasıyla yerinden hareket etmeyecek şekilde aracın ön camına monte edilmiştir.
- Sürüşlerin video ile kayıt altına alınmasının yanında her sürüş manuel olarak değerlendirilerek agresif sürüş olayları işaretlenmiştir.



Şekil 4.26. Veri setinin kaydedildiği telefondaki sensörlerin yere göre koordinat sistemi

Telefonun araca montaj konumuna göre oluşan 3 eksen koordinat sistemi Şekil 4.26.'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yanal manevralar için ivmeölçerin X eksenindeki ve jiroskopun Z eksenindeki sensör verileri kullanılacaktır. Veri setinde hız verileri bulunmadığından veri seti geliştirilen doğrusal manevra tespit algoritmasına uygun değildir.

Veri setinde ivmeölçer ve jiroskop verileri 3 eksen olarak ayrı dosyalara kaydedilmiş ve her dosyanın başında nano saniye cinsinden zaman değerleri bulunmaktadır. Veri okunma zamanları incelendiğinde aynı endeks sırasındaki ivmeölçer ve jiroskop verilerinin arasında 5-10 milisaniye fark olmakla birlikte veriler senkronize kabul edilebilir. Veri setindeki ivmeölçer verilerinin birimi m/s^2 'dir. Algoritmada kullanılan ivmeölçer verilerinin birimi g olduğundan veriler 9,8'e bölünerek dönüştürülmüştür. Jiroskop verilerinin birimi rad/s 'dir. Algoritmada derece/s kullanıldığından jiroskop verileri $180/\pi=57,32$ değeri ile çarpılarak dönüştürülmüştür.

Algoritmada yanal manevraları algılamak için minimum yarım saniye periyotlu jiroskop ve ivmeölçer verileri kullanılmaktadır. O nedenle 0,25 saniye ve daha altında bir periyotla kaydedilen sensör verilerinin varsa gürültüyü azaltmak için yarım saniye periyoda indirecek şekilde basit hareketli ortalama tekniği ile filtrelenmesinin algoritma açısından bir sakıncası yoktur. Veri setindeki 50 Hz örnekleme frekansı ile yaklaşık 20 ms'de bir kaydedilmiş olan jiroskop verileri aşağıdaki Denklem 4.19 ile 25 değer için basit hareketli ortalama ile filtrelenerek periyot yarım saniye olacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece yanal manevra başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde kullanılan G_z verilerinde 0,5 saniye periyot içindeki gürültü filtrelenmiştir.

$$SMA(G_z) = \frac{G_i + G_{i+1} + G_{i+2} \dots G_{i+24}}{25} \quad (4.19)$$

Manevra şiddetinin hesaplanmasında kullanılan A_x verilerinin yönü, tespit edilen manevralardaki G_z verilerine göre ve manevra aralığı içinde değişkenlik gösterdiği için dönüş manevralarındaki $A_{x-ort}(n)$ değeri yerine ortalama hesabında A_x değerlerinin maksimum-minimum farkı dikkate alınmıştır. Algoritma başlangıcı ve sonu tespit edilen manevraların şiddetini hesaplarken hız verilerini çarpan olarak kullanmaktadır.

Veri setinde hız verisi olmadığı için hesaplamada 50 km/h gibi orta bir değer, sabit hız olarak girilmiştir. Veri setinde 16, 17, 20 ve 21 numaralarıyla ifade edilen 4 yolculuk verileri algoritmada denenmiş ve yanal manevralarla ilgili aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur. 17 ve 21 numaralı yolculuklarda etiketlenen fren ve hızlanma gibi doğrusal manevralar göz ardı edilmiştir.

4.5.1. Yolculuk - 16

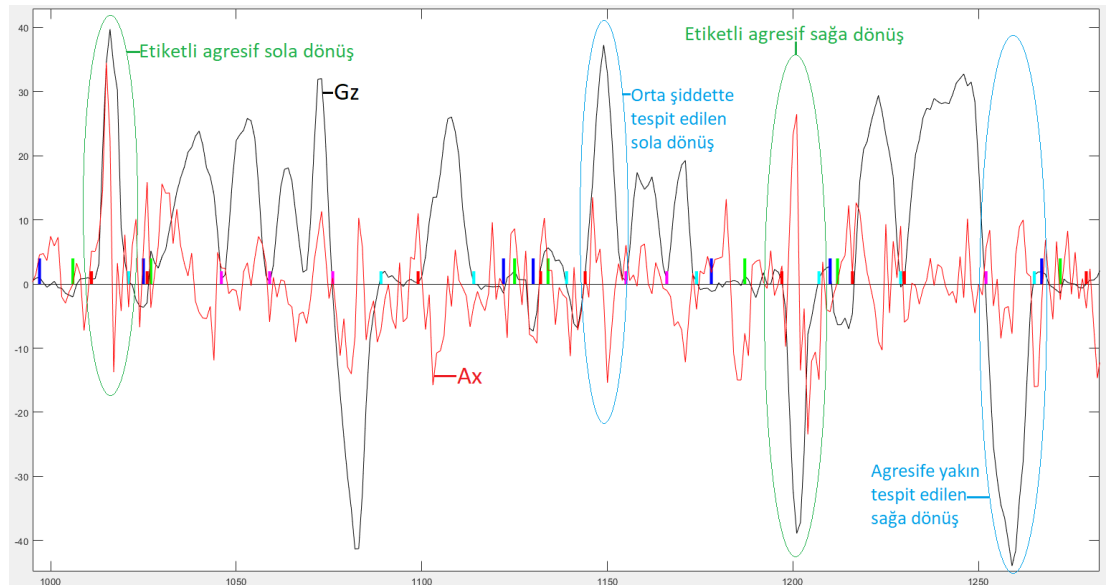
Tablo 4.3. Yolculuk-16'ya ait veri seti test sonuçları

Veri Seti 16			Algoritma		
Yanal Manevra Türü	Baş. Sn.	Bitiş Sn.	Baş. Sn.	Bitiş Sn.	GAS ve GSS (Manevra Şiddeti)
Agresif sağa dönüş	19,5	23,5,	19,14	23,55	-119,18
Agresif sağa dönüş	95	98	94,23	98,65	-135,45
Agresif sola dönüş	247	251,5	245,40	250,8	127,69
Agresif sola dönüş	348,7	352,3	348,47	351,90	164,30
Agresif sola dönüş	496	499,5	494,73	499,63	138,26
Agresif sağa dönüş	587	590	586,02	590,92	-141,45
Agresif sola dönüş	750	753,8	748,96	753,38	125,43
Agresif sağa dönüş	840,7	844	838,77	844,18	-187,76
Agresif sağa dönüş	980	983,2	979,15	983,56	-157,11
Agresif sola dönüş	1087,4	1090,9	1086,14	1091,05	145,80
Agresif sağ şerit değiştirme	1139,8	1142	1140,13	1141,11	86,83
Agresif sağ şerit değiştirme	1201	1202,9	1201,48	1201,97	148,00
Agresif sağ şerit değiştirme	1211,4	1213,5	1211,79	1212,28	132,99
Veri setinde etiketlenmeyen algoritmanın tespit ettiği agresif ve orta şiddetteki manevralar					
Orta şiddet sola dönüş	-	-	139,39	144,79	91,64
Agresif sola dönüş	-	-	170,80	179,14	125,59
Orta şiddet sağa dönüş	-	-	376,93	384,79	-92,79
Orta şiddet sola dönüş	-	-	560,00	565,40	96,46
Agresife yakın sağa dönüş	-	-	613,01	619,39	-104,89
Agresife yakın sola dönüş	-	-	812,27	818,65	102,31
Agresife yakın sağa dönüş	-	-	861,84	867,73	-107,68
Agresif sol şerit değiştirme	-	-	1136,20	1137,18	81,65
Agresif sol şerit değiştirme	-	-	1196,08	1196,57	136,96
Agresif sol şerit değiştirme	-	-	1206,38	1206,87	135,63

Tablo 4.3.'te 16 numaralı yolculuğa ait veri setinde agresif olarak etiketlenen yanal manevraların başlangıç ve bitiş noktaları ile algoritmanın bulduğu sonuçlar kıyaslamalı olarak verilmiştir. Ayrıca tabloda veri setinde etiketlenmeyen, algoritma tarafından agresife yakın olarak puanlanan manevralar da yer almaktadır. Etiketli dönüş manevraların tamamının GAS puanları 100'ün üzerinde bulunmuştur. Şerit değişikliği şiddetini belirleyen GSS puanları da agresiflik sınırının oldukça üzerindedir. Etiketli olmayan, özellikle tablonun sonundaki iki adet sola şerit değişikliklerinin puanları da oldukça yüksektir. Şekil 4.27.'de yolculuktaki etiketli ve etiketsiz şerit değişikliklerinin olduğu bölümün G_z grafiği gösterilmektedir.



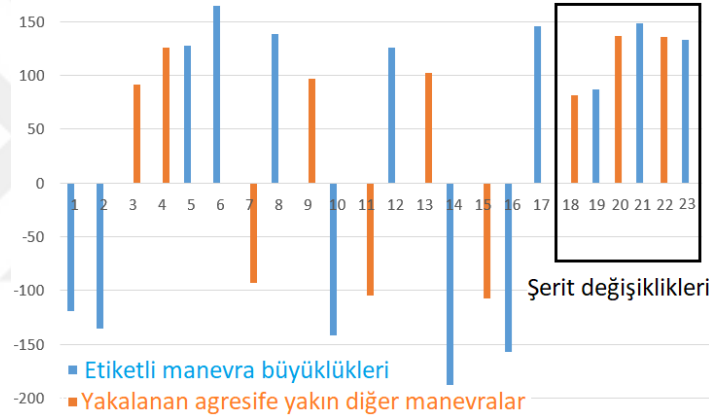
Şekil 4.27. Yolculuk-16 şerit değişikliklerinin olduğu bölümün G_z grafiği



Şekil 4.28. Yolculuk-16 dönüş manevralarının olduğu bölümün G_z ve A_x grafiği

Manevraların agresiflik puanının hesaplanmasında A_x ivmeölçer verileri de kullanılmaktadır. Şekil 4.28.'de etiketlenen ve etiketlenmeyen bazı dönüş manevralarında kırmızı ile çizilmiş olan A_x verilerinin etkisi görülmektedir. Grafikte siyah ile çizilen G_z verilerinde agresif olarak etiketli manevralarla etiketlenmemiş olan bazı manevraların desenlerinde benzerlik olmasına rağmen A_x verilerinin manevra şiddetinde belirleyici olduğu görülmektedir.

Şekil 4.29.'da yolculuğa ait agresif ve agresife yakın bütün manevraların büyüklükleri birlikte gösterilmiştir. Genel olarak bakıldığında grafikte agresif olarak etiketlenmiş manevraların büyüklüklerinin etiketsiz manevralara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



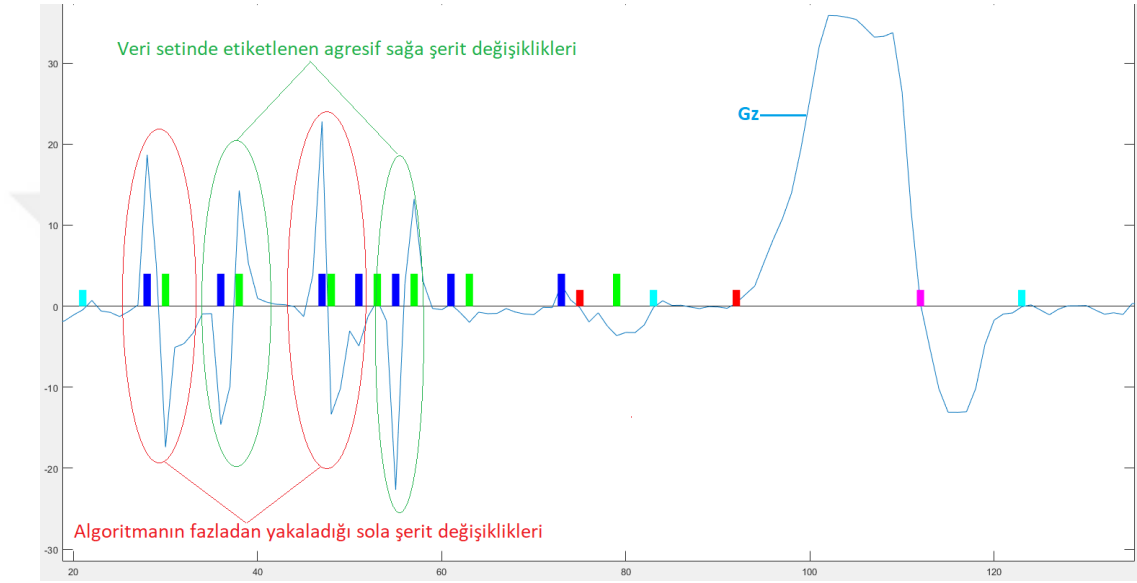
Şekil 4.29. Yolculuk-16'ya ait manevra büyüklükleri

4.5.2. Yolculuk - 17

Tablo 4.4. Yolculuk 17'ye ait veri seti test sonuçları

Veri Seti 17			Algoritma		
Yanal Manevra Türü	Baş. Sn.	Bitiş Sn.	Baş. Sn.	Bitiş Sn.	GAS ve GSS (Manevra Şiddeti)
Agresif sağ şerit değiştirme	16,10	18,50	16,20	17,18	69,34
Agresif sağ şerit değiştirme	25,10	27,60	25,52	26,50	86,07
Veri setinde etiketlenmeyen algoritmanın tespit ettiği agresif manevralar					
Agresif sol şerit değiştirme	-	-	12,27	13,25	86,61
Agresif sol şerit değiştirme	-	-	21,60	22,09	173,48

Veri setinde yer alan 17 numaralı yolculuğa ait verilerin algoritmadaki test sonuçları Tablo 4.4.'te verilmiştir. Yolculukta yanal manevra olarak sadece 2 adet sağa şerit değişikliği etiketlenmiştir. Algoritma bu yolculukta sağa şerit değişikliklerinden hemen önce yapılan 2 adet agresif sola şerit değişikliklerini de tespit etmiş ve yakalamıştır. Şekil 4.30.'da 2 sola 2 sağa şerit değişiklikleri G_z grafiği üzerinde algoritmanın işaretlediği noktalarla birlikte gösterilmektedir.



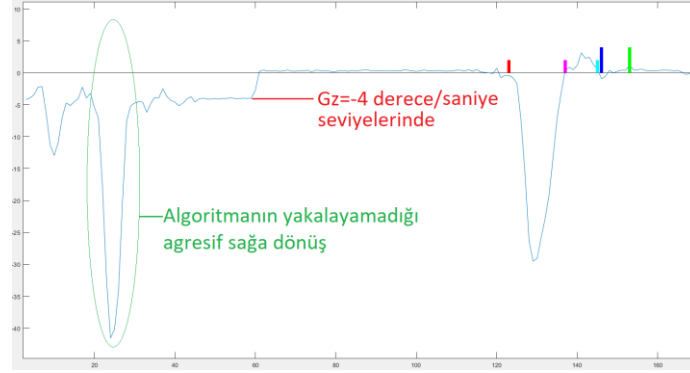
Şekil 4.30. Yolculuk-17 şerit değişikliklerinin G_z grafiği

4.5.3. Yolculuk - 20

Veri setinde yer alan 20 numaralı yolculuğa ait verilerin algoritmadaki test sonuçları Tablo 4.5.'te verilmiştir. Yolculukta 6 agresif sağa dönüş ve 6 agresif sola dönüş manevraları etiketlenmiştir. Tabloda etiketlenen manevralarla algoritmanın yakaladığı orta şiddette bir sola dönüş manevrası ile agresif bir sağa dönüş manevrası bulunmaktadır.

Tablo 4.5.'teki ilk satırdan da anlaşıldığı gibi algoritma yolculuktaki ilk manevra olan agresif sağa dönüş manevrasını kaçırmıştır. Şekil 4.31.'de kaçırılan manevranın G_z grafiği verilmiştir. Grafikten anlaşılabileceği gibi kaçırılan manevradan önceki ve sonrasındaki G_z değerleri ortalama 4 derece/saniye gibi eksi eşik değerden düşük bir

seviyede yatay seyir izlemektedir. Algoritma bu nedenle bu sağa dönüş manevrasını kaçırmıştır.

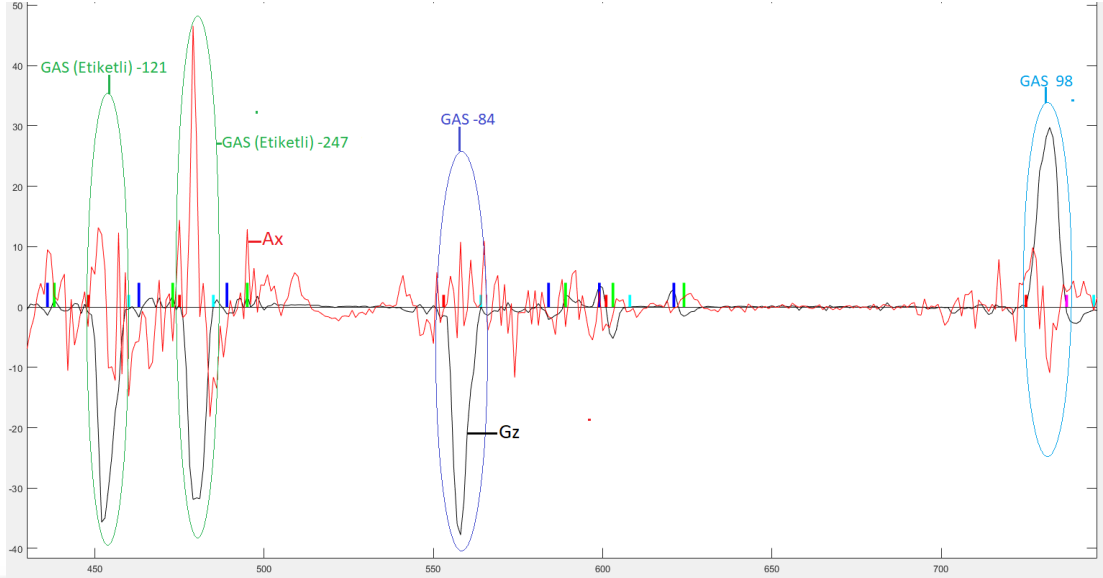


Şekil 4.31. Yolculuk-20 algoritmanın kaçırdığı agresif sağa dönüş manevrası

Tablo 4.5. Yolculuk-20'ye ait veri seti test sonuçları

Veri Seti 20			Algoritma		
Yanal Manevra Türü	Baş. Sn	Bitiş Sn	Baş. Sn	Bitiş Sn	GAS ve GSS (Manevra Şiddeti)
Agresif sağa dönüş	9,50	12,50	Yakalanamadı		
Agresif sağa dönüş	91,60	94,90	89,33	95,22	-161,17
Agresif sağa dönüş	120,90	124,10	120,25	126,63	-201,11
Agresif sağa dönüş	135,40	139,00	134,48	138,90	-181,46
Agresif sağa dönüş	219,40	223,90	218,41	224,30	-120,69
Agresif sağa dönüş	232,60	236,70	231,66	236,57	-246,87
Agresif sola dönüş	412,00	416,00	408,84	417,67	158,44
Agresif sola dönüş	430,30	433,20	429,45	434,85	105,13
Agresif sola dönüş	447,40	450,70	447,12	453,50	127,23
Agresif sola dönüş	496,10	499,20	495,22	500,62	167,06
Agresif sola dönüş	508,80	512,00	507,98	513,87	145,67
Agresif sola dönüş	531,60	534,40	530,06	536,44	99,05
Veri setinde etiketlenmeyen algoritmanın tespit ettiği agresif ve orta şiddetteki manevralar					
Orta şiddet sola dönüş			354,36	360,25	97,99
Agresif sağa dönüş			556,08	560,49	-134,75

Şekil 4.32.'de 20 no'lu yolculuğa ait bazı dönüş manevraları üzerine GAS büyüklük değerleri işaretlenerek verilmiştir. Büyüklükler üzerinde G_z değerleriyle birlikte A_x değerlerinin ne kadar etkili olduğu grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.32. Yolculuk-20 dönüş manevraları (GAS büyüklükleriyle birlikte)

4.5.4. Yolculuk - 21

Veri setinde yer alan 21 numaralı yolculuğa ait verilerin algoritmadaki test sonuçları Tablo 4.6.'da verilmiştir. Yolculukta yanal manevra olarak 4 agresif sola şerit değiştirme manevraları etiketlenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi etiketli manevralar algoritma tarafından yüksek puanlı olarak tespit edilmiştir. İlaveten orta ve yüksek şiddette 2 adet sağa, bir adet sola şerit değişikliği manevraları kaydedilmiştir.

Tablo 4.6. Yolculuk-21'e ait veri seti test sonuçları

Veri Seti 21			Algoritma		
Yanal Manevra Türü	Baş. Sn	Bitiş Sn	Baş. Sn	Bitiş Sn	GSS (Manevra Şiddeti)
Agresif sol şerit değiştirme	23,10	24,70	23,07	24,05	78,90
Agresif sol şerit değiştirme	97,70	100,00	98,16	99,14	97,39
Agresif sol şerit değiştirme	108,10	110,50	108,47	108,96	195,42
Agresif sol şerit değiştirme	163,30	165,40	163,44	164,42	88,32
Veri setinde etiketlenmeyen algoritmanın tespit ettiği agresif ve orta şiddetteki manevralar					
Agresif sol şerit değiştirme	-	-	10,80	11,78	77,91
Agresif sağ şerit değiştirme	-	-	94,72	95,71	62,00
Agresif sağ şerit değiştirme	-	-	160,00	160,98	97,24

Şekil 4.33.'te 21 no'lu yolculukta algoritma tarafından tespit edilen bütün şerit değişikliği manevralarının G_z grafiği, işaretlemeler ve GSS büyüklüklerinin bir arada gösterildiği grafik bulunmaktadır. Grafikte etiketli ve diğer şerit değişikliği desenlerini kıyaslamak mümkündür.



Şekil 4.33. Yolculuk-21 şerit değişikliklerinin G_z grafiği ve GSS büyüklükleri

Veri setinde bulunan 4 yolculuğa ait algoritmanın bulduğu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; dönüş manevralarının ve şerit değişikliklerinde belirleyici olan kenarların başlangıç ve bitiş noktalarının doğru tespit edilmesi ile manevraların puanlanmasının etiketlemeyle örtüştüğü görülmektedir. Veri setinde agresif manevra yok olarak işaretlenmiş bölgelerde algoritma ya hiç manevra tespit etmemiş veya genellikle düşük şiddette manevralar tespit etmiştir.

Tablo 4.7. Veri seti testlerinin doğruluk sonuçları

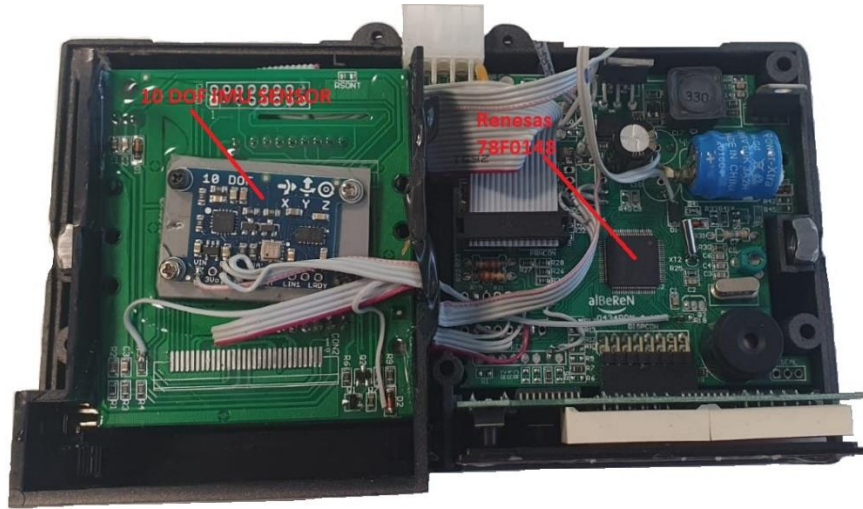
Yanal Manevra Türü	Etiketli Yanal Manevra Sayısı	Algoritmanın Yakaladığı Manevra Sayıları	Doğruluk (%)
Agresif sola dönüş	11	11	100
Agresif sağa dönüş	11	10	90,9
Agresif sola şerit değiştirme	4	4	100
Agresif sağa şerit değiştirme	5	5	100
Agresif olmayan olaylar	14	14	100
Toplam	45	44	97,77

Tablo 4.7.'de veri setinde etiketlenmiş bütün yanal manevra sayıları ve algoritmanın her birini doğru tespit etme oranları verilmiştir. Toplamda %97,77'lik doğruluk oranına ulaşılmıştır. Aynı veri setinin kullanıldığı 2018 yılında Ma ve arkadaşları tarafından 4 farklı algoritmanın kıyaslandığı çalışmada doğrusal manevralar dahil

agresif sürüş davranışlarının yaklaşık %77'sinin doğru tespit edildiği belirtilmiştir [54]. Yanal manevralar için aynı veri setini kullanan iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde bu tez çalışmasındaki yanal manevralar için bulunan sonuçların oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

4.6. Algoritmanın Prototip Akıllı Takograf Cihazına Uygulanması

Algoritmalar geliştirilirken kullanılan gerçek veriler, hız ve IMU sensörlerinden saniyelik ve yarım saniyelik periyotlarla prototip takograf cihazının hafızasına kaydedilmesiyle elde edilmiştir. Yolculuk sonunda veriler indirilerek bilgisayara aktarıldıktan sonra Matlab ortamında analiz edilmiştir. Geliştirilen algoritmaların takograf cihazında gecikme olmaksızın düzgün bir şekilde çalışabilmesi için, sürekli hafızaya kaydedilen sensör verilerinden son 14 veya 24 saniyelik kısmının aynı zamanda RAM'e kaydedilmesi sağlanmıştır. Bu verilerden bir olayın başlangıcı veya bitişinin algılanması mümkündür. Prototip akıllı takografda kullanılan mikroişlemci, hafıza kapasitesi ve işlem hızı açısından günümüzdekilerle kıyaslandığında oldukça düşük olmasına rağmen algoritmaların başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Uygulamanın başarısı aynı veriler üzerinde bilgisayar ortamında bulunan sonuçlarla kıyaslanarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.34. Prototip akıllı takograf elektronik devre

Şekil 4.34.'te elektronik kartların olduğu bölümlerin gösterildiği prototip takografda kullanılan mikro denetleyici 60 KB program hafızasına (Flash) ve 2 KB RAM'e sahip

8 Bit'lik Renesas 78F0148'dir. Prototip takograf cihazında algoritmalar diğer takograf fonksiyonlarıyla birlikte çalışacak şekilde yazılıma eklendiği halde başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

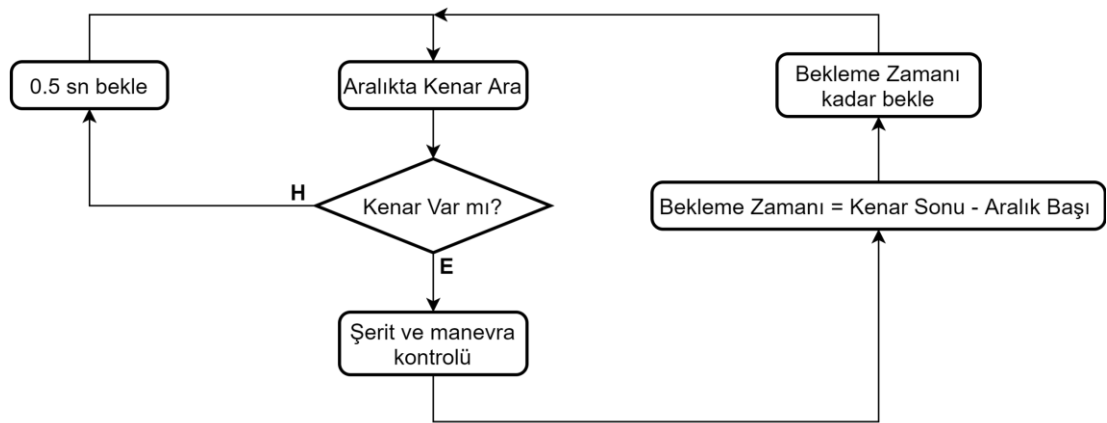
Takograf IMU sensör modülü araçtaki montaj konumu hesap edilerek jiroskop dönüş eksenleri dikkate alındığında Z eksenine göre hafif sağa ve X eksenine göre hafif öne-aşağıya dönük olarak monte edilmiştir. Bu şekilde takograf araca monte edildiğinde eksenlerdeki kaymanın en az olması amaçlanmıştır. Buna rağmen araca montajdan sonra A_x , A_y ve G_z sensör verilerinin ofset değerlerinin takograf tarafından bulunup hafızasına kaydedilmesi amacıyla takograf yazılımına şöyle bir özellik eklenmiştir: Takograf algoritmaların çalışması bir tuşa basılarak başlatılmakta ve aynı tuşla bitirilmektedir. İşlem bitirilirken süre kontrol edilir. Süre 5 dakikayı geçmediği sürece her yarım saniyedeki sensör değerleri toplanır. Süre 1 dakikadan fazla ve 5 dakikadan az iken algoritmaların çalışması durdurulursa A_x , A_y ve G_z 'nin ortalama değerleri ofset olarak kaydedilir. Ofset ayarının aracı düz bir zemine park ederek yapılması gerekmektedir. Kaydedilen ofset değerleri Şekil 4.35.'te görüldüğü gibi işaretleriyle birlikte takograf ekranlarında gösterilir. Üst ekranın sol tarafında A_x , sağ tarafında A_y , alt ekranda ise G_z değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.35. Sensör ofset değerleri

Varsayılan ofset değerleri hafızaya önceden kaydedildiğinden sensör verileri için her zaman ofset değerleri mevcuttur. Takografteki algoritmalarda kullanılmadan önce sensör verilerinden ofset değerleri çıkarılarak RAM'e kaydedilir. Böylece takograf araca eksenler açısından tam düzgün monte edilemese bile ofset değerlerinin hafızaya alınabilmesi için kolayca kalibre edilmesi mümkündür.

Gömülü yazılımda algoritmaların uygulandığı sağa-sola dönüşler ve şerit değişikliklerini içeren yanal manevraları algılayan fonksiyon ile hızlanma ve fren gibi doğrusal manevraları algılayan fonksiyon ayrıdır. Her yarım saniye dolduğunda öncelikle hız ve sensör verileri hafızaya kaydedilir. Aynı zamanda yanal manevralar için RAM'deki son 13 saniyeye ait G_z ve A_x verileri güncellenir. Doğrusal manevralar için son 24 saniyeye ait A_y ve hız verileri güncellenir. Hız verileri yanal manevralar için de kullanılır. Ardından önce yanal, ardından doğrusal manevra algılama fonksiyonları çağrılır. Yanal manevra fonksiyonunda 11 saniye öncesinden kenar bulma işlemi başlatılır. Çünkü kenarın başlangıç noktası 11 saniye öncesine ait olursa 2 saniye geriye uzanan devam noktaları 13 saniye öncesine kadar uzanacaktır. Yapılan kontroller sonucunda maksimum-minimum noktalar arasındaki fark, eşik değerin altında kaldığından aralıkta kenar olmadığına karar verilirse fonksiyondan çıkılır ve yarım saniye sonra genel indeks bir ilerletilerek aynı kontroller yarım saniye ileri kaymış olarak aralık içinde yeniden yapılır. Eğer fonksiyon aralık içinde kenar bulursa, işlem sonundaki ilerleme yarım saniye ile sınırlı kalmaz. O durumda Şekil 4.36.'daki ilerleme döngüsünde gösterildiği gibi kontrolün başladığı 11 saniye öncesi ile kenar bitiş noktası arasındaki fark bulunur. Zamanın bu fark kadar ilerlemesi beklenir, bu süre boyunca yarım saniyelerde fonksiyona girilmez.



Şekil 4.36. Takograf yanal manevra kontrolü ilerleme döngüsü

Algoritmanın bir kenarı yakalayınca sonraki kontrollere kenarın bitiş noktasından itibaren başlaması gerekmektedir. Aksi halde aynı aralık içinde birçok noktası birbiriyle çakışan birden fazla kenar yakalanarak anlamsız sonuçlar üretilecektir. Art

arda gelen kenarların kaçırılmaması için kenarın bitiş noktasından hemen sonraki nokta değil, bitiş noktası yeni aralığın başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir. Takograftaki gömülü yazılımda gerçek zamanlı yeni veriler gelmeye devam ederken yapılan kontrollerde bilgisayar ortamından farklı olarak 13 saniyelik verilerin ve ilgili indislerin önceki kenara ait olanları da ayrıca RAM’de tutulur. Böylece özellikle algoritmanın şerit kontrol prosedürlerindeki önceki kenarla ilgili kontroller bu verilerle yapılabilmektedir.

Algoritma tarafından yakalanan dönüş ve şerit değişikliği manevralarının başlangıç-bitiş noktaları, yönleri ve şiddetleriyle birlikte hafızanın farklı bölümlerine kaydedilir. Takograflarda hız ihlali, kimliksiz kullanım ve süre ihlallerinde ihlallerin hafızaya kaydedilmesinin yanında sürücüler sesli ve görüntülü olarak uyarılmaktadır. Aynı anlayışla bir dönüş veya şerit değişikliği manevrası hafızaya kaydedildikten sonra agresif manevrayla ilgili sürücü sesli ve görüntülü olarak uyarılır. Uyarı sırasında ekranda manevranın türü, yönü ve şiddeti Şekil 4.37.’deki gibi gösterilir.



Şekil 4.37. Sağa dönüş manevrası ve şiddeti

Uyarı belirli bir şiddetin üstündeki manevralar için verilmektedir. Prototip takograf yazılımında manevra şiddetleriyle ilgili uyarı eşik değerleri manevraların tespitinin gözlenebilmesi için düşük tutulmuştur. Dönüş manevralarında sürücü uyarısı için şiddet eşik değeri 30 (GAS), şerit değişikliklerinde 12 (GSS) olarak girilmiştir. Şekil 4.38.’de 18 şiddetinde bir sola şerit değişikliği manevra uyarısı görülmektedir.



Şekil 4.38. Sola şerit değişikliği manevrası ve şiddeti

Fren ve hızlanma ve gibi doğrusal manevraları tespit eden fonksiyonda 24 saniye önceki hız verisinden başlamak üzere tarama yapılır. İlk 16 saniye içinde eşik değer kontrolleri yapılır, 16 saniye içindeki ilk 5 saniyede ilk aşamadaki eşik kontrolleri yapılmaktadır. 5 saniyelik bölümde şartlar sağlanmazsa yarım saniye sonra yeni bir kontrol yapılmak üzere fonksiyondan çıkılır. İlk aşamadaki şartlar sağlanır fakat ikinci aşamadaki şartlar sağlanmazsa zamanın 5 saniye ilerlemesi beklenir. İkinci aşama da geçilirse son 8 saniyede hızlanma veya yavaşlamanın devam edip etmediği kontrol edilir. Son aşamaya geçildikten sonra manevra devam etmiş olsa da olmasa da başlangıç-bitiş noktaları ve manevranın şiddeti fren veya hızlanma olarak kaydedilir. Başlangıç noktası sıfır olduğu için RAM'deki manevranın bitiş noktası kadar zamanın ilerlemesi beklenir, bu süre boyunca yarım saniyelerde fonksiyona girilmez. Hızlanma veya fren için manevra şiddeti 25 ve daha büyükse sürücü dönüş ve şerit değişikliği manevralarındaki gibi sesli ve görüntülü olarak uyarılır. Şekil 4.39.'da bir fren manevrasının şiddetiyle birlikte takografda gösterimi bulunmaktadır.

Manevraların kaydedilmesi ve sürücünün uyarılması manevra bitiminden birkaç saniye geçtikten sonra yapılmaktadır. Gecikme manevra tespitiyle ilgili taramanın geçmiş veriler üzerinde yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bitiş noktasının anlaşılması için birkaç saniyeliliğine de olsa manevranın devamının algılanması gerekmektedir.



Şekil 4.39. Fren manevrası ve şiddeti

20 dakikalık Sakarya şehir içi test yolculuğuna ait takografin tespit ederek hafızasına kaydettiği yanal manevralar ile aynı sensör verileri üzerinde Matlab ortamında tespit edilen manevraların karşılaştırılması Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Aynı sensör verileri için takograf ile Matlab karşılaştırması

Takograf Verileri			Matlab Verileri		
Manevra Başı Yr. Sn. İndeksi	Manevra Sonu Yr. Sn. İndeksi	GAS / GSS Değerleri	Manevra Başı Yr. Sn. İndeksi	Maneva Sonu Yr. Sn. İndeksi	GAS / GSS Değerleri
Dönüş manevraları					
31	50	24	31	50	26
83	98	-42	83	98	-43
105	113	-10	105	113	-11
127	137	-21	127	137	-22
137	150	-13	137	150	-15
164	175	10	164	175	11
179	193	19	179	193	20
267	289	31	267	289	32
368	375	27	368	375	29
609	661	-45	609	661	-47
905	925	13	905	925	14
1221	1236	-19	1221	1236	-21
1462	1474	-9	1462	1474	-11
2161	2174	-16	2161	2174	-18
2337	2353	52	2337	2353	54
2353	2362	-19	2353	2362	-20
2362	2370	-8	2362	2370	-11

Tablo 4.8. (Devamı)

Şerit değişiklikleri					
11	16	5	11	16	6
152	160	4	152	160	5
313	316	20	313	316	21
374	376	33	376	386	4
404	407	4	404	407	5
526	529	26	526	529	27
816	818	31	816	818	32
944	948	4	944	948	4
1288	1291	4	1288	1291	4
1324	1327	6	1324	1327	7
1423	1426	3	1423	1426	3
1524	1525	32	1524	1525	33
1551	1556	3	1551	1556	3

Tablodan görüleceği gibi takograftaki algoritmanın bulduğu manevraların başlangıç-bitiş noktaları Matlab ile neredeyse tamamen aynıdır. Hatta koyu renkli olarak işaretlenmiş olan satırdaki sola şerit değişikliği Matlab'ta yanlış olarak başlangıç ve bitiş noktaları kaymış ve sağa şerit değişikliği olarak tespit edilmişken takografda doğru olarak kaydedilmiştir. Onun dışında GAS ve GSS değerlerinde takograftaki işlemcinin hesaplamasından kaynaklanan sonuca tesir etmeyecek kadar küçük farklar mevcuttur.

4.7. Bir Yolculuğun Puanlanması

Elektronik takograflarda yolculuk sonunda hız, süre ve diğer ihlaller bir tuşa basılarak sırayla gösterilmektedir. İhlalin türü iki harfli bir kısaltma ile ve karşısında yolculuk boyunca kaç defa yapıldığı belirtilir. Yollarda denetim yapan görevliler yolculuk boyunca bir ihlal olup olmadığını en kolay bu şekilde öğrenmektedirler. Kısaltmalar Tablo 4.9.'da gösterilmiştir.

Yanal ve doğrusal manevralara ait agresif sürüşleri yukarıda belirtilen hız ve kullanım süresi ihlallerine benzer şekilde göstermek denetim yapan görevlilerin yolculuk sırasında aracın nasıl kullanıldığı hakkında kanaat sahibi olmasını sağlayacaktır. Bu amaçla agresif yanal ve doğrusal manevralara ait tespit edilen sonuçların gösterilmesi, yönlerinden bağımsız olarak dönüş, şerit değişikliği ve doğrusal olmak üzere 3

kategoriye ayrılmıştır. Dolayısıyla her kategorideki agresif sürüş durumu ayrı ayrı sayılarla gösterilmektedir.

Tablo 4.9. Takograf hata kodları

HH	Hız ihlali
ID	Kimliksiz kullanım
SS	Sürekli kullanım süresi ihlali
TS	Toplam kullanım süresi ihlali
AC	Akü kesintisi hatası
SD	Günlük kesintisiz dinlenme süresi ihlali
HT	Hafta tatili ihlali
HS	Haftalık veya iki haftalık toplam kullanım süresi ihlali

Denetim yapan görevliler açısından diğer ihlallerde olduğu gibi agresif manevraların kaç defa yapıldığı önemlidir. Dolayısıyla algoritma her manevranın şiddetini belirlediği için bu aşamada her kategori için alt sınır belirlenmesi gerekmektedir. Şiddeti sınırın üstünde olan manevralar dikkate alınacaktır. Yolculuk sırasında hafızaya kaydedilen manevralardan sınır değerin üstünde olanlar toplanarak ortalamaları alınacaktır. Bulunan sonuç yolculuktaki o kategoriye ait agresif manevra şiddetini verecektir. Şekil 4.40.'da bir yolculuk sonunda eşik değerin üstünde yapılan 56 agresif manevranın ortalama GAS değerinin 60 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.40. Bir yolculuk için agresif dönüş manevra bilgisi

Bunun dışında ihtiyaç ve talebe göre hız ihlallerinde maksimum hızın verildiği gibi agresif manevra gösteriminde de en şiddetli manevra bilgileri ayrıca gösterilebilir. Alt ekranda dönüş manevralarının şiddetini gösteren GAS değeri yönlü olduğu için Denklem 4.20'deki formülde mutlak değer alınmıştır. Denklem 4.21'de bulunan GAS_{ort} değeri o yolculuğa ait agresif dönüş manevralarının ortalama şiddetidir. Agresif

dönüşler için eşik değer 50 olarak ayarlanmıştır. Bu değer yükseltilerek sadece şiddeti yüksek olan dönüşlerin dikkate alınması sağlanabilir.

N: Eşik değer üstündeki manevra sayısı

$$GAS_{top} = \begin{cases} \sum_i^n |GAS(i)|, & |GAS(i)| \geq Eşik\ Değer\ (|GAS_{Eşik}| = 50) \\ -, & Diğer \end{cases} \quad (4.20)$$

$$GAS_{ort} = \frac{GAS_{top}}{N} \quad (4.21)$$

Şerit değişikliklerinin şiddetini gösteren GSS değerlerinin 20 olarak seçilen eşik değerden yüksek olanların ortalamasının bulunduğu GSS_{ort} hesabıyla ilgili formül aşağıda Denklem 4.22 ve 4.23'deki gibidir.

$$GSS_{top} = \begin{cases} \sum_i^n GSS(i), & GSS(i) \geq Eşik\ Değer\ (GSS_{Eşik} = 20) \\ -, & Diğer \end{cases} \quad (4.22)$$

$$GSS_{ort} = \frac{GSS_{top}}{N} \quad (4.23)$$

Son olarak doğrusal manevraların şiddetini belirleyen 50 eşik değerinin üstündekilerin toplamını ve ortalamasını veren LM_{ort} formülü aşağıda Denklem 4.24 ve 4.25'te verilmiştir. LM formülünde hız ve ivmeölçer çarpım durumunda olduğu için skala daha geniş değerleri kapsamaktadır.

$$LM_{top} = \begin{cases} \sum_i^n LM(i), & LM(i) \geq Eşik\ Değer\ (LM_{Eşik} = 50) \\ -, & Diğer \end{cases} \quad (4.24)$$

$$LM_{ort} = \frac{LM_{top}}{N} \quad (4.25)$$

GSS_{ort} ve LM_{ort} değerleri takografıta Şekil 4.41.'deki gibi gösterilmektedir. Yolculukta 19 defa eşik değer üstünde şerit değişikliği yapılmış, ortalama GSS değerleri 36'dır.



Şekil 4.41. Bir yolculuk için agresif şerit değişikliği bilgisi

Aynı yolculukta yapılan hızlanma ve fren gibi doğrusal manevralarla ilgili bilgiler de sağdaki ekran görüntüsünde verilmiştir. Şiddeti 50 eşik değerinin üstünde 50 hızlanma ve fren manevrası yapılmış, ortalama değerleri 63 olarak bulunmuştur.

BÖLÜM 5. SÜRÜŞ TESTLERİ VE ALGORİTMA BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümün öncelikli amacı 3D ivmeölçer, 3D manyetometre, 3D jiroskop ve basınç sensöründen oluşan IMU modülü içeren ve hız bilgisini aracın ABS sensörlerinden alan takografa kaydedilen verilerin algoritmalarda denenmesidir. Yapılan ilk 2 yolculukta (Yalova-Sakarya ve Bolu-Devrek) takograftan indirilen veriler bilgisayar ortamında Matlab'taki yanal manevra algoritmasıyla denenerek sonuçlar bulunmuştur. Sonraki Devrek-Bolu yolculuğu yanal manevra algoritması takografa uygulanarak yapılmış ve sonuçlar takografa görülmüştür. Son olarak Geyve-Sakarya yolculuğu hem yanal hem de doğrusal manevra algoritmaları takografa uygulanmış olarak yapılmış ve sonuçlar takograf ekranında görülmüştür. Ayrıca son 2 yolculuğa ait video kayıtları mevcuttur.

5.1. Deneysel Kurulum



Şekil 5.1. Araca monte edilen prototip takograf cihazı

Prototip takograf Yalova-Sakarya yolculuğunda 2017 model HYUNDAI Accent Blue, diğer yolculuklarda 2020 model FIAT Egea araca Şekil 5.1.'deki gibi monte edilmiş,

hız sinyali araç göstergesinin de bağlı olduğu ABS sensörlerinden alınmıştır.

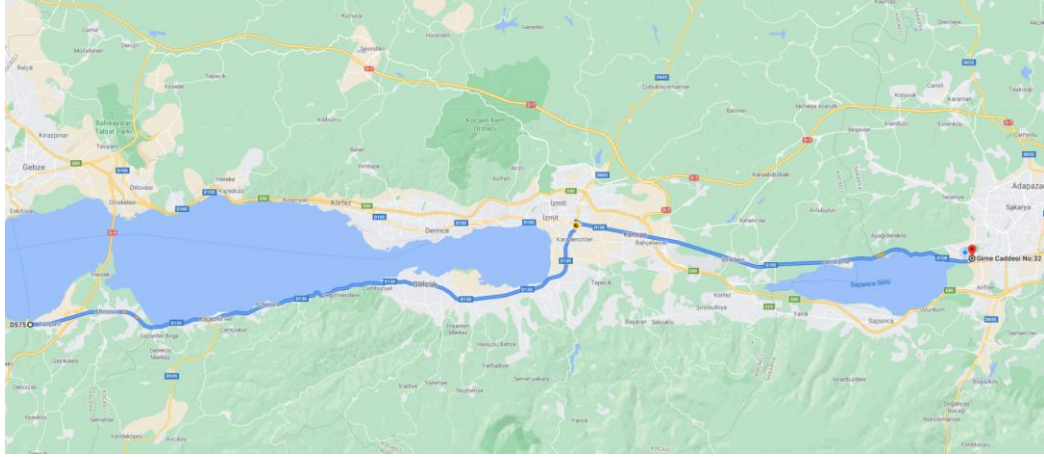
Bluetooth haberleşme donanımı eklenen takograf, Android uygulama ile haberleşmeye uygun hale getirilmiştir. Şekil 5.2.'de kullanıcı ara yüzü görülen uygulama ile araçta hareket halinde iken bir manevra gerçekleştirileceği zaman manevranın başlangıcında uygulamada ilgili tuşa basılarak takograf kayıtlarına manevra başlangıcının işaretlenmesi sağlanmaktadır. Daha sonra manevra bittiği anda gerçekleşen manevranın şiddetine bağlı olarak normal, orta veya agresif olmak üzere üç farklı kademedeki bitiş noktası işaretlenmektedir. Böylece sürüş sırasında belirli manevraların insan iradesiyle üç farklı kademedeki manuel olarak başlangıç ve bitiş noktasıyla işaretlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.2. Manevraların kaydedildiği uygulama ara yüzü

5.2. Yalova-Sakarya Yolculuğu

7 Temmuz 2019'da Yalova-Sakarya arasında 3833 saniyelik (yaklaşık 1 saat 5 dakika), 85 km'lik yolculuk güneşli havada, asfalt yolda yapılmıştır. Şekil 5.3.'te gösterilen güzergahta virajların ve trafik ışıklarının olduğu bölümler de mevcuttur.



Şekil 5.3. Yalova-Sakarya yolculuk rotası

Yolculukta hız ile birlikte jiroskop ve ivmeölçerin 3 eksen verileri her saniye hafızaya kaydedilmiştir. Yolculuk tamamlandıktan sonra bu veriler takograftan bilgisayara aktarıldıktan ve ham veriler uygun birimlere çevrildikten sonra Matlab'taki algoritmada denenmiştir. Veriler içinde yolculuk sırasında manuel olarak kaydedilen manevralar da bulunduğu için algoritmanın bulduğu sonuçlarla manuel olarak işaretlenen manevraların kıyaslanabilmesi mümkün olmuştur.

Test sonuçları yapılan bütün manevraların algoritma tarafından ne kadarının tespit edildiği ve tespit edilen manevraların şiddetinin kategorik olarak ne kadar doğru hesaplandığı olmak üzere iki açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan yolculukta uygulama üzerinden bütün yanal manevralar işaretlenmemiş, belirli miktardaki bir manevra için işaretleme işlemi yapılmıştır. Yolculuk sırasında erken veya geç basmadan kaynaklanan işaretlemedeki kaymalar, bilgisayar ortamında veriler incelenirken kolayca düzeltilebilmiştir.

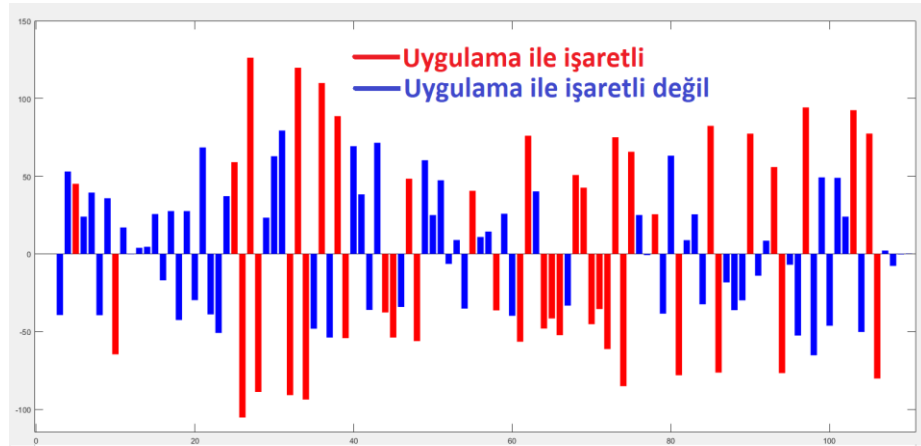
Algoritma test sonuçlarının detaylı verildiği Tablo 5.1.'de manuel olarak şerit değişikliği kaydedildiği halde algoritmanın sağa-sola dönüş olarak yakaladığı 7 manevra bulunmaktadır. Bunun sebebi bu manevraların dalga genişliğinin limit değerlerden fazla olmasıdır. Dalganın geniş olması şerit değişikliği manevralarının agresif olmayacağı şeklinde yorumlanabilir. Bu manevralar incelendiğinde şerit değişikliği olarak kaydedilseydiler bile agresiflik açısından düşük puanlı oldukları hesaplanmıştır. Dolayısıyla söz konusu şerit değişikliklerinin sağa-sola dönüş

manevraları olarak algılanmasını da doğru olarak kabul ettiğimizde LCR için doğruluk oranı %100'e, LCL için ise %88,88'e çıkmaktadır. Fakat LCL sayılarından iki tanesinin yanlış bir şekilde LCR olarak kaydedildiğini de belirtmek gerekir.

Tablo 5.1. Yalova-Sakarya manevra sayısı tespit doğruluğu

	Yanal Manevra Sayıları				
	TR	TL	LCR	LCL	TOPLAM
Manuel kaydedilen	22	20	12	18	72
Algoritmanın yakaladıkları	22	20	8	13	63
Algoritma toplam	53	56	31	30	170
Yönü yanlış	0	0	0	2	2
Dönüş algılanan şeritler	3	4			
Şerit algılanan dönüşler		0	0	0	0
Algılanmayanlar	0	0	0	2	2
Doğruluk (%)	100	100	66,66	72,22	87,50

Tespit edilen manevra sayıları açısından sonuçlar değerlendirildiğinde algoritmanın sağa-sola dönüş manevralarında oldukça başarılı olduğu, şerit değişikliklerinde büyük oranda başarılı olduğu görülmektedir. Yapılan önceki çalışmalarda da yanal manevralar algılanırken şerit değişikliklerinde sorunlar yaşandığı anlaşılmaktadır.

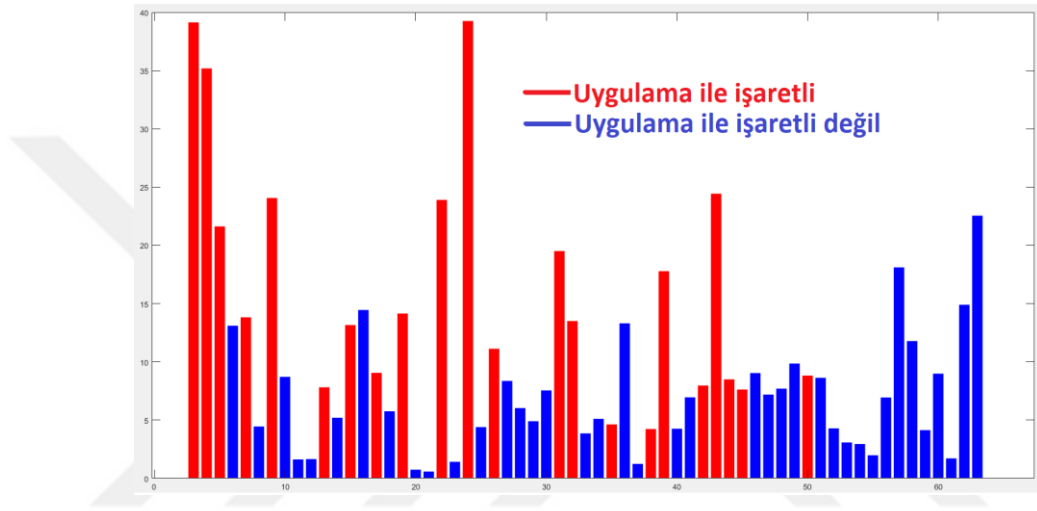


Şekil 5.4. Algoritmanın yakaladığı bütün dönüş manevralarının GAS değerleri

Yalova-Sakarya yolculuğunda algoritma tarafından yakalanan bütün sağa-sola dönüş manevraları ve sağa-sola şerit değişikliklerinin şiddet değerleri (puanlaması) hesaplanmıştır. Hesaplanan puanlara ait grafikler Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'de

verilmiştir. Dönüş manevralarındaki GAS değerleri yönlü oldukları için grafikte eksenin üst tarafındaki (pozitif) çubuklar sola dönüş büyüklüklerini, alt tarafındaki (negatif) çubuklar sağa dönüş büyüklüklerini göstermektedir.

Şerit değişikliklerindeki GSS değerleri eğime bağlı olduklarından yönlü değildir. Fakat algoritma şerit değişikliklerinde söz konusu kenarların maksimum ve minimum noktalarının önce veya sonra olmasına göre yönü tespit ederek kaydetmektedir.



Şekil 5.5. Algoritmanın yakaladığı bütün şerit değişikliklerinin GSS değerleri

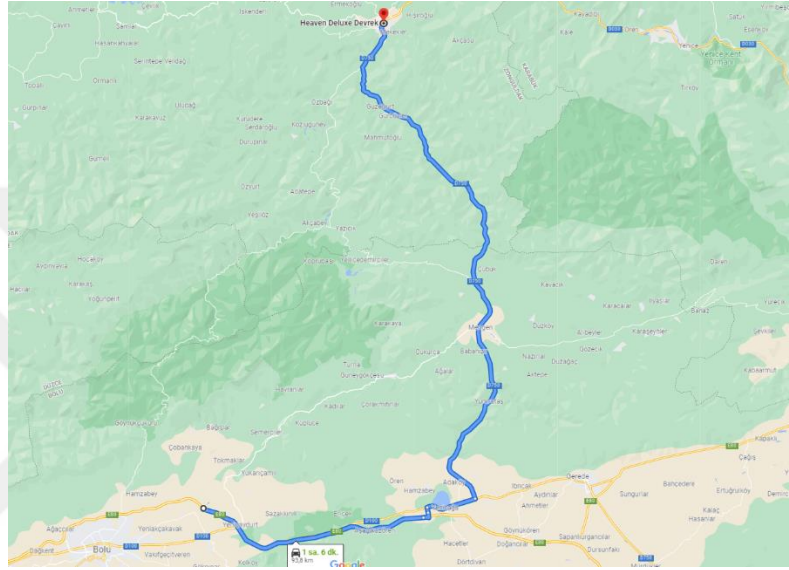
Tablo 5.2. Yalova-Sakarya manevra şiddet doğruluğu

Toplam Yanal Manevra Sayıları					
	TR	TL	LCR	LCL	TOPLAM
Düşük	41	37	19	23	120
Orta	11	16	11	3	41
Yüksek	1	3	1	4	9
Manuel kayıtlarda algoritmanın yakalama oranları					
Düşük	11/14	8/10	3/7	4/7	26/38
Orta	5/7	4/7	2/4	2/3	13/21
Yüksek	0/1	0/3	-	-	0/4
Puan birimi	GAS	GAS	GSS	GSS	-

Dönüş manevralarının ve şerit değişikliklerinin şiddetlerinin (puan) doğruluk değerlendirmesi yapılırken öncelikle şunu belirtmek gerekir. Olay bitiminde üç kademedeki şiddet işaretlemesi yapılırken araç hızı dikkate alınmadan sadece hissedilen

dönüş sertliğine göre karar verilmiştir. Bu durum bulunan sonuçlara yansımıştır. Algoritma manevranın agresiflik puanını belirlerken hızı da dikkate aldığı için Tablo 5.2.'de görüldüğü gibi manuel işaretlenen şiddet kategorisi ile bulunan puan seviyeleri arasında farklılıklar oluşmuştur.

5.3. Bolu-Devrek Yolculuğu



Şekil 5.6. Bolu-Devrek yolculuk rotası

Geliştirilen algoritma daha önce 1 saniyelik periyotlarla kaydedilen hız, jiroskop ve ivmeölçer verileri üzerinde denenmişti. Yapılan testler yarım saniyede bir yapılacak ölçümlerin hız ve sensör verileri açısından az da olsa daha iyi sonuç verebileceğini gösteriyordu. O nedenle takograf yazılımında yarım saniyede bir kayıt yapılacak şekilde değişiklikler yapıldı. Bu şekilde 4 Haziran 2021 tarihinde Bolu-Devrek arasında Şekil 5.6.'da gösterilen güzergahta güneşli havada, asfalt yolda yaklaşık 94 km mesafe ve 55 dakikalık sürede yapılan yolculuktaki veriler ve Android uygulama üzerinden manevralarla ilgili işaretlemeler takografa kaydedildi.

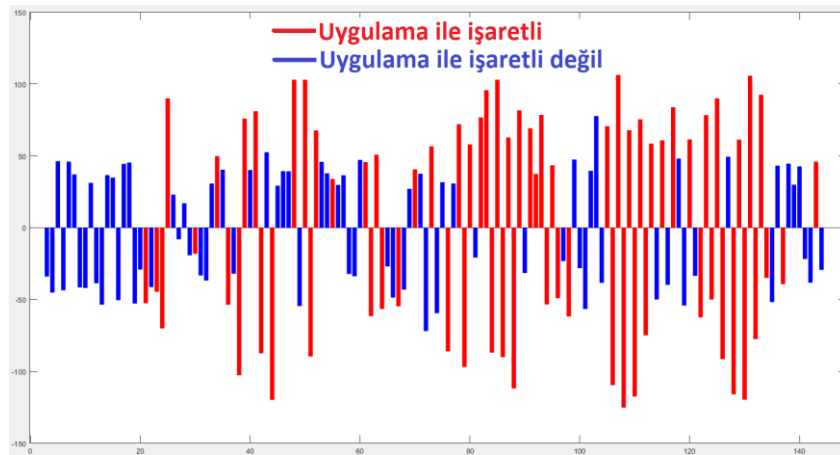
Algoritmanın dönüş manevraları için hesapladığı ve manevranın şiddetini belirleyen GAS değerleriyle, şerit değişikliklerinin şiddetini belirleyen GSS değerleri daha önce yapılan Yalova-Sakarya yolculuğunda araç hızından bağımsız bir işaretleme söz konusu olduğu için yeteri kadar anlamlandırılmamıştı. Yeni yapılan Bolu-Devrek

yolculuğunda manuel işaretlemeler yapılırken aracın hızı da dikkate alındı. Çünkü bir manevra sadece dönüş şiddeti açısından bakıldığında çok sert gelebilir ama araç hızını dikkate alarak kaza riskinin gerçek değerini yakalamak gerekliydi.

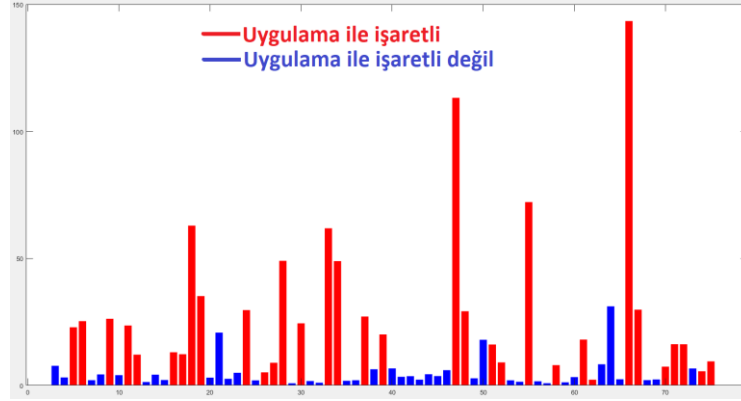
Tablo 5.3. Bolu-Devrek manevra sayısı tespit doğruluğu

	Yanal Manevra Sayıları				
	TR	TL	LCR	LCL	TOPLAM
Manuel kaydedilen	31	36	17	21	105
Algoritmanın yakaladıkları	31	36	16	17	100
Yönü yanlış	0	0	2	1	3
Algoritma toplam	70	72	32	41	215
Dönüş algılanan şeritler	2	0			2
Şerit algılanan dönüşler			0	0	0
Algılanmayanlar	0	0	1	2	3
Doğruluk (%)	100	100	94,11	80,95	95,23

Bu bilgiler ışığında algoritma yeni yolculuğa ait verilere uygulandığında oldukça başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Tablo 5.3.'teki doğruluk tablosunda gösterildiği gibi algoritma toplam kaydedilen 67 dönüş manevrasının tamamını doğru bir şekilde yakalamış, toplam 40 şerit değişikliğinden 2 tanesini sağa dönüş manevrası olarak, 3 tanesinin yönünü yanlış olarak kaydetmiş, 3 tanesini ide kaçırmıştır. Dolayısıyla 40 şerit değişikliğinden 32 tanesi tam doğru olarak kaydedilmiştir. Yönü yanlış ve manevra olarak kaydedilenlerin şiddetleri de manuel yapılan kayıtlarla uyumludur.



Şekil 5.7. Bolu-Devrek manevra GAS büyüklükleri



Şekil 5.8. Bolu-Devrek şerit değişikliği GSS büyüklükleri

Dönüş manevralarının ve şerit değişikliklerinin şiddetlerinin de yüksek doğrulukla algoritma tarafından yakalandığı görülmektedir. Kaçırılan 3 şerit değişikliği en düşük şiddettedir. Şekil 5.7.'deki GAS büyüklüklerine ve Şekil 5.8.'deki GSS büyüklüklerine bakıldığında kırmızı çizgilerin daha büyük olduğu görülecektir. Çünkü kırmızı büyüklükler yolculukta manuel olarak da işaretlenmiş, belirgin büyüklükteki dönüş manevraları ve şerit değişiklikleridir. Mavi büyüklükler ise algoritmanın fazladan yakaladığı büyüklüklerdir. Şekillerden fazladan yakalanan büyüklüklerin düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bu durum algoritmanın hassasiyetini göstermektedir. Ayrıca kırmızı ve mavi büyüklükler arasında Yalova-Sakarya yolculuğuna göre daha fazla fark olmasında manuel kayıt sırasında aracın hızının dikkate alınmasının da etkisi bulunmaktadır.

Tablo 5.4. Bolu-Devrek manevra şiddet doğruluğu

Toplam Yanal Manevra Sayıları					
	TR	TL	LCR	LCL	TOPLAM
Düşük	48	45	18	27	138
Orta	14	22	5	7	48
Yüksek	8	5	9	7	29
Manuel Kayıt Sayılarında Algoritmanın Yakalama Oranı					
Düşük	10/11	9/11	3/4	4/6	26/32
Orta	8/8	17/18	5/6	4/5	34/37
Yüksek	8/12	5/7	6/6	6/6	25/31
Puan birimi	GAS	GAS	GSS	GSS	-

Algoritmanın yolculukta yakaladığı dönüş manevraları ve şerit değişikliklerinin puanlarının doğruluk derecesi manuel olarak üç kademede kaydedilen şiddet derecelendirmeleriyle kıyaslanarak Tablo 5.4. oluşturulmuştur.

5.4. Devrek-Bolu Yolculuğu

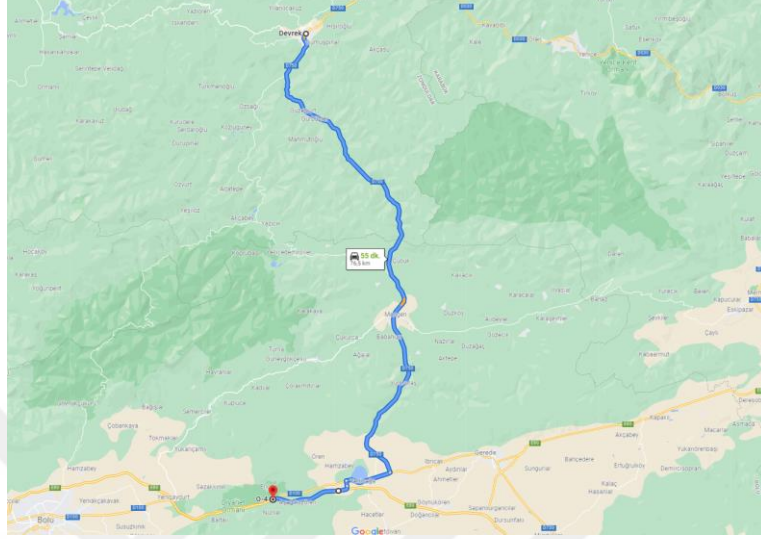
Yolculuk yanal manevraların tespit edilerek puanlanmasıyla ilgili Matlab'ta geliştirilen algoritmanın takografa uygulanmasından sonra yapılmıştır. Yolculuk sırasında Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi hem takograf ekranı hem de yolun sürücü tarafından görünüşü kamera ile kayıt altına alınmıştır. Takograf ekranında saat ve hız bilgisi sürekli olarak görünmektedir.



Şekil 5.9. Yolculukta takograf ekranı ve yolun kaydedildiği sistem

Yolculuk 28 Eylül 2021 tarihinde akşam üzeri güneşli havada, yerler kuru iken yaklaşık 76 km mesafede ve 47 dakikada tamamlanmıştır. Takograf üzerindeki kayıtlar da ekranda gösterilen saate göre yapıldığı için video ile sensör kayıtları ve takografin tespit ederek hafızasına kaydettiği yanal manevraların başlangıç ve bitiş zamanları uyumludur. Videodaki bir manevraya kayıtlardan ulaşmak mümkündür. Takograftaki algoritmanın herhangi bir manevrayı tespit etmesi için manevranın tamamlanması ve birkaç saniye geçmesi gerekmektedir. O nedenle videoda takograf ekranında türü ve şiddeti gösterilen herhangi bir manevra tamamlanmış manevradır. O sırada gerçekleşmekte olan dönüş veya şerit değişikliğine ait değildir. Yolculuğun

tamamı için video kaydı yapıldığından gerçekleşen manevralar için ayrıca manuel bir etiketleme yapılmamıştır.



Şekil 5.10. Devrek-Bolu güzergahı

Şekil 5.10.'da görüldüğü gibi yolculuk güzergahı virajlı olduğundan GAS değeri 30 ve üzerinde olan 89 dönüş manevrası kaydedilmiştir. Ayrıca GSS değeri 12 ve üstü olan toplam 19 adet şerit değişikliği manevrası kaydedilmiştir. Video kaydı incelenerek dönüş manevralarının neredeyse tamamının tespit edilerek puanlarıyla birlikte doğru bir şekilde kaydedildiği doğrulanmıştır. Özellikle virajlı yollardaki dönüşler sırasında bazen şerit değiştirildiği, fakat G_z ve A_x verilerinde algoritmanın fark edebileceği bir değişim söz konusu olmadığı için algılanmadığı gözlenmiştir. Virajlarda agresif sürüşün daha çok dönüş manevralarının puanlarıyla belirlenebileceği anlaşılmaktadır. Yine videodan bazı şerit değişikliklerinin puanları uyumlu dönüş manevrası olarak, birkaç tanesinin de düşük puanlı dönüş manevrası olarak algılandığı anlaşılmıştır. Virajlarda dönüş sırasında yapılan şerit değişikliklerini göz ardı edersek şerit veya dönüş olarak hiç kaydedilmemiş şerit değişikliği tespit edilmemiştir.

Tablo 5.5.'de yolculuktaki en yüksek ve en düşük puanlı $8+8=16$ dönüş manevrası ile $4+4=8$ şerit değişikliği manevrası başlangıç ve bitiş zamanlarıyla birlikte verilmiştir. Zamanlar takografin manevralarda kaydettiği yarım saniye indekslerine yolculuk başlangıç anı eklenerek bulunmuştur.

Tablo 5.5. Devrek-Bolu yolculuğu puanı en yüksek ve en düşük manevralar

Manevra İndeks	Manevra Türü	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Puan (GAS veya GSS)
1	Sağa dönüş	17:51:58,5	17:52:07,5	-35
2	Sola dönüş	17:52:22,5	17:52:37,5	40
3	Sağa dönüş	17:55:01	17:55:07	-89
4	Sağa dönüş	17:56:29	17:56:33	-33
5	Sola dönüş	17:58:00	17:58:14	36
6	Sağa dönüş	18:02:17	18:02:23	-80
7	Sola dönüş	18:03:14	18:03:22,5	71
8	Sola şerit değişikliği	18:04:18	18:04:20	17
9	Sola dönüş	18:04:41	18:04:50,5	32
10	Sağa dönüş	18:06:31	18:06:35,5	-80
11	Sola dönüş	18:08:44	18:09:02	69
12	Sağa dönüş	18:11:20,5	18:11:29	-37
13	Sağa şerit değişikliği	18:15:11	18:15:11,5	89
14	Sola şerit değişikliği	18:20:12,5	18:20:13,5	40
15	Sağa dönüş	18:22:46,5	18:22:54,5	-72
16	Sola dönüş	18:24:41,5	18:24:55,5	65
17	Sola dönüş	18:26:33	18:26:46	68
18	Sola dönüş	18:28:35,5	18:28:40	40
19	Sağa dönüş	18:28:40	18:28:45	-38
20	Sağa şerit değişikliği	18:38:57,5	18:38:59	21
21	Sağa şerit değişikliği	18:40:09,5	18:40:10	64
22	Sola şerit değişikliği	18:40:26	18:40:27	37
23	Sağa şerit değişikliği	18:40:27	18:40:28	20
24	Sola şerit değişikliği	18:41:38,5	18:41:40	20

Takograf sadece GAS değeri 30 ve üzerindeki dönüş manevraları ile 12 ve üzerindeki şerit değişikliği manevraları için uyarı verse de tespit ettiği bütün manevraları hafızasına kaydetmiştir. Yolculuk sonunda sensör verileriyle birlikte manevra kayıtları da takograftan indirilmiştir. İndirilen verilerle video kayıtlarının kıyaslanması sonucu oluşturulan doğruluk tablosu Tablo 5.6.'da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi video kaydı incelenerek bulunan bütün dönüş manevraları algılanmış ve puanları makul olarak kaydedilmiştir. Sola şerit değişikliklerinden 6 tanesinin sola dönüş olarak ve 2 tane sağa şerit değişikliklerinden birinin sağa diğerinin sola dönüş olarak kaydedildiği görülmektedir. Puan açısından baktığımızda dönüş olarak kaydedilen toplam 8 şerit

değişikliğinden 5 tanesinin puanlarının uygun olduğu görülmektedir. Bu şekilde toplam doğruluk %94,82'ye ulaşmaktadır.

Tablo 5.6. Devrek-Bolu yolculuğu doğruluk tablosu

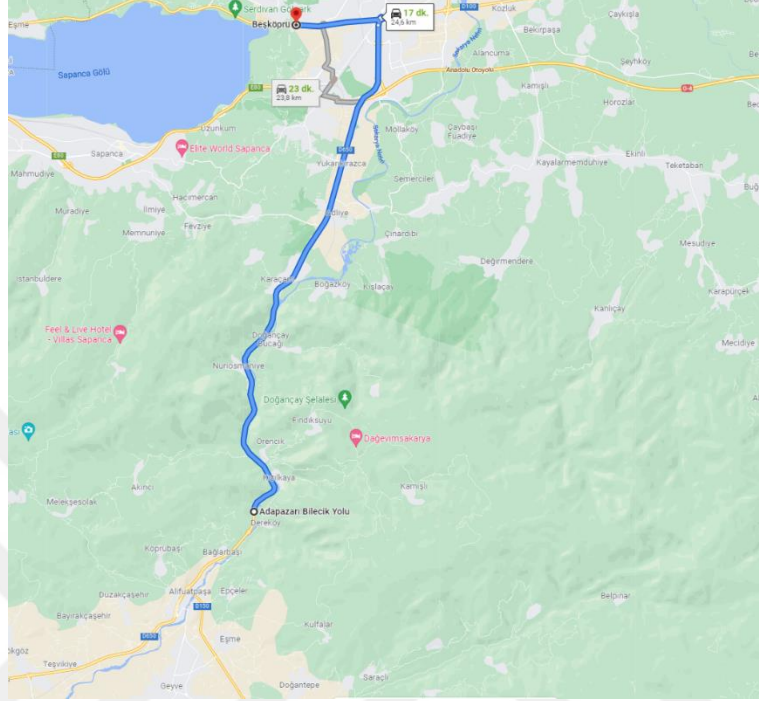
	Yanal Manevra Sayıları				
	TR	TL	LCR	LCL	TOTAL
Takografin toplam kayıtları	46	98	33	24	201
Video ile tespit edilen	44	45	12	14	116
Takografin algıladıkları	44	45	10	9	108
Fazladan yanlış algılanan	0	0	0	1	1
Dönüş olarak algılanan şeritler (Puanları doğru olanlar / Toplam)	1/1	4/7			8
Hiç algılanmayanlar	0	0	0	0	0
Doğruluk (Puanları doğru dönüş kaydedilen şeritler hariç) (%)	100	100	83,33	57,14	92,24
Doğruluk (Puanları doğru dönüş kaydedilen şeritler dahil) (%)	100	100	83,33	78,57	94,82

5.5. Geyve-Sakarya Yolculuğu

Geyve-Sakarya yolculuğundan önce takografa yanal manevra tespit ve puanlama algoritmasıyla birlikte doğrusal manevra tespit ve puanlanma algoritmasıyla ilgili fonksiyonlar da uygulanmıştır. Ayrıca yolculuk sonunda bütün yolculuğun dönüşler, şerit değişiklikleri ve doğrusal olmak üzere 3 kategoride puanlanmasıyla ilgili fonksiyonlar Geyve-Sakarya yolculuğundan önce takograf yazılımında gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 16 dakikalık yolculuk Devrek-Bolu yolculuğu gibi kamera ile kayıt altına alınmıştır. Güzergahı Şekil 5.11.'de gösterilen yolculuk 14 Ekim 2021 tarihinde bulutlu bir havada, yerler kuru iken yaklaşık 24,5 km mesafede ve 15,5 dakikada yapılmıştır. Yolculuk sırasında yapılan manevra bilgilerine video kaydından ulaşılmıştır.

Yolculukta özellikle fren ve hızlanma gibi doğrusal manevraların takografteki algoritma tarafından algılanması ve puanlanması test edilmiştir. Doğrusal manevralarla ilgili takograf ekranında verilen sesli ve görüntülü uyarılar manevra tamamlandıktan 5-10 saniye sonra verilmektedir. Yanal manevralara göre birkaç

saniye daha geç uyarı verilmesi algoritmada manevra sonu tespit edilirken hız verileri üzerinde ileri doğru kontrolün devam ettirilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.11. Geyve-Sakarya güzergahı

Tablo 5.7. Geyve-Sakarya yolculuğu doğrusal manevralar

Manevra İndeks	Manevra Türü	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Puan (LM)
1	Fren	15:20:7	15:20:15	249
2	Fren	15:22:27,5	15:22:37	112
3	Hızlanma	15:22:40,5	15:22:57,5	29
4	Fren	15:23:41	15:23:48,5	149
5	Fren	15:25:11,5	15:25:19	149
6	Fren	15:26:7	15:26:14,5	85
7	Fren	15:27:11,5	15:27:22,5	80
8	Hızlanma	15:27:42,5	15:27:57,5	108
9	Fren	15:28:41	15:28:51,5	52
10	Fren	15:29:33,5	15:29:39,5	107
11	Fren	15:31:27	15:31:37	231
12	Fren	15:33:12	15:33:21,5	139
13	Fren	15:33:59	15:34:15	125

Yolculukta GAS değeri 30 ve üzerinde olan 14 dönüş manevrası, GSS değeri 12 ve üzerinde olan 8 şerit değişikliği ve LM değeri 25 ve üzerinde olan 13 doğrusal manevra kaydedilmiştir. Tablo 5.7.'de yolculuktaki fren ve hızlanma manevraları başlangıç ve bitiş zamanlarıyla birlikte verilmiştir.

Yolculuk videosunun incelenmesiyle 15:26:46'da ve 15:28:00'da başlayan, hızı 10-20 km/h arasında düşüren fren manevralarının şiddetleri sınır değerlerin altında kaldığı için kaydedilmediği, diğer bütün doğrusal manevraların doğru şekilde kaydedildiği anlaşılmıştır. Yolculukta yapılan yanal manevraların da dahil olduğu doğruluk tablosu Tablo 5.8.'de verilmiştir.

15:19:09'da başlayan sağa şerit değişikliği sağa dönüş manevrasının, 15:23:57'de başlayan sola şerit değişikliği de sola dönüş manevrasının bir parçası olarak yapıldığından kaçırıldığı anlaşılmaktadır. 15:20:55'te başlayan sağa şerit değişikliği sağa dönüş olarak algılanmış, 15:29:04'te başlayan sola şerit değişikliği de hemen ardından gelen sağa dönüş nedeniyle kaçırılmıştır. 15:23:21'de başlayan şerit değişikliği düşük şiddette (GSS=11) kaydedildiği için uyarı verilmemiştir.

Tablo 5.8. Geyve-Sakarya yolculuğu doğruluk tablosu

	Yanal ve Doğrusal Manevra Sayıları						TOPLAM
	TR	TL	LCR	LCL	BRK	ACC	
Takografin toplam kayıtları	17	8	17	8	12	5	67
Video ile tespit edilen	8	6	7	5	11	2	39
Takografin algıladıkları	9	6	5	3	11	2	36
Dönüş olarak algılanan şeritler (Puanları doğru)	1	0					2
Hiç algılanmayanlar	0	0	1	2	0	0	3
Doğruluk	100	100	71,42	60	100	100	92,31

Geyve-Sakarya yolculuğu sonunda dönüşler, şerit değişiklikleri ve doğrusal manevralara ait agresif ortalama hesabında dikkate alınan manevra sayıları ve ortalama puanlar Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Geyve-Sakarya yolculuğu ortalama yolculuk puanları

Geyve-Sakarya yolculuğunda GAS değeri 50 ve üstünde olan 4 dönüş manevrası için ortalama GAS 59, GSS değeri 20 ve üstünde olan 5 şerit değişikliği için ortalama GSS 27 ve LM değeri 50 ve üstünde olan 12 doğrusal manevra için ortalama LM 132 olarak bulunmuştur. Yolculuğun doğrusal manevralar açısından agresif olduğu söylenebilir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında karayollarında insan ve yük taşımacılığı yapan ağır vasıta araçlarda kullanımı zorunlu olan takografların sürüşlerle ilgili hız ve süre denetiminin yanı sıra sürüşün nasıl yapıldığına dair agresiflik derecesi hakkında bilgi verilmesi sağlanarak sürücü kaynaklı kazaların, ihlallerin ve yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenmiştir. Sürücünün keyfiyetinde olan akıllı telefon yerine ağır vasıta araçlarda zorunlu olan takograf cihazlarının kullanılması çalışmaya pratik hayata uygulanabilirlik özelliği katmaktadır.

Önceki çalışmalardan farklı olarak manevra başlangıç ve bitiş noktalarının daha yüksek doğrulukla yakalanmasına yönelik yeni bir kenar algılama algoritması önerilmektedir. Önceki çalışmalardaki en önemli problemlerden biri şerit değişikliklerinin algılanmasındaki yetersizlikti. Geliştirilen yeni algoritma ile bulunan kenarların şerit değişikliği açısından birçok aşamada öncelikle incelenmesi sayesinde şerit değişiklikleri daha yüksek oranda algılanmaktadır. Şerit değişikliklerinin yanlışlıkla dönüş manevrası olarak kaydedilmesi mümkündür, fakat özellikle agresif olanlarının kaçırılma oranı düşüktür ve önerilen algoritma ile dönüş manevraları çok yüksek doğrulukla yakalanmıştır. Tez çalışması kapsamında sırasıyla Sakarya-Yalova, Bolu-Devrek, Devrek-Bolu ve Geyve-Sakarya olmak üzere 4 farklı yolculuk yapılmıştır. Sakarya-Yalova ve Devrek-Bolu yolculuklarında manevralar Android uygulama üzerinden etiketlenerek, Devrek-Bolu ve Geyve-Sakarya yolculuklarında ise video kayıtlarından tespit edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan yolculuklarda dönüş manevraları %100 doğrulukla yakalanmıştır. Şiddeti düşük olan şerit değişikliklerinin algılanmasında zorluklar bulunmaktadır. Yanal manevra algoritmasının geliştirilme süreci ikinci yolculuk olan Bolu-Devrek yolculuğundan önce tamamlanmıştır. O nedenle şerit değişikliklerinin ortalama doğruluğu Yalova-Sakarya yolculuğunda %69,44 iken geliştirme tamamlandıktan sonraki Bolu-Devrek

yolculuğunda %87,53'tür. Şerit değişiklikleri için 4 yolculuğun ortalama doğruluğu %75,91'dir. Önceki çalışmaların bir kısmında manevra tespiti ve puanlama sadece agresif manevralara yönelik yapılmıştır. Bu çalışmada yolculuktaki bütün manevralar dikkate alınmıştır. Yanal manevraların agresif olmayanları da algoritma tarafından yakalanabildiği için manevra agresiflik puan skalasının doğruluğu yüksektir. Örneğin manevra şiddetleriyle ilgili manuel etiketlemenin hız dikkate alınarak yapıldığı Bolu-Devrek yolculuğunda ortalama puanlama doğruluğu %85 olarak bulunmuştur. Manuel etiketleme yapılan yolculuklarda insan algısının yanılma payı da hesaba katılmalıdır. Manevra agresiflik derecesinin puanlamasında hızın formüle dahil edilmesi kaza riskinin daha gerçekçi bir şekilde tespit edilebilmesini sağlamaktadır.

Doğrusal manevraların tespitinde hız, puanlanmasında hız ve ivmeölçer verilerinin kullanılmasının doğruluğu artırdığı yapılan testlerde görülmüştür. Yapılan Geyve-Sakarya yolculuğunda üç aşamalı manevra tespit algoritması ile manevraların başlangıç-bitiş noktalarının ve türünün belirlenmesindeki doğruluğun %100'e ulaştığı görülmektedir. Ayrıca puan hesabında aralıktaki maksimum-minimum farklarının alınmasının ivmeölçer verilerinde titreşimden etkilenmeyi azalttığı ve doğruluğu artırdığı tespit edilmiştir.

Literatürde manevra sınıflandırma ve puanlamayla ilgili yapılan çalışmalarda desen eşleştirme, olasılık ve tahmine dayalı yöntemler ile çeşitli yapay zekâ teknikleri kullanılmıştır. Bu yöntemler genellikle yüksek işlem ve hafıza kapasitesine sahip donanım veya bilgisayarlar gerektirmektedir. Bu tez çalışmasında Matlab ortamında gerçek veriler üzerinde geliştirilen uzman sistemdeki algoritmaların kapasitesi düşük mikro denetleyiciye sahip olan bir takografa bile sorunsuz şekilde uygulanabildiği hem takograftan indirilen verilerle hem de son iki yolculuğa ait video kayıtlarıyla doğrulanmıştır. Takograf olay gerçekleştikten en fazla 10-15 saniye içinde manevrayı tespit edebilmektedir. Yolculuktaki manevra bilgilerinin analiz edilmesiyle takograf cihazına uygulanan uzman sistem geliştirilerek yapılan agresif ve tehlikeli manevralardan sonra sürücünün yorgun, uykusuz veya alkollü olduğuna dair karar verilebilir.

Bir yolculuk sonunda yanal ve doğrusal manevralarla ilgili agresif sürücü davranışlarının sayı ve puanının dönüşler, şerit değiştirmeler ve doğrusal olmak üzere 3 kategoride verilmesi yolculukta neler olduğunun anlaşılabilmesini sağlamaktadır. Sistemdeki algoritmaların özellikle şerit değişikliklerinin algılanması konusunda daha da geliştirilmesi mümkündür. Görüntü işleme ve benzeri tekniklerin dahil edilmesiyle şerit değişikliği manevraları doğrulanarak hataların azaltılması sağlanabilir.

Yapılan birçok yolculuktan sonra sürücü kartı sayesinde kimliği bilinen sürücülerin de puanlanması sağlanabilir. Puanı belli bir eşiği geçen sürücülerin cezai yaptırımlarla karşılaşması sağlanırsa daha dikkatli araç kullanmaları beklenebilir. Ayrıca ilave haberleşme donanımlarıyla tehlikeli olduğu tespit edilen sürüş ve sürücülerle ilgili uyarı mesajlarının trafik denetim merkezlerine aktarılmasıyla kazaların bir kısmının önlenmesi de mümkün olabilecektir.

Takograf yasal birçok mevzuatla belirli araçlarda kullanım zorunluluğu bulunan bir cihazdır. Çıktıları denetim yapan yetkilileri ilgilendirdiği için özelliklerinin nasıl olması gerektiği de detaylı bir şekilde teknik şartnamesinde belirtilmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmaların takograflara uygulanması aynı zamanda mevzuatlarda da değişiklikler yapılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla çalışmanın trafik ve takograflarla ilgili mevzuatlarda değişikliğe sebep olma potansiyeli bulunmaktadır. Çalışmadaki sürücü davranışlarıyla ilgili çıktıların başlangıç safhasında cezai müeyyide gerektirmeden bilgi amaçlı takograflarda bulunması sağlanabilir. Sonraki süreçte verilerin faydası ve doğruluğu konusunda yapılabilecek araştırmalardan ve geliştirmelerden sonra söz konusu özellikler takografin teknik şartnamesine eklenebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2019-33628.>, Erişim Tarihi: 19.5.2021.
- [2] https://www.legislation.gov.uk/eur/2016/799/pdfs/eur_20160799_2018-04-17_en.pdf., Erişim Tarihi: 19.5.2021.
- [3] Z. Ouyang, J. Niu, Y. Liu ve J. Rodrigues, «Multiwave: A Novel Vehicle Steering Pattern Detection Method based on Smartphones,» IEEE International Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia, 2016.
- [4] T. Pholprasit, W. Choochaiwattana ve C. Saiprasert, «A Comparison of Driving Behaviour Prediction Algorithm Using Multi-Sensory Data on a Smartphone,» IEEE/ACIS 16th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), Takamatsu, Japan, 2015.
- [5] D. A. Johnson ve M. M. Trivedi, «Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform,» 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, DC, USA, 2011.
- [6] J. Engelbrecht, M. J. (Thinus) Booysen, G.-J. van Rooyen ve F. Bruwer, «Performance Comparison of Dynamic Time Warping (DTW) and a Maximum Likelihood (ML) Classifier in Measuring Driver Behavior with Smartphones,» IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, Cape Town, South Africa, 2015.
- [7] S. Cloidin ve P. M. Kumar, «Adaptive mobility-based intelligent decision-making system for driver behaviour prediction with motion nano sensor in VANET,» *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, cilt 25, no. 3-4, 2018.
- [8] M. Haque, A. Desai ve M. El-Gindy, «Driver-vehicle interfacial dynamics: a robust cue for driver fatigue,» *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, cilt 18, no. 3, 2011.

- [9] B. Fernandes, V. Gomes, J. Ferreira ve A. Oliveira, «Mobile Application for Automatic Accident Detection and Multimodal Alert,» IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, UK, 2015.
- [10] H. Eren, S. Makinist, E. Akin ve A. Yilmaz, «Estimating Driving Behavior by a Smartphone,» Intelligent Vehicles Symposium, Alcalá de Henares, Spain, 2012.
- [11] Y. Wang, T. Zhao, F. Tahmasbi, J. Cheng, Y. Chen ve J. Yu, «Driver Identification Leveraging Single-turn Behaviors via Mobile Devices,» 29th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), Honolulu, HI, USA, 2020.
- [12] F. Li, H. Zhang, H. Che ve X. Qiu, «Dangerous Driving Behavior Detection Using Smartphone Sensors,» IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rio de Janeiro, Brazil, 2016.
- [13] J. Paefgen, F. Kehr, Y. Zhai ve F. Michahelles, «Driving Behavior Analysis with Smartphones: Insights from a Controlled Field Study,» Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, Ulm, Germany, 2012.
- [14] Y. A. Alqudah ve B. H. Sababha, «A Statistical Approach to Estimating Driving Events by a Smartphone,» International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, Las Vegas, NV, USA, 2016.
- [15] X. Liu, H. Mei, H. Lu, H. Kuang ve X. Ma, «A Vehicle Steering Recognition System Based on Low-Cost Smartphone Sensors,» *MPDI sensors*, cilt 17, no. 633, p. 17030633, 2017.
- [16] S. Daptardar, V. Lakshminarayanan, S. Reddy, S. Nair, S. Sahoo ve P. Sinha, «Hidden Markov Model based Driving Event Detection and Driver Profiling from Mobile Inertial Sensor Data,» IEEE SENSORS, Busan, Korea (South), 2015.
- [17] H. R. Eftekhari ve M. Ghatee, «Hybrid of discrete wavelet transform and adaptive neuro fuzzy inference system for overall driving behavior recognition,» *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, cilt 58, no. 1, pp. 782-796, 2018.

- [18] G. Castignani, T. Derrmann, R. Frank ve T. Engel, «Driver Behavior Profiling Using Smartphones: A Low-Cost Platform for Driver Monitoring,» *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, cilt 7, no. 1, pp. 91-102, 2015.
- [19] Y.-C. Tsai, W.-H. Lee ve C.-M. Chou, «A Safety Driving Assistance System by Integrating In-Vehicle Dynamics and Real-Time Traffic Information,» *IEEE 8th International Conference on Awareness Science and Technology*, Taichung, Taiwan, 2017.
- [20] Z. Liangli, Z. He, C. Lingjuan, Z. Anwen ve C. Wenhui, «Fractal Characteristics Analysis on Driving Behavior Time Series: Example with Speed Data as Vehicle Driving Towards an Intersection,» *The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety*, Wuhan, P. R. China, 2015.
- [21] A. Bhatt, V. Dave, Y. Panchamia ve P. P. Thakre, «Analyzing Behavioral Attributes of Drivers and Implementing Safe Driving Model,» *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, Vienna, Austria, 2017.
- [22] R. Sun, Q. Cheng, F. Xie, W. Zhang, T. Lin ve W. Y. Ochieng, «Combining Machine Learning and Dynamic Time Wrapping for Vehicle Driving Event Detection Using Smartphones,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, cilt 22, no. 1, pp. 194-207, 2019.
- [23] E. G. Mantouka, E. N. Barmounakis ve E. I. Vlahogianni, «Identification of driving safety profiles from smartphone data using machine learning techniques,» *Safety Science*, 2019.
- [24] K. B. Ahmed, B. Goel, P. Bharti, S. Chellappan ve M. Bouhorma, «Leveraging Smartphone Sensors to Detect Distracted Driving Activities,» *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, cilt 20, no. 9, pp. 3303-3312, 2019.
- [25] M. E. Mumcuoglu, G. Alcan, M. Unel, O. Cicek, M. Mutluergil, M. Yilmaz ve K. Koprubasi, «Driver Evaluation in Heavy Duty Vehicles Based on Acceleration and Braking Behaviors,» *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Singapore, 2020.
- [26] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tachograph.>, Erişim Tarihi: 25.11.2021.
- [27] <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2918.pdf.>, Erişim Tarihi: 25.11.2021.

- [28] <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=8182&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5.>, Erişim Tarihi: 25.11.2021.
- [29] https://eur-lex.europa.eu/summary/EN/legisum:320203_1., Erişim Tarihi: 25.11.2021.
- [30] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:01985R3821-20141101&from=EN.>, Erişim Tarihi: 25.11.2021.
- [31] G. Baldini, L. Sportiello, M. Chiaramello ve V. Mahieu, «Regulated applications for the road transportation infrastructure: The case study of the smart tachograph in the European Union,» *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, cilt 21, pp. 3-21, 2018.
- [32] F. ERTAN, «Türkiye'de sayısal takograf sistemi ve yeni nesil akıllı takograf sistemine geçiş süreci,» Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [33] https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/default/files/pdf/statistics/dacota/bfs20xx_hgvs.pdf., Erişim Tarihi: 25.11.2021.
- [34] A. Çavdar, M. Uçar ve İ. Kılıçaslan, «Trafik kazalarına sebep olan yüksek hız kusurlarının denetimi ve aktif güvenlik sistemler ile kontrolü,» *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 23, no. 1, 2008.
- [35] L. Rogavichene ve I. Garmonnikov, «Innovative Technologies for Assessment and Correction of the Driving Style,» *Transportation Research Procedia*, cilt 20, pp. 564-570, 2017.
- [36] D. Borio, E. Cano ve G. Baldini, «Motion Conflict Detection in the Smart Tachograph,» European Navigation Conference (ENC), Gothenburg, Sweden, 2018.
- [37] I. Arai, M. Kametani, N. Honda ve T. Akiyama, «DOCOR: Sensing Everything From Route Buses,» IEEE 6th World Forum on Internet of Things, New Orleans, LA, USA, 2020.
- [38] O. Apilo, J. Pinola, R. Ahola, J. Kemppainen ve J. Happonen, «Experimental evaluation of a traffic warning system based on accurate driver condition assessment and 5G connectivity,» IEEE 93rd Vehicular Technology Conference, Helsinki, Finland, 2021.

- [39] S. V. Ugolkov, «Basic Requirements for Metrological Characteristics of Tachographs,» IEEE, St. Petersburg, Russia, 2021.
- [40] L. Lamel, L. Rabiner, A. Rosenberg ve J. Wilpon, «An improved endpoint detector for isolated word recognition,» *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, cilt 29, no. 4, pp. 777-785, 1981.
- [41] M. S. N. Al-Din, «Calibration and Pre-Processing Techniques for A Smartphone-Based Driving Events Identification and Classification System,» IEEE Electron Device Kolkata Conference, Kolkata, India, 2018.
- [42] T. Chakravarty, A. Ghose, C. Bhaumik ve A. Chowdhury, «MobiDriveScore – A System for Mobile Sensor Based Driving Analysis,» Seventh International Conference on Sensing Technology, Wellington, New Zealand, 2013.
- [43] https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_time_warping., Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- [44] <https://riptutorial.com/algorithm/example/24981/introduction-to-dynamic-time-warping>., Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- [45] <https://vitalflux.com/hidden-markov-models-concepts-explained-with-examples/>., Erişim Tarihi: 26.11. 2021.
- [46] <https://bilgisayarkavramlari.com/2012/07/07/likelihood-maximum-likelihood-benzetim-ihhtimaliyat/>., Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- [47] <https://towardsdatascience.com/what-the-hell-is-perceptron-626217814f53>., Erişim Tarihi: 26.11.2021.
- [48] <https://www.umsi.edu/~joshik/msis480/chapt11.htm>., Erişim Tarihi: 3.1. 2022.
- [49] https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_expert_systems.htm., Erişim Tarihi: 3.1.2022.
- [50] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm303dlhc.pdf>., Erişim Tarihi: 19.5.2021.
- [51] <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/l3gd20.html>., Erişim Tarihi: 19.5. 2021.

- [52] <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>, Erişim Tarihi: 19.5.2021.
- [53] J. Ferreira J, E. Carvalho, B. V. Ferreira, C. de Souza, Y. Suhara, A. Pentland ve G. Pessin, «Driver behavior profiling: An investigation with different smartphone sensors and machine learning,» *PLOS ONE*, cilt 12, no. 4, 2017.
- [54] Y. Ma, Z. Zhang, S. Chen, Y. Yu ve K. Tang, «A Comparative Study of Aggressive Driving Behavior Recognition Algorithms Based on Vehicle Motion Data,» *IEEE Access*, cilt 7, pp. 8028-8038, 2018.
- [55] C. Altunkaya, A. Zengin, A. Çoban, «Design and implementation a novel algorithm to smart tachograph for detection and recognition of driving behavior,» *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 2022, DOI: 10.1504/IJHVS.2022.10044884.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cevat ALTUNKAYA

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Doktora	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2016
Yüksek Lisans	Hacettepe Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Müh. İngilizce Hazırlık	1998
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	1997
Lise	Zonguldak Fener Lisesi	1993

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Berrak Sistem Tasarım San. ve Tic. Ltd Şti. (SAÜ Teknokent)	AR-GE Müdürü
2013-2014	Alberen Elektronik İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. (İstanbul)	AR-GE Müdürü
2001-2013	Destaş Dijital Elektronik San. ve Tic. A.Ş. (İstanbul)	Yazılım Sorumlusu
2000-2001	Plastkart Akıllı Kart İletişim Sistemleri San. ve Tic. A.Ş. (Silivri-İstanbul)	Proje Mühendisi
1998-1999	Makim Makina Teknolojileri San. Tic. A.Ş. (Ankara)	Proje Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Altunkaya, C., Zengin, A. & Çoban, A., 2022. Design and implementation a novel algorithm to smart tachograph for detection and recognition of driving behavior. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, DOI: 10.1504/IJHVS.2022.10044884

HOBİLER

Doğa yürüyüşü, yeni kültürleri keşfetme, futbol

