

T.C
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENT DIŞI OTOYOLLARDAKİ HATALI DEVER TESPİTİNE
YÖNELİK GÖMÜLÜ SİSTEM UYGULAMASI

Ahseni Bilgin FİRİKÇİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Kutan KORUYAN

İZMİR - 2020

TEZ ONAY SAYFASI



YEMİN SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kent Dışı Otoyollardaki Hatalı Dever Tespitine Yönelik Gömülü Sistem Uygulaması” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

...../...../2020

Ahseni Bilgin FİRİKÇİ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kent Dışı Otoyollardaki Hatalı Dever Tespitine Yönelik Gömülü Sistem

Uygulaması

Ahseni Bilgin FİRİKÇİ

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı

Yönetim Bilişim Sistemleri Programı

Bu çalışmada araç üzerinde çalışabilen gömülü sistem uygulaması ile yol üzerine uygulanan enine eğim yani dever değerinin ölçümü yapılarak hatalı veya kaza potansiyeli bulunan yol güzergahları belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulama için çalışmanın yapılacağı araç üzerinde incelemeler yapılarak tez uygulamasına uygun olup olmadığı incelenmiş araç içi ve araç dışı faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Tez kapsamında uygulama içinde çalışan donanımların ise karşılaştırmaları yapılmış uygulama çalışması için maliyeti düşük performansı yüksek ivmeölçer ve jiroskop sensörleri belirlenmiştir. Belirlenen donanım araçlarının kalibrasyonları yapılarak sayısal veri alımlarında en düşük hata payına ulaşılması da amaçlanmıştır.

Uygulama çalışması İzmir çevre yollarından E-881, E-87 ve D-300 otoyollarında yapılmıştır. Tez kapsamında elde edilen veriler CBS kullanılarak görselleştirilerek, Türkiye Karayolları Kurumu tarafından belirlenen standartlar çerçevesinde ve küresel ölçüde belirlenen diğer ölçüm kriterlerine göre analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular detaylı olarak incelenip bir kısmı görsel olarak paylaşılmıştır.

Anahtar Kelime: Dever, Yalpa, İvmeölçer, Jiroskop, Gömülü Sistem

ABSTRACT

Master's Thesis

**Embedded System Application Intended for Detecting Faulty Superelevation on
out of City Highways
Ah seni Bilgin FİRİKÇİ**

Dokuz Eylül University

Graduate School Of Social Sciences

Department of Management Information Systems

Management Information Systems Program

In this study, with the embedded system application that can work on the vehicle, the transverse slope applied on the road, in other words, the superelevation value was measured and the places with the potential of an accident were determined. For the practice, examinations were made on the vehicle on which the study will be carried out and whether it is suitable for the thesis application or not, in-vehicle and non-vehicle factors were tried to be determined. Within the scope of the thesis, comparisons of the hardware working in the application were made and the accelerometer and gyroscope sensors with low cost and high performance were determined for the application study. It was also aimed to achieve the lowest margin of error in digital data acquisition by calibrating the determined hardware tools.

The application study was carried out on the E-881, E-87 and D-300 highways from İzmir ring roads. The data obtained within the scope of the thesis were visualized by using GIS and analyzed according to other globally determined measurement analysis criteria and in the framework of standards set by Turkey Highways Institution. Findings obtained were examined in detail and some of them were shared visually.

Keywords: Superelevation, Roll, Accelerometer, Gyroscope, Embedded System

KENT DIŞI OTOYOLLARDAKİ HATALI DEVERİN TESPİTİNE DAİR TAŞIT ÜZERİNDE ÇALIŞAN GÖMÜLÜ SİSTEM UYGULAMASI

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN SAYFASI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
EKLER LİSTESİ	xviii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM DEVER KAVRAMI

1.1 DEVER KAVRAMI	3
1.1.1 Dever Uygulaması	6
1.1.2 Ters Dever	9
1.2 DEVER ÜZERİNDEKİ TAŞITA ETKİ EDEN KUVVETLER	10
1.2.1 Dever Üzerindeki Taőtın Maruz Kaldığı Yalpa Açıı	11
1.2.2 Dever Üzerindeki Taőtın Savrulma Hızı	12
1.2.3 Dever Üzerindeği Taőtı Uygulanan Enine İvme	13
1.3 MERKEZCİL KUVVETİ	14
1.3.1 İvmeli Sistemde Hareket	15
1.3.2 Ağırlık Merkezi	16

1.4 TÜRKİYE KARAYOLLARININ STANDART DEVER DEĞERLERİ	19
1.5 DEVERİN EĞİMİN YÖNÜ VE DERECEİYLE İLİŞKİSİ	20
1.5.1 Eğim Doğrusunun Dever Üzerindeki Yön Kavramı	20
1.5.2 Dever Yüzdesinin Eğim Derecesine Dönüştürülmesi	23

İKİNCİ BÖLÜM

SENSÖRLER, KARŞILAŞTIRMALARI, DONANIM BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA ARACI

2.1 SENSÖRLER	25
2.2 İVMEÖLÇER SENSÖR KARŞILAŞTIRMALARI	26
2.2.1 Sensör Karşılaştırmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Değerler	27
2.2.2 MPU 6050 İvmeölçer Özellikleri	28
2.2.3 MPU 9250 İvmeölçer Özellikleri	29
2.2.4 FXOS8700 İvmeölçer Özellikleri	30
2.2.5 BNO055 İvmeölçer Özellikleri	31
2.2.6 ADXL335 İvmeölçer Özellikleri	32
2.2.7 LSM303DLHC İvmeölçer Özellikleri	33
2.2.8 MMA7361 İvmeölçer Özellikleri	34
2.2.9 MMA8451 İvmeölçer Özellikleri	35
2.2.10 MPU 9255 İvmeölçer Özellikleri	36
2.2.11 İvmeölçer Sensör Karşılaştırmaları Sonucu	37
2.3 JİROSKOP KARŞILAŞTIRMALARI	38
2.3.1 Sensör Karşılaştırmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Değerler	39
2.3.2 L3GD20 Jiroskop Özellikleri	40
2.3.3 LSM9DS0 Jiroskop Özellikleri	41
2.3.4 LSM9DS1 Jiroskop Özellikleri	42
2.3.5 MPU 9250 Jiroskop Özellikleri	43
2.3.6 BMI055 Jiroskop Özellikleri	44
2.3.7 FXAS21002C Jiroskop Özellikleri	45
2.3.8 Jiroskop Sensör Karşılaştırmaları Sonucu	46

2.4 TEZ KAPSAMINDA KULLANILAN DONANIM BİLEŞENLERİ	47
2.4.1 Raspberry Pi 3 B+ ve Monitor	47
2.4.2 NXP İvme ve Jiroskop Sensörü (FXOS8700 + FXAS21002)	49
2.4.3 Neo6mv2 GPS + Anten	50
2.4.4 Araç Çakmaklık Priz Konventörü	50
2.4.5 Diğer Ek Donanımlar	51
2.5 ÇALIŞMA ARACININ SEÇİMİNDE BELİRLenen KRİTERLER	52
2.5.1 Çalışma Aracının Bilgileri	53
2.5.2 Araç İçi Sensör Noktaları	55

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

EĞİM SENSÖRÜ KALİBRASYON TESTİ, HATA PAYLARININ ÖLÇÜMÜ VE YOL VERİSİ ALIMINDA KARŞILAŞILAN YAN ETKİLER

3.1 EĞİM SENSÖRÜ KALİBRASYON TESTİ	58
3.1.1 Kalibrasyon İçin Kullanılan Metal Yüzey Değerleri	58
3.1.2 Metal Yüzeyde Sensörün Test Edilmesi ve Sonucu	62
3.2 HATA PAYLARININ ÖLÇÜMÜ	65
3.2.1 Eğim Sensörü İvme Değerlerinin X,Y,Z Eksenindeki Ölçüm Hata Payı	65
3.2.2 Jiroskop Sensörünün Yanal Dönüş Eksenindeki (Z) Ölçüm Hata Payı	67
3.2.3 Metal Düzlemin Uzunluk Değerlerinin Olası Hata Payı	68
3.2.4 GPS Sensörünün Araç Üzerinde Konumlama Değerinin Hata Payı	70
3.3 YOL VERİSİ ALIMINDA KARŞILAŞILAN YAN ETKİLER	72
3.3.1 Araç Üzerinde Karşılaşılan Yan Etkiler	72
3.3.1.1 Araç Lastiği Seçimi	73
3.3.1.2 Araç Lastik Basıncının Yol Tutuşuna Etkisi	73
3.3.1.3 Araç Süspansiyonu Yaylanmış ve Yaylanmamış Kütle Kavramı	75
3.3.2 Araç Dışında Karşılaşılan Yan Etkiler	77
3.3.2.1 Yol Şeridi Üzerinde Karşılaşılan Sorunlar	77
3.3.2.2 Araç Hız Problemi	78
3.3.2.3 Rüzgarın Araç Üzerindeki Etkisi	78

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
YAZILIM BİLEŞENLERİ VE ARAÇ ÜZERİNDEKİ DEVER HATA TESPİT
UYGULAMASI

4.1 YAZILIM BİLEŞENLERİ	80
4.1.1 Yazılım Dili ve Tümüleşik Geliştirme Ortamı (IDE)	81
4.1.2 Dever Hata Tespitinde Kullanılan Jiroskop ve İvme Eksenleri	82
4.1.3 Jiroskop Sensörünün Dever Ölçümündeki Yeri	83
4.1.4 İvme Sensörünün Dever Ölçümündeki Yeri	87
4.1.4.1 İvme Verilerinin Eğim Verilerine Dönüştürülmesi	92
4.1.5 GPS Sensörünün Dever Ölçümündeki Yeri	95
4.1.6 Yazılım Verilerinin Terminal Ekranında Görüntülenmesi	98
4.1.7 Yazılım Verilerinin Kayıt Altına Alınması	98
4.1.8 Yazılım Verisinin Süreç Boyunca Geçtiği Aşamalar Özeti	99
4.2 UYGULAMA KAPSAMINDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN YERİ	100
4.3 UYGULAMA VERİ ALIM HIZININ ARAÇ HIZIYLA İLİŞKİSİ	101
4.3.1 Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi	103
4.3.2 Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızıyla Koordinasyonu ve Sonucu	104
4.4 UYGULAMA BÖLGE SAHASI	105
4.4.1 Uygulama Sahası İzmir Bölgesinin Standart Dever Değerleri	106
4.4.2 Uygulama Bölge Sahasından Elde Edilen Veri Sayıları	106
4.4.3 Uygulama Bölge Sahası Verilerinin CBS Üzerinde Gösterimi (QGIS)	107
4.5 UYGULAMA VERİLERİNİN ÖLÇÜM KRİTERİNİN BELİRLENMESİ	108
4.5.1 Tez Aracı İle Doğrudan Dever Ölçümünün Yapılması	108
4.5.2 Tez Aracı İle Yalpa Açısına Göre Dever Ölçümünün Yapılması	109
4.5.2.1 Örnek Bir Noktada Yalpa Açısının Ölçümü	110
4.6 UYGULAMA VE UYGULAMA VERİ ANALİZİNİN CBS ÜZERİNDEKİ UYDU VE GOOGLE MAPS ALTLIĞINDAKİ GÖRÜNÜMÜ	117
4.6.1 Hatalı Dever Noktalarının Tespit Edilmesi	118
4.6.2 Hatalı Dever Noktalarının Yalpa Açısına Göre Tespit Edilmesi	121

SONUÇ

128

KAYNAKÇA

138

EKLER



KISALTMALAR

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği)
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KSK	Karayolları Standartlar Kurulu
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IDE	Integrated Development Environment (Tümleşik Geliştirme Ortamı)
CSV	Comma-separated values (Virgülle Ayrılmış Değerler)
QGIS	Quantum Geographic Information System (Kuantum Coğrafi Bilgi Sistemi)
Km/s	Kilometre/Saat
M/s	Metre/Saat
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DPS	Saniye Başına Derece (Dinamik Aralık)
LSB	En Önemsiz Veri Boyutu
PCB	Baskılı Devre Kartı
PSI	İnçkare Başına Libre
kPa	Kilopascal

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: 2018 Yılı Yolun Geometrik Özelliğine Göre Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kaza Bilgileri	s. 3
Tablo 2: 2018 Yılı Oluş Türlerine Göre Trafik Kaza Bilgileri	s. 4
Tablo 3: KSK Kent Dışı Yolların Geometrik Ölçüleri	s. 19
Tablo 4: İvmeölçer Sensörleri	s. 27
Tablo 5: MPU 6050 Teknik Özellikleri	s. 28
Tablo 6: MPU 9250 Teknik Özellikleri	s. 29
Tablo 7: FXOS8700 Teknik Özellikleri	s. 30
Tablo 8: BNO055 Teknik Özellikleri	s. 31
Tablo 9: ADXL335 Teknik Özellikleri	s. 32
Tablo 10: LSM303DLHC Teknik Özellikleri	s. 33
Tablo 11: MMA7361 Teknik Özellikleri	s. 34
Tablo 12: MMA8451 Teknik Özellikleri	s. 35
Tablo 13: MPU9255 Teknik Özellikleri	s. 36
Tablo 14: İvmeölçer Karşılaştırma Sonuçları	s. 37
Tablo 15: Jiroskop Sensörleri	s. 38
Tablo 16: Jiroskop Sensörlerinin DSP Değerleri	s. 39
Tablo 17: L3GD20 Teknik Özellikleri	s. 40
Tablo 18: LSM9DS0 Teknik Özellikleri	s. 41
Tablo 19: LSM9DS1 Teknik Özellikleri	s. 42
Tablo 20: MPU 9250 Teknik Özellikleri	s. 43
Tablo 21: BMI055 Teknik Özellikleri	s. 44
Tablo 22: FXAS21002C Teknik Özellikleri	s. 45
Tablo 23: Jiroskop Karşılaştırma Sonuçları	s. 46
Tablo 24: Tez Aracının Özellikleri	s. 54
Tablo 25: Mitutoyo 150mm Kumpas Özellikleri	s. 69
Tablo 26: Neo6mv2 GPS'in Veri Sayfasında Bulunan Hata Pay Oranları	s. 70
Tablo 27: Araç hızının Km/s' den m/s' e çevrimiyle hesaplanan veri alım hızlarının Değerleri	s. 104
Tablo 28: Uygulama Bölge Sahasından Alınan Veri Sayıları	s. 106

Tablo 29: Doğrudan Sorgulanan Hatalı Dever Noktaları (Şekil 88, Şekil 89, Şekil 90, Şekil 91)	s. 121
Tablo 30: Yalpa Açısına Göre Sorgulanan Hatalı Yüksek Dever Noktaları (Şekil 92, Şekil 93, Şekil 94, Şekil 95)	s. 124
Tablo 31: Yalpa Açısına Göre Sorgulanan Hatalı Eksik Dever Noktaları (Şekil 96, Şekil 97, Şekil 98, Şekil 99)	s. 127
Tablo 32: Sorgulama Sonucunda Elde Edilen Hatalı Dever Nokta Sayısı	s. 128
Tablo 33: Hatalı Dever Nokta Sayıları ve Elde Edilen Tüm Veri Sayıları	s. 128



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Ankara İli Yol Geometrisine Göre Kaza Dağılımı	s. 5
Şekil 2: Yol Üzerinde Dever Örneği (Balıkesir, Erdek-Turanlar Yolu)	s. 6
Şekil 3: Yol Üzerinde Dever Örneği 2 (Balıkesir, Erdek-Turanlar Yolu)	s. 7
Şekil 4: Sağ Virajda Dever ve Ters Deverin Etkisi	s. 9
Şekil 5: Kurba (viraj) Üzerindeki Taşıta Etki Eden Kuvvetler	s. 10
Şekil 6: Viraj Üzerinde Taşıt Gövdesinin Yapmış Olduğu Yalpa Açısı	s. 11
Şekil 7: Yatay Virajda Enine İvmeye Neden Olan Kuvvet	s. 13
Şekil 8: Merkezci Kuvvet	s. 14
Şekil 9: Virajdaki Ağırlık Merkezi Transferinin Araç Üzerindeki Gösterimi	s. 17
Şekil 10: Dever Hatası Bulunmayan Yolda Virajın Araca Etkisi	s. 17
Şekil 11: Dever Hatası Bulunan Yolda Virajın Araca Etkisi	s. 18
Şekil 12: Sola Yatık Eğimin Koordinat Sisteminde Gösterimi	s. 20
Şekil 13: Sağa Yatık Eğimin Koordinat Sistemi Üzerinde Gösterimi	s. 21
Şekil 14: Sağ Virajda Dever Üzerindeki Aracın Eğim Yönü	s. 22
Şekil 15: Sol Virajda Dever Üzerindeki Aracın Eğim Yönü	s. 22
Şekil 16: Eğimin Pozitif ve Negatif Yönlerine Bir Örnek	s. 23
Şekil 17: Yüzdenin Derecesel Değerleri	s. 24
Şekil 18: 2020 Yılına Ait Türkiye Piyasasında Alınabilecek Bazı İvme ve Jirokop Sensörleri	s. 26
Şekil 19: Raspberry Pi 3B+	s. 47
Şekil 20: Raspberry Pi 3B+ Donanım Haritası ve Pin Bağlantıları	s. 48
Şekil 21: İvme ve Jirokop sensörü (FXOS8700 + FXAS21002)	s. 49
Şekil 22: Neo6mv2 GPS + Anten	s. 50
Şekil 23: Black & Decker 100 W Güç Dönüştürücü	s. 50
Şekil 24: Siyah Mini Devre Kartı	s. 51
Şekil 25: Çalışma Aracı	s. 53
Şekil 26: Çalışma Aracının Uzunluk Ölçüleri	s. 54
Şekil 27: Çalışma Aracının Orta Noktaları	s. 55
Şekil 28: Tez Aracının Araç İçinde Orta Noktası	s. 56
Şekil 29: Araç İçi Sensör Noktası Taslakla Beraber İç Görünüm	s. 56

Şekil 30: Metal Yüzey	s. 59
Şekil 31: Talaşlı İmalat Öncesi Metal Yüzey	s. 60
Şekil 32: Talaşlı İmalat Sonrası Metal Yüzey	s. 60
Şekil 33: Ölçüm Alanındaki Zeminin Eğim Değeri	s. 62
Şekil 34: Ölçüm Alanındaki Metal Yüzeyin Eğim Değeri	s. 63
Şekil 35: 2. Ölçüm Alanındaki Zeminin Eğim Değeri	s. 63
Şekil 36: 2. Ölçüm Alanındaki Metal Yüzeyin Eğim Değeri	s. 64
Şekil 37: Eğim Sensöründeki İvmenin X,Y,Z Eksen Değerleri	s. 66
Şekil 38: Jiroskop Veri Alımında Konulan IF Koşulları	s. 68
Şekil 39: Metal Yüzeyi Ölçen Kumpas Aleti	s. 68
Şekil 40: Araca Takılı Driveways Model Lastik	s. 73
Şekil 41: Tez Aracının Olması Lastik Hafa Basınç Değerleri	s. 74
Şekil 42: Virajda Yaylanmış Kuvvetin Araç Gövdesine Yaptığı Etki	s. 76
Şekil 43: Çalışma Aracının Süspansiyon Yayları	s. 76
Şekil 44: Tez Aracına Uygulanan Aerodinamik Kuvvetin Merkez Noktaları	s. 78
Şekil 45: X Eksenine Uygulanan Aerodinamik Kuvvetin Etkisi (solda), Etkisiz Durumu (sağda)	s. 79
Şekil 46: Uygulama Kapsamındaki Yazılım Bileşenleri	s. 80
Şekil 47: Geany Tümlşik Çalıştırma Ortamı	s. 81
Şekil 48: Jiroskop Sensörünün Virajda Ölçtüğü Düzlem	s. 82
Şekil 49: İvme Sensörünün Virajda Ölçtüğü Düzlem	s. 83
Şekil 50: Viraj Yönüne Bağlı Jiroskop Değerleri	s. 83
Şekil 51: Örnek Bir Jiroskop Veri Çıktısı	s. 84
Şekil 52: Jiroskop Verisinin Direksiyon Hareketine Göre Değişimi (Düz)	s. 85
Şekil 53: Jiroskop Verisinin Direksiyon Hareketine Göre Değişimi (Sağ)	s. 85
Şekil 54: Jiroskop Verisinin Direksiyon Hareketine Göre Değişimi (sol)	s. 86
Şekil 55: Yol Üzerinde Jiroskop Değerinin Örneği	s. 86
Şekil 56: Taşıt Düz Seyir Hali $X > 0$	s. 87
Şekil 57: Taşıt Düz Seyir Hali $X < 0$	s. 88
Şekil 58: Taşıt Sağ Seyir Hali $X > 0$	s. 88
Şekil 59: Taşıt Sağ Seyir Hali $X < 0$	s. 89
Şekil 60: Taşıt Sol Seyir Hali $X > 0$	s. 89

Şekil 61: Taşıt Sol Seyir Hali $X < 0$	s. 90
Şekil 62: Örnek Bir İvme Veri Çıktısı	s. 91
Şekil 63: Eğim Derecesi Belli Olan Bir Düzlemde İvme Değerleri	s. 92
Şekil 64: Kutupsal ve Kartezyen Koordinatlar Arasındaki İlişki	s. 93
Şekil 65: Kartezyen Koordinat Sisteminde Atan2 ile Açık Çevrimi	s. 94
Şekil 66: GPS Verisinin Çıktısı	s. 95
Şekil 67: GPS Verisinin Harita Üzerindeki Gösterimi	s. 95
Şekil 68: Eş Zamanlı Araç Kadranı ve GPS'in km/s Bilgisi	s. 96
Şekil 69: Tüm verilerin Terminal Çıktısı	s. 97
Şekil 70: Örnek Bir Koordinatın Uygulama Veri Dizilimi	s. 98
Şekil 71: Uygulama Verisinin Süreç Boyunca Geçtiği Aşamalar	s. 99
Şekil 72: Uydu ve Google Maps Altlığı Otoyol Haritası	s. 100
Şekil 73: CSV Dosyasından QGIS'e Veri Aktarımı	s. 101
Şekil 74: Veri Alım Hızıyla Araç Hızının İlişkilendirme Testi	s. 102
Şekil 75: Uygulama Bölge Sahası	s. 105
Şekil 76: Uydu Haritası Üzerinde Buca-Bornova Uygulama Verileri	s. 107
Şekil 77: Uydu Haritası Üzerinde Buca-Üçkuyular Uygulama Verileri	s. 107
Şekil 78: Belirlenen Örnek Noktası	s. 110
Şekil 79: Belirlenen Örnek Noktasının Gidiş (Kırmızı), Dönüş (Mavi) Yönü	s. 110
Şekil 80: Örnek Noktasından Alınan Verilerin Uydu Haritası Üzerindeki Görünümü (Kırmızı Noktalar Gidiş & Mavi Noktalar Dönüşü Temsil Etmektedir)	s. 111
Şekil 81: Sorgulama Sonrası Uydu Haritası Üzerindeki Sorgu Noktaları	s. 112
Şekil 82: Gidiş Yönünde Sorgulaması Yapılan Veriler	s. 113
Şekil 83: Dönüş Yönünde Sorgulaması Yapılan Veriler	s. 114
Şekil 84: En Yüksek Değer Noktalarının Uydu Haritası Üzerinde Gösterimi	s. 115
Şekil 85: Belirlenen Örnek Noktasının (Şekil 78) Eğim Yönü	s. 115
Şekil 86: Örneklem Yol Üzerindeki Taşıtın Yolun Eğimine Göre Gösterimi	s. 116
Şekil 87: Araç İçinde Çalışan Uygulama Sistemi	s. 118
Şekil 88: "X Eğim" > 4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz' CBS Görünümü	s. 119
Şekil 89: "X Eğim" > 4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz' CBS Görünümü	s. 119
Şekil 90: "X Eğim" < -4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz' CBS Görünümü	s. 120
Şekil 91: "X Eğim" < -4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz' CBS Görünümü	s. 120

Şekil 92: "X Egim" > 0 AND "Donus Yonu" = 'sol' CBS Görünümü	s. 122
Şekil 93: "X Egim" > 0 AND "Donus Yonu" = 'sol' CBS Görünümü	s. 122
Şekil 94: "X Egim" < 0 AND "Donus Yonu" = 'sag' CBS Görünümü	s. 123
Şekil 95: "X Egim" < 0 AND "Donus Yonu" = 'sag' CBS Görünümü	s. 123
Şekil 96: "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol' CBS Görünümü	s. 125
Şekil 97: "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol' CBS Görünümü	s. 125
Şekil 98: "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag' CBS Görünümü	s. 126
Şekil 99: "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag' CBS Görünümü	s. 126
Şekil 100: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi	s. 130
Şekil 101: Uygulamaya Göre Şekil 100'deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü	s. 130
Şekil 102: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 2	s. 131
Şekil 103: Uygulamaya Göre Şekil 102'deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü 2	s. 131
Şekil 104: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 3	s. 132
Şekil 105: Uygulamaya Göre Şekil 104'deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü 3	s. 132
Şekil 106: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 4	s. 133
Şekil 107: Uygulamaya Göre Şekil 106'deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü 4	s. 133
Şekil 108: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 5	s. 134

EKLER LİSTESİ

Ek 1: KGM Bilgilendirme Dilekçesi	ek s. 1
Ek 2: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 2)	ek s. 2
Ek 3: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 10)	ek s. 2
Ek 4: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 50)	ek s. 2
Ek 5: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 100)	ek s. 3
Ek 6: Uygulama GPS Kodlarının Bir Kısım	ek s. 3
Ek 7: Uygulama Jiroskop Kodlarının Bir Kısım	ek s. 4
Ek 8: Uygulama İvmeölçer Kodlarının Bir Kısım	ek s. 4
Ek 9: Uygulama İvmeölçer Eğim Kodlarının Bir Kısım	ek s. 5
Ek 10: Uygulama CSV Kayıt Kodlarının Bir Kısım	ek s. 5

GİRİŞ

Ulaşım yeryüzündeki tüm insanların temel hak ve hürriyetlerini sağlaması için gereken en önemli faktörlerden birisidir. Güvenlik ise günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu bakımdan ulaşımın insan temelinde önce güvenli olması gerekmektedir. Hemen hemen her gün hayatımızı idame ettirmek, ihtiyaçlarımızı karşılamak veya sevdiklerimize ulaşmak için bir noktadan diğer bir noktaya yol alırız.

Çıkılan bu yol üzerindeki trafikte diğer sürücülerle senkronize hareket etmemizi sağlayan trafik kuralları bulunmaktadır. Fakat aynı zamanda trafiğin seyrettiği yol üzerinde standartlar dahilinde bulunması gereken bir takım mühendislik hesaplamaları da bulunmaktadır. Trafiğin akışını bozmadan sürücülerin güvenle bir noktadan diğer bir noktaya ulaşmasını sağlayan bu mühendislik hesaplamalarından birisi de yol üzerine verilen enine eğim yani dever uygulamasıdır. Genellikle viraj boyunca uygulanan dever trafikte yol alan araçların seyir güvenliğini korumaya yönelik uygulanmaktadır. Fakat bu uygulama sırasında yanlış hesaplanan veya zaman faktörüne bağlı olarak değişiklik gösteren dever noktaları trafik kazalarına sebebiyet verebilmektedir. Bu noktalar günümüzde ne yazık ki trafik kazalarının sonrasında yapılan ölçüm değerlerine göre belirlenmektedir.

Günümüz teknolojisinde, mühendislik hesaplamalarıyla yol üzerine uygulanan dever değerlerinin, bireysel olarak gömülü sistemlerle birlikte çalışan sensörlerle hesaplanması muhtemeldir. Bu bakımdan trafik kazaları olmadan önce gömülü sistem üzerinde çalışan yazılım uygulamasıyla dever hata noktalarının veya potansiyel kaza noktalarının belirlenerek ilgili kurum veya kişilere raporlanması yapılabilir.

Bu bağlamda uygulama çalışmasının amacı yola uygulanan dever değerinin araçta oluşturduğu etkiye bakılarak yolun standart ölçülerini karşılayıp karşılamadığını sayısal verilerle ortaya çıkarmaya çalışmak ve analiz edilen verilerdeki bulgulara göre sonuç elde ederek, ilgili kurum veya kişilere karar destek sistemi oluşturmaktır. Bu bağlamda süreç boyunca ilerleyen uygulama aşaması gerekli koşulların sağlandığı durumlarda yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

DEVER KAVRAMI

1.1 DEVER KAVRAMI

Otoyollardaki virajlarda karayolu taşıtlarına gözle görülemeyen birtakım kuvvetler etkir. Bu kuvvetler virajı dönmekte olan araca, viraj yönünün tersi yönde bir etki uygular (Charbeneau ve diğerleri, 2008: 1). Bu etkinin ortadan kaldırılarak aracın güvenle virajı dönmesi için yol üzerinde, viraj yönüne doğru enine bir eğim verilir (Yayla, 2004: 137). Bu enine verilen eğime dever denilmektedir. Devere verilen bir diğer isim ise viraj yükseltmesi (banking) olarak geçmektedir. (Denaro, U.S Patent No: US 9,909,881 B2, 2018). Dever uygulaması otoyollarda kullanıldığı gibi demiryollarında da kullanılan bir uygulamadır.

Yol üzerinde uygulanan bu dever değerleri ülkelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde kent dışı otoyollarda bu değer maksimum %12 (AASHTO, 2003: 2), Almanya'da %7 (Lamm,1984: 18). Türkiye'de %8, don ve buzlanma görülen yerlerde ise %6 (KGM, 2016: 29) olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde en önemli faktörlerden birisi de iklim koşullarıdır. Buzlanma ve kar yağışının çokça olduğu bölgelerde dever oranları daha düşük olmaktadır. Bu durumların yaşanmadığı bölgelerde ise dever oranı daha yüksek tutulabilmektedir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de sık sık trafik kazaları yaşanmaktadır. Bu kazaların başlıca sebebi genellikle araç sürücüleri olsa da yapılan önceki çalışmalarda yol yapımı sırasında yola uygulanan mühendislik hatalarının da bu kazalara sebep olduğu bilinmektedir (Ünal & Çodur, 2017: 3-5). Bu kazalardaki mühendislik hataları dever, yatay yarıçap, yatay hizalama, görünürlük faktörlerine bağlı olarak yapılan yanlış hesaplar yüzünden olmaktadır (Patil ve diğerleri, 2019: 430).

KGM hemen hemen her yıl ülkemizde meydana gelen trafik kazalarının raporlarını çıkarmaktadır. 2018 yılına ait yol şekillerine göre gerçekleşen trafik kaza raporu Tablo 1'de, oluş türlerine göre gerçekleşen trafik kazaları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1’de görüldüğü üzere kaza oranının en yüksek olduğu yol noktaları yatay güzergahlar olmuştur. Yerleşim yerleri içerisindeki yatay güzergahta bulunan düz yol bölümündeki kaza oranı %89.82 gibi büyük bir orana sahiptir. Yerleşim yerinin dışına çıkıldığında bu oran düşmekte fakat diğer viraj ve tehlikeli viraj bölgelerinde yaşanan kazaların sayısı bir miktar artış göstermektedir.

Tablo 1: 2018 Yılı Yolun Geometrik Özelliğine Göre Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kaza Bilgileri

	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
YATAY GÜZERGAH	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Düz Yol	125.674	89,82	30.808	66,10	156.482	83,89
Viraj	12.096	8,64	10.020	21,50	22.116	11,86
Tehlikeli Viraj	2.152	1,54	5.782	12,40	7.934	4,25
TOPLAM	139.922	100	46.610	100	186.532	100
DÜŞEY GÜZERGAH	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Eğimsiz	113.117	80,84	30.952	66,41	144.069	77,24
Eğimli	25.579	18,28	14.069	30,18	39.648	21,25
Tehlikeli Eğim	919	0,66	1.237	2,65	2.156	1,16
Tepe Üstü	307	0,22	352	0,76	659	0,35
TOPLAM	139.922	100	46.610	100	186.532	100
KAVŞAK	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Dört Yönlü	26.433	18,89	1.439	3,09	27.872	14,94
Üç Yönlü (T)	18.178	12,99	1.780	3,82	19.958	10,70
Dönel Kavşak	8.032	5,74	2.521	5,41	10.553	5,66
Diğer Kavşak Geçidi	5.844	4,18	915	1,96	6.759	3,62
Üç Yönlü (Y)	3.760	2,69	746	1,60	4.506	2,42
Köprülül Kavşak	685	0,49	141	0,30	826	0,44
Kavşak Yok	76.990	55,02	39.068	83,82	116.058	62,22
TOPLAM	139.922	100	46.610	100	186.532	100
GEÇİTLER	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Yaya Geçidi	13.285	9,49	774	1,66	14.059	7,54
Okul Geçidi	906	0,65	56	0,12	962	0,51
Kontrollü Demiryolu Geçidi	422	0,30	44	0,10	466	0,25
KontROLSÜZ Demiryolu Geçidi	128	0,09	38	0,08	166	0,09
Geçit Yok	125.181	89,46	45.698	98,04	170.879	91,61
TOPLAM	139.922	100	46.610	100	186.532	100

Kaynak: KGM 2019: 1-7

Dever uygulaması karayolu güvenliğinin odak noktalarından birisidir. Çünkü virajlarda taşıtın güvenli dönüşünde kritik rol oynamaktadır, araba kazalarının büyük bir kısmı dever uygulaması yapılan yol noktalarında meydana gelmektedir (Ai, 2017: 62-70). Bu yüzden doğru yapılmadığı yatay güzergahlarda araçların viraj dışına doğru savrulduğu, devrildiği bilinmektedir. Fakat her viraj da araçların dışa doğru savrulma durumu dever hatasından kaynaklandığı anlamına gelmemektedir. Sürücü hatası, taşıdığı yük, araçta oluşabilecek bir takım problemler, lastiklerin durumu gibi faktörlerde aracın viraj dışına savrulmasında büyük rol oynamaktadır.

Deverin araca uyguladığı etkiyle kaza durumları ilişkilendirilirse Tablo 2’de yer alan 2018 yılında yoldan çıkma, devrilme, savrulma ve takla neticesinde meydana gelen trafik kazalarının oranları toplandığında, yerleşim yeri içindeki oranı %14,5, yerleşim yeri dışında ise %50,18 olduğu raporlanmıştır.

Tablo 2: 2018 Yılı Oluş Türlerine Göre Trafik Kaza Bilgileri

KAZA OLUŞ TÜRÜ	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		Toplam	
	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Yandan Çarpma	50.103	35,81	6.414	13,76	56.517	30,30
Yayaya Çarpma	30.366	21,70	1.258	2,70	31.624	16,95
Yoldan Çıkma	9.315	6,66	17.921	38,45	27.236	14,60
Arkadan Çarpma	15.006	10,72	5.931	12,72	20.937	11,22
Devrilme, Savrulma, Takla	10.971	7,84	6.864	14,73	17.835	9,56
Cisim ile Çarpışma	8.002	5,72	3.524	7,56	11.526	6,18
Karşılıklı Çarpışma	8.724	6,23	2.769	5,94	11.493	6,16
Duran Araca Çarpma	3.032	2,17	501	1,07	3.533	1,89
Yan Yana Çarpışma	1.921	1,37	431	0,92	2.352	1,26
Araçtan Düşen İnsan	1.125	0,80	191	0,41	1.316	0,71
Hayvana Çarpma	423	0,30	526	1,13	949	0,51
Zincirleme Çarpışma	316	0,23	117	0,25	433	0,23
Çoklu Çarpışma	250	0,18	75	0,16	325	0,17
Araçtan Düşen Cisim	45	0,03	46	0,10	91	0,05
Park Etmiş Araca Çarpma	323	0,23	42	0,09	365	0,20
TOPLAM	139.922	100	46.610	100	186.552	100

Kaynak: KGM 2019: 1-7

Meydana gelen yerleşim yeri dışındaki bu kazalarda sürücü hataları ise aynı yılda %94,54 olarak verilmiş yol hatalarından meydana gelen kazalar ise %0,56 olarak raporlanmıştır (KGM 2018: 7). Fakat burada her kaza noktasında yol özelliklerinin araştırılıp araştırılmadığı bilinmemektedir.

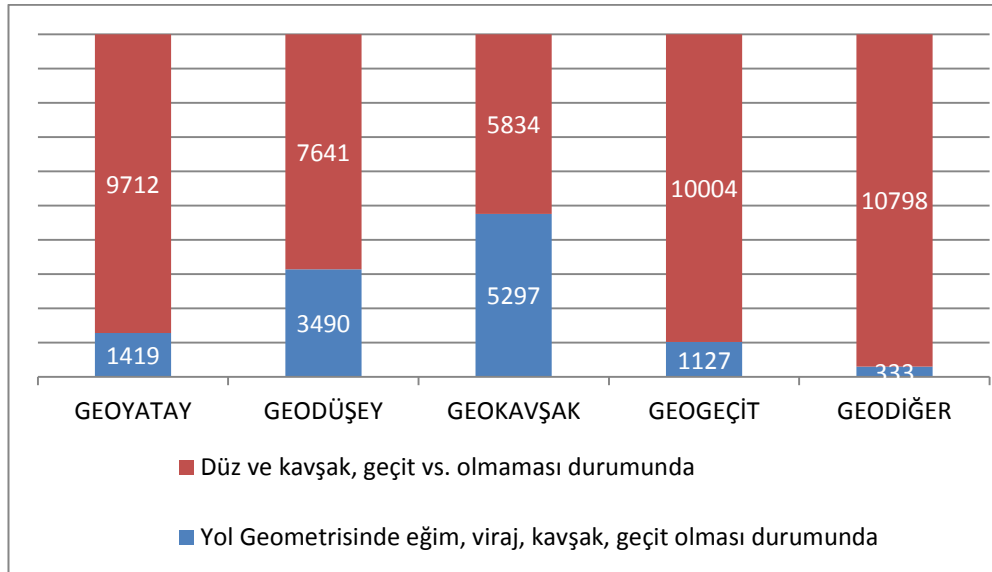
Sonuç olarak KGM raporlarından,

- Trafik kazalarının en çok olduğu yol noktası: Yatay güzergahlar,
- Kaza oluş türüne göre incelendiğinde ise: Yoldan çıkma, savrulma, devrilme ve takla atma olduğu anlaşılmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken husus, trafik kazalarında sürücü hatalarının yüksek olduğu her ne kadar doğru olsa da meydana gelen kazaların yeri ve oluş biçimi bakımından, dever hatalarının da oluşabileceği noktaların bu iki durumla ilişkili olduğu gerçeğidir. Deverin uygulandığı yatay yollarda dever hatası var ise taşıtın yoldan çıkma, savrulma devrilme ve takla atma gibi etkilere maruz kalabilmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak dever ile ilgili bölgesel olarak yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Dever noktalarında kaza oranı Şekil 1'e göre %31 oranında olduğu görülmektedir (Uyurca, Atılğan, 2018: 624). Buradan da anlaşılabileceği en fazla kazaların dever noktalarında meydana geldiği söylenilebilmektedir.

Şekil 1: Ankara İli Yol Geometrisine Göre Kaza Dağılımı



Kaynak: Uyurca, Atılğan, 2018: 623 Şekil 8

2000 ile 2011 yılları arasında gerçekleşen 112 adet kaza alanında yapılan bir araştırmaya göre (Chang, 2011: 103), kazalardaki en etkili faktörün yola uygulanması gereken deverin ölçü standartlarından daha yüksek uygulanmasıyla meydana geldiğidir. Bu bakımdan yola uygulanan deverin hayati derecede önemli olduğu söylenebilir.

1.1.1 Deverin Uygulanması

Şekil 2’de verilen dever örneğinde A noktasından gelen araç için viraj yönü sola doğrudur, hız limitleri uyarınca aracın A yönünden geldiği varsayılırsa, araç viraja girdiğinde viraj yönü olan sol merkezcil kuvvetin aksi yönünde bir kuvvete maruz kalacaktır. Bu etkiyle aracın viraj yönünün tersi yönde savrulma riski bulunmaktadır. Dever gereğinden fazla viraj yönü doğrultusunda, yani iç tarafa doğru verilirse bu sefer araç içe doğru bir savrulma riskiyle karşı karşıya kalabilmektedir (Yayla, 2004: 137). Bu durumda sadece dever ölçütünün belirlenmiş yol standartlarına göre verilmesiyle aracın virajı güvenli bir şekilde dönmesi sağlanabilir.

Şekil 2: Yol Üzerinde Dever Örneği (Balıkesir, Erdek-Turanlar Yolu)



Kaynak: Fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir.

Şekil 3, Şekil 2'deki aynı yolun farklı açıdan görünümüdür. Tek şeritli gidiş-geliş özelliğine sahip bu yolda dever (α) araç kullanıcıları tarafından gözlemlenebilir. Fakat standart ölçülerinin doğru yapılıp yapılmadığı bu gözlem sonucu bilinmemektedir. Dever uygulaması arazi gözleminden çok yol yapım aşaması incelenerek çeşitli hesaplamalarla uygulanmaktadır (KSK, 1993: s1). Bu hesaplamalar sonucunda yola verilecek enine eğim yani dever bulunmaktadır.

Şekil 3: Yol Üzerinde Dever Örneği 2 (Balıkesir, Erdek-Turanlar Yolu)



Kaynak: Fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir.

Yol üzerinde uygulanan bu enine eğim sayesinde, araç tekerleğinde meydana gelen sürtünme kuvveti ve ağırlık bileşeni arasında denge sağlanmaktadır (Abbasghorbani ve Ziksari 2015: 186). Dever uygulaması yapılırken dikkat edilmesi gereken birtakım durumlar bulunmaktadır. Bu durumlardan bazıları şu şekildedir;

- Proje hızı,
- Bölgenin iklim koşulları (kar ve buzlanmanın olup olmaması),
- Yol üzerinden geçecek ağır vasıta sayısı,
- Yüzeysel su tahliyesinin sağlanması (drenaj),
- Yol tipi (dağlık, engebeli, düz).

Deverin uygulanmasındaki amaç aracın savrulmasına etki eden kuvvetlerin indirgenerek aracın virajı güvenle dönebilmesini sağlamaktır.

Araçla seyrederken kimi zaman sürücüler, otobanlardaki çok uzun ve çok hafif virajlar için direksiyonu çevirmeye bile gerek duymazlar çünkü yola verilen dever sebebiyle aracın o virajı eğim ile dönmesine olanak sağlanmaktadır. Fakat normal ve keskin virajlarda merkezciil kuvvet aracı daha fazla etkilediği için bu tip yollarda dever uygulaması daha önemlidir. Dever uygulaması ise 3 farklı şekilde yapılabilmektedir (Akpınar, 2010: 40)

- Yolun eksen hattının sabit tutularak iç kenarın düşürülüp dış kenarın yükseltilmesi ile,
- Yolun iç kenar hattının sabit tutulup eksen hattı ile dış kenar hattının yükseltilmesi ile,
- Yolun dış kenar hattının sabit tutulup iç kenar ve eksen hattının düşürülmesi ile,

Bu 3 yöntemden en sık kullanılan eksen hattının sabit tutulduğu dever uygulamasıdır. Bu uygulamanın dezavantajı ise uygulanan dever noktasında iç tarafa doğru çukurlaşmalar olmasıdır (Yayla, 2004: 140). Bu durum ise dever noktası yağış aldığında yol üzerinde su birikmesine sebep olabilmektedir.

Dever karayolu standartlarına göre doğru verilmiş olsa dahi birçok faktör (zamanla aşınan yol yüzeyleri ve standart altı inşaatlar gibi) potansiyel olarak yetersiz dever değerlerini üretebilir. Bu da ciddi karayolu kazalarına sebebiyet verebilmektedir (Ai, 2017: 62-70).

Buradan yola çıkarak dever verilen yollarda bozulmaların meydana geldiği anlaşılmıştır. Bu da zaman faktörü göz önüne alındığında yola uygulanan dever değerinde değişikliklerin meydana gelebileceğini göstermiş ve bu değişikliklerinde araç sürücüleri için ciddi sorunlara sebep olabileceği düşünülmüştür. Bu sebeple dever uygulaması yapılan yolların kontrolü bir müddet sonra tekrar yapılarak mevcut standart değerlerini koruyup korumadığına bakılmalıdır.

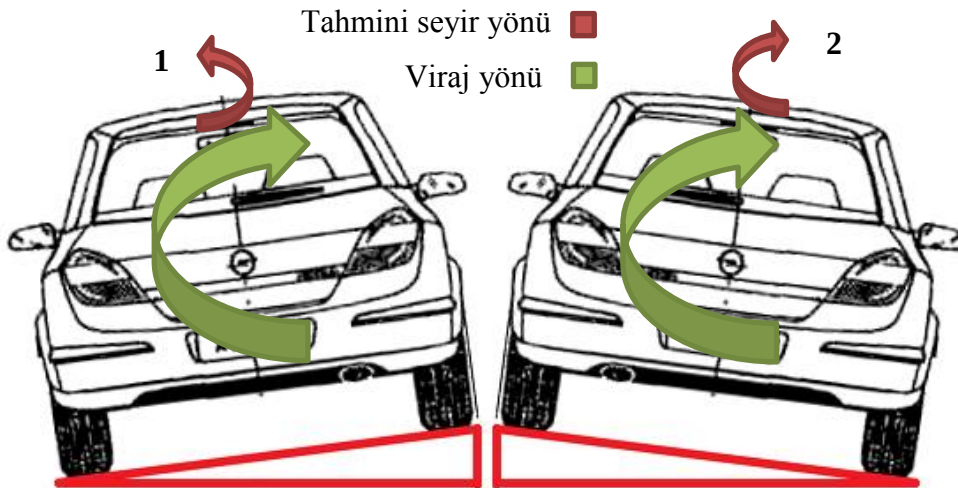
1.1.2 Ters Dever

Ters dever viraj içine doğru verilmesi gereken enine eğimin viraj yönünün tersine doğru verilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu durum normal bir dever hatasından çok daha tehlikelidir. Çünkü araç viraja girerken savrulma etkisine, ters eğimin eklenmesi aracın viraj dışına savrulmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu durum dever değerlerinde kabul edilemez bir hatadır. Özellikle yokuş artışının veya azalışının olduğu virajlarda kaza riski çok yüksek olacaktır. Otobanlarda bu durum nadiren olsa da şehir içinde özellikle döner kavşak noktalarında görülebilmektedir.

Şekil 4'te görüldüğü üzere; yeşil oklar viraj yönünü, kırmızı oklar ise aracın dever etkisiyle oluşan seyrini göstermektedir.

- 1. Durumda araç viraja girdiğinde ters deverle karşılaşmıştır. Bu sebeple araç büyük ölçüde virajın tersi yönünde savrulma gerçekleştirecektir.
- 2. Durumda ise araç viraja uygulanan doğru dever sayesinde dönüş seyrini büyük ölçüde viraj yönünde gerçekleştirecektir.

Şekil 4: Sağ Virajda Dever ve Ters Deverin Etkisi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

1.2 DEVER ÜZERİNDEKİ TAŞITA ETKİ EDEN KUVVETLER

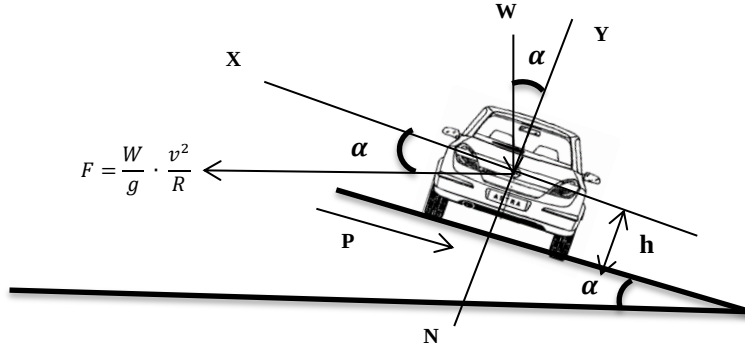
Şekil 5’te taşıtın maruz kaldığı merkezci ivme kuvvetine bağlı olarak aracı dışa doğru iten kuvvetin değeri;

- $F = \frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$ ‘dir.

Bu kuvvet ile ilgili faktörler şu şekilde belirtilmiştir (Yayla, 2004: 131).

- W: Taşıt ağırlığı (kg),
- v: Taşıt hızı (m/sn),
- R: Kurba yarıçapı (m),
- g: Yerçekimi ivmesi (m/s^2),
- P: Merkezci İvmeyi dengeleyen enine sürtünme kuvveti (kg),
- u_e : Enine sürtünme katsayısı.
- h: Yükseklik
- α : Dever Açısı
- N: Zıt tönede tepki kuvveti

Şekil 5: Kurba (viraj) Üzerindeki Taşıta Etki Eden Kuvvetler



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 5’te yola uygulanan dever açısı α ’nın belirlenmesinde bir çok kriter bulunmaktadır. Bu kriterlerin başında dever uygulanacak yolun proje hızı gelmektedir. Çünkü yol üzerinde uygulanacak dever, aracın belirli bir süratle güvenli dönüş yapmasını sağlamaya yöneliktir. Belirlenen hız faktörüne göre yol üzerinde seyreden araçların %85’i proje hızını aşmamalıdır (Akpınar, 2010: 10).

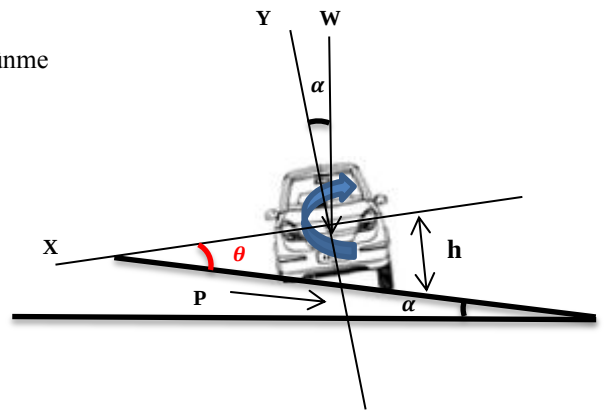
1.2.1 Dever Üzerindeki Taşıtın Maruz Kaldığı Yalpa Açısı

Virajlarda dever üzerindeki taşıt, ağırlık merkezinin değişmesi ve merkezci kuvvetin dışı etki eden kuvveti sebebiyle taşıt gövdesi üzerinde dışı doğru bir yalpa açısı oluşturmaktadır (Gögen ve Diğerleri 2017: 49-61). O halde virajı dönen araç dever üzerinde dışı doğru bir eğimle seyir haline devam etmektedir. Yasal hız sınırları içerisinde seyretmeyen taşıtlar virajlarda yalpa açısını daha yüksek vererek devrilme riskiyle karşı karşıya kalabilmektedirler. Dever ile yalpa açısının ilişkisi ise yasal sınırlar içerisinde seyreden taşıtın dışı doğru hatalı dever uygulaması yapılan yolda aynı devrilme riskiyle karşı karşıya kalma durumudur. Yol üzerindeki taşıtın sahip olduğu yalpa açısının kritik seviyesinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma halen daha yapılmaktadır (Tafner ve Diğerleri, 2012: 72). Yapılan bu çalışmalara bakıldığında GPS, İvmeölçer ve jiroskop sensörlerinin araç üzerinde kullanıldığı görülmektedir (Ryu, Gerdes, 2004: 2). Polonya Bielsko-Biala Üniversitesinde yapılan bir çalışmaya göre ise otomobiller için en yüksek yalpa açısı 7 derece olarak belirlenmiştir (Parczewski, 2017: 3).

Şekil 6'da görüldüğü üzere yalpa açısı θ olarak gösterilmiştir. Taşıt virajı alırken araç gövdesi dever yönünün tersi yönde bir değer almaktadır. Bu durumda yalpa açısı değerinin yanal ivme değerine oranı en fazla %60 olmalıdır (Gögen ve Diğerleri 2017: 56).

Şekil 6: Viraj Üzerinde Taşıt Gövdesinin Yapmış Olduğu Yalpa Açısı

- α : Dever açısı
- θ : Dever üzerindeki araç gövdesinin yalpa açısı
- P: Merkezci İvmeyi dengeleyen enine sürtünme kuvveti (kg),
- W: Taşıt ağırlığı (kg)
- h: Yükseklik
- A: Viraj yönü
- N: Zıt yöndeki tepki kuvveti



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

1.2.2 Dever Üzerindeki Taşıtın Savrulma Hızı

Dever üzerindeki taşıtı viraj dışına doğru iten kuvvet, dış tekerleğin yol zeminine değdiği nokta etrafında savurmaya çalışır. Bu noktaya göre alınan moment sayesinde dever üzerindeki aracın hangi hızda savrulmayı gerçekleştirebileceği hesaplanabilir.

- $\sum M = 0$; Denge şartı yazılır ise,
- $\frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \cos\alpha \cdot h - \frac{W}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \sin\alpha \cdot \frac{e}{2} - W \cdot \cos\alpha \cdot \frac{e}{2} - W \cdot \sin\alpha \cdot h = 0$

Eşitlik $W \cdot \cos\alpha$ 'ya bölünür ise;

- $\frac{v^2}{g \cdot R} \cdot h - \frac{v^2}{g \cdot R} \cdot \tan\alpha \cdot \frac{e}{2} - \frac{e}{2} - \tan\alpha \cdot h = 0$

Buradan;

- $\frac{v^2}{g \cdot R} \left(h - \frac{e}{2} \tan\alpha \right) = \left(h \cdot \tan\alpha + \frac{e}{2} \right)$

Buradan;

- $v^2 = g \cdot R \left(\frac{h \cdot \tan\alpha + \frac{e}{2}}{h \cdot \tan\alpha - \frac{e}{2}} \right)$

Olarak bulunur.

Yer çekimi ivmesi; $g = 9.81 \text{ m/sn}^2$

Taşıt hızı; $v = \frac{v}{3.6}$

- $V_{dev} = 3.6 \sqrt{\frac{R(h \cdot \tan\alpha + \frac{e}{2})}{h - \frac{e}{2} \tan\alpha}}$

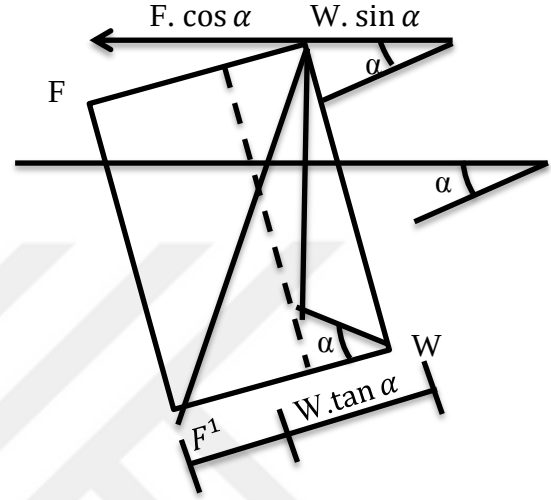
Burada devrilme hızı km/s olarak bulunmaktadır (Kuloğlu, 1988: 8).

1.2.3 Dever Üzerindeki Taşıta Uygulanan Enine İvme

Dever uygulanan virajda hareket eden bir taşıt viraj yönünün tersine doğru etkiyen savrulma kuvvetinin (F) ortaya çıkardığı enine (yanal) bir ivmeye maruz kalır. Şekil 7’de bu duruma sebep olan kuvvetler gösterilmiştir.

Şekil 7: Yatay Virajda Enine İvmeye Neden Olan Kuvvet

F1:	Yatay	Kurpta	Etkiyen
	Merkezkaç	Kuvveti	
α :	Dever	Açısı	
W:	Taşıt	Ağırlığı	
F:	Merkezkaç	Kuvveti	
m:	Taşıtın	Kütlesi	
g:	Yerçekimi	İvmesi	
R:	Kurba(Viraj)	Yarıçapı	
v:	Taşıt	Hızı	
d:	Dever	Miktarı	



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

- Şekil 7’ye Göre; $m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{R} - m \cdot g \cdot \tan \alpha$
- Devamında; $a = \frac{v^2}{R} - g \cdot \tan \alpha$
- Devamında $\tan \alpha$ dever açısı $= \frac{d}{100}$ ise; $a = \frac{v^2}{R} - g \frac{d}{100}$
- $g = 9.81 \text{ m/sn}^2$, $v = \frac{v}{3.6}$ yerine konulursa, Enine İvme;
- $a = \frac{v^2}{12.96R} - 0.0981d$ ‘olarak elde edilir (Kuloğlu, 1988: 9).

Araç içindeki yolcuların virajda rahatsız olmadan dayanabilecekleri en büyük enine ivme değeri $1,47 \text{ m/sn}^2$ ’dir. (Kuloğlu, 1988: 9) Ayrıca dever üzerindeki araca etkiyen her kuvvet aracı savurmaya yönelik değildir. Taşıt ağırlığı ne kadar yüksek olursa savrulma etkisi o derece azalır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken husus savrulmaya karşı etki uygulayan ağırlığın virajda taşıtın ağırlık merkezindeki transferi doğrultusunda savrulmaya yönelik bir etkiye dönüşebilmesidir. Bu yüzden dever kavramının doğru anlaşılması için birtakım fizik kurallarının da bilinmesi gerekmektedir. Çünkü yola dever uygulanmasının sebebi fizik kurallarının araca uyguladığı kuvvetlerdir.

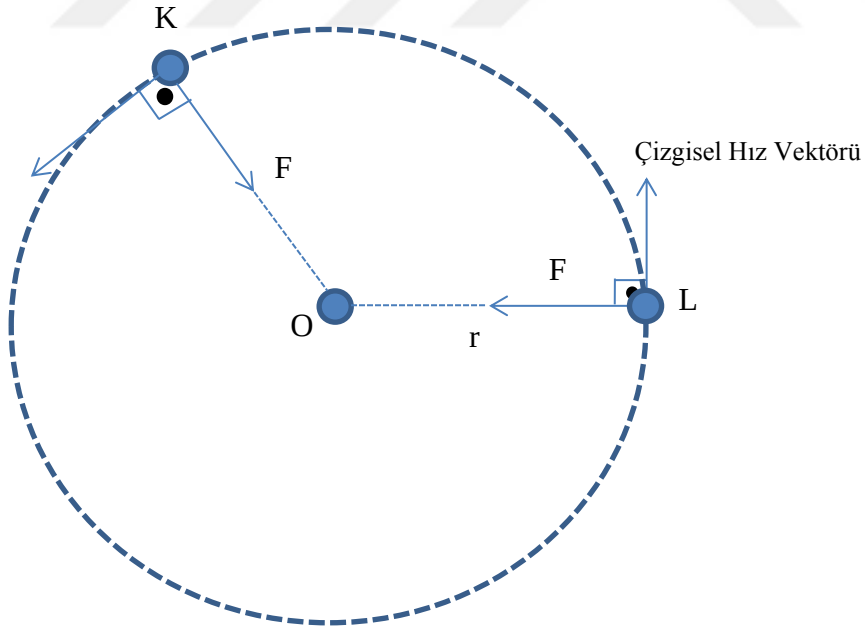
1.3 MERKEZCİL KUVVETİ

Viraj üzerindeki araca etki eden kuvvetlerin başında merkezciil kuvveti gelmektedir. Herhangi bir cismin hareket doğrusuna dik olarak etkiyen bu kuvvet, o cismin dairesel bir yörüngede hareket etmesine neden olmaktadır (Ünlü, Gök, 2007: 143). Bu kuvvetin yönü ivmeyle aynı yönde ve yörüngenin merkezine doğrudur.

Şekil 8'e bakarak merkezciil kuvvet hakkında şu örneklendirmelerde bulunulabilir.

- Güneşin etrafında dönen dünya için merkezciil kuvvet kütle çekim kuvvetidir.
- İpin ucuna bağlı olarak dairesel yönde döndürülen cisim için merkezciil kuvvet ipin gerilmesidir.
- Tepsi üzerinde döndürülen bir cisim için merkezciil kuvvet sürtünme kuvvetidir.

Şekil 8: Merkezciil Kuvvet



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Buradan da anlaşıldığı üzere otomobilin dairesel yörüngede hareket etmesine imkan sağlayan merkezci kuvvet statik sürtünme kuvvetidir. Bu kuvvetin tersine etki eden kuvvetler içinse yola dever ölçütü kullanılır.

Günümüzde merkezci kuvvetin tersi yönde etki eden kuvvete merkezkaç kuvveti denilmektedir. Bu kuvvet kavramı merkezci kuvvetin tersi yönüne bir etkiyi açıklamak için kullanılır, fakat gerçekte böyle bir kuvvetin varlığından söz edilememektedir. Çünkü bu durum Newton yasalarının dışında kalmaktadır.

Newton yasaları incelendiğinde 1. Yasaya göre: “Hareket halindeki bir cisim, dışarıdan bir kuvvet etki etmedikçe cisim hareketine devam edecektir.” Burada anlatılmak istenen merkezkaç kuvvetinin gerçek bir kuvvet olmadığıdır. Çünkü dairesel hareket eden bir cismin merkezden dışarıya doğru savrulma etkisi, o cisim dışarıdan etki eden bir kuvvet değildir. Fakat virajlarda araç dönerken dönüş yönünün tersine doğru vücudumuzun savrulduğunu hissederiz. Aynı etkininde virajı dönen araca uygulandığını düşünürüz.

Karayollarında virajlarda dönüş yapan kara taşıtlarına etki eden bu kuvvete hayalet kuvvet, yalancı kuvvet veya eylemsizlik kuvveti denilebilmektedir. (Serway, 2007: 161). Bu kuvvetin ortaya çıkmasına sebep olan faktörlerden biri ise aracın dönüşü sırasında ağırlık merkezindeki değişimlerdir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta aracın kütlelerinin hiçbir zaman değişmez olduğudur. Virajlarda merkezci ivmenin tersi yönde ortaya çıkan kuvvet, büyük oranda aracın ağırlık merkezinin değişmesine bağlıdır.

1.3.1 İvmeli Sistemde Hareket

Merkezci ivmeyi sağlayan bir takım kuvvetler bulunmaktadır. Bunlar: Çekim kuvveti, sürtünme kuvveti veya merkeze bağlı ipteki gerilme kuvveti olabilir (Serway, 2007: 153).

İvmeli koordinat sisteminin içinde gözlem yapan bir kişi, bulunduğu koordinat sistemindeki hareketliye, Newton’un ikinci yasası uygulandığı zaman ters bir kuvvetle karşılaşmaktadır. Bu duruma viraja giren taşıttaki yolcuların virajın tersi yöndeki savrulma durumları örnek olarak gösterilebilir. Burada yolcuların dışarıya

savrulmasını anlamlandırabilmek için bu duruma merkezkaç kuvvetinin sebep olduğu açıklaması getirilmektedir.

”Fakat bu terimi kullanmak sık sık karışıklıklara sebep olmaktadır” (Serway,2007: 161)

Bu karışıklığın önüne geçilmesi için doğru açıklama şu şekilde olabilir: Düz seyir halini koruyan aracın içindeki yolcular, doğrusal bir yolda hareket etmekteyken araç viraja girer girmez eğrisel bir yörüngeye girmektedirler. Araç viraja girdiğinde araç içerisindeki yolcular önceden gitmiş oldukları doğrusal yolda devam etme eğilimindedirler (Serway, 2007: 161). Bu eğilim durumu Newtonun 1. Yasasında bulunan, ”cisim doğrusal yörüngede hareketine devam etmek ister” durumuna uymaktadır. Yolcuların araçla birlikte eğrisel yörüngede hareket etmesi için yolculara uygulanan merkezci kuvveti yeterince büyük olmalıdır. Bu merkezci kuvvetinin ortaya çıkış nedeni araba içerisindeki yolcuların oturdukları koltukları arasında var olan sürtünme kuvvetidir. O halde bu kayma durumunun ortaya çıkma sebebi araç içerisindeki yolcuya, aracın takip ettiği eğrisel yolda araçla birlikte eşlik etmesine yetecek kadar merkezci kuvvet uygulanmamasıdır

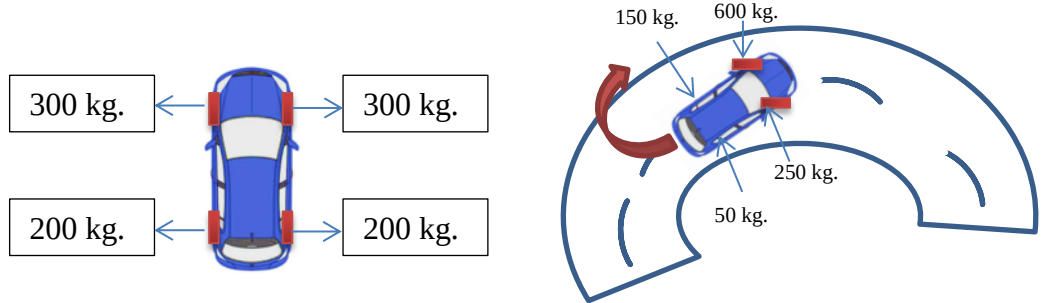
Burada yaşanan olayda yolcunun virajda viraj yönünün tersine savrulması, teker üzerindeki araç gövdesinin, ağırlık merkezinin virajda transfer olmasından da dolayı viraj dışına itilmesine benzemektedir. Araç içerisindeki yolcuyu korumak adına emniyet kemeri ve araç kapısı bulunsa da aracı virajdan savrulmasını önlemek adına aracın kendi donanımı haricinde dışarıda sadece bir faktör bulunmaktadır. Bu faktör virajlarda yola uygulanan enine eğim yani dever faktörüdür.

1.3.2 Ağırlık Merkezi

Aracın yol tutuşunda ağırlık merkezi önemli bir rol oynamaktadır. Yol üzerinde seyreden taşıtların ağırlık merkezi zeminin üzerinde bulunmaktadır. (Taşkın, 2014: 447). Buna bağlı olarak araç viraja girdiğinde merkezci kuvvet, ağırlık merkezinden dışa doğru etki eder. Bu durum yol üzerindeki taşıtın savrulmasına sebep olabilmektedir. Ağırlık merkezindeki bu değişimler sebebiyle araçlarda buna karşılık süspansiyon sistemi veya viraj demiri gibi birtakım önlemler bulunmaktadır.

Viraj üzerinde seyreden taşıtta meydana gelen ağırlık merkezinin transferi Şekil 9’da gösterilmiştir.

Şekil 9: Virajdaki Ağırlık Merkezi Transferinin Araç Üzerindeki Gösterimi

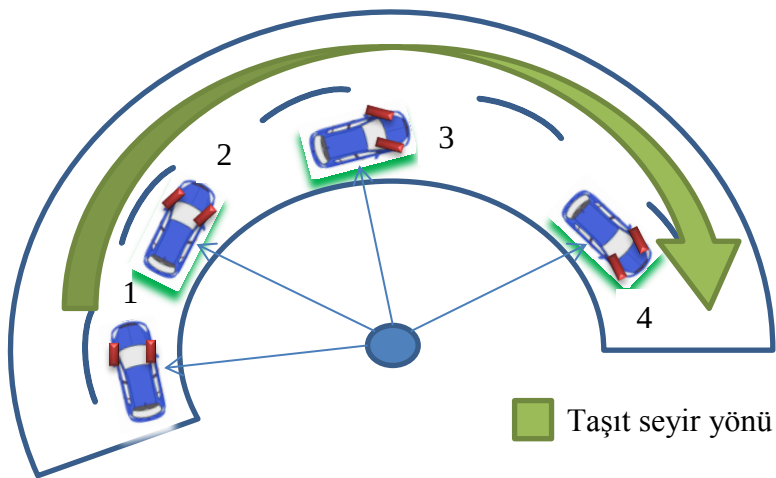


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 10’da viraja giren aracın hız limitlerine uyduğu varsayıldığında;

- 1. Durumda viraja giren araç, üzerindeki ağırlık merkezinin transferini gerçekleştirmeye başlamaktadır.
- 2. Durumda araç dağılan ağırlık merkeziyle viraj dönüşünü gerçekleştirmektedir.
- 3. Durumda araç yola uygulanan enine eğim yani dever sayesinde transfer halinde olan ağırlık merkezini dengeleyebilmektedir.
- 4. Durumda araç güvenli bir şekilde virajdan çıkış yapmaktadır.

Şekil 10: Dever Hatası Bulunmayan Yolda Virajın Araca Etkisi

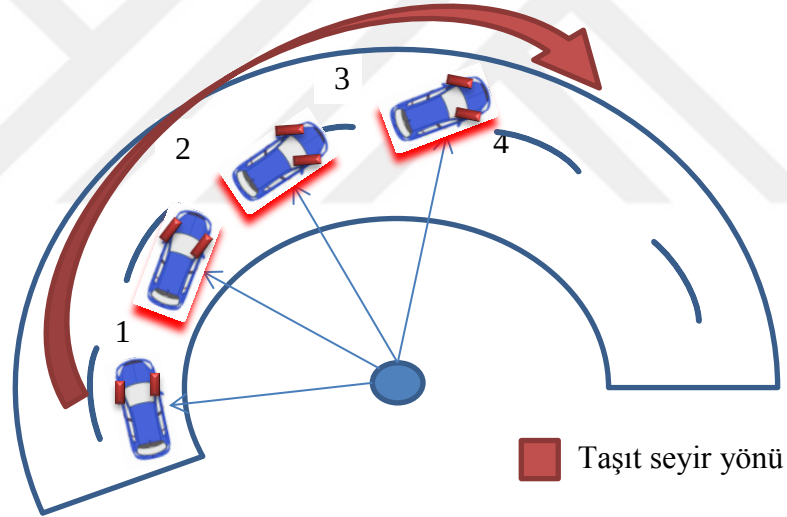


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 11’de viraja giren aracın hız limitlerine uyduğu varsayıldığında;

- 1. Durumda viraja giren araç, üzerindeki ağırlık merkezinin transferini gerçekleştirmeye başlamaktadır.
- 2. Durumda araç dağılan ağırlık merkeziyle viraj dönüşünü gerçekleştirmektedir.
- 3. Durumda araç yolda dever hatasının bulunması sebebiyle ağırlık merkezini dengelemekte zorlanmaktadır. Bu aşamada araçta savrulma belirtileri baş gösterir.
- 4. Durumda araç savrulma etkisi yaparak virajın dışına ağırlık merkezinin de etkisiyle itilmektedir.

Şekil 11: Dever Hatası Bulunan Yolda Virajın Araca Etkisi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

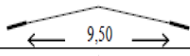
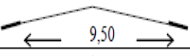
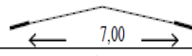
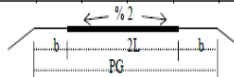
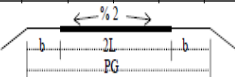
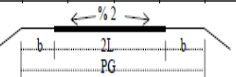
Sonuç olarak viraja giren aracın ağırlık merkezi viraj yönünün tersine (dışa doğru) kaymaktadır. Bu durum için otomotiv firmaları gerekli oto mühendislik önlemleri olsa dahi yol üzerinde bulunan dever hataları Şekil 9’daki gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Bu sonuçlar sürücü hatalı değil ise genellikle enine eğimin viraj yönüne verilmesi gerekirken ters yöne verilerek ters deverin ortaya çıkmasıyla oluşmaktadır. O halde, dever hatası bulunan yolda, hız limitlerinin ister altında ister üstünde seyredilsin sürücüler için sürüş güvenliğini tehlikeye atmaktadır.

1.4 TÜRKİYE KARAYOLLARININ STANDART DEVER DEĞERLERİ

Ülkemizde KSK tarafından kullanılan dever standartları net olarak belirtilmiştir. Buna göre Tablo 3'te yer alan Türkiye dever standartları onay raporu çok eski tarihli olmasına karşın günümüzde geçerliliğinin korunup korunmadığı amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü ile iletişime geçilmiş ve ilgili konu hakkında bilgi talebinde bulunulmuştur. KGM'nün cevabı EK1'de verilmektedir.

İncelenen bilgiler neticesinde Türkiye'deki devlet yollarında uygulanan maksimum dever ölçüsü %8, buzlanma ve don olaylarının görüldüğü bölgelerde maksimum %6'dır. Minimum dever ölçüsü ise çok şeritli yollarda %2,5, çift şeritli yollarda %2, olarak belirlenmiştir (KGM, 2016: 29).

Tablo 3: KSK Kent Dışı Yolların Geometrik Ölçüleri

KARAYOLU GEOMETRİK STANDARTLARI														KENT DIŞI İKİ ŞERİTLİ YOLLAR														S1	
PROJE ELEMANLARI			BİRİNCİ SINIF						İKİNCİ SINIF						ÜÇÜNCÜ SINIF														
Hizmet seviyesi HS (A,B,C,D,E,F)			D		D		D		D		D		D		D		D												
Trafik*	Yıllık Ortalama Günlük Trafik Y.O.G.T (Taşı/Gün)		12000		6500		4000		11000		5500		3000		8000		4500		2500										
	Proje Saatlik Trafik P.S.T (Taşı/Saat)		1200		650		400		1100		550		300		800		450		250										
	Topografik Model TM (Dz, Dl, Dg)		Düz		Dalgalı		Dağlık		Düz		Dalgalı		Dağlık		Düz		Dalgalı		Dağlık										
Proje Hızı Vp (km / saat)			100	80	80	70	70	60	80	70	70	60	60	40	70	60	60	50	50	30									
Minimum kurp yarıçapı R (m)			400	250	250	200	200	150	250	200	200	150	150	60	200	150	150	90	90	30									
Minimum klotoit parametresi A (-)			160	130	130	120	120	100	130	120	120	100	100	60	120	100	100	70	70	30									
Maksimum boyuna eğim m (%)			4	4	6	6	7	7	5	5	7	7	8	8	6	6	8	8	9	9									
Düşey kurp katsayısı	Kapalı Kurp Kk (-)		107-56	44-26	44-26	29-20	29-20	17-15	44-26	29-20	29-20	17-15	17-15	6-6	29-20	17-15	17-15	10-9	10-9	5-5									
	Açık kurp Ka (-)		51-35	30-23	30-23	22-19	22-19	16-15	20-23	22-19	22-19	16-15	16-15	8-8	22-19	16-15	16-15	12-11	12-11	7-7									
Maksimum Dever n (%)			8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8									
Emniyetli Duruş Uzaklığı Ld (m)			155	110	110	90	90	70	110	90	90	70	70	40	90	70	70	55	55	25									
Emniyetli Geçiş Uzaklığı Lg (m)			670	550	550	480	480	420	550	480	480	420	420	270	480	420	420	340	340	190									
Şerit Genişliği L (m)			3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,25	3,25	3,25	3,25	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,0									
Banket Genişliği *** b (m)			2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0									
Platform Genişliği PG (m)			12,0	12,0	11,0	11,0	11,0	11,0	10,0	10,0	9,5	9,5	9,5	9,5	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0									
Köprü genişliği																													
Köprü proje yükü H:20 - S:16																													
Alt geçit (min h:5) h (m)			5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00									
Gabari																													
Kamulaştırma Genişliği			Toplam genişlik KG (m)						Normal 60.00m ± projenin gerektirdiği kadar						Normal 40.00m ± projenin gerektirdiği kadar						Normal 15.00m ± projenin gerektirdiği kadar								
			Eksen uzaklığı Le (m)						KS 23,00 37,00 KS						KS 20,00 20,00 KS						KS 7,50 7,50 KS								
* Projelendirilen yolun yapımının bitiminden itibaren 20 yıl sonra ulaşılabilecek hesaplanan trafik değeri.																													
** Kar ve Buzlanma olmayan kesimlerde %10'a kadar artırılabilir.																													
*** Dağılık arazideki karşık kesitlerde banket genişlikleri imla tarafında 50 cm. fazla, yarma tarafında 50 cm. eksik uygulanır.																													
									Karayolları Standartlar Kurulu Tarafından Hazırlanmıştır.						ONAY														
															6/7/1993														

Kaynak: (Türkiye Karayolu Standartlar Kurulu, 1993: S1)

1.5 DEVERİN EĞİMİN YÖNÜ VE DERECESESİYLE İLİŞKİSİ

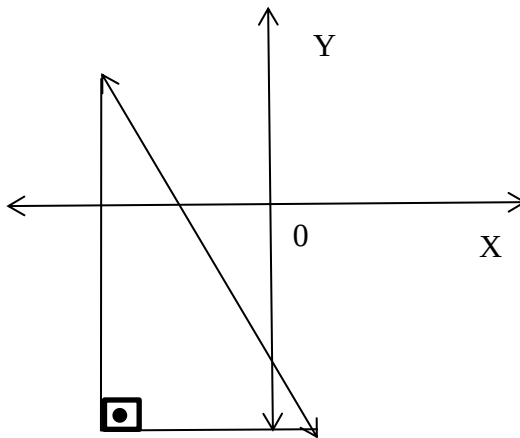
Türkiye’de kullanılan kent dışı maksimum %8 oranının kaç derecelik bir eğim açısına karşılık geldiği belirtilmemiştir. Bu sebeple bu oranın derece karşılığı hesaplanmalıdır. Viraj üzerinde uygulanan deverin hangi yönde olduğunu anlamak için eğim yönünün bilinmesi gerekmektedir. Bilinmesi gereken diğer bir husus ise viraj üzerindeki aracın eğim yönünün dever yönüyle zıt değerlere sahip olacak olmasıdır. Çünkü ağırlık merkezinin de değişmesiyle viraj kısımlarında araca uygulanan merkezci kuvvetin tersi yöndeki kuvvet, aracı viraj dışına doğru itmektedir.

1.5.1 Eğim Doğrusunun Dever Üzerindeki Yön Kavramı

Yol üzerinde 2 ayrı eğim yönüyle karşılaşılmaktadır. Bu yönler sağ ve soldur. Düz yönün bu duruma eklenmemesinin sebebi dever yönünün mutlak olarak bir tarafa verilmiş olması gerekliliğidir. Eğer dever uygulanan bir yolda eğim yönünün doğru olarak hesaplanması yapılmaz ise mevcut yola ters dever ölçütlerinin verilme riski bulunmaktadır. Deverin yol üzerindeki yön değerleri ise şu şekildedir:

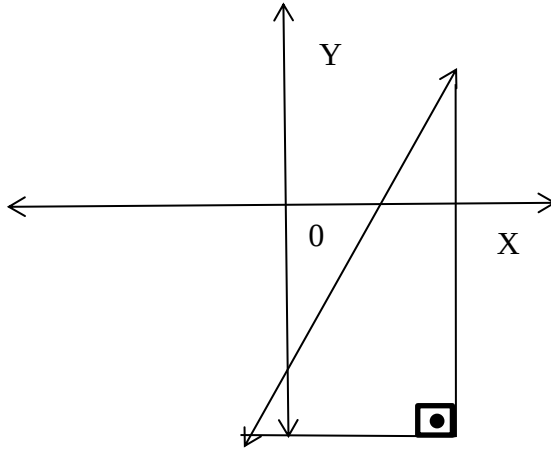
- Sağa yatık eğimin yön değeri; Pozitif değerlidir.
- Sola yatık eğimin yön değeri; Negatif değerlidir.

Şekil 12: Sola Yatık Eğimin Koordinat Sisteminde Gösterimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 13: Sağa Yatık Eğimin Koordinat Sistemi Üzerinde Gösterimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

- Şekil 12’de görülen koordinat sisteminde, eğim yönü sola doğrudur. Bu durumda dever yönü negatif bir değer alacaktır.
- Şekil 13’de görülen koordinat sisteminde, eğim yönü sağ doğrudur. Bu durumda dever yönü pozitif bir değer alacaktır.

Bu bilgiler ışığında eğimin viraj doğrultusunda verilmesi için viraj yönüne doğru dever uygulanmalıdır. Burada yatık olan enine eğimin sağ virajda sola yatık, sol virajda sağ yatık olması gerekliliği ters deverle karıştırılmamalıdır. Bu durumda eğim viraja doğru verilmiş denilebilir. O halde;

- Şekil 12 sağ virajda,
- Şekil 13 sol virajda kullanılmaktadır.

Koordinat sisteminde eğim yönlerinin kavramı anlaşıldıktan sonra dever üzerindeki araç için bu yönler Şekil 14 ve Şekil 15’deki gibi düşünülebilir.

Şekil 14: Sağ Virajda Dever Üzerindeki Aracın Eğim Yönü

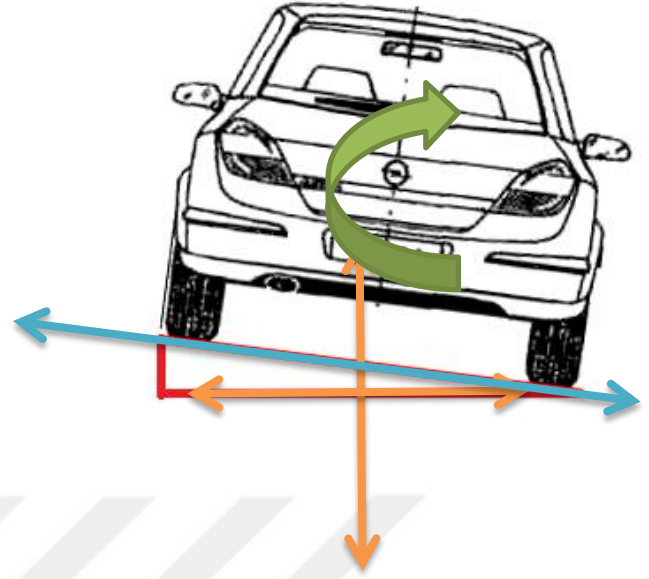
Viraj Yönü



Koordinat Düzlemi



Yol Eğimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 15: Sol Virajda Dever Üzerindeki Aracın Eğim Yönü

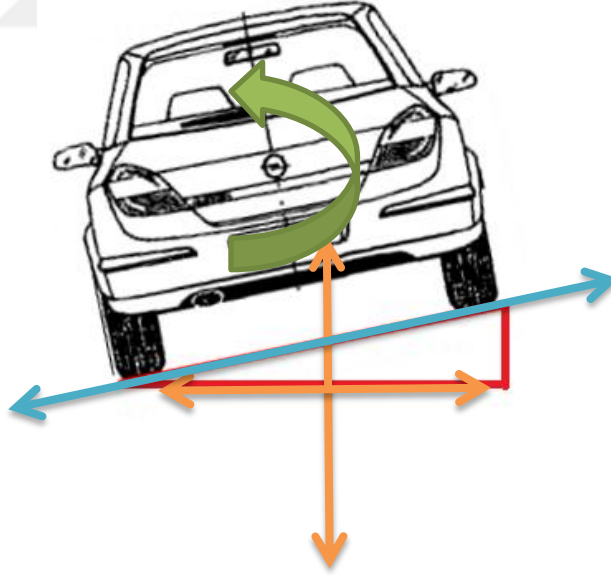
Viraj Yönü



Koordinat Düzlemi



Yol Eğimi

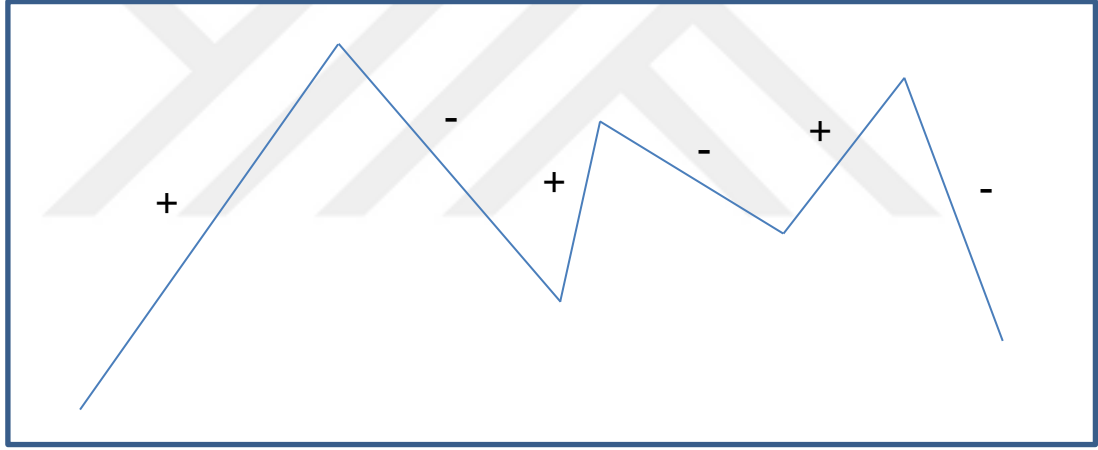


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

- Şekil 14’de araç sağa dönüş gerçekleştirmektedir. Dever yönü aracın merkezci kuvvetin yönünde güvenli dönüşü için sola yatık olarak verilmelidir. Bu durumda dever negatif yönde bir değer alır. Araca etki eden kuvvetin oluşturduğu enine eğim ise tersi yönde değer alır.
- Şekil 15’de ise araç sola dönüş gerçekleştirmektedir. Dever yönü aracın merkezci kuvvetin yönünde güvenli dönüşü için sağ yatık olarak verilmelidir. Bu durumda dever pozitif yönde bir değer alır. Araca etki eden kuvvetin oluşturduğu enine eğim ise tersi yönde değer alır.

Eğim yönünün değişmesi aynı zamanda işaretinin de değişmesi anlamına gelmektedir. Bu bağlamda bu değişim Şekil 16’da gösterilmiştir.

Şekil 16: Eğimin Pozitif ve Negatif Yönlerine Bir Örnek

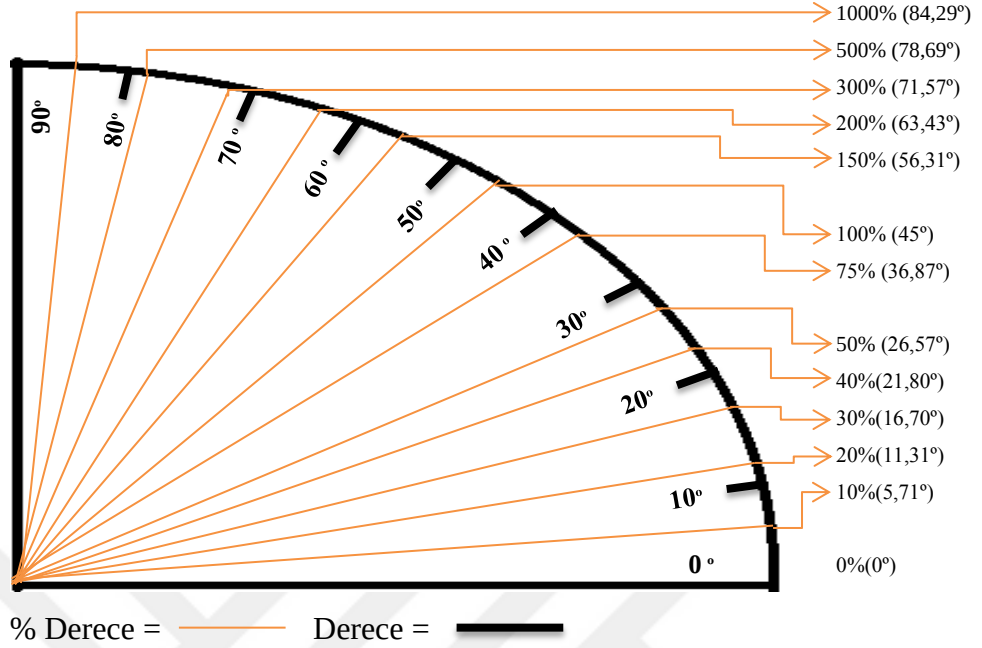


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

1.5.2 Dever Yüzdesinin Eğim Derecesine Dönüştürülmesi

Türkiye Karayolları Standartlar Kurulu tarafından kent dışı karayollarında %8’lik bir eğim ölçüsü kullanılmalıdır. Bu ölçü üzerinden daha ayrıntılı hesaplamalar yapılması için derecesel karşılığı bulunmalıdır. Bu hesaplama yapılmadan önce bilinmesi gereken durum ise %100’lük bir eğimin 90°’ye değil 45°’ye tekabül etmekte olduğudur. Şekil 17’de yüzde ve derece cinsinden eğim değerleri verilmektedir.

Şekil 17: Yüzdenin Derecesel Değerleri



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Dever sınırı olan %8'lik eğimin dereceye çevrilmesi;

1. $Eğim(\%) = \frac{KARŞI KENAR}{KOMŞU KENAR} \times 100$; Eğim sınırını yerine koyarsak.
2. $\frac{8}{100} = 0,08 = \frac{KARŞI KENAR}{KOMŞU KENAR}$
3. 0.08'lik yüzdeye karşılık gelen tanjant değeri hesaplanır.
4. $arctan(0,08) = \tan(4,6)$ olarak bulunur.

O halde; KST'nin hazırladığı rapora göre sensörün yol üzerindeki %8'lik dever sınırı derece olarak 4,6'ya karşılık gelmektedir. Bu durumu eğimin her iki yönü içinde düşünürsek yola uygulanacak deverin derece karşılığı şu şekildedir;

- Sağa virajda, eğim sola yatık (-) olacağı için dever aralığı $0 > x > -4,6$,
- Sola virajda, eğim sağ yatık (+) olacağı için dever aralığı $0 < x < 4,6$.

Burada bulunan değerler deverin yol üzerinde olması gereken derece değerleridir. Dever üzerindeki taşıt ağırlık merkezini sabit tuttuğu sürece yol üzerindeki eğim değerini doğru şekilde yansıtabilecektir. Bu noktada taşıt üzerinde deverin ölçülebilmesi için eğim sensörü kullanılmalıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

SENSÖRLER,KARŞILAŞTIRMALARI, DONANIM BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA ARACI

2.1 SENSÖRLER

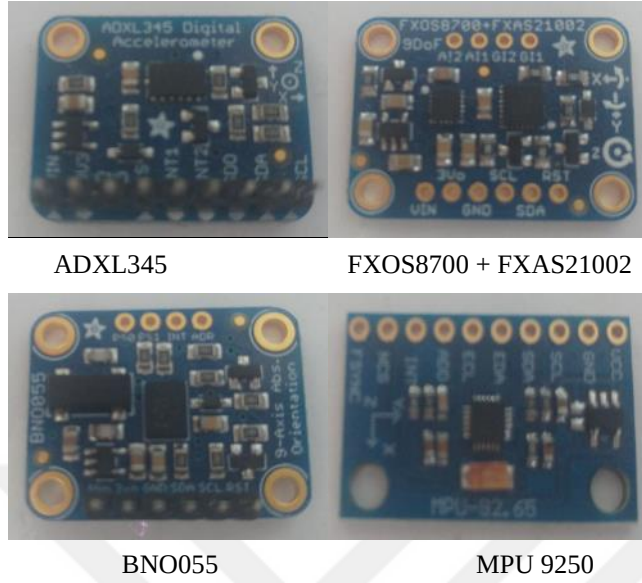
Mobil bilişim teknolojilerinin ilerlemesiyle birlikte mobil cihazlar (Akıllı telefonlar, tabletler, vb.) entegre edilebilir, hesaplama açısından verimli ve son derece düşük maliyetli hale gelmiştir. Bu cihazlardaki (GPS ve video kameralar) entegre sensörlerden yararlanarak, birçok ulaşım uygulaması başarıyla geliştirilmiştir. Diğer entegre sensörlerle, (ivmeölçerler ve jiroskoplar) bu mobil cihazlar yatay eğim değerlerinin ölçülmesinde uygun maliyetli, güvenilir veri toplanmasını desteklemek için mükemmel adaylar haline gelmişlerdir (Ai, 2017: 62-70).

Türkiye piyasasında bu sensörlere uygun maliyetlerle ulaşmak oldukça kolaydır. Günümüzde de drone yapımında veya bazı robot aksamalarında bu sensörlerin kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan bu sensörler entegre edilerek istenilen iki veya daha fazla alanda da çalışma yürütebilir. Örneğin ivme ve jiroskop sensörleri tek bir kart üzerine entegre edilerek birlikte çalışabilmektedir.

Erişime açık birçok sensörün olması uygulama geliştiricilerinin hangi sensörü seçeceğine dair kafa karışıklığına da sebep olabilmektedir. Bu durumun ortadan kalkması için kişinin çalıştığı alana yönelik nasıl bir beklenti içinde olduğunu bilmesi gerekmektedir. Hassas ölçümler veya çoklu iş faktörüne sahip durumlar için daha yüksek maliyetli sensörler seçilmektedir. Fakat maliyetin yükselmesi sensörün daha doğru sonuçlar vereceğini garantilememektedir. Sensörün çalışma halinde işleyişini etkileyecek birçok durum bulunmaktadır. Bu durumları takip eden sensör kartının montaj hatası, gürültü seviyesinin ayarlanamaması, kalibrasyonunun düzgün yapılamaması gibi fabrikasyon hataları da olabilmektedir.

Türkiye’de uygun maliyetlerde erişim sağlanabilecek bazı ivme ve jiroskop sensörleri Şekil 18’de verilmiştir.

Şekil 18: 2020 Yılına Ait Türkiye Piyasasında Alınabilecek Bazı İvme ve Jiroskop Sensörleri



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Buradan da anlaşılacağı üzere veri toplayan sensörler günümüzdeki araştırma ve çalışmalarda uygun maliyet, kalite ve performans açısından belirli bir noktaya ulaşmıştır. Bu çalışma uygulamasında kullanılan ivme ve jiroskop sensörlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bu bağlamda iç ve dış piyasada bolca ivme ve jiroskop sensörü bulunmaktadır. En iyi verimin hangi sensörden alınacağını bilmesi için gözleme ve uygulamaya dayalı karşılaştırmalar yapılmalıdır. Bu karşılaştırma sonucunda belirlenen sensör veya sensörler tez uygulaması için uygun görülmüştür.

2.2 İVMEÖLÇER SENSÖR KARŞILAŞTIRMALARI

Tez verilerinin yüksek doğrulukla elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple araç içinde çalışabilecek en iyi sensörün tespit edilebilmesi için Türkiye piyasasında erişilebilecek sensörler karşılaştırılmıştır. Bu sensörlerin çalışmaları belirli koşullar altında gözlemlenmiş, veri sayfalarındaki değerler ile de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya 9 adet sensör alınmış ve Tablo 4’te belirtilmiştir.

Tablo 4: İvmeölçer Sensörleri

Sensörler
MPU 6050
MPU 9250
FXOS8700
BNO055
ADXL335
LSM303DLHC
MMA7361
MMA8451
MPU 9255

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir

2.2.1 Sensör Karşılaştırmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Değerler

Sensör karşılaştırmalarında dikkat edilmesi gereken değerler ivmeölçer hassasiyet yüzdesi ve gürültü seviyeleridir. İvmeölçerler x,y,z ekseninde değerler vermektedir. Bu değerlerden Yanal eğim X, Dikey eğim Y bulunmaktadır.

İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için kullanılan terimlerde; çapraz eksen hassasiyeti (Cross axis sensitivity) sinyale ne kadar dikey ivme veya eğim bağlandığını gösterir. Bu hata sensör elemanının ve gerçek bileşenin montaj hatasından kaynaklanır. Başlangıç kalibrasyon toleransı (Initial calibration tolerance) veya hassasiyet doğruluğu (Sensitivity accuracy) sensörün x,y,z ivme değerler hassasiyetini göstermektedir. İvmeölçer Gürültü Seviyesi ($\mu g/\sqrt{Hz}$) için kullanılan terimlerde gürültü Yoğunluğu (Noise Density) olarak veri sayfalarında verilmiştir.

x,y,z ivme değerlerinin hassasiyet yüzdeleri sensör sabit bir yüzeye tutulduğunda değişim oranına göre hesaplanmıştır. Gürültü duyarlılığı ise sensörün çalışma durumundaki frekansının duyarlılığıdır. Bu değer yüksek olması ivme ve eğim değerinin yüksek değişkenliğe sahip olması demektir. Düşük olması ise ivme ve eğim değerinin daha sabit daha kararlı olması anlamına gelmektedir.

2.2.2 MPU 6050 İvmeölçer Özellikleri

MPU 6050 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 5’te verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Başlangıç kalibrasyon toleransıdır (Initial calibration tolerance).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Gürültü performansdır (Noise performance).

Tablo 5’teki bilgilere göre MPU 6050 sensörünün ivmeölçer hata payı %3, gürültü seviyesi $400 \mu g/\sqrt{Hz}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 5: MPU 6050 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	KOŞULLAR	MIN	TYPE	MAX	BİRİM	NOTLAR
İVMEÖLÇER DUYARLILIĞI Tam Ölçekli Aralık	AFS_SEL=0 AFS_SEL=1 AFS_SEL=2 AFS_SEL=3		2 4 8 16		<i>g</i> <i>g</i> <i>g</i> <i>g</i>	
ADC Kelime Uzunluğu	Çıktı ikinin tamamlayıcı biçimi		16		bits	
Duyarlılık Ölçeği Faktörü	AFS_SEL=0 AFS_SEL=1 AFS_SEL=2 AFS_SEL=3		16.384 8.192 4.096 2.048		LSB/ <i>g</i> LSB/ <i>g</i> LSB/ <i>g</i> LSB/ <i>g</i>	
Başlangıç Kalibrasyon Toleransı			±3		%	
Otomatik Test yanıtı Göreceli	Fabrika ayarından değiştirme	14		4	%	2
GÜRÜLTÜ PERFORMANSI GüçSpektral Yoğunluğu	@10Hz, AFS_SEL=0& ODR=1kHz		400		$\mu g/\sqrt{Hz}$	
DÜŞÜK GEÇİŞ FİLTRE YANITI	Programlanabilir Aralık	5		260	Hz	
ÇIKTI VERİ ORANI	Programlanabilir Aralık	4		1,000	Hz	
BİLGİ İŞLEV ARTIŞI			32		mg/LSB	

Kaynak: InvenSense Inc. 2013: 12

2.2.3 MPU 9250 İvmeölçer Özellikleri

MPU 9250 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 6’da verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Başlangıç toleransıdır (Initial tolerance).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Gürültü gücü spektral yoğunluğudur (Noise power spectral density).

Tablo 6’daki bilgilere göre MPU 9250 sensörünün ivmeölçer hata payı %3, gürültü seviyesi $300 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 6: MPU 9250 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	KOŞULLAR	MIN	TYPE	MAX	BİRİM
Tam Ölçekli Aralık	AFS_SEL=0		±2		g
	AFS_SEL=1		±4		g
	AFS_SEL=2		±8		g
	AFS_SEL=3		±16		g
ADC Kelime Uzunluğu	Çıktı ikinin tamamlayıcı biçimi		16		bits
Duyarlılık Ölçeği Faktörü	AFS_SEL=0		16.384		LSB/g
	AFS_SEL=1		8.192		LSB/g
	AFS_SEL=2		4.096		LSB/g
	AFS_SEL=3		2.048		LSB/g
Başlangıç Toleransı	Bileşen-Seviye		±3		%
Hassasiyet Değişimi ve Sıcaklık	-40°C’den +85°C’ye AFS_SEL=0 Bileşen-Seviye		±0,026		%/°C
Doğrusal olmayanlık	En İyi Uyum Doğrusu		±0,5		%
Çapraz Eksen Hassasiyeti			±2		%
Sıfır-G Başlangıç Kalibrasyon Toleransı	Bileşen-Seviye, X,Y		±60		mg
	Bileşen-Seviye, Z		±80		mg
Sıfır-G Seviye Değişimi ve Sıcaklık	-40°C to +85°C		±1,5		mg/°C
Gürültü Gücü Spektral Yoğunluğu	Düşük gürültü modu		300		$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Toplam RMS Gürültüsü	DLPFCFG=2 (94Hz)			8	mg-rms
Düşük Geçişli Filtre Yanıtı	Programmable Range	5		260	Hz
BİLGİ İŞLEV ARTIŞI			4		mg/LSB
İvmeölçer Başlangıç Zamanı	Uyku modundan		20		ms
	Baştan Başlatma (Soğuk Başlatma), 1ms V _{DD} ramp		30		ms
Çıktı Veri Hızı	Düşük güç	0.24		500	Hz
	Görev döngüsü, Hararet		±15		%
	Düşük gürültü (active)	4		4000	Hz

Kaynak: InvenSense Inc. 2016: 9

2.2.4 FXOS8700 İvmeölçer Özellikleri

FXOS8700 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 7’de verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Doğruluk hassasiyetidir (Sensitivity accuracy).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Çıkış gürültü yoğunluğu normal moddur (Output noise density, Normal mode).

Tablo 7’deki bilgilere göre FXOS8700 sensörünün ivmeölçer hata payı %2,5, gürültü seviyesi normal modunda $126 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ düşük gürültü modunda $99 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 7: FXOS8700 Teknik Özellikleri

SEMBOL	PARAMETRE	KOŞULLAR	MIN	TYP	MAX	BİRİM
FS _{ACC}	Ölçüm aralığı	±2 g mod ±4 g mod ±8 g mod	-	±2 ±4 ±8	- - -	g g g
SEN _{ACC}	Hassasiyet	±2 g mod ±4 g mod ±8 g mod	- - -	4096 0,244 2048 0,488 1024 0,976	- - - - - -	LSB/g mg/LSB LSB/g mg/LSB LSB/g mg/LSB
SEN-TOL _{ACC}	Hassasiyet Doğruluğu		-	±2,5	-	%SEN _{ACC}
OFF _{ACC}	Sıfır-g seviye Dengeleme Doğruluğu	±2 g, ±4 g, ±8 g modları	-	±20	-	mg
NL _{ACC}	Doğrusal olmayanlık (Doğrudan sapma)	± 1 g üzeri normal mod	-	±0,5	-	%FS _{ACC}
STOC _{ACC}	Otomatik çıktı değişikliği	±2 g mode, X-axis ±2 g mode, Y-axis ±2 g mode, Z-axis	+192 +270 +1275		- - -	LSB
ND _{ACC}	Çıkış gürültü yoğunluğu	ODR = 400 Hz, normal mod ODR = 400 Hz, low-noise	- -	126 99	- -	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$

Kaynak: NXP 2017: 8

2.2.5 BNO055 İvmeölçer Özellikleri

BNO055 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 8’de verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Tolerans hassasiyetidir (Sensitivity tolerance).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Çıkış gürültü yoğunluğudur (Output noise density).

Tablo 9’daki bilgilere göre BNO055 sensörünün ivmeölçer hata payı %1 ile %4 arasında, gürültü seviyesi 150 ile 190 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ arasında olarak belirlenmiştir.

Tablo 8: BNO055 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	SEMBOL	KOŞULLAR	MIN	TYP	MAX	BİRİM
Hassasiyet	S	All gFSXg Values, T _A =25°C		1		LSB/mg
Hassasiyet toleransı	Stol	T _A =25°C, gFS2g		±1	4	%
Hassasiyet Sıcaklık Sapması	TCS	gFS2g, Nominal VDD gereçleri, Sıcaklık Çalışma Koşulları		±0,03		%/K
Hassasiyet Besleme Gerilimi Sapması	SVDD	gFS2g, T _A =25°C, VDD _{min} ≤ VDD ≤ VDD _{max}		0,065	0,2	%/V
Sıfır-g Dengelemesi (x,y,z)	Off _{xyz}	gFS2g, T _A =25°C, nominal VDD gereçleri, ömür boyunca	-150	±80	+ 150	mg
Sıfır-g Ofset Sıcaklık Sapması	TCO	gFS2g, Nominal VDD gereçleri		±1	±3,5	mg/K
Sıfır-g Dengeleme Besleme Gerilim Sapması	OffVDD	gFS2g, T _A =25°C, VDD _{min} ≤ VDD ≤ VDD _{max}		1,5	2,5	mg/V
Çıkış Gürültü Yoğunluğu	n _{rms}	gFS2g, T _A =25°C Nominal VDD gereçleri Normal mod		50	90	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$

Kaynak: Bosch 2014: 13

2.2.6 ADXL335 İvmeölçer Özellikleri

ADXL335 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 9’da verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Çapraz eksen hassasiyetidir (Cross axis sensitivity).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Gürültü yoğunluğu, X çıktısı, Y çıktısıdır (Noise density (X_{out} , Y_{out})).

Tablo 9’daki bilgilere göre ADXL335 sensörünün ivmeölçer hata payı %1, gürültü seviyesi 150 olarak belirlenmiştir.

Tablo 9: ADXL335 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	KOŞULLAR	MIN	TYP	MAX	BİRİM
SENSÖR GİRDİSİ	Each axis				
Ölçüm aralığı		3	±3,6		<i>g</i>
Doğrusal olmayanlık	Tam ölçeğin %’si		±0,3		%
Paket Hizalama Hatası			±1		Degrees
Eksenler Arası Hizalama Hatası			±0,1		Degrees
Çapraz Eksen Hassasiyeti			±1		%
Hassasiyet (RATYOMETRİK)	Each axis				
X ÇIKIŞ, Y ÇIKIŞ, Z ÇIKIŞ’ta hassasiyet	$V_S = 3\text{ V}$	270	300	30	mV/g
Sıcaklık Nedeniyle Hassasiyet Değişimi	$V_S = 3\text{ V}$		±0,01		%/°C
GÜRÜLTÜ PERFORMANSI					
Gürültü Yoğunlu X ÇIKTI, Y ÇIKTI		150			$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms
Gürültü Yoğunluğu Z ÇIKTI		300			$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms
FREKANS TEPKİSİ					
Bant genişliği X,Y ÇIKTISI	Harici filtre yok	1600			Hz
Bant genişliği Z ÇIKTISI	Harici filtre yok	550			Hz
		32 ± 15%			kΩ
R_{FILT} Tolerans Sensor Resonant Frequency		5.5			kHz

Kaynak: Analog Devices 2009: 3

2.2.7 LSM303DLHC İvmeölçer Özellikleri

LSM303DLHC İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 10’da verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer sensör tablosunda bulunamamıştır.

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer İvmeölçer gürültü yoğunluğudur (Acceleration noise density).

Tablo 10’daki bilgilere göre LSM303DLHC sensörünün ivmeölçer yüzde hata payı bulunamamıştır, gürültü seviyesi 220 olarak belirlenmiştir.

Tablo 10: LSM303DLHC Teknik Özellikleri

SEMBOL	PARAMETRE	TEST KOŞULLARI	MIN	TYP	MAX	BİRİM
LA_TCSO	Doğrusal ivme duyarlılığı değişimi ile sıcaklık karşılaştırması	FS biti 00 olarak ayarlandı		0,01		/°C
LA_TyOff	Doğrusal ivme tipik Sıfır-g seviyesi ofset doğruluğu	FS biti 00 olarak ayarlandı		60		<i>g</i>
LA_TCOff	Doğrusal ivme Sıfır-g seviye değişimi ve sıcaklık	Max. delta from 25 °C		0,5		mg/°C
LA_An	Hızlanma gürültü yoğunluğu	FS biti 00 olarak ayarlandı normal mod (ODR biti 1001 olarak ayarlandı)		220		ug/sqrt(Hz)
M_R	Manyetik çözünürlük			2		mgauss
M_CAS	Manyetik çapraz eksen hassasiyeti	Çapraz alan = .05 gauss H uygulandı = ± 3 gauss		1		%FS/gauss
M_EF	Maksimum maruz kalma alanı	Sıfır okuma üzerinde izin verici etki yok			10000	gauss
M_DF	Rahatsız edici alan	Hassasiyet azalmaya başlar. Hassasiyeti geri getirmek için S / R darbesini kullanın			20	gauss
Top	Çalışma sıcaklığı aralığı		40		+85	°C

Kaynak: STMicroelectronics 2011: 10

2.2.8 MMA7361 İvmeölçer Özellikleri

MMA7361 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 11’de verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Çapraz eksen hassasiyetidir (Cross axis sensitivity).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Güç spektral yoğunluğudur (Power spectral density).

Tablo 11’deki bilgilere göre MMA7361 sensörünün ivmeölçer hata payı %5, gürültü seviyesi 350 olarak belirlenmiştir.

Tablo 11: MMA7361 Teknik Özellikler

PARAMETRE	SEMBOL	MIN	TYP	MAX	BİRİM
Çalışma Aralığı	V _{DD}	2,2	3,3	3,6	V
Besleme gerilimi	I _{DD}	—	400	600	µA
Besleme Akımı	I _{DD}	—	3	10	µA
Uyku Modunda Besleme Akımı	T _A	-40	—	+85	°C
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	g _{FS}	—	±1,5	—	g
Hızlanma Aralığı, X,Y,Z Eksen g-Select: 0 g-Select: 1	g _{FS}	—	±6,0	—	g
Gürültü Güç Spektral Yoğunluğu RMS (0.1 Hz – 1 kHz) ⁽⁴⁾	n _{PSD}	—	350	—	µg/ Hz
Kontrol Zamanlaması	t _{RESPONSE}	—	1,0	2,0	ms
Güç Açma Tepki Süresi	t _{ENABLE}	—	0,5	2,0	ms
Yanıt Süresini Etkin	t _{ST}	—	2,0	5,0	ms
Otomatik Test Yanıt Süresi	f _{GCELLXY}	—	6,0	—	kHz
Algılama Elemanı Rezonans	f _{GCELLZ}	—	3,4	—	kHz
Frekans	f _{CLK}	—	11	—	kHz
Dahili Örnekleme Frekansı	V _{FSO}	V _{SS} +0,1	—	V _{DD} -0,1	V
Çıkış Aşaması Performansı Tam Ölçekli Çıkış Aralığı (I _{OUT} = 3 µA)	NL _{OUT}	-1,0	—	+1,0	%FSO
Doğrusal olmayanlık, X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	V _{XY, XZ, YZ}	-5,0	—	+5,0	%
Cross-Axis Sensitivity ⁽¹⁰⁾					

Kaynak: NXP 2008: 3

2.2.9 MMA8451 İvmeölçer Özellikleri

MMA8451 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 12’de verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Doğruluk hassasiyetidir (Sensitivity accuracy).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Çıkış gürültüsü/Çıkış gürültüsü düşük gürültü modudur (Output noise/Output noise low noise mod).

Tablo 12’deki bilgilere göre MMA8451 sensörünün ivmeölçer hata payı %2,64, gürültü seviyesi normal modunda $126 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ düşük gürültü modunda $99 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 12: MMA8451 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	TEST KOŞULLARI	SEMBOL	MIN	TYP	MAX	BİRİM
Ölçüm aralığı	FS[1:0] set to 00 2g Mode	FS		±2		g
	FS[1:0] set to 01 4g Mode			±4		
	FS[1:0] set to 10 8g Mode			±8		
Hassasiyet	FS[1:0] set to 00 2g Mode	So		4.096		counts/g
	FS[1:0] set to 01 4g Mode			2.048		
	FS[1:0] set to 10 8g Mode			1.024		
Hassasiyet Doğruluğu		Soa		2,64		%
Çıktı Veri Bant Genişliği		BW	ODR/3		DR/2	Hz
Çıkış Gürültüsü	Normal Mod ODR = 400 Hz	Gürültü		126		$\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Çıkış Gürültüsü Düşük Gürültü Modu	Normal Mod ODR = 400 Hz	Gürültü		99		$\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Çalışma Sıcaklığı Aralığı		Top	-40		+85	C

Kaynak: NXP 2017: 6

2.2.10 MPU 9255 İvmeölçer Özellikleri

MPU 9255 İvmeölçerin teknik özellikleri Tablo 13’de verilmektedir. İvmeölçer hassasiyet yüzdesi için dikkat edilmesi gereken değer Başlangıç toleransıdır (Initial tolerance).

Gürültü seviyesi için dikkat edilmesi gereken değer Gürültü gücü spektral yoğunluğudur (Noise power spectral density).

Tablo 13’deki bilgilere göre MPU9255 sensörünün ivmeölçer hata payı %3, gürültü seviyesi 300 olarak belirlenmiştir.

Tablo 13: MPU9255 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	KOŞULLAR	MIN	TYP	MAX	BİRİM
Tam Ölçekli Aralık	AFS_SEL=0		2		g
	AFS_SEL=1		4		g
	AFS_SEL=2		±8		g
	AFS_SEL=3		±16		g
ADC Kelime Uzunluğu	Çıktı ikinin tamamlayıcı biçimi		16		bits
Duyarlılık Ölçeği Faktörü	AFS_SEL=0		16.384		LSB/g
	AFS_SEL=1		8.192		LSB/g
	AFS_SEL=2		4.096		LSB/g
	AFS_SEL=3		2.048		LSB/g
Başlangıç Toleransı	Bileşen-Seviye		±3		%
Hassasiyet Değişimi ve Sıcaklık	-40°C to +85°C AFS_SEL=0 Bileşen-Seviye		±0,026		%/°C
Doğrusal olmayanlık	En İyi Uyum Doğrusu		±0,5		%
Çapraz Eksen Hassasiyeti			±2		%
Sıfır-G Başlangıç Kalibrasyon Toleransı	Bileşen-Seviye, X,Y		±60		mg
	Bileşen-Seviye, Z		±80		mg
Sıfır-G Seviye Değişimi ve Sıcaklık	-40°C to +85°C		±1,5		mg/°C
Gürültü Gücü Spektral Yoğunluğu	Low noise mode		300		$\frac{\mu g}{\sqrt{Hz}}$
Toplam RMS Gürültüsü	DLPFCFG=2 (94Hz)			8	mg-rms
Düşük Geçişli Filtre Yanıtı	Programlanabilir Aralık	5		60	Hz
BİLGİ İŞLEV ARTIŞI					mg/LSB
İvmeölçer Başlangıç Zamanı	Uyku modundan		20		ms
	Baştan Başlatma (Soğuk Başlatma), 1ms V _{DD} ramp		30		ms
Çıktı Veri Hızı	Düşük Güç	0,24		500	Hz
	Düşük Güç,Hararet		±15		%
	Düşük gürültü (aktif)	4		4000	Hz

Kaynak: InvenSense Inc. 2014: 9

2.2.11 İvmeölçer Sensör Karşılaştırmaları Sonucu

Karşılaştırması yapılan sensörler 4 kategoride ele alınmıştır.

- Yanal (X) Eğim Değişim Aralığında; FXOS8700
- Gürültü Seviyesinde; FXOS8700
- İvme Değerlerinin Hassasiyet Yüzdesinde; ADXL335
- Maliyette; MPU 6050 Olarak belirlenmiştir.

İvme değer hassasiyet yüzdesi ADXL335'den az olsa da düşük gürültü seviyesi sayesinde ivme değer ölçümünde FXOS8700 öne geçmiştir. Araç içinde çalışacak sensörün hata oranı mevcut olarak eldeki veriye eklenir veya çıkartılabilir fakat gürültü seviyesi yüksek olan bir sensör kararlı değerler veremeyeceği için bunu yapmak daha zordur. Gözlemlenen değerler sabit bir yüzeyde gerçekleştirilmiştir ve bu değerler gürültü seviyesi ile doğru orantılı olarak artmakta veya azalmaktadır. Bütün bu değerlendirmeler sonucunda Tablo 14'de görüldüğü üzere tez çalışmasına en uygun sensör FXOS8700 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 14: İvmeölçer Karşılaştırma Sonuçları

SENSÖRLER	Sabit Yüzeyde Gözlemlenen Yanal (X) Eğim Değişim Aralığı	Gürültü Seviyesi $\mu g/\sqrt{Hz}$	İvme Değerlerinin Hassasiyet Yüzdeleri (%)	Maliyet 01/04/2020 Tarihli Fiyat Bilgileridir
MPU 6050	1,5	400	± 3	8,50 TL
MPU 9250	0,4	300	± 3	48,00 TL
FXOS8700	0,1	<126	$\pm 2,5$	112 TL + FXAS21002
BNO055	0,3	190	± 1 & ± 4	260 TL + BMI055
ADXL335	0,3	150	± 1	133,5 tL
LSM303DLHC	1	220	-	50,00 TL + L3GD20
MMA7361	1	350	± 5	33,00 TL
MMA8451	0,3	126	$\pm 2,64$	63,00 TL
MPU9255	0,5	300	± 3	134,00 TL

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

2.3 JİROSKOP SENSÖR KARŞILAŞTIRMALARI

Jiroskop sensörleri genellikle ivmeölçer sensörleriyle entegre olarak çalışmaktadır. Karşılaştırmaya 6 adet sensör alınmış ve Tablo 15’te belirtilmiştir.

Tablo 15: Jiroskop Sensörleri

SENSÖRLER	Açıklama	Markası
L3GD20	3 Eksenli MEMS Jiroskop (LSM303DLHC’de kullanılır)	ST
FXAS21002C	3 Eksenli MEMS Jiroskop (FXOS8700 ile Birlikte Kullanılır)	NXP
LSM9DS0	9 Eksen * MEMS Sensörü (Accel + Mag + Gyro)	ST
LSM9DS1	9 Eksen * MEMES Sensörü (Acce + Mag + Gyro)	ST
MPU-9250	9 Eksen * MEMS Sensörü (Accel + Mag + Gyro)	ST
BMI055	6 Eksen MEMS Sensörü (Accel + Gyro) (BNO055'te kullanılır)	Bosch

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Değerlendirmeye alınan bu sensörler veri sayfalarında bulunan bilgilere göre değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca Adafruit teknoloji şirketinde jiroskop karşılaştırma çalışmasından da faydalanılmıştır (Townsend, 2017). Bu değerlendirme sonucunda tez içeriğinde kullanılacak olan jiroskop sensörünün gözleme dayalı hata payı 3. Bölümün Jiroskop Sensörünün Yanal Dönüş Birimi Olan Z eksenindeki Ölçüm Hata Payı kısmında yer almaktadır.

Tablo 16 sadece karşılaştırılabilir özelliklerini göstermek için Tablo 15’te belirtilen jiroskop sensörlerinin anahtar değerini göstermektedir.

Tablo 16: Jiroskop Sensörlerinin DPS Değerleri

Sensörler	Dinamik Aralık (DPS)	ADC
L3GD20	250/500/2.000	16 bits
FXAS21002C	250/500/1.000/2.000	16 bits
LSM9DS0	245/500/2.000	16 bits
LSM9DS1	245/500/2.000	16 bits
MPU-6250	250/500/1.000/2.000	16 bits
BMI055	125/250/500/1.000/2.000	16 bits

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

2.3.1 Sensör Karşılaştırmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Değerler

Veri Sayfasında dikkat etmemiz gereken değer DPS olarak sıfır hız seviyesini gösterir. DPS değeri baz alındığında çıkış aralığı ne kadar yüksek olursa sıfır oranı hatası o kadar artar ($\pm 250\text{dps}$, $\pm 2.000\text{dps}$ 'den daha düşük bir sıfır oranı hatasına sahiptir). Bazen veri sayfalarında aranan değer Denge kalibrasyon hatası olarak yazılabilmektedir. Bu değer gerçek çıkışın sapmasını gösterir hızlanma yoksa ideal çıkış sinyalinden gelen sinyali veya cihazda hiçbir hareket olmadığında üretilcek çıkış değerini daha net olarak belirtir. Bazen de DPS değeri LSB olarak verilmektedir. Bu durumda LSB'nin DPS'ye çevrilmesi gerekmektedir.

Genellikle sensör veri sayfalarında aranan değerler bulunabilmektedir. Fakat bazı üretici firmalar bu değerleri saklama yoluna gitmektedir. Bunu kasıtlı olarak yapıp yapmadıkları hakkında herhangi bir görüş bulunmamaktadır. Bu durumla karşılaşılan sensör detaylarında varsayım yoluna başvurulmuştur.

2.3.2 L3GD20 Jiroskop Özellikleri

İstenilen DPS değeri Tablo 17’de DVoff olarak belirtilmiştir.

- Çıkış aralığı: ± 2.000 dps = Sıfır Oran Hatası: 75 dps’dir.
- Çıkış aralığı: ± 500 dps = Sıfır Oran Hatası: 15 dps’dir.
- Çıkış aralığı: ± 250 dps = Sıfır Oran Hatası: 10 dps’dir.

Tablo 17: L3GD20 Teknik Özellikleri

SEMBOL	PARAMETRE	TEST KOŞULU	MIN	TYP	MAX	BİRİM
FS	Ölçüm aralığı	Kullanıcı tarafından seçilebilir		± 250		dps
				± 500		
				± 2000		
So	Hassasiyet	FS = 250 dps		8,75		mdps/digit
		FS = 500 dps		17,50		
		FS = 2000 dps		70		
SoDr	hassasiyet değişimi ile sıcaklık karşılaştırması	From -40 °C to +85 °C		± 2		%
DVoff	Dijital sıfır oran seviyesi	FS = 250 dps		± 10		dps
		FS = 500 dps		± 15		
		FS = 2000 dps		± 75		
OffDr	Sıfır oranlı seviye değişimi ve sıcaklık	FS = 250 dps		$\pm 0,03$		dps/°C
		FS = 2000 dps		$\pm 0,04$		dps/°C
NL	Doğrusal Olmayan	En uygun düz çizgi		0,2		% FS
Rn	Oran gürültü yoğunluğu			0,03		ps/(Hz)
ODR	Dijital çıkış veri hızı			95/190/ 380/760		Hz
Top	Çalışma sıcaklığı aralığı		-40		+85	°C

Kaynak: STMicroelectronics 2013: 9

2.3.3 LSM9DS0 Jiroskop Özellikleri

İstenilen DPS değeri Tablo 18’de belirtilmiştir.

- Çıkış aralığı: ± 2.000 dps = Sıfır Oran Hatası: 25 dps’dir.
- Çıkış aralığı: ± 500 dps = Sıfır Oran Hatası: 15 dps’dir.
- Çıkış aralığı: ± 245 dps Sıfır Oran Hatası: 10 dps’dir.

Tablo 18: LSM9DS0 Teknik Özellikleri

SEMBOL	PARAMETRE	TEST KOŞULLARI	MIN	TYP	MAX	BİRİM
G_SoDr	Açısal hız hassasiyeti sıcaklık ve sıcaklık değişimi	-40 ° C ile +85 ° C arası		2		
LA_TyOff	Doğrusal ivme tipik sıfır-g seviye denge hassasiyeti			60		<i>g</i>
G_TyOff	Açısal oran tipik sıfır oran seviyesi	FS = 245 dps		10		dps
		FS = 500 dps		15		
		FS = 2000 dps		25		
LA_TCOff	Doğrusal ivme sıfır-g seviye değişimi ve sıcaklık	25 ° C'den maksimum delta		0,5		<i>g/°C</i>
G_TCOff	Sıfır oranlı seviye değişimi ve sıcaklık			0,05		<i>ps/°C</i>
M_EF	Maksimum maruz kalma alanı	Sıfır okuma üzerinde perma etkisi yok			10000	auss
M_DF	Manyetik rahatsız edici alan	Hassasiyet azalmaya başlar. Otomatik S / R darbesi hassasiyeti geri kazandırır			20	auss
LA_ST	Doğrusal hızlanma kendi test pozitif farkı	± 2 g aralık, X, Y, Z eksen AST1: 0 = 01	60		1700	<i>g</i>
_ST	Açısal oran kendi test çıkış değişikliği	FS = 245 dps	20		250	dps
		FS = 500 dps	70		400	
		FS = 2000 dps	150		1000	
Top	Çalışma sıcaklığı aralığı		-40		+85	°C

Kaynak: STMicroelectronics 2013: 14

2.3.4 LSM9DS1 Jiroskop Özellikleri

İstenilen DPS değeri Tablo 19’de belirtilmiştir.

- Çıkış aralığı: ± 2.000 dps = Sıfır Oran Hatası: 30 dps’dir.
- Çıkış aralığı: ± 500 dps = Sıfır Oran Hatası: Verilmemiştir.
- Çıkış aralığı: ± 245 dps Sıfır Oran Hatası: Verilmemiştir.

Tablo 19: LSM9DS1 Teknik Özellikleri

SEMBOL	PARAMETRE	TEST KOŞULU	MIN	TYP	MAX	BİRİM
G_FS	Açısal oran ölçüm aralığı			± 245		dps
				± 500		
				± 2.000		
LA_So	Doğrusal ivme hassasiyeti	Doğrusal ivme FS = ± 2 g		0,061		mg/LSB
		Doğrusal ivme FS = ± 4 g		0,122		
		Doğrusal ivme FS = ± 8 g		0,244		
		Doğrusal ivme FS = ± 16 g		0,732		
M_GN	Manyetik hassasiyet	Manyetik FS = ± 4 gauss		0,14		mgauss/LSB
		Manyetik FS = ± 8 gauss		0,29		
		Manyetik FS = ± 12 gauss		0,43		
		Manyetik FS = ± 16 gauss		0,58		
G_So	Açısal hız hassasiyeti	Açısal oran FS = ± 245 dps		8,75		mdps/LSB
		Açısal oran FS = ± 500 dps		17,50		
		Açısal oran FS = ± 2.000 dps		0		
LA_TyOff	Doğrusal ivme tipik sıfır-g seviye ofset doğruluğu	FS = ± 8 g		90		mg
M_TyOff	Sıfır gauss seviyesi	FS = ± 4 gauss		1		gauss
G_TyOff	Açısal oran tipik sıfır oran seviyesi	FS = ± 2.000 dps		30		dps
M_DF	Manyetik bozulma alanı	Sıfır gauss dengesi bozulmaya başlar			0	gauss
Top	Çalışma sıcaklığı aralığı		-40		85	°C

Kaynak: STMicroelectronics 2015: 12

2.3.5 MPU 9250 Jiroskop Özellikleri

İstenilen DPS değeri Tablo 20’de belirtilmiştir.

- Çıkış aralığı: ± 2.000 dps = Sıfır Oran Hatası: 5(?)’dir.
- Çıkış aralığı: ± 500 dps = Sıfır Oran Hatası: 5(?)’dir.
- Çıkış aralığı: ± 250 dps Sıfır Oran Hatası: 5’dir.

Veri sayfasına göre 25 derece sıcaklık ortamında çalışan sensörün çıkış aralığı: ± 250 dps sıfır oran hatası ise 5’dir. Fakat diğer çıkış aralıklarıyla ilgili bir bilgi verilmemiştir. Bu sebeple 25 derece sıcaklık ortamının korunduğunu varsayarak diğer değerlerde 5 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 20: MPU 9250 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	KOŞULLAR	MIN	TYP	MAX	BİRİMLER
Tam Ölçekli Aralık	FS_SEL=0		± 250		$^{\circ}/s$
	FS_SEL=1		± 500		$^{\circ}/s$
	FS_SEL=2		± 1000		$^{\circ}/s$
	FS_SEL=3		± 2.000		$^{\circ}/s$
Jiroskop ADC Kelime Uzunluğu			16		bits
Duyarlılık Ölçeği Faktörü	FS_SEL=0		131		LSB/ $^{\circ}/s$
	FS_SEL=1		65.5		LSB/ $^{\circ}/s$
	FS_SEL=2		32.8		LSB/ $^{\circ}/s$
	FS_SEL=3		16.4		LSB/ $^{\circ}/s$
Duyarlılık Ölçeği Faktörü Toleransı	25 $^{\circ}C$		± 3		%
Hassasiyet Ölçeği Faktörü Değişimi Aşırı Sıcaklığı	40 $^{\circ}C$ ile +85 $^{\circ}C$ arası		± 4		%
Doğrusal Olmayan	En İyi Uyum Doğrusu; 25 $^{\circ}C$		$\pm 0,1$		%
Çapraz Eksen Hassasiyeti			± 2		%
İlk ZRO Toleransı	25 $^{\circ}C$		± 5		$^{\circ}/s$
ZRO Aşırı Sıcaklık Değişimi	40 $^{\circ}C$ ile +85 $^{\circ}C$ arası		± 30		$^{\circ}/s$
Toplam RMS Gürültüsü	DLPFCFG=2 (92 Hz)		0,1		$^{\circ}/s$ -rms
Oran Gürültü Spektral Yoğunluğu			0,01		$^{\circ}/s/\sqrt{Hz}$
Jiroskop Mekanik Frekansları		25	27	9	KHz
Düşük Geçişli Filtre Yanıtı	Programlanabilir Aralık	5		50	Hz
Jiroskop Başlangıç Zamanı	Uyku modundan		35		ms
Çıktı Veri Hızı	Programlanabilir, Normal mod	4		8.000	Hz

Kaynak: InvenSense Inc. 2016: 8

2.3.6 BMI055 Jiroskop Özellikleri

İstenilen DPS değeri Tablo 21’de belirtilmiştir.

- Çıkış aralığı: ± 2.000 dps = Sıfır Oran Hatası: Verilmemiştir.
- Çıkış aralığı: ± 500 dps = Sıfır Oran Hatası: Verilmemiştir.
- Çıkış aralığı: ± 245 dps Sıfır Oran Hatası: 1 dps’dir.

Tablo 21: BMI055 Teknik Özellikleri

PARAMETRE	SEMBOL	DURUM	MIN	TYP	MAX	BİRİM
Hassasiyet		$T_A=25^{\circ}\text{C}$, R_{FS200} $T_A=25^{\circ}\text{C}$, $R_{FS10000}$ $T_A=25^{\circ}\text{C}$, R_{FS500} $T_A=25^{\circ}\text{C}$, R_{FS250} $T_A=25^{\circ}\text{C}$, R_{FS125}		16,4 32,8 65,6 131,2 262,4		LSB/°s LSB/°s LSB/°s LSB/°s LSB/°s
Hassasiyet toleransı		$T_A=25^{\circ}\text{C}$, R_{FS2000}		± 1		%
Sıcaklık Üzerindeki Hassasiyet Değişimi	TCS	Nominal V_{DD} Kaynakları $-40^{\circ}\text{C} \leq T \leq +85^{\circ}\text{C}$ R_{FS2000}		$\pm 0,03$		%/K
Hassasiyet Besleme Volt. sürüklenme	SVDD	$T_A=25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD_min} \leq V_{DD} \leq V_{DD_max}$		$< 0,4$		%/V
Doğrusal Olmayan	NL	en uygun doğru R_{FS1000} , R_{FS2000}		$\pm 0,05$		%FS
g- Hassasiyeti		Üç eksen de hızlanma uyarılarına duyarlılık (frekans $< 20\text{kHz}$)			0,1	°/s/g
Sıfır oranlı Denge	Off Ω_x Ω_y and Ω_z	Nominal V_{DD} kaynakları $T = 25^{\circ}\text{C}$, yavaş ve hızlı Denge iptali kapalı		± 1		°/s
Sıfır Ω - Denge Sıcaklık Değişimi	TCO	Nominal V_{DD} Kaynakları $-40^{\circ}\text{C} \leq T \leq +85^{\circ}\text{C}$ R_{FS2000}		$\pm 0,015$		°/s per K
Sıfır Ω - Offset Besleme Volt. sürüklenme	Off Ω_{VDD}	$T_A=25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD_min} \leq V_{DD} \leq V_{DD_max}$		$< 0,1$		°/s /V
Çıkış Gürültüsü	rms	rms, $BW=47\text{Hz}$ (@ $0.014^{\circ}/\sqrt{\text{Hz}}$)		0,1		°/s

Kaynak: Bosch 2014: 15

2.3.7 FXAS21002C Jiroskop Özellikleri

Tablo 22’de DPS değerleri LSB olarak verilmiştir. Bu durumda LSB’nin DSP değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Test koşulları kısmında CTRL_REG0[FS] olarak belirtilen yerler 2000, 500, ve 250 DPS’in alan adlarıdır.

- Çıkış aralığı: ± 2000 dps (CTRL_REG0[FS] = 00), ± 25 LSB = Sıfır Oran Hatası $25 * 0,0625 = 1,5625$ dps’dir
- Çıkış aralığı: ± 250 dps (CTRL_REG0[FS] = 11), ± 25 LSB = Sıfır Oran Hatası $25 * 0,0078125 = 0.1953$ dps’dir.

Sensörün kart montajı sonrasında veri sayfasında şu dipnot yer almaktadır; “Sensör kartının Denge Oran Özellikleri sekiz katmanlı bir PCB’yi temel alır” bu durum bize sıfır oran hatasının 2 ile çarpmamıza sebep olmaktadır.

- ± 2.000 dps = 3,125 dps
- ± 500 dps = 0,78125 dps
- ± 250 dps = 0,3906 dps

Tablo 22: FXAS21002C Teknik Özellikleri

PARAMETRE	SEMBOL	TEST KOŞULLARI	MIN	TYP	MAX	BİRİM
ADC Çözünürlüğü	n	—	—	16	—	bits
Tam ölçek aralığı	FSR	CTRL_REG0[FS]= 00 CTRL_REG0[FS]= 01 CTRL_REG0[FS]= 10 CTRL_REG0[FS]= 11	—	± 2.000 ± 1.000 ± 500 ± 250	—	dps
Hassasiyet	S ₀	CTRL_REG0[FS]= 00 CTRL_REG0[FS]= 01 CTRL_REG0[FS]= 10 CTRL_REG0[FS]= 11	—	62,5 31,25 15,625 7,8125	—	mdps/LSB
Hassasiyet Sıcaklık Katsayısı	ε_T	-40 ila +85 ° C	—	XY: $\pm 0,08$ Z: $\pm 0,01$	—	%/°C
Sıfır oranlı ofset	D _O	CTRL_REG0[FS] = 00	—	± 25	—	LSB
Sıfır Oranlı Ofset, Kart Üstü Montaj	D _{O-PBM}	CTRL_REG0[FS] = 00	—	± 50	—	LSB

Kaynak: NXP 2015: 9

2.3.8 Jiroskop Sensör Karşılaştırmaları Sonucu

Tablo 23: Jiroskop Karşılaştırmaları Sonucu

SENSÖRLER	± 250 dps	± 500 dps	± 2.000 dps
L3GD20	10 dps	15 dps	75 dps
FXAS21002C	0,3906 dps	0,78125 dps	3,125 dps
LSM9DS0	10 dps	15 dps	25 dps
LSM9DS1	? <= 30 dps	? <= 30 dps	30 dps
MPU 9250	5 dps	5(?)	5(?)
BMI055	1 dps	?	?

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda tablodaki bilgilere göre tez çalışmasına en uygun jiroskop sensörü FXAS21002C olarak tespit edilmiştir. Jiroskop ivmeölçer kadar önemli olmasa da en iyi sonucu veren sensörün kullanılması, aracın dönüş yönünü hassas olarak belirlemektedir. Ayrıca virajlarda algılanan jiroskop değerlerine ek olarak şerit takibi, düz şeritte var olan kaymaların tespit edilmesi gibi daha hassas konularda da kullanıma uygundur.

İvmeölçer test sonucuna göre ise iyi sensör FXOS8700'dir. Her iki testte de en iyi sonucu veren bu sensörler NXP-9DOF (FXOS8700 + FXAS21002C) bağlantı kartında entegre olarak çalışmaktadır.

2.4 TEZ KAPSAMINDA KULLANILAN DONANIM BİLEŞENLERİ

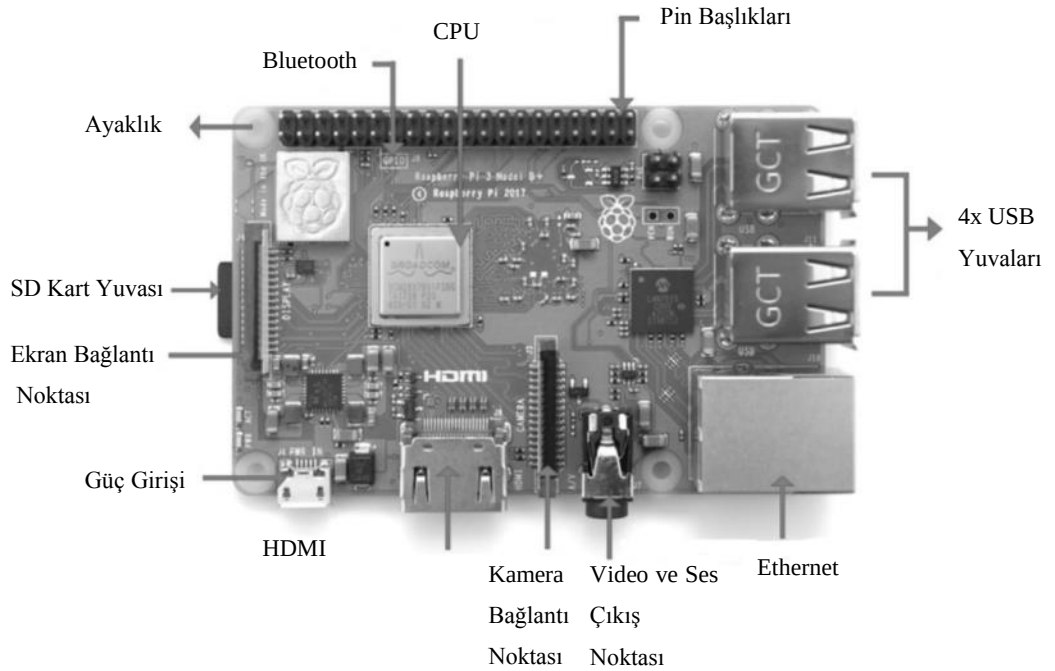
Tez kapsamındaki yol verilerinin alımında bir takım donanım araçları kullanılmıştır. Bu donanım araçları veri alımının ana koşullarını oluşturmaktadır. Bu donanım bileşenleri sırasıyla şu şekildedir;

- Raspberry Pi 3B+
- LG Monitör
- NXP (fxos8700 + fxas21002) İvme + Jiroskop sensörü
- Neo6mv2 GPS Modülü + Anten
- Araç Çakmaklık Priz Konvertörü
- Yapışkan Mini Breadboard
- Bağlantı Kabloları

2.4.1 Raspberry Pi 3 B+ ve Monitör

Araç içinde kullanılan sistemin ana aktörü Raspberry Pi 3B+ olan devre kartına gömülü bilgisayardır. Şekil 19’da gösterilen bu bilgisayar tez sürecinde kullanılan Raspbian işletim sistemiyle birlikte kullanılmıştır.

Şekil 19: Raspberry Pi 3B+

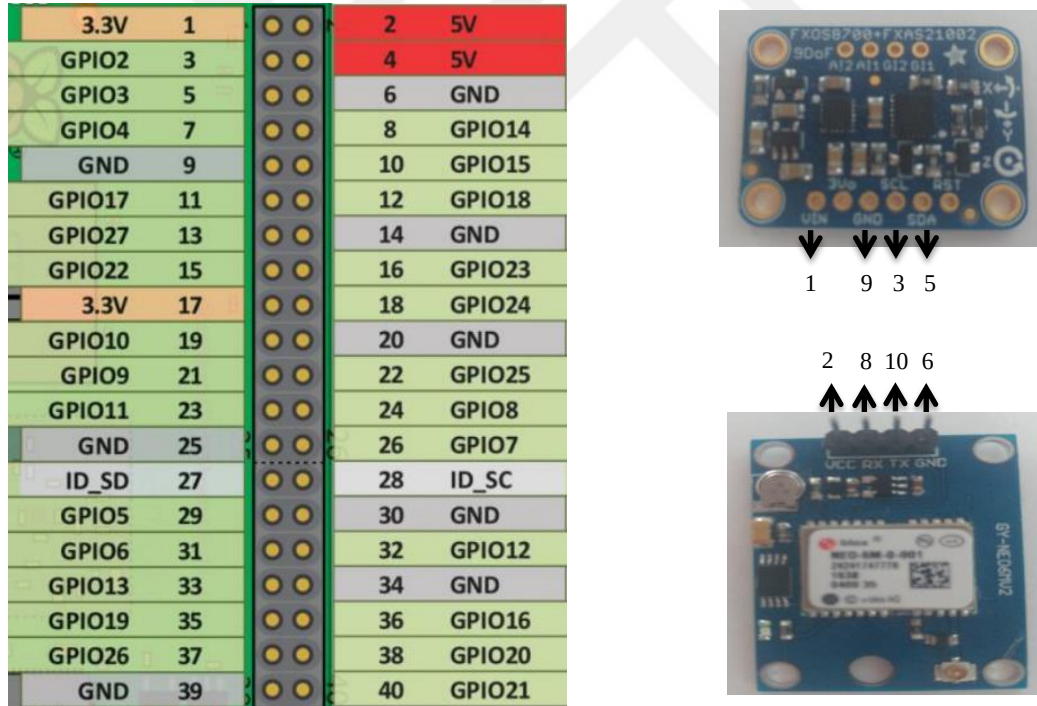


Kaynak: M. Kamalakannan ve K. Devadharshini 2019: 59

Veri alımında önemli bir rol oynayan bu kartın üzerinde giriş veya çıkış olarak kullanıcı tarafından belirlenen dijital sinyal pinleri bulunmaktadır. Bu pinler sayesinde İvme ve GPS sensörlerinden veri alınabilmektedir. Bu verilerin alınabilmesi için sensörlerin doğru pin bağlantılarına sahip olması da gerekmektedir. Bu bağlantılar Şekil 20’de gösterilmiştir. Sensör bağlantılarının doğru yapılabilmesi için şu bağlantı adları bilinmelidir.

- VCC: Güç Kaynağı
- GND: Toprak
- SDA: Seri Veri
- SCL: Seri Saat
- RX: Almak (Receive)
- TX: İletmek (Transmit)

Şekil 20: Raspberry Pi 3B+ Donanım Haritası ve Pin Bağlantıları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Verilerin görüntülenebilmesi için ise Raspberry Pi’nin bir görüntü ekranına bağlanması gereklidir. Bu sebeple donanım haritasında görülen HDMI çıkışı kullanılarak LG marka bir monitöre bağlanmıştır.

Yapılan bir takım testler sonucunda hassas bir elektronik kart olan Raspberry Pi'nin fazla ısınması sebebiyle bir takım sorunların ortaya çıkabileceği gözlemlenmiştir. Bu sorunlardan bazıları şu şekildedir;

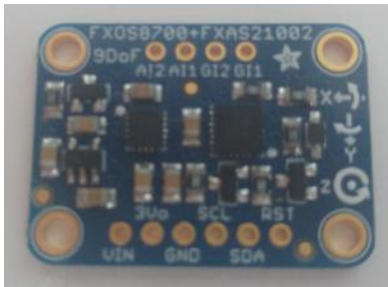
- Isının kart üzerindeki etkisine bağlı olarak Raspberry Pi'nin kararsız çalışmalarının olması
- İşletim sisteminin kurulu olduğu sd kartın kart üzerindeki yüksek ısınmadan dolayı zarar görmesi ve kart yuvasının okuma yapamaması
- Anakartın yüksek ısıya bağlı olarak geri dönüşümsüz hasar alması
- Güç girişinin bulunduğu noktanın geri dönüşümsüz hasar alması
- Eldeki verilerin yukarıdaki sebeplerden dolayı bozulması veya kaybedilmesi

Bu tip yüksek ısı durumlarında ortaya çıkabilecek sorunların önüne geçmek için ek olarak bir fan kullanmak yerine araç klimasıyla fan etkisi oluşturarak bu yüksek ısınma engellenmeye çalışılmıştır. Önlem olarak ise saha verilerinin alım çalışmalarında her bir veri alımı sonrası 20 dakikalık soğutma periyotları uygulanmıştır. Bu sayede de verilerinin alımında yüksek ısı kaynaklı herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

2.4.2 NXP İvme ve Jiroskop Sensörü (FXOS8700 + FXAS21002)

Tez kapsamında alınan eğim ve jiroskop verileri için NXP Markasına ait FXOS8700 ivme sensörü ve FXAS21002 jiroskop sensörleri kullanılmıştır. Kullanılan bu entegre durumdaki 2 sensör dışında birçok sensör test edilmiştir. Bu testler 2. Bölümdeki İvmeölçer Sensör Karşılaştırmaları kısmında yer almaktadır.

Şekil 21: İvme ve Jiroskop sensörü (FXOS8700 + FXAS21002)

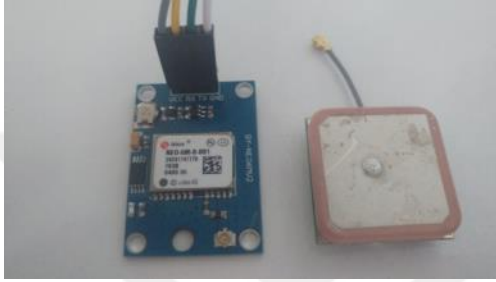


Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

2.4.3 Neo6mv2 GPS + Anten

Değer verilerinin konumlarının bilinmesi için Raspberry Pi üzerinde çalışan Neo6mv2 model GPS tercih edilmiştir. İvme ve jiroskop sensörlerine nazaran GPS sensörleri Türkiye pazarında çokta çeşitlilik göstermemektedir. Bu sebeple herhangi bir GPS sensör karşılaştırması yapılmamıştır. Neo6mv2 GPS modülü Şekil 22’de görülen anten ile kullanılmıştır.

Şekil 22: Neo6mv2 GPS + Anten



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

2.4.4 Araç Çakmaklık Priz Konvertörü

Önceden bahsedilen bütün sistemlerin araç içinde çalışması için elektrik gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu güç için tez aracının oto çakmaklık bölümü düşünülmüştür. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda da Black & Decker marka 100 W güç dönüştürücü oto çakmaklık, tez kapsamında kullanılmak amacıyla alınmıştır.

Şekil 23: Black & Decker 100 W Güç Dönüştürücü



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Detay Özellikleri:

- Giriş 13.8V 8A
- Çıkış 230-240 V 50Hz,100W
- USB Çıkış 5V,500mA

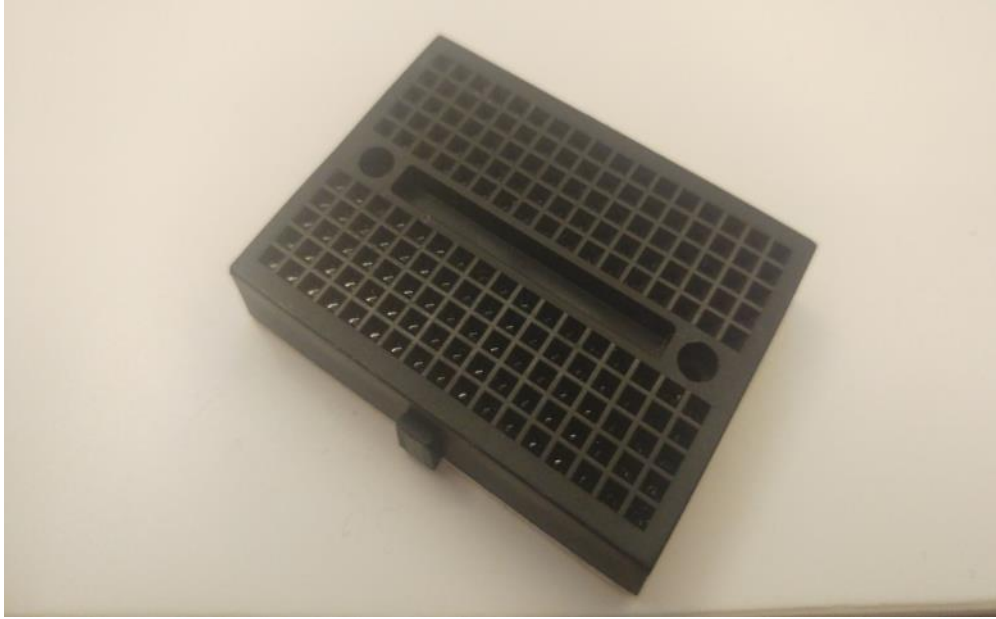
2.4.5 Diğer Ek Donanımlar

Araçtaki donanımlara ek olarak kullanılan bazı küçük donanım araçları bulunmaktadır. Bu donanım araçları şunlardır;

- Raspberry Pi ile sensör bağlantılarını yapan Jumper Kabloları,
- Görüntü aktarımı için kullanılan HDMI Kablosu,
- 3'lü Priz,
- Sensörün sabit duracağı mini yapışkan düz devre kartı.

Mini yapışkan düz devre kartı hakkında; Değer verisi alacak olan sensörün altında bulunmaktadır.

Şekil 24: Siyah Mini Devre Kartı



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Sensör bu devre kartının üstüne erkek pin başlığıyla sabitlenerek oturtulmuştur. Bu sayede sensör, aracın istenilen bölgesine Şekil 29'daki gibi sabitlenmiştir. Böylece araç çalışırken motorun araç içine yansıttığı titreşimin direkt sensörü etkilemesinin önüne geçilmiştir.

2.5 ÇALIŞMA ARACININ SEÇİMİNDE BELİRLENEN KRİTERLER

Öncelikle tez kapsamında alınması gereken yol verileri için trafikte yol alabilecek bir araca ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aracın dever gibi hassas noktaların ölçümünde kullanılacağı için uzun ve geniş olmasından ziyade çokta hafif olmayan binek tipi bir araç olması daha uygun görülmüştür. Çünkü kısa araçların uzun araçlara göre viraj tutunmaları daha iyidir. Ayrıca virajla tepkimeye girecek olan ön akslar virajla sonradan tepkimeye girecek olan arka akslara ne kadar yakın olursa sağlıklı veri alımının o kadar iyi olacağı düşünülmüştür. Bu ve bunun gibi birçok etki düşünülerek birtakım araç kriterleri belirlenmeye çalışılmıştır.

O halde çalışma aracı için uygun kriterler şu şekilde olmalıdır;

- Tez aracı binek tipte olmalıdır,
- Üstünde çalışacağı sistemi kaldırarak elektronik tasarıma sahip olmalıdır,
- Sensörün araç içinde yola düz bir konumda sabit duracağı bir iç tasarıma sahip olmalıdır,
- Veri alımında dış etkilerden etkilenmemek için (rüzgar vs.) araç yeterli ağırlıkta olmalıdır,
- Veri alımında yol eğiminin araç içinde bulunan sensör ile doğru saptanması için sert süspansiyonlara sahip olmalı ve bu sayede süspansiyonlardaki yaylanmış kütleyi doğru aktarmalıdır,
- Yeni araç modellerinin bazılarında bulunan aktif gövde kontrolü (Magic body Control) yol eğimini, sürüş konforu bakımından aracın iç ortamına aktarmaması sebebiyle tez aracında bu özelliğe sahip süspansiyon sistemi olmamalıdır,
- Araçta veri alımına etki edecek motorda fazla rölanti, akslarda bozukluk, süspansiyon kırılmaları gibi etkiler olmamalıdır,
- Rot balans ayarları yapılmalı yolda titremeye sebebiyet verecek jant yamukluğu gibi durumlar giderilmelidir,
- Virajlarda kayma olmaması ve iyi yol tutuşu için araç lastikleri mümkünse yenilenmeli veya dişleri kontrol edilerek olumsuz etkilerin olmayacağından emin olunmalıdır.

- Aracın içinde veri alım için çalışacak olan elektronik sistemin önceden incelenmesi ve sigortasına bakılmalıdır,
- Araç ile ilgili bir problem oluştuğunda veya teknik sorunlar için cevap arandığında seçilen aracın yetkili servisine Türkiye’de veya tez çalışma bölgesinde ulaşılabilir olmalıdır,

Bütün bu durumlar göz önünde bulundurularak seçilen aracın uygulama çalışması için uygun olduğuna karar verilmiştir. Bunun haricinde aracın özellikleri detaylı bir şekilde incelenip ortaya çıkan yan etki bulgularına çözüm üretilmeye çalışılmıştır.

2.5.1 Çalışma Aracının Bilgileri

Tez aracı şekil 25’te görüldüğü gibidir. Çalışma aracının seçiminde belirlenen kriterler uygulama sürecine başlamadan önce araç üzerinde çalışmalar yapılarak belirlenmiştir.

Şekil 25: Çalışma Aracı



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

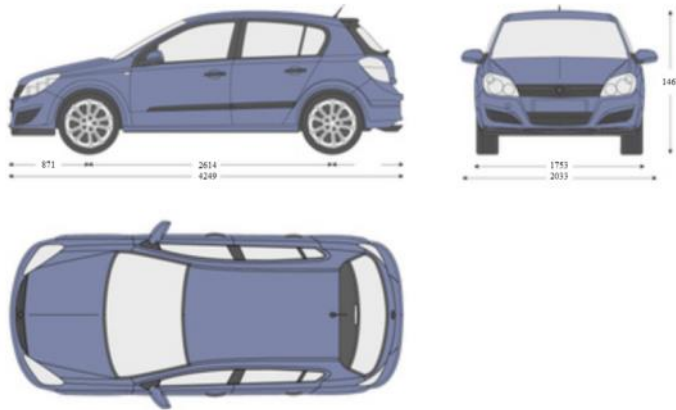
Tablo 24’te çalışma aracının teknik özellikleri Şekil 26’ya göre derlenmiştir.

Tablo 24: Çalışma Aracının Özellikleri

Marka	OPEL
Model	Astra
Model Yılı	2005
Model Detayı	Enjoy
Motor Hacmi	1,6
Kasa Tipi	(Binek) Hatchback
Renk	Mavi
Ön-Arka Aks aralığı	2614mm
Aks Mesafesi	1753mm
Net Yatay Uzunluğu	4249mm
Net Dikey Uzunluğu	1467mm
Net Genişlik Uzunluğu	2033mm
Teker Boyut Ölçüleri	205/55/R16
Boş Ağırlık	1265kg

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 26: Çalışma Aracının Uzunluk Ölçüleri

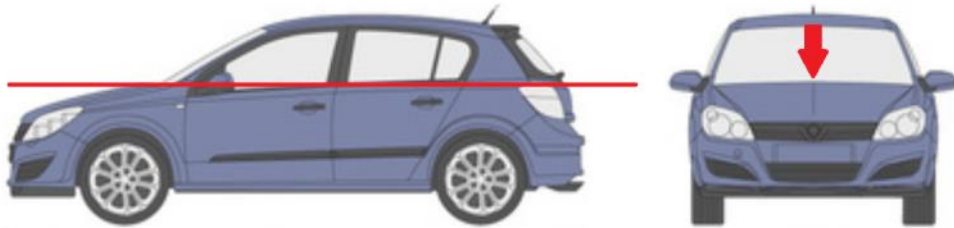


Kaynak: Braam, 2009

2.5.2 Araç İçi Sensör Noktaları

Öncelikle eğim sensörünün araç içinde sağlıklı veri alabilmesi için, yol üzerine paralel konumda düz bakan bir noktaya sabitlenmesi gerekmektedir. Araç içinde böyle bir tasarım noktası yok ise araç üstünde veya altında bu gibi konumlar aranabilir. Yol eğim verilerinin ve yolun araca uyguladığı enine eğim verilerinin en sağlıklı alınacağı araç noktası, gövdenin altında bulunan akslara ve süspansiyona yakın kısımlar olarak düşünülmüştür. Fakat buraya konacak bir sensörün, araç içinde çalışmak zorunda olan bilgisayar sistemiyle bağlantısı oldukça zor olacaktır. Güvenlik açısından sensörün araç altına doğru sabitlenemediği durumlarda veri alımlarında kopukluk meydana gelebileceği gibi araç sürat halindeyken rüzgarın etkisiyle istenmeyen sonuçların olabileceği öngörülmüştür. Aracın üst kısmı aerodinamik yapıda olması itibarıyla sensör için bu noktada uygun görülmemiştir. Tüm bu durumlar değerlendirildiğinde sensörün araç içinde düz bir noktada konumlandırılmasına karar verilmiştir. Bu aşamada araç içinde incelemeler yapılmıştır. Burada aracın orta noktasını tespit etmek çok önemlidir. Bu orta noktalardan birinde düz bir alana yerleştirilen sensörün, yolun araca uyguladığı eğim ölçülerini sağlıklı alabileceği düşünülmüştür.

Şekil 27: Çalışma Aracının Orta Noktaları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 28’de aracın sensör noktası için orta kısmı belirlenmiştir. Araç içi tasarımı bu orta nokta aracın ön göğüs kısmına üretici firma tarafından da belirgin bir şekilde çizilmiştir.

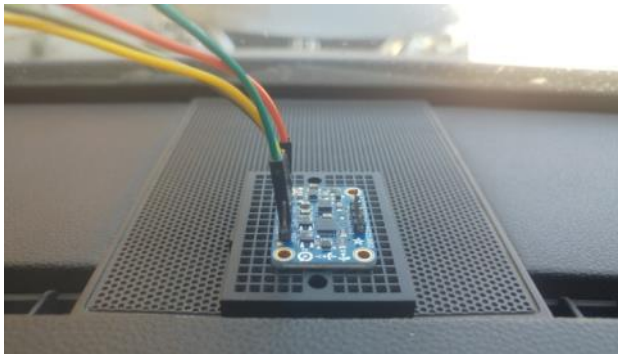
Şekil 28: Tez Aracının Araç İçinde Orta Noktası



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Sensörün araç içinde uygun görülen noktasıda bu düz çizginin ulaştığı yerdeki düz kısımdır. Buradaki alan hem aracın virajla tepkimeye giren ön aksların üst noktasına yakın hem de araç içi çalışan donanım bileşenlerine yakın bir bölgede yer almaktadır.

Şekil 29: Araç İçi Sensör Noktası Taslakla Beraber İç Görünüm



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Buradaki asıl amaç yolun eğim verilerinin araca uyguladığı etkiyi en doğru noktadan sağlıklı bir biçimde almaktır. Yolun eğiminin araç üzerine etkisi öncelikle tekerlekten başlayarak, süspansiyon yaylarından gövde kısmına gitmektedir. Bu gövde kısmının yol üzerinde kendisine uygulanan eğim şiddetiyle yola doğru verdiği alfa açısı, dever değeri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayacak eğim açısı olacaktır.

Keskin ve kısa virajlarda ise gövde kısmının yol üzerinde kendisine uygulanan eğim şiddetiyle yola doğru verdiği yalpa açısı, dever değeri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayacak taşıt gövdesinin eğim açısı olacaktır. Bu bağlamda yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda araç içinde uygun görülen sensör noktasının bu yol eğiminin araç gövdesine uyguladığı eğim değerini sağlıklı alabileceği öngörülmüştür.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

EĞİM SENSÖRÜ KALİBRASYON TESTİ, HATA PAYLARININ ÖLÇÜMÜ VE YOL VERİSİ ALIMINDA KARŞILAŞILAN YAN ETKİLER

3.1 EĞİM SENSÖRÜ KALİBRASYON TESTİ

Eğim sensörünün doğru çalıştığına emin olmak için kalibrasyon testi gerekmektedir. Kalibrasyon önceden belirlenen koşullar altında kesinliği sabit ölçüm standardını başka bir ölçüm aleti veya aletleriyle doğruluğunun ölçülmesi, hata paylarının bulunması ve raporlanmasıdır. Bu durum yapılan uygulama içerisindeki sonuçlarda tutarlılık sağlamak ve hataları azaltmaktır. Böylece yapılan ölçümler evrensel olarak doğru kabul edilmektedir. Kalibrasyon işlemi, aletin birincil veya ikincil standartlarla karşılaştırılmasını içermektedir. Bazı durumlarda, bir cihazı bilinen bir doğrulukla diğerine göre kalibre etmek yeterli olabilmektedir (Eren, 2005: 271). Bu bağlamda kalibrasyon işlemi için eğim sensörünün vermesi gereken değerler, önceden belirlenmiş olan milimetrik uzunluk esas alınarak hesaplanmıştır. Bu uzunluk birimleriyle oluşturulan eğim açısının üzerinde sensörün kalibrasyon testinin yapılması planlanmıştır.

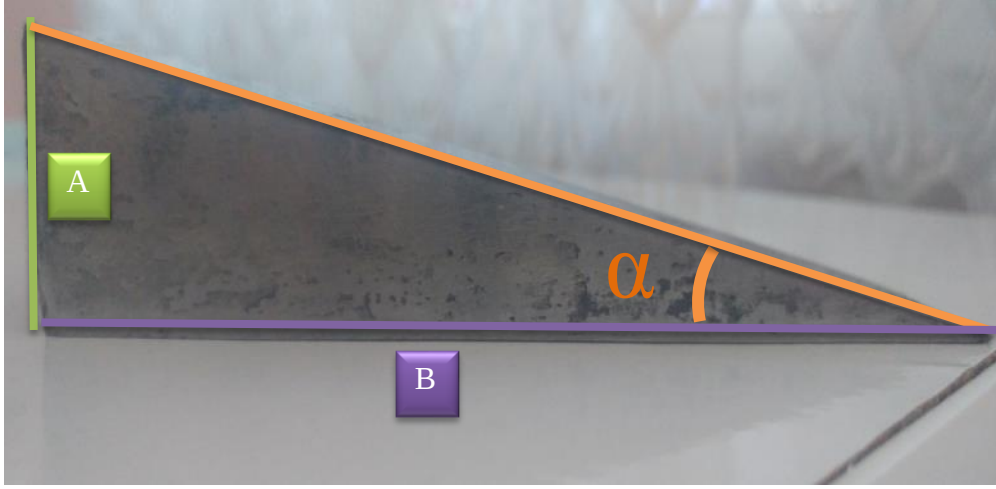
3.1.1 Kalibrasyon Testi İçin Kullanılan Metal Yüzey Değerleri

Kalibrasyon testi için gerekli olan metal yüzey İzmir YDÇ METAL firmasından st37 kaliteli sacdan lazer operasyonu ile kesilerek temin edilmiştir.

Şekil 30'da kalibrasyon testinde kullanılacak olan metal yüzey eğiminin 14°'yi tam olarak sağlaması için şu uzunluk ölçüleri istenilmiştir:

- A Kenar uzunluğu 3 santimetre,
- B Kenar uzunluğu 12 santimetredir.

Şekil 30: Metal Yüzey



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 30’da görülen metal yüzeyde dever eğimi α olarak gösterilmiştir. Uzunluk ölçüleri bilinen bir düzlemde eğim doğrusunun açı değerini bulabilmek için şu formüller kullanılmaktadır;

$$\text{Eğim} = m = \frac{|A|}{|B|}$$

$$\text{Eğim Açısı} = \arctan(m)$$

Formüle göre;

- Eğim Değeri = 0,25
- Belirlenen eğim değerinin arctan değeri ise 14°’dir.

Fakat istenilen milimetrik uzunluk ölçülerinin lazerli kesim operasyonunda birebir olarak metal yüzeyine uygulanması pek mümkün değildir. Ayrıca lazer kesimi metal yüzey üzerinde pütürlü bir yüzey oluşturmuştur. Kalibrasyon testinde kullanılacak ölçüm standardının milimetrik olarak yapılması için yüzey düzleminin kusursuz olması gerekmektedir. Şekil 31’de görülen metal yüzeyin kusursuz olması için bir işlem daha uygulanması gerekeceğinden bu metal yüzeyinin ölçümlerinin yapılmasına gerek görülmemiştir.

Şekil 31: Talaşlı İmalat Öncesi Metal Yüzey



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Kalibrasyon işleminde sensör kartının eğim düzleminin her kenarına eşit şekilde oturması için metal yüzeyin kusurlu bölgeleri düzeltilmelidir. Bu sebeple lazerli kesimi yapılmış metal yüzeye ikinci aşamada talaşlı imalat yapılmış ve Şekil 32’de görülen kusursuz bir yüzey elde edilmiştir.

Şekil 32: Talaşlı İmalat Sonrası Metal Yüzey



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Talaşlı imalat Spednas Makine İşletmesi’nde yapılmıştır. İşlem sonrası metal yüzey Şekil 32’deki pürüzsüz yüzey halini almıştır. Fakat metal yüzeye uygulanan bu aşamalar sonucunda Şekil 30’da istenilen A ve B kenar uzunluklarında değişiklik meydana gelmiştir. Eğim açısının bulunmasında virgülden sonraki değerlerin sonuca etkisi büyük olacaktır. Bu sebeple son şekli verilen metal yüzeyin kumpas yardımıyla tekrardan uzunluk değerleri ölçülmüştür.

Bu değerler ölçülürken şu hususlara dikkat edilmiştir.

- lm yapan alet virgülden sonra en az 2 basamak daha vermelidir.
- Metal yüzey ölçümünün düz bir yüzey üzerinde, doğru yapılması gerekmektedir.
- lm aletinin kendi kalibrasyonu sağlanmış olarak ölçüme başlanmalıdır.

lm aynı düzlemde 3 defa tekrarlanmıştır. Ortaya çıkan 3 adet ölçüm değerinin aritmetik ortalaması alınarak metal yüzey uzunlukları belirlenmiştir. Bu uzunluklar şu şekildedir;

A Kenarının Uzunluk Değerleri;

- 29,08
- 29,34
- 29,32

B Kenarının Uzunluk Değerleri;

- 120,15
- 119,89
- 120,09

Yatay ve Dikey uzunluk değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- A Kenarının Uzunluk Değeri = 29,24
- B kenarının Değeri = 120,04

Formülde değerleri yerine koyduğumuzda;

- $29,24 \text{ (Karşı)} \cdot 120,04 \text{ (Komşu Değeri)} = 0,2435854715$
- Belirlenen Eğim Açısının Değeri = $13,7^\circ$ dir.

Bu sonuçlara göre metal yüzey üzerine sensör konulduğunda $13,7^\circ$ vermelii veya hata paylarının çıkarımı yapıldıktan sonra $13,7^\circ$ yi desteklemelidir.

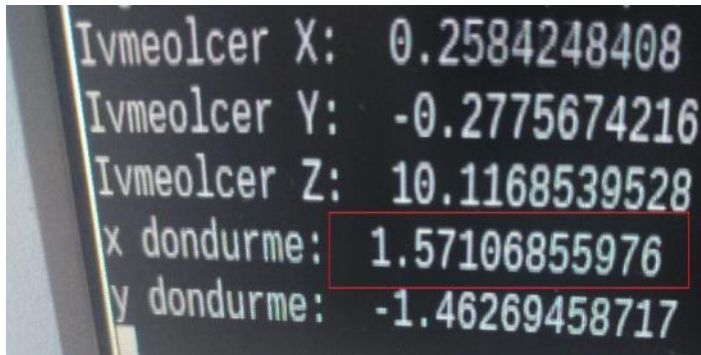
3.1.2 Metal Yüzeyde Sensörün Test Edilmesi ve Sonucu

Metal yüzeyin ölçüm değerleri belirlendikten sonra, eğim sensörünü metal yüzey üzerinde test edebilmekteyiz. Bu testte dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekildedir;

- Test yüzeyi en az metal yüzey uzunluğu kadar düz olmalıdır.
- Test zemini yumuşak bir zemin barındırmamalıdır.
- Metal yüzeyin konulacağı bölgede herhangi bir kayma, sapma, oynama faktörü olmamalıdır.
- Mevcut test yüzeyi kalibrasyonu fabrika çıkışlı hassas bir ölçüm aleti tarafından ölçülmelidir.
- Ölçüm yapılırken sensör kartı mevcut bir yüzeyin üzerindeyse test bu faktör göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.
- Metal yüzeyin üstüne konan sensöre etki edecek herhangi bir yan etken bulunmamalıdır.
- Metal yüzeyin sensör pinleriyle temasından kaçınılmalıdır.

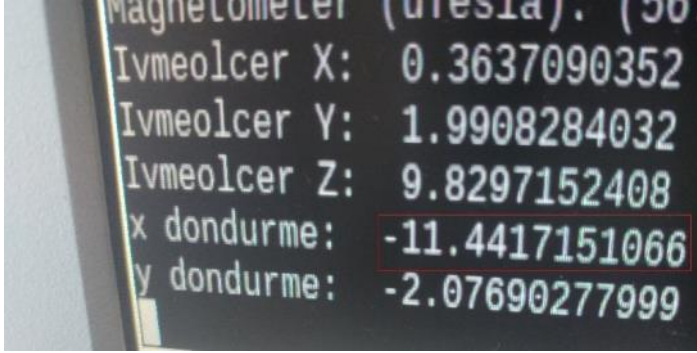
Tüm bu durumlar yerine getirilerek metal yüzey üzerindeki test süreci başlatılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus test yapılacak noktanın eğim değerinin önceden ölçülerek metal yüzey ölçümüne etki eden değerinin hesaplanmasıdır. Bu bağlamda metal yüzeyin test edildiği bölge zemin eğim değeri olarak adlandırılmış ve ölçüm yapılmadan önce bu noktanın eğim değeri (Şekil 33) hesaplanarak ölçüm sonucuna etkisi belirlenmiştir.

Şekil 33: Ölçüm Alanındaki Zeminin Eğim Değeri



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Şekil 34: Ölçüm Alanındaki Metal Yüzeyin Eğim Değeri

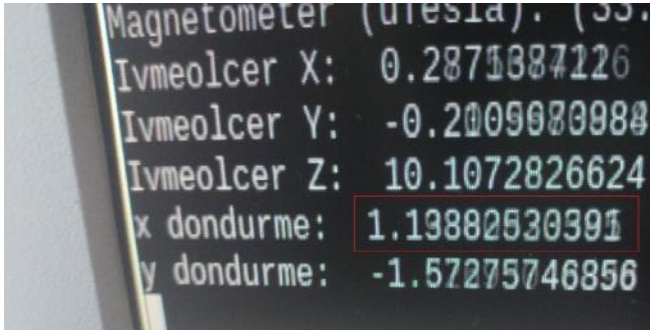


Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

- Hesaplanan Zemin Eğim Değeri: 1,57
- Hesaplanan Zemin Değer Üstündeki Metal Yüzey Değeri: -11,44
- Ölçüm Sonuç Değeri: 13,01

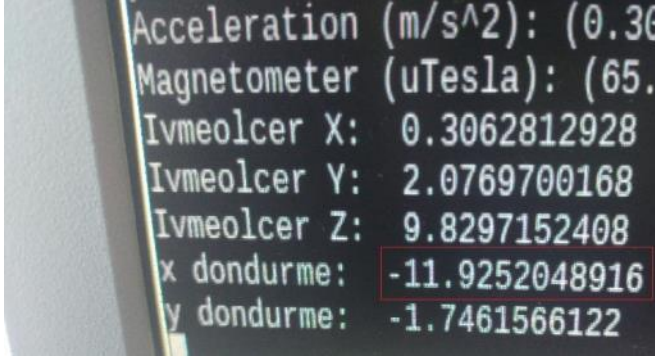
Burada dikkat edilmesi gereken husus zemin eğimi ile üstünde bulunan yüzeyin eğim değerinin işaret yönüdür. Metal yüzey eğim değeri 0 olan bir zeminde test edilmemiştir. Bu sebeple test sonuçlarına göre 1,57°'lik zemin eğimine konan metal yüzeydeki sensör -11,44° vermiştir. O halde; Sensör hem 1,57°'lik eğimi içinde barındırmış hemde ters yönde -11,44°'lik negatif bir değer vermiştir. Sonuç olarak toplamda 13,01°'lik ölçmüştür. Daha iyi anlamak için mevcut düzlemin farklı bir noktasında bir ölçüm daha yapılmıştır. Yapılan bu ikinci ölçümde Şekil 35'de ölçüm alanının zemin eğim değeri ve Şekil 36'da bu zemin değerine konumlandırılan metal yüzeyin eğim değeri gösterilmiştir.

Şekil 35: 2. Ölçüm Alanındaki Zeminin Eğim Değeri



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Şekil 36: 2. Ölçüm Alanındaki Metal Yüzeyin Eğim Değeri



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

- Hesaplanan Zemin Eğim Değeri: 1,13°
- Hesaplanan Zemin Değer Üstündeki Metal Yüzey Değeri: -11,92°
- Ölçüm Sonuç Değeri: 13,05°

Zemin değeri 1,13° olan eğim noktasına metal yüzey konulduğunda, eğim zemine ters yönde olduğu için -11,92° vermiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere ters yöne sahip eğim çıktılarında zemin eğim değerini sıfırlamak için işaretlere bakılmaksızın her iki sonucun toplamı zemin üstündeki metal yüzeyin eğim değerini vermektedir. Aksi durumda eğim yönleri aynı yöne doğru ise sensör sonucundan Zemin Eğim Değeri çıkartılarak metal yüzeyin gerçek değeri bulunabilmektedir.

Örneğin zemin eğim değeri -2° olan bir düzlem üstüne ters yöne doğru 10°'lik bir metal yüzey konulduğunda sensör sonucu 8° olacaktır. Zemin eğim değeri 2 derece olan bir düzlem üstüne aynı yöne doğru 10°'lik bir metal yüzey konulduğunda sensör sonucu 12° olacaktır.

Metal yüzey üzerine konan sensör gerekli hesaplamalar yapıldığında eğim değerini 13° göstermektedir. Metal yüzeyinin ölçüleri ise 13,7°'dir.

- Kalibrasyon Test Sonucu: 13°
- Kalibrasyon Testi İçin Kullanılan Metal Yüzeyin Eğim Değeri: 13,7°

Kalibrasyon testiyle birlikte ortaya çıkan sonuca göre sensör 1°'de 0,05°'lik sapma değerine sahiptir. Bu durum sensörün ölçüm yaptığı yüzey üzerinde %5°'lik ölçüm hata payına sahip olduğunu göstermektedir.

3.2 HATA PAYLARININ ÖLÇÜMÜ

Uygulamaya başlamadan önce yapılan kalibrasyon testi neticesinde istenilen değerler alınmıştır. Bu değerler matematiksel işlemlerle de desteklenmiştir. Fakat fabrika çıkışlı sensörlerin kendilerine özgü hata payları da bulunmaktadır. Bu hata payları kimi zaman sensör veri sayfalarında (Datasheet) yer alırken kimileri ise test, gözlem, kontrol ve karşılaştırma sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda tez süresince aktif rol üstlenen sensörlerin hata payları içinde, ayrı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Sensör hata payları fabrikasyon hatalar olarak gerçekleştikleri için kullanıcılar bu hataları büyük oranda giderememektedir. Bu sebeple hata oranları hesaplandıktan sonra sonuca verdiği etkiye göre bir hesaplama yapmak daha doğru ve daha kolay olacaktır.

Tez kapsamında yer alan sensörlerden şu hatalar araştırılmıştır;

- Eğim Sensörü; İvme değerleri olan X,Y,Z ekseninde ölçüm hatası
- Jiroskop Sensörü; Yanal dönüş birimi olan Z ekseninde ölçüm hatası
- Metal Yüzey; Uzunluk değerlerinin olası hata payı
- GPS Sensörü; Araç üzerinde konumlama değerinde olası hata payı
- GPS Sensörü; Araç üzerinde km/s değerinde olası hata payı

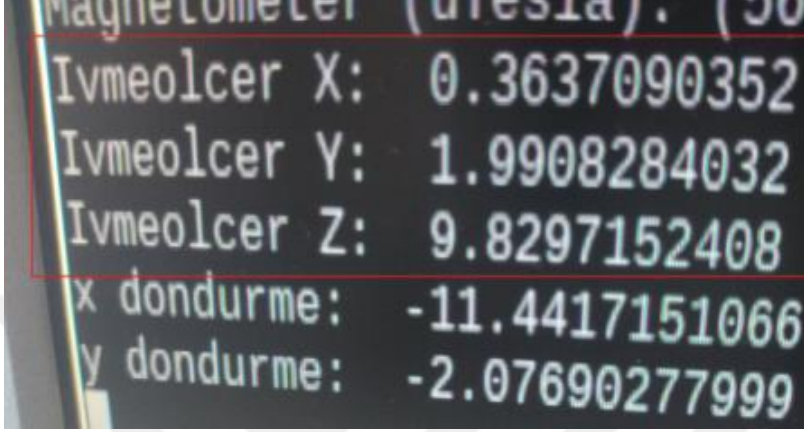
3.2.1 Eğim Sensörü İvme Değerlerinin X,Y,Z Eksenindeki Ölçüm Hata Payı

Eğim sensörü NXP marka FXOS8700 modeldir. Bu sensörün olası hata payları üretici firma tarafından veri sayfasında paylaşılmıştır. 2. Bölüm İvmeölçer Sensör Karşılaştırmaları kısmında yer alan Tablo 7: FXOS8700'e göre bu değerler;

- İvmeölçer Eksen Hassasiyeti: % 2,5
- Çıkış Gürültü Yoğunluğu: 99 ile 126 olarak belirtilmiştir.

Bu değerler ivme verilerinin eğim verisine dönüşmeden önceki değerlerini kapsamaktadır. Eğim değeriyle karıştırlmaması gerekir. Eğim düzleminin $-11,44^\circ$ olarak gösterildiği bir noktanın ivme ölçüm değerleri Şekil 37’te verilmiştir.

Şekil 37: Eğim Sensöründeki İvmenin X,Y,Z Eksen Değerleri



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

- X Değeri: 0,3637090352
- Y Değeri: 1,9908284032
- Z Değeri: 9,8297152408

Sensörde ek olarak sadece gürültü değişimi olan $0,1^\circ$ ’lik değer gözlemlenmiştir. Sonuç olarak eğim sensörünün verdiği ivme değerlerindeki hata oranı, yapılan kalibrasyon testiyle sonucu etkileyecek düzeyde olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle ölçüm sonucuna herhangi bir ekleme çıkarma işlemi yapılması gerekli görülmemiştir.

3.2.2 Jiroskop Sensörünün Yanal Dönüş Eksenindeki (Z) Ölçüm Hata Payı

Uygulama sensörü NXP marka FXAS21002C modeldir. Bu sensör sayesinde tez aracının hangi yöne doğru yanal dönüş yaptığı bilgisi alınmaktadır. Bu bilgi direksiyonun dönüş yönüne göre sağ, sol veya düz olarak belirlenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken jiroskop değeri sensörün z eksen verisidir. Pozitif (+) yönde sağ, negatif (-) yönde sola, 0 olma durumunda ise düz yön bilgisi vermektedir. Fakat hata payı ölçüm testlerinde sensör düz konumdayken 0° ile $+2,99^{\circ}$ arasında değer aldığı gözlemlenmiştir.

Gözlem dışında sensörün olası hata payı üretici firma tarafından veri sayfasında paylaşılmıştır. 2. Bölüm Jiroskop Sensör Karşılaştırmaları kısmında yer alan Tablo 19: FXAS21002C'ye göre bu değerler şu şekildedir;

- $\pm 200 \text{ dps} = 3,125 \text{ dps}$
- $\pm 500 \text{ dps} = 0,78125 \text{ dps}$
- $\pm 250 \text{ dps} = 0,3906 \text{ dps}$

Buradaki bilgilerin açıklaması 2. Bölümde yer alan Jiroskop Sensör Karşılaştırmaları kısmındaki Tablo 19: FXAS21002C'nin üstünde yer almaktadır. Buradaki bilgiler gözden geçirildiğinde sensörün DPS hassasiyeti oldukça düşük olduğu görülmüştür. Fakat düz konumda alınmak istenen 0 değerinin sabit olması gerektiği için bu değer ne kadar düşük olursa olsun hesaplanma gereği duyulmuştur.

Sensör düz konumda sabit haldeyken verdiği değer aralığı olan 0° ile $+2,99999^{\circ}$ arası bu bağlamda düz olarak kabul edilmiştir. Bu hata payının yazılımsal olarak giderilmesi mümkündür. Şekil 38'te bu hatanın nasıl giderildiği verilmiştir.

Şekil 38: Jiroskop Veri Alımında Konulan IF Koşulları

```
82
83
84 if gyro_z < 0:
85     print "sağ donus var", gyro_z
86 if gyro_z >= 3:
87     print "sola donus var", gyro_z
88 if gyro_z >= 0 and gyro_z <= 2.9999999999999999:
89     print "arac düz gidiyor", gyro_z
90
```

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

3.2.3 Metal Yüzeyin Uzunluk Değerlerinin Olası Hata Payı

Kalibrasyon testi için metal yüzey kesilmeden önce bir takım ölçüler belirlenmiştir. Bu ölçüler metal yüzeyin lazer ve talaşlı imalat operasyonları sonrasında değişmiştir. Bu nedenle bu işlemlerden sonra tekrardan metal yüzeyin ölçümü Şekil 39'daki kumpas aleti ile yapılmıştır.

Şekil 39: Metal Yüzeyi Ölçen Kumpas Aleti



Kaynak: Mitutoyo 2020

Metal yüzeyin ölçüldüğü kumpas aleti Mitutoyo markasının 150mm’lik modelidir. Kumpas cihazının metal yüzey ölçümünde verebileceği hata paylarını bulabilmek için üretici firmanın paylaştığı veri sayfası Tablo 25’te verilmiştir.

Tablo 25: Mitutoyo 150mm Kumpas Özellikleri

Aralık	0-150 mm
Doğruluk	$\pm 0,02$ mm
Derinlik Çubuğu	Düz
Veri Çıkışı	Hayır
Kitle	164g
Dijital Adım	0,01 mm
Maksimum Tepki Hızı	Sınırsız
Pil Ömrü	Yaklaşık 1800 Saat
Görüntü	LCD, Karakter Yüksekliği 9 mm
Teslim Edildi	1 Pil İle Birlikte
Merkez (ABS-Sıfır)	Evet
Sıfır/ABS	Evet
Açık/Kapalı	Evet
Düşük Voltaj Alarmı	Evet
Dijital/Analog	Dijital
İnç-Metrik	Metrik

Kaynak: Mitutoyo 2020

Tablo 25’e göre üretici firmanın verdiği tabloya göre kumpas aletinin metal yüzey üzerindeki ölçüm hata payı 0,02 milimetredir. Bu değer metal yüzeyin eğim değerini hatalı ölçtüğü varsayılırsa, Şekil 30’daki uzun kenarın kısa kenara oranında 0,00004059082’lük bir değişim söz konusu olmaktadır. Bu da 0,0023 derecelik bir açı sapması vermektedir. Fakat bu değer sonucu etkileyecek ölçüde bir değer olmadığı kabul edilerek sonuç üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

3.2.4 GPS Sensörünün Araç Üzerinde Konumlama Değerinin Hata Payı

GPS araç üzerinde konumlandırma verisi alırken fabrikasyon çıkışlı bir takım hata paylarına sahiptir. Bu hata payları üretici firma tarafından GPS'in veri sayfasında belirtilmiştir. Belirtilen bu değerler Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26: Neo6mv2 GPS'in Veri Sayfasında Bulunan Hata Pay Oranları

PARAMETRE	KOŞULLAR			
Alıcı Tipi	50 Kanal GPS L1 Sıklık C/A Kodu SBAS WAAS, EGNOS, MSAS			
İlk düzeltme zamanı		Neo-6G/Q/T	Neo-6M/V	Neo-6P
	Soğuk başlatma	26 s	27 s	32 s
	Ilık başlatma	26 s	27 s	32 s
	Sıcak başlatma	1 s	1 s	1 s
	Destekli başlatma	1 s	<3 s	<3 s
Hassasiyet		Neo-6G/Q/T	Neo-6M/V	Neo-6P
	İzleme navigasyonu	-162 dBm	-161 dBm	-160 dBm
	Yeniden Kazanım	-160 dBm	-160 dBm	-160 dBm
	Soğuk başlatma	-148 dBm	-147 dBm	-146 dBm
	Sıcak başlatma	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm
Maksimum Navigasyon Güncelleme Hızı		Neo-6G/Q/T 5 Hz	Neo-6M/V 1 Hz	
Yatay Konum Hassasiyeti	GPS SBAS SBAS+PPP SBAS+PPP	2,5 m 2,0 m < 1 m (2D, R50) < 2 m (2D, R50)		
Yapılandırılabilir Zaman darbeleri frekans aralığı		Neo-6G/Q/T 0,25 Hz to 1 kHz	Neo-6M/V 0,25 Hz to 10 MHz	
Zaman Darbeli Sinyal İçin Doğruluk	RMS %99 Granülerlik Telafi	30 s < 60 s 21 s 15 s		
Hız Doğruluğu			0,1m/s	
Yön hassasiyeti			0.5 derece	
Operasyonel Sınırlar	Dinamik Rakım Hız		≤ 4 g 50.000 m 500 m/s	

Kaynak: U-Blox 2011: 6

Veri Sayfasında belirtilen çıktılara bakıldığında GPS'in yatay konum doğruluğu 2,5m olarak belirtilmiştir. Bu değer oldukça kabul edilebilir bulunmuştur.

Çalışma aracının saatte kaç km gittiği GPS verilerinden elde edilmektedir. Bu işlem 2 konum arasında alınan yolun zamana bölünmesiyle yapılmaktadır. Aracın saatte kaç km gittiği verisinin doğruluğu ve hata paylarının ölçümü için veri sahasında çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma kriterlerini belirlemek adına şu durumlar gözlemlenmiştir.

1. Araç durduğunda GPS üzerinde hesaplanan hız değeri 0'ı göstermelidir.
2. Araç hareket ettiğinde GPS'in hız çıktısı araçla eşdeğer hareket etmelidir.
3. GPS ile hesaplanan hızın ölçüm hızı, araç hızından fazla olmalıdır.
4. GPS üzerinde hesaplanan hız çıktısının, araç göstergesinde bulunan hız kadranıyla uyumluluk halinde olup olmadığına bakılmalıdır.

Bu durumlar veri sahasında incelendiğinde dört numaralı durum hariç diğer durumların yerine getirildiği anlaşılmıştır. Dört numaradaki GPS üzerinde hesaplanan hız çıktısı araç kadranıyla seyir halindeyken karşılaştırılmıştır. Burada gözlemlenen durum araç kadranının hız değerini daha fazla vermesidir. Araç kadranına göre 100 kilometrede sabitlenen araç hızı GPS'in üzerinde hesaplanan hız çıktısından 4km/s daha fazladır. Fakat bu durum aracın hız kadranı referans alınarak oluşturulmuştur. Bu konu ayrıntılı olarak incelendiğinde Avrupa Komisyon Kararı'ndaki şu detaylar karşımıza çıkmaktadır;

Avrupa Komisyon Kararı'na göre hiçbir aracın hız göstergesi araç hızından düşük gösteremez. Bu bağlamda aracı üreten firmalar hız kadranında belirli bir kurtarma payı bırakmaktadırlar. Bu sebeple aracın hız kadranındaki değer gerçek hız değerini vermemektedir. Ayrıca Söz konusu karar 75/443/EEC komisyon direktifi ve bu direktifin değişikliğe uğrayan 97/39/EC maddelerince alınmıştır (Official Journal of the European Union , 2009: 5). Bu direktife göre de şu denklem oluşmaktadır.

- $V1 = \text{Araç kadranındaki hız, } V2 = \text{Gerçek hız}$
- $0 \leq v1 - v2 \leq \frac{V2}{10} + 4\text{km/s}$

Örneğin: Araç kadranındaki hızı $V = 180$ km olan bir aracın formüle göre gerçek hızı 158 km olabilmektedir.

Ayrıca araç kadranlarında oluşan bu farklardan dolayı ülkemizde de Trafik Kanunun 52. madde ve Trafik Mevzuatı 101. maddesine göre araç sürücülerine hız limitleri dahilinde %10 hız toleransı hakkı tanınmıştır.

Tüm bu durum incelendiğinde sonuç olarak tez çalışmasında kullanılan GPS'in hız ölçüm değeri araç kadranından daha doğru bilgi içermektedir. Yukarıdaki formüle göre araç kadranıyla gerçek hız arasındaki fark hız arttıkça daha da artmaktadır. Veri sahasında yapılan çalışmalarda bunu desteklemektedir. Aracın hızı arttıkça GPS'in hız ölçüm değeri araç kadranındaki değerden daha düşük göstermekte yani aradaki fark hız arttıkça daha da artmaktadır.

3.3 YOL VERİSİ ALIMINDA KARŞILAŞILAN YAN ETKİLER

Tez kapsamında veri almak üzere sahaya çıkıldığında yol üzerinde karşılaşılan bir takım yan etkiler gözlemlenmiştir. Bu yan etkiler araç üzerinde ve araç dışında olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu sorunların belirlenmesi ve teze uyguladığı olumsuz etkiyi en aza indirmek için birtakım araştırmalar ve testler gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma ve test işlemleri uygulama bölümüne geçmeden önce yapılmış olup uygulamada daha bilimsel sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen sorunlardan araç üzerinde karşılaşılan etkiler ortadan kaldırılabilirken araç dışında karşılaşılan yan etkilerin ortadan kaldırılması çok zordur çünkü bu durum hem beşeri hem de doğa kaynaklıdır. Ayrıca uygulama aşamasından önce veri alım hızının araç hızıyla entegrasyonu için bir çalışma daha yapılmıştır. Bu çalışma uygulama verileri içerdiği için 4. Bölüm Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızıyla Koordinasyonu ve Sonucu kısmında paylaşılmıştır.

3.3.1 Araç Üzerinde Karşılaşılan Yan Etkiler

Araç üzerinde karşılaşılan yan etkiler genellikle aracın dış aksamlarıyla ilgilidir. Bu yan etkilerin veriler üzerindeki etkisi ortadan kaldırılabilir veya en aza indirgenebilir. Bunun için önceden belirlenmiş araç standartlarını bilmek yeterlidir.

Bu yan etkilerden bazıları şunlardır;

- Araç Lastiği Seçimi (Yumuşak-Sert Hamur Etkisi)
- Araç Lastik Basıncının Yol Tutuşuna Etkisi
- Araç Süspansiyonu Yayılmış Kütle Kavramı

3.3.1.1 Araç Lastiği Seçimi

Yol üzerinde alınacak tez verileri için aracın tekerlek seçimi önemli bir kriterdir. Ülkemizde de araç sahipleri kendi sürüş tarzlarına veya durumlarına uygun lastik seçimleri yapmaktadırlar. Bu seçim tekerlek hamurunun yapısıyla ilgilidir. Sert veya yumuşak yapıda olan iki farklı lastik türü bulunmaktadır. Sert araç lastiklerinin yol tutuşu yumuşak lastiğe oranla biraz daha kötüdür. Fakat yakıt tasarrufu ve uzun ömürlü olması açısından yumuşak lastiklerden daha iyidir. Yumuşak araç lastikleri ise sert lastiğe oranla tam yol tutuşu sağlar fakat kısa ömürlüdür (Ertekin, 2011: 24).

Uygulama aracının lastikleri bu kriterlere bakıldığında yumuşak olması uygun görülmüştür. Çünkü yolun eğim değerlerini en doğru şekilde almak için aracın yol tutuşunun iyi olması gerekmektedir. Bu bakımdan uygulama aracına Lassa firmasından saha veri alımı öncesi Şekil 40’da verilen 205/55/R16 boyutlarında Driveways modeli lastikler takılmıştır.

Şekil 40: Araca Takılı Driveways Model Lastik



Kaynak: Fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir.

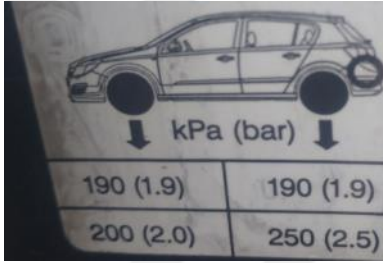
3.3.1.2 Araç Lastik Basıncının Yol Tutuşuna Etkisi

Önemli bir diğer kriter ise araç lastik basıncının yol tutuşuna etkisidir. Dört adet lastikten grup olan yani aynı aks üzerinde seyreden lastiklerin hava basıncının aynı olması gereklidir. Aynı olmadığı durumlarda yol tutuş kabiliyeti azalmaktadır

(Ertekin, 2011: 8). Dolayısıyla bir tarafın yüksek hava basıncı diğer tarafın düşük hava basıncına sahip olması alınacak olan eğim verisini olumsuz etkilemektedir. Araç düz seyrederken veya viraja girildiğinde farklı hava basıncına sahip lastikler, yolun eğim değerine ek olarak lastiklerin birbiri arası yükselti farkından dolayı artı veya eksi yönde fazladan eğim değeri vermesi olasıdır. Bu sebeple araç lastik basınçlarının aynı olması küçük ama önemli bir detaydır.

Şekil 41’de uygulama aracına takılan lastiklerin lastik hava basınç değerleri gösterilmektedir. Aracın lastik boyutları 205/55/R16’dır. Bu tablo tez aracının benzin depo kapağına fabrika çıkışlı olarak yazılmaktadır. Bu bilgilere bakıldığında lastik değeri en düşük 190 kPa en yüksek 250 kPa değerinde olmalıdır.

Şekil 41: Tez Aracının Olması Lastik Hava Basınç Değerleri



kPa (bar)	
190 (1.9)	190 (1.9)
200 (2.0)	250 (2.5)

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Bu değerlerin aritmetik ortalaması olan 220 kPa değeri ise uygun görülen lastik değeri olarak belirlenmiştir. Lastiklere hava basan cihazlarda bu değer kPa olarak değil PSI olarak verilmektedir. Bu bağlamda 220 kPa değerinin PSI karşılığı bulunmalıdır.

- 1 kPa = 0,145 PSI değerine karşılık gelmektedir (Tomlinson ve Fam 2015 : 55). O halde 220 kPa = 32 PSI’dir.

Araç lastik basınç değeri dört lastik içinde 32 PSI olarak belirlenmiştir. Uygulama aşamasında ise veri almadan önce dört adet lastiğinde hava basınçları kontrol edilerek veri alınmaya çalışılmıştır.

3.3.1.3 Araç Süspansiyonunda Yaylanmış ve Yaylanmamış Kütle Kavramı

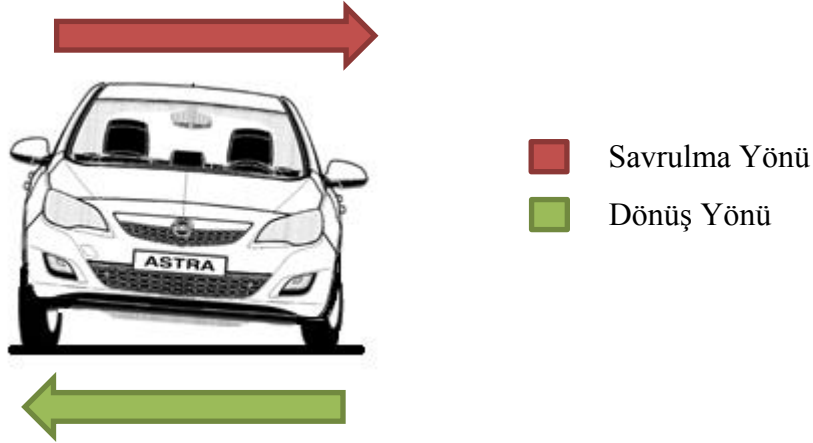
Süspansiyon sistemi araç gövdesi ve tekerlekler arasında bulunan, yolun yapısından kaynaklanan titreşimleri sönmölemek için tasarlanmıştır. Bu sayede aracın yol tutuşuna katkı sağlamaktadır. Süspansiyonun başlıca sürüş konforuna sağladıkları şunlardır (Uysal ve Diğerleri 2016: 1);

- Araç gövdesini akslar üzerinde taşıyarak tekerlekler arasındaki geometrik düzeni sağlar.
- Virajlarda tekerleğin yol ile uyumunu sağlayarak güvenli dönüş sağlar.
- Araçta oluşan yaylanmamış kütleli azaltarak sürüş konforu sağlar.

Yaylanmış kütle kavramı aracın viraja veya yol yapısındaki titreşime neden olan engellerin araç üzerine etki ettiğı kütleli kuvveti, süspansiyon yaylarının sönmölemesidir. Yaylanmamış kütle kavramı ise yol yapısının süspansiyon yayına uyguladığı bu kütleli sönmölenemeyen kütleli kuvvetine denilmektedir (Kinoshita de Diğerleri, U.S Patent No: US 8,892,280 B2, 2014: 35).

Bu kavramlardan yol verisi alımında dikkat edilmesi gereken nokta yaylanmış kütle kavramıdır. Çünkü bu kavramın teze etkisi özellikle virajlarda meydana gelen dönüş esnasında süspansiyon yaylarının araç gövdesine yaptığı etkidir. Bu etki taşıtın yaylanmış kütleli sinin, taşıtın rulo merkezinin etrafında dönmesi anlamına gelmektedir (Vargas-Meléndez ve Diğerleri 2016: 5). Araçlarda bulunan süspansiyonlar marka ve modellere göre farklılık göstermektedir fakat genel olarak süspansiyon yayları sert veya yumuşak olmaktadır. Yumuşak yaylar engellere karşı daha hızlı tepkime verip konfor açısından elverişli olsalar da sert süspansiyon yayları kadar yol tutuşu sağlayamamaktadırlar. Ayrıca dönüş esnasında yumuşak yayların yaylanmış kütleli fazla olacağı için virajlarda araç gövdesini sert yaylara göre daha fazla yana yatırmaktadırlar (Özdemir ve Maden, 2013: 184). Bu da eğim verisi alınacak yolun dönüş yönünün aksine doğru fazladan değer çıkaracağı anlamına gelmektedir. Şekil 42’de yol üzerinde yaylanmış kütleli aracın gövdesine etkisi gösterilmiştir.

Şekil 42: Virajda Yaylanmış Kuvvetin Araç Gövdesine Yaptığı Etki



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Tüm bu durumlar neticesinde uygulama aracı olan Opel Astra HB'in süspansiyonları incelenmiş ve sert olduğu görülmüştür. Opel markasının sert süspansiyonlar kullandığı da bilinmektedir. Şekil 43'te incelenen uygulama aracının süspansiyon yayları verilmiştir.

Şekil 43: Çalışma Aracının Süspansiyon Yayları



Kaynak: Fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir.

Sonuç olarak yaylanmış kütlenin uygulama verilerine etkisinin fazla olması için yol üzerindeki engellerin büyük, virajlarında keskin olması gereklidir. Uygulama sahası kent dışı otoyolları kapsadığı için genellikle virajlar uzun ve yalpa açısı vermemektedir. Fakat tez kapsamında çalışan sensör verilerinin değerlendirilmesinde keskin virajlara sahip noktaların sonuçlarına etki edebilecek bu faktör gözden kaçırılmamalıdır. Ayrıca bu faktörün desteklediği diğer bir nokta ise araç özelliklerinin alınan veriye etkisinin doğrudan veya dolaylı şekilde etkilediğidir. Bu bağlamda bu gibi çalışmalarda süspansiyon yaylarında, alt salıncak takımlarında (alt tabla) ve süspansiyon takozlarında hasar olup olmadığına kesinlikle bakılmalıdır.

3.3.2 Araç Dışında Karşılaşılan Yan Etkiler

Araç dışında karşılaşılan yan etkiler bir önceki yan etkilere göre gerçekleşme durumu bakımından daha basit etkilerdir fakat çözüm olarak daha zordur. Nitekim bu etkilerin ortadan kaldırılması kişiye veya uygulama aracına bağlı değildir. Bu bakımdan bu durumun oluşturduğu etkiler için uygulamayı başa almak veya ertelemek gerekebilmektedir.

Bu yan etkilerden bazıları şunlardır;

- Yol Şeridi Üzerinde Karşılaşılan Sorunlar
- Hız Problemleri
- Rüzgarın Araç Üzerindeki Etkisi

3.3.2.1 Yol Şeridi Üzerinde Karşılaşılan Sorunlar

Araçla saha verileri alınırken trafik kurallarının ön gördüğü hız limitlerinde yolun orta şeridi tercih edilmiştir. Bunun nedeni sol şeridin trafik kurallarına göre sürekli ihlalinin yasak olması sağ şeridin ise ağır tonajlı araçların kullanım alanı olmasıdır. Fakat akan trafikte orta şeridin en uygun şerit olması tam anlamıyla sorunsuz bir yol şeridi olduğu anlamına gelmemektedir. Sağ veya sol şeritte öngörülen sorunlardan bazılarına, seçilen orta şeritte de karşılaşılmıştır.

Bu sorunlardan bazıları;

- Ağır tonajlı araçların sollama esnasında öne geçerek uygulama aracının stabil hızını azaltması
- Orta şeritten yavaş giden araçların uygulama aracının stabil hızını azaltması
- Tehlikeli araç kullanan sürücülerin sürekli şerit değiştirmesi halinde yapılan anlık frenlerin uygulama aracının stabil hızını azaltması
- Şerit sınırlarını belirleyen çizgilerde çizim kaymalarının olması

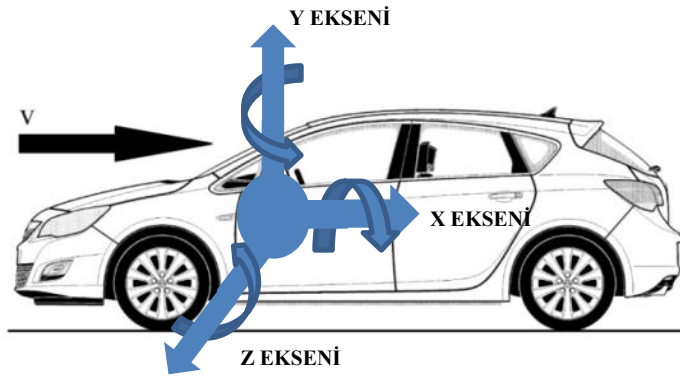
3.3.2.2 Araç Hız Problemi

Alınan yol verisinin bütünlüğünün aynı sürat ile alınması mümkün değildir. 3. Bölümde Yol Şeridi Üzerinde Karşılaşılan Sorunlar kısmında yer alan faktörler hızı oldukça etkilemektedir. Uygulama aracında da hız sabitleyici bulunmamaktadır. Bu sebeple viraj alırken veya sürekli aynı hız limitinde durma zorluğunun oluşturduğu ayrı bir hız problemi olduğu gözlemlenmiştir. Bu problemin çözülmesi gaz pedalının belirlenen veri alım süreci boyunca oynatmadan sabit tutulmasına bağlıdır.

3.3.2.3 Rüzgarın Araç Üzerindeki Etkisi

Araçla veri alım seyrinde rüzgarın etkisi önemli bir yan etkidir. Çünkü rüzgarın fazla olduğu zamanlarda aracın aerodinamik özellikleri gelen rüzgarı yeteri kadar karşılayamamakta ve bu durumda araçta yalpalama ve titreme olabilmektedir (Demircioğlu, 2007: 12). Bu da virajlarda eğimin doğru alınamaması gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Burun veya arkadan gelen rüzgarın etkisinden çok yan bölgelerden gelen rüzgar bu gibi problemlere neden olmaktadır. Özellikle ani rüzgar etkisi (wind gust) sebebiyle eğim değerlerinde değişimin mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 44’de araca etki eden rüzgarın hangi eksen yönlerinde etki ettiği gösterilmiştir. Bu durum yaylanmış kütle kuvvetinin araç gövdesine uyguladığı etkiye benzemektedir. Bu etkinin ortadan kaldırılması kişiye bağlı olmadığı için bu durumla karşılaşıldığında veri alımı durdurulmuş veya başka bir güne ertelenmiştir.

Şekil 44: Tez Aracına Uygulanan Aerodinamik Kuvvetin Merkez Noktaları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Sonuç olarak Şekil 45’de görülen durum göz önüne alındığında, rüzgar kuvvetinin aracın X eksen merkezine uyguladığı aerodinamik şiddetinden dolayı veri sapmalarına neden olabileceği gözlemlenmiştir. En çok etkiyi virajlarda gösteren bu durum yol üzerinde alınan eğim verilerinin doğruluğunu düşürmektedir. Bu sebeple rüzgar şiddetinin fazla olduğu veya aracın aerodinamik direncinin yetersiz kaldığı hava şartlarında yolun eğim verisinin alımı durdurularak uygulama iptal edilmiş ve başka bir güne ertelenmiştir.

Şekil 45: X Eksenine Uygulanan Aerodinamik Kuvvetin Etkisi (solda), Etkisiz Durumu (sağda)



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YAZILIM BİLEŞENLERİ VE ARAÇ ÜZERİNDEKİ DEVER HATA TESPİT UYGULAMASI

4.1 YAZILIM BİLEŞENLERİ

Uygulama kapsamında araç üzerinde çalışan 2 adet sensör bulunmaktadır. Bu sensörlerin çalışması ve verilerin elde edilmesi için açık kaynaklı bir yazılım kullanılmıştır. Kullanılan bu yazılıma takiben elde edilen verilerin anlamlandırılması ve bilgiye dönüştürülmesi için birtakım uygulamalarda kullanılmıştır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

- Uygulama Yazılım Dilinin Derlendiği Tümüleşik Geliştirme Ortamı (IDE); Geany
- Uygulama Yazılım Dili; Python
- Veri kaydının yapıldığı dosyalama türü; CSV
- Verilerin görsel olarak Coğrafi Bilgi Sistemi üzerinde haritalandırılması; QGIS

Şekil 46: Uygulama Kapsamındaki Yazılım Bileşenleri



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

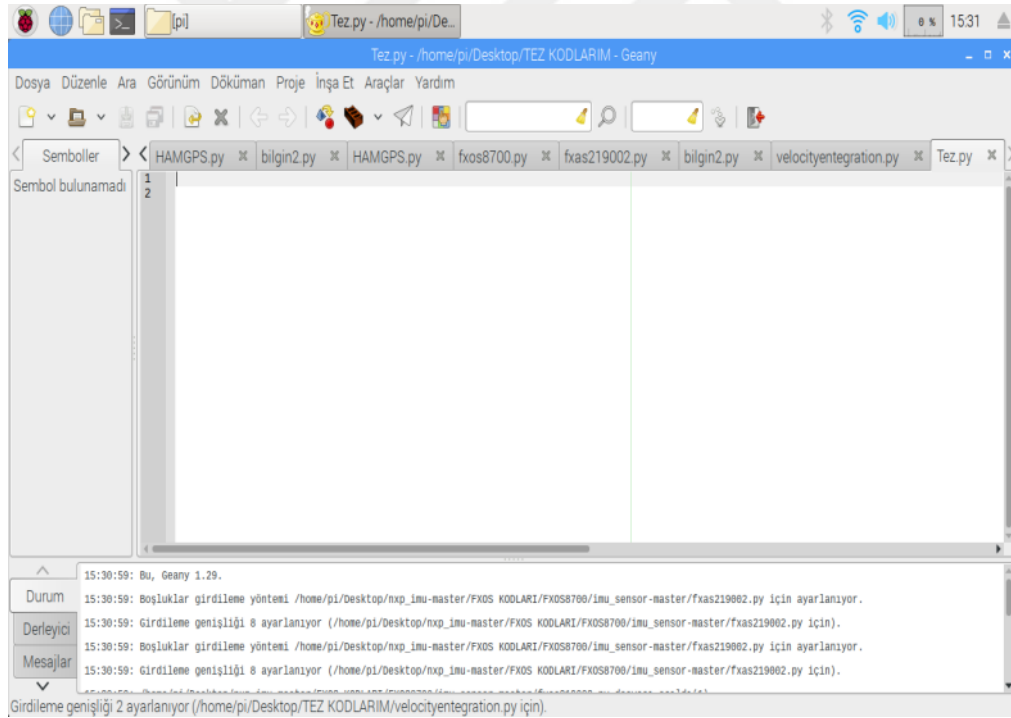
4.1.1 Yazılım Dili ve Tümlleşik Geliştirme Ortamı (IDE)

Uygulamada kullanılan yazılım dili Python 2.7'dir. Bu yazılım dili sayesinde araç üzerinde konumlandırılan sensör verilerinin okunması ve kaydedilmesi gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında çalışan yazılım Tümlleşik Geliştirme Ortamında (IDE) derlenerek yazılmıştır.

Uygulamanın çalıştığı gömülü bilgisayar olan Raspberry üzerinde, Raspbian işletim sistemi bulunmaktadır. Bu işletim sisteminin kurulumunda var olan Geany tümlleşik çalıştırma ortamının, uygulama üzerinde çalışan yazılım için kullanılması uygun görülmüştür. Geany günümüzde C, C++, Java, JavaScript, PHP, CSS, HTML, Python, Pascal ve Perl dillerini destekleyen özgür bir yazılımdır. Şekil 47'de Geany tümlleşik çalıştırma ortamı gösterilmektedir.

Şekil 47: Geany Tümlleşik Çalıştırma Ortamı

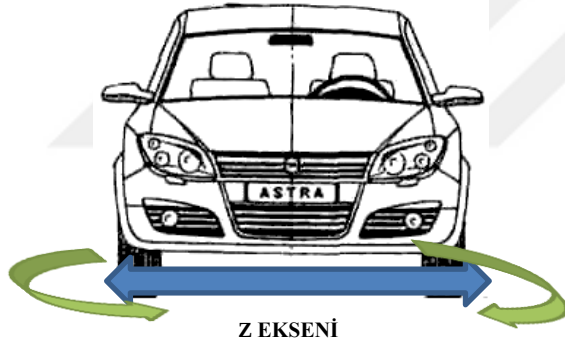


Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

4.1.2 Dever Hata Tespitinde Kullanılan Jiroskop ve İvme Eksenleri

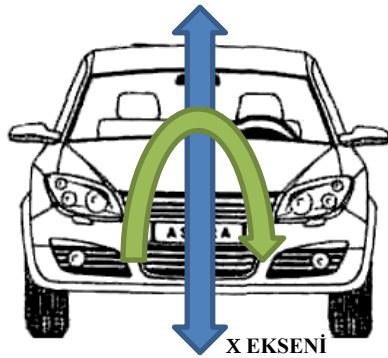
Yol ile ilgili olarak veri toplayan iki adet sensör bulunmaktadır. Birisi jiroskop değerlerini ölçerken diğeri ivme değerlerini ölçmektedir. Jiroskop sensörü viraj dönüşlerindeki açısal dönüş yönünü ölçmekte, ivme sensörü ise jiroskop değerinin ölçtüğü açısal dönüş yönündeki eğim değerlerini ölçmektedir. Sonuç olarak jiroskop ve ivme sensörünün yardımı ile doğrudan deveri veya deverin araca uyguladığı savrulma etkisi ölçülerek yol üzerinde uygulanan deverin doğru yapılıp yapılmadığını analiz edecek verileri sunmaktadır. Bu bağlamda araç düz konumda iken yani yanal enlemde büyük bir kuvvete maruz kalmadığında, yolun eğimini yani dever değerini ölçebilmektedir. Fakat virajlarda jiroskobun belirlediği sağ veya sol dönüşlerdeki yalpa açısının eğim değeri alınmaktadır. Şekil 48’de jiroskop, Şekil 49’da ise ivme sensörünün virajda ölçtüğü düzlem yönleri gösterilmektedir.

Şekil 48: Jiroskop Sensörünün Virajda Ölçtüğü Düzlem



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 49: İvme Sensörünün Virajda Ölçtüğü Düzlem



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.1.3 Jiroskop Sensörünün Dever Ölçümündeki Yeri

Öncelikle jiroskop Türkçe adıyla düz döner olarak bilinmektedir. Sabit bir nesnenin üç dikey ekseninde açısal oranlar karşılaştırılarak dönüş yönü ve hızını belirleyen sensördür. Açısal dengenin korunması ilkesiyle çalışır. Çalışma prensibi olarak jiroskop sensörü açısal hızı algılayabilir. Yani sabit duran bir cismin, üç dikey ekseninde açısal oranlar karşılaştırılarak dönüş yönü ve dönüş hızı belirlenir. (Süzen ve Diğerleri, 2017: 66-72).

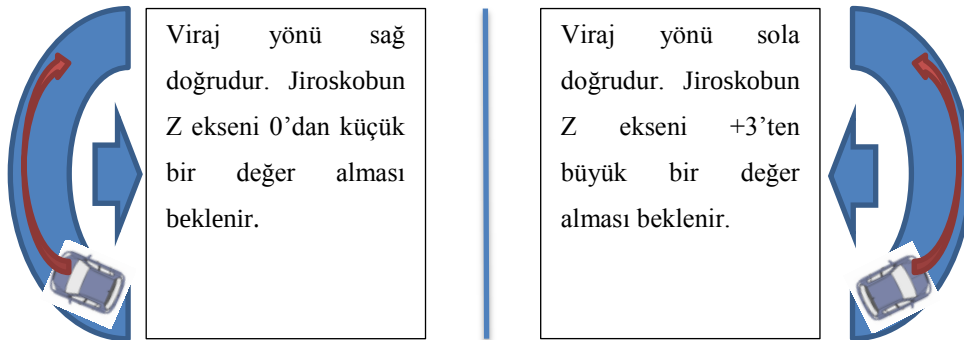
Bu sayede uygulama kapsamında hareket eden aracın yönü ve dönüş halindeki eksen değeri net olarak bilinebilmektedir. Bu yönler jiroskop sensörünün verdiği açısal değişim değerlerine göre belirlenmektedir.

Kayıt altına alınan jiroskop verilerinden şu bilgiler elde edilmektedir;

- $0 > Z \geq 2,99999$ ise Araç düz gidiyor,
- $Z \geq 3$ ise Araç sola dönüyor,
- $Z < 0$ ise Araç sağ dönüyor.

Burada aracın düz gitmesinin neden 0° ile $2,99999^\circ$ arasında olduğu 3. Bölümün Jiroskop Sensörünün Yanal Dönüş Birimi Olan Z Eksenindeki Ölçüm Hata Payı adlı kısmında yer almaktadır. Şekil 50’de viraj yönüne bağlı olarak değişen jiroskop değerleri verilmiştir.

Şekil 50: Viraj Yönüne Bağlı Jiroskop Değerleri



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Jiroskop verileri FXAS21002C entegre sensöründen üç ekseninde gelmektedir. Bu eksenler X,Y,Z eksenleri olup açıklamaları şu şekildedir;

- X Eksen; Sensörün yanal eksenindeki dönüş yönü ve dönüş hızını gösterir.
- Y Eksen; Sensörün dikey eksenindeki dönüş yönü ve dönüş hızını gösterir.
- Z Eksen; Sensörün sapma eksenindeki dönüş yönü ve dönüş hızını gösterir.

Tez kapsamında aracın sağ veya sola dönüşünü bilmek için Z Eksen kullanılmıştır (Şekil 51). Z eksen araç tekerleğinin düz, sağ veya sol eksenindeki sapma değerine göre bir değer vermektedir. Direksiyon hareketlerine göre değişen bu durum özellikle virajlarda eğim verilerinin anlamlandırılmasında oldukça fayda sağlamaktadır.

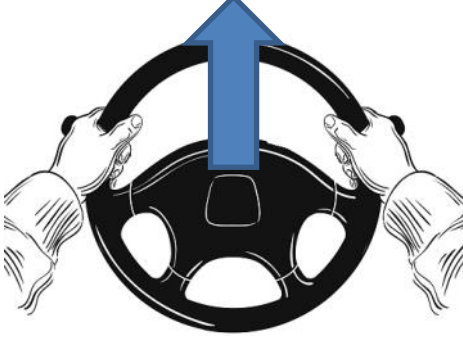
Şekil 51: Örnek Bir Jiroskop Veri Çıktısı

```
Acceleration (m/s^2): (0.476, -1.333, 9.863)
Ivmeolcer X: 0.4761716974 olcekli: 2.90632139526e-05
Ivmeolcer Y: -1.3328021882 olcekli: -8.13477898071e-05
Ivmeolcer Z: 9.8632147572 olcekli: 0.000602002853833
gyro (deg/s) -0.61 -1.83 -11.41
sag donus var -11.413574172
x dondurme: 7.68683728825
y dondurme: -2.73909697817
```

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

- Şekil 52’de düz sabit duran direksiyona göre jiroskop verileri şu şekildedir; $0 > Z > 2,99999$

Şekil 52: Jiroskop Verisinin Direksiyon Hareketine Göre Değişimi (Düz)



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

- Şekil 53’de sağ sabit duran direksiyona göre jiroskop verileri şu şekildedir; $Z < 0$

Şekil 53: Jiroskop Verisinin Direksiyon Hareketine Göre Değişimi (Sağ)



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

- Şekil 54’de sola sabit duran direksiyona göre jiroskop verileri şu şekildedir; $Z > 0$

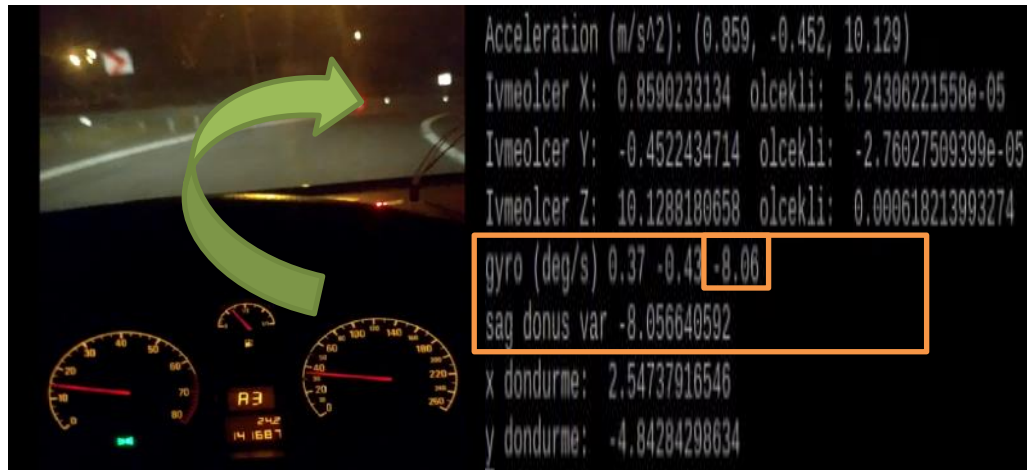
Şekil 54: Jiroskop Verisinin Direksiyon Hareketine Göre Değişimi (sol)



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 55’de yol üzerindeki uygulama aracı ve jiroskop değerleri gözükmemektedir. Yol seyrine bakıldığında dönüş yönü sağ, jiroskop değerine bakıldığında ise Z ekseninin 0’ın altında olduğu görülmektedir.

Şekil 55: Yol Üzerinde Jiroskop Değerinin Örneği



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.1.4 İvme Sensörünün Dever Ölçümündeki Yeri

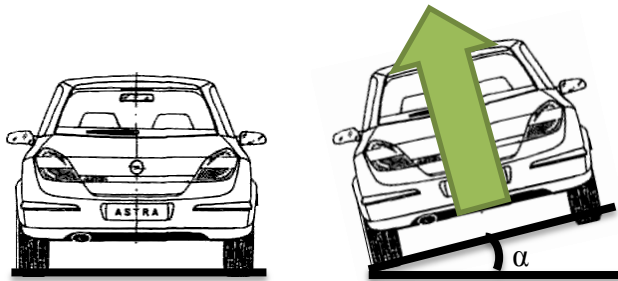
İvme sensörü yol üzerindeki dever değerinin kontrol edilmesinde ana faktör olan enine eğim açısının değerini (x) araç üzerinde vermektedir. Yani dönüş yön bilgisine göre virajlarda araç gövdesine uygulanan eğimin veya yol üzerindeki deverin eğim değerini ölçülebilmektedir. Bu ölçümlerin ayrıntıları 4. Bölümdeki İvme Verilerinin Eğim verilerine Dönüştürülmesi kısmında yer almaktadır. Bu ölçülen değerlerin, araç yol üzerinde düz bir konumda iken yolun eğim değeriyle birebir aynı olması için tez aracının özellikleri incelenmeli ve ivme sensörü en uygun nokta olarak görülen yere konumlandırılmalıdır. Ayrıca araç dışında oluşabilecek yan etkilerinde hesaplanması gerekmektedir. Araştırma ve testler kapsamında bütün bu faktörlerin belirlenmesi için çalışılmıştır.

İvme sensöründen elde edilen eğim verileri aracın seyrine göre (düz, sağ, sol olarak) değişmektedir. Düz konumda iken aldığı veriler dever ile örtüşme sağlasa da sağ veya sol virajda eğim sensörleri ağırlık merkezinin değişmesiyle yalpa açısının yani araç gövdesinin salınım açısının değerini ölçecektir. Benzer bir çalışmada bu durum, aracın ani dönüş yapmadığı ve düz konumda olduğu anda uygulamanın çok iyi çalıştığı belirtilmiştir (Nilsson, Lingefelt, 2011: 12). Bu bağlamda eğim sensörünün araç seyrine göre oluşan anlamları şu şekildedir;

Araç seyir hali düz iken:

- $X > 0$ ise dever yönü pozitifdir. Yani sensör sağa yatık bir düzlemin üzerinde bulunmaktadır.

Şekil 56: Taşıt Düz Seyir Hali $X > 0$

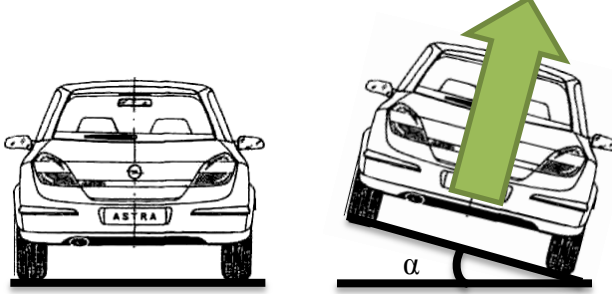


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Araç seyir hali düz iken:

- $X < 0$ ise dever yönü negatiftir. Yani sensör sola yatık bir düzlemin üzerinde bulunmaktadır.

Şekil 57: Taşıt Düz Seyir Hali $X < 0$

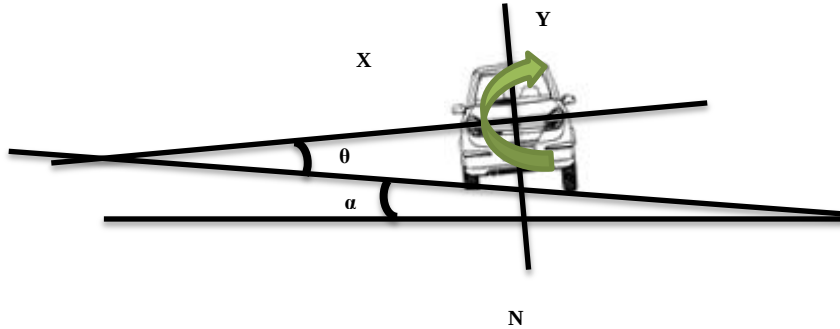


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Araç seyir hali sağ doğru iken dever yönü negatif olmalıdır.

- $X > 0$ ise araç virajda değişen ağırlık merkezi sebebiyle, dever yönüne ters bir şekilde yalpa açısı vererek, pozitif yönde değer vermiştir. Bu değer en fazla $+7^\circ$ olması beklenir.

Şekil 58: Taşıt Sağ Seyir Hali $X > 0$

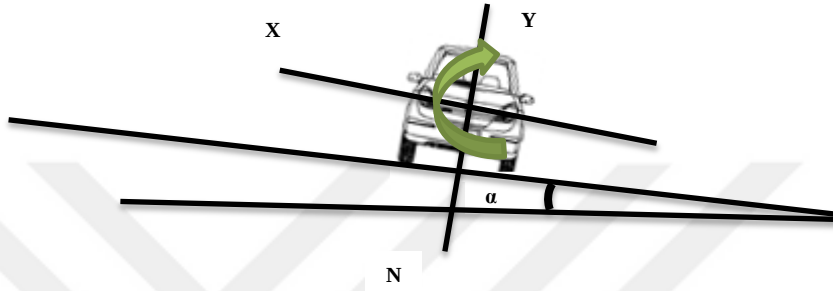


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Araç seyir hali sağ doğru iken dever yönü negatif olmalıdır.

- $X < 0$ ise araç virajda değişen ağırlık merkezi sebebiyle sensörde negatif yönde değer vermiştir. Bu durum aracın viraj içine doğru hareket ettiği anlamına gelmektedir.

Şekil 59: Taşıt Sağ Seyir Hali $X < 0$

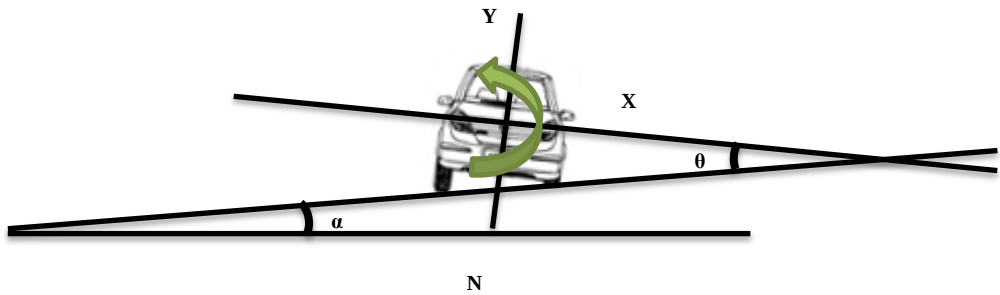


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Araç seyir hali sola doğru iken dever yönü pozitif olmalıdır.

- $X < 0$ ise araç virajda değişen ağırlık merkezi sebebiyle dever yönüne ters bir şekilde yalpa açısı vererek negatif yönde değer vermiştir. Bu değer en fazla -7° olması beklenir.

Şekil 60: Taşıt Sol Seyir Hali $X < 0$

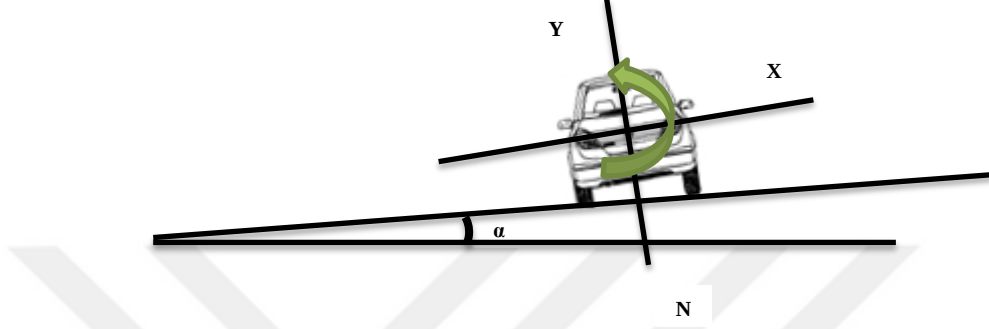


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Araç seyir hali sola doğru iken dever yönü pozitif olmalıdır.

- $X > 0$ ise araç virajda değişen ağırlık merkezi sebebiyle pozitif yönde değer vermiştir. Bu durum aracın viraj içine doğru hareket ettiği anlamına gelmektedir.

Şekil 61: Taşıt Sol Seyir Hali $X > 0$



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Burada bilinmesi gereken hususlardan birisi yolun dever noktasının bilinmesi için aracın yol üzerinde düz bir konumda ilerlemesi gerektiğidir. Çünkü viraj dönüşleri sırasında ağırlık merkezi ve aracı dışa iten kuvvetler sensörün eğim değerini değiştirecektir. Bu değişim dever üzerindeki araca etki eden kuvvetlerin uyguladığı enine eğim ile ilgilidir. Bu sebeple virajı dönen araç yoldaki dever oranını ölçmemektedir. Taşıtın yoldaki dever oranını sağlıklı alabilmesi için yol üzerinde, yol eğiminden başka hiçbir etkiye maruz kalmaması gerekmektedir. Bunun bilgisini belirleyen faktör ise tekerleklerin yer düzlemine eşit bastığı ve düz baktığı jiroskobun Z eksenindeki değere göre belirlenmektedir.

Özetlemek gerekirse, yolun dever ölçüsünü almak için jiroskobun Z eksenine ve eğim eksenine (X) bakılmalıdır, deverin araca uyguladığı enine eğim ölçüsünü almak için ise eğim eksenine (X) ve dönüş yönüne bakılmalıdır.

İvme verileri FXOS8700 entegre sensöründen üç eksenle gelmektedir. Bu eksenler X,Y,Z eksenleri olup açıklamaları şu şekildedir;

- X Eksen İvmesi; Sensörün yanal eksenindeki dönme ivmesini göstermektedir.
- Y Eksen İvmesi; Sensörün dikey eksenindeki dönme ivmesini göstermektedir.
- Z Eksen İvmesi; Sensörün sapma eksenindeki dönme ivmesini göstermektedir.

Bu değerler mevcut noktanın eğim değerleri değildir. Eğim değerlerini elde edebilmemizi sağlayan ivme değerleridir. Eğim değerlerini bulmak için birkaç işlemin daha yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak tez kapsamında yol üzerindeki deyer noktalarının eğimini bulmak için X,Y,Z Eksenlerinin ivme değerleri kullanmıştır. Örnek bir ivme veri çıktısı Şekil 62’de verilmiştir.

Şekil 62: Örnek Bir İvme Veri Çıktısı

```
Acceleration (m/s^2): (0.476, -1.333, 9.863)
İvmeölcer X: 0.4761716974 ölcekli: 2.90632139526e-05
İvmeölcer Y: -1.3328021882 ölcekli: -8.13477898071e-05
İvmeölcer Z: 9.8632147572 ölcekli: 0.000602002853833
gyro (deg/s) -0.61 -1.83 -11.41
sag donus var -11.413574172
x dondurme: 7.68683728825
y dondurme: -2.73909697817
```

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

4.1.4.1 İvme Verilerinin Eğim Verilerine Dönüştürülmesi

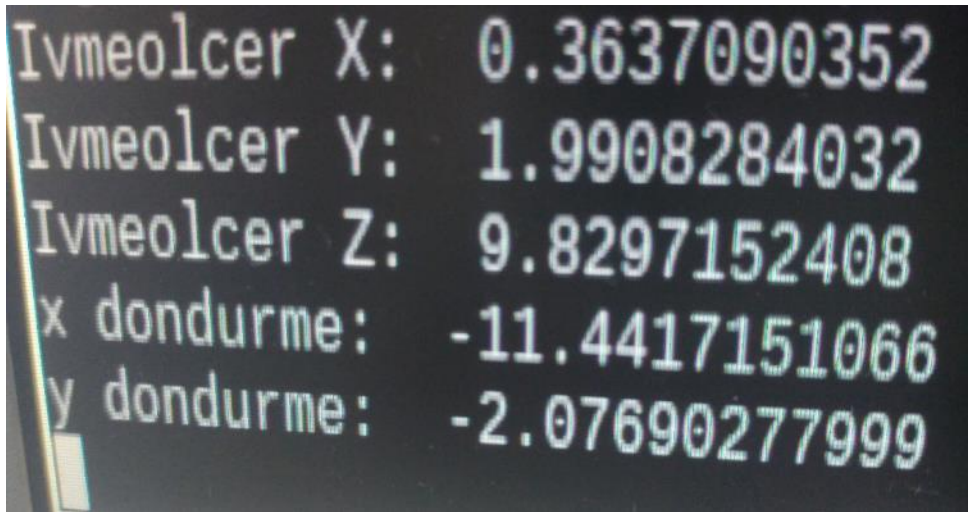
İvme eksenleri olan X,Y,Z eksen verilerinin, yazılımsal olarak yanal (X) dikey (Y) düzlemindeki eğim verisine çevrim işlemleri aşağıdaki gibidir.

```
def dist(a,b):  
    return math.sqrt((a * a) + (b * b))  
def get_x_rotation(x,y,z):  
    radians = math.atan2(y,dist(x,z))  
    return - math.degrees(radians)
```

Bu işlemlerin yazılım dilinde uygulamaya aktarımı sonucunda ivme verilerinden, eğimin derece değerleri bulunabilmektedir. İvme verilerinin eğim verilerine dönüştürülmesi için ise atan2 (arktanjant) metodu kullanılmaktadır. Yazılım kodları çözümlenir ise;

- Radians = math.atan2(y, dist(x,z)), Yani eğim açısı (radyan) = Atan2(y, dist(x,z)) kullanılarak x ekseninin açısal değeri hesaplanmakta, atan(y/x) radyan cinsinden döndürmektedir.
- Sqrt fonksiyonu ise 0'dan büyük bir tam sayı veya ondalık sayının kare kökünü almak için kullanılmaktadır.

Şekil 63: Eğim derecesi Belli Olan Bir Düzlemde İvme Değerleri



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Şekil 70'teki X ve Y ve Z değerleri X,Y,Z yönünde ölçülen ivme değerleridir. Bu değerlerden istemiş olduğumuz eğim açısını bulmak için atan2 (a,b) fonksiyonunu kullanırız.

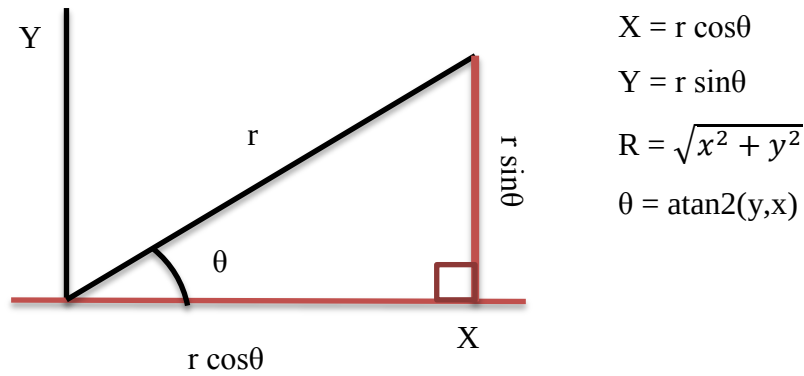
- Yanal düzlem (x) eğim derecesi = -11,44°
- Dikey düzlem (y) eğim derecesi = -2.07°'dir.

Burada yapılan işlem aslında Kartezyen sistemden trigonometrik sisteme geçiştir. Bu geçişin atan2 tarafındaki formül halindeki kısmı şu şekildedir;

$$\bullet \text{ Atan2}(y,x)=\begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{eğer } x < 0 \text{ ve } y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & \text{eğer } x < 0 \text{ ve } y < 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{eğer } x = 0 \text{ ve } y > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & \text{eğer } x = 0 \text{ ve } y < 0 \\ \text{Tanımsız} & \text{eğer } x = 0 \text{ ve } y = 0 \end{cases}$$

Bu bağlamda Atan2 metodunu kullanarak kutupsal koordinatlar ile kartezyen koordinatlar arasında bir bağ kurulmaktadır. Şekil 64'de bu durum görsel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır.

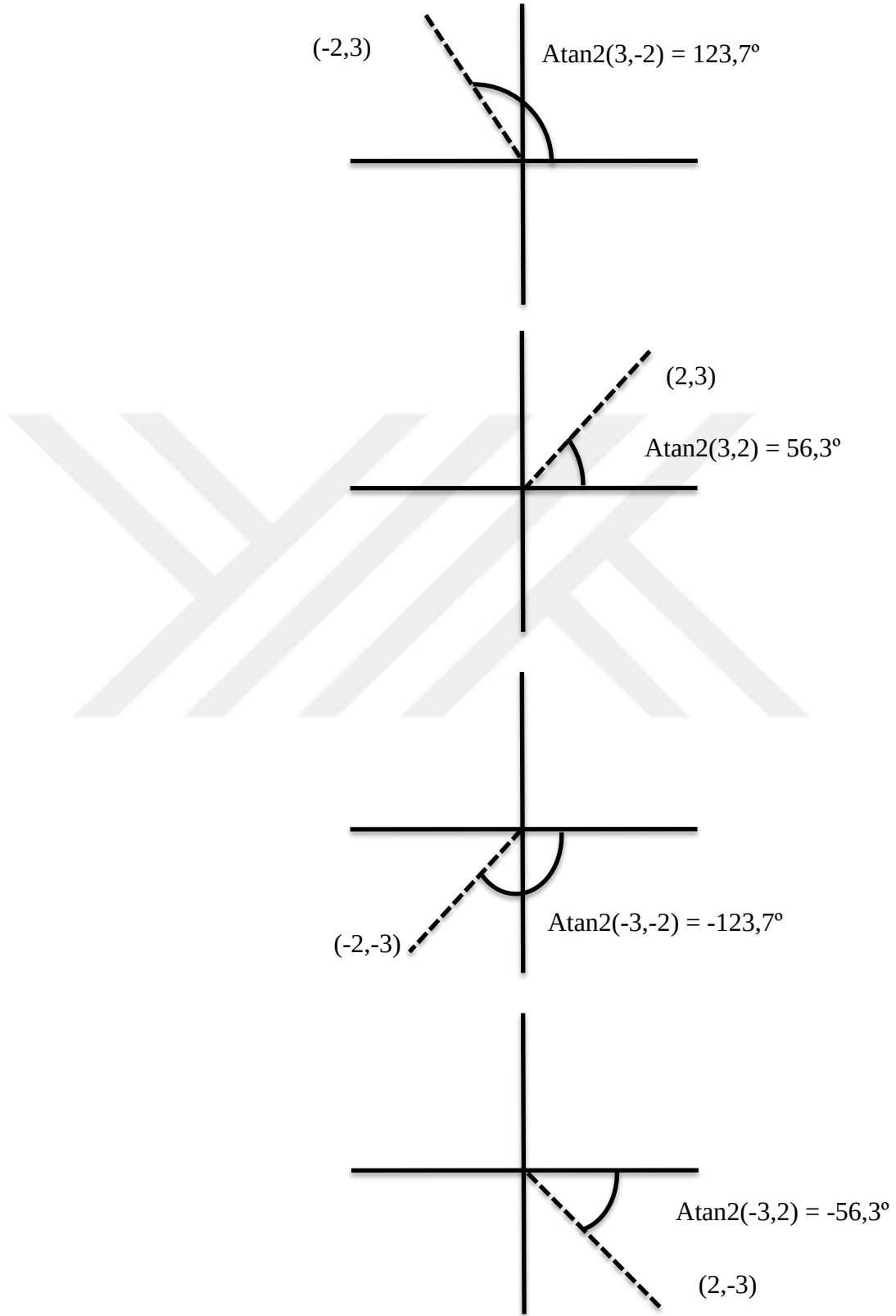
Şekil 64: Kutupsal ve Kartezyen Koordinatlar Arasındaki İlişki



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Kartezyen koordinat sistemindeki değerlerin atan2 metoyla açı çevrimleri Şekil 65'de gösterilmiştir. Burada gösterilen durum Şekil 64'de bahsedilen işlemin 4 kutupsal noktada uygulanmasıdır.

Şekil 65: Kartezyen Koordinat Sisteminde Atan2 ile Açı Çevrimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.1.5 GPS Sensörünün Değer Ölçümündeki Yeri

GPS verileri neo6mv2 sensöründen enlem ve boylam olarak konum bilgisi vermektedir. Alınan bu konum bilgisi sayesinde yol üzerinde alınan diğer verilerin harita üzerinde tam olarak nereden alındığı bilinebilmektedir. GPS verileri alınırken dikkat edilmesi gereken saniyede en fazla 1 konum bilgisinin alınacağıdır. Bu yüzden şu bilinmelidir ki: Saniyede 50 adet eğim verisi alan uygulama, aslında 2 konum noktası arasındaki 100 veriyi doldurmaktadır. Şekil 66'da GPS verisinin uygulama sırasındaki çıktı değerleri verilmektedir.

Şekil 66: GPS Verisinin Çıktısı

```
GPS Verileri Okunuyor
-----
('Tarih:', '23-06-2020')
('Saat  :', '22:15:22')
Enlem   : 38.368081667
Boylam  : 27.218535
```

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Şekil 66'da verilen koordinatlar tez uygulamasının başlandığı konumu göstermektedir. Şekil 67'de bu konumun harita üzerindeki yeri verilmektedir.

Şekil 67: GPS Verisinin Harita Üzerindeki Gösterimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Tez kapsamında alınan konum verisiyle birlikte uygulama aracının hızının testip edilmesi muhtemeldir. Bunun için şu formül kullanılır;

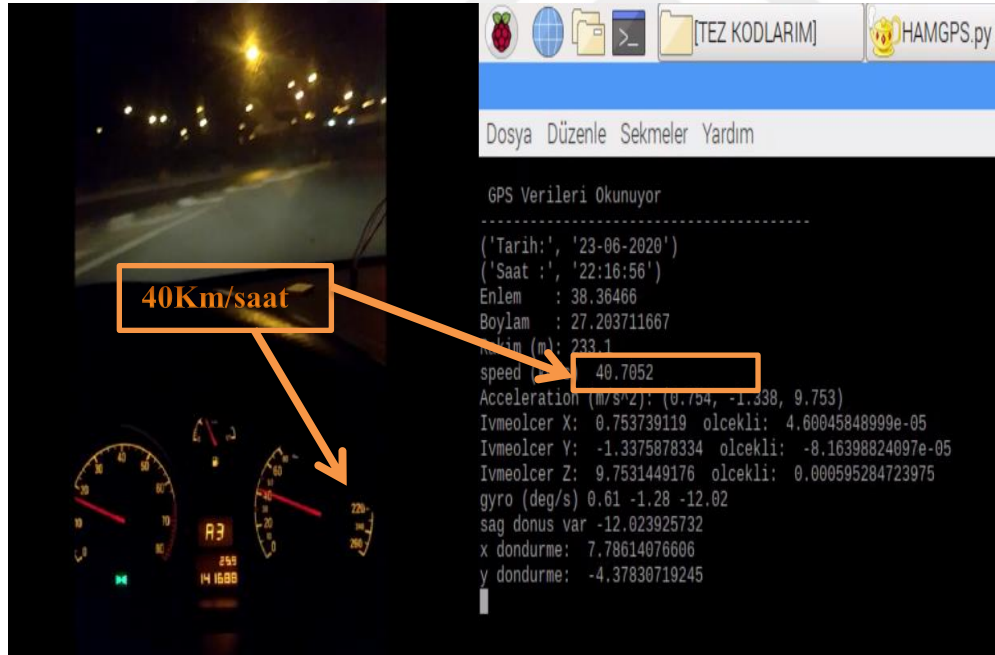
- $$HIZ = \frac{YOL}{ZAMAN}$$

GPS aldığı veriden hızı m/sn cinsinden hesaplamaktadır. Oysa araç hızı km/s olarak bilinmesi istenilmiştir. O halde;

- 1 m/sn = 3.6 km/h ise;
- GPS'in m/sn Değeri $\times \frac{3600}{1000}$, işlemi GPS tarafından alınan m/sn değeri üzerinde kullanılarak km/s değerine çevrilmiştir.

Uygulama yazılımında uygulanan bu işlem sayesinde aracın km/s bilgisi belirlenmektedir. Şekil 68'de yol üzerinde hareket halinde bulunan uygulama aracının aldığı veri bilgilerinde km/s bilgisi yer almaktadır.

Şekil 68: Eş Zamanlı Araç Kadranı ve GPS'in km/s Bilgisi

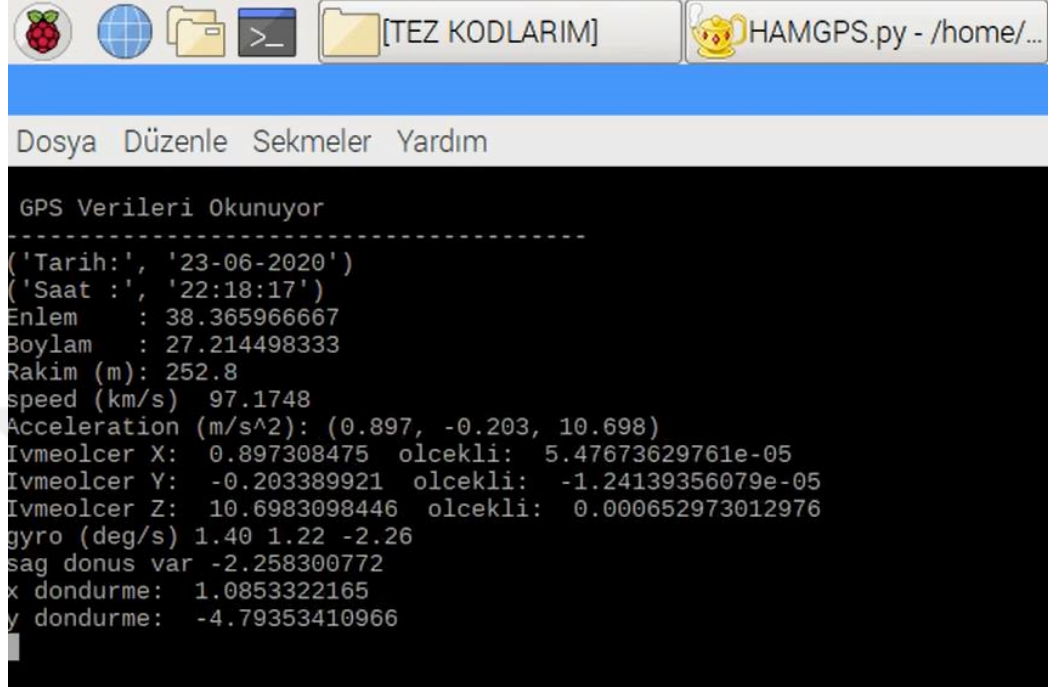


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Araç kadranı ile GPS arasındaki fark ise 3. Bölümün GPS Sensörünün Araç Üzerinde Konumlama Değerinin Hata Payı kısmında anlatılmaktadır.

4.1.6 Yazılım Verilerinin Terminal Ekranında Görüntülenmesi

Şekil 69: Tüm verilerin Terminal Çıktısı



The screenshot shows a terminal window with a blue title bar. The title bar contains icons for a Raspberry Pi, a globe, a folder, a terminal, and a folder labeled '[TEZ KODLARIM]'. To the right of the icons is the text 'HAMGPS.py - /home/...'. Below the title bar is a menu bar with the items 'Dosya', 'Düzenle', 'Sekmeler', and 'Yardım'. The main area of the terminal is black with white text. The text starts with 'GPS Verileri Okunuyor' followed by a dashed line. Below the dashed line, the following data is printed: ('Tarih:', '23-06-2020'), ('Saat :', '22:18:17'), Enlem : 38.365966667, Boylam : 27.214498333, Rakim (m): 252.8, speed (km/s) 97.1748, Acceleration (m/s^2): (0.897, -0.203, 10.698), Ivmeolcer X: 0.897308475 olcekli: 5.47673629761e-05, Ivmeolcer Y: -0.203389921 olcekli: -1.24139356079e-05, Ivmeolcer Z: 10.6983098446 olcekli: 0.000652973012976, gyro (deg/s) 1.40 1.22 -2.26, sag donus var -2.258300772, x dondurme: 1.0853322165, y dondurme: -4.79353410966.

```
GPS Verileri Okunuyor
-----
('Tarih:', '23-06-2020')
('Saat :', '22:18:17')
Enlem : 38.365966667
Boylam : 27.214498333
Rakim (m): 252.8
speed (km/s) 97.1748
Acceleration (m/s^2): (0.897, -0.203, 10.698)
Ivmeolcer X: 0.897308475 olcekli: 5.47673629761e-05
Ivmeolcer Y: -0.203389921 olcekli: -1.24139356079e-05
Ivmeolcer Z: 10.6983098446 olcekli: 0.000652973012976
gyro (deg/s) 1.40 1.22 -2.26
sag donus var -2.258300772
x dondurme: 1.0853322165
y dondurme: -4.79353410966
```

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Uygulama kapsamında alınan veriler; (yukarıdan aşağıya)

- Enlem
- Boylam
- Tarih (Gün, Ay, Yıl)
- Saat (Saat, dakika, saniye)
- Araç Hızı (km/s)
- İvme Ölçer Verileri (X,Y,Z)
- Jiroskop Verileri (Z)
- Araç Yön Bilgisi
- X Yatay Eğim
- Y Dikey Eğim

4.1.7 Yazılım Verilerinin Kayıt Altına Alınması

Uygulama kapsamında yol ve çalışma aracıyla ilgili birçok veri alınmaktadır. Bu verilerin düzenli ve hızlı bir şekilde kaydedilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda uygulamada kullanılan yazılım diliyle, uyum içinde veri kaydı yapılacağı düşünülen CSV kayıt dosyası tercih edilmiştir. Bu kayıt işleminin düzenli ve anlaşılır bir şekilde olması için Şekil 70'deki dizilim izlenmiştir.

- Tarih, Saat, Enlem, Boylam, Hız(km/s), Dönüş Yönü, Dönüş Değeri, X Eğim(Yatay), Y Eğim(Dikey)

Şekil 70: Örnek Bir Koordinatın Uygulama Veri Dizilimi

```
22-03-2020,18:32:50,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.671386716,1.69237339893,-5.36624514063
22-03-2020,18:32:50,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.61035156,2.76610202516,-4.88772126479
22-03-2020,18:32:50,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.427246092,2.35405192096,-3.20715358608
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-1.464843744,3.29401886797,-5.04852857198
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.427246092,1.14997760854,-7.4710399032
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.488281248,1.76794305077,-7.11511081271
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.244140624,3.37783200212,-6.19438645556
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.244140624,4.26489793622,-7.49895917357
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.061035156,3.55877298516,-4.37487016992
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.488281248,3.63537041839,-4.84511164669
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.488281248,2.96265059731,-4.58632688694
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,sag,-0.549316404,3.03529120555,-4.31324451655
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,duz,0.488281248,2.714920562,-7.4845057682
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,duz,0.427246092,1.40205648548,-6.89268016441
22-03-2020,18:32:51,38.382066667,27.071953333,84.5244,duz,0.30517578,0.845513150401,-5.41052727783
```

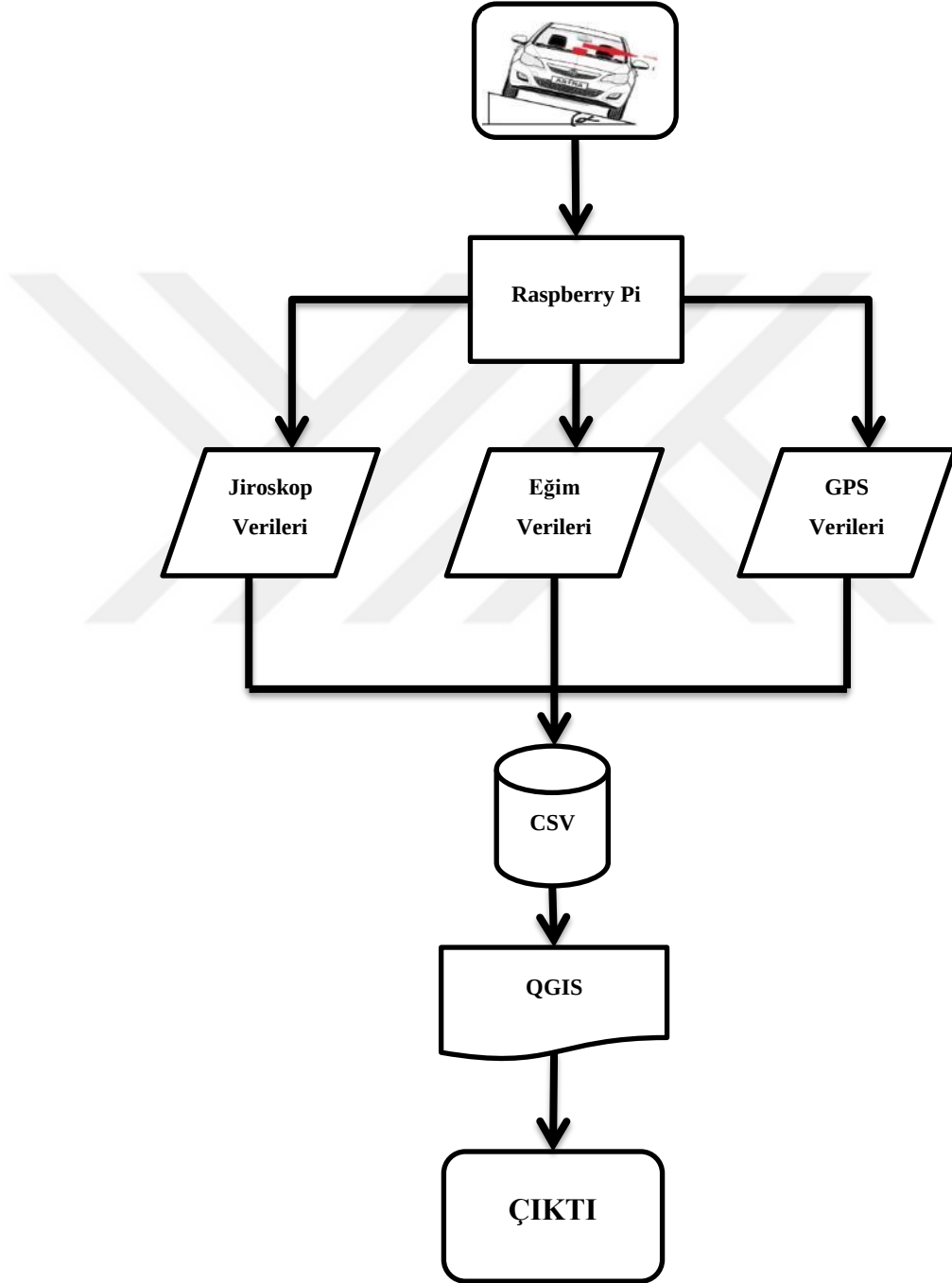
Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

- Tarih: 22-03-2020
- Saat: 18.32.50
- Enlem: 38,382066667
- Boylam: 27,07195333
- Hız(km/s): 84,5244
- Dönüş Yönü: Sağ
- Dönüş Değeri: En Yüksek: -0,671386716, En Düşük 0,488281248
- X Eğim (Yatay): En Yüksek:4,26489793622°, En Düşük 0,845513150401°
- Y Eğim (Dikey): En Yüksek:3,20715358608°, En Düşük -7,4845057682°

4.1.8 Yazılım Verisinin Süreç Boyunca Geçtiği Aşamalar Özeti

Uygulama kapsamında alınan verinin geçtiği aşamalar bütünlüğü özetleme açısından düzenlenmiştir. Bu durum Şekil 71’de gösterildiği gibidir.

Şekil 71: Uygulama Verisinin Süreç Boyunca Geçtiği Aşamalar



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.2 UYGULAMA KAPSAMINDA COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN YERİ

GPS aracılığıyla alınan yol konum verilerinin görsel olarak hangi nokta üzerinde olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda tez kapsamında yol verilerinin görsel olarak haritalandırılması CBS sayesinde yapılmaktadır.

CBS yeryüzüne ait bilgileri belirli bir amaç doğrultusunda bilgisayar ortamında depolama, görüntüleme ve analiz etme gibi işlemlerin yerine getirilmesini sağlayan bir bilgisayar sistemidir. Modern anlamda CBS'nin ilk tanımı Burrough (1998) tarafından yapılmıştır. Burrough'a göre CBS bir amaç doğrultusunda yeryüzüne ait gerçek verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve görüntülenmesi işlevini yerine getiren araçların tümüdür.

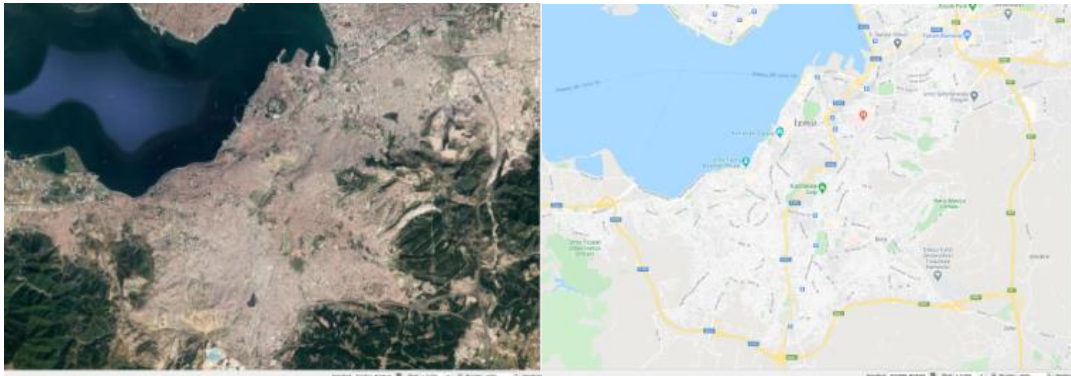
Genellikle CBS şu amaçlara hizmet etmektedir. Bunlar;

- Harita ve coğrafi bilgilerin kullanılarak verimliliğin artırılması
- Coğrafi veri tabanında yönetimi arttırmak
- Daha iyi strateji yollarının ortaya koyarak karar vermeyi destek

(Vahap Tecim, 2008: 51-52)

Uygulama kapsamında CBS, yol veri değerleriyle birlikte harita ortamında verimliliği artırmış, görsel açıdan fayda sağlayarak elde edilen sonuçların somutlaştırılmasında önemli bir rol oynamıştır. Elde edilen veriler CBS üzerinde Google Maps altlığına ait Şekil 72'de görülen uydu ve otoyollar haritası üzerinde gösterilmiştir.

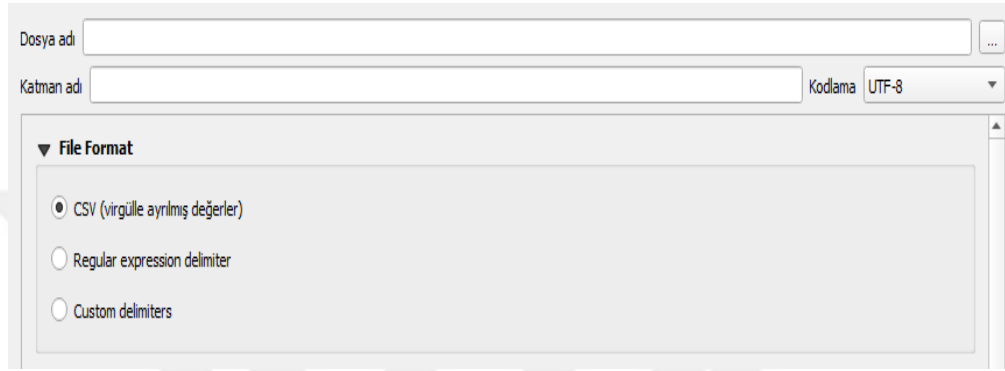
Şekil 72: Uydu ve Google Maps altlığı Otoyol Haritası



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

CBS olarak tez kapsamında kullanılan yazılım QGIS olmuştur. Verilerin depolandığı CSV dosyası üzerinden aktarımı Şekil 73’de olduğu gibidir. Verilerin sorunsuz bir şekilde CBS yazılımına aktarılması için her veri satırından sonra virgül kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple veri içeriğinde bulunan ondalık sayıların ayrımları veri satırıyla karışmaması için virgül ile değil nokta olarak yapılmıştır.

Şekil 73: CSV Dosyasından QGIS’e Veri Aktarımı



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

4.3 UYGULAMA VERİ ALIM HIZININ ARAÇ HIZIYLA İLİŞKİSİ

Uygulama kapsamında çalışan sensörler saniyede 100’lerce veri alabilmektedir. Fakat alınan veriler ışığında elde edilen sonuçların daha sağlıklı olabilmesi için, sensör veri alım hızının araç hızıyla koordineli olması gerekmektedir. Eğer sensörlerin veri alım hızı araç hızını takip edemez ise yol üzerinde alınması gereken dever noktalarının verilerini kayırabilmektedir. Ters bir durumda yani sensörlerin veri alım hızı araç hızından fazla ise ortaya çokça veri çıkacak ve elde edilmek istenen dever noktalarının verilerinde karmaşaya yol açabilecektir. Bu gibi istenmeyen sonuçların önüne geçilmesi için tez kapsamında, uygulama aşamasından önce, yol üzerinde bir takım veri alım testlerine çıkılmıştır. Şekil 74’de test öncesi araç üzerinde çalışan sistem görülmektedir.

Şekil 74: Veri Alım Hızıyla Araç Hızının İlişkilendirme Testi



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Testlere çıkılmadan önce veri alımı yapılacak otobanların hız sınırı olan 120 km/s dikkate alınarak bir denklem oluşturulmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken bir hususta GPS'in saniyede en fazla 1 konum noktası alabileceğidir.

Örneğin saniyede 10 sensör verisi alınmak istenilen bir testte, 1 dakikada şu veriler elde dilmektedir. (1 Dakika = 60 Saniye)

- GPS saniyede 1 veri aldığı için;
 $60 \times 1 = 60$ Adet GPS koordinatı
- Diğer sensörler (eğim-jiroskop) için;
 $60 \times 10 = 600$ Adet eğim ve jiroskop noktası

Buradan da anlaşılacağı üzere, aracın otoyolda yasal sınırlar içindeki maksimum hızı dikkate alınarak uygulama hızının üst sınırı belirlenmiştir.

- $1 \text{ km/s} = 0,277777778 \text{ m/s}$ 'dir.
- 120 km/s hızla giden bir araç saniyede; 33,3 metre gitmektedir.

Burada belirtilen 33,3 metre için metre başına veri alım hızı almak istendiğinde saniyede 33,3 veri alım hızı kullanılmalıdır. Fakat bu, araç 120 km/s gittiğinde alınacak minimum veri hızıdır. Buradan çıkan sonuca göre de uygulama için alınacak olan sensör veri hızının saniyede 50 olması uygun görülmüştür. Fakat uygulama kapsamında genellikle ortalama 90-100 km/s seyredilmesi planlanmıştır. Bu da yapılan hesaplara göre saniyede 27 metrenin altında bir değere karşılık gelmektedir.

4.3.1 Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi

Uygulama veri alım hızının 50 olması yer yer 70km/s'in altına düşülen virajlarda metre başına gereksiz birçok veri anlamına gelmektedir.

Veri alım hızının yüksek olmasının bazı dezavantajları;

- Şerit içinde düz yolda şerit takibi yaparken hafif sert bir direksiyon çevriminde bu durum verilerde sağ veya sola döndüğünü yönünde bir okuma yaptırabilir,
- Veri alım hızı yüksek olduğu için yol üzerinde bulunan bir tümsek daha fazla veri hatası sunabilir.
- Otobana giriş-çıkış virajlarında yavaş seyredildiği için metre başına fazladan veri alımına sebebiyet verebilir.

Veri alım hızının düşük olmasının dezavantajı;

- Yol üzerinde yüksek hızda seyredilmesi durumunda bazı dever noktalarının veri alımının kaçırılacağı anlamına gelebilir. Bu durum hem uygulama amacına ters düşmekte hem de analiz için gerekli veri alımını büyük ölçüde engellemektedir.

Bu sebeple bu durumların araştırılması için uygulama aracıyla saha üzerinde saniyede 2, 10, 50 ve 100 veri alım hızları kullanılarak uygulama veri alım hızının araç hızına etkisi incelenmiştir. Şekil 74'de görülen bu testin verileri saniyede 2 EK2'de, saniyede 10 EK3'de, Saniyede 50 EK4'de Saniyede 100 EK5'de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde aynı konum üzerinde uygulama saniyede kaç veri alırsa alsın hemen hemen aynı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Fakat saniyede alınan veri ne kadar düşük olursa yol üzerindeki bazı noktaların veri alımlarının kaçırıldığı da tespit edilmiştir. Bu sebeple önceden belirlenen saniyede 50 adet veri alım hızı, uygulamanın esas veri alım hızı olmuştur. Fakat aynı güzergah ve aynı şeritte saniyede 10 ve 25 adet veri alım hızı kullanılarak hem sağlama verisi hem de düşük hızda seyredilen yol noktalarının gereksiz verisinden kurtulmak amaçlanmıştır. Veri alım hızının yüksek olmasının diğer bir çözümü ise yol üzerinde veri alımı yapılırken araç ile veri alım hızı arasında bir koordine sağlamaktır. Bu konuyla ilgili olarak ayrı bir çalışma yapılmış ve sonuçları paylaşılmıştır.

4.3.2 Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızıyla Koordinasyonu Ve Sonucu

Buradaki asıl amaç, araç hızına bağlı olarak veri alım hızının her metrede veri alımı yapabilmesini sağlamaktır. Bu nedenle her 10 km de bir veri alım hızı arttırılmıştır. Bu işlemi yapabilmek için belirlenen hızlardaki metre başına saniyede düşen veri alım hızının hesaplanması gerekmektedir.

Tablo 27’de yapılan işlem özetle km/s hızı bilinen bir aracın, metre başına saniyede aldığı yolu hesaplayarak veri alım hızını ortaya çıkan değere göre koordine etmektir. Bunun için km/s değerini m/sn’ye çevirip, 1 (saniye) ortaya çıkan değere bölünür. Bu sayede saniyede veri alım hızı bulunabilmektedir. Hız entegrasyonu sağlandıktan sonra elde edilen bulgular ayrıca incelenmiştir.

Tablo 27: Araç hızının km/s’den m/sn’ye çevrimiyle hesaplanan veri alım hızlarının Değerleri

Km/saat	M/saniye	Saniyede Veri Alım Hızı
0-10	2,77	0,36
10-20	5,55	0,18
20-30	8,33	0,12
30-40	11,11	0,090
40-50	13,88	0,072
50-60	16,66	0,060
60-70	19,44	0,050
70-80	22,22	0,045
80-90	25	0,040
90-100	27,77	0,036
100-110	30,55	0,032
110-120	33,3	0,030

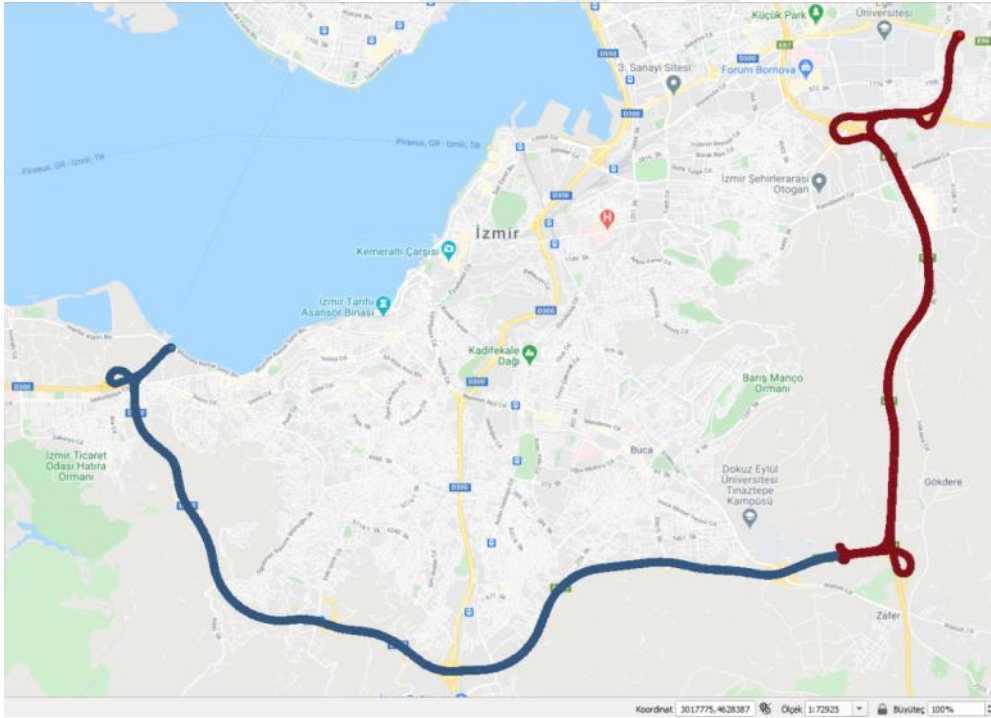
Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Yapılan testler sonucunda elde edilen verilere göre, sabit olarak belirlenen veri alım hızlarının aracın yönünü belirlemede daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Veri alım hızının sürekli değişmesi bu sorunun başlıca sebebi olarak görülmüştür. Bu sebeple hız koordinasyonu ile alınan veriler analize dahil edilmemiştir.

4.4 UYGULAMA BÖLGE SAHASI

Uygulama sahası olarak kent dışı otoyollardan İzmir çevresinde bulunan D300, E881, E87 otoyollarının belirli kısımları seçilmiştir. Seçilen bu kısımlar iki gruba ayrılacak şekilde veri alımları yapılmıştır. 1. grup Buca-Bornova hattı olup E881, E87 yollarının bir kısmını kapsamakta, 2. Grup ise Buca-Üçkuyular hattı olup E881, D300 yollarının bir kısmını kapsamaktadır. Uygulama bölge sahası olarak seçilen bu noktalar Şekil 75’de harita üzerinde gösterilmiştir. Bu yolların seçilme sebebi çalışma bölgesi olan İzmir’in çevresini dolaşabilen otoyollar olmasıdır. Ayrıca işlek olarak kullanılan bu yol güzergahları üzerinde uzun virajlar, kısa virajlar, otoyol kavşakları gibi noktalarının olmuş olması veri çeşitliliği açısından önemli görülmüştür.

Şekil 75: Uygulama Bölge Sahası



- 1.Grup Buca-Bornova
- 2.Grup Buca-Üçkuyular

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.4.1 Uygulama Sahası Olan İzmir Bölgesinin Standart Değerleri

Türkiye’de uygulanan deşer standartları Tablo 3’e ve KGM’ye göre maksimum %8 olarak belirlenmiştir. Don ve buzlanma olan yerlerde bu oran maksimum %6’dır. Tez veri sahası olan İzmir bölgesinde bu durumlar göz önünde bulundurularak maksimum %8 deşer oranı esas alınarak çalışmalara başlanılmıştır.

4.4.2 Uygulama Bölge Sahasından Elde Edilen Veri Sayıları

Uygulama bölge sahasından saniyede 10, 25, 50 ve ek olarak hız koordineli gidiş-dönüş olarak ayrılan veriler alınmıştır.

Tablo 28: Uygulama Bölge Sahasından Alınan Veri Sayıları

Veri Alım Hızı (Saniyede)	Buca- Bornova Veri Sayısı	Buca- Üçkuyular Veri Sayısı
10 (Gidiş)	6.016	6.259
10 (Dönüş)	5.075	7.280
25 (Gidiş)	11.182	12.580
25 (Dönüş)	9.658	14.637
50 (Gidiş)	17.087	20.330
50 (Dönüş)	15.469	22.327
Koordineli (Gidiş)	11.267	13.954
Koordineli (Dönüş)	15.417	15.379
TOPLAM	91.171	112.746

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Veri alım hızının araç hızıyla entegrasyon çalışmasında koordineli veriler gerekli görülmemiştir. Bu bağlamda elde edilen veriler toplamda şu şekildedir;

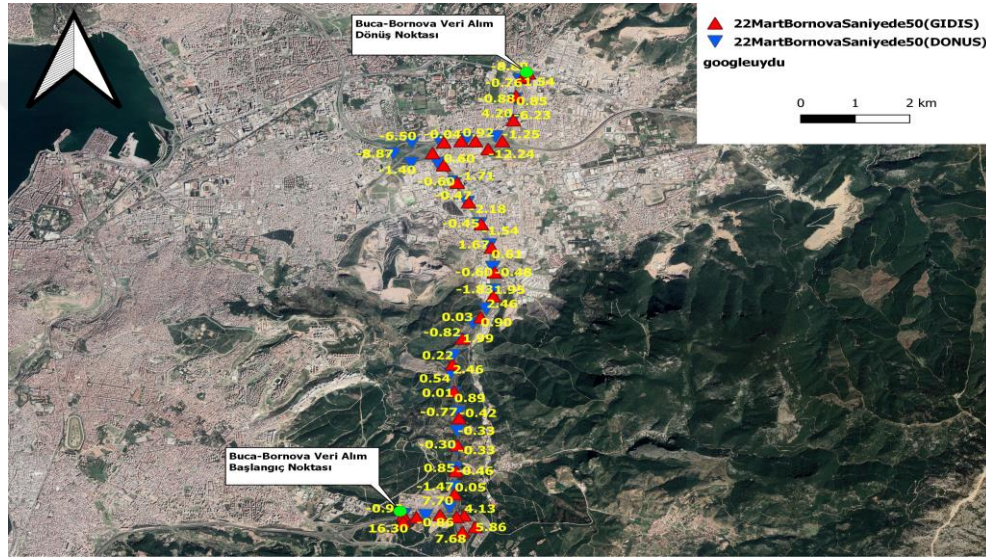
Buca-Bornova hattında alınan veri sayısı: 64.487

Buca-Üçkuyular hattında alınan veri sayısı: 83.413.

4.4.3 Uygulama Verilerinin Uydu Haritası Üzerinde Gösterimi (QGIS)

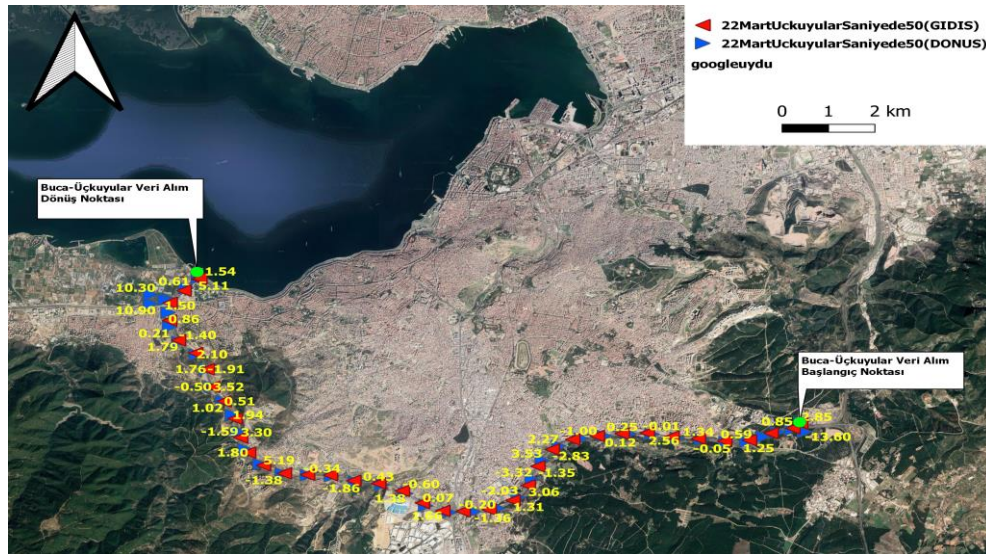
Uygulama çalışmasında GPS saniyede bir adet koordinat verisi almaktadır. Diğer sensörler (İvme ve Jireskop) ise önceden belirlenen saniyede 50 adet veri alım hızında çalışmaktadır. Bu sebeple GPS ölçüm hızı diğer sensör ölçüm hızlarıyla senkronize edilemediği için her bir koordinat noktası üzerinde birden çok veri bulunmaktadır. Bu bağlamda CBS haritası üzerinde sıralı giden iki GPS noktası arasındaki veriler konumlandırılmamıştır.

Şekil 76: Uydu Haritası Üzerinde Buca-Bornova Uygulama Verileri



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 77: Uydu Haritası Üzerinde Buca-Üçkuyular Uygulama Verileri



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.5 UYGULAMA VERİLERİNİN ÖLÇÜM KRİTENİN BELİRLENMESİ

Uygulama kapsamında çalışan sensörler eğimi yüzdesel olarak değil derece olarak vermektedir. Bu sebeple yüzdesel verilen deverin derecelik karşılığı hesaplanmıştır. Uygulama kapsamında belirlenen ölçüm kriterleri aracın yol üzerinde seyir halinde karşılaştığı kuvvetlere göre belirlenmiştir. Uygulamanın ölçüme göre elde edilmesi amaçlanan değer dever değeridir. Fakat virajlarda uygulama aracı dever değerini değil yalpa açısını ölçmektedir. Bu ölçümden dolayı olarak deverin standartlara uygun olarak verilip verilmediği de incelenmiştir. O halde araç üzerinde dever ölçümü için iki adet ölçüm kriteri bulunmaktadır.

- Doğrudan dever ölçümünün yapılması
- Yalpa açısına göre dever ölçümünün yapılması

4.5.1 Tez Aracı İle Doğrudan Dever Ölçümünün Yapılması

Araca entegre çalışan eğim sensörü, dever açısını (α) araca yanal düzlemde etki edecek büyük kuvvetlerin olmadığı durumlarda doğru bir şekilde ölçebilmektedir. Bu bağlamda deverin ölçümü için ölçüm kriteri şu adımlarla belirlenmiştir;

- Türkiye’de uygulanan standart dever değeri %8’dir.
- %8’lik eğim değeri 4,6’lık derece değerine karşılık gelmektedir.
- Eğim Sensöründe yapılan kalibrasyon ve hata payları çalışmasında 4,6°’ye karşılık gelen -0,2°’lik hata payı göz önünde bulundurulduğunda dever ölçümünde sensörün göstermesi gereken eğim değeri $\pm 4.4^\circ$ olarak belirlenmiştir.

Eğim sensörünün her bulduğu açı değerine, derece başına bulunan hata payı çarpılıp eklenmiştir.

- $X_s \rightarrow X_{hata} = X_s \cdot 0,051$
- $X_{düzeltmiş} = X_s + X_{hata}$

Doğrudan dever ölçümünün alınmasında araca yanal düzlemde etki eden büyük kuvvetlerin bulunmaması sebebiyle yalpa açısı araçta oluşmamaktadır. Bu şartlar altında yol üzerindeki tez aracının sensör değerleri;

- Tez aracı jiroskop Z eksenine göre düz olduğunda $X < -4,4$,
- Tez aracı jiroskop Z eksenine göre düz olduğunda $X > 4,4$ ise deverin fazla verildiği söylenebilir.

4.5.2 Tez Aracı İle Yalpa Açısına Göre Dever Ölçümünün Yapılması

Araca entegre çalışan eğim sensörü, yalpa açısını (θ) araca yanal düzlemde etki eden kuvvetler olduğu (ağırlık merkezi gibi) durumlarda ölçmektedir. Bu değer yapılan araştırmalar sonucunda standart otomobiller için $\pm 7^\circ$ olmalıdır. Dikkat edilmesi gereken durum ise yalpa açısı değerinin dever değerinin tersi yönde olacak olmasıdır. Bu bağlamda viraj üzerinde uygulanan dever değerinin standartlara uygun olup olmadığını söyleyebilmek için şu adımlar belirlenmiştir;

- Sağ virajda $X > +7$ ise yalpa açısı dışı doğrudur ve güvenilir sürüş değerinden fazla vermiştir. Dever eksik verilmiştir.
- Sağ virajda $X < 0$ ise yalpa açısı içi doğrudur. Dever fazla verilmiştir.
- Sol virajda $X < -7$ ise yalpa açısı dışı doğrudur ve güvenilir sürüş değerinden fazla vermiştir. Dever eksik verilmiştir.
- Sol virajda $X > 0$ ise yalpa açısı içi doğrudur. Dever fazla verilmiştir.

Burada standart dever değeri gibi kurumsal olarak net ifade edilen bir değer yerine araştırmalar neticesinde ortaya çıkan bir değer bulunmaktadır. Bu sebeple yalpa açısına göre ölçüm yapılırken sensör kartının verdiği hata payı uygulama üzerindeki ölçüm esnasında ihmal edilmiştir.

4.5.2.1 Örnek Bir Noktada Yalpa Açısının Ölçümü

Şekil 78’de verilen görsel üzerindeki yolda yalpa açısı ve viraja girmeden önceki eğim noktasının verileri incelenmiştir. Veri alımı saniyede 50 olarak kaydedilmiştir. Şekil 79’da verilen görseldeki ok yönünde gidiş-dönüş olarak veri alımı yapılmıştır.

Şekil 78: Belirlenen Örnek Noktası



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

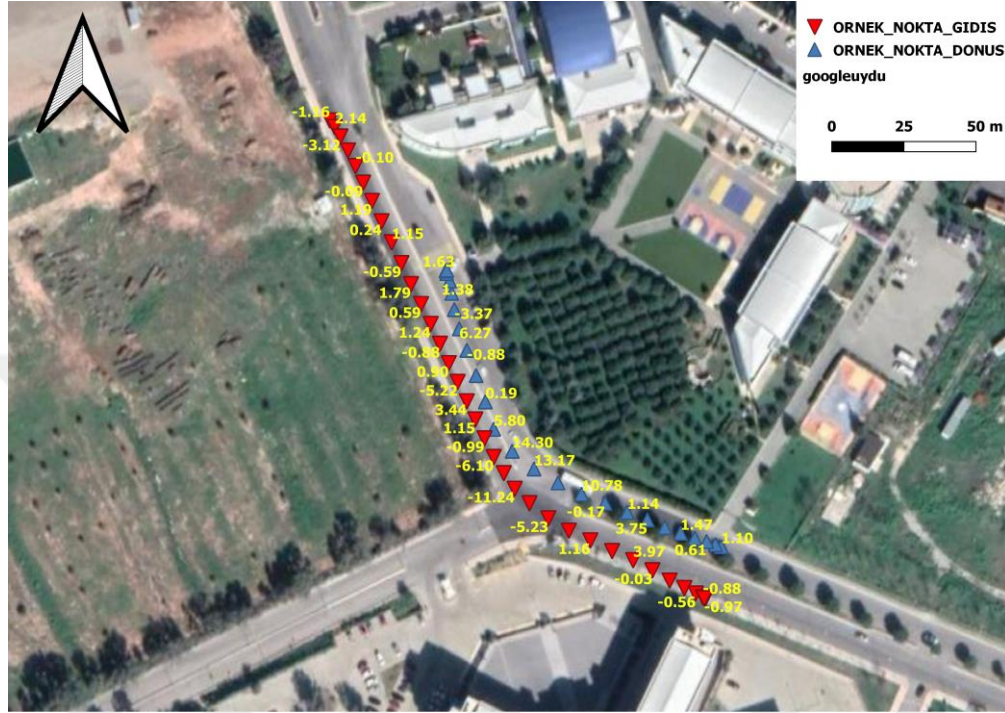
Şekil 79: Belirlenen Örnek Noktasının Gidiş (Kırmızı), Dönüş (Mavi) Yönü



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Konumun uydu görüntüsü Şekil 80’de verilmiştir. Bu alan Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Kampüsünün içerisinde yer almaktadır.

Şekil 80: Örnek Noktasından Alınan Verilerin Uydu Haritası Üzerindeki Görünümü (Kırmızı Noktalar Gidiş & Mavi Noktalar Dönüşü Temsil Etmektedir)



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 78’deki konumda yalpa açısının istediğimiz değerden yüksek olup olmadığını bilmek için verilere sorgulama yapmamız gerekmektedir.

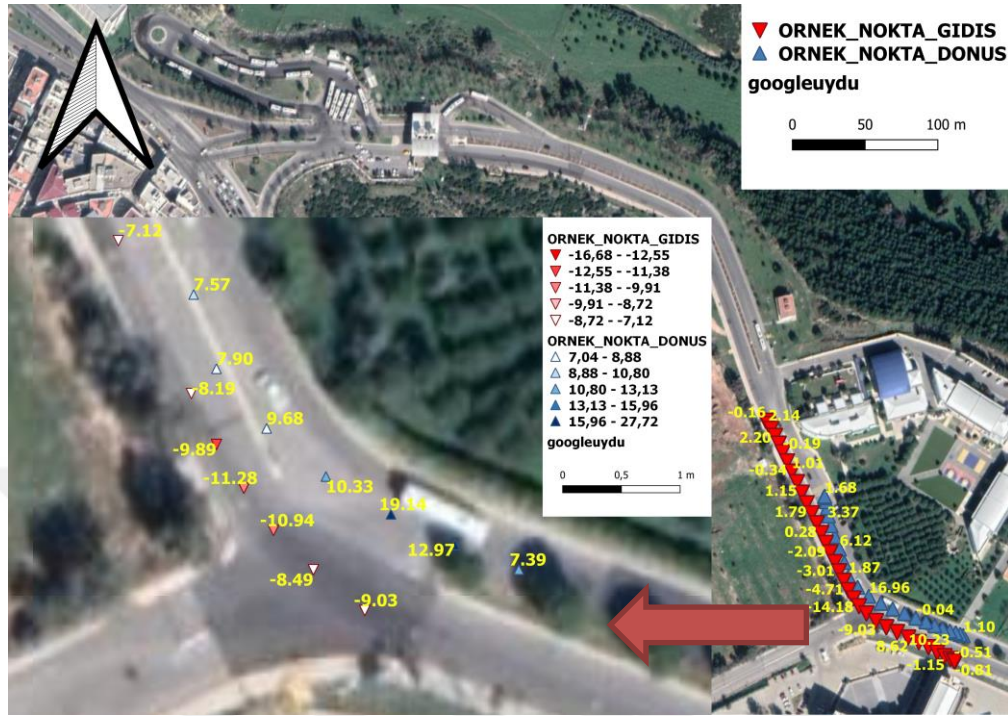
- İstenilen durum = Yanal eğim değerinin (X) 7 veya -7°’den büyük olduğu noktalar

Burada gidiş ve dönüş yönüne göre yapılan sorgu değerleri şu şekildedir;

- Sol viraj için sorgulama = "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol'
- Sağ viraj için sorgulama = "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag'

Şekil 81'deki konum noktaları sağ veya sola dönüşte 7°'den fazladır.

Şekil 81: Sorgulama Sonrası Uydu Haritası Üzerindeki Sorgu Noktaları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

En yüksek değerlere sahip noktalar kırmızı ve mavi rengin koyu tonu ile belirtilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken durum konum noktalarında birden çok veri olduğu gerçeğidir. Bu noktalar üzerinde yazan eğim değerleri otomatik olarak mevcut konumdaki verilerden seçilerek yazılmaktadır. Bu sebeple koyu noktada yazan eğim değeri açık bölgeye göre düşük ise bu koyu olan noktada daha yüksek eğim değerinin olduğunun fakat seçilen veri etiketinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Sorgu yapılmadan önce görülen veriler ile sorgu sonrası görülen verilerin farklı çıkmasının sebebi budur ve herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

Bu değerlere bakıldığında gidiş ve dönüş yönünde iki ayrı taraftan inceleme yapılmalıdır. Kent içi yollarda durmak için birtakım uygun noktalar olabilir ve veri alımı kesilerek dönüş yönünde tekrardan sistem çalıştırılarak veri alımına devam edilebilir fakat kent dışı otoyollarda duraklamak bir takım güvenlik sorunlarına sebep olabileceği öngörülerek durmadan veri alımı yapılmıştır. Alınan konum verileri sayesinde dönüş noktası olarak seçilen noktadan itibaren veriler kesilerek dönüş olarak adlandırılan bir başka veri dizisine aktarımı yapılmıştır.

Gidiş yönünde aracın verdiği yalpa açısı en düşük $-7,01^\circ$, en yüksek ise $-16,67^\circ$ 'dir (Eğim kriteri olduğu için negatif değerın işaretine değil sayı değerine bakılır). Bu değerler oldukça yüksek derece değerleridir. Viraj yönü (Şekil 78'e bakıldığında) sola doğrudur bu bağlamda sağ yatık (+) eğimde dever uygulaması kullanılır bu sebeple viraj üzerindeki araç sağ doğru yalpa açısı verecektir. Şekil 78'de de gözlemleneceği üzere yola uygulanan dever pozitif yönde verilmemiştir. Bu sebeple araç dışa doğru yalpa açısını büyük derece değerlerinde verebilmesi olasıdır. Hız sınırı, kasis uygulaması ve kent içi standartlara göre yapılan yolun, bu noktasındaki değerler ciddi bir sorun teşkil etmese de kent dışı yollarda bu gibi virajlar oldukça tehlike arz etmektedir.

Şekil 82'de gidiş yönündeki verilerin sorgu analizi sonucunda ortaya çıkan verileri paylaşılmıştır. Veri dizilimi yanal eğim değerine (X) göre sıralanmıştır.

Şekil 82: Gidiş Yönünde Sorgulaması Yapılan Veriler

	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Hız km/s	Donus Yonu	Donus Derecesi	X Egim	Y Egim
1	15-07-2020	19:00:56	38,373008333	27,196963333	23,6124	sol	10,131835896	-16,6771885666	-12,2061505479
2	15-07-2020	19:00:55	38,373008333	27,196963333	23,6124	sol	9,643554648	-16,3625400698	-10,8623682162
3	15-07-2020	19:00:56	38,373008333	27,196963333	23,6124	sol	10,437011676	-16,1550604928	-9,32902793977
4	15-07-2020	19:00:56	38,37296	27,197006667	24,9084	sol	10,559081988	-15,4022785925	-7,07416614571
5	15-07-2020	19:00:56	38,37296	27,197006667	24,9084	sol	11,108398392	-15,2504707506	-6,59073508194
6	15-07-2020	19:00:58	38,372868333	27,19714	30,4668	sol	8,117675748	-15,1086076126	-9,61244885598
7	15-07-2020	19:00:58	38,372868333	27,19714	30,4668	sol	6,591796848	-14,3212192255	-18,8714154385
8	15-07-2020	19:00:56	38,37296	27,197006667	24,9084	sol	10,925292924	-14,2760671771	-10,1639890503
9	15-07-2020	19:00:55	38,373008333	27,196963333	23,6124	sol	10,192871052	-14,1847413844	-9,36593728587
10	15-07-2020	19:00:56	38,373008333	27,196963333	23,6124	sol	9,277343712	-13,9392509969	-11,9974017282
11	15-07-2020	19:00:56	38,37296	27,197006667	24,9084	sol	10,314941364	-13,920036992	-9,40953547668
12	15-07-2020	19:00:56	38,37296	27,197006667	24,9084	sol	10,37597652	-13,8273985831	-7,37428494132
13	15-07-2020	19:00:58	38,372915	27,197065	26,8524	sol	8,422851528	-13,7591330644	-14,2834360388
14	15-07-2020	19:00:57	38,372915	27,197065	26,8524	sol	10,559081988	-13,7169140415	-9,92806205704

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Dönüş yönünde ise aracın verdiği yalpa açısı en düşük $7,03^\circ$ en yüksek ise $27,71^\circ$ 'dir. Bu değerler gidiş güzergahından da yüksek değerlerdir çünkü belirlenen hız limitinden sadece 5 km daha fazla gidilerek veri kaydı alınmıştır.

Burada alınan verilerde en yüksek değerdeki verilerin bilgileri

- Gidiş yönünde 23 km de $-16,67^\circ$
- Dönüş yönünde 27 km de $27,71^\circ$ 'dir.

Şekil 83’de dönüş yönündeki verilerin sorgu analizi sonucunda ortaya çıkan verileri paylaşılmıştır. Veri dizilimi yanal eğim yükseklik değerine (X) göre sıralanmıştır.

Şekil 83: Dönüş Yönünde Sorgulaması Yapılan Veriler

	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Hiz km/s	Donus Yonu	Donus Derecesi	X Egim	Y Egim
1	15-07-2020	19:02:35	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-16,357421808	27,7152865688	-11,4234555331
2	15-07-2020	19:02:34	38,372943333	27,197271667	31,6512	sag	-6,896972628	24,4418905225	8,56425414296
3	15-07-2020	19:02:36	38,373021667	27,197083333	34,1496	sag	-16,17431634	21,7741327302	-4,58688389583
4	15-07-2020	19:02:34	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-9,338378868	21,4964541931	-5,29521937323
5	15-07-2020	19:02:34	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-11,474609328	21,4726181541	-2,53238449598
6	15-07-2020	19:02:35	38,373021667	27,197083333	34,1496	sag	-12,695312448	21,239715836	-3,6023627248
7	15-07-2020	19:02:35	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-11,962890576	21,1664331209	-14,9442198181
8	15-07-2020	19:02:36	38,373076667	27,196996667	35,5572	sag	-10,559081988	19,5822147322	1,82195480315
9	15-07-2020	19:02:34	38,372943333	27,197271667	31,6512	sag	-10,37597652	19,4779435805	6,28766347229
10	15-07-2020	19:02:34	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-13,061523384	19,3888496059	-11,0638411039
11	15-07-2020	19:02:35	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-11,718749952	19,1359214923	-3,8613713152
12	15-07-2020	19:02:35	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-12,2070312	18,6852230617	1,22281699236
13	15-07-2020	19:02:35	38,372978333	27,197178333	32,4828	sag	-10,437021676	18,604020836	2,56353413643
14	15-07-2020	19:02:35	38,373021667	27,197083333	34,1496	sag	-12,51220698	18,2880581298	-3,27869662852

Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

Bu verilerin harita üzerinde hangi noktada oldukları bilinebilir bu noktalara bakıldığında ise eğim yönüne doğru neredeyse aynı hizada oldukları net bir şekilde görülmektedir. Yani araç yol üzerindeki yalpa açısını, beklenildiği gibi yolun eğim yönüne göre aynı düzlem üzerinde vermiştir. Bu da ileride yaşanacak yol bozulmaları çukurlaşma gibi etkilerin bu noktalarda aracı savurmaya yönelik bir etki oluşturacağını söyleyebilir. Belirlenen nokta şehir içi standartları kapsadığı için bu noktanın kesin olarak hatalı olduğu söylenemez fakat zaman faktörüne bağlı olarak ileriye dönük olumsuz sonuçların olabileceği öngörülmektedir.

Şekil 84’de görülen konum noktaları Şekil 82 ve Şekil 83’de paylaşılan verilerdeki en yüksek değerlerin uydu konum noktalarıdır.

Şekil 84: En Yüksek Değer Noktalarının Uydu Haritası Üzerinde Gösterimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 84’de paylaşılan bu noktaların eğim yönü Şekil 85’de gösterilmiştir.

Şekil 85: Belirlenen Örnek Noktasının (Şekil 78) Eğim Yönü



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Alınan bu veri noktaları beklenen şekilde eğim yönüyle de hemen hemen aynı hizada bulunmaktadır. Hız durumunda saatte 5 km’lik bir artış eğim bölgesinde 10°’lik bir farkı ortaya koyabilmektedir. Hız sınırının kısıtlandığı ve kent içi standartlara göre yapılan yolun bu noktasında bu değer ciddi bir sorun teşkil etmese de kent dışı yollarda bu gibi virajlar oldukça tehlike arz etmektedir.

Örneklem noktasına bakıldığında (Şekil 78) virajda eğimin ters noktada olduğu da görülmektedir. Bu araştırmada coğrafi konumların yer şekillerine bakılarak yerleşim planının yapılmasının oldukça önemli olduğu görülmektedir. Çünkü bu yerleşim yerlerine yapılan ulaşım noktalarındaki hatalar, hatalı coğrafi noktalarına yapılan yerleşim birimleri yüzünden de olabilmektedir. Şekil 84’de seyir halinde olan taşıtın en yüksek eğim değerlerindeki gidiş ve dönüş yolu üzerinde aldığı eğim yönleri Şekil 86’da verilmiştir.

Şekil 86: Örneklem Yol Üzerindeki Taşıtın Yolun Eğimine Göre Gösterimi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Sonuç olarak elde edilen veriler örneklem noktasında aracın belirlenen ölçüm kriterlerinden daha yüksek değerle yalpa açısı verdiğini göstermiştir. Hız sınırı dikkate alınarak alınan bu veriler şunu göstermektedir ki, hız sınırına çeşitli sebeplerden ötürü uymayan sürücüler için bu nokta tehlike arz etmektedir. Şehir içi kapsamında kalan bu nokta için başka net bir araştırma yapılmamıştır. Örneklem nokta sadece verilerin alımı, nasıl okunduğu ve sonuçta nasıl bir çıkarım yapıldığına yönelik bilgi vermektedir. Bu bağlamda uygulamanın gerçek saha noktası kent dışı otoyollarıdır.

4.6 UYGULAMA VE UYGULAMA VERİ ANALİZİNİN CBS ÜZERİNDEKİ UYDU VE GOOGLE MAPS ALTLIĞINDAKİ GÖRÜNÜMÜ

Uygulama aracıyla Şekil 75’de belirtilen noktalarda veri alımları yapılmıştır. Şekil 76 ve Şekil 77’deki başlangıç noktasından başlanıp iki ayrı güzergah üzerinde saniyede 10, 25 ve 50 veri alım hızlarında 3 ayrı veri alım dizini oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri dizinleri gidiş geliş olarak ayrıldığı için bir güzergahta toplam 6 adet veri dizini bulunmaktadır.

Bölüm 4.4.3’te belirtildiği üzere hareket halinde olan uygulama aracının üzerindeki GPS sensörü saniyede 1 adet konum verisi aldığı için 2 GPS noktası arasında kalan eğim ve jiroskop verilerinin konum noktaları CBS sorgularında gösterilememektedir. Bu sebeple 2 GPS noktası arasında kalan eğim ve jiroskop sensör verilerinin, araştırılan hatalı deyer koordinatlarının üzerinde tekrarlı olup olmadığı veri satırlarında incelenmiştir. Bu bağlamda aşağıda verilen alt bölümlerde CBS sorgu haritaları bu şekilde gösterilmiştir.

Alınan bu veriler ise belirlenen ölçüm standartları çerçevesinde incelemeye alınmıştır. Saniyede 50 adet veri alımı yapılan dizin uygulama çalışmasının sonuç odaklı verilerini kapsamaktadır. Saniyede 10 ve 25 adet veri alımı yapılan diğer dizinler ise ortaya çıkan sonucu destekleyici birer sağlama verisi olarak alınmış olup sonuç kısmına sayısal veri olarak işlenmişlerdir.

Uygulama verisi alınmadan önce sistem ve araç üzerinde son incelemeler yapılmıştır. Araç ile ilgili olarak yol üzerinde seyrini etkileyecek olumsuz etkilerin ortadan kalkması için rot, balans ayarları buna bağlı olarak alt takımların kontrol edilmesi, lastik basınçları ve sistem ile ilgili olarak uygulamanın sürekli çalışmasını sağlayacak elektronik aksamalar kontrol edilmiştir. Uygulama güzergahları veri alımı yapılmadan önce birer defa gidip gelinerek yol üzerinde herhangi bir sorunun olup olmadığı da incelenmiştir. Ayrıca veri alımında konumsal ve yanal düzlemde araca olumsuz yönde etki edecek herhangi bir hava koşulunun olup olmayacağına da önceden bakılmıştır.

Belirtilen şartların sağlandığı 22.03.2020 tarihinde tüm kontroller yapıldıktan sonra Şekil 87’teki gibi uygulama araç ile birlikte çalıştırılarak veri alımına başlanılmıştır.

Şekil 87: Araç İçinde Çalışan Uygulama Sistemi



Kaynak: Fotoğraf Yazar Tarafından Çekilmiştir.

4.6.1 Hatalı Dever Noktalarının Doğrudan Tespit Edilmesi

Yol üzerinde uygulanan dever değerinin fazla verildiğini söyleyebilmek için yol üzerinde deverle verilen eğimle dönen aracın tekerlek seyrini düz olarak koruduğu veri alanları analiz edilmiştir.

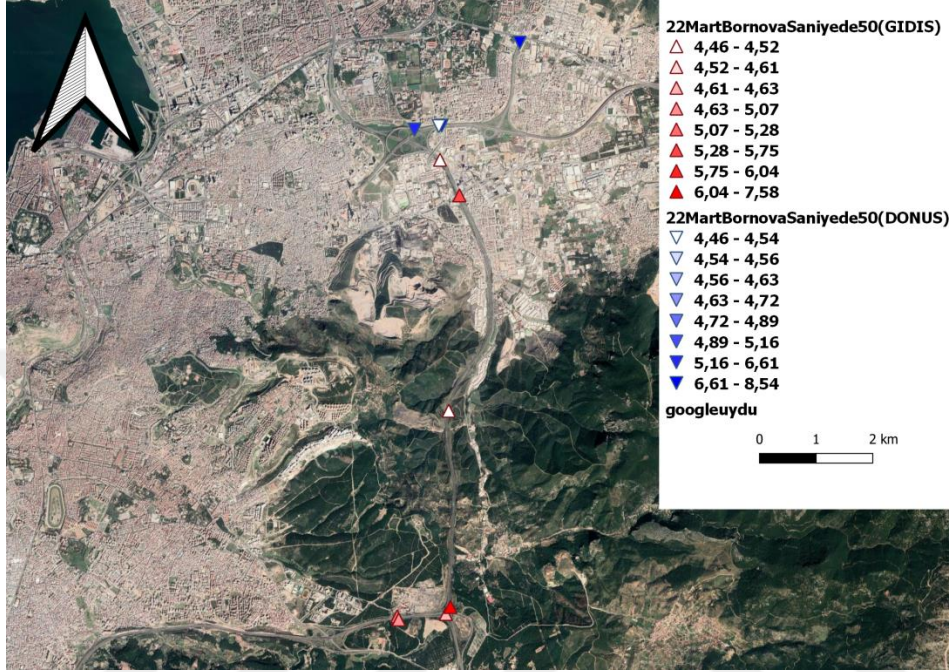
Sorgulama sonucunda sol virajda olması gereken $4,4^\circ$ 'lik eğim açısı CBS haritaları üzerinde sağ virajlarda gözüküyor, sağ virajda olması gereken $4,4^\circ$ 'lik eğim açısı CBS haritaları üzerinde sol virajlarda gözüküyor ise bu noktalarda eğim viraj yönünün tersi noktasında değer almış anlamına gelmektedir. Şekil 88, Şekil 89, Şekil 90 ve Şekil 91'de görüldüğü üzere genellikle konum noktaları dever fazlası değerler olarak hata vermiştir.

Uygulama çalışması için kırmızı ve mavi tonun en yüksek olduğu noktalar en yüksek eğim değerine sahip konum noktalarını temsil etmektedir.

Sol virajda dever değeri en fazla 4,4° olduğu için:

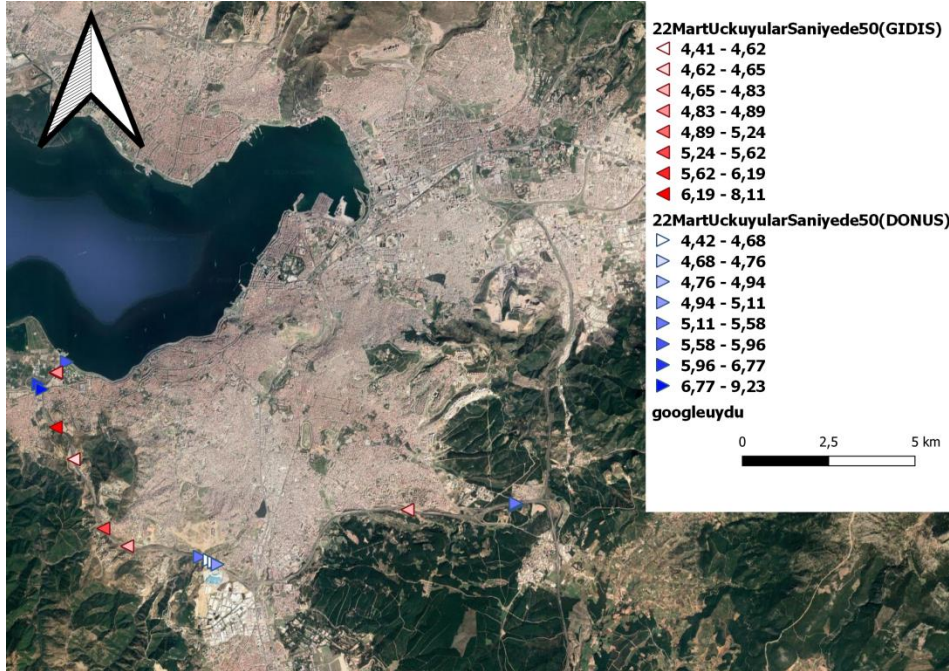
- "X Egim" > 4.4 AND "Donus Yonu" = 'düz'

Şekil 88: "X Egim" > 4.4 AND "Donus Yonu" = 'düz' Buca-Bornova Sorgusu



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 89: "X Egim" > 4.4 AND "Donus Yonu" = 'düz' Buca-Üçkuyular Sorgusu

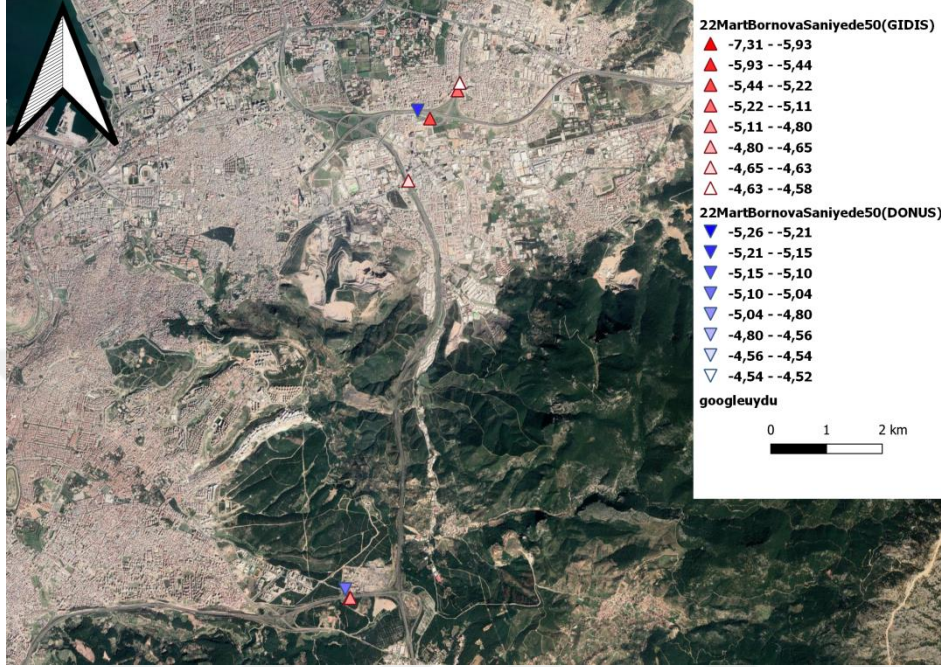


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Sağ virajda dever değeri en fazla -4.4° olduğu için:

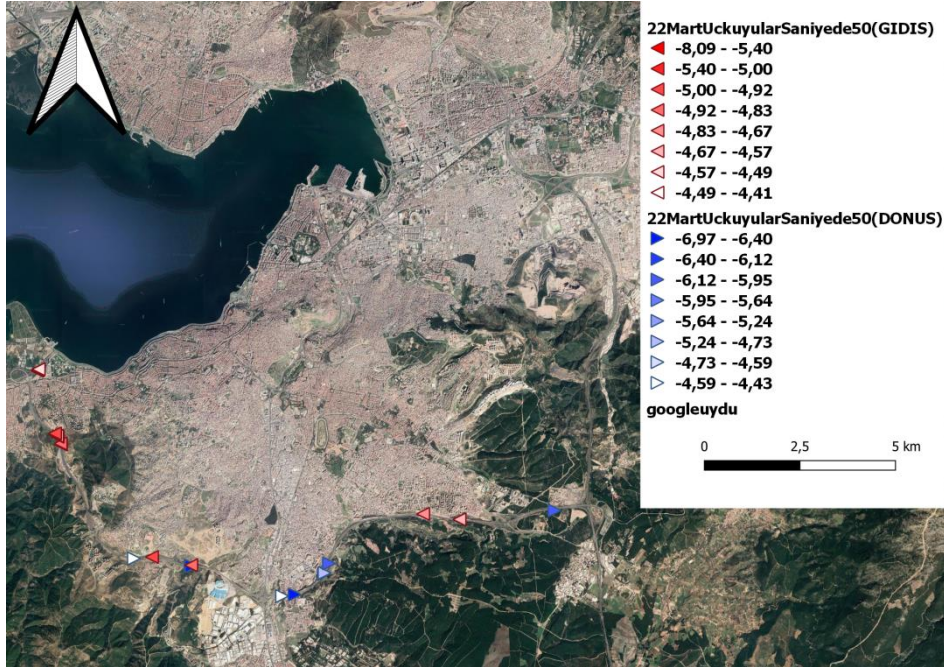
- "X Egim" < -4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz'

Şekil 90: "X Egim" < -4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz' Buca-Bornova Sorgusu



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 91: "X Egim" < -4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz' CBS Görünümü



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Deverin belirlenen standartlardan yüksek olarak uygulandığı yol noktalarının analizi sonucunda güzergahlara göre elde edilen verilerin özellikleri Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29: Doğrudan Sorgulanan Hatalı Dever Noktaları (Şekil 88, Şekil 89, Şekil 90, Şekil 91)

Veri Alım Hızları	Buca-Bornova	Buca- Üçkuyular
Saniyede 10	11	21
Saniyede 25	14	62
Saniyede 50	43	105
TOPLAM	68	188

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

4.6.2 Hatalı Dever Noktalarının Yalpa Açısına Göre Tespit Edilmesi

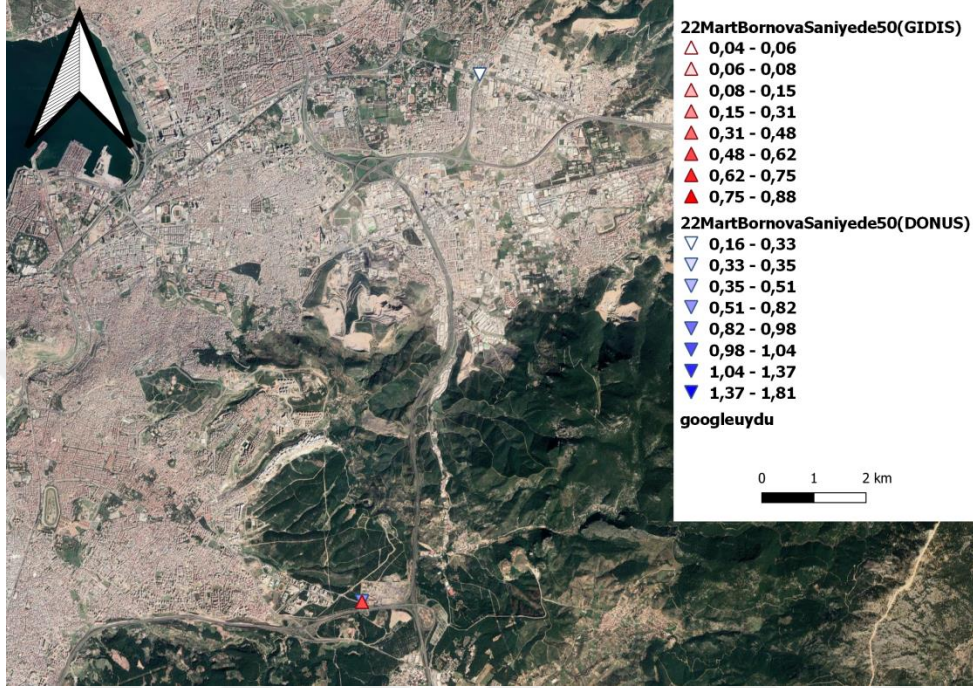
Yol üzerinde uygulanan dever değerinin yalpa açısına göre fazla verildiğini söyleyebilmek için dever üzerindeki aracın tekerlek seyrini viraj yönünde koruduğu veri alanları incelenmelidir. Yalpa açısının viraj yönüyle aynı yönde olduğu durumlarda dever üzerindeki taşıt içe doğru kayma yapabilir. Yalpa açısına göre bakılan bu durum yol üzerine uygulanması gereken dever değerinin fazla verildiği anlamına gelmektedir. Bu bağlamda yapılan sorgulardan uygulamaya göre dever değerinin fazla olduğu konumlar Şekil 92, Şekil 93, Şekil 94 ve Şekil 95’de verilmiştir.

Uygulama çalışması için kırmızı ve mavi tonun en yüksek olduğu noktalar en yüksek eğim değerine sahip konum noktalarını temsil etmektedir.

Sol virajda yalpa açısının içe doğru olduğu noktaları bulmak için;

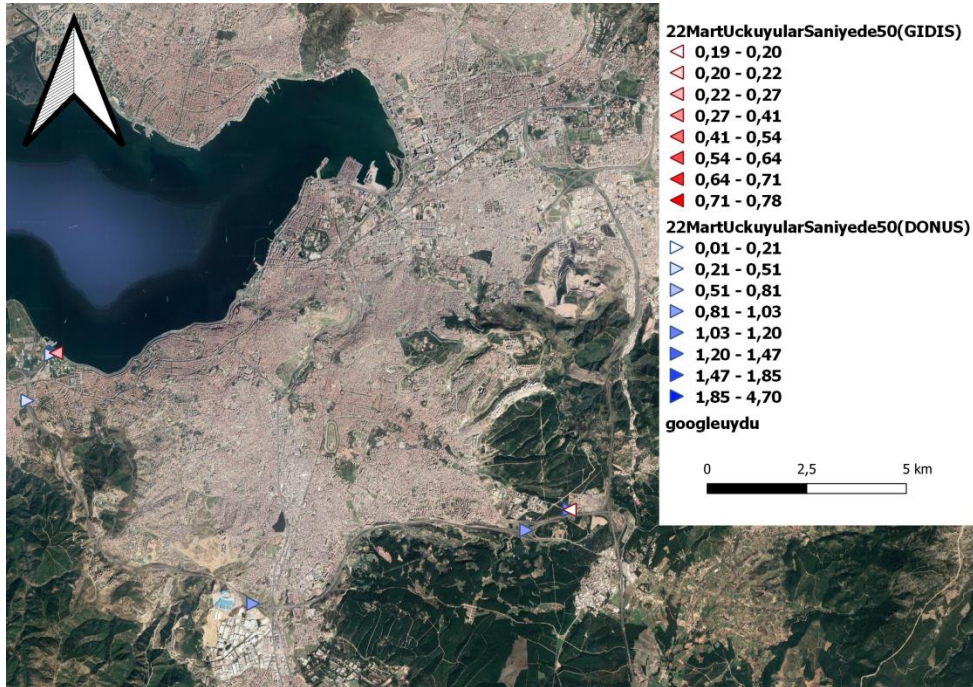
- "X Egim" > 0 AND "Donus Yonu" = 'sol'

Şekil 92: "X Egim" > 0 AND "Donus Yonu" = 'sol' Sorgu Sonuçları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 93: "X Egim" > 0 AND "Donus Yonu" = 'sol' Sorgu Sonuçları

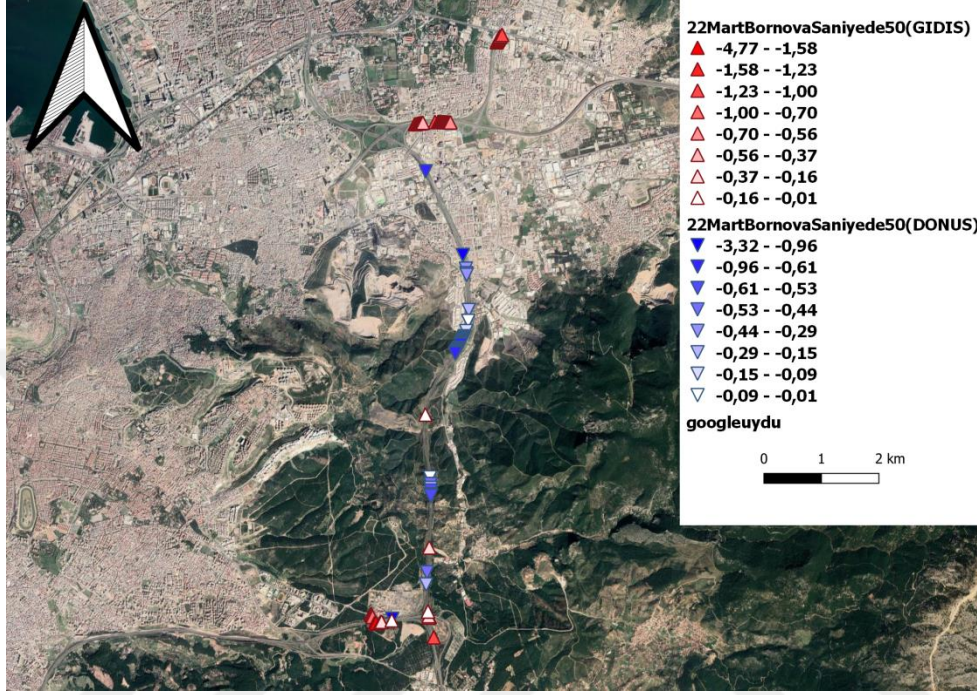


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Sağ virajda yalpa açısının içe doğru olduğu noktaları bulmak için;

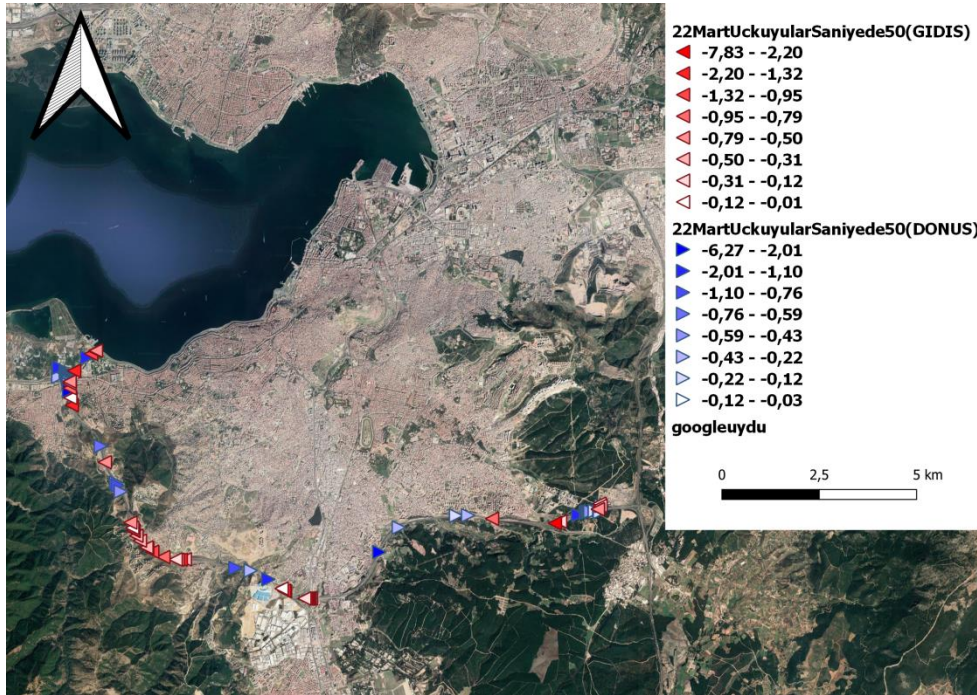
- "X Egim" < 0 AND "Donus Yonu" = 'sag'

Şekil 94: "X Egim" < 0 AND "Donus Yonu" = 'sag' Sorgu Sonuçları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 95: "X Egim" < 0 AND "Donus Yonu" = 'sag' Sorgu Sonuçları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Burada bulunan değerlerden yalpa açısının içe doğru olduğu konum verileri, doğrudan dever ölçümü yapılan konum verilerini desteklemesi beklenir. Eğer Bu veriler yol üzerinde farklılık gösteriyor ise yolun kimi noktalarında birleşip kimi noktalarında ayrılma yaparak yol üzerindeki taşıta uzun vadede zikzak yaptırdığı anlamına gelmektedir. Yalpa açısına göre deverin belirlenen standartlardan yüksek olarak uygulandığı yol noktalarının analiz sonucu Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 30: Yalpa Açısına Göre Sorgulanan Hatalı Yüksek Dever Noktaları (Şekil 92, Şekil 93, Şekil 94, Şekil 95)

Veri Alım Hızları	Buca-Bornova	Buca- Üçkuyular
Saniyede 10	65	52
Saniyede 25	156	291
Saniyede 50	318	383
TOPLAM	539	726

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

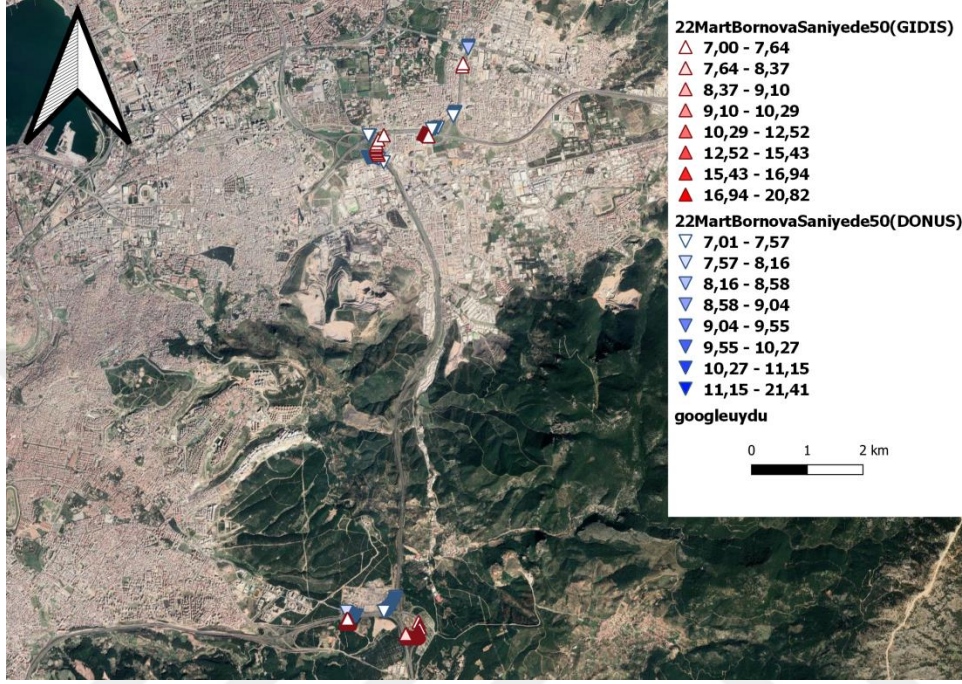
Yol üzerinde uygulanan dever değerinin yalpa açısına göre eksik verildiğini söyleyebilmek için dever üzerindeki aracın tekerlek seyrini viraj yönünde koruduğu veri alanları incelenmelidir. Yalpa açısının viraj yönüyle ters yönde olduğu durumlarda otomobiller için öngörülen $\pm 7^\circ$ ’lik yalpa değeri aşılsa o bölgede deverin eksik verildiği uygulama kapsamında söylenebilir. Bu durum dever üzerindeki taşıtın viraj dışına doğru belirlenen standardın üstünde bir dönüş açısıyla döndüğünü gösterir. Bu bağlamda yapılan sorgulardan uygulamaya göre deverin eksik olduğu konumlar Şekil 96, Şekil 97, Şekil 98 ve Şekil 99’da verilmiştir.

Uygulama çalışması için kırmızı ve mavi tonun en yüksek olduğu noktalar en yüksek eğim değerine sahip konum noktalarını temsil etmektedir.

Sağ virajda yalpa açısı sola doğru en fazla 7° olduğu için;

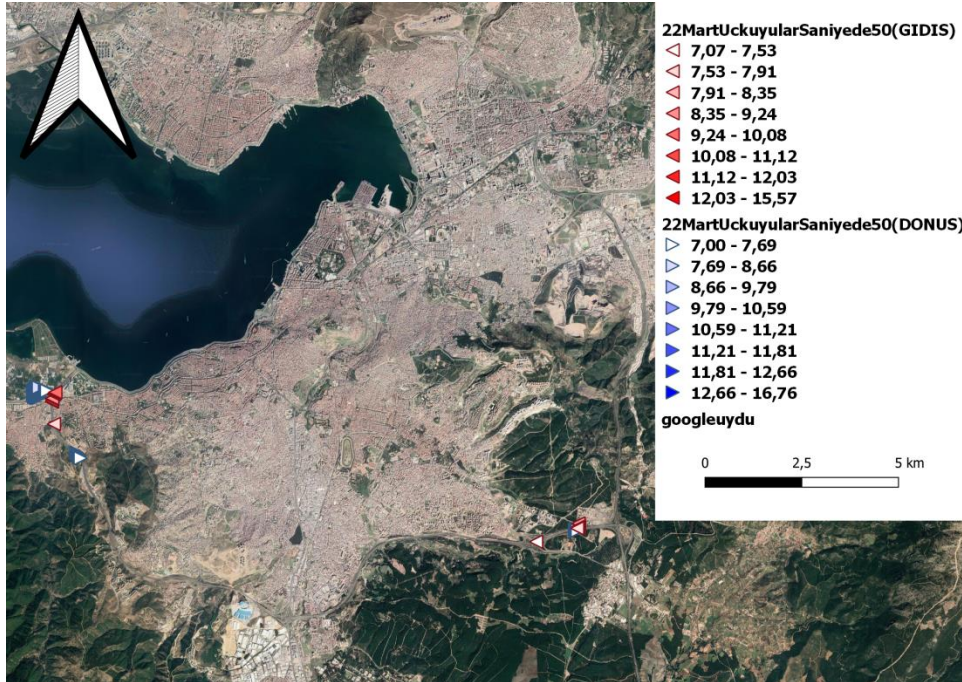
- "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag'

Şekil 96: "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag' Sorgu Sonuçları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 97: "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag' Sorgu Sonuçları

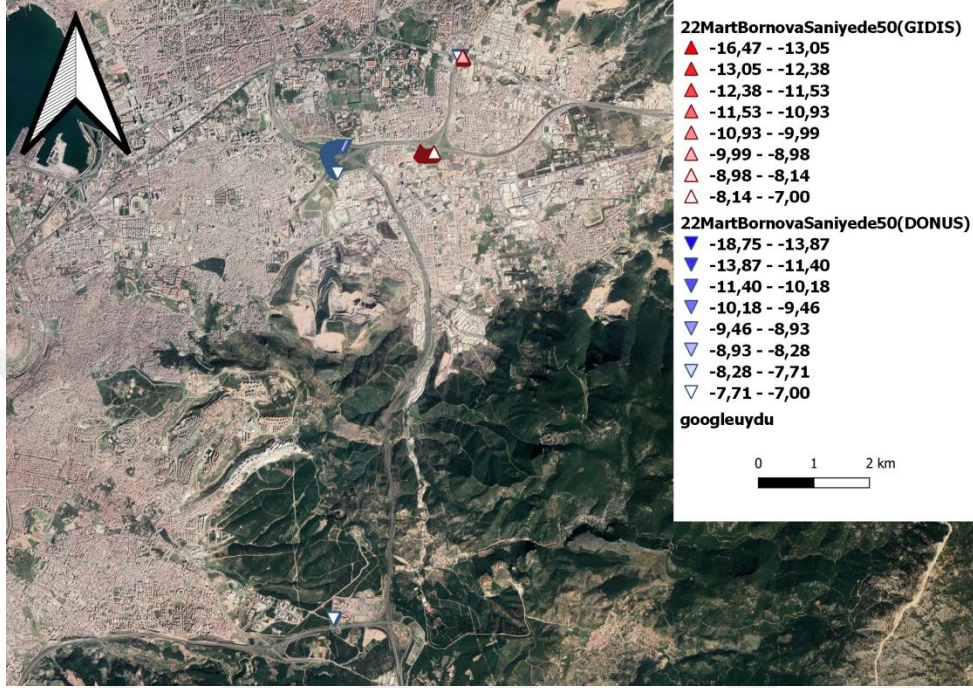


Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Sol virajda yalpa açısı sağ doğru en fazla -7° olduğu için;

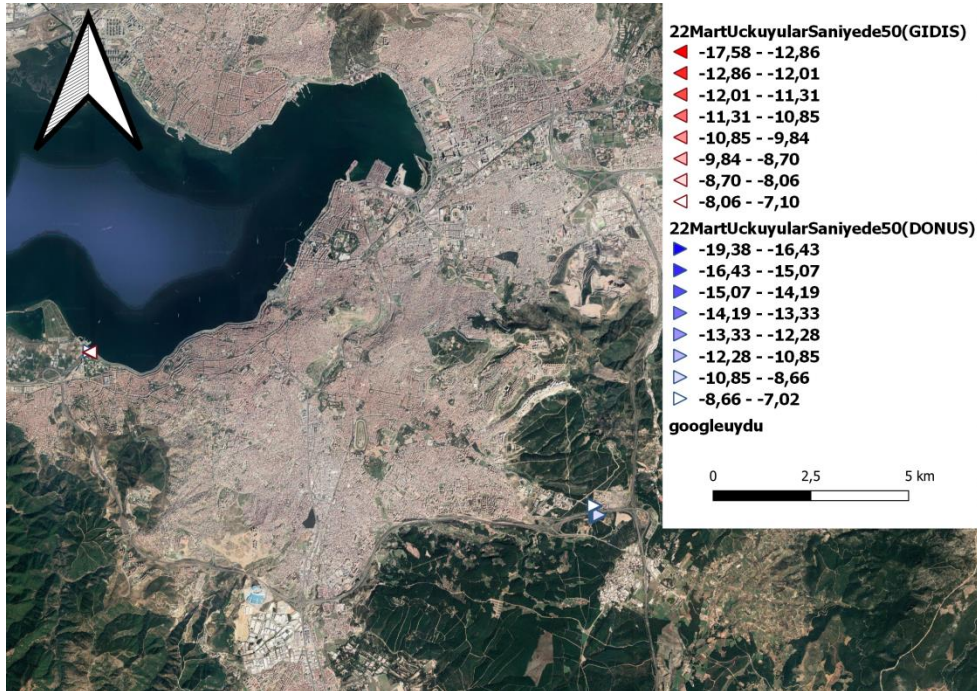
- "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol'

Şekil 98: "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol' Sorgu Sonuçları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 99: "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol' Sorgu Sonuçları



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Yalpa açısına göre deverin belirlenen standartlardan eksik olarak uygulandığı yol noktalarının analizi sonucunda, güzergahlara göre elde edilen verilerin özellikleri Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31: Yalpa Açısına Göre Sorgulanan Hatalı Eksik Dever Noktaları (Şekil 96, Şekil 97, Şekil 98, Şekil 99)

Veri Alım Hızları	Buca-Bornova	Buca- Üçkuyular
Saniyede 10	1.117	541
Saniyede 25	2.932	1.041
Saniyede 50	3.572	1.450
TOPLAM	7.621	3.039

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Yapılan tüm sorgulamaların amacı yol üzerindeki dever hatalarını bulmaya yöneliktir. Bulunan bu noktalardan gözle gözlemlenebilir olanları sonuç kısmında paylaşılmıştır. CBS programında yapılan sorgular özetlenmiş olarak şu şekilde sıralanabilir;

Uygulamaya göre hatalı dever noktalarının doğrudan tespit edilmesi

1. "X Egim" > 4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz'
2. "X Egim" < -4.4 AND "Donus Yonu" = 'duz'

Uygulamaya göre hatalı dever noktalarının yalpa açısına göre tespit edilmesi

1. "X Egim" > 0 AND "Donus Yonu" = 'sol'
2. "X Egim" < 0 AND "Donus Yonu" = 'sag'
3. "X Egim" > 7 AND "Donus Yonu" = 'sag'
4. "X Egim" < -7 AND "Donus Yonu" = 'sol'

SONUÇ

Uygulama kapsamında yapılan tüm sorgulamaların sonucunda elde edilen verilerin özellikleri Tablo 32’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 32: Sorgulama Sonucunda Elde Edilen Hatalı Dever Nokta Sayısı

Veri Alım Hızları	Buca-Bornova	Buca- Üçkuyular
Deverin Fazla Verildiği Konum Noktaları Saniyede 10	76	73
Deverin Fazla Verildiği Konum Noktaları Saniyede 25	170	353
Deverin Fazla Verildiği Konum Noktaları Saniyede 50	361	488
Deverin Eksik Verildiği Konum Noktaları Saniyede 10	1.117	541
Deverin Eksik Verildiği Konum Noktaları Saniyede 25	2.932	1.041
Deverin Eksik Verildiği Konum Noktaları Saniyede 50	3.572	1.450
TOPLAM	8.228	3.946

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken durum ise veri sayısını belirleyen aktörün konum sayısı değil elde edilen eğitim noktalarının sayısı olmuş olmasıdır. Sorgulama sonucunda elde edilen verilerin toplam veriler içindeki durumu Tablo 33’te verilmiştir. Tablo 33’e göre şu sonuçların elde edildiği söylenebilir;

- Buca-Bornova yönünde %12,75 oranında hatalı eğitim noktası tespit edilmiştir.
- Buca- Üçkuyular yönünde %4,73 oranında hatalı eğitim noktası tespit edilmiştir.
- Her iki yolda da elde edilen hatalı dever sayısı = 12.174’dür.
- Her iki yolda elde edilen toplam veri sayısı = 147.900’dür.
- Toplamda her iki yolda %8,23 oranında hatalı eğitim noktası tespit edilmiştir.

Tablo 33: Hatalı Dever Nokta Sayıları ve Elde Edilen Tüm Veri Sayıları

Açıklama	Buca-Bornova	Buca- Üçkuyular
Sorgulama Sonucunda Yol Üzerindeki Hatalı Dever Noktaların Sayısı	8.228	3.946
Elde Edilen Toplam Veri Sayısı	64.487	83.413

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Uygulama kapsamında elde edilen verilere bakıldığında ise hatalı dever noktalarının konumları bilindiği için istenildiği takdirde gözlemlenebilmektedir. Bu bağlamda gözlemci tarafından uygulama sonucu hatalı olarak konumlandırılan bölgedeki problemler fark edilebilmektedir. Gözleme dayalı yapılan bu durumlarda bazı noktaların harita görünümüleri hatayı açıkça göz önüne sermeyebilir bu durumda belirtilen noktada gözle görülemeyen sadece ölçümlerle ortaya çıkabilecek şekilde bir hatanın olduğu söylenebilir.

Dever hata sorgulama sırasına göre yapılan bu gözlemde elde edilen bulguların bir kısmı paylaşılmıştır. Bu bulgulara göre yapılan gözlem sonucunda genellikle şu yol tiplerinde hata oranlarına rastlanılmıştır;

- Tepe üzerine yukarı doğru seyreden yolda viraj uygulamasının yapıldığı noktalar
- Köprü ayağının yapımından sonra köprüyle yolun ek yapıldığı noktalar
- Köprü ayaklarının zemine iyi oturtulmadığı noktalar
- Köprü ayağının önceki köprü ayağına göre iç veya dış tarafa doğru oturtulduğu noktalar
- Yola uygulanan yamaların yolun eğim değerini değiştirdiği noktalar
- Viraj seyrinde iç tarafa doğru keskin virajların ortaya çıktığı noktalar

GPS'in saniyede bir konumlandırma yapması sebebiyle aynı koordinat üzerinde tekrar eden sıralı hata noktaları gözlemlenmiştir.

CBS üzerinde $\pm 4,4''$ 'nin üstünde olan dever noktaları ve $\pm 7''$ 'nin üstünde olan yalpa açıları sorgulanmış ve yapılan bu sorgular aşağıdaki Şekil 100, Şekil 101, Şekil 102, Şekil 103, Şekil 104, Şekil 105, Şekil 106, Şekil 107 ve Şekil 108'de görsel olarak paylaşılmıştır. Şekiller Google maps altlığı ve uydu haritalarından faydalanarak gösterilmekte ve belirtilmektedir.

Şekil 100’de uydu görüntüsü verilen bölgedeki yol üzerinde dever standartlarının üstünde eğim noktaları tespit edilmiştir.

Şekil 100: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 101, Şekil 100’deki uydu görünümlü yolun farklı bir görünümüdür. Uygulamanın hata olarak gösterdiği bu noktalar köprü üzerinde bulunmaktadır. Sarı ok işaretleri köprü’nün kesim noktalarını göstermektedir. Yol üzerinde her iki (gidiş-dönüş) güzergahta köprü iç tarafa doğru standartların üstünde bir eğime sahiptir. Bu duruma kesilen köprü noktalarının tam oturmaması veya köprü ayaklarının zamanla bir yöne doğru eğilme göstermesi sebep olarak gösterilebilir.

Şekil 101: Uygulamaya Göre Şekil 100’deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 102’dd görüldüğü üzere viraj içinde uygulama dışı doğru yalpa açısını gereken değerden daha fazla verildiğini göstermektedir.

Şekil 102: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 2



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 103 Şekil 102’deki uydu görünümlü yolun farklı bir görünümüdür. Otoyol üzerinde şeridi bölen asfaltlama çalışması gözle görülebilmektedir. Bu noktada yol eğiminin dışarıdan viraj içine doğru yükseltilmesi gerekli olabilmektedir.

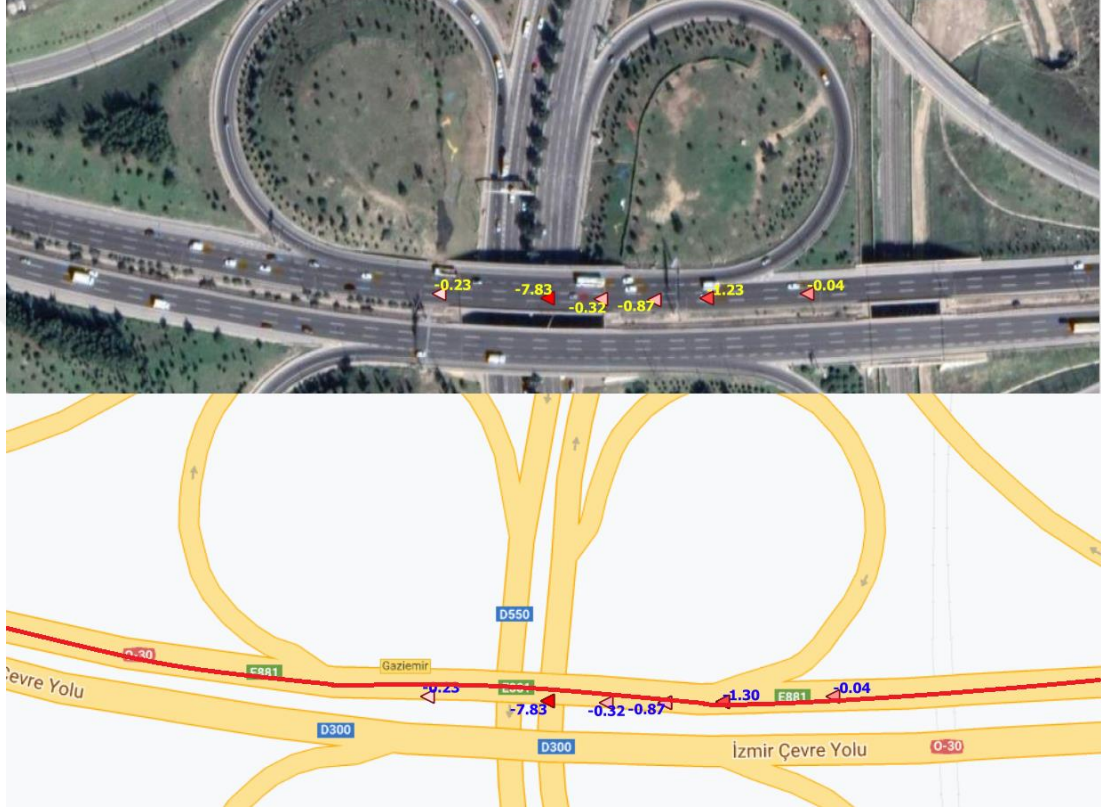
Şekil 103: Uygulamaya Göre Şekil 102’deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü



Kaynak: Google Street View 2018

Şekil 104’de görüldüğü üzere köprü üzerinde uygulama tarafından deyer standartlarının üstünde eğim noktaları tespit edilmiştir. Uydu görünümüyle birlikte Google Maps altlığı haritasına bakıldığında ise yolun köprü üzerinde dışa doğru meyil verdiği görülmektedir.

Şekil 104: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 3



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 105 Şekil 104’deki uydu görünümü yolun farklı bir görünümüdür.

Şekil 105: Uygulamaya Göre Şekil 104’deki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü 3



Kaynak: Google Street View 2018

Şekil 106’da görüldüğü üzere viraj içerisinde uygulama dışı doğru yalpa açısını gereken değerden daha fazla verildiğini göstermektedir. Hata noktasının hemen hemen başlangıcından itibaren uydu üzerinde viraj dışına doğru taşıtların savrulmaması için duvar örüldüğü de görülmektedir.

Şekil 106: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 4



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Şekil 107 Şekil 106’daki uydu görünümlü yolun aşağıdan görünümüdür. Burada yolda bulunan dışa doğru savrulma riskine karşı önlem alındığı daha net görülmektedir.

Şekil 107: Uygulamaya Göre 106’daki Hatalı Dever Noktasının Yol Üzerindeki Görünümü 4



Kaynak: Google Street View 2019

Şekil 108’de görüldüğü üzere viraj tepe noktasında uygulanmıştır. Bu gibi durumlarda deverin uygulanması arazi koşulları göz önünde bulundurulsa daha zor olacağı bilinmektedir. Kırmızı renkteki eğim değerleri gidiş, mavi renkteki eğim değerleri dönüş yönündedir. Gidiş yönünde negatif yani sağ doğru fazla eğim tespit edilmiştir. Dönüş yönünde ise bu durumu destekler nitelikte sol tarafa yani aynı yöne doğru yalpa açısına göre fazla eğim tespit edilmiştir. Ayrıca zaman faktörünün bu gibi dever noktalarında daha etkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 108: Uygulamaya Göre Hatalı Dever Noktasının Gözlemi 5



Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Sonuç olarak uygulama kapsamında, elde edilen veriler içerisinde yapılan sorgular neticesinde dever standardına veya otomobiller için kritik eğim değerine uymayan yol noktaları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Uygulamanın sağlıklı sonuç verebilmesi için yeterli düzeyde test ve kontrol aşamasından geçmiştir. Bu aşamalar şu şekilde sıralanabilir;

1. Uygulama öncesi Türkiye'nin yol standart değerlerinin belirlenmesi
2. Uygulama öncesi Türkiye piyasasında mevcut bulunan en iyi donanım araçlarının belirlenmesi
3. Uygulama öncesi uygulama aracının özelliklerinin incelenerek çalışmak için uygun olup olmadığının incelenmesi
4. Uygulama öncesi veri sahasında ön testlerin yapılması (hız entegrasyonu, güzergah çalışması veya yazılımın test edilmesi gibi)
5. Uygulama sırasında alınan verilere etki edecek faktörlerin olup olmadığının kontrol edilmesi
6. Uygulama sırasında önceden yapılan testlerle belirlenen koşullara uyulması (hız sınırı veya donanım soğutma gibi)
7. Uygulama sonrası belirlenen ölçüm kriterlerine göre analizlerin sağlıklı yapılması
8. Uygulama sonrası ortaya çıkan sonuçların sayısal ve görsel değerlendirmelerin yapılması

Gelecekte uygulamanın daha sağlıklı sonuçlar verebilmesi için şu adımlar izlenebilir;

1. Uygulama kapsamında çalışan sensörlerin araç gövdesi yerine süspansiyon sistemine ve aks bölgesine yakın alt takımlara konumlandırılabilir.
2. En fazla saniyede 1 adet alınan GPS koordinatlarının veri alım hızıyla (saniyede 50) eşitlendirilebilir.
3. Zamanla piyasaya sürülecek olan daha gelişmiş ivme ve jiroskop sensörleri araç üzerinde kullanılabilir.
4. Süspansiyon sistemindeki hareketlenmeleri inceleyen ek bir sensör kullanımı verilerin doğrulama aşamasında daha yararlı olabilir.
5. İlgili kurum veya kişiler ile koordineli olarak çalışma yaparak problem arz eden yol noktalarında araştırma yapılması daha belirgin sonuçlar elde etmede yararlı olabilir.

Uygulama kapsamında sonuç olarak ilgili karayolu b3l3mlerinde dever hatalarının tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Karar verici mercinin tek bir noktaya odaklanarak karar vermesinden ziyade, g3m3l3 sistem uygulamasıyla farklı bir bakış geliştirilerek karar vericiye alternatif 3z3mler 3retilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan sonuçlar karar destek sistemi adı altında karar verici merciye raporlanarak ileriye d3n3k şu fakt3rlerde fayda sağlamaktadır;

1. Maliyet azaltımı: Uygulama içinde kullanılan donanım gereçlerinin maliyeti oldukça ucuzdur. Herhangi bir bozulma durumunda yeni araç ve gereçler kolayca tedarik edilebilmektedir.
2. Zaman kazanımı: Uygulama hareket halindeki araç 3zerinde çalıştığı için istenilen otoyol b3lgesinde veya bir noktadan diğer noktaya kadar olan otoyol aralığında hızlı bir şekilde veri alımı yaparak sonuç elde edebilmektedir.
3. İş g3c3 azalımı: Uygulamanın alıştırılması için sadece bir kişi ve uygulama gereçleri yeterlidir. Bu sayede KGM personelinin iş g3c3 kaybına uğramadan araştırılması gereken yol 3zerinde uygulamanın tarama yapması ve d3zeltilmesi gereken yol noktalarını belirlemesi ciddi anlamda iş y3k3n3 kurum içinde azaltacaktır. Ayrıca bu durum odaklanılması gereken yol 3zerindeki problemlere daha net bir yaklaşım sunmaktadır.
4. İnsan hayatı: Otoyollardaki hatalı dever noktalarının ilgili b3lgede trafik kazası olmadan veya ciddi anlamda yol bozukluğu g3zlemlenmeden fark edilmesi zordur. Bu sebeple genellikle yol 3zerindeki hatalı dever noktaları kaza veya şikayet 3zerine incelenmektedir. Uygulama belirlenen yol noktaları arasındaki dever değerlerinin verisini elde ederek, yapılan sorgulamalar sonucunda ilgili b3lgede dever hatasını g3stermektedir. Bu sayede trafik kazaları yaşanmadan 3nce incelenmesi gereken yol bozuklukları tespit edilebilmektedir. Ayrıca zaman fakt3r3ne bağlı olarak yol 3zerinde meydana gelen dever kusurlarının fark edilmesinde de 3nemli bir rol oynamaktadır.

Fayda sağlayacağı düşünölen bu faktörlerin ortaya çıkması için bu uygulama kapsamında şu alanların ele alınması zorunludur;

1. Otomotiv Mühendisliğı
2. Harita Mühendisliğı
3. Ulaşım Mühendisliğı
4. Bilgisayar Programlama
5. Bilgisayar Donanımı
6. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Ortaya çıkan bu durum şunu gösteriyor ki kurum veya kuruluşların karar almasında bilişim alanındaki gelişmeler oldukça önemlidir. Geleceğı yönelik bilişim sistemlerinin uzandığı her alanda iş süreçlerinin kavranarak bilişim araçlarıyla entegrasyonu iyi yönetilmelidir.

O halde uygulamanın ele alacağı alanlarla birlikte fayda sağlayıcı sonuçları elde etmek için tüm bu alanları sadece tek bir çatı altında yönetebilmeyi başarabilen bilişim sistemleriyle bir karar destek sistemi oluşturulabilir. Bu durum ise gelişen dünyamızda en ilkel sorunlardan en teknolojik sorunlara kadar bilişim sistemlerinin etkin kullanılarak çözüm üretilebileceğı anlamına gelmektedir.

Asıl önemli olan nokta ise üretilen çözüm metodunun ileriye dönük geliştirilebilir olmasıdır. Bu yönüyle tez kapsamında kent dışı otoyollardaki hatalı deyer tespitine dair taşıt üzerinde çalışan gömülü sistem uygulaması günümüzce KGM’de kullanılabilir.

KAYNAKÇA

AASHTO. (2003). Maximum Superelevation Rates. Recommendations for AASHTO Superelevation Design (ss. 2). New York: Design Quality Assurance Bureau NYSDOT.

Ai, C. (2017). Automated Superelevation Measurement Method Using a Low-Cost Mobile Device. Transportation Research Record Journal of the Transportation. 2621(8): 62-70.

Abbasghorbani, M. ve Ziksari, A.B. (2015). Evaluation of Horizontal Curve Superelevation Using Road Surface Profiler. International Journal of Pavement Research and Technology 8(3): 186.

Akpınar, M.V. (2017). Örneklerle Karayolu Tasarımı (ss. 10-40). İstanbul: Birsen Yayınevi.

Analog Devices. (2009). Small, Low Power, 3-Axis ± 3 g Accelerometer ADXL335. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>, (10.04.2020).

Braam, O.V. (2009). OPEL ASTRA H 5-DOOR. https://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/282/opel_astra_h_5-door, (10.04.2020).

Bosch. (2019). BNO055 Intelligent 9-axis absolute orientation sensor. <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bno055-ds000.pdf>, (10.04.2020).

Bosch. (2014). BMI055 Small, versatile 6DoF sensor module. <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmi055-ds000.pdf>, (10.04.2020).

Chang, L. ve Yang, C. (2011). Analysis on the Driving Safety and Investment Effect using Severity Model of Fatal Traffic Accidents. Journal of Korean Society of Transportation. 29(3): 103.

Charbeneau, R.J. Jeong, J. E. Barrett, M.E (2008). Highway Drainage at Superelevation Transitions. (ss.1). University of Texas at Austin. Center for Transportation Research.

Demircioğlu, T.K. (2007). Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Denero, R. (2018). Data Mining in a Digital Map Database to Identify Insufficient Superelevation Along Roads and Enabling Precautionary Actions in a Vehicle. United States Patent. No:US 9 , 909 , 881 B2. (03.06.2018).

Eren, H. (2005). Calibration Process. Handbook of Measuring System Design. 3(45): 271.

Ertekin, İ. (2011). Farklı Lastik Profillerinin Taşıt Performansına Etkileri. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Google. (2018). Google Street View E87 İzmir. <https://www.google.com/maps/@38.3692472,27.2290354,3a,75y,179.63h,73.83t/data=!3m10!1e1!3m8!1sNQEO3aeOivkxWxLm38Yq9w!2e0!5s20180901T000000!7i13312!8i6656!9m2!1b1!2i37>, (25.08.2020).

Google. (2019). Google Street View E881 İzmir. <https://www.google.com/maps/@38.3664292,27.2196912,3a,75y,2.26h,69.94t/data=!3m9!1e1!3m7!1sQUMHkU2Ugv0EA9fb-1O3Zw!2e0!7i16384!8i8192!9m2!1b1!2i37>, (25.08.2020).

Google. (2018). Google Street View D300 İzmir. <https://www.google.com/maps/@38.346208,27.1326338,3a,75y,91.95h,107.6t/data=!3m10!1e1!3m8!1skIQnfkHpvyafPkz1uJC0dA!2e0!5s20180901T000000!7i13312!8i6656!9m2!1b1!2i33>, (25.08.2020).

Google. (2019). Google Street View İzmir. <https://www.google.com/maps/@38.3642307,27.2341378,3a,75y,210.88h,95.08t/data=!3m10!1e1!3m8!1sDKxrRgMxVmTvwyKbNW85FA!2e0!5s20180901T000000!7i16384!8i8192!9m2!1b1!2i33>, (25.08.2020).

Gögen, E., Sert, E., Tutu, G. (2017). Aracın Yalpa Karakteristiğinin Taşıt Dinamiğine Olan Etkisinin Analitik ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi. Mühendis ve Makine. 58(689): 49-61.

InvenSense Inc. (2013). MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>, (10.04.2020).

InvenSense Inc. (2016). MPU-9250 Product Specification Revision 1.1. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01v1.1.pdf>, (10.04.2020).

InvenSense Inc. (2014). MPU-9255 Product Specification. <https://pdf.direnc.net/upload/mpu-9255-datasheet.pdf>, (10.04.2020).

Kamalakaran, M. Ve Devadharshini, K. (2019). Controlling the Speed of Conveyor Belt using Python Raspberry Pi 3B+. Oriental journal of computer science and technology. 12(2): 59.

KGM. (2016). Maksimum Değer. Karayolu Tasarım El Kitabı (ss. 29). Ankara: Karayolu Genel Müdürlüğü.

KGM. (2019). Yolun Geometrik Özelliğine Göre Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kaza Bilgileri ve Trafik Kazaları Özeti, Oluş Türlerine Göre Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kaza Bilgileri (ss.1-7). Ankara: Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı.

KGM. (1993). Karayolları Geometrik Standartları (S1). Ankara: Karayolları Standartlar Kurulu.

Kinoshita, G., Muta, K., Hashimoto, T., Fukushiro, Eiji., Aoki, T., Kimura, A., Oyama, S., Yamamoto, M., Itabashi, Kaiji., Oikawa, Y., Saito, T. (2014). Sprung Mass Damping Control System of Vehicle. United States Patent. No: US 8,892.280 B2. (11.18.2014).

Kuloğlu, N. (1988). Karayollarında Kullanılan Geçiş Eğrileri Üzerine Bir Araştırma. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Elazığ. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lamm, R. (1984). Driving Dynamic Considerations: A Comparison of German and American Friction Coefficients for Highway Design. Transportation Research Board. 0361-1981(960): 18.

Mitutoyo. "Digital ABS AOS Caliper 0-150mm, Blade, w/o Data Output", <https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/en/all/PR/500-181-30/datasheet.xhtml>, (22.05.2020).

Nilsson, A., Lingefelt, H. (2011). Estimation of Vehicle Roll Angle. (Yayınlanmamış Lisans Tezi). Lund: Lund University Division of Industrial Electrical Engineering and Automation Faculty of Engineering.

NXP. (2017). FXOS8700CQ 6-axis sensor with integrated linear accelerometer and magnetometer Rev. 8. <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/FXOS8700CQ.pdf>, (10.04.2020).

NXP. (2008). $\pm 1.5g$, $\pm 6g$ Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer. <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA7361L.pdf>, (10.04.2020).

NXP. (2017). MMA8451Q, 3-axis, 14-bit/8-bit digital accelerometer. <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA8451Q.pdf>, (10.04.2020).

NXP. (2015). FXAS21002C 3-Axis Digital Angular Rate Gyroscope. <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/FXAS21002.pdf>, (10.04.2020).

Özdemir, A., Maden, D., (2013). Aktif Süspansiyon Sistemli Çeyrek Araç Modelinin Gözlemleyiciyle Optimal kontrolü. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 17(2): 184.

Parczewski, K., Wnek, H., (2017). The influence of vehicle body roll angle on the motion stability and maneuverability of the vehicle. Combustion Engines. 168(1): 3.

Patil, S.B., Attar, S., Dugani, D., Desai T., Mahabri S. (2019). Study of Geometric Features of Road and Accident Rate. International Research Journal of Engineering and Technology. 06(04): 490.

Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council. (31.07.2009). Concerning Type-Approval Requirements For The General Safety of Motor Vehicles, Their Trailers and Systems, Components and Separate Technical Units Intended Therefor. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0661&from=EN>. (25.05.2020).

Ryu, J., Gerdes, J.C. (2004). Integrating Inertial Sensors with GPS for Vehicle Dynamics Control. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 126(2): 2.

Serway, R. A. ve Beichner, R.J., (2016). Fen ve Mühendislik İçin Fizik 1 (ss. 153-161). Çev. Kemal Çolakoğlu. Ankara: Palme Yayınları.

STMicroelectronics. (2011). LSM303DLHC Ultra compact high performance e-compass 3D accelerometer and 3D magnetometer module. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/LSM303DLHC.PDF>, (10.04.2020).

STMicroelectronics. (2013). L3GD20H MEMS motion sensor: three-axis digital output gyroscope. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l3gd20h.pdf>, (10.04.2020).

STMicroelectronics. (2013). LSM9DS0 iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/LSM9DS0.pdf>, (10.04.2020).

STMicroelectronics. (2015). LSM9DS1 iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm9ds1.pdf>, (10.04.2020).

Süzen, A.A., Deniz, Ö., Çetin, A., (2017). Kafa Hareketleri ile Kontrol Edilebilen Tekerlekli Sandalye. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 8(1): 66-72.

Tafner, R., Reichhartinger, M., Horn, M. (2012). Robust Vehicle Roll Dynamics Identification based on Roll Rate Measurements. The International Federation of Automatic Control. 45(30): 72.

Taşkın, S. (2014). Fizik Makaleleri (ss. 447). Google Play Books.

Tecim, V. (2008). Coğrafi Bilgi Sistemleri Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi (ss 51-52). Ankara: Renk Form Ofset Matbaacılık Ltd. Şti.

Tomlinson, D. Ve Fam, A. (2015). Flexural behavior of precast concrete sandwich wall panels with basalt FRP and steel reinforcement. Pci Journal 60(6): 55.

Townsend, K. (2017). “Comparing Gyroscope Datasheets”. <https://learn.adafruit.com/comparing-gyroscope-datasheets/overview>, (01.15.2020).

U-Blox. (2011). NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet. https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO6_DataSheet_%28GPS.G6HW-09005%29.pdf, (10.04.2020).

Uyarca, Ö. ve Atılgan, İ. (2018). Ankara İlinde Meydana Gelen Trafik Kazalarının İncelenmesi. Kent Akademisi. 11(33): 623-624.

Uysal, G., Hekimoğlu, T., Özer, D. (2016). Bir Ticari Araçta Bağımsız Arka Süspansiyon Sisteminin Geliştirilmesi. (ss.1). Düzenleyen Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği ve Makine Mühendisliği. Bursa. 23 – 24 Mayıs 2016.

Ünal, A, Çodur, M.Y. (2017). Trafik Kazalarının Meydana Gelmesinde Mühendislik Hataları: Bursa İli Örneği (ss.3-5), Düzenleyen Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Bayburt.21-23 Eylül 2017.

Ünlü, P. ve Gök, B. (2007). Öğrencilerin Düzgün Dairesel Harekette Merkezci Kuvvet Hakkındaki Kavram Yanılgılarının Araştırılması. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi. 27(3): 143.

Vargas-Meléndez, L., Beatriz, L.B., Boada, M.J.L., Gauchia, A., Diaz, V. (2016). A Sensor Fusion Method Based on an Integrated Neural Network and Kalman Filter for Vehicle Roll Angle Estimation. MDPI. 16(9): 5.

Yayla, N. (2004). Değer. Karayolu Mühendisliği (ss. 131-140). İstanbul: Birsan Yayınevi.



EKLER

Ek 1: KGM Bilgilendirme Dilekçesi



T.C.
ULAŞTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI
Karayolları Genel Müdürlüğü
İşletmeler Dairesi Başkanlığı



Sayı : 38304440- 100 / E.135208
Konu : Bilgin FIRIKÇI'ye Ait Dilekçe

24.06.2020

Sayın Ahseni Bilgin FIRIKÇI
bilginfiricki@gmail.com

İlgi: İlgi 20.06.2020 tarihli e-postanız.

Ülkemizde, karayolu projelerinde uygulanan dever tasarımı ile ilgili doküman talebi hakkındaki ilgi e postanız incelenmiştir.

Devlet ve İl Yolları tasarımında kullanılan "Karayolu Tasarım El Kitabı" ve otoyol tasarımında kullanılan "Otoyolu Proje Mühendislik Hizmetleri Kriter Raporu"nun dever tasarımı hakkındaki bölümlerinin fotokopisi ekte gönderilmektedir.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Mehmet TUTAŞ
Genel Müdür a.
Genel Müdür Yardımcısı

EK:
A4(9 SAYFA)

"Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır."

<http://www.kgm.gov.tr> adresinden, "uyjti6955CD5" DYS No ve evrak tarihi ile erişebilirsiniz.

İnönü Bulvarı No: 14 06100 Yücetepe/ANKARA

Bilgi İçin : Mert ÖYMEN

Proje ve Danışmanlık Mühendisi

Telefon No : 312 449 97 20

Faks: 312 449 71 55

Telefon : 312 449 87 79

İnternet Adresi : www.kgm.gov.tr

KEP: kgm@hs01.kep.tr

e-posta : mert.oymen@kgm.gov.tr

İlgili Birim : Proje Ve Danışmanlık Şubesi Müdürlüğü

1/1

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 2: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisinin Sonuçları (Saniyede 2)

Tarih, Saat, Enlem, Boylam, Hiz km/s, Donus Yonu, Donus Derecesi, X Egim, Y Egim

08-03-2020, 23:52:46, 38.382925, 27.071736667, 86.3784, sol, 3.112792956, -2.99853268177, -0.071361068478

08-03-2020, 23:52:47, 38.382925, 27.071736667, 86.3784, duz, 2.624511708, -2.48076029956, -3.42140664541

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 3: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 10)

Tarih, Saat, Enlem, Boylam, Hiz km/s, Donus Yonu, Donus Derecesi, X Egim, Y Egim

08-03-2020, 22:25:44, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, sol, 3.417968736, -3.37383330583, -0.551305116598

08-03-2020, 22:25:44, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, duz, 2.868652332, -3.20245687484, -3.41960604068

08-03-2020, 22:25:45, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, duz, 2.990722644, -3.9661342541, -3.240428296

08-03-2020, 22:25:45, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, duz, 2.74658202, -4.38483418269, -2.25226727844

08-03-2020, 22:25:45, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, duz, 2.807617176, -3.87023780985, -1.62106797499

08-03-2020, 22:25:45, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, sol, 3.112792956, -4.02631401941, -0.683663457841

08-03-2020, 22:25:45, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, duz, 2.563476552, -4.68836270131, -1.74629372945

08-03-2020, 22:25:45, 38.382868333, 27.071776667, 91.2852, sol, 3.601074204, -3.55399852323, -1.35504168434

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 4: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 50)

Tarih, Saat, Enlem, Boylam, Hiz km/s, Donus Yonu, Donus Derecesi, X Egim, Y Egim

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.685546864, -1.75895479866, -2.19190387615

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.601074204, -2.35151242145, -1.03676784999

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.234863268, -1.74656067631, -1.1345254332

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.685546864, -1.56007451047, -1.09472046272

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.807617176, -2.07837050378, 0.705724735975

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.0517578, -2.53496196218, -1.83125748759

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.624511708, -0.929710259968, -1.08467916085

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.417968736, -3.66298171445, -3.03401098504

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.685546864, -2.13057659829, -2.20856246901

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.234863268, -1.58248225435, -0.339062207343

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.44140624, -2.4617521671, -1.29179180126

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.44140624, -3.08614760288, -0.665865741363

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.295898424, -1.52466753062, -1.04244219253

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.35693358, -3.97241285683, -1.71300560927

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.0517578, -2.17814975721, -1.72016616233

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.807617176, -3.4531098167, -2.44237019169

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.563476552, -2.09753425435, -0.17355053543

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.295898424, -3.11623893817, -0.439257261245

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.990722644, -1.17552609433, 1.13498531409

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, sol, 3.35693358, -3.1951442341, -0.557602020859

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.44140624, -2.9311183309, -1.56931553374

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.807617176, -3.28906597916, -0.203756205073

08-03-2020, 23:13:00, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.685546864, -2.78700770563, -0.639839239715

08-03-2020, 23:13:01, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.258300772, -4.23981471291, -0.805635978933

08-03-2020, 23:13:01, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.929687488, -1.92938617252, -1.44691995525

08-03-2020, 23:13:01, 38.38296, 27.071698333, 90.432, duz, 2.624511708, -3.64177475152, -2.21013709872

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 5: Uygulama Veri Alım Hızının Araç Hızına Etkisi (Saniyede 100)

```
Tarih,Saat,Enlem,Boylam,Hiz km/s,Donus Yonu,Donus Derecesi,X Egim, Y Egim
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,sol,3.540039048-3.0698850995,-0.275195361778
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.868652332-2.11740690801,0.899730091583
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,sol,3.234863268-2.21673298202,-0.426192391752
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.44140624-2.42982847576,1.60120627886
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.929687488-2.0066521865,0.620648148669
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.807617176-2.877370916,-0.149942245595
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.624511708-1.57204611442,0.69709800575
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.319335928-2.84491347764,-0.41583423358
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.319335928-1.37170546974,0.580291414005
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.990722644-1.3116550735,0.415541229807
08-03-2020,23:34:25,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,1.770019524-2.44266650163,0.107930522603
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.4048,sol,3.0517578-1.90596722571,-1.01473154882
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.807617176-1.03112330205,-0.863900218752
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.258300772-2.32546365013,-2.81029052889
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.624511708-1.33699265439,-1.74638804364
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.4048,duz,2.990722644-2.66784335309,-0.237366911968
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,duz,2.807617176-1.48445441816,-2.68094325429
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,duz,2.868652332-1.92866707357,-0.930480743425
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.417968736-3.57539187489,0.463181027396
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.784179672-1.82275676983,-0.897861046961
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.723144516-1.5910490071,3.21229611703
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,duz,2.929687488-2.83603905378,-1.19846895332
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.295898424-3.09187690595,0.107491419811
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.295898424-4.01532579072,0.0394626902081
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.173828112-3.71614162712,-2.92551947349
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.66210936-4.02780494505,1.17798199615
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,duz,2.990722644-5.09527148107,-2.2006338318
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.173828112-4.44052402562,-2.2257779057
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.845214828-5.16104532238,-1.4567415961
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,4.028320296-3.73109869493,-1.27677755956
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,duz,2.990722644-5.25810780356,-1.25865256661
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.0517578-4.8539235478,-0.0440738185354
08-03-2020,23:34:26,38.382828333,27.071786667,92.0268,sol,3.66210936-3.84140782722,-2.7370147676
```

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 6: Uygulama GPS Kodlarının Bir Kısımı

```
28 if __name__ == '__main__':
29     gpsp = GpsPoller()
30     try:
31         gpsp.start()
32         while True:
33             os.system('clear')
34             gun = datetime.now().strftime("%d");
35             ay = datetime.now().strftime("%m");
36             yil = datetime.now().strftime("%Y");
37             saat = datetime.now().strftime("%H");
38             dakika = datetime.now().strftime("%M");
39             saniye = datetime.now().strftime("%S");
40             tarih = datetime.now().strftime("%d-%m-%Y");
41             saat = datetime.now().strftime("%H:%M:%S");
42             print
43             print ' GPS Verileri Okunuyor'
44             print '-----'
45             #print ("Tarih : " ,gun+"-"+ay+"-"+yil);
46             print ("Tarih:" ,tarih)
47             print ("Saat :" ,saat)
48             print 'Enlem : ' , gpsd.fix.latitude
49             print 'Boylam : ' , gpsd.fix.longitude
50             #print 'Zaman : ' , gpsd.utc, ' + ' , gpsd.fix.time
51             print 'Rakim (m) : ' , gpsd.fix.altitude
52             # print 'eps : ' , gpsd.fix.eps
53             # print 'epx : ' , gpsd.fix.epx
54             # print 'epv : ' , gpsd.fix.epv
55             # print 'ept : ' , gpsd.fix.ept
56             print 'speed (km/s) : ' , (gpsd.fix.speed*3600/1000)
57             # print 'climb : ' , gpsd.fix.climb
58             # print 'track : ' , gpsd.fix.track
59             # print 'mode : ' , gpsd.fix.mode
60             # print
61             # print 'sats : ' , gpsd.satellites
```

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 7: Uygulama Jiroskop Kodlarının Bir Kısımı

```
52 class FXAS21002():
53
54     def __init__(self, bus=1, addr=FXAS21002_I2C_ID):
55         self.bus = smbus.SMBus(bus)
56         self.addr = addr
57         self.status = 0
58         self.gyro_x, gyro_y, gyro_z = [], [], []
59
60
61     def _write(self, reg, val, size=1):
62         if size == 1:
63             ret = self.bus.write_byte_data(self.addr, reg, val)
64         else:
65             raise NotImplementedError()
66         return ret
67
68     def _read(self, reg, size=1):
69         if size == 1:
70             data = self.bus.read_byte_data(self.addr, reg)
71         else:
72             data = bytearray(self.bus.read_i2c_block_data(self.addr, reg, size))
73         return data
74
75     def probe(self):
76         dev_id = self._read(FXAS21002_DEVICE_ID_REG)
77         if dev_id != FXAS21002_DEVICEID:
78             raise RuntimeError("Device not found")
79         return
```

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 8: Uygulama İvmeölçer Kodlarının Bir Kısımı

```
128 def _read_u8(self, address):
129
130     address = address & 0xFF
131     return self._device.readU8(address)
132
133 def _write_u8(self, address, val):
134
135     address = address & 0xFF
136     val = val & 0xFF
137     return self._device.write8(address, val)
138
139 def read_raw_accel_mag(self):
140
141     self._BUFFER = self._device.readList(_FXOS8700_REGISTER_OUT_X_MSB, 6)
142
143     accel_raw_x = struct.unpack_from('>H', self._BUFFER[0:2])[0]
144     accel_raw_y = struct.unpack_from('>H', self._BUFFER[2:4])[0]
145     accel_raw_z = struct.unpack_from('>H', self._BUFFER[4:6])[0]
146
147     accel_raw_x = _twos_comp(accel_raw_x >> 2, 14)
148     accel_raw_y = _twos_comp(accel_raw_y >> 2, 14)
149     accel_raw_z = _twos_comp(accel_raw_z >> 2, 14)
150
151
152     self._BUFFER = self._device.readList(_FXOS8700_REGISTER_MOUT_X_MSB, 6)
```

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 9: Uygulama İvmeölçer Eğim Kodlarının Bir Kısımı

```
47 address = 0x1F
48
49 while True:
50
51     accel_x, accel_y, accel_z = sensor.accelerometer
52     mag_x, mag_y, mag_z = sensor.magnetometer
53
54     print('Acceleration (m/s^2): ({0:0.3f}, {1:0.3f}, {2:0.3f})'.format(accel_x, accel_y, accel_z))
55     print('Magnetometer (uTesla): ({0:0.3f}, {1:0.3f}, {2:0.3f})'.format(mag_x, mag_y, mag_z))
56
57     accel_xout_scaled = accel_x / 16384.0
58
59     accel_yout_scaled = accel_y / 16384.0
60
61     accel_zout_scaled = accel_z / 16384.0
62
63
64     print "İvmeölçer X: ", accel_x, " olcekli: ", accel_xout_scaled
65     print "İvmeölçer Y: ", accel_y, " olcekli: ", accel_yout_scaled
66     print "İvmeölçer Z: ", accel_z, " olcekli: ", accel_zout_scaled
67
68     print "x dondurme: " , get_x_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)
69
70     print "y dondurme: " , get_y_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled, accel_zout_scaled)
```

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.

Ek 10: Uygulama CSV Kayıt Kodlarının Bir Kısımı

```
62
63 file = open("/home/pi/Desktop/Data_log.csv", "a")
64 if os.stat("/home/pi/Desktop/Data_log.csv").st_size == 0:
65     file.write("Tarih,Saat,Enlem,Boylam,Hiz Km/s,Donus Yonu,Donus Derecesi,X Egim, Y Egim\n")
66 now = datetime.now()
67 file.write(str(tarih)+"", "+str(saat)+"", "+str(gpsd.fix.latitude)+"", "+str(gpsd.fix.longitude)+"", "+str(gpsd.fix.speed*3600/1000)+"", "+str(now.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"))+"\n")
68 file.flush()
69
70 bilgin.olcum()
71
72
73 time.sleep(0.02)
```

Kaynak: Yazar Tarafından Derlenmiştir.