TÜRKİYE CUMHURİYETİ
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEYİR KONFORUNU DEĞERLENDİREN KİTLE KAYNAKLI SİSTEM MİMARİSİNİN TASARLANMASI VE GERÇEKLENMESİ

Yasin Fırat PAYALAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Bilgisayar Mühendisliği Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi M. Amaç GÜVENSAN

Ekim, 2019

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEYİR KONFORUNU DEĞERLENDİREN KİTLE KAYNAKLI SİSTEM MİMARİSİNİN TASARLANMASI VE GERÇEKLENMESİ

Yasin Fırat PAYALAN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi M. Amaç GÜVENSAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi M. Amaç GÜVENSAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi H. İrem TÜRKMEN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan İNCE, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi M. Amaç GÜVENSAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Seyir Konforunu Değerlendiren Kitle Kaynaklı Sistem Mimarisinin Tasarlanması ve Gerçeklenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yasin Fırat PAYALAN

Her şeyin en iyisini hak eden aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, bu yolda bana en büyük motivasyonu sağlayan Aileme bir kez daha şükranlarımı sunarım.

İkinci olarak tez ve diğer makale çalışmaları boyunca yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerini aktarmasından ötürü büyük onur duyduğum değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi M. Amaç GÜVENSAN' a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak veri toplama işleminde ve anket çalışmasında yardımcı oldukları için Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğrencilerine de teşekkürlerimi sunarım.

Yasin Fırat PAYALAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

1 Giriş 1

1.1 Literatür Özeti . . . 1

1.2 Tezin Amacı . . . 12

1.3 Hipotez . . . 13

2 Ulaşım Konforu 15

2.1 Ulaşım Konforu ve Etkileyen Faktörler . . . 15

2.1.1 Yol Kalitesi . . . 17

2.1.2 Sürüş Kalitesi . . . 18

2.1.3 Çevresel Faktörler . . . 20

2.2 Ulaşım Tipleri . . . 22

2.2.1 Kara Araçları . . . 22

2.2.2 Hava Araçları . . . 28

2.2.3 Deniz Araçları . . . 31

2.3 Araçlarda Hareket . . . 33

2.3.1 İvmelenme . . . 34

2.3.2 Sürüş Aktiviteleri . . . 35

3 Kullanılan Veri Seti, Araçlar, Yöntemler 38

3.1 Veri Toplama . . . 38

3.1.1 Anket Çalışması . . . 39

3.1.2 Kitle Kaynaklı Yaklaşım . . . 39

3.1.3 Sensörler . . . 42

3.2 Veri Seti . . . 44

3.2.1 Veri Hazırlama 44
3.2.2 Veriyi Ön İşleme 45
3.3 Zaman Alanında Özellik Çıkartma 47
3.4 Yazılım Geliştirme Ortamı ve Kullanılan Araçlar 49

4 Sistem Detayları **51**
4.1 Verilerin Toplanması 51
4.2 Verinin İşlenmesi 52
4.2.1 Ön İşleme Aşaması 52
4.2.2 Özellik Çıkarımı ve Skorlama 53
4.2.3 Haritalama 53
4.2.4 Skorlama 54
4.3 Sistem Mimarisi 55
4.3.1 Mobil Uygulama Mimarisi 56
4.3.2 Bulut Tabanlı Sunucu Mimarisi 57

5 Deneysel Sonuçlar ve Çıkarımlar **59**
5.1 Ulaşım Tipleri Arasında Yorgunluk Analizi 59
5.2 Sürüş Olaylarının Yorgunluğa Etkisinin İncelenmesi 61
5.3 Yol Kalitesinin Yorgunluğa Etkisinin İncelenmesi 65
5.4 Hız Bilgisinin Yorgunluğa Etkisinin İncelenmesi 66
5.5 Anket Çalışması ve Konfor Puanı 68

6 Sonuç ve Öneriler **74**

A Ekler **77**

Kaynakça **82**

Tezden Üretilmiş Yayınlar **88**

KISALTMA LİSTESİ

API	Application Programming Interface
DWT	Discrete Wavelet Transform
EMG	Elektromiyografi
END	Environmental Noise Directive
FFT	Fast Fourier Transform
FRF	Frequency Response Function
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
IRI	International Roughness Index
IoT	Internet of Things
KKS	Küresel Konumlayıcı Sistemler
LIDAR	Light Detection and Ranging
NVH	Noise, Vibration and Harshness
PSD	Power Spectral Densities
RADAR	Radio Detection and Ranging
RMS	Root Mean Square
SD	Secure Digital
SEAT	Seat Effective Amplitude Transmissibility
VDV	Vibration Dose Value
Wi-Fi	Wireless Field

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Araçlardaki Sürüş Konfor Sistemleri [1] 1
Şekil 1.2 Gemi ve Uçaktaki Hareket Eksenleri [2] 2
Şekil 1.3 Kara Araçlarındaki Hareket Eksenleri [5] 3
Şekil 1.4 Yorgunluğun Süreyle İlişkisi [7] 4
Şekil 1.5 Sürüş Konforunu Ele Alan bir Sensör Platformu [8] 5
Şekil 1.6 Karavan-Otomobil Sürüş Kalitesi İlişkisi [9] 6
Şekil 1.7 Ulaşım Tiplerine göre Sürüş Yorgunluğunun Değişimi [8] 7
Şekil 1.8 Frekans Düzlemini Kullanarak Sürüş Aktivitelerini Tespit Eden Bir Tasarım [10] 8
Şekil 1.9 Sürüş Yorgunluğunun Yol Türüyle İlişkisi [9] 9
Şekil 1.10 İstatistiksel Değerlerin Sürüş Konforunda Ayırt Ediciliği [9] 10
Şekil 2.1 Ulaşımda Konforu Etkileyen Faktörler 17
Şekil 2.2 Araç Tekerleği Üzerinde Oluşan Kuvvetler 18
Şekil 2.3 Araçlardaki Süspansiyon Sistemi 19
Şekil 2.4 Ağırlıklandırılmış Ses Şiddeti Eğrileri 22
Şekil 2.5 Tekerlek 23
Şekil 2.6 Lastiğin Fiziksel Yapısı 24
Şekil 2.7 Uçaklarda Kullanılan Tekerlekler 24
Şekil 2.8 Farklı Türlerdeki Otomobiller 25
Şekil 2.9 Otobüs 25
Şekil 2.10 Bir Ulaşım Aracı Olarak Tren 26
Şekil 2.11 Elektrik Enerjisiyle Çalışan Tren 27
Şekil 2.12 Havadan Hafif Hava Ulaşım Araçları 28
Şekil 2.13 Havanın Kaldırma Kuvveti (Lift) 29
Şekil 2.14 Kanatlı Uçak 30
Şekil 2.15 Rotorlu bir Hava Aracı Olarak Helikopter 31
Şekil 2.16 Gemi 32
Şekil 2.17 Araçlarda Dönüş Sistemi 33
Şekil 2.18 Araçlarda Dönüş Sistemi 34
Şekil 2.19 Aracın İvmelenme Eksenleri 35
Şekil 2.20 Hızlanma ve Yavaşlama Aksiyonlarında Aracın Durumu 36

Şekil 2.21 Yanal Eksende Gerçekleşen Dönüşler ve Şerit Değişikliği Aktivitesi . 37
Şekil 3.1 Atalet Ölçüm Birimi (IMU) 39
Şekil 3.2 Katılımcıların Yaş Aralığının Yüzdesel Dağılımı 39
Şekil 3.3 Katılımcıların Toplu Taşıma Kullanma Sıklığı 40
Şekil 3.4 Google Maps (Sağdaki) ve Yandex Maps Navigasyon Uygulamaları . 41
Şekil 3.5 NoiseTube [68] Akustik Analiz Uygulaması 42
Şekil 3.6 İvmeölçer Sensörü 42
Şekil 3.7 Jiroskop Sensörü 43
Şekil 3.8 Küresel Konumlama Uyduları 44
Şekil 3.9 Veri Seti Klasör Yapısı 45
Şekil 3.10 Pencere Yükseltmesi 46
Şekil 3.11 Ortalama kullanılarak 1Hz'den 100Hz'e Yükseltme Örneği 46
Şekil 4.1 Veri Dosyasının İçeriği 52
Şekil 4.2 Sürüş Aktivitelerinin Haritalanması 53
Şekil 4.3 Genel Sistem Mimarisi 56
Şekil 4.4 Mobil Cihaz Üzerinde Çalışan Veri Toplama Mimarisi 57
Şekil 4.5 Bulut Sunucuda Çalışan Veri İşleme Mimarisi 57
Şekil 5.1 Ulaşım Tiplerinin Konfor Seviyeleri 59
Şekil 5.2 Anket Sonuçlarına göre Ulaşım Tiplerinin Konfor Seviyeleri 60
Şekil 5.3 Sürüş Olaylarının Ulaşım Tiplerine Dağılımı 61
Şekil 5.4 Bir Seyirde Gerçekleşen Sürüş Aktivitelerinin Dağılımı 62
Şekil 5.5 Yavaşlama Sırasında İvmelenmedeki Değişim 63
Şekil 5.6 Manevra Sırasında İvmelenmedeki Değişim 64
Şekil 5.7 Sürüş Etkinliklerine Bağlı Olarak İvmelenmedeki Değişmeler 65
Şekil 5.8 Boylamsal Sürüş Etkinliklerinin Yüksek Konforlu Seyirlerdeki Değişimi 66
Şekil 5.9 Sürüş Olaylarının Konfora Göre Dağılımı 67
Şekil 5.10 Anket Sonuçlarına göre Sürüş Olaylarının Konfora Göre Dağılımı . . 68
Şekil 5.11 Sürüş Etkinliklerinin Konfor Skoruna Göre Dağılımı 69
Şekil 5.12 Yol Kalitesi-Ortalama Hız Arasıdaki Ters Korelasyon İlişkisi 70
Şekil 5.13 Ortalama Hız Değerinin Konforlu Seyirlerde Daha Düşük Olması . . 70
Şekil 5.14 Düşük Konforlu Bir Seyirdeki Hız Bilgisinin Dağılımı 71
Şekil 5.15 Yüksek Konforlu Bir Seyirde Hız Bilgisinin Dağılımı 71
Şekil 5.16 Hız aralıklarına göre yorgunluğun değişimi (Ortalama kuvvet - Hız aralığı) 71
Şekil 5.17 Anket Sonuçlarına göre Sürüş Aktivitelerinin Yorgunluğa Etkisi . . . 72
Şekil 5.18 Yüksek Konforlu Sürüşün Haritada Gösterimi 72
Şekil 5.19 Düşük Konforlu Sürüşün Haritada Gösterimi 73

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Sürüş Konforunu Ele Alan Standartlar 4
Tablo 1.2 ISO2631-1 Sürüş Konforu Skalası 7
Tablo 1.3 Eksen bazında Sürüş Aktivitelerinin G bazında Oluşturduğu Kuvvetler [13] 11
Tablo 1.4 Sabit Hızda Giden Araçların Yüksek Hızlarda Daha Çok Kuvvet Oluşturması [16] 11
Tablo 2.1 Sürüş Kalitesini Değerlendiren, Akıllı Telefonlarla Yapılmış Çalışmalar [33] 19
Tablo 2.2 Otomobil ve Otobüs Arasındaki Mekanik Farklar 26
Tablo 3.1 Kitle Kaynaklı Yaklaşımda Ölçekleme 40
Tablo 3.2 Sistem Gerçeklenmesinde Kullanılan Yazılımsal Araçlar ve Platformlar 50
Tablo 4.1 Toplanan Seyirlerin Araç Türlerine Dağılımı 51
Tablo 5.1 Ulaşım Tiplerinin Birbirlerine göre Yüzdesel Olarak Konfor Farklılığı 61
Tablo 5.2 Ortalama Bir Yolculukta Sürüş Olaylarının Oluşturduğu Toplam Kuvvetler 62
Tablo 5.3 Seyir Sırasında Manevranın Gerçekleşmesi 63
Tablo 5.4 Manevranın Ortalama Kuvvete Etkisi 67
Tablo 5.5 Aynı Rotada Yapılan Seyirlerin Konfor Puanları ve Sürüş Deneyimiyle İlişkisi 72
Tablo A.1 Hıza bağlı Sürüş Konforunun Değişimi 77
Tablo A.2 Ulaşım Konforunu Analiz Etmek için Çıkartılan Özellikler 78
Tablo A.3 Ulaşım Konforunu Analiz Etmek için Çıkartılan Özellikler (Devam) 79
Tablo A.4 Konfor Puanına göre Sürüş Sonuçları 80
Tablo A.5 Konfor Puanına göre Sürüş Sonuçları (Devam) 81

ÖZET

Seyir Konforunu Değerlendiren Kitle Kaynaklı Sistem Mimarisinin Tasarlanması ve Gerçeklenmesi

Yasin Fırat PAYALAN

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Amaç GÜVENSAN

Ulaşımın konfor seviyesini ölçülebilir bir şekilde değerlendirmenin en iyi yollarından bir tanesi kişinin seyir boyunca harcadığı enerjiyi/eforu tespit etmektir. Yolcunun harcağı enerji/efor, temel olarak aracın hareketi sırasında oluşan kuvvetler ile ilgilidir. ISO-2631 standardına göre aracın hareketi sırasında oluşan mekanik sarsılmaların büyüklüğü ulaşımın ne kadar konforlu geçtiği noktasında bir bilgi vermektedir. Bu tez çalışmasında ISO-2631 referans alınarak yeni bir seyir konforu skorlama yöntemi ortaya atılmış, bu skorlamayı kullanarak konforlu rotaların belirlenmesini sağlayan kitle kaynaklı bir sistem mimarisi sunulmuştur. Skorlama sonucunda sıfırdan 50 puana kadar değer alan seyirler konforsuz, 50-70 aralığında orta ve 70 ve üzerindekiler ise konforlu seyir olarak değerlendirilmiştir. Kitle kaynaklı yaklaşım kullanılarak *araba, tramvay, otobüs, metro, tren, metrobüs, vapur, minibüs, uçak* olmak üzere dokuz farklı taşıt tipinden ulaşım verisi sağlanmıştır. Önerilen skorlama yöntemi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda en konforlu ulaşım çeşidinin *uçak* olduğu ortaya konmuştur. Uçakların, otobüslere göre yaklaşık 2.5 kat daha konforlu olduğu belirlenmiştir. Skorlama için çalışma kapsamında *hızlanma, yavaşlama, sabit hızla gidiş, sağa dönüş, sola dönüş, durma* olmak üzere altı farklı sürüş aktivitesi tespit edilmiştir. Bir seyri konforlu yapan en önemli etkenin *sabit hızla gidiş* sürüş aktivitesinin olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan testlerin sonucunda konforlu sürüşlerin %65' lik kısmı, konforsuz sürüşlerin %44' lük kısmı sabit hızla gidiş aktivitesinden oluşmaktadır. Çalışma sırasında akıllı telefonlar üzerindeki *ivmeölçer, jiroskop, GPS* hareket sensörleri kullanılmıştır. Ayrıca sunulan skorlamanın ve bu kapsamda geliştirilen sistem mimarisinin sonuçlarının insanların ulaşım konforu

kapsamında algısı ile ilişikisini ortaya koymak için bir anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışmasının sonuçlarının sistemin ürettiği çıktıları destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Sonuç olarak tez kapsamında ulaşım konforunu objektif olarak değerlendiren ölçülebilir bir metrik olarak kullanılabilecek yeni bir ulaşım konforu skorlama yöntemi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürüş konforu, mobil uygulama, akıllı taşıt teknolojileri, sensörler, sürüş kalitesi değerlendirme

ABSTRACT

Design and Implementation of Ride Comfort Evaluation System with Using Crowdsensing Technique

Yasin Fırat PAYALAN

Department of Computer Engineering
Master of Science Thesis

Advisor: Asst. Prof. M. Amaç GÜVENSAN

Researchers continuously measure the ride quality by examining the vehicle's motions and the environmental factors it interacts with. Ride comfort is an important factor affecting this quality.Main objective of the measuring ride comfort is to measure the comfort of transportation in order to increase the service standard in sectors such as automotive industry, municipalities and logistics, and supports academic studies in this field.

In order to objectively evaluate the ride comfort, it is necessary to consider almost all variables during transportation. In this study, the ride comfort is explained by the motion of the vehicle on three axes. In addition to this, the factors such as basic driving activities, road conditions, type of vehicle used for transportation were also included in the study. Unlike previous studies, a scoring mechanism was developed to measure transportation comfort. The comfort formula makes an objective evaluation about the comfort perspective of ride.

Smartphones were used to reduce the cost of data collection. Sensors on smartphones are the source for detecting activities. Accelerometer and gyroscope are used to identify the motional information of the vehicle. In addition to these two sensors, the vehicle needs speed and position information. The global positioning service on the smartphone was used for this reason. Riding data was collected using crowdsourcing method to collect the data in a short time and to reduce the cost to be collected here. A system design was performed to collect data during transportation and to interpret it from the perspective of ride comfort.

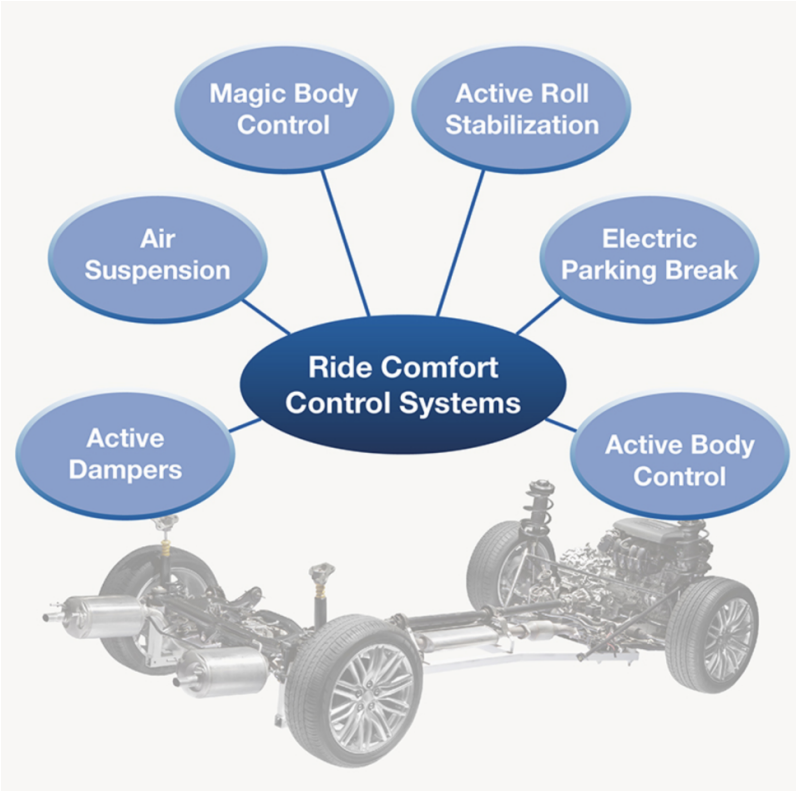
It is necessary to compare the collected data with the perceptions of individuals to ensure the objectivity of the system. A survey consisting of five questions was conducted to perform the perceptual study. People's perspective on transportation comfort was learned on this survey. This information is compared with the results produced by the system and objective evaluation is provided.

Keywords: Ride comfort, mobile and pervasive computing, intelligent transportation systems, sensors, driving quality assesment

1
Giriş

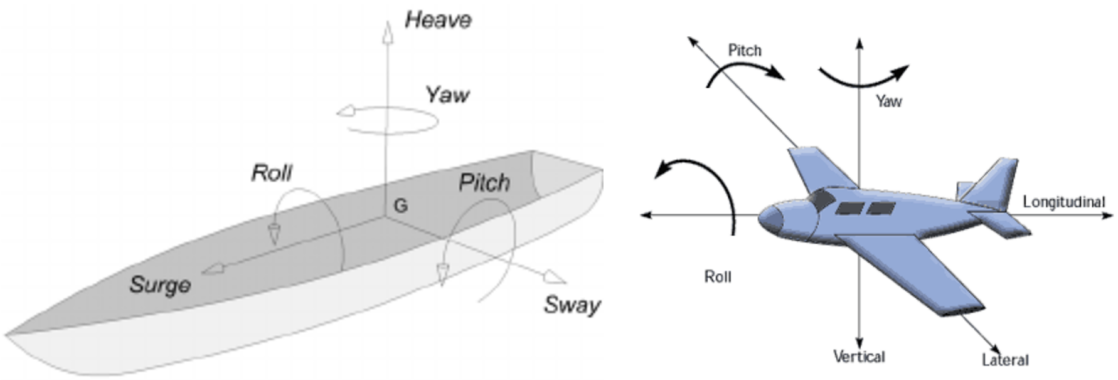
1.1 Literatür Özeti

Seyir konforu makine, otomotiv mühendisliğinde uzun zamandır ilgi gören bir konudur. Bu disiplinler bir aracın hareketlenmesinden ötürü ortaya çıkan kuvvetleri fizik ve mühendislik bakış açısıyla analiz eder ve bu kuvvetlerin sürücüleri, yolcuları ne kadar etkilediğini açıklar. İyi bir sürüş konforuna sahip seyirlerde kuvvetler ortalamaya göre az oluşur veya oluşan bu kuvvetler araçtaki kişiler tarafından olabildiğince az hissedilir. Hareketlenmeden ötürü oluşan kuvvetleri absorbe edebilmek için araçta sürüş konfor kontrol sistemleri bulunmaktadır [1]. Bu sistemler Şekil 1.1'de gösterildiği gibi temel olarak amortisör, süspansiyon ve stabilizatörlerden oluşmaktadır.



Şekil 1.1 Araçlardaki Sürüş Konfor Sistemleri [1]

Sürüş konforunu analiz etmek için aracın hareketini incelemek gerekir. Hareket eksenleri taşıtlara göre farklılık göstermektedir. Tekerlekli araçlar bu konuda uçaklar ve gemilere göre daha az karmaşıklığa sahiptir. En fazla karmaşıklık gemilerde gerçekleşir. Gemiler, Şekil 1.2'de görüldüğü üzere üç eksen üzerinde altı farklı kontrole sahiptir. Uçaklarda ise Roll, Pitch ve Yaw olmak üzere Şekil 1.3'de görüldüğü gibi her bir eksene bir hareket fonksiyonu denk düşmektedir. Tekerlekli araçlarda ise bu durum boylamsal ve yanal olmak üzere Şekil 1.3'de görüldüğü gibi iki çeşit kontrol yeteneği vardır. Fakat aracın ağırlığı ve yolun kalitesinden ötürü dikey eksende de hareketlenme oluşur. Aracın bu eksende kontrolü yoktur fakat hareket oluştuğu için diğer iki eksende olduğu gibi kuvvet oluşmaktadır.

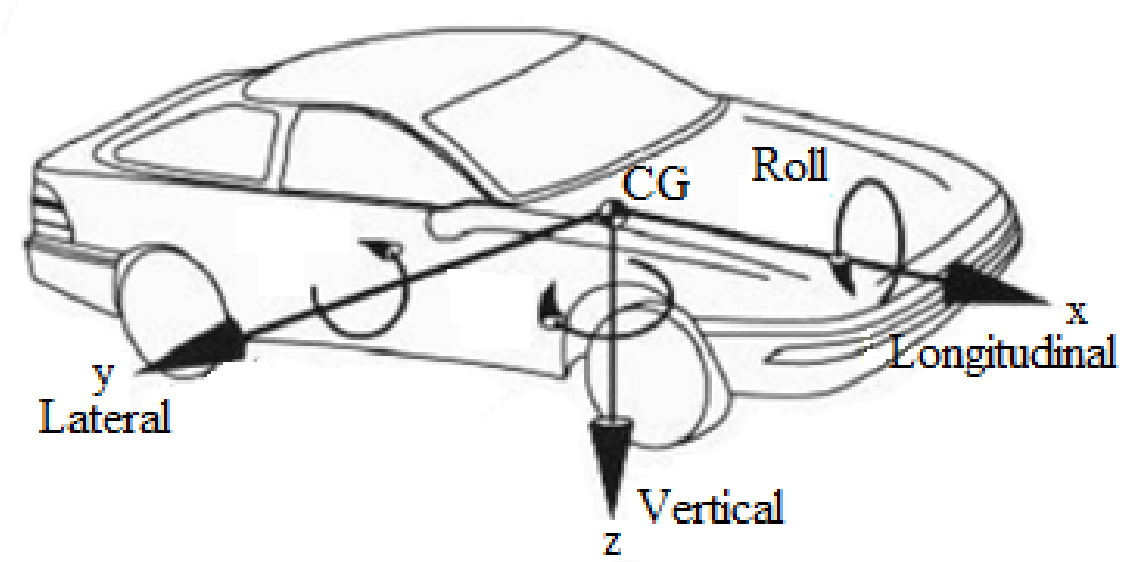


Şekil 1.2 Gemi ve Uçaktaki Hareket Eksenleri [2]

Son zamanlarda sensör teknolojilerinin de gelişmesiyle beraber bilgisayar bilimleriyle ilgilenen araştırmacılar sürüş konforuyla ilgilenmeye başlamıştır. Sürüş kalitesi bu konu ile dolaylı yoldan ilgilidir. Aracın kullanış biçimi seyir konforunu etkilemektedir [3]. Sürüş konforunu incelerken kullanılan birincil algılayıcı ivme ölçerdir. Bu algılayıcılar aracın şase, koltuk bölgelerine yerleştirilmek üzere bir araç içinde tasarlanmış bir entegre sistem ile çalıştığı gibi son zamanlarda mobil cihazlarda bulunan ivme ölçer sensörleriyle de yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda entegre sistemler daha hassas sonuçlar üretmektedir fakat birçok ölçeklenme problemiyle karşı karşıya kalmaktadır. Mobil cihazlar sayesinde araştırmalar birçok farklı sürücü ve araç tipiyle yapılabileceği için ölçeklenebilir bir sistem geliştirirelebilir.

Mobil cihaz ile yapılan akıllı ulaşım teknolojilerinde veri toplamak maliyetli bir süreçtir. Bu maliyeti azaltmak için mobil uygulamalarda kitle kaynaklı yaklaşım kullanılmaktadır. Kitle kaynaklı yaklaşım sayesinde uygulamayı kullananlar sisteme veri sağladığı gibi kendisi de o anda sistemin ürettiği çıktılardan yararlanabilmektedir. Google Maps ve Yandex [4] haritalama, navigasyon uygulamaları bu konunun en bilindik örnekleridir. Bu uygulamayı kullananlar hız, konum verilerini paylaşır. Sistem, bu bilgileri değerlendirerek kullanıcıya en kısa yol, çevresel mekan bilgisi, trafik durumu gibi çıktılar üretir ve kullanıcıya sunar.

Çalışmamızda kitle kaynak yaklaşımı kullanılmıştır. Bu sayede kullanıcılardan alınan seyir bilgileriyle bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinde mobil cihazlardan alınan ivme ölçer, jiroskop, GPS, ses verileri yer almaktadır. Toplanan veriler bir sunucuya aktarılarak yolculukların konfor durumları hakkında analizler çıkartılmış, skorlama mekanizması geliştirilmiş ve son olarak bu skoru kullanıcıya sunan bir mimari gerçeklenmiştir.



Şekil 1.3 Kara Araçlarındaki Hareket Eksenleri [5]

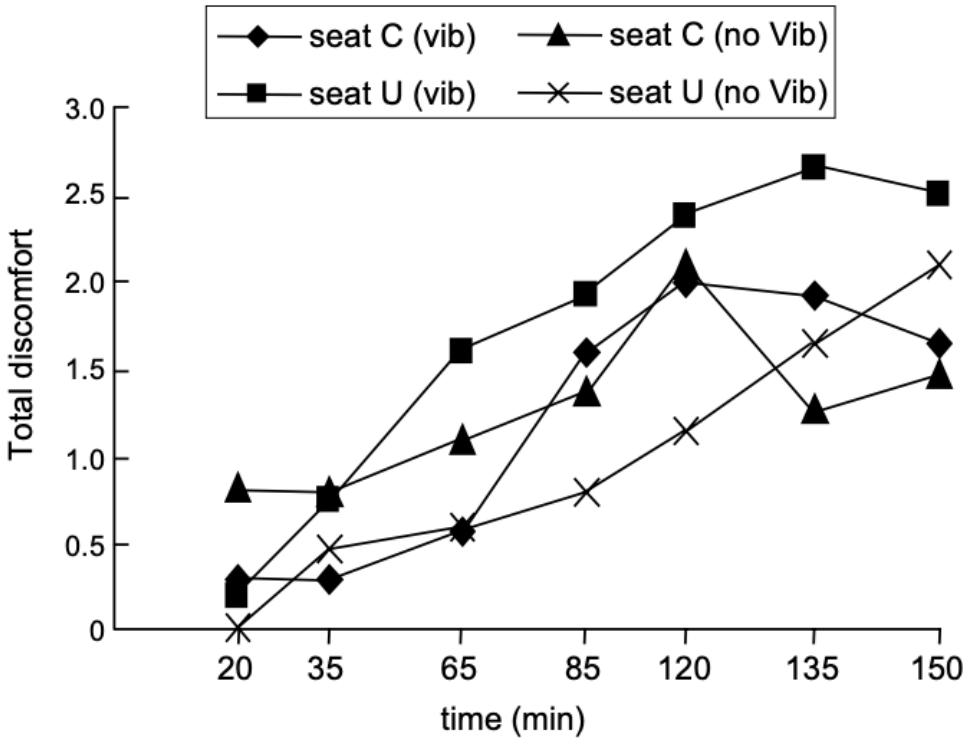
ISO 2631 standardizasyonu sürüş konforunu, hareketlenme sonucunda araç üzerinde oluşan mekanik titreşimlere karşı araç içindekilerin tepkisi olarak tanımlanmaktadır [6]. Sürüş konforu gerek icra edilen görevin kalitesini ölçmek, gerek sürüş aktivitesinin gerçekleşmesi için gereken en optimum enerjinin ölçülmesi adına gereklidir. Kişisel binek araçların dışında endüstriyel taşımacılık, toplu taşıma, turizm gibi alanlarda kullanılabilir. Temelde sürüş konforu değişken araç profillerine(otobüs, arazi aracı, tır vs.) göre yorumlanmaktadır. Bu sebeple sürüş konforunu objektif bir biçimde ölçmek için farklı ülkeler standartlar sunmuştur. Bu standartlar Tablo 1.1' de yer almaktadır.

Sürüş sırasında yorgunluğun sürücüye ve yolculara etkisini inceleyen birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Çeşitli sensörler ve platformlar kullanılarak araştırmalar gerçekleştirilmektedir. El Falou ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada [7] EMG sensörleri kullanılarak uzun mesafe yolculuklarda yorgunluğun nasıl gerçekleştiği analiz edilmiştir, bu incelemelerin farklı koşullarda gösterdiği değişkenlikler incelenmiştir. Her biri 150 dakika süren on bir adet sürüş deneyimi gerçekleşmiştir. Her bir deneyimde sürücünün omurga bölgesinde farklı noktalara yerleştirilen EMG sensörlerinden alınan bilgiler yorumlanmıştır. Bu deneylerde sürücüler farklı koltuk profillerinde sürüş deneyimlemiş ve dikkat dağıtıcı unsur olarak

Tablo 1.1 Sürüş Konforunu Ele Alan Standartlar

Standart Adı	**Standart Başlığı**	**Menşei**
ISO 2631-1	Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration	Evrensel
AAP	Average Absorbed Power	A.B.D
BS 6841	Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock	İngiltere
VDI 2057	Human Exposure To Mechanical Vibrations	Almanya

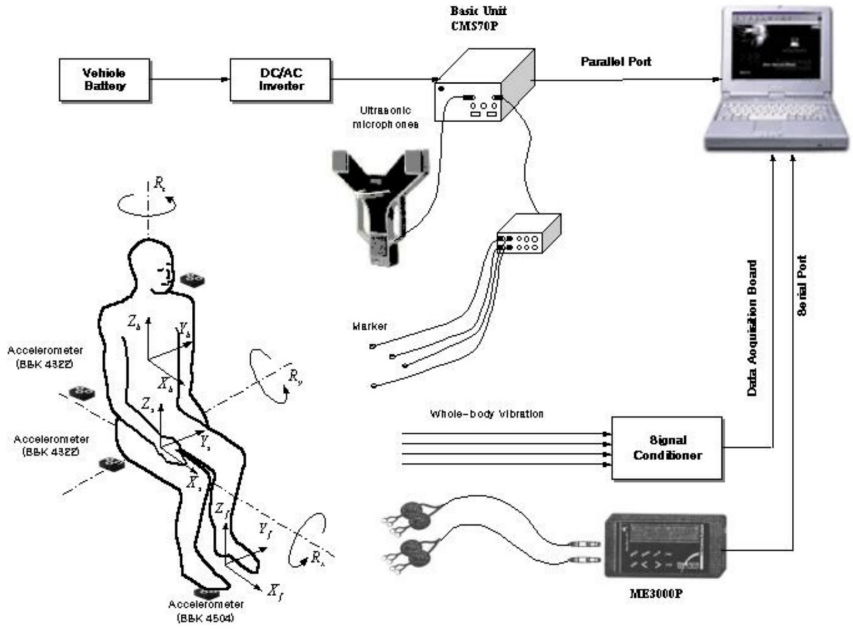
bazı deneyimlerde titreşim kullanılmıştır. Çalışmanın önemli bir sonucu olarak süresi artan yolculuklarda yorgunluğun herhangi bir parametreden bağımsız olarak arttığı Şekil 1.4'de görülmektedir.



Şekil 1.4 Yorgunluğun Süreyle İlişkisi [7]

Başka bir çalışmada ise sürüş kalitesinin yorgunluğa etkisini gözlemleyen bir sistem gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.5'deki gibi araç üzerinde enerjisini aracın aküsünden aldığı bir sensör platformu kurulmuştur [8]. Dört farklı konuma yerleştirilmiş ivme ölçer sensörleriyle aracın on iki eksendeki hareketlenme bilgisi toplanmıştır. Bu bilginin yanında EMG sensörleri yardımıyla oturan kişi üzerinde oluşan titreşimlerin kaslar üzerinde yarattığı etkiler ölçülmüştür. Yorgunluk belirtisi olarak kişilerdeki

kıpırdamaların oluştuğu görülmüştür. Bu kıpırdamaları incelemek amacıyla ultrasonik hareketlenme sensörü kullanılmıştır. Bu sensör platformu bir adet otomobil ve karavan tipi araca kurulmuştur. Bu sayede farklı araç tiplerinde yorgunluğun nasıl oluştuğu incelenmiştir.

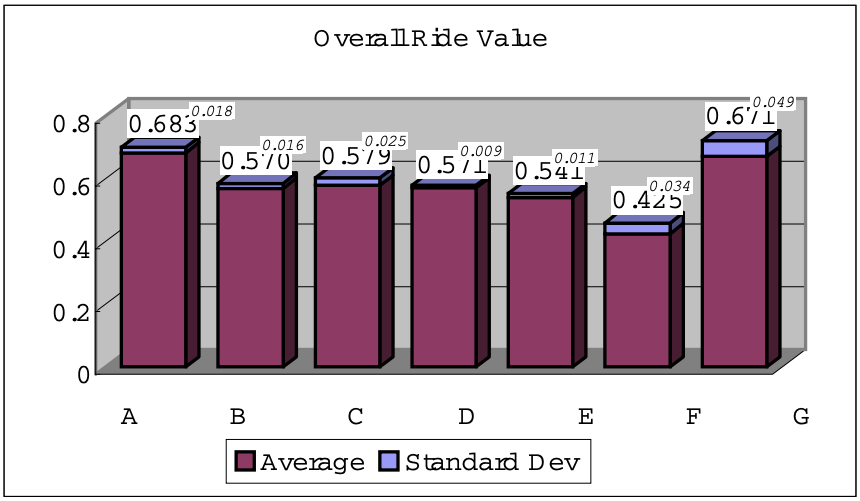


Şekil 1.5 Sürüş Konforunu Ele Alan bir Sensör Platformu [8]

Sürüş kalitesinin yorgunlukla olan ilişkisini farklı araç tiplerinde ortaya koymaktadır. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi sürüş kalitesi E sütununda belirtilen karavan ulaşım türünde G sütununda gösterilen otomobil türüne göre %31 daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bel bölgesindeki sensörlerden alınan veriler FFT yardımıyla frekans düzlemine dönüştürülmüştür. Dönüştürülen bu verilerin ortalamaları Şekil 1.4'deki gibi görsele döküldüğünde karavan tipindeki sürücüde oluşan değişimlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değişim bize karavan tipindeki sürücünün daha çok yorulduğunu belirtmektedir.

İvme ölçer verilerinin konfora etkisi frekans düzlemindeki özelliklerle de incelenmiştir [9]. Sürücü koltuğuna yerleştirilmiş 4 adet ivme ölçer sensöründen toplanan hareketlenme bilgilerinden Vibration Dose Value(VDV), Kurtosis, Frequency Response Function(FRF), Power Spectral Densities(PSD), Seat Effective Amplitude Transmissibility(SEAT) ve International Roughness Index(IRI) değerleri yorumlanmıştır. Bu özellikleri yol ve sürüş kalitesi hakkında objektif bilgiler vermektedir. VDV, insan tarafından belli bir süre boyunca alınan toplam titreşim miktarını gösterir. Eğer bu titreşimler belirli bir miktardan fazla olursa doku



Şekil 1.6 Karavan-Otomobil Sürüş Kalitesi İlişkisi [9]

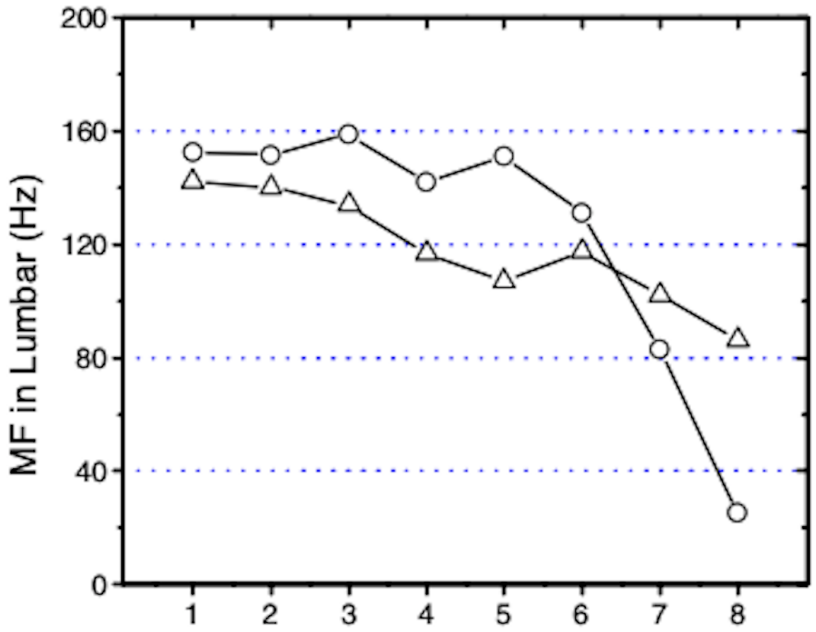
yaralanma riskini arttırır. IRI, yol kalitesi hakkında bilgilendirme yapar. Bu değerin kurtosis ve VDV ile ilişkisiyle yol kalitesinin yorgunluğa olan etkisi incelenebilmektedir. Kurtosis, zaman düzleminde verinin dağılımıyla ilgili bilgi verir. SEAT, titreşimlerin sürücü koltuğuna ne kadar iletildiği hakkında bilgi verir. Sürücü, yolcu koltuğunun yorgunluğa etkisi hakkında bu sayede çıkarımlar yapabilir.

İvme ölçer sensör bilgisi, frekans düzleminde de incelenmiş ve yorgunluğa etkisi bu düzlem dahil analiz edilmiştir. Şekil 1.8'de görüldüğü gibi yol tipi olarak otoyollar en az yorgunluk veren yol tipi olarak ortaya çıkmaktadır.

IRI değerlerine göre bir yolun rahatsız edici değeri en yüksek 9.75, en düşük 2.08 olarak hesaplanmıştır. Şekil 1.9'da görüldüğü gibi IRI değerine göre yüksek derecede rahatsız edici olan yollarda VDV ve kurtosis değerlerinin de orantılı olarak yüksek çıktığı görülmüştür. Bu sayede VDV ve kurtosis ile beraber yol kalitesinin yorgunluğa etkisi ölçülebilmektedir.

Bu özellik çıkarımları sayesinde yorgunluk, tamamen matematiksel temeller kullanılarak objektif bir biçimde değerlendirilmiştir.

ISO2631-1 standartına göre konfor seviyeleri Tablo 1.2' de oluşturulmuştur. Buradaki değerler referans alınarak Castellanos' un yaptığı çalışmada iki farklı teknik kullanılarak toplu taşıma araçları için konfor analizi yapılmıştır [10]. İvme ölçer, GPS, sıcaklık sensörleri, SD depolama modülü ve merkezi birimle haberleşmesi için Wi-Fi modülünün yer aldığı gömülü bir sistem tasarlanmıştır. Deneylerde toplanan sensör verileri SD hafıza kartına kayıt edilmektedir. Bu veriler üzerinde üç farklı teknik ile konfor analizi gerçekleştirilmiştir. Birinci teknik eşik tabanlıdır. Aracın seyri sırasında

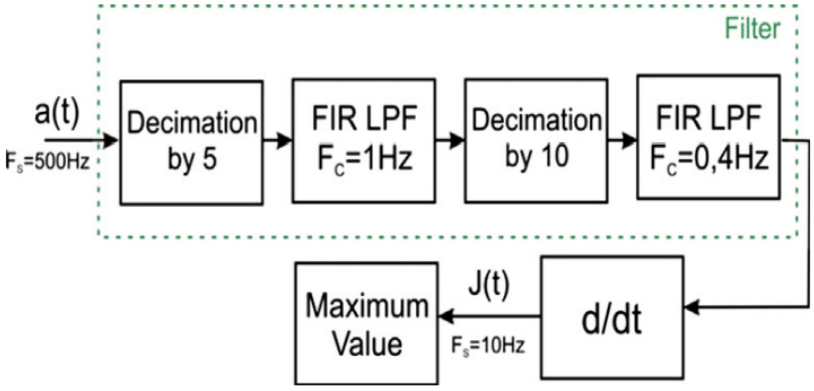


Şekil 1.7 Ulaşım Tiplerine göre Sürüş Yorgunluğunun Değişimi [8]

kullanıcıdan alınan geri dönüşlerle belirlenen eşik değerler sayesinde sürüş eylemleri tespit edilmiştir. Geri dönüşler için Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Şekil 1.8'de gösterilen ikinci teknik ISO2041 standardında yer alan zaman düzleminde hızlanma sonucu elde eldilen vektörün frekans düzleminde oluşturduğu eşik değerlerden sürüş eylemleri tespit edilmiştir. Ani olayların tespit edilmesi için Wavelet dönüşümü kullanılmıştır. Discrete Wavelet Transform(DWT) kullanılarak boylamsal hareketlenmeler(hızlanma, yavaşlama) tespit edilmektedir. Duraksama, durma olaylarının elemek için 0.3 cut-off frekansıyla alçak geçirgen filtre uygulanmıştır. Üçüncü ve referans için kullanılacak teknik ise ISO2631-1 standartında yer alan ağırlıklı Root Mean Square(RMS) yöntemine göre seyrin konfor seviyesi hakkında bilgi vermektedir. Bu işlem için Hızlı Fourier Dönüşümü yapılarak frekans düzlemine geçilir ve her bir saniye için RMS değeri hesaplanır. Tablo 1.2' deki aralığa göre seyrin konfor seviyesi belirlenir.

Tablo 1.2 ISO2631-1 Sürüş Konforu Skalası

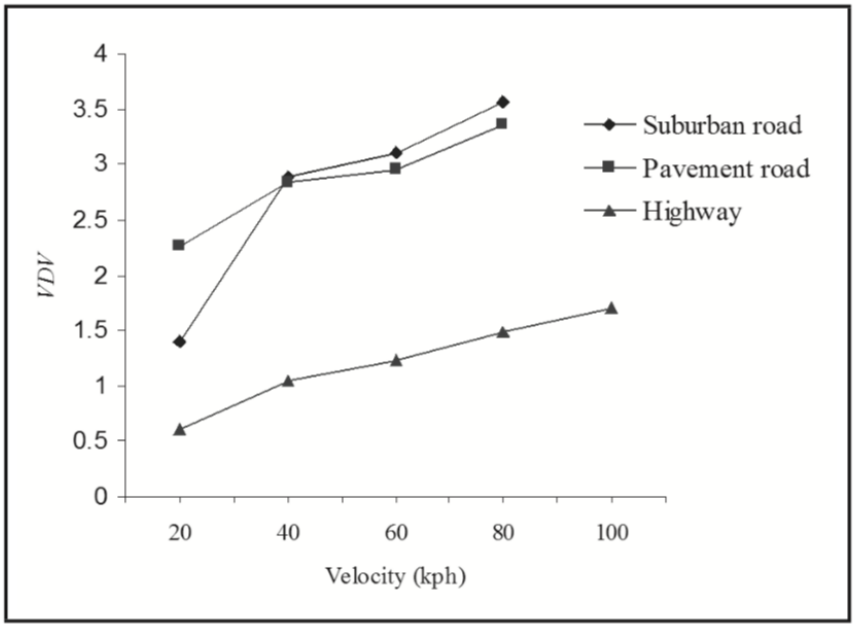
Konfor Seviyesi	**Mesafe (G)**	**Olay Açıklaması**
0	0.229' dan Fazla	Aşırı Rahatsız
1	0.145-0.229	Çok Rahatsız
2	0.092-0.145	Rahatsız
3	0.057-0.092	Oldukça Rahatsız
4	0.032-0.057	Az Rahatsız
5	0.032' den az	Rahat



Şekil 1.8 Frekans Düzlemini Kullanarak Sürüş Aktivitelerini Tespit Eden Bir Tasarım [10]

İkinci tekniğe göre 0.3Hz in altındaki bileşenler manevra olaylarını söyler(sağa, sola dönüş, şerit değiştirme gibi). Hızlanma ve yavaşlama olayları için 0.5Hz ve aşağısındaki bileşenler gözlemlenmektedir. Bu çalışmanın sonucunda birinci teknik, ani ivmelenmelerin fazla olduğu yerlerdeki yorgunluk unsurlarını tespit etmek için uygundur. İkinci teknik boylamsal durumlarda konforu bozan kaynakların tespiti için(otobüs yolculuğu için duraklar dışındaki dur-kalk olayları, şerit değişiklikleri) kullanılmıştır. Bu iki tekniği karşılaştırmak için ground truth olarak üçüncü teknik kullanılmıştır.

Eboli' nin çalışmasında [11] ise akıllı telefon, toplu taşımada konfor seviyesinin ölçülmesi ve yorumlanması için kullanılmaktadır. Bu çalışma toplu taşımada araçların konfor seviyesi objektif bir biçimde ölçülmüştür. Otobüse binen yolcular akıllı telefonlar ile 1Hz' lik örnekleme hızıyla sensör verilerini toplamıştır. Yolculuğun konfor seviyesi, sürüş kalitesi, yol kalitesi hakkında yapılan anket bilgileriyle ile subjektif sonuçlar oluşturulmuştur. Bu sonuçların sensör verileri sayesinde objektif bir biçimde de açıklaması yapılmıştır. Seyir sırasındaki sürüş aktiviteleri eşik yöntemiyle tespit edilmiştir. Fakat bu çalışmada herhangi bir alçak geçiren filtre kullanılmadığı için aracın durduğu/duraksadığı bölümlerde analize dahil edilmiştir. Çalışma üç eksende toplanan ivmeölçer verisinin kuvvetini yorumlayarak konfor seviyesi hakkında bilgilendirme yapmaktadır. Sonuçlara ve anket bilgilerine göre konfor seviyesinin, sürüş şekliyle doğrudan ilişkili olduğu ortaya çıkartılmıştır. Çalışma, 0.13 değerinden yüksek kuvvet ortalamasına sahip seyirleri yorucu ve bunun altındakilerini de konforlu bulmaktadır. Bu değerden üstüne çıkılan seyirlerde etken unsur olarak agresif boylamsal(hızlanma, yavaşlama) ve enlemsel(sağa-sola dönüşler, şerit değiştirmeler) sürüş aktivitelerin sebep olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1.9 Sürüş Yorgunluğunun Yol Türüyle İlişkisi [9]

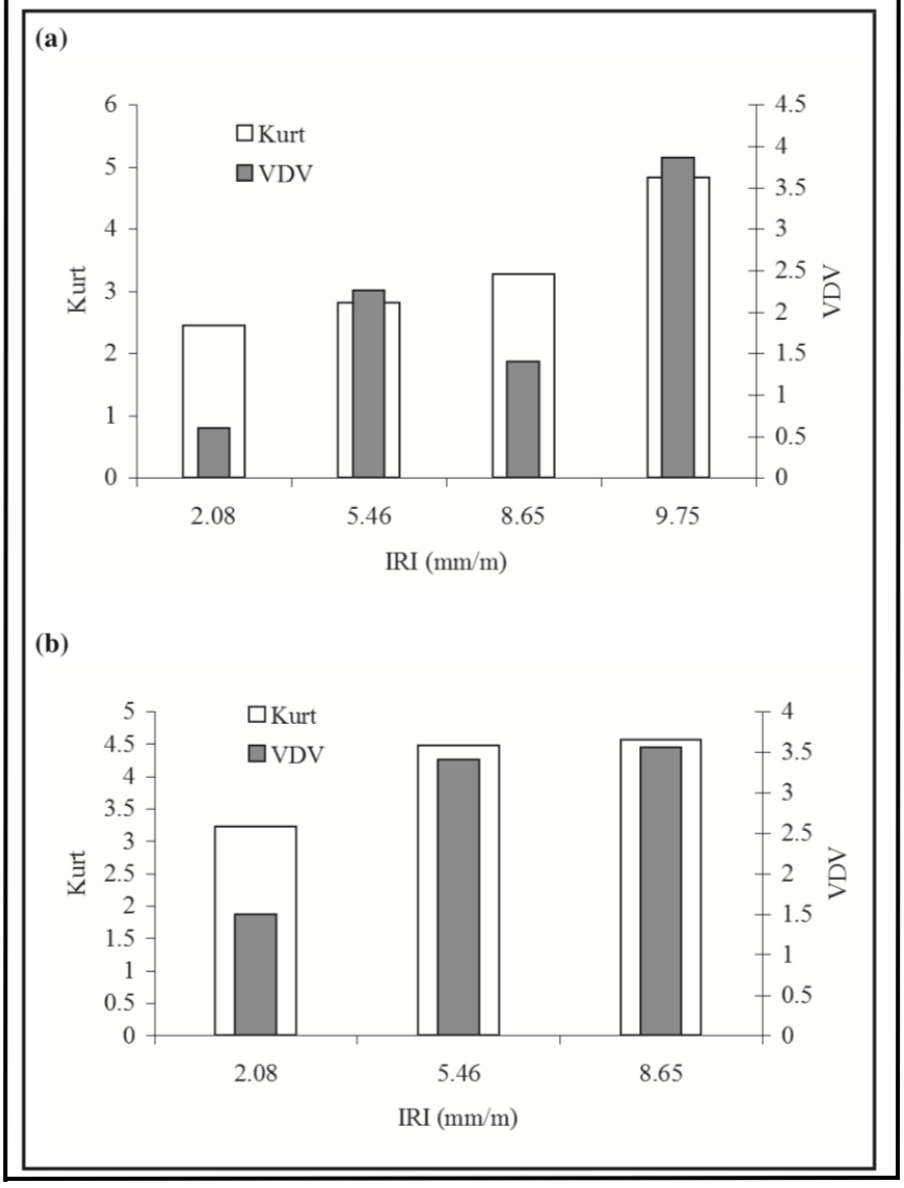
Sürüş konforu değerlendirilirken ortalama özelliğinin yanında standart sapma da kullanılmaktadır. Hoberbrock [12] ' un çalışmasında ortalama özelliği ile sürücünün yolda sarfettiği eforun ölçülemediği ve bu eforun konforla tam ilişkilendirilemediği belirtilmektedir. Bu özelliğin yanında standart sapma da kullanılmıştır.

Xu ve Yang' ın çalışmasında [13] sürüş eylemlerinin, konfora etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmaya göre sürüş sırasında yavaşlama veya frenleme olaylarının oluşturduğu kuvvet hızlanma olaylarına göre %50 daha şiddetli olduğunu belirtmektedir. Ayrıca çalışmada sürüş olayları incelenirken karakteristik yüzdeler, kümulatif frekans eğrisi ve RMS değerleri kullanılarak sürüş konforu hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Bu çalışma ayrıca ISO 2631 standartını genişleterek doğrusal, yanal ve dikey eksende gerçekleşen sürüş olaylarının oluşturduğu kuvvetlerin konfora ne kadar etki ettiğini Tablo 1.3' de göstermiştir. Çalışmamızda skorlama algoritmasını oluştururken sürüş etkinlikleri de dahil edilmiştir.

Sürüş etkinliklerinin oluşturduğu mekanik titreşimlerin dışında akustik gürültü, sıcaklık ve hava kalitesi de sürüş konforunu etkilemektedir. Elbanhawi çalışmasında yolcunun konforunu etkileyen unsurları Load Disturbance ve Road Disturbance olarak ikiye ayırmıştır [14]. Load Disturbance, hareketlenmeden ötürü oluşan kuvvetlerin ne kadar konforu etkilediğini söyler. Road Disturbance ise yol kalitesinin konfora etkisini açıklar. Çalışmamızda bu iki faktörün de konfora etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

ISO 2681 gibi sürüş konforunu indeksleyen standardın yanında bazı araştırmacılar

Road type	Velocity (km/h)				Average IRI
	20	40	60	80	
Highway	0.14	0.24	0.30	0.35	2.08
Pavement	0.5	0.65	0.71	0.8	5.46
Suburban	0.51	1.0	1.08	1.3	8.65
Bumpy	0.78	-	-	-	9.75



Şekil 1.10 İstatistiksel Değerlerin Sürüş Konforunda Ayırt Ediciliği [9]

Tablo 1.3 Eksen bazında Sürüş Aktivitelerinin G bazında Oluşturduğu Kuvvetler [13]

Eksen Bazında Sürüş Aktivitesi	Konforlu	Nispeten Konforlu	Nispeten Konforsuz	Konforsuz
Hızlanma	0 G-0.9 G	0.9 G-1.2 G	-	1.2 G +
Yavaşlama	0 G-1.3 G	1.3 G-2.5 G	-	2.5 G +
Yanal	0 G-1.8 G	1.8 G-3.6 G	-	3.6-5 G
Dikey	0 G - 0.315 G	0.315 G - 0.63 G	0.63 G - 1.25 G	1.25 G +

bu standardın bazı özel durumlarda yetersiz kaldığını iddia ederek kendi sürüş konforu indekslerini oluşturmuştur. Enders ve Burkhard çalışmasında [15] bugüne kadar sürüş konforunu indeksleyen çalışmaları derlemiş ve bunların içerisinde en başarılı sonucu üreten ISO 2631' i sürüş konforu çalışmalarında mutlaka kullanılması gerektiğini deneysel verilerle ispat etmiştir. Ayrıca bu çalışmada konforlu bir sürüşün bu indekslerle tanımlandığını fakat konforsuz bir sürüşü tanımlayan herhangi bir çalışma olmadığını da belirtmektedir. Bu çalışmanın ışığında kendi sürüş verilerimizde ISO 2681' e göre sürüş verilerimizi hesaplayarak sürüş konforunu indeksledik.

Yapılan bir çalışmada ise farklı hızlarda sabit giden araçların hızları yükseldikçe yolcuları etkileyen ortalama kuvvetin ISO 2631 standardındaki formülasyona göre daha çok arttığı Tablo 1.4' de olduğu gibi gözlemlenmiştir [16].

Tablo 1.4 Sabit Hızda Giden Araçların Yüksek Hızlarda Daha Çok Kuvvet Oluşturması [16]

Yol	Araç Hızı (m/s)	Ortalama Kuvvet (G)
A	10	0.041
	20	0.058
	30	0.062
B	10	0.107
	20	0.134
	30	0.187
C	10	0.208
	20	0.323
	30	0.361

Bazı çalışmalarda [17, 18] yapay sinir ağları kullanılarak sürüş konforu değerlendirilmiştir. Bir çalışmada [17] hareketlenme bilgisinin yanında kişinin farklı anatomik özellikleri de dahil edilerek bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinde ISO 2631' deki indeksler etiket bilgisi olarak kullanılmıştır. Bu veriseti bir yapay sinir ağında eğitilerek yaklaşık %95 başarım elde edilerek sürüş konforu değerlendirilmiştir.

Veri ön işleme aşaması için bir çalışmada hareketlenme verisi toplanırken telefondan

doğan donanımsal gürültülerin ve aracın durağan halde oluşturduğu mekanik titreşimlerin elenmesi için Ortalama filtre kullanılmıştır [19].

1.2 Tezin Amacı

Bu projede yapılan seyirlerin konfor düzeyini rakamsal olarak belirleyen, objektif ve ölçülebilir yeni bir skorlama yaklaşımı ortaya atılması ve bu yaklaşımı gerçekleyen bir sistem mimarisinin kurulması hedeflenmektedir. Bunu gerçekleştirmek için aracın hareket bilgisinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu sayede farklı ulaşım tipindeki araçlarda önerilen yeni skorlama yönteminin kullanılabilmesi beklenmektedir. Çalışma kapsamında *araba, tramvay, otobüs, metro, tren, metrobüs, vapur, minibüs, uçak* olmak üzere dokuz farklı ulaşım aracından veriler kullanılmıştır. Seyir konforunun farklı ulaşım tiplerinde nasıl etkilendiğinin ortaya çıkartılması beklenmektedir. Veri toplaması için literatürdeki sürüş konforu çalışmalarından farklı olarak kitle kaynaklı yaklaşım kullanılmıştır. Bu sayede kısa sürede bir ulaşım konforu veri setinin oluşturulması ve çoklu katılım ile rotaların anlık konfor düzeyinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu veri seti kullanılarak aşağıdaki dört ana başlıkta seyir konforunun incelenmesi hedeflenmektedir.

- Ulaşım tiplerinin seyir konforuna etkisi
- Sürüş aktivitelerinin seyir konforuna etkisi
- Yol kalitesinin seyir konforuna etkisi
- Hız bilgisinin seyir konforuna etkisi

Araçtaki hareket bilgisini en az maliyetle elde etmek için akıllı telefonların üzerindeki *ivmeölçer, jiroskop ve GPS* sensörlerinin kullanılmış ve örnekleme frekansı 100Hz olacak şekilde veriler toplanmıştır. Ön işleme olarak düşük hesaplama maliyetine sahip ortalama kayan pencere kullanılarak sensörlerin oluşturduğu gürültü değerleri temizlenmektedir.

Seyir konforunun detaylı incelenmesi adına sürüş aktivitelerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sebeple toplanan verilerden *hızlanma, yavaşlama, sabit hızla gidiş, sağa dönüş, sola dönüş, durma* olmak üzere altı farklı sürüş aktivitesi tespit edilmesi beklenmektedir. Bunu gerçekleştirmek için eşik tabanlı yöntem kullanılmıştır. Ortaya sunulacak yeni skorlama yaklaşımında sürüş aktivitelerinin yolculuk sırasında gerçekleştiği süreler değerlendirilmiştir. Sürüş boyunca araca üç eksende etki eden kuvvetlerin ortalamaları toplanarak, bir seyirde yolculara etki eden toplam

kuvvet elde edilmektedir. Seyir sırasında gerçekleşen sürüş aktivitelerinin sürelerinin de hesaplanması gereklidir. Bu süreler önceki çalışmalarda belirlenmiş konforlu sürüş aktivitesi katsayılarıyla çarpılarak ideal şartlardaki toplam kuvvet değeri elde edilmektedir. Bu sayede gerçekleşen seyrin, idealden ne kadar uzaklaştığını belirten bir konfor skoru oluşturulmaktadır.

Konfor skoruna göre seyirlerin harita üzerinde gösterilmesi amaçlanmaktadır. Burada yapılacak görselleştirme aynı rotada gerçekleşen seyirlerde yolun hangi bölgelerinin konforu bozduğu ortaya çıkartılarak, yol kalitesinin etkisi incelenmektedir. Ayrıca haritalama uygulaması ve skorlama yaklaşımı ile kullanıcılara başlangıç ve bitiş noktaları arasında en konforlu yolu öneren bir çalışmanın altyapısı hazırlanmaktadır.

Öte yandan kişilerin ulaşım konforu hakkındaki düşüncelerini öğrenmek için bir anket düzenlenmiştir. Gerçekleştirilen anket çalışması sayesinde kişilerin ulaşım türleri, konforu etkileyen parametreler hakkındaki görüşleri alınmış ve sonuçlar tezin çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede sistemin tutarlılığı ve yanlış algılar ortaya konmuştur.

Katılımcılara aşağıda belirtilen toplam 5 adet soru sorulmuştur.

- *Ne sıklıkla toplu taşıma aracı kullanırsınız ?*
- *Yolcu olarak gerçekleştirdiğiniz seyahatlerde kullandığınız ulaşım araçlarını 1-5 arasında puanlayabilir misiniz? (az konforlu = 1, çok konforlu = 5)*
- *Yolcu olarak gerçekleştirdiğiniz seyahatlerde kullandığınız ulaşım sırasında aşağıdaki etkenlerin yoruculuğa etkisini 1-5 arasında puanlayabilir misiniz? (az yorucu = 1, çok yorucu = 5)*
- *Yolcu olarak gerçekleştirdiğiniz seyahatlerde kullandığınız otobüs, metrobüs gibi uzun tipte ulaşım araçlarında aşağıdaki yorgunluğa etki eden parametreleri 1-5 arasında puanlayabilir misiniz? (az yorucu = 1, çok yorucu = 5)*
- *Ulaşım sırasında aşağıdaki sürüş aktivitelerinin yorgunluğuna etkisini 1-5 arasında puanlayabilir misiniz? (az yorucu = 1, çok yorucu = 5)*

1.3 Hipotez

Bu projede hipotezler sunlardır:

- Ulaşım sırasında yolcunun konforu düzeyi objektif ve ölçülebilir bir şekilde ortaya sunulabilir

- Ulaşım türlerinin konfor düzeyleri karşılaştırmalı ve sayısal olarak ortaya konabilir
- Ulaşım konforuna etki eden faktörlerin etki düzeyleri tespit edilebilir
- Kitle kaynak yöntemi sayesinde birçok araç tipinden düşük maliyetle ve kısa sürede ulaşım konfor seviyesi bilgisi toplanarak konforlu/konforsuz rotalar belirlenip en konforlu rota hesabı yapacak sistemin altyapısı oluşturulabilir

Makalenin 2. bölümünde ulaşım konforu, seyir sırasında konforu etkileyen faktörler ve araçların çeşitlerine göre hareket etme prensipleri anlatılmıştır. 3. bölümde ise ulaşım konforunun değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan veri seti anlatılmış, bu veri seti için yapmış olduğumuz hazırlık, ön işleme ve özellik çıkarımı süreçleri anlatılmıştır. 4. bölümde ise ulaşım konforunu subjektiflikten uzak, ölçülebilir bir şekilde değerlendiren skorlama yaklaşımı ve bu yaklaşımı uygulayan sistem mimarisi ortaya sunulmuştur. 5. bölümde elde edilen sonuçlar sunulmuştur ve 6.bölümde bu sonuçlar değerlendirilmiştir ve tartışılmıştır.

2
Ulaşım Konforu

Bu bölümde ulaşım sırasındaki konfor durumu ve bu duruma bağlı olan dinamikler anlatılmıştır.

2.1 Ulaşım Konforu ve Etkileyen Faktörler

Ulaşım konforu, yolcuların toplu taşımadaki memnuniyetini etkileyen en önemli kriterlerden biri olarak tanımlanmış [20], konforun yolcular ve sürücüler için önemli bir unsur olduğu gösterilmiştir. Yolculuk, taşımacılık alanında işlevsel olan belediyeler, havayolu, karayolu şirketleri ve otomotiv endüstrisi ulaşım konforu alanında bu yüzden ilgilenmektedir. Ayrıca akademik alanda da ulaşım konforuyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Akademik olarak ulaşım konforu çalışmaları daha çok ulaşım aracının hareket kabiliyetini analiz eden ve yolculuk sırasında konforu bozan durumları inceler ve buna yönelik tedbirleri belirtir.

Ulaşım konforunu değerlendirmesinde referans alınan başlıca bilgi, seyir sırasındaki yolcuların deneyimleridir [21]. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmalarda yolculardan alınan geri beslemelerle yolculuğun ne kadar konforlu geçtiği hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Fakat bu değerlendirmeler herhangi bir yolcuya bağlı olduğu için oldukça subjektiftir. Bu yüzden hem akademik hem de endüstride ulaşım konforunu objektif olarak değerlendiren çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

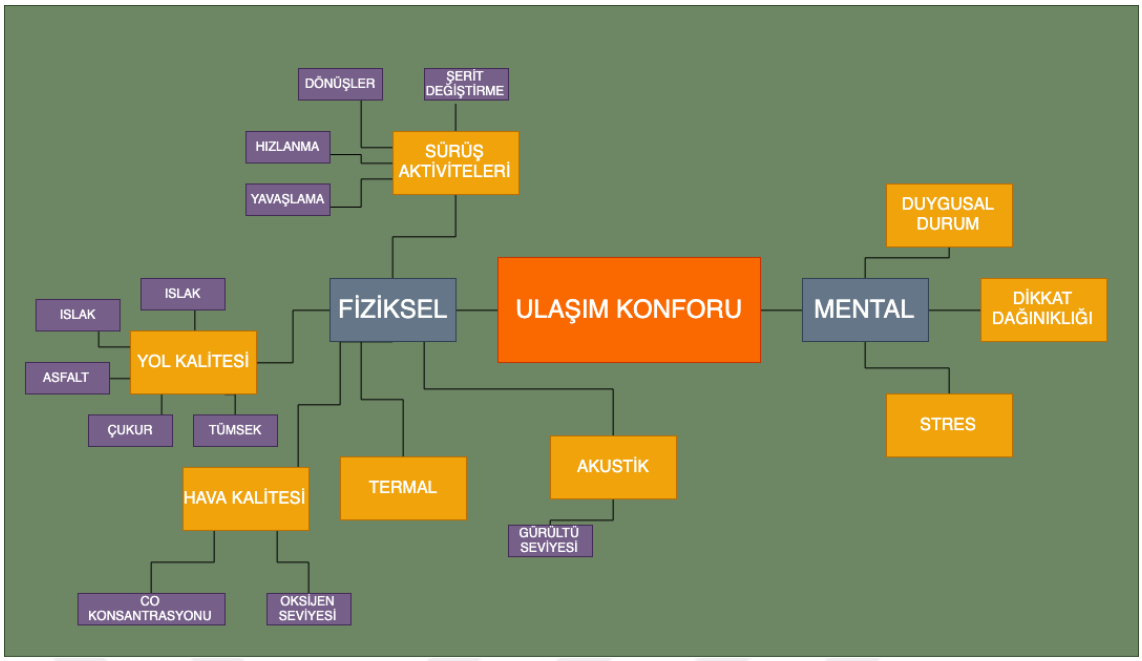
Bir ulaşımın ne kadar konforlu olduğunu söylemek için yolculuk sırasında konforu bozan durumları tespit etmek ve tanımlamak gereklidir [8]. Konforlu bir yolculuk, yolcunun ve sürücünün araçta olabildiğince az enerji harcamasıdır. Cisimler, Newton'un üçüncü yasası olan eylemsizlik prensibi gereği o anda bulunduğu hareketi korumaya yönelimlidir. Araç içerisinde yolcular, ani hızlanmalar, manevralar ve diğer sürüş etkinliklerinden ötürü kısa veya uzun sürede kuvvetlerin etkisi altında kalmakta ve eylemsizlik prensibi gereği bu kuvvetlere karşı kuvvet oluşturmaktadır. Oluşan bu kuvvetler sırasında kaslarda enerji tüketimi söz konusudur. Bu enerji,

ani bir sarsılmada oluşan şiddetli bir harekete karşı oluşabileceği gibi yolculuğun başından sonuna kadar ama daha düşük şiddette karşı da oluşabilmektedir. Bu sebeple bazı çalışmalarda yolculuk sırasında EMG sensörleri de işin içine katılarak aracın hareketlenmesi ve kasların kasılması ölçülmüş, ulaşım konforu hakkında çıkarımlar yapılmıştır [22, 23].

Bir denge noktası etrafındaki mekanik salınıma titreşim denilmektedir [24]. Sürücüleri ve yolcular, aracın hareketlenmesinden ve yol yüzeyinden ötürü doğrudan mekanik titreşimlere maruz kalırlar. Bu titreşimlerin bir kısmı aracın tekerlek, diferansiyel, amortisör, şase ve koltuk parçaları tarafından emilir. Titreşimin şiddetine göre bu ekipmanların yetersiz kaldığı, araçtaki kişilerin hissettiği mekanik titreşimler oldukça oluşabilmektedir. Kas sistemi belirli bir noktaya kadar bu titreşimlere karşı enerji harcar. Enerjinin azalması sonucu kramp, uyuşukluk gibi yorgunluk belirtileri ortaya çıkar [25]. Bu belirtiler sürüş konforunu doğrudan tehlikeye sokmaktadır. Oluşan bu titreşimlerin emilmesine yönelik ergonomik olarak yolcu koltukları üzerine araştırmalar yapılmaktadır [26]. Bu çalışmalar daha çok yolcunun anatomik durumu göz önüne alınarak hareketlenme sırasında oluşan kuvvetlerin yoğunlukla hangi kas gruplarının çalışmasıyla emildiğini inceler ve aracın, ulaşımın tipine göre yolcu koltuğunun tasarımı hakkında bilgiler verir.

Konforu etkileyen durumları tespit etmek için aracın hareketlenmesi ve buna bağlı oluşan mekanik titreşimleri sürüş ile ilişkilendirmek gereklidir. Bu ilişki fizikseldir, tamamen hareket prensiplerine bağlı olarak oluşur. Buradaki etken durumlar sürüş aktiviteleri ve yol kalitesidir. Bunların dışında Şekil 2.1'de görüldüğü gibi akustik, termal, hava kalitesi gibi etmenler de ulaşım konforunu etkileyen fiziksel unsurların içine girmektedir.

Yol yüzeyi, sürüş biçiminden ötürü araç üzerinde oluşan kuvvetlerin yolcuları ne kadar etkilediğiyle orantılıdır. Konforu etkileyen başlıca unsur ivmelenmedir. Hareket eksenine bağlı olarak konfor farklı şekilde değişebilmektedir. Boylamsal eksendeki hız değişimi konforu etkilediği gibi, yanal eksende manevraların yapılış karakteristiği etkilemektedir. Bunların yanında dikey eksenden gelen ivmelenmeyi yol kalitesi etkilemektedir. Yol kalitesi, konforu etkileyen ana unsurlardan bir tanesidir. Konforu incelemek için taşıtın etkileşimde bulunduğu ortamların iyi incelenmesi gereklidir. Bu faktörlerin başında yolun kendisi gelmektedir. Sürüş kontrolü doğrudan gidilen yolun türüne ve bakımına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Sürüş aktivitesinden bağımsız araçlar her zaman zemin ile temas halinde bulunduğu için seyahat boyunca sürekli bir mekanik titreşimin etkisi altındadır. Bu titreşimler konfor deneyimini etkilemektedir. Yol kalitesi dışında sıcaklık, hava kalitesi, ses-gürültü gibi fiziksel şartlar sürüş konfor deneyimini etkileyebilmektedir.



Şekil 2.1 Ulaşımda Konforu Etkileyen Faktörler

Konfor durumu fiziksel olarak bozulduğu gibi psikolojik etmenlerden ötürü de değişebilmektedir. Psikolojik durumlar nispeten daha az ölçülebilen ve konforu etkileyen bir parametredir. Kişinin ruh sağlığı, stres seviyesi yolculuk sırasındaki konforunu etkileyebilmektedir. Bu tez çalışmasında sadece fiziksel unsurların etkisi incelenmiştir.

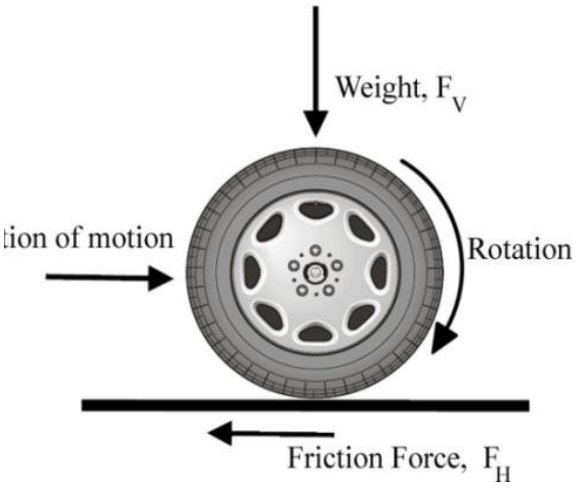
2.1.1 Yol Kalitesi

Hareketin gerçekleşmesi için tekerleklerin üzerinde bulunduğu zemine tutunması gereklidir. Hareket, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi tekerlek ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvvetini ekarte ederek gerçekleşir.

Ayrıca hareketlenme esnasında aracın ağırlığından ötürü yüzeye dik olacak şekilde kuvvetler yoldan araca doğru oluşmaktadır.

Yolun kalitesine bağlı olarak bu kuvvetler oluşmaktadır. Yolun kalitesini başlıca yolun tipi belirlemektedir. Farklı tipte yollar trafikte mevcuttur. Bahsedilen çalışmada [9] farklı yol tiplerinin sürüş konforuna etkisi araştırılmıştır.

Araçlar, yol üzeride zamanla deformasyon oluşturmaya başlar. Bu deformasyonların belirtileri yol üzerindeki çukurlardır. Çukurlar sürüş konforunu bozan başlıca etmenlerdir. Çukurlardan ötürü oluşan kuvvetlerin büyük çoğunluğu tekerlek sistemindeki Şekil 2.3'de görülen süspansiyon aksanı tarafından emilir. Kalan kuvvetler ise doğrudan araç içindeki yolculara/sürücüye etki eder.



Şekil 2.2 Araç Tekerleği Üzerinde Oluşan Kuvvetler

Bu çukurların tespit edilmesi sürüş konforunu sağlamak için önemlidir. Bu çukurlar kolay bir şekilde tespit edilmektedir. Görüntü işleme tekniği [27] veya hareket sensörleri [28] kullanılarak yoldaki çukurlar tespit edilmektedir.

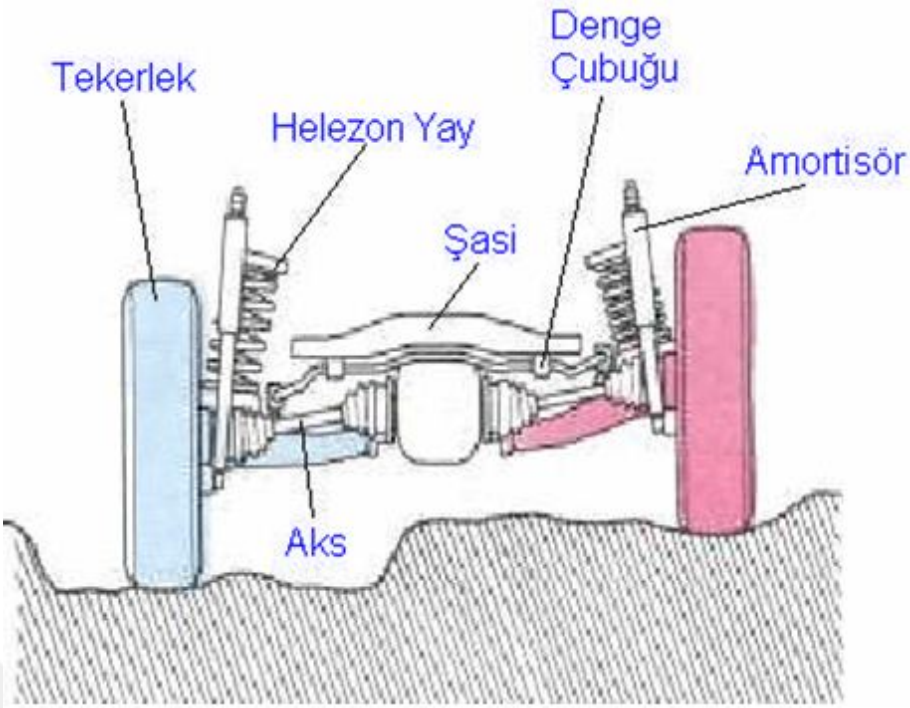
2.1.2 Sürüş Kalitesi

Sürüş kalitesi, ulaşım konforu gibi subjektif bir inceleme konusudur. Konforu etkileyen en önemli faktördür [29]. Çünkü taşıtın yoldaki hareketi, aracın ve yolun tipinden bağımsız olacak şekilde bu alanın altında incelenmektedir.

Sürücü faktörü ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar sürüş eyleminin karakteristiğini objektif bir biçimde belirlemeye yöneliktir. Bunun için sürüş eylemini izlemek gereklidir [30]. Hız, ivmelenme ve konum; Sürüş eylemini izlemek için herhangi bir kişiden bağımsız ölçüm verileridir [31]. Bu veriler kullanılarak sürüş kalitesi objektif bir biçimde değerlendirilmektedir.

Sürüş kalitesini değerlendirme işi, sensör sistemlerini ve sistem mimarisi göz önünde tutulduğunda oldukça maliyetlidir. Fakat teknolojik gelişmelerle beraber hareket sensörleri artık akıllı telefonlarda kullanılmaktadır. Tablo 2.1' de görüldüğü gibi mobil cihazlar kullanılarak sürüş kalitesini değerlendiren sistemler mevcuttur. Bu uygulamalarla akıllı araç teknolojileriyle ilgili araştırmaların mobil cihazlarla yapılabilirliği ortaya çıkmıştır. Ulaşım konforu perspektifinde ise mobil cihaz kullanılarak ulaşımda konforu değerlendiren çalışmalar mevcuttur [18, 32]. Fakat bu konuda sistem mimarisi gerçekleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

Sürüş kalitesi, aracın hareketi ve kontrolleriyle ölçülmektedir. Bu hareket doğrudan aracı süren kişiyle ilişkilidir. Sürücüler araç üzerinde hızlanma, yavaşlama, dönüşler,



Şekil 2.3 Araçlardaki Süspansiyon Sistemi

Tablo 2.1 Sürüş Kalitesini Değerlendiren, Akıllı Telefonlarla Yapılmış Çalışmalar [33]

Referans	GPS	İvmeölçer	Magnetometre	Jiroskop
[30, 34]	X	X		
[35]	-	X		X
[36]	X	X	X	
[37]	X	X		X
[38]	X	X		
[39]	X	X		X
[40]	-	X	X	X

ani fren, vites değiştirme gibi bağlam bilgileriyle aracın hareketini yönetir. Sürüş alışkanlığı kişilere bağlı olarak geliştiği ve tanımlandığı bilinmektedir [41]. Bu yüzden yüksek seyir konforunun sağlanması için sürücünün nasıl bir disiplinde aracı kullandığı sorusunun cevabı aranmalıdır.

Yapılan araştırmalarda [42] sürücünün yaptığı agresif davranışlar sürüş kalitesini düşürmektedir. Bu davranışlara örnek olarak ani hızlanma-yavaşlama, sık şerit değiştirme hareketleri verilebilir. Agresif davranışların çıkarımı sürüş kalitesini ölçmek için kullanılan başlıca yaklaşımlardan biridir.

Diğer bir yaklaşım ise karakteristik sürüş profilini ortaya çıkartmadır. Bu tipteki çalışmalar [43] sürüş şeklinin özel olarak bir sürücüye ait olduğunu söyler. Bu tür çalışmalar agresif davranışların aksine sürüş kalitesi bilgisini sürücünün kendisiyle bağdaştırarak daha disiplinli araç kullanımı sağlar.

Sürüş kalitesinin sağlanması sürüş güvenliğinin yanında yakıt tüketimi ve sürüş konforuna da katkı sağlamaktadır. Bu yüzden sürüş kalitesi araştırmacıların ve endüstrinin akıllı araç sistemleri alanında üzerinde çalıştığı başlıca çalışma alanlardan biridir.

2.1.3 Çevresel Faktörler

Araç hareket halindeyken sürekli olarak etrafındaki dinamik veya statik nesnelerle etkileşim halindedir. Bu nesnelerin ne olduğu ve araca etkisi nesnenin şeklinden, tipinden ve durumundan bağımsız ele alınmalıdır. Sıcaklık, nem, ışık miktarı, hava durumu, gürültü gibi etmenler başlıca çevresel faktörlerdir.

Sıcaklık, kas aktivitelerini etkileyen bir unsurdur. Soğuk havalarda vücut ısı üretmek için daha çok kaslarını kullanır ve enerji tüketir. Sıcak havalarda bu durumun tam tersi söz konusudur. Yolculuk sırasında araç içindeki sıcaklık ulaşım konforunu bu yüzden etkilemektedir.

Çok sesli bir ortam içerisinde konforu düşüren sesler gürültü olarak adlandırılmaktadır. Konforu bozan fiziksel bir unsur olarak değerlendirildiği gibi psikolojik tarafı da bulunmaktadır. Bu sebeple fizyoakustik bir unsurdur. Sürüş sırasında araçta ortaya çıkan sesler sebebiyle sürücünün konsantrasyonunu bozabildiği gibi ulaşım araçlarında yolcuları rahatsız ettiği için ulaşım konforunu düşüren bir etmendir.

Aracın içerisindeki akustik faktörü tamamen ortadan kaldırmak tercih edilmeyen bir durumdur. Bu durum sürüş konforu açısından olumlu bir katkı sağlayabilmekteyken

sürücü için özellikle motor kısmından gelen belli başlı sesler(motorun çalıştırılması, vites değişikliği, devir sesi gibi.) sürüş deneyimi için sıklıkla tercih edilmektedir. Sürüş konforu ve deneyimi arasındaki bu dengeyi kurmak için araçlarda NVH analizi yapılmaktadır [44] .

Belirli bir bölgede ölçülen anlık basınç ve atmosferik basınç arasında kalan farka Denklem 2.1' de gösterildiği gibi ses basıncı denilir. Fiziksel olarak sesin etkisi bu Denklem 2.1 ile ölçülebilmektedir.

$$p_{rms}^2 = \frac{1}{T}\int_n^0 p^2 dt \tag{2.1}$$

Fakat evrendeki bütün sesler insan kulağının algılayamayacağı seviyededir. İnsan kulağı 20Hz ile 20kHZ aralığındaki sesleri işitebilmektedir [45]. Bu sebeple Denklem 2.1' de yapılacak logaritmik işlem ile Denklem 2.2' de görüldüğü gibi günümüzde kullanılan ses şiddetine(db) indirgenmektedir.

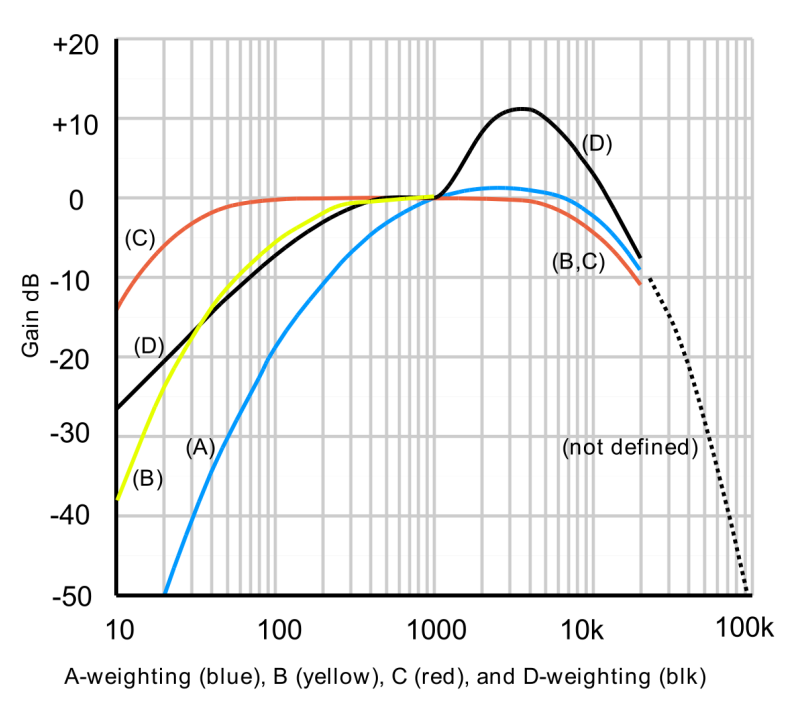
$$SPL(dB) = 10\log_{10}\frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20\log_{10}\frac{p}{p_{ref}} \tag{2.2}$$

Akustik gürültü aslında dinleyen kişiye bağlı olarak değişir, sübjektif bir değerdir. Objektif bir biçimde değerlendirmek için kıyaslayacak başka bir ses değeri gereklidir. Bu karşılaştırma için Denklem 2.3 kullanılmaktadır. Denklemin sonucunda 1kHZ tondaki bir sesin şiddeti 40 dB olarak hesaplanmaktadır. Bu değere *loudness* adı verilmektedir.

$$loudness = \frac{[(\frac{SPL-40}{10}) * log2]}{\log 10} \tag{2.3}$$

Araçlarda motor üzerinden, tekerleklerden ve rüzgardan ötürü gürültüler oluşmaktadır. Bu seslerin gürültü analizi yapılması için IEC 61672:2003 [46] standardı olan ses basınç seviyesi kullanılmaktadır. Burada frekans ağırlıklandırılması kullanılmaktadır. Bu ağırlıklandırma 'A', 'B', 'C' ve 'Z' ağırlıklandırma olacak biçimde Şekil 2.4'deki eğrilerde görüldüğü gibi üç farklı şekilde yapılmaktadır. Bu aralıktaki frekans ağırlıklandırma işlemi için A-ağırlıklandırma kullanılmaktadır. A-ağırlıklandırma, insan kulağının gürültüye olan tepkisini yansıtmak için tasarlanmıştır [47].

Araçların çıkarttığı gürültü motor gücüne göre değerlendirilmektedir.



Şekil 2.4 Ağırlıklandırılmış Ses Şiddeti Eğrileri

A-ağırlıklandırma filtresine göre elde edilen ses basınç seviyeleri motorlu taşıtlar için Avrupa birliği gürültü yönetmeliğine göre(END) sınırlamalar şehir içi şartlarında ve personel taşıyan araçlar için 72-75 dB(A) seviyesinde bulunmalıdır [48]. Bu değerlerin üstünde gürültü üreten araçlar periyodik muayenelerden geçememekte, yasal yükümlülüklere bağlı olmaktadır.

2.2 Ulaşım Tipleri

İnsanlar, maliyetleri ve zamanı yönetebilme adına gideceği nokta için farklı ulaşım tiplerini tercih etmektedir. Bu tiplerin kendi içlerinde farklı hareketlenme karakteristikleri mevcuttur. Araçların farklı ağırlıkta olması ve aracın bir noktadan başka bir noktaya gitmesi için kullanılan prensip bu karakteristiği oluşturmaktadır. Bu çalışmada otobüs, tramvay, metrobüs, tren ve vapur ulaşım tipleri seyahat konforu kapsamında incelenmiştir.

2.2.1 Kara Araçları

Bu kısımda ulaşım alanında kullanılan kara araçları anlatılacaktır.

2.2.1.1 Tekerlekli Ulaşım

Tekerlekler, keşfinden itibaren taşımacılık ve ulaşım kavramını oluşturmaktadır. Şekil 2.5'de gösterilen dairesel bir geometriye sahiptir. Jant ve lastik olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Aracın ağırlığı göz önüne alındığında tekerleklerin bu yükü kaldırabilmesi için Aluminyum ve Magnezyum gibi dayanıklı bir materiyallere ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2.5 Tekerlek

Jantların ikinci bir görevi ise aks üzerinden aktarılan hareket enerjisi jantları döndürür. Jantlar ise kendisine bağlı olan hammaddesi kauçuktan yapılmış lastikleri döndürmeye başlar. Lastikler, jantların aksine yumuşak bir maddeden yapılmıştır. Ana görevi yola temasından ötürü ortaya çıkan sürtünme kuvvetini oluşturmak ve bu kuvveti kullanarak minimum eforla tekerleğin hareket etmesini sağlamaktır. Şekil 2.6' de görüldüğü gibi tekerleğin en dışında lastik sırtı(Tread) bulunmaktadır. Lastikler kullanıldığında, lastik sırtı aşınmakta ve çekiş sağlamadaki etkinliğini sınırlandırmaktadır.

Karada giden ulaşım araçlarının aksine uçaklarda Şekil 2.7'de görüldüğü gibi tekerlekler kullanmaktadır. Kanatlı uçaklarda aracın karadaki hareketlerini sağlamak için tekerlekler kullanılmaktadır. Uçak havalandığı andan itibaren iniş takımları aracılığı [49] ile tekerlekleri toplar.

Otomobiller, trafik şartlarında yolculuk yapılabilecek dört tekerlekli en küçük taşıt tipidir. Boyutlarına göre Şekil 2.8(hatchback, sedan, station wagon) 'de görüldüğü gibi kendi içlerinde farklılık göstermektedir. Seyahat konforu araç tipine bağlı olarak



Şekil 2.6 Lastiğin Fiziksel Yapısı



Şekil 2.7 Uçaklarda Kullanılan Tekerlekler

değişim gösterir. Bu tez çalışmasında bu durum göz ardı edilmiştir.



Şekil 2.8 Farklı Türlerdeki Otomobiller

Otobüsler, birçok yolcuyu taşımak için tasarlanmış Şekil 2.9'de görüldüğü gibi tekerlekli ve uzun bir araçtır. Bu araçlar binek arabalara göre oldukça uzundur. Uzunluğu sebebiyle trafik ortamında kullanılması için otoritelerce farklı bir sertifikaya gereksinim duyulmaktadır. Şehir içinde varış noktasına giderken planlanmış bir rotada hareket eder. Bu rotadaki durduğu her bir noktaya durak denilir. Bu sebeple otobüs araçları normal binek araçlara göre şehir şartlarında yüksek hızlara erişememektedir.



Şekil 2.9 Otobüs

Otobüsler Tablo 2.2' de görüldüğü gibi otomobillere göre daha çok motor gücüne sahiptir. Bu sebeple otomobillerden daha güçlüdür. Fakat aracın uzunluğu ve taşıdığı yolcu sayısı göz önüne alındığında bir otomobil kadar ivmelenme gerçekleştirememektedir.

Düşük hızlarda seyir gerçekleştiği için teorik olarak konforlu bir seyrin gerçekleşeceği

Tablo 2.2 Otomobil ve Otobüs Arasındaki Mekanik Farklar

Özellikler	Otobüs [50]	Otomobil [51]
Motor Gücü (HP)	210	90
Motor Silindiri	4	3
Maksimum Tork (NM)	850	220
Uzunluk (M)	8.5	3.8
Vites Sayısı	5	6

düşünülmektedir. Fakat uzun araç olmasından dolayı yapacağı manevranın süresi normal bir binek araca göre daha uzundur. Bunun yanında duraklara uğradığı için sıklıkla dur-kalk yapmaktadır. Bu iki senaryo otobüs tipindeki araçlarda konforu bozmaktadır.

2.2.1.2 Raylı Ulaşım

Bir tren, genellikle kargo veya yolcuları taşımak için bir demiryolu yolu boyunca uzanan Şekil 2.10'da görüldüğü gibi bir dizi bağlı araçtan oluşan bir taşıma şeklidir. Trenin kullanımındaki en büyük kilometre taşı sanayi devrimidir. Sanayi devrimi sonrası üretilen buharlı trenler sayesinde [52] tren ile yolcu ve kargo ulaşımı başlamıştır. Daha sonrasında ortaya çıkan elektrikli motor teknolojisi sayesinde trenler hızlanmıştır. Günümüzde manyetizma da konuya dahil edilmiş ve manyetik kuvvetler sayesinde yaklaşık hızı 600 km/s' e çıkan raylı araçlar yapılmıştır [53].



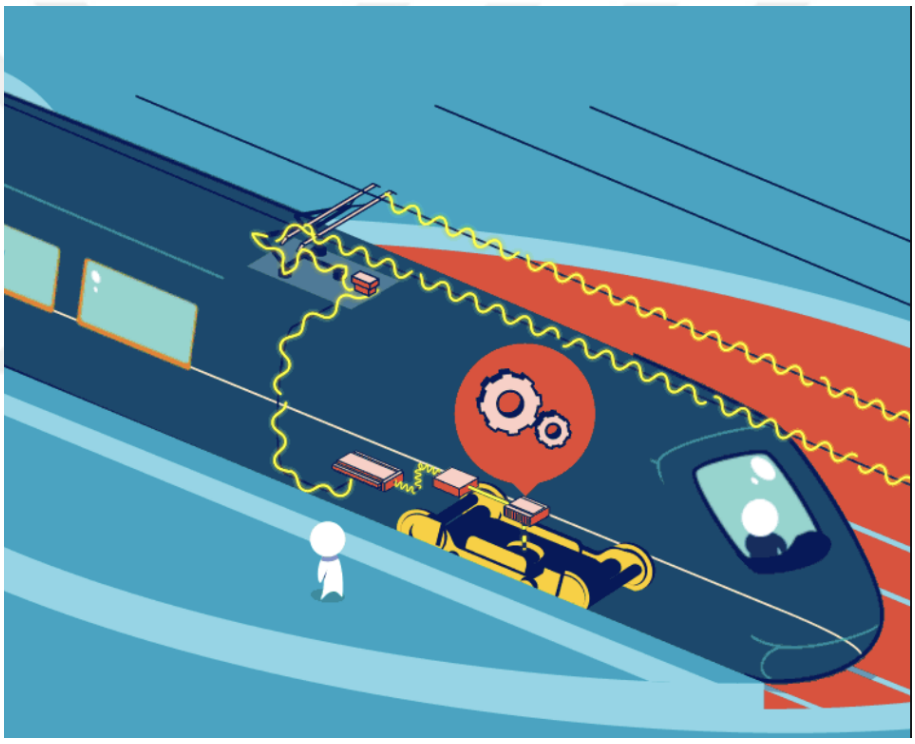
Şekil 2.10 Bir Ulaşım Aracı Olarak Tren

Hareketlenme için üretilen enerji buharlı trenlerde kazanın yer aldığı lokomotiften termik yöntemlerle enerji üretilir. Ortaya çıkan ısı ile trendeki tekerleklerin dönmesini sağlar. Bu durum elektrik enerjisiyle çalışanlar için farklı gerçekleşir [54]. Burada

trenler bir hatta bağlıdır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi trene enerji bulunduğu hat üzerinden elektrik kablolarıyla gelir. Gelen elektrik aracılığı ile tren raylarda hareket etmeye başlar.

Farklı amaçlar için tasarlanmış çeşitli tren türleri vardır. Amaç gereği trenler bir kargo götürebileceği gibi yolcu da taşıyan trenler bulunmaktadır. Ayrıca Metro denilen [55] bazı tren çeşitleri yerin altından da gidebilmektedir.

Şehir içi yolculuğunda konfor deneyimi en yüksek ulaşım çeşitlerinden biridir. Bu durumun birinci sebebi; Otobüs ve araba gibi sık hız değişimi gerçekleşmemesidir. Tek bir hat üzerinde ve en fazla 431 km/s olacak şekilde hızlanan araçlardır [56]. İkinci bir durum ise tekerlekli araçlara göre manevralar ray üzerinde gerçekleştiği için anlık dönüşler gerçekleşmemektedir.



Şekil 2.11 Elektrik Enerjisiyle Çalışan Tren

Raylı sistemlerdeki ulaşımda yıllar boyunca birçok çalışma gerçekleşmiştir. Ulaşım sırasında yolcuların konfor seviyesini ölçmek için tıpkı tekerlekli araçlarda olduğu gibi hız ve ivmelenmedeki değişimler hakkında çalışmalar yapılmıştır. Dale' nin çalışmasında [57] bu verileri ölçen bir sistem toplu taşıma araçları için gerçeklenmiştir. Bu çalışma ile toplu taşımada yolcu konforunu açıklamak için araçların ivmelenme karakteristikleri ve konfor durumunu bozan hareket izleri belirlenmiştir. Bir başka çalışmada ise ISO 2631 standartı raylı ulaşımdaki konforu ölçmek için kullanılmıştır [58]. Buraya kadar yapılan çalışmalarda yolcuların oturduğu kabul edilerek incelemeler yapılmış, deneysel sonuçlar çıkartılmıştır. George ve Gadhia' nın

çalışmasında ise mobil cihazlar kullanılarak yolculuk sırasında ayaktaki yolcuların yaşadığı konforu bozan durumları algılayan bir sistem gerçeklenmiştir [59].

2.2.2 Hava Araçları

Havadan destek alabilen, genel ve özel amaçlarla kullanılan araçlardır. Havadan ağır ve havadan hafif olmak üzere genelde iki çeşit hava araçları bulunur. Şekil 2.12'de görülen balon, zeplin gibi araçlar havadan hafif araçlara girer. Helyum, Hidrojen veya sıcak hava gibi atmosferden daha az yoğun gazlar bir çeper içinde bulunur. Yoğunluk farkından ötürü çeperin içindeki gaz uçmaya başlar ve aracın havadaki hareketi sağlanır.



Şekil 2.12 Havadan Hafif Hava Ulaşım Araçları

Havadan ağır araçlar ise günümüzde sıkça kullandığımız araçlardır. Uçaklar, helikopterler, insansız hava araçları bu sınıfa girmektedir. Havadan daha ağır bir materyal olan metal bir aracın üzerinde bulunan pervane ekipmanlarıyla havayı hareketlendirerek oluşturduğu havanın kaldırma kuvvetini kullanır. Bu araçlar kanatlı ve rotorlu olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

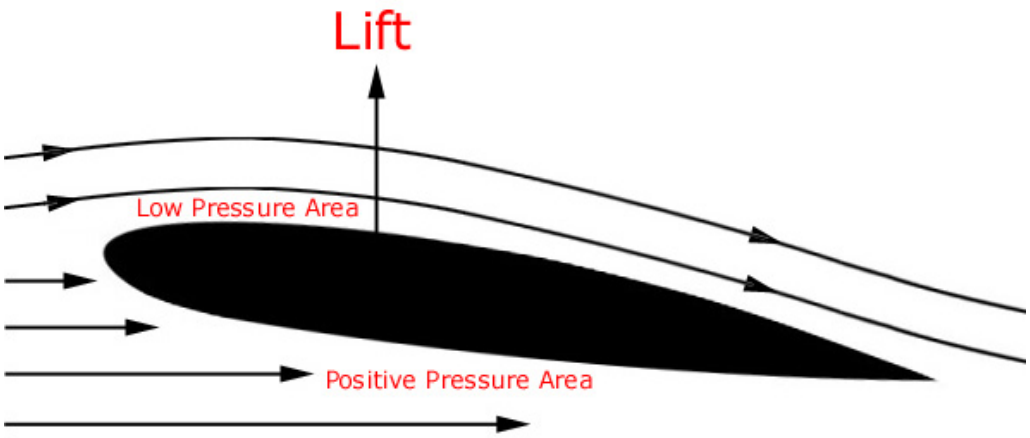
Bir uçağın kabinindeki konfor deneyimi, yolcuların bu aracı kabul etmesini etkilemekte ve bu aracın veya bu özel havayolu şirketinin seçilip seçilmemesi konusunda gelecekteki kararlara katkıda bulunabilmektedir. Konforlu bir uçuş aynı zamanda yolcuların davranışları nedeniyle uçak mürettebatlarına daha az sorun çıkartabilir ve böylece sorunlardan kaçınabilir ve nihayetinde güvenliği artırabilir [60]. Yolcuların çevresel engelleri ortadan kaldıran konfor önlemlerini arttırmak, uçak kabininde olumlu duygular oluşturmak için dikkate alınabilir. Son zamanlarda, insanların uçak iç ortamı da dahil olmak üzere yaygın olarak kullandığı çok çeşitli ürünlerle ilgili olarak konfor hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır [61].

Uçak ve vapur kara araçlarının aksine akışkan mekaniğine dayalı hareket edebilen, yolculuk taşımasında da kullanılabilen taşıtlardır. Akışkan mekaniğinden ötürü kontrol yetenekleri diğer kara araçlarına göre daha karmaşık olduğu için konfor durumları incelenirken bu iki ulaşım tipi tez kapsamına alınmamıştır.

2.2.2.1 Kanatlı

Havanın kaldırma kuvveti (Lift), Şekil 2.13'de görüldüğü gibi akış yönüne dik gelen bir bileşendir. Bu kuvvet, kanatlara etki ederek uçağın havada yükselmesini sağlamaktadır. Bu kuvvet Bernoulli' nin basınç farklılığı yasasıyla açıklanmaktadır. Denklem 2.4'de açıklandığı gibi Bernoulli Denklemi, akan sıvılar için uygun olan enerji ilkesinin korunmasının bir ifadesi olarak düşünülebilir. Literatürde "Bernoulli etkisi" ile isimlendirilen davranış, akış hızının arttığı bölgelerde akışkan basıncının düşürülmesidir olarak açıklanmaktadır. Bu basınç farklılıkları kavisli hava akımı ile birlikte ortaya çıkar. Şekil 2.13' de bir akışkan kıvrımlı bir yolu takip ettiğinde, akış yönüne dik bir basınç gradyanı vardır, eğrinin dış tarafında yüksek basınç ve iç kısımda düşük basınç oluşur.

$$P_1 + \frac{1}{2}pv_1^2 + pgy_1 = P_2 + \frac{1}{2}pv_2^2 + pgy_2 \tag{2.4}$$



Şekil 2.13 Havanın Kaldırma Kuvveti (Lift)

Kanatlı hava araçları Lift kuvvetini kullanarak uçabilen Şekil 2.14'de görüldüğü gibi havadan ağır araçlardır. Kanatlı uçakların amaçlarına göre fonksiyonları farklılaşmaktadır. Askeri alanda kullanılan savaş uçakları daha çevik ve atmosferin daha üstünde seyir edebileceği gibi söz konusu yolcu uçakları olduğunda yavaş, yakıt kapasitesi yüksek ve konfor odaklı bir hava aracı olmaktadır. Yolcu ulaşımında konfor Kremser' in çalışmasında yolcuların iyiliği için yolcuya dayalı oturma pozisyonları

ile ilişkili postural duruş, mekansal algı, mahremiyet ve ruh hali olacak şekilde tanımlanmıştır [62].



Şekil 2.14 Kanatlı Uçak

Hava yolu yolculuğunda konfor durumunun analizi için uçağın havadaki hareketini, yolcunun kabindeki fiziksel ve psikolojik durumunu incelemek gereklidir. Bu koşulların incelenmesi ve yeni bir tezin öne sürülmesi kara araçlarına göre detaylı bir süreçtir. Bu sebeple hava yolu araçlarındaki yolculuk konforu buradaki tez kapsamında detaylı bir şekilde ele alınmamıştır.

2.2.2.2 Rotorlu

Bir şafta bağlı dönen pervanelerin oluşturduğu Kaldırış kuvvetiyle havadan ağır bir aracı havada hareketini sağlayan kanatsız araçlara rotorlu hava araçları denilir. En bilindik ve personel taşımacılığında kullanılan hava aracı Şekil 2.15'de görüldüğü gibi helikopterlerdir.

Rotorlu hava araçları ile uçaklar kadar yüksek sayıda yolcu taşımacılığı yapılamamaktadır. Uçakların helikopterlerden daha kolay kontrol edilebildiği bilinmektedir. Bunun yanında uçakların bakım ve onarım maliyeti çok fazladır. Fakat taşıyacağı yolcu kapasitesi itibariyle uçaklar daha elverişlidir. Helikopterin kullanım zorluğu ve buradaki ekonomik durum göz önüne alındığında hava yolu taşımacılığında kanatlı uçaklar aktif olarak kullanılmaktadır. Sivil alanda helikopterlerin kullanımı özel ve turistik taşımacılıkla sınırlıdır. Bu yüzden yolcu taşımacılığı rotorlu araçlarda



Şekil 2.15 Rotorlu bir Hava Aracı Olarak Helikopter

yaygın değildir. Konfor konusunun değerlendirilmesi bu tez çalışmasında kapsam dışı tutulduğu değerlendirilmeye gerek görülmemiştir.

2.2.3 Deniz Araçları

Gemiler okyanusları ve diğer derin su yollarını dolaşabilen, yolcu ya da mal taşıyan ya da savunma, araştırma ve balıkçılık gibi özel görevleri destekleyen Şekil 2.16'de görüldüğü gibi büyük bir deniz aracıdır. Genellikle büyüklük, şekil, yük kapasitesine göre teknelerden ayrılır. Paulet ve Presles'in önerdiği gibi aşağıda madde olarak listelenen işlevlerine göre deniz araçları sınıflandırılmaktadır. [63].

- Yüksek Hızlı Tekne, feribotlar bu kategoride değerlendirilmektedir.
- Tekneler, balıkçı tekneleri bu kategoride değerlendirilmektedir.
- Kuru Yük Gemileri, Ro-ro, uzun konteynır taşıyan gemiler bu kategoride değerlendirilmektedir.
- Yolcu Gemileri, vapurlar, lüks kruz gemileri bu kategoride değerlendirilmektedir.
- Savaş Gemileri, korvet, fırkateyn ve uçak gemileri bu kategoride değerlendirilmektedir.

Yolcu gemisi, temel işlevi denizde yolcu taşımak için kullanılan ve ticari amaçlı bir gemidir. Yolcu gemileri arasında kısa deniz yolculuğu(gündüz veya gece) yapabilen yolcu ve araç taşıyabilen feribotlar bulunmaktadır. Yolculuk amacıyla kullanılan gemi çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 2.16 Gemi

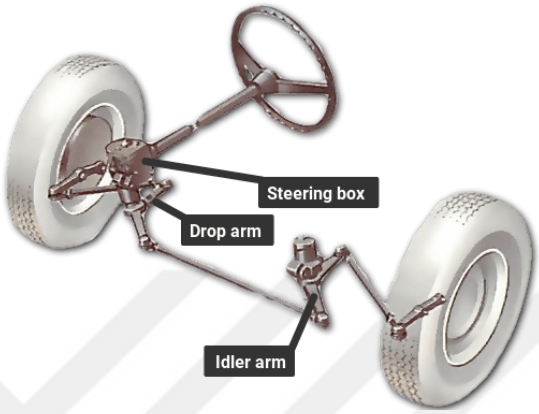
- Feribotlar, Yolcu, araç taşıyan kısa mesafeli seyir yapan gemileridir.
- Kruvaziyer gemi, Normal seyir gemileri iki nokta arasında seyahat yapar. Kruvaziyer gemileri, pek çok noktalara uğrayarak turistik yönü ön planda olan, lüks yolculuk tecrübesi veren gemilerdir.
- Okyanus Gemisi, Transatlantik olarak da bilinen gemilerdir. Performans ve hızlı olması sebebiyle kruvaziyer gemilerinden ayrılmaktadır.

Dalga ve rüzgar gibi deniz yolunun dinamik doğasını oluşturan unsurlar nedeniyle yolda giden gemiler sıklıkla farklı yönlerdeki ve şiddetteki ivmelenmelerin etkisi altında kalmaktadır. Bu etki, geminin güvenliğini ve performansını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu etkiler yolcuların ve mürettebatın üzerinde baş dönmesi, bulantı gibi hareket hastalıkları ve hareketlenmeye bağlı konforsuzluk durumlarına da sebep olabilmektedir.

Deniz yolunun dinamiği tıpkı uçaklardaki gibi bir akışkanın hareketiyle ilgilidir. Deniz yolculuklarında konfor durumunu analiz etmek için geminin ve suyun hareketinin detaylı incelenmesi gereklidir. Tez kapsamı sebebiyle yolculuklarda daha çok kara araçlarına ağırlık verilmiştir. Vapur, feribot yolculuklarında konforu bozan durumlar hakkında detaylı bir inceleme yapılmamıştır. Ölçülmüş ivmelenme verisine bakarak diğer ulaşım tiplerine göre ulaşım konforu durumu karşılaştırılmıştır .

2.3 Araçlarda Hareket

Tekerleğin icadından otonom araçlara kadar taşıtlar toplumların gelişmesinde büyük rol oynamaktadır. Çok hızlı hareket etme yeteneğine sahip taşıtlar sayesinde insanlar yaşamakta olduğu kara parçasını, dünya üzerindeki büyük, küçük denizleri ve hatta uzayın derinliklerini keşfetmektedir. Bütün bu aksiyonların gerçekleştirilmesindeki temel motivasyon insanlığın daha hızlı nasıl gidebiliriz sorusuna aradığı cevaptır.



Şekil 2.17 Araçlarda Dönüş Sistemi

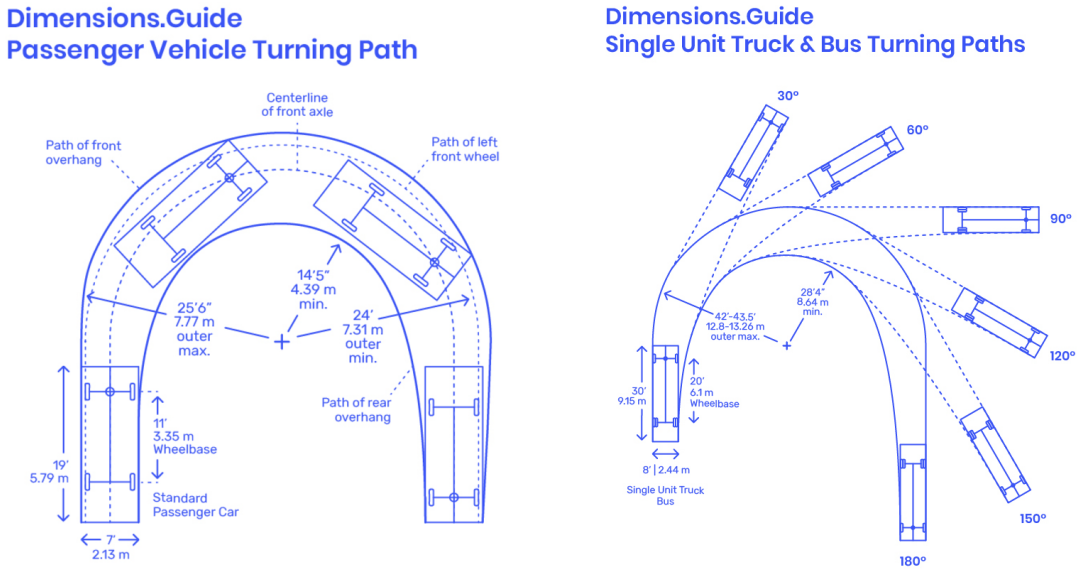
Bir cismin uzayda yer değiştirmesine hareket denilir. Cisimler yer değiştirmesi için etkiye ihtiyaç duymaktadır. Bu etkiye de kuvvet denir. Cismin nasıl hareket edeceği bu kuvvetin incelenmesiyle ilgilidir. Newton mekaniği bu durumu Denklem 2.5' de açıklamıştır.

$$\sum F = ma \tag{2.5}$$

Uçak ve vapurun hareketi akışkan bir maddeden aldığı kuvvet ile sağlanır. Bu ulaşım tiplerinin aksine kara araçları bir akışkanın desteğiyle hareket etmemektedir. Kara araçları tekerleklerle hareket etmektedir. Tekerlekli araçların hareketini çözümlemek için sürtünme kuvveti incelenmelidir. Yol, tekerlek üzerinde bir direnç kuvvet oluşturur. Motorun ürettiği tork sayesinde tekerlek dönmeye başlar. Dönmeye başlayan tekerlek yol ile temas ettiğinde yol tutuşu gerçekleşir ve araç boylamsal eksende hareket etmeye başlar. Aracın daha hızlı hareket etmesi için motorun ürettiği torkun arttırılması ya da sürtünme kuvvetinin arttırılması gereklidir. Yarış araçlarında sürtünme kuvvetinin arttırılması için araçlarda daha yumuşak lastikler kullanılır. Bu sayede maksimum miktarda sürtünme kuvveti elde edilir.

Yanal eksenlerdeki hareketlenmeyi dönüşler ve şerit değişiklikleri olarak ikiye ayırabiliriz. Şekil 2.17' de görüldüğü gibi direksiyonda oluşan açısal hareketlenme hidrolik ya da elektrik tabanlı bir sistem tarafından millerle tekerleklere aktarılır. Bu

sayede direksiyon döndükçe ön lastiklerde yanal eksende içe veya dışa doğru hareket oluşur. Bu aksiyonla beraber araç hareket halindeyse manevra gerçekleşir. Yanal hareket kabiliyeti araç tiplerine göre farklılık göstermektedir. Dönüş çemberi [64] olarak bilinen aracın 180 derece dönüşü gerçekleştirirken çizdiği çaptır. Şekil 2.18' de görüldüğü gibi Toplu taşıma araçlarında bu çap 13.26 m olurken, binek araçlarda bu çap 7.77m olmaktadır.



Şekil 2.18 Araçlarda Dönüş Sistemi

Aracın kontrolü boylamsal ve yanal eksenlerde gerçekleşmektedir. Bunun yanında dikey eksendeki hareketlenmeden ötürü oluşan kuvvetler yolun tipine ve tümsek, çukur gibi yol etmenlerine bağlı olarak bu kuvvet değişebilmektedir.

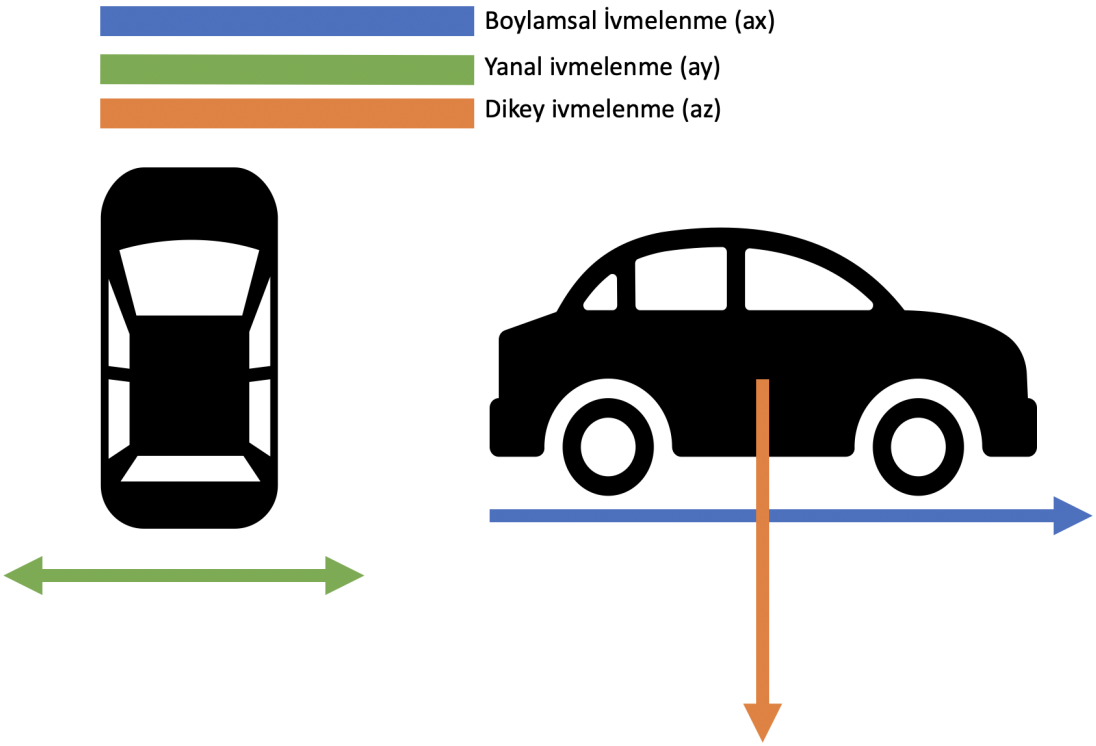
2.3.1 İvmelenme

Hızdaki değişim ivme değerini verir. Bu veri Denklem 2.6 ile açıklanabilmektedir. Bir cismin hareket ettiği yerde eylemsizlik prensibi gereği ona karşı aksi yönde bir kuvvet söz konusu olmaktadır. Newton'un ikinci yasasıyla bu durum Denklem 2.5' de açıklanmaktadır. Bu denkleme göre kuvvet ve ivme doğru orantılıdır. Araçlarda ivmelenmenin arttığı yerlerde araca etki eden kuvvet artmaktadır.

$$a = \frac{\delta v}{\delta t} \tag{2.6}$$

Araçla seyahat eden yolcular, oluşan bu kuvvetleri absorbe etmek için kaslarını kullanmaktadır. Kas kullanımı gerçekleştiği için fiziksel bir yorgunluk durumu zamanla ortaya çıkacaktır. Bu olay ise seyahatteki konfor durumunu bozacaktır.

Konfor durumunun incelenmesi için yapılan çalışmalarda kuvvetlerin şiddetlerine gereksinim duyulmuştur. Bu hareketler üç eksende Şekil 2.19'deki gibi gerçekleşmektedir. Hareket sırasında oluşan kuvvetler(RMS) Denklem 2.7' de olduğu gibi kuvvet vektörlerinin yönlerinden bağımsız şiddetleriyle hesaplanabilmektedir. Ayrıca bu formül ISO 2631 olarak bilinen konfor standartının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu tez konusunun bir amacı da kuvvetleri inceleyerek seyahatin konfor durumu hakkında çıkarımlar yapmaktır.



Şekil 2.19 Aracın İvmelenme Eksenleri

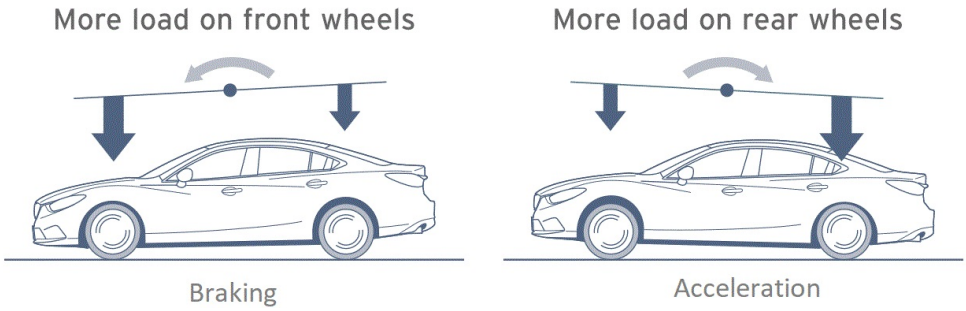
$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2 \, (dt)} \tag{2.7}$$

2.3.2 Sürüş Aktiviteleri

Tekerlekli araçlarda sürüşün kontrol edilmesi için aracın bulunduğu hareket eksenlerinde yapmış olduğu eylemler mevcuttur. Bunların gerçekleşmesi gidilen yola bağlı olduğu gibi aracı kullanan sürücünün kendisine de bağlıdır. Bu sebeple sürüşte kaliteyi ve seyahat konforunu doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden sürüş aktivitelerinin iyi incelenmesi gereklidir. Sürüş aktivitelerin hepsi boylamsal ve yanal eksende gerçekleşmek üzere toplamda beş farklı aktivite bulunur. Bunlar hızlanma, yavaşlama, dönüşler, sabit hızlanma ve durmadır. Bu eylemler sürüş sırasındaki

ivmelenmeyi oldukça değiştiren etkinliklerdir. Özellikle şehir içi yolculuklarda ve tramway, tren gibi ulaşım tiplerinde bu eylemlerin çok az gerçekleştiği, sabit hızla gidişin çok fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple çalışmamızda boylamsal eksendeki hareketler incelenirken aracın sabit hızla gittiği noktalar da detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

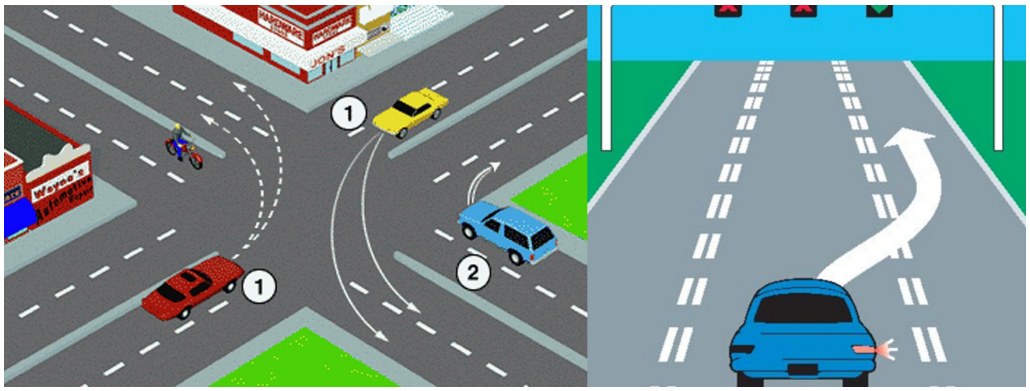
Hızlanma, aracın sabit veya pozitif yönde artan bir şekilde ivmelenmesi hızlanma olayına neden olmaktadır. Hızlanma eyleminin etkisi, araç tiplerine bağlı olarak etkisi farklılaşmaktadır. En bariz örneği metrolardaki hızlanma ve normal tekerlekli araçlardaki hızlanmadır. Çünkü yol kavramı burada devreye girmektedir. Tekerlekli araçlar yoldaki sürtünme kuvvetini kullanarak hareket ettiği için hızlanma durumlarından daha çok etkilenecektir. Bu durum raylı ulaşım araçlarında bu kadar etkiyle gerçekleşmemektedir. Çünkü raylı ulaşım araçları hem tek bir hat üzerinde gittiği hem de hızlanma aralıkları tekerlekli araçlarda olduğu gibi sık ve geniş aralıkta olmadığı için raylı sistemlerde hızlanma durumu yolcuyu daha az etkilemektedir.



Şekil 2.20 Hızlanma ve Yavaşlama Aksiyonlarında Aracın Durumu

Yavaşlama, bu sürüş aktivitesi diğer ismiyle 'Frenleme, duraksama' olarak da bilinmektedir. t zaman aralığından t+1 aralığına geçerken araç negatif yönde ivmelenme gerçekleştirirse hız kaybına uğrar ve yavaşlamaya başlar. Yavaşlama olaylarının konfora etkisi hızlanmaya göre daha fazladır [13]. Bu durum eylemsizlik prensibiyle açıklanmaktadır. Araçta hareket halindeki yolcular hareketin doğrultusuna ters yönde bir kuvvetin etkisi altında kaldığında mevcut konumunu koruması için bu kuvvete ters yönde, kaslarını kullanarak bir kuvvet oluşturur. Şekil 2.19'de görüldüğü gibi hızlanma olayının aksine yavaşlama sırasında öne doğru bir ivmelenme oluşur. Vücut kaslarını kullanarak öne doğru oluşan ivmelenmeye karşı direnç uygular ve koltuktaki hareketini korur. Hızlanma durumlarında tam tersi olmaktadır. Fakat hızlanma durumunda koltuğa yaslandığımız için yavaşlama durumları kadar enerji harcamamıza gerek yoktur. Çünkü koltuk desteği vardır. Bu sebeple yavaşlama olayları hızlanmaya göre daha yorucudur.

Manevralar, yanal eksende gerçekleşen sürüş aktiviteleridir. Şekil 2.20'de görüldüğü gibi dönüşler ve tekerlekli araçlar için şerit değişikliği bu kategoridedir. Bu



Şekil 2.21 Yanal Eksende Gerçekleşen Dönüşler ve Şerit Değişikliği Aktivitesi

aktivite tekerlekli araçlarda en sert gerçekleşen sürüş aktivitesidir. Çünkü bu eksende gerçekleşen hareketlerde yolcunun destek alabileceği koltuk yapısı henüz hızlanmadaki gibi yeterli değildir. Dönüşler, belirli bir şiddetin üzerinde gerçekleşirse 'savrulma' denilen ve yolculara yanal eksende şiddetli bir kuvvet uygulanır. Fakat bu durum tekerlekli ulaşım araçlarının aksine raylı, hava ve deniz ulaşım araçlarında yapıları gereği daha yumuşak gerçekleşir. Çünkü bu tip araçlarda ulaşım farklı düzlemlerde gerçekleşir. Örnek olarak deniz yolculuğu yapan bir vapurda manevra sırasında yolcular daha az kuvvetin etkisi altında kalır. Çünkü vapurda ve diğer ulaşım tiplerinde manevralar daha küçük açıda ve düşük şiddette gerçekleşmektedir.

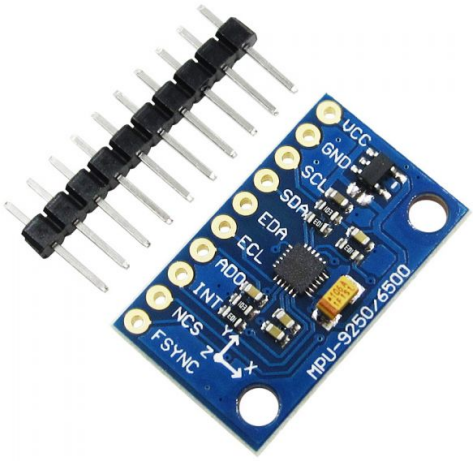
3
Kullanılan Veri Seti, Araçlar, Yöntemler

Seyir verisi oluşturmak oldukça maliyetli bir süreçtir. Bu maliyetten kurtulmak için kitle kaynaklı yaklaşım kullanılmıştır. Bu sayede sistemin çalışmasını doğrulayabilecek bir veri seti kitle kaynaklı yaklaşım sayesinde kısa bir sürede oluşturulmuştur. Bu bölümde seyir verisi oluşturulması için kullanılan teknikler ve tez çalışmasında kullanılan seyir veri seti anlatılmıştır. Ayrıca kişilerin ulaşım konforuna bakış açısı, ulaşım sırasındaki problemleri nasıl algıladığı noktasında bir anket çalışması yapıldı. Bu anket çalışmasına katılan kişiler, hazırlanan sorular bu başlık altında anlatılmıştır.

3.1 Veri Toplama

Verinin toplanması için akıllı mobil cihazlardan faydalanılmıştır. Bu cihazlar üzerinde Şekil 3.1' de gösterilen Atalet Ölçüm Birimi (IMU) entegre çipini taşımaktadır. Android ve iOS işletim sistemiyle çalışan mobil cihazların hepsinde bu donanım bulunmaktadır. Bu donanım ivmeölçer, jiroskop sensörlerini üzerinde taşımaktadır. Bu donanım sayesinde akıllı telefonlar üzerinden az bir maliyetle hareket bilgisi toplanmaktadır. Bu çalışmada seyir verisi toplanması için Android cihazlar istemci olarak kullanılmıştır. Bu istemciler kullanılarak seyir halindeki araçlardan ivmeölçer, jiroskop, ve GPS bilgileri toplanmıştır.

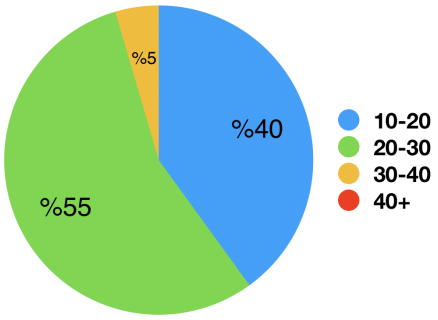
Mobil cihazları teknik açıdan bağlam bilgisini okumaya yeterlidir. Fakat bu bilginin okunması için cihazı kullanacak kişi veya kişilere ihtiyaç duyulmaktadır. Tek bir kişinin aynı deneyi sürekli tekrar edecek şekilde klasik yöntemlerle bu katkı sağlanabilmektedir. Zaman maliyeti yüksek, iş gücü düşük bir eylemdir. Kısa sürede sistemi daha stabil bir noktaya taşımak için çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada kitle kaynaklı yaklaşımlar devreye girer. Kitle kaynaklı yaklaşım, sistemi kullanan kişilere fayda sağlamak üzere sisteme veri beslemesini sağlamıştır. Bu bölümde veri setinin oluşturulması için kullanılan kitle kaynaklı yaklaşım ve mobil istemcilerde kullanılan sensörler anlatılmıştır.



Şekil 3.1 Atalet Ölçüm Birimi (IMU)

3.1.1 Anket Çalışması

Anket çalışması çevrimiçi bir ortamda hazırlanmıştır. Bu anketi hazırlamak için Google Forms [65] uygulaması kullanılmıştır. Bu ankete içinde lisans, lisansüstü öğrenciler ve farklı meslek sınıflarından kişiler olmak üzere toplam 111 kişi cevap vermiştir. Katılımcılar anket üzerinde hazırlanan çoktan seçmeli 5 adet soruya cevap vermiştir. Katılımcıların yaş dağılımı Şekil 3.2'de belirtilmiştir.

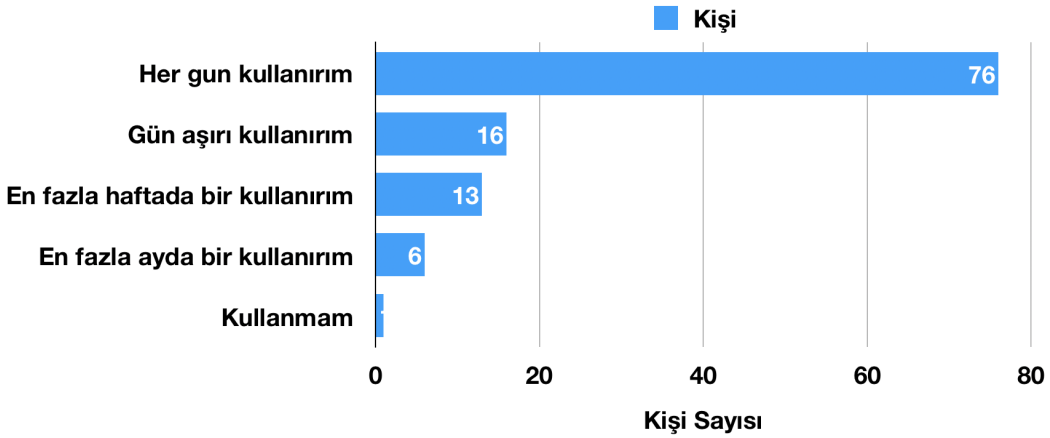


Şekil 3.2 Katılımcıların Yaş Aralığının Yüzdesel Dağılımı

Ankete katılan kişilerden toplu taşıma araçlarını kullanma sıklıkları sorulmuştur. Alışkanlığı ölçmek amacıyla sorulan bu soruya %69,7 oranla kişiler her gün toplu taşıma araçlarını kullandığı Şekil 3.3'de belirtilmiştir.

3.1.2 Kitle Kaynaklı Yaklaşım

Bir alandaki kişilerin mobil teknolojileri kullanarak(akıllı telefon, bileklik, saat, giyilebilir teknolojiler) içinde bulunduğu çevresel değişiklikleri kayıt altına alıp, bu



Şekil 3.3 Katılımcıların Toplu Taşıma Kullanma Sıklığı

Tablo 3.1 Kitle Kaynaklı Yaklaşımda Ölçekleme

Ölçek	Veri Kalitesi	İşbirliği	Sosyal Bağlılık	Birincil Kullanım Alanı
Grup	Orta	Güçlü	Çok Zayıf ya da Çok Güçlü	Yerel bölgeler için çözümler.
Komunite	Yüksek	Güçlü	Orta	Bilimsel araştırmalar
Kent	Düşük	Zayıf	Zayıf	Büyük ölçekte değişimlerin izlenmesi.

veriler üzerinden sistemlerin gerçeklenmesidir. İlk aşamada kitle kaynaklı yaklaşım, kısıtlı bir topluluğun problemlerini çözmeye yönelik çabalarla ortaya çıkmıştır. Şehir içi gürültü seviyesinin ölçülmesi, yollardaki çukurların tespit edilmesi bu problemlere örnektir.

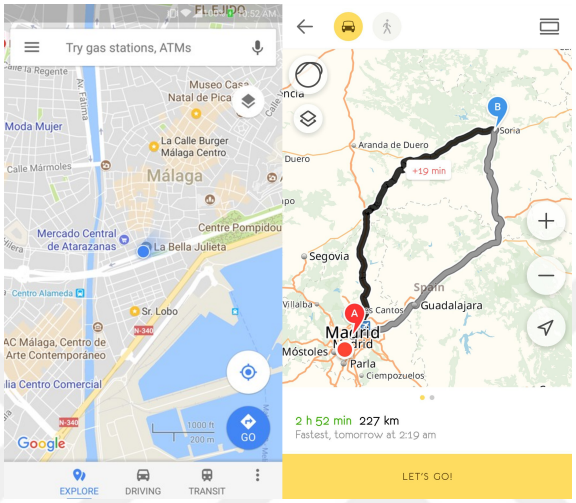
Bu çalışmalarda kullanılacak topluluğun büyüklüğü farklı karakteristikler sunmaktadır [66]. Tablo 3.1' den görülmek üzere kitlenin büyüklüğü ve verinin kalitesi ters orantılı olmaktadır. Buna bağlı olarak bu paradigmayla hangi tür problemin çözüleceği yine kitlenin büyüklüğüne bağlıdır. Uzun zamanda değişimleri algılamak için yapılan çalışmalarda büyük bir ekipten veri sağlanırken lokal çözümler için daha küçük ekipler kullanılmaktadır.

Kitlesel bir yaklaşım sebebiyle veri miktarı ve çeşidi artmaktadır. Bu verilerden yapılan çıkarım sayesinde kitle tarafından, yaşayan, çevresindeki bağlamlar karşısında aksiyon alabilecek potansiyele sahip bir sistem kurulabilmektedir. Araştırmacılar kitle kaynaklı yaklaşımda oluşacak farkındalığı üç ana sınıfta toplamıştır [67].

- **Kişisel farkındalık**, kişinin üzerinden alınan bilgilerin (lokasyon, aktivite)

yorumlanmasıyla oluşacak kıymetli bilgiler.

- **Çevresel farkındalık**, çevresel verileri okuyarak (ses seviyesi, araç hızı vs.)oluşacak kıymetli bilgiler. Örnek olarak; Şehirlerin gürültü seviyesi, yollardaki trafik durumu.
- **Sosyal farkındalık**, sosyal medya aktivitelerini inceleyerek oluşan kıymetli bilgi.

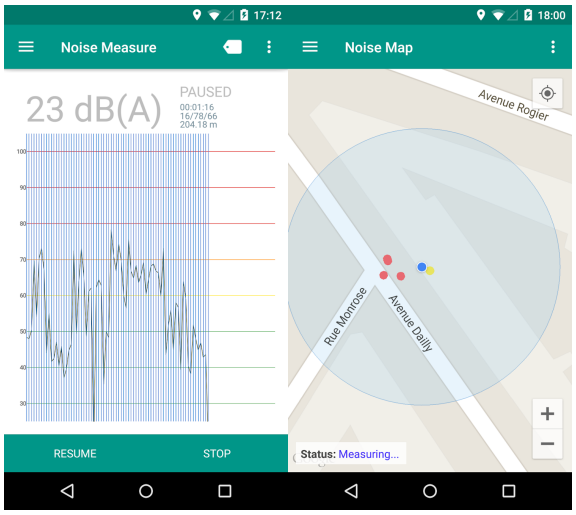


Şekil 3.4 Google Maps (Sağdaki) ve Yandex Maps Navigasyon Uygulamaları

Günlük yaşantımızda aktif olarak kullandığımız pek çok kitle kaynaklı uygulama bulunmaktadır. Bunların en başında Şekil 3.4'de bilinen Google Maps, Yandex Haritalar gibi navigasyon uygulamaları gelmektedir. Uygulama açıkken kullanıcıdan aldığı hız, ivme, konum bilgisini sunucularındaki coğrafi bilgi sistemiyle eşleştirir. Bu sayede kullanıcının faydalanabileceği kıymetli bilgiler ortaya çıkartır. Trafik durumu, iki nokta arasındaki en kısa yol, güncel bir şekilde çevredeki önemli lokasyonların sunulması örnek olarak gösterilebilir.

Çevre ve şehircilik alanında da kitle kaynaklı uygulamalar kullanılmaktadır. Şekil 3.5'de gösterilen NoiseTube [68], şehirdeki gürültü kirliliği hakkında gerçek zamanlı bilgi sunar. Kullanıcıların arka planda anonim bir şekilde aldığı ses örneklerinden akustik analizler yaparak şehrin gürültü seviyesini ortaya çıkartır, topladığı sesi sınıflandırarak gürültünün kaynağı hakkında bilgilendirme yapar.

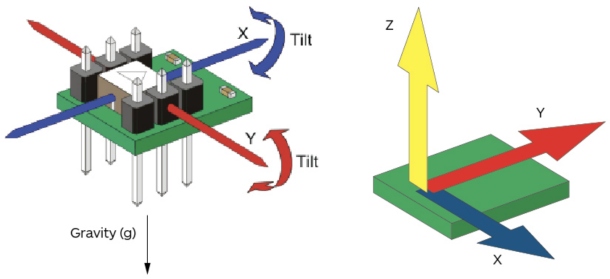
Akıllı ulaşım teknolojileri alanıda da kitle kaynaklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bir çalışmada [69] seyir sırasında akıllı telefon üzerinden alınan hareket bilgisi kullanılarak sürüş aktiviteleri çıkartılmaktadır. Bu ve kitleden alınan bilgiler değerlendirilerek sürüş kalitesi hakkındaki çıkarımlar çalışma tarafından yapılmaktadır.



Şekil 3.5 NoiseTube [68] Akustik Analiz Uygulaması

3.1.3 Sensörler

Bu başlıkta ulaşım uygulamalarında kullanılan hareket sensörleri anlatılacaktır *İvmeölçer*, evrendeki nesnelerin etkisi altında kaldığı ivmelenmeyi ölçmek için tasarlanmıştır. Bir ivmeölçer, ivme kuvvetlerini ölçecek bir elektromekanik cihazdır. Bu kuvvetler yerçekimi kuvveti gibi statik olabilir veya ivmeölçerin hareket ettirilmesi veya titremesinden kaynaklanan dinamik olabilir.

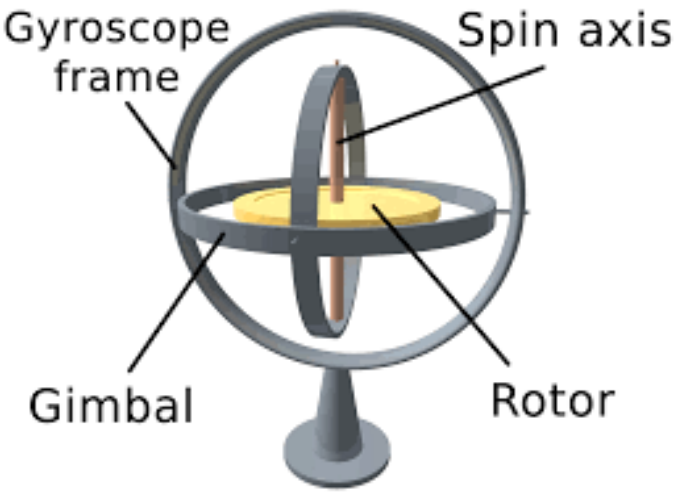


Şekil 3.6 İvmeölçer Sensörü

İvmeölçerler Şekil 3.6'de gösterildiği gibi üç eksende hareketlenme bilgisini toplayabilmektedir. Bu eksenler aracın hareketinde de olduğu gibi enlemsel, boylamsal ve yer çekimi kuvvetinin yönündedir. Hızlanma, yavaşlama, şerit değiştirme ve seyir sırasında yol kalitesi hakkında bilgi toplamak için bu tezde çoğunlukla ivmeölçer sensör verileri kullanılmıştır.

Jiroskop, Şekil 3.7'de görüldüğü gibi açısal hızı ölçmeye yarayan aygıttır. Yönelimi korumak için kullanılır. Uzay çalışmalarında uzay araçlarının birbirlerine olan konumlarını korumak için jiroskop aygıtından yararlanılmaktadır.

Bir diğer kullanımı alanı ise uçaklardır. Uçaklarda irtifanın sağlanması ve



Şekil 3.7 Jiroskop Sensörü

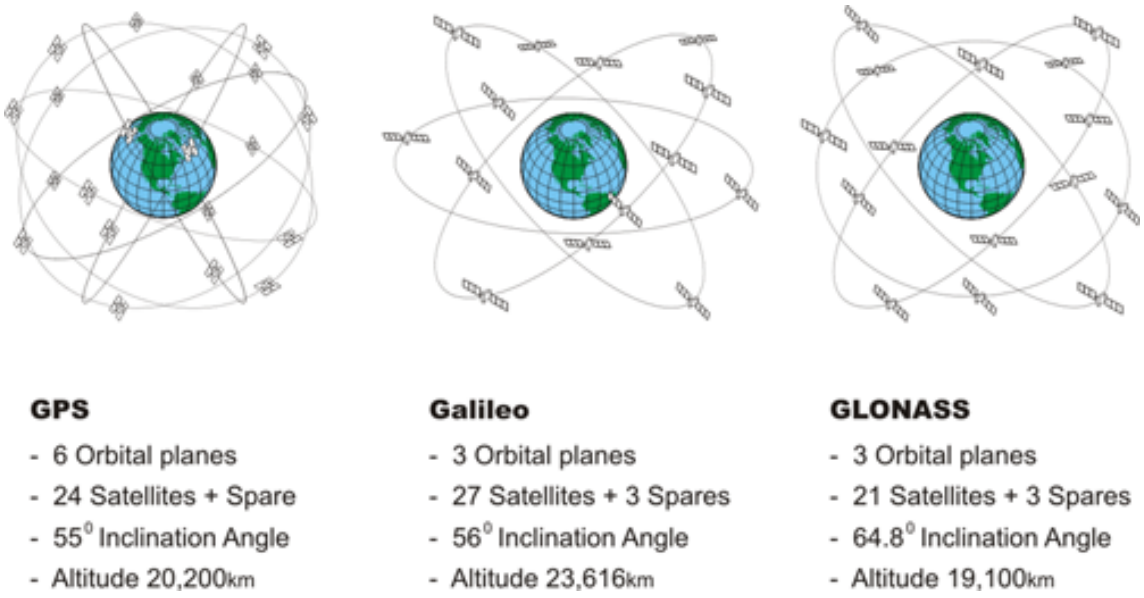
dönüş manevralarının yapılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca deniz sistemlerindeki seyrüsefer sistemlerinde de jiroskop kullanılır.

Tez çalışmasında araçta yapılan manevraların tespiti ve bu manevraların şiddetinin ölçülmesi için jiroskop kullanılacaktır.

Küresel konumlayıcı sistemlerin, başlıca kullanım alanı haritalardır. Bir cismin dünya üzerindeki pozisyonunu, belirlenmiş bir koordinant sisteminde tespit etmeye yarar. Bu sistemlerde kartezyen, silindirik ve sferik olmak üzere üç farklı koordinant sistemi kullanılır. Mevcut mobil uygulamalarda ve kara araçlarının navigasyon sistemlerinde kartezyen koordinant sistemi kullanılmaktadır. Sferik sistemler, kartezyenden farklı olarak Dünya'nın merkezinden ne kadar uzaklıkta olduğunu da belirtmektedir.

Küresel Konumlayıcı Sistemler(KKS), Dünya üzerindeki farklı milletlerin geliştirmiş olduğu uydular aracılığı ile konum bilgisini elde etmektedir. Başlıca Küresel Konumlayıcı Sistemler ile haberleşen uydu sistemleri Şekil 3.8'da belirtildiği gibi; Amerika'da GPS, Rusya'da GLONASS ve Avrupa Birliği ülkelerinin geliştirmiş olduğu GALILEO uydu sistemleridir.

Mobil cihazlardaki bu sistemlerle üzerinde bulunduğu cismin hız ve konum bilgisi elde edilmektedir. Tez kapsamında bu bilgileri elde etmek için mobil cihazda yer alan Küresel Konumlayıcı Sistem sensörü kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Küresel Konumlama Uyduları

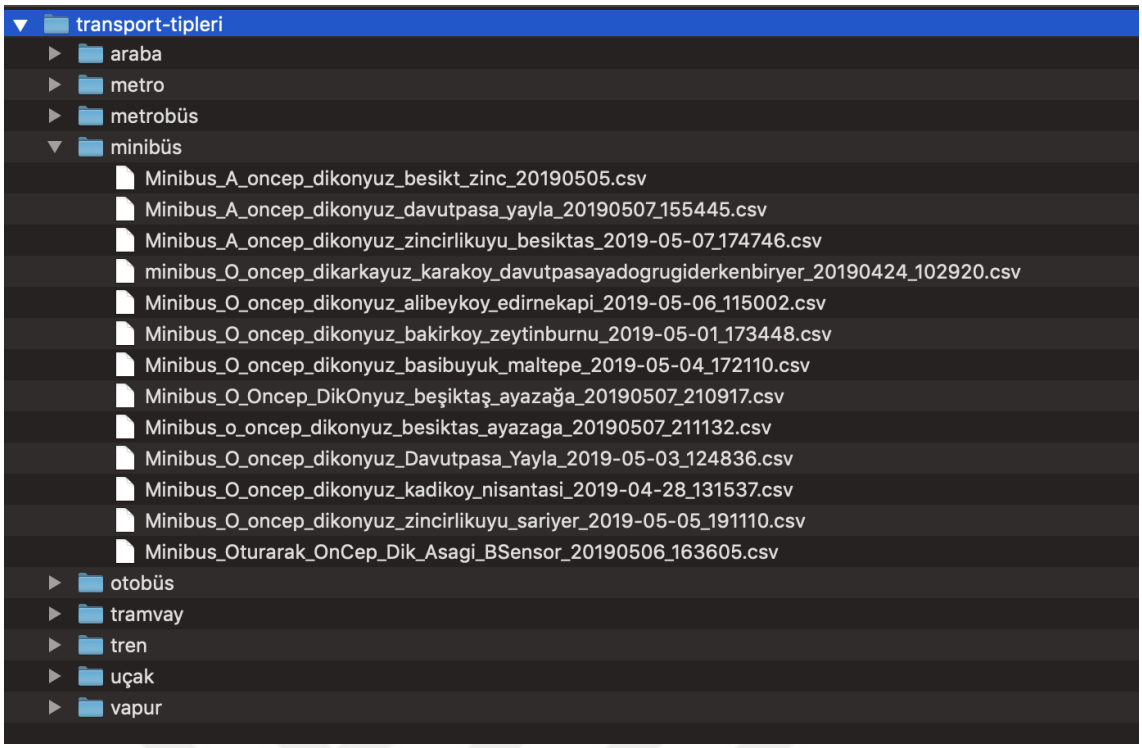
3.2 Veri Seti

3.2.1 Veri Hazırlama

Ham veriler Şekil 3.9'deki klasör yapısında saklanmaktadır. Dosya yolundaki kökünden itibaren toplanan veriler taşıt tiplerine göre sınıflandırılmıştır. Ham veriler isimlendirilirken "**[ta]_[ak]_[kk]_[bk]_[vk]_[t]**" gibi bir standart kullanılmıştır. Bu standart aşağıda açıklanmaktadır. Bu sayede ilgili ham veri işlenirken ilgili standart yardımıyla kısaltma olarak geçen değerler veri analizini gerçekleştiren uygulamaya ham verinin kendisiyle birlikte girdi olacak şekilde geçilmiştir.

Denklemdeki kısaltmalar şu şekilde açıklanmaktadır.

- *ta*, Taşıt adıdır. Verinin toplandığı taşıt tipini söyler.
- *ak*, Araca göre kişinin konumunu söyler. yolculuk sırasında kişi ayakta ise **A**, oturuyor ise **O** değerini alır.
- *kk*, Telefonun kişiye göre konumunu belirtir. Burada telefon kişinin ön veya arka cebinde bulunabilmektedir. Sensör değerlerini incelerken yön tayini sırasında bu bilgi kullanılmaktadır.
- *bk*, Başlangıç konumunu belirtir. Yolculuğun başladığı konum yazılır.
- *vk*, Varış konumunu belirtir. Yolculuğun sonlandığı konum yazılır.
- *t*, Yolculuğun gerçekleştiği tarih **yyyyMMdd_HHmmss** veya **yyyy-MM-dd_HHmmss** olacak şekilde belirtilir.



Şekil 3.9 Veri Seti Klasör Yapısı

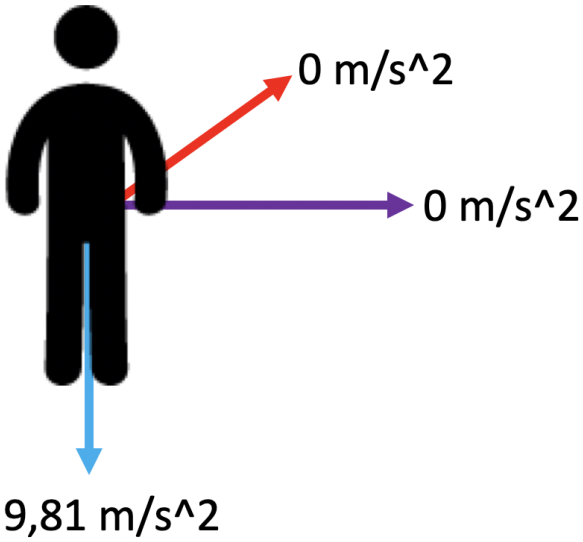
'.csv' uzantılı dosyalarda Android tabanlı akıllı telefonlarda çalışan istemci uygulaması üzerinden toplanmış, işlenmemiş sensör verileri bulunmaktadır.

Veriler 100Hz örnekleme hızıyla alınmıştır. Fakat konum servisinden alınan lokasyon ve hız verisi 1Hz örnekleme hızıyla alınmaktadır. Bu noktada ham olarak alınan veriler ön işleme sırasında 1Hz pencereler olacak şekilde dönüşüm yapılmıştır.

Veriler sürücü veya yolcu kişisinin müdahalesiyle toplanmaktadır. Seyir başlamadan önce kişi uygulama üzerinden sensörleri aktif hale getirir. Yolculuk bittikten sonra yine kişinin müdahalesiyle sensör kaydı sona erer ve kullanıcı uygulama üzerinden Denklem 3.1'de belirtilen standarta uygun olacak şekilde ham veriyi kayıt eder.

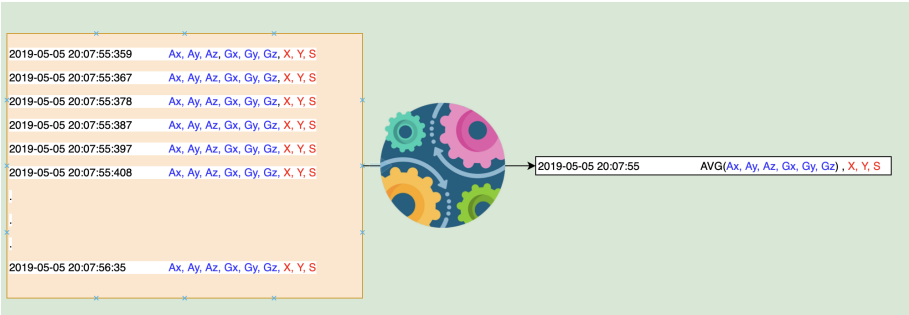
3.2.2 Veriyi Ön İşleme

Telefondan okunan ivmelenme değerlerinde yer çekimi kuvveti de dahil edilmektedir. Fakat sensörlerdeki hareketler lineer gerçekleşmektedir. Bu sebeple okunan sensör değerlerinden yer çekiminin etkisi çıkartılmalıdır. Bu değere lineer ivmelenme denilir. Yer çekimi dahil edildiğinde bir cisme etki eden kuvvet yaklaşık 9.80665 m/s$\hat{2}$' dir. Bu değer yer çekimi katsayısına bölündüğünde G kuvveti elde edilir. Duran bir cisme etki eden G kuvveti Şekil 3.10'deki gibi 1 G değeri alır. Ham veri setinde ivmeölçerden alınan veriler G kuvvetiyle açıklanacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 3.10 Pencere Yükseltmesi

IMU ve konum servislerinin örnekleme frekanslarındaki farklılık veriyi analiz etmekte problem çıkartmaktadır. Bunun yanında akıllı telefonlar üzerinden toplanan sensör çalışmalarında örnekleme hızı, konum servislerinden maksimum çözünürlük almak için 1Hz olarak belirlenmiştir [35]. Eğer konum servisi olmadan bu iş yapılsaydı 100Hz örnekleme hızı kullanılabilirdi [70]. Bu sebeple ham veriden toplananlar ilk olarak 1Hz lik pencerelere yükseltilmiştir. Bu işlem için Şekil 3.11'de görüldüğü gibi 100Hz lik verilerin her üç eksen için ivmeölçer ve jiroskop verilerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.11 Ortalama kullanılarak 1Hz'den 100Hz'e Yükseltme Örneği

Mobil cihazdan ölçülen sensör verisi elektronik bir aygıt olmasından ötürü istenmeyen değerler üretmektedir. Bu değerlerin yanında araç sabit haldeyken aracın mikro ürettiği titreşimden ötürü belirli bir değer oluşmaktadır. Üretilen sensör değerlerinden

bu gürültü değerleri ayıklanarak daha kararlı sonuçlar üretilmektedir.

$$\hat{f}(x,y) = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t)\epsilon S_{xy}}^{b} g(s,t) \tag{3.1}$$

Bu aşamada sistemi gürültülerden arındırmak için en basit bir alçak geçirgen filtre olan Denklem 3.2'de gösterilen ortalama kayan filtre kullanılmıştır.

3.3 Zaman Alanında Özellik Çıkartma

Veriden saniyelik pencereler çıkartıldıktan sonra Tablo A.2 ve Tablo A.3'de yer alan toplam 51 adet özellik çıkartılmıştır. Ön işleme aşamasından hemen sonra ivmeölçer değerleri her bir eksen için Denklem 3.3, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5'deki gibi mutlak büyüklükleri alınmıştır. Çünkü yönden bağımsız hareketlenmeyle ilgili çıkarımlar gerçekleştirileceği için vektörlerin büyüklükleri kullanılmalıdır. Penceredeki örnekler ivmeölçer ve jiroskopa ait üç eksen verisi ve bu eksenlerin büyüklüğü, ortalaması, standart sapmasından oluşmaktadır.

$$a_x = |a_x| \tag{3.2}$$

$$a_y = \left|a_y\right| \tag{3.3}$$

$$a_z = |a_z| \tag{3.4}$$

İvmeölçer sensöründen alınan değerlerin şiddeti Denklem 3.6'deki formüle göre hesaplanmıştır. Bu denklemin bir türevi ISO 2631 yol konforunun hesaplanmasında da kullanılmıştır. Burada bir saniyelik penceredeki ortalama etken kuvvet hesaplanmaktadır. Bu formül bize ulaşım sırasındaki elde edilen toplam kuvvet değerini söylemektedir. Burada elde edilen değerler konfor skorlamasının ana parçasını oluşturmaktadır.

$$\frac{\sum_{i=0}^{n} a_i}{n} \tag{3.5}$$

Seyir boyunca Denklem 3.6'daki kuvvetler her saniye gerçekleşmektedir. Bu sebeple yolculuk boyunca elde edilen kuvvetler Denklem 3.7'deki gibi toplanarak bir seyirde araca etki eden toplam kuvvet bulunmuştur. Bu sayede etken bu kuvvetin büyüklüğüne bakılarak ulaşım konforu hakkında objektif bir değerlendirme elde edilmiştir.

$$| a_{rms} | = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \tag{3.6}$$

Üç eksendeki vektörlerin şiddeti hesaplandıktan sonra elde edilen değerin fiziksel niteliği Denklem 2.5'de anlam kazanmaktadır. Çünkü buradaki ivmelenmeler, eylemsizlik prensibi gereği cisimler üzerinde hareketlenmenin tersi yönünde kuvvetler oluşturmaktadır. Üç eksendeki kuvvetlerin oluşturduğu bu şiddetini *G* ile ifade etmekteyiz. Bu, aslında Denklem 3.5 deki değerin Dünya'da okunan yer çekimi katsayısına (9.80665 m/s'2) bölünmesiyle elde edilir.

Bu verilerin yanında küresel konum servisinden alınan enlem ve boylam koordinant bilgisi ve ortalama hız bilgisi kullanılmıştır. Buradaki bilgiler sürüş olaylarının tespitinde etiket bilgisi olarak kullanılmıştır. Hızlanma, yavaşlama, sabit hızla gidiş eylemlerini tespit ederken bu bilgiler kullanılmıştır.

Sürüş hareketleri tanımlanırken yapılan deneyler sonucunda eşik değer kullanılmıştır. Bu değer 5 km/s olarak tanımlanmıştır. Bu değere göre saniyelik pencerelerde Algoritma 1'deki gibi bir akış kullanılarak sürüş boylamsal eksendeki sürüş aktiviteleri tespit edilmiştir. Yavaşlayan sürüş aktivitelerinin tespiti için araç hız kaybına uğradığı ve bu hız kaybının 5 km/s'den fazla olduğu kabul edilmiştir. Hızlanma için yavaşlamanın tam tersi kabul edilmiştir.

Algorithm 1: Boylamsal Sürüş Aktivitelerin Tespit Edilmesi

```
surusAktivitesi;
if V_t > V_{t-1} then
    if V_t − V_{t-1} >= 5km/sa then
        surusAktivitesi=hizlanma;
    else
        surusAktivitesi=sabitHizlanma;
    end
else
    if V_t < V_{t-1} then
        if V_t − V_{t-1} <= 5km/sa then
            surusAktivitesi=yavaslama;
        else
            surusAktivitesi=sabitHizlanma;
        end
    else
    end
```

Sabit hızla giden sürüş aktivitesini tespit etmek için aracın hem pozitif hem de negatif bir yöndeki hız değişimi dahil edilmiştir. Fakat bu değişimin şiddeti 5 km/s fark yaratmıyorsa aracın trafik ortamında sabit gittiği bu denklem ile kabul edilmiş ve etiketlenmiştir.

Manevra olayları tespit edilirken jiroskop sensöründen alınan bilgiler kullanılmıştır. Yapılan çalışmada Algoritma 2'de bahsedilen formüle göre ilgili örnekte Y eksenindeki jiroskoptan alındandeğer +0.145'den büyükse aracın sağa döndüğü, -0.145'den küçükse sola döndüğü tespit edilmektedir.

Algorithm 2: Yanal Sürüş Aktivitelerin Tespit Edilmesi

```
yanalSurusAktivitesi;
if W_t − W_{t−1} > 0.145 then
    if W_t > W_{t−1} then
        yanalSurusAktivitesi=sagaDonus;
    else
else
    if W_t < W_{t−1} then
        yanalSurusAktivitesi=sagaDonus;
    else
    end
```

3.4 Yazılım Geliştirme Ortamı ve Kullanılan Araçlar

Sistem istemci/sunucu mimarisinden oluştuğu için mobil ve veriyi analiz eden taraflarda farklı platformlar ve programlama dilleri kullanılmıştır. Tablo 3.2'de belirtildiği gibi Mobil uygulama geliştirilirken Java[1] programlama dili ve Android işletim sistemi[2] kullanılmıştır. Mobil istemci Android Studio[3] geliştirme ortamında oluşturulmuştur.

Sunucu tarafında istemcilerle konuşan ve gelen istekleri veri analizi yapan programa yönlendirmek için bir Python[4] dili kullanılarak Flask[5] kütüphanesiyle bir REST web servisi yazılmıştır. Bu servis gelen ham verileri kabul eder ve veri analizini gerçekleştirecek betik komutlarını çağırır. Veri analizi gerçekleştirirken Python platformunda güçlü veri yapısı seçenekleri sunan Pandas[6] kütüphanesi kullanılmıştır.

[1]https://www.java.com/en/
[2]https://www.android.com/
[3]https://developer.android.com/studio
[4]https://www.python.org/
[5]https://palletsprojects.com/p/flask/
[6]https://pandas.pydata.org/

Gelen sensör sinyalinde yapılacak filtre işlemleri için Numpy[7] ve SciPy[8] kütüphaneleri kullanılmıştır. Veri analizi betik programlarını geliştirmek için Spyder IDE[9] geliştirme ortamı kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Sistem Gerçeklenmesinde Kullanılan Yazılımsal Araçlar ve Platformlar

Yazılım / Platform İsmi	**Versiyon**
Android SDK	Platform 26
Java Runtime Environment	1.8.0_191-b12
Android Studio IDE	3.3.2
Python	3.7
Flask	1.1.1
Pandas	0.25.1
Numpy	1.17.1
Scipy	1.3.1
Spyder IDE	3.3.6
Matplotlib	3.1.1
Seaborn	0.9.0
Anaconda Virtual Environment	2019.07

[7]https://numpy.org/
[8]https://www.scipy.org/
[9]https://www.spyder-ide.org/

4
Sistem Detayları

Bu bölümde tezin amacına uygun şekilde çalışan bir sistem mimarisinin detayları anlatılmıştır. Bu sistem; verilerin toplanması, verilerin işlenmesi ve sistem mimarisi başlıkları altında incelenecektir.

4.1 Verilerin Toplanması

Verilerin toplanması için kitle kaynaklı çalışan ve tez kapsamında geliştirilen bir mobil uygulama üzerinden toplanmıştır. Toplamda işlenebilir 237 adet ve 94.5 saatlik bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setleri farklı profillerdeki taşıt tiplerinden gelmektedir. Uygulamayı kullanan 42 kişi farklı taşıt tiplerindeyken verileri toplamıştır. Araç tiplerine göre toplanan veri setlerinin sayısı Tablo 4.1'de belirtilmektedir.

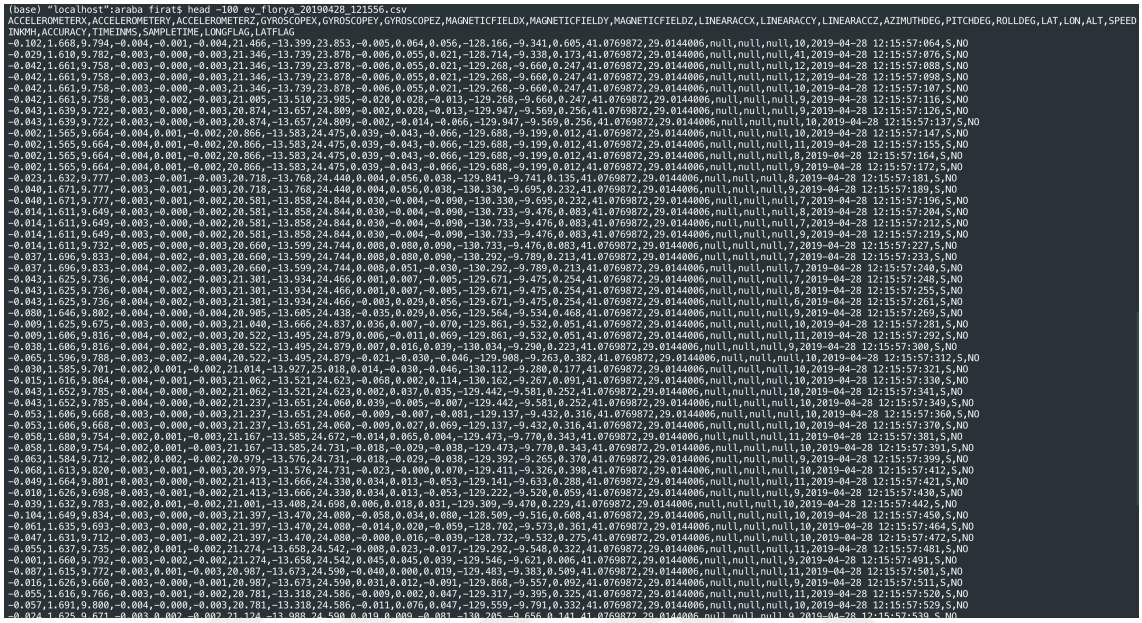
Tablo 4.1 Toplanan Seyirlerin Araç Türlerine Dağılımı

Ulaşım Tipi	**Veri seti Sayısı**	**Veri seti süresi (saat)**
Araba	69	39
Tramvay	15	9
Otobüs	29	9
Metro	35	6
Tren	10	3
Metrobüs	27	9
Vapur	28	4,5
Minibüs	13	4
Uçak	11	11

Bu veriler toplam 9.9 GB büyüklüğündedir. Veri setini oluşturmak için 40 lisans öğrencisi, 1 yüksek lisans öğrencisi ve 1 akademisyen araştırmacı farklı taşıt tiplerinden mobil istemci sayesinde verileri toplayıp etiketlemişlerdir. Veriler 10Hz'lik örnekleme hızıyla toplanmıştır. Fakat veriler toplanırken küresel konumlama servisi akıllı telefonlarda ticari amaçla kullanıldığı için belirli hız ve irtifadan sonra veri alamadığı bilinmektedir. Bu sebeple *Uçak* tipindeki verilerden alınan bilgilerde sadece

ivmeölçer ve jiroskop sensör bilgileri bulunmaktadır.

Veri setindeki ham veriler; *ivmeölçer, jiroskop, enlem bilgisi, boylam bilgisi, hız bilgisi, çizgisel ivmeölçer* verileridir. Bu verilerin yanında sensör verisinin ilgili zamanı ve örnekleme hızı kayıt altına alındı. Veri dosyasının içeriği Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1 Veri Dosyasının İçeriği

4.2 Verinin İşlenmesi

Mobil cihazlardan toplanmış veriler ön işleme aşamasından geçirilmiştir. Bu sayede aykırı değerler elendi. Daha sonra bulut tabanlı sunucuya aktarılan veriler üzerinde özellik çıkarımı yapılmıştır. Son olarak üretilen bu özelliklerden oluşturulan değerler harita üzerinde gösterilerek sürüş konforu, başlangıç noktasından varış noktasına kadar detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.. Bu kısımda ön işleme aşaması, özellik çıkarımı ve skorlama, haritalama olmak üzere üç ana başlıkta anlatılacaktır.

4.2.1 Ön İşleme Aşaması

Mobil cihaz üzerinden toplanan verilerde sensörlerin örnekleme hızları başlıca karşılaşılan problemlerden biri olmaktadır. İvmeölçer ve GPS algılayıcılarının Android tabanlı akıllı telefonlarda örnekleme hızları sırasıyla 10 ms ve 1000 ms olarak en hassas şekilde ölçüm yapmaktadır. Fakat yolculuk sırasında sürüş olaylarını yakalamak, hız bilgisinin de bu olaylarda ilişkisini incelemek için toplanan bütün sensör veriler 1000 ms lik pencerelere sabitlenmiştir.

Sensör verilerinde karşılaşılan bir diğer problem ise gürültüdür. Motoru aktif

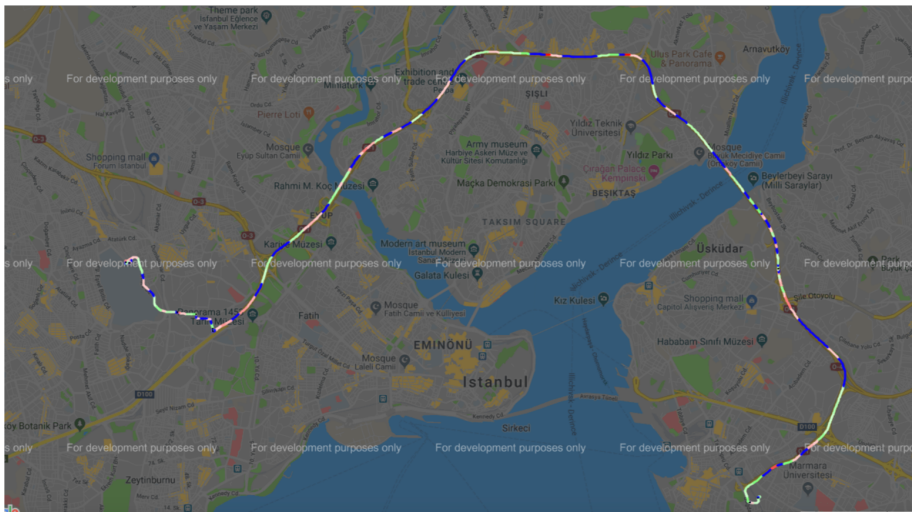
durumda olan araçlar hareket etmediği halde bile minör seviyede mekanik titreşimler oluşturmaktadır. Bu titreşimler sistemde gürültü değerlerini oluşturur. Ölçümlerin hassasiyetini arttırmak için İvme ölçer, manyetik alan ölçer gibi daha yüksek hassasiyetteki sensörlere alçak geçiren filtresi uygulanmıştır. Bu sayede duraksadığı anlarda oluşan ve aslında bize hareketlenmenin olduğunu ileten bu yanıltıcı hareketlenme bilgisi temizlenmiştir.

4.2.2 Özellik Çıkarımı ve Skorlama

Ön işleme sonucunda verilerde ortalama, standart sapma, kurtosis, skewness, karelerinin kökü ve bu değere bağlı olarak ortalama, standart sapma özellikleri gibi ilk aşamada temel istatistiksel özellikler kullanılmıştır. Bu değerlerin yanında sürüş eylemlerinin yorguluğa ve konfora etkisini açıklamak için seyir süresi, hızlanma, yavaşlama, durma sayıları ve seyir boyunca yapmış olduğu manevralar çıkartılmıştır. Tablo A.2'de sistem çıkartılan özellikler gösterilmektedir.

4.2.3 Haritalama

Üretilen konfor puanı ve özellikler, bir harita üzerinde renk paleti kullanılarak işaretlenmiştir. Haritalama için Google Maps API [71] kullanılmıştır. Yapılan ilk haritalama çalışması Şekil 4.2'de görüldüğü gibi veri setinden alınan herhangi bir seyir verisi harita üzerindeki sürüş eylemleri işaretlenmiştir. Buradaki haritaya göre mavi renk tonundakiler sabit hızla gidilen yolları göstermektedir. Kırmızı ve yeşil tonları yavaşlama ve hızlanmayı temsil etmektedir. Bu renklerdeki ton farkına göre ilgili sürüş eyleminin ne şiddette gerçekleştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.2 Sürüş Aktivitelerinin Haritalanması

4.2.4 Skorlama

Literatür taramasında sürüş konforu alanında yapılan çalışmaların bir sonucu objektif bir şekilde sürüşleri değerlendirmektir. Skorlama; Tasarıma ve formülasyona bağlı verilen girdilerin sistem tarafından yorumlanmasıdır. Bu noktada tarafsız bir şekilde "değerlendirme" eylemini gerçekleştirmek için skorlamanın devreye girmesi gereklidir. Bu çalışmamızda 250 ve üzeri sürüş verisi incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda ideal sürüş verileri tespit edilmiş ve bu verilerin ışığında bir formül geliştirilmiştir. Bu formüle göre konforsuz bir sürüş 0 (sıfır) puan alacakken, konforlu bir sürüş 100 ve üzeri bir puan almaktadır.

Skorlama formülü geliştirilirken aracın fiziksel parametreleri ve hava durumu gibi çevresel etmenler dahil edilmemiştir. Bu faktörler çıkartıldığında ortaya sadece sürüş etkinlikleri kalmaktadır. Skorlamamızda sürüş etkinlikleri ve bu etkinliklerin gerçekleşen seyir üzerindeki frekansı hesaba katılmıştır. Skorlamanın bir diğer altyapısını Denklem 3.6' de görülen ve ISO 2631 sürüş konforu analizinde kullanılan formül oluşturmaktadır.

Sensör toplamaya başlayan sistem aracın hareketinden bağımsız çalışmaya devam etmektedir. Sistem, hareket halindeyken veri topladığı gibi araç duruyorken de veri toplamaktadır. Aracın durduğu dilimlerde oluşan kuvvetin değeri Denklem 4.1'deki formülden çıkartılması gereklidir. Çünkü araç durduğunda veri toplayan cihaz, motorun çalışmasından ötürü araçta oluşan titreşimleri toplayacaktır. Fakat bu noktada hareketlenme olmadığı için sonuca gürültü olarak yansımaktadır. Oluşan gürültünün elenmesi için Denklem 4.2'de görüldüğü gibi aracın durduğu noktalarda oluşan kuvvetler çıkartılmıştır.

$$a_{hesaplanan} = \sqrt{(1.4a_t^x)^2 + (1.4a_t^y)^2 + (a_t^z)^2} - \sqrt{(1.4a_{stop}^x)^2 + (1.4a_{stop}^y)^2 + (a_{stop}^z)^2} \tag{4.1}$$

Denklem 4.2' de görüldüğü gibi boylamsal(ax), yanal(ay) ve dikey(az) eksenler dikkate alınmıştır. Bu eksenler geliştirdiğimiz skorlamada farklı sürüş eylemleri için parçalı olacak şekilde dikkate alındı. Öncelikle skorlamaya İdeal Konfor Skoru ismi verildi. Bu skorun bir parçası olan IDEAL_KONFOR sayısı, Denklem 4.3' de gösterildiği gibi dört farklı katsayının toplamından oluşmaktadır.

$$a_{ideal_konfor} = a_{hizlanma} + a_{yavaslama} + a_{yanal} + a_{sabit_hizlanma} \tag{4.2}$$

Bütün sürüş etkinliklerinin ortak özelliği hepsinin tekerlekli seyir araçlarıyla bu aksiyon gerçekleştiği için zeminle temas halinde bulunmasıdır. Bu sebeple sürüş etkinliklerine bağlı bütün hesaplamalarda dikey eksen mecburen dahil edilmiş ve ideal konforun hesabı için dikey eksende kullanılan katsayı (a_z) 0.1575 [72] kullanılmıştır.

Bu formül işletilmesinin hemen öncesinde sürüş verisi üzerinde hızlanma, yavaşlama ve manevraların yapıldığı alanlar işaretlenmiştir. Bu işaretler saniyelik pencerelere uygulanmıştır. Hızlanma durumu ele alındığında seyir sırasındaki Xu ve Yang' ın çalışmasındaki ivmelenme katsayı aralıkları dikkate alınmıştır. Bu katsayı aralıklarına göre hızlanma sürüş olayları için katsayı değeri 0.25 alınmıştır. Bu değere göre hızlanma için formül Denklem 4.3' daki gibidir.

$$\begin{aligned} a_{hizlanma} &= (\sqrt{a_{xh}^2 + a_z^2}) * hizlanma_frekansi \\ a_{xh} &= 0.25 \\ a_z &= 0.1575 \end{aligned} \tag{4.3}$$

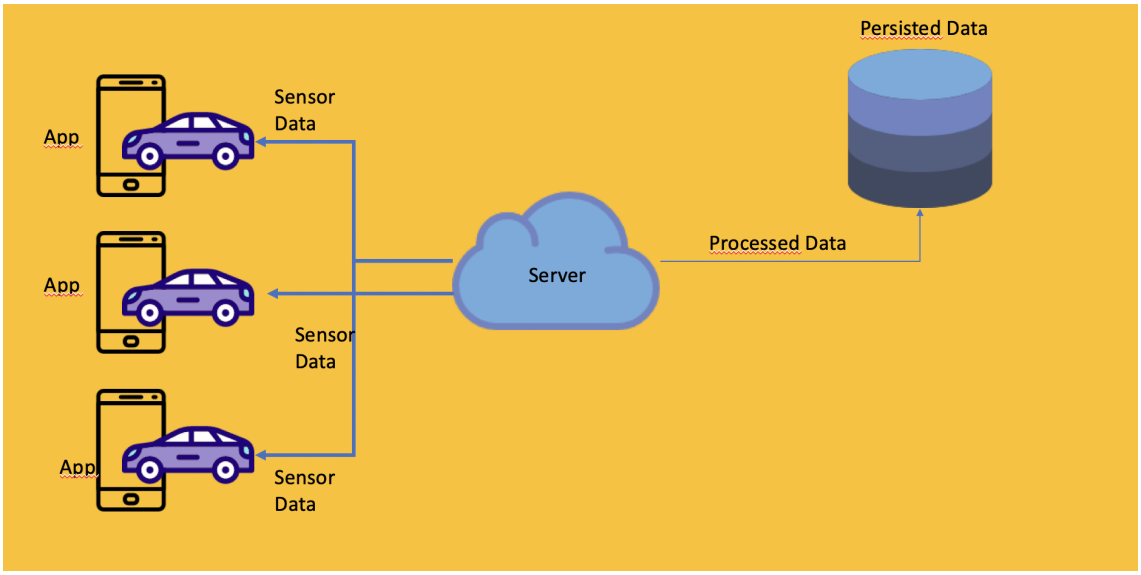
Aynı şekilde yavaşlama durumu, hızlanma durumu gibi aynı eksende gerçekleşen bir sürüş aktivitesi olup tek farkı hareketlenmeden ötürü oluşan kuvvetin vektörü ters yönde oluşmaktadır. Vektörün yönü formülde hesaba katılmadığı için Denklem 4.4' de gösterilen ve hızlanmadaki gibi bir alt formül kullanıldı ve katsayı değeri olarak 0.325 sayısı kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} a_{yavalama} &= (\sqrt{a_{xy}^2 + a_z^2}) * yavaslama_frekansi \\ a_{xy} &= 0.325 \\ a_z &= 0.1575 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Manevra durumlarında yanal vektörler işin içine girmektedir. Bu yüzden boylamsal vektörlerin oluşturduğu kuvvetler dahil edilmemiştir. Denklem 4.5' da belirtildiği gibi sadece yanal ve dikey vektörler kullanılmıştır. Yanal vektörler için kullanılan katsayı değeri 0.412 olarak alınmıştıra

4.3 Sistem Mimarisi

Bu kısımda kitle kaynaklı sürüş verisi toplayan ve sürüş konforunu analiz eden sistemin genel işleyişi ve kullanılan teknikler anlatılmıştır.



Şekil 4.3 Genel Sistem Mimarisi

Sistem, istemci-sunucu mimarisinde çalışmaktadır. Sistemdeki istemciler akıllı mobil cihazlardan oluşmaktadır. Cihazlardan toplanan veriler bulutta çalışan bir sunucuda işlenmekte ve sonuçları üretilmektedir.

4.3.1 Mobil Uygulama Mimarisi

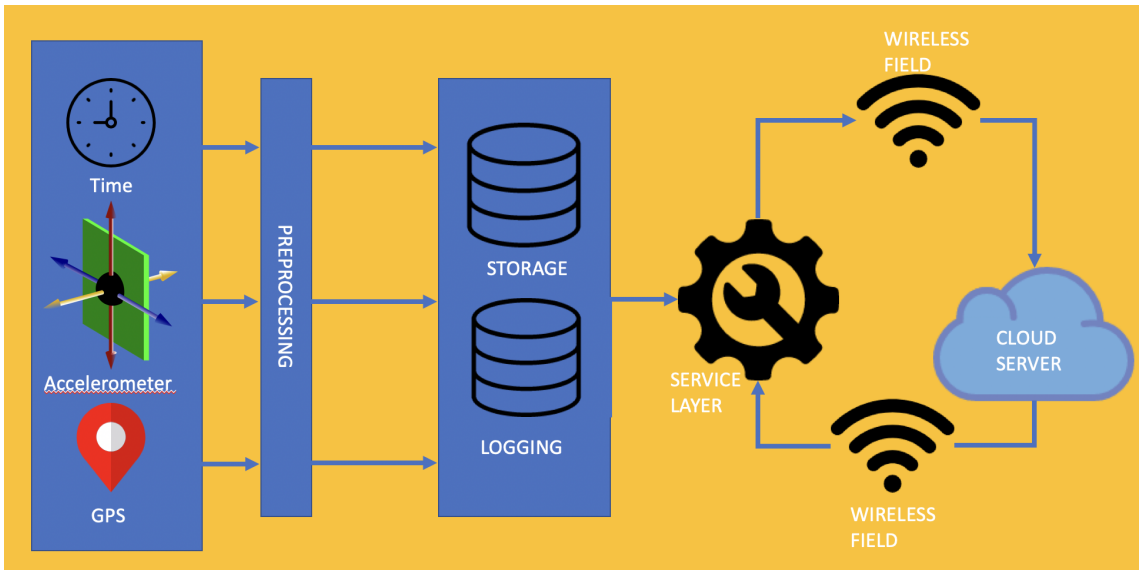
Mobil cihaz üzerindeki hareket sensörlerini ve konum sensörünü kullanarak yolculukla ilgili bilgileri toplar. Mobil cihaz olarak Android tabanlı akıllı telefonlar kullanılmıştır. Bu cihazlar üzerinde kullanılan sensörler aşağıda listelenmiştir.

- İvmeölçer
- Jiroskop
- Küresel Konumlayıcı Sensör (GPS)

Mobil cihazdaki uygulama, kullanıcının tetiklemesiyle sensör bilgilerini toplamaya başlar. Cihazda ivmeölçer ve jiroskop tek bir entegre donanımda ve 10 ms lik örnekleme hızıyla çalışmaktadır. Konum için kullanılan sensörde ise 1 sn lik örnekleme hızıyla veri toplanmaktadır.

Aracın motoru aktif haldeyken oluşturduğu mekanik titreşimler aykırı değerler üretmektedir. Bu değerlerin elenmesi 0.3 cut-off frekans değerine sahip bir alçak geçiren filtre uygulanmıştır [10].

Toplanan veriler mobil cihazdaki depolama ünitesinde saklanmıştır. Cihazın

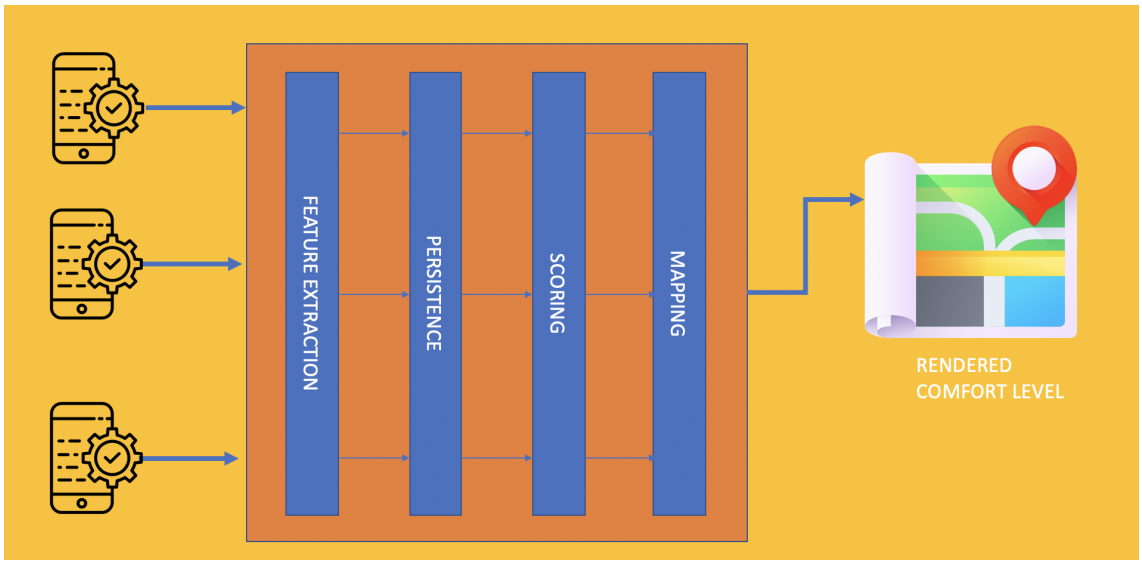


Şekil 4.4 Mobil Cihaz Üzerinde Çalışan Veri Toplama Mimarisi

enerjisini verimli kullanması için toplanan veriler, telefonun şarj edildiği ve internet bağlantısının olduğu durumlarda bulut sunucuya aktarılmıştır.

4.3.2 Bulut Tabanlı Sunucu Mimarisi

Mobil uygulamadan gelen verileri kabul etmek ve bu veriler üzerinde sürüş konforuna dayalı özellikler çıkarmakla yükümlüdür. Bulut mimarisi sayesinde veriler, sunucu sistemi sağlayıcısının en yakın veri merkezine veri gönderir. Bu sayede ağ üzerinde oluşan gecikme değeri en aza iner.



Şekil 4.5 Bulut Sunucuda Çalışan Veri İşleme Mimarisi

Sunucuda Python diliyle yazılmış bir FTP uygulamasına veriler gönderilir. Verilerin iletilmesinden sonra yine aynı dilin Pandas kütüphanesiyle yazılmış veri analizi

betikleri çalışmaya başlar ve konfor analizi yapılması için gereken özellikler çıkartılır. Özellik çıkarımı sonunda veriler geriye dönük verilerin işlenmesi ve haritalama için bir mongoDB de saklanır.

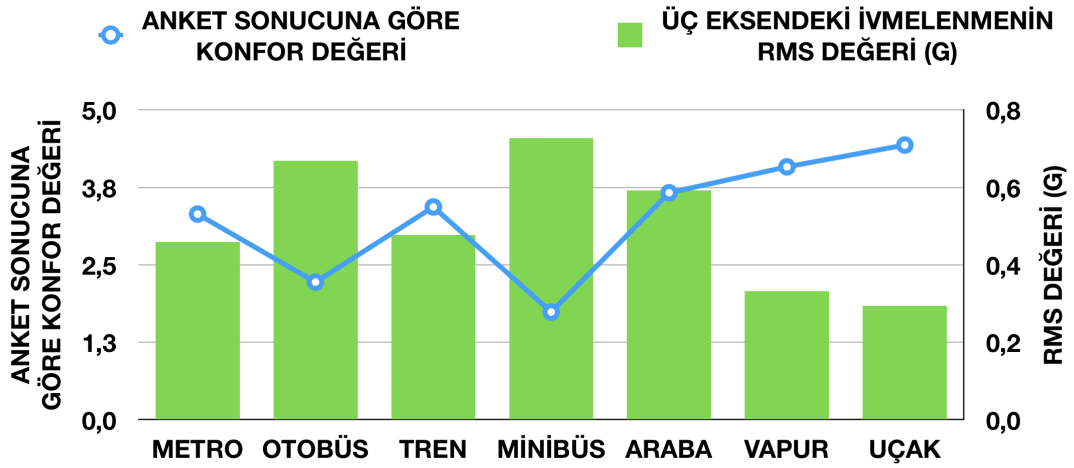
5
Deneysel Sonuçlar ve Çıkarımlar

Sürüş örnekleri İstanbul ilinin farklı lokasyonlarında alınmıştır. Örnekler alınırken tezin kapsamı gereği farklı türdeki taşıt tipleriyle veriler toplanmıştır. Kitle kaynaklı uygulamadan elde edilen 254 adet sürüş örneği içinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu incelemelerin sonucunda oluşan çıktılar beş farklı başlık altında toplanmıştır.

5.1 Ulaşım Tipleri Arasında Yorgunluk Analizi

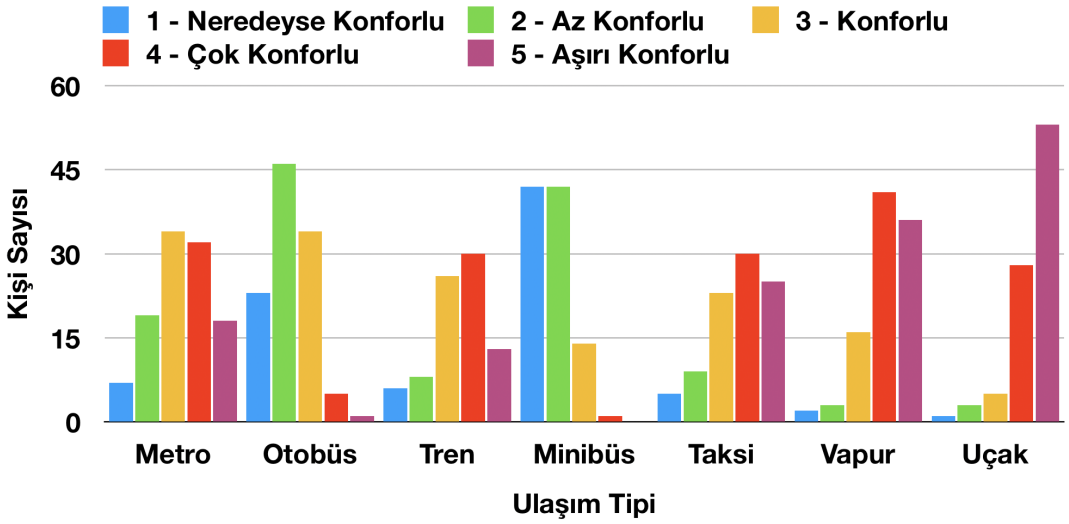
Araçların fiziksel özellikleri ulaşım tiplerine göre farklılaşmaktadır. Bu sebeple binek taşıtlar için ulaşım konforunu analiz ederken elde edilen değerler ile toplu taşıma için kullanılan taşıtlarda elde edilen değerler farklılaşmaktadır. Bu kısımda farklı taşıt tiplerinin ulaşım konforuna etkisi incelenmiştir.

Yapılan incelemelerde Şekil 5.1'de görüldüğü gibi ulaşım konforundan en fazla uzak olan taşıtın toplu taşıma otobüsleri olduğu incelemeler sonucunda tespit edilmiştir. Anket çalışmasıyla da sistemin ulaştığı bu sonuç desteklenmiştir.



Şekil 5.1 Ulaşım Tiplerinin Konfor Seviyeleri

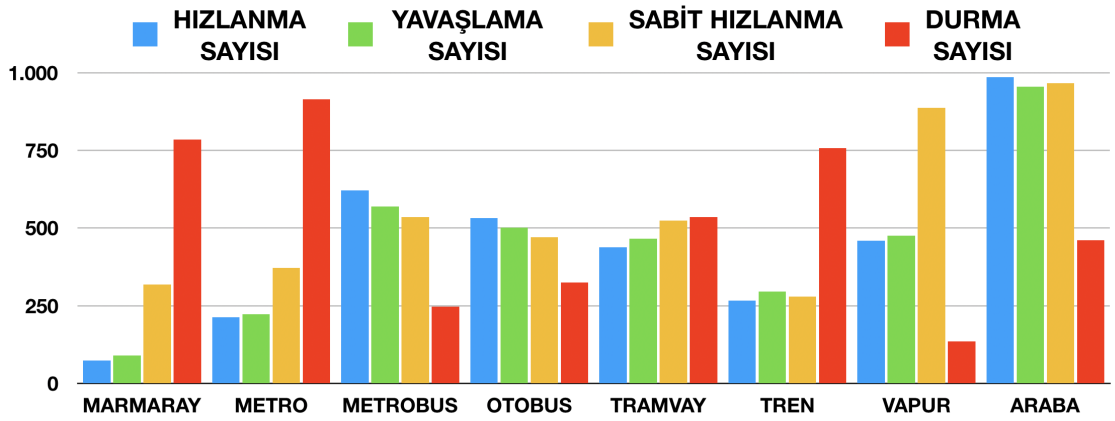
Yapılan anket çalışmasında katılımcıların "*Yolcu olarak gerçekleştirdiğiniz seyahatlerde kullandığınız ulaşım araçlarını 1-5 arasında puanlayabilir misiniz?*" sorusu ulaşım konforunun araç tiplerine göre değişiminin yolculardaki nasıl algılandığı cevabı aranmıştır. Bu soruya verilen cevaplar Şekil 5.2'deki gösterilmektedir. Şekil 5.2'de belirtildiği gibi uçak ulaşım tipi kişilerin algısında ulaşım konforu en yüksek taşıt tipi olarak belirlenmiştir. Bu cevaplarla beraber Şekil 5.1'de objektif bir biçimde uçağın ulaşım konforu en yüksek olan bir taşıt olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.2 Anket Sonuçlarına göre Ulaşım Tiplerinin Konfor Seviyeleri

Uçaklara göre ulaşım konforunun en düşük olduğu ulaşım tipi otobüslerdir. Yapılan incelemelere göre otobüslerin daha çok yorucu olmasındaki sebep şu şekilde açıklanmıştır. Hızlanma, frenleme gibi boylamsal eksende gerçekleşen sürüş aktiviteleri sürekli ivmelenmeye neden olmuştur. Bu aktiviteler otobüslerde, diğer taşıt tiplerine göre daha sık gerçekleşmiştir. Hızlanma ve frenleme olaylarının aksine Şekil 5.3'de görüldüğü gibi durma ve sabit hızlanma sürüş aktiviteleri, vapur ve metro taşıt tiplerinde daha fazla olduğu görülmüştür. Bu iki taşıt tipinde ulaşım konforu analiz edildiğinde diğerlerine göre ulaşım konforunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Binek arabalarda da durma ve sabit hızlanma olayları yüksek ölçülmüştür. Fakat bu tipteki araçlarda hızlanma, yavaşlama olayları daha sıklıkla oluştuğu için ulaşım konforu diğer ulaşım tiplerine göre daha düşük ölçülmüştür.

Uçak ulaşım tipi, otobüse göre yaklaşık %130 konforlu olduğu ölçülmüştür. Bunun yanında ulaşım tiplerinin konfor seviyesine göre birbirlerinden ne kadar farklı olduğu Tablo 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Sürüş Olaylarının Ulaşım Tiplerine Dağılımı

Tablo 5.1 Ulaşım Tiplerinin Birbirlerine göre Yüzdesel Olarak Konfor Farklılığı

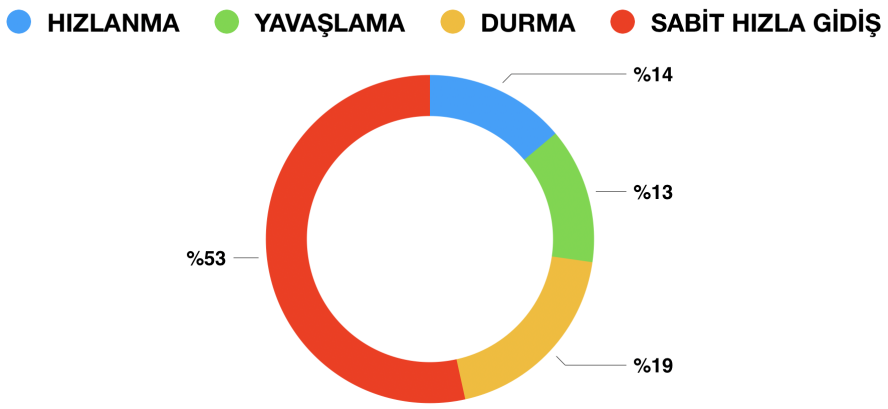
	MARMARAY	METRO	METROBÜS	OTOBÜS	TRAMVAY	TREN	UÇAK	VAPUR	ARABA
MARMARAY	-	5,83	81,03	99,58	-2,32	30,93	-15,57	-4,36	63,16
METRO	-5,83	-	70,47	87,94	-8,02	23,30	-22,73	-10,83	53,64
METROBÜS	-81,03	-70,47	-	10,25	-85,33	-38,26	-109,22	-88,93	-10,96
OTOBÜS	-99,58	-87,94	-10,25	-	-104,32	-52,43	-130,66	-108,29	-22,32
TRAMVAY	2,32	8,02	85,33	104,32	-	34,05	-12,89	-1,90	67,04
TREN	-30,93	-23,30	38,26	52,43	-34,05	-	-51,33	-36,65	24,61
UÇAK	15,57	22,73	109,22	130,66	12,89	51,33	-	10,74	88,57
VAPUR	4,36	10,83	88,93	108,29	1,90	36,65	-10,74	-	70,27
ARABA	-63,16	-53,64	10,96	22,32	-67,04	-24,61	-88,57	-70,27	-

5.2 Sürüş Olaylarının Yorgunluğa Etkisinin İncelenmesi

Sürüş olayları; hızlanma, yavaşlama, sabit hızla gidiş, durma, dönüşler olmak üzere beş farklı şekilde ele alınmıştır. Ulaşım gerçekleşirken konforun ulaşım sırasında nasıl değiştiği bu kısımda açıklanmıştır. Buradaki çıkarımlar İstanbul şartlarında binek arabayla yapılan 55 adet seyirden toplanmıştır. Bu seyirler ortalama 37,5-60 dakika aralığında sürmüştür.

Sabit hızla gidilen kısımlar seyir sırasında konforu bozan, Elbanhawi' nin çalışmasında [14] belirtildiği gibi yüksek frekans, düşük etkenli bir faktördür. Ortalama 40 dakikalık binek araba yolculuğunda Şekil 5.4' de görüldüğü gibi ulaşımın %53' lik kısmının sabit hızla gidiş ulaşım aktivitesiyle oluştuğu incelenmiştir. Seyirlerde sabit hızla gidildiği belirlenen pencereler analiz edildiğinde bu pencerelerde hesaplanan ortalama kuvvetin 0,3268 G olduğu belirlenmiştir. Tablo 5.1' de gösterildiği gibi hızlanma ve yavaşlama sürüş aktiviteleri sabit hızlanmalara göre yüksek etkenlidir. Fakat sabit hızla gidilen noktalar diğerlerinde Şekil 5.3' de gösterildiği gibi daha çok oluşmuştur. Bu sebeple bir yolculuktaki ortalama kuvvet değerinin büyük çoğunluğunu sabit hızlanma sürüş aktivitesi oluşturmuştur.

Sabit hızla oluşan kuvvetlerin yolcular tarafından hissedilmesi, hızlanma ve yavaşlama sürüş aktivitelerine göre daha azdır. Hareket halindeki aracın oluşan fiziksel



Şekil 5.4 Bir Seyirde Gerçekleşen Sürüş Aktivitelerinin Dağılımı

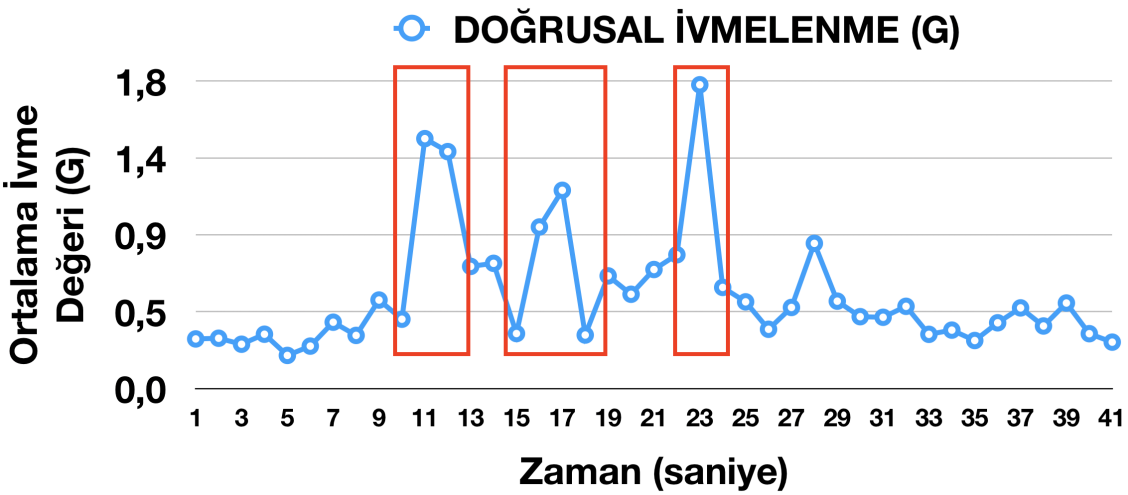
Tablo 5.2 Ortalama Bir Yolculukta Sürüş Olaylarının Oluşturduğu Toplam Kuvvetler

	Toplam RMS (G)	**Ortalama RMS (G)**	**Ortalama RMS Fark (%)**
Hızlanma	152,85	0,42	35
Yavaşlama	142,48	0,45	45
Sabit Hızla Gidiş	616,16	0,31	-

titreşimleri azaltması için kullandığı iç ekipmanlar, yol kalitesi ve aracın mevcut hızı bu hissedilebilirliği etkilemektedir.

Yavaşlama sürüş aktivitelerinde oluşan kuvvetler, hızlanma sırasında oluşan kuvvetlere göre 6.2% daha fazla olduğu ölçülmüştür. Çünkü sürücü, kontrolü anlık olarak kaybettiği durumlarda toparlamak için sıklıkla frenleme yapmaktadır. Bu frenleme ani hız kaybına neden olduğu için araç üzerinde yüklü miktarda kuvvet oluşturmaktadır. Yavaşlama sırasında Şekil 5.5' deki gibi boylamsal doğrultuda(a_x) gözle görülür bir şekilde ivmelenmede değişim gözlemlenmiştir.

Manevralar aracın etkili bir şekilde ivmelenmesini değiştirecek Şekil 5.6'daki gibi bir karakteristiğe sahip sürüş aktivitesidir. Manevra sırasında boylamsal eksendeki ivmelenmenin değişimi Tablo 5.2'de görüldüğü gibi on saniyelik seyirden alınan bir örnekte 2 katına kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Karşılaştırma yapılırken bu on saniyelik örneğin ortalaması referans alınmıştır. Görüldüğü gibi manevra sürüş aktivitesi eylemi gerçekleşmeden hemen önce, sırasında ve sonrasında ortalama kuvvet 0,36029 G olarak ölçülmüştür. Manevra gerçekleştiği zaman bu üç hareket eksenindeki ortalama kuvvet 0,07-0,35 G aralığında oluşmuştur. Bu yüzden manevra sırasında araca etki eden kuvvet iki katına kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu inceleme yapılırken manevranın gerçekleştiği yolun da etkisi önemli olduğu düşünülmektedir. Manevranın süresi, eylem sırasında yapılan dönüşün açısal büyüklüğü bu kuvvetin oluşumunda



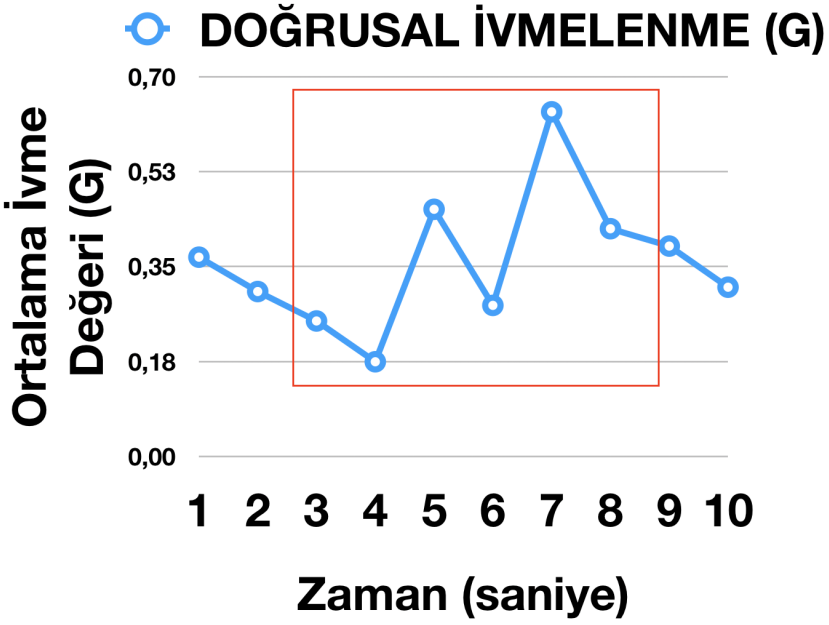
Şekil 5.5 Yavaşlama Sırasında İvmelenmedeki Değişim

etkisi bulunduğu düşünülmektedir. Değişimin negatif, pozitif olması aracın boylamsal eksendeki hareketiyle ilgilidir.

Tablo 5.3 Seyir Sırasında Manevranın Gerçekleşmesi

Saniye	Ortalama İvme	Anlık Ortalama İvme (G)	Değişim	Manevra Gerçekleşmesi
1	0,36029	0,30408	-0,0634	0
2	0,36029	0,24982	-0,0543	0
3	0,36029	0,17462	-0,0752	1
4	0,36029	0,45569	+0,2811	1
5	0,36029	0,27856	-0,1771	1
6	0,36029	0,63540	+0,3568	1
7	0,36029	0,41988	-0,2155	0
8	0,36029	0,38789	-0,0320	0
9	0,36029	0,31208	-0,0758	0
10	0,36029	0,37767	+0,0656	0

Aracın boylamsal eksende yaptığı sürüş aktiviteleri, Şekil 5.7'daki ivmeölçer sensöründen alınan altı saniyelik seyir verileriyle açıkça belli olmuştur. Şekil 5.7'ye bakıldığında üç etkinliğin herhangi bir ikisi arasında karşılaştırma yaptığımızda aralarında ayırt edilebilir farklılıkların oluştuğu görülmüştür. Araç, hızlanma durumunda sabit hızla gitmeye göre ivmelenmesinde daha değişken olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda yavaşlama durumu, hızlanma kadar değişken olup hızlanmaya göre bu değişimin şiddetinin yavaşlamaya göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



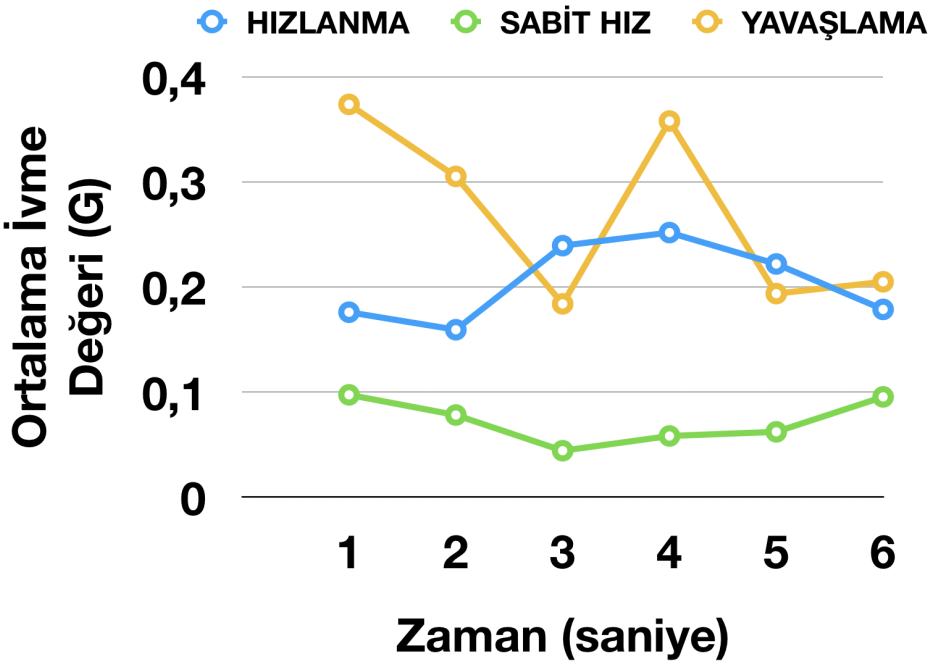
Şekil 5.6 Manevra Sırasında İvmelenmedeki Değişim

$$\frac{adet_{hizlanma} + adet_{yavaslama}}{adet_{hizlanma} + adet_{yavaslama} + adet_{manevra}} \tag{5.1}$$

Sürüş aktivitelerinin oranları Şekil 5.8'deki gibi kendi içlerinde karşılaştırıldığında yüksek ulaşım konforu deneyimine sahip sürüşlerde hızlanma ve yavaşlama sürüş aktiviteleri daha düşük oranda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. İlgili incelendiğinde X ekseni, seyirlerin sonucunda elde edilen konfor skoruna denk gelmektedir. Bu eksende sağa doğru gidildikçe seyirlerin konfor skorunun arttığı ve bu sebeple ulaşım konforu seviyesi arttığı görülmektedir. Y ekseni ise bu seyirlerde gerçekleşen boylamsal sürüş aktivitelerinin (hızlanma, yavaşlama) toplam sürüş aktivitelerine (hızlanma, yavaşlama, sabit hızla gidiş, manevralar) oranını göstermektedir. Denklem 5.1'de bu oranın nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

Sabit sürüş aktivitelerinin(durma, duraksama) ulaşım konforuna doğrudan etkisi olduğu incelenmiştir. Şekil 5.9'de görüldüğü gibi sabit sürüş aktivitelerinin fazla olduğu seyirlerde ulaşımın daha konforlu geçtiği incelenmiştir. Burada gerçekleşen etkinlikler ortalama 40 dakikalık ve binek araba ile gerçekleşen sürüşlerden elde edilmiştir.

Yapılan anket çalışmasında ilgili soruya verilen cevabın bu çıktıyı desteklediği görülmüştür. Anket çalışmasındaki "*Ulaşım sırasında aşağıdaki sürüş aktivitelerinin yorgunluğuna etkisini 1-5 arasında puanlayabilir misiniz?*" sorusuna verilen cevaplarda



Şekil 5.7 Sürüş Etkinliklerine Bağlı Olarak İvmelenmedeki Değişmeler

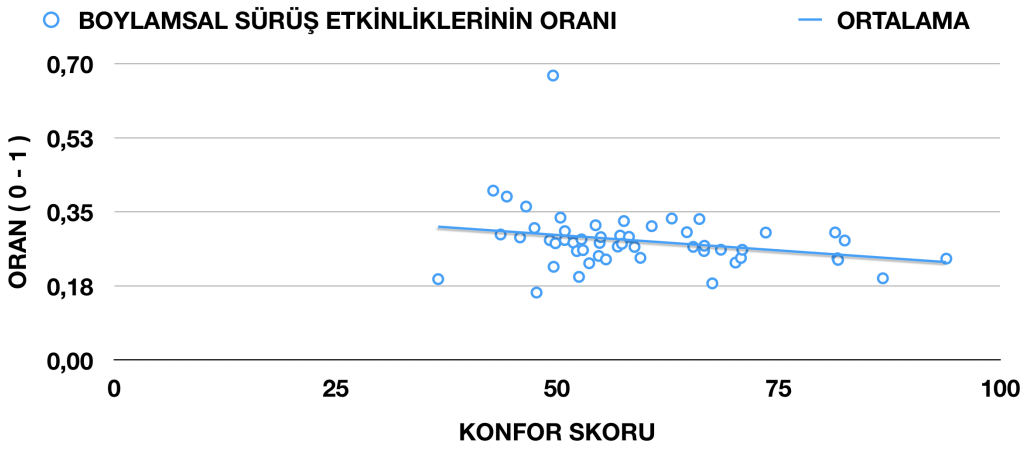
bu görüşü desteklemektedir. Katılımcıların Şekil 5.10'a de görüldüğü gibi en fazla "Sabit Hız" sabit hızlanma sürüş aktivitesine vermiş olduğu oy ile algısal olarak bu eyleminin ulaşım konforunu sağlayan en etken sürüş aktivitesi olduğu gözlemlenmiştir ve Şekil 5.9'u desteklemiştir.

5.3 Yol Kalitesinin Yorgunluğa Etkisinin İncelenmesi

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi her bir eksenden araca kuvvetler etki etmektedir. Üçüncü eksen olarak çalışmada kabul ettiğimiz Z ekseninde oluşan kuvvetler yol kalitesinin ulaşım konforuna nasıl etki ettiği hakkında detaylı bilgi vermiştir.

Yol kalitesinin ulaşım konforuna etkisini incelemek için yolculuk boyunca oluşan toplam kuvvet değerinin dikey ve boylamsal eksenler tarafından ne kadar oluşturulduğu incelenmiştir. İstanbul'da binek araba ile yapılan yolculuklarda etkisi altında kalınan kuvvetlerin ortalama %76'sı dikey eksenden oluşan kuvvetlerden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Bu eksendeki kuvvetlerin temel sebepleri yolun durumu ve buna bağlı aracın hızlanma durumudur.

Elde edilen bir diğer çıkarım ise Şekil 5.13'deki korelasyon matriksinde görüldüğü gibi yolculuk sırasında ortalama hız arttıkça yol tarafından oluşan kuvvetlerin toplam seyir kuvvetine oranı azaldığı gözlemlenmiştir. Bu olayın ana sebebi ilgili çalışmada [73]



Şekil 5.8 Boylamsal Sürüş Etkinliklerinin Yüksek Konforlu Seyirlerdeki Değişimi

açıklandığı gibi hareket sırasında hız arttıkça sürtünme katsayısının azalması ve buna bağlı olarak dikey eksende araca daha az kuvvet etki etmesidir.

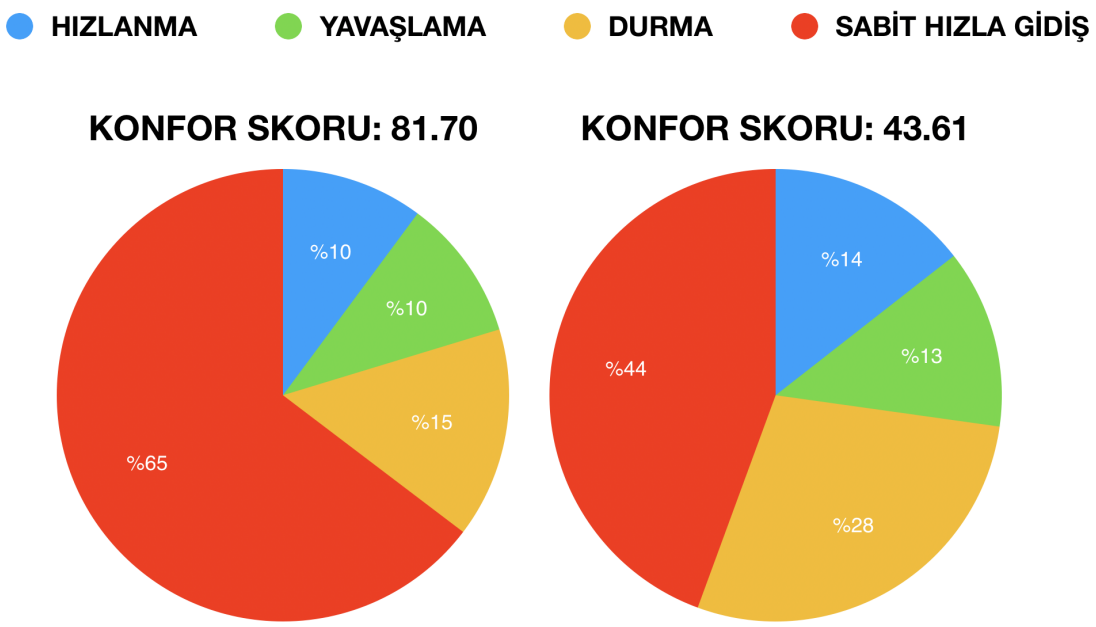
5.4 Hız Bilgisinin Yorgunluğa Etkisinin İncelenmesi

Bu kısımda hızı incelerken aracın ulaşım sırasında farklı aralıklarda ulaşım konforunu, oluşan kuvvetleri nasıl etkilediği anlatılmıştır.

Ortalama hız bilgisiyle ulaşımın konforu hakkında ters bir orantı söz konusudur. Binek araçlarla yapılan testlerin hepsi incelendiğinde Şekil 5.14'de görüldüğü gibi düşük hızla gerçekleşen ulaşımların daha konforlu olduğu analiz edilmiştir. Binek araçlarla yapılan testlerin sonucunda ortalama hızı 100 km/sa ile 50 km/sa arasında gerçekleşen seyirlerde konfor skoru 25-50 aralığında dağılmıştır. Bunlara nispeten yüksek ulaşım konforunda olan 75-100 puanlık konfor skoruna sahip seyirler için ortalama hız değeri 55-10 km/sa aralığında gerçekleşmiştir.

Seyir bazında inceleme yapıldığında hız dağılımının düşük ulaşım konforuna sahip bir yolculukta Şekil 5.14'deki gibi %30 oranında 20-40 km/h hızın oluşturduğunu, yüksek konforlu yolculuklarda ise bu aralığın Şekil 5.15'deki gibi 0-20 km/h olduğu gözlemlenmiştir. Birçok seyirden elde edilen değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.16'da görüldüğü üzere yüksek hızlarda ivmelenme yüksek olduğu gözlemlenirken düşük hızlarda düşük ivmelenme değerleri gözlemlenmiştir. Bu yüzden yüksek hızlarda oluşan ivmelenme sonucunda yorgunluğun daha çok oluştuğu tespit edilmiştir.

Yolculukta hızı etkileyen başlıca etmenleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.



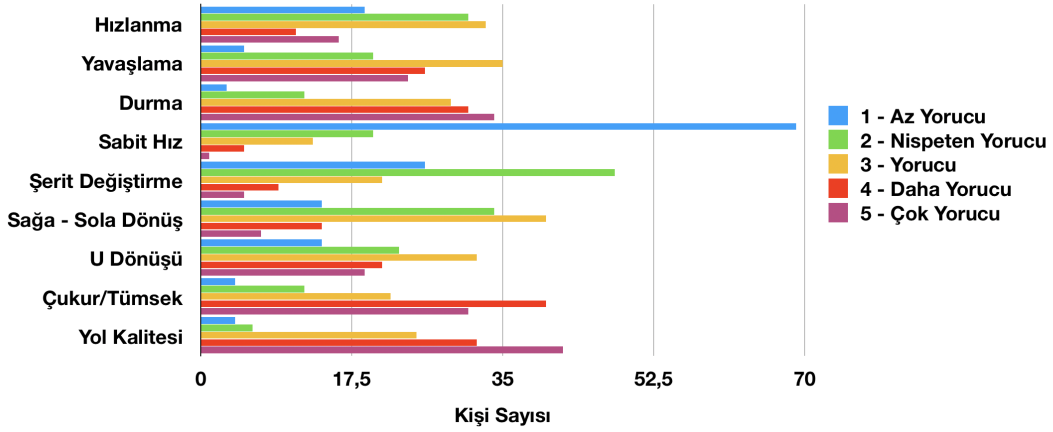
Şekil 5.9 Sürüş Olaylarının Konfora Göre Dağılımı

- Manevralar
- Yol Kalitesi

Aracın yaptığı manevralar şerit değiştirme ve dönüşler olmak üzere kendi içinde iki alt sürüş hareketiyle tanımlanmaktadır. Araçlar, sürüş güvenliğini tehlikeye atmayacak ve seyir konforunu bozmayacak şekilde manevra yapması için düşük hızlarla manevrayı gerçekleştirmesi gereklidir. Normal bir araba için manevra durumlarındaki hız değişimi ve buna bağlı oluşan toplam kuvvet Tablo 5.4'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Manevranın Ortalama Kuvvete Etkisi

Saniye	**Hız (km / s)**	**RMS (G)**	**Manevra Gerçekleşmesi**
1	**36,71**	0,959	0
2	**36,05**	1,049	0
3	**34,72**	1,527	0
4	**32,41**	1,041	0
5	**29,91**	1,599	1
6	**25,67**	2,150	1
7	**23,36**	1,750	1
8	**20,65**	0,655	1
9	**18,07**	0,781	0
10	**16,61**	1,263	0



Şekil 5.10 Anket Sonuçlarına göre Sürüş Olaylarının Konfora Göre Dağılımı

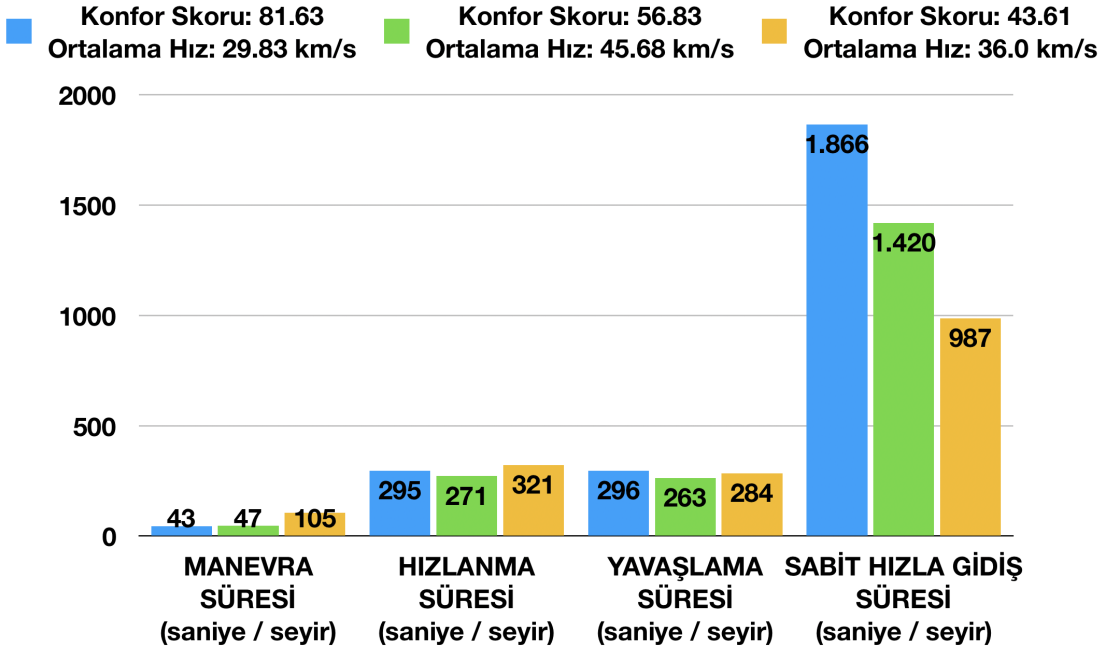
Tablo A.1'de belirtildiği gibi hıza bağlı ortalama ivmelenme değerleri bu şekilde oluşmuştur.

5.5 Anket Çalışması ve Konfor Puanı

Analizlerin yanında anket çalışması sayesinde sürüş konforunun kişiler tarafından nasıl algılandığı sorusuna cevap aranmıştır. Anketin sonucu sistemden sağlanan verilerle orantılıdır. Konfor skoru yüksek seyirlerin içinde sabit hızla gidilen aktivitelerin daha çok olduğu ölçülmüştür. Bu veriyi ankette sorulan "*Ulaşım sırasında aşağıdaki sürüş aktivitelerinin yorgunluğuna etkisini 1-5 arasında puanlayabilir misiniz?*" sorusuna verilen cevaptan elde edilen puanların ortalamasına bakıldığında 1.7'lik değer ile *Sabit Hızlanma* cevabı desteklemektedir. Şekil 5.17'de bu soruya verilen cevapların ortalaması gösterilmektedir. Katılımcılar şıklara bir ile beş arasında puan vermiştir. Seçenekler puanlarla çarpılıp toplam katılımcı sayısına bölündüğünde sorunun puanı ortaya çıkmaktadır.

Bu sorunun bir başka çıktısı ise yol kalitesinin algıda en çok yorgunluğa neden olan sürüş aktivitesidir. Sistem tarafından okunan verilerde ise seyir sırasında oluşan kuvvetlerin büyük bir çoğunluğu yoldan kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Katılımcılar yol kalitesinden sonra durma aktivitesinin de yorgunluğa fazla etken olduğunu belirtmektedir. Fakat yaptığımız çalışmada durma olaylarının konfora somut bir katkısı olduğunu açıklayamıyoruz.

Literatüre göre önemli bir başka çıktı ise skorlama yapısıdır. Sürüş konforu değerlendirilirken objektif olmayı ve bu durumu bilimsel dayanaklarla anlatmak için ulaşım tipinden bağımsız bir sürüş konfor skorlama formülü yayınlanmıştır.

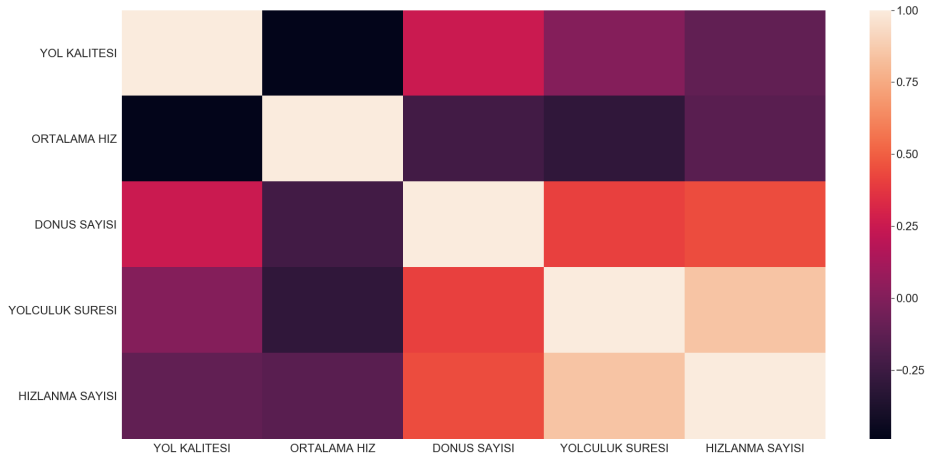


Şekil 5.11 Sürüş Etkinliklerinin Konfor Skoruna Göre Dağılımı

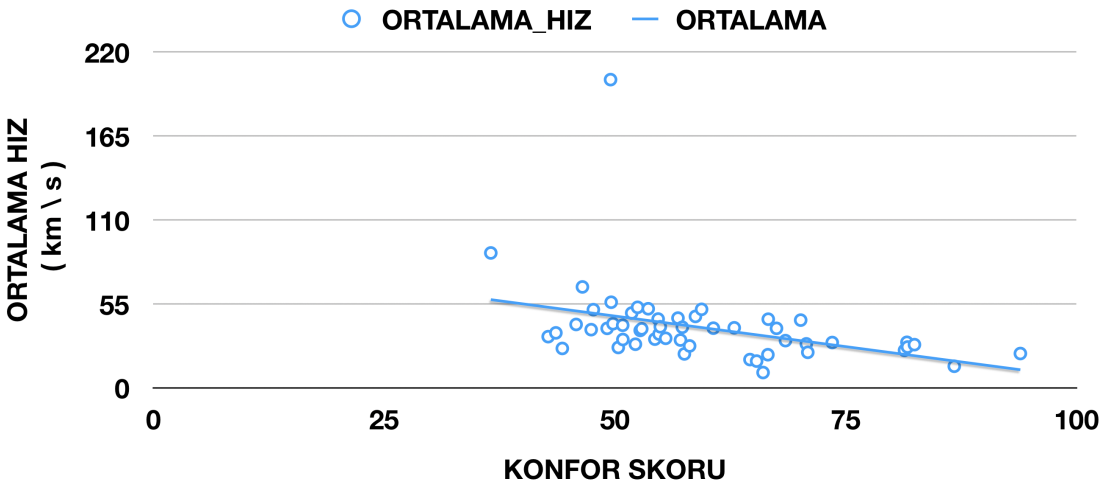
Binek araba ile yapılan seyirlerin sonucunda oluşan konfor puanları Tablo A.4'de yer almaktadır. Puan verisinin yanında seyrin gerçekleştiği süre dakika tipinde verilmektedir. Bu seyirlerde aracın aldığı ortalama kuvvet cinsi G türünde belirtilmiştir. Varılan bir başka sonuç ise sürüş etkinliklerinden bağımsız olarak konforlu sürüşlerde alınan etkisi altında kalınan ortalama kuvvet daha az miktardadır. Diğer bir sonuç ise zaman dilimi ile ilgilidir. Öğlen gerçekleştirilen seyirleri sabah ve akşam gerçekleştirilen seyirlere göre daha konforlu olduğu tespit edilmiştir. Uyku hali ve fiziksel yorgunluk durumları göz önüne alındığında sabah ve akşam vakitlerinde sürüş kalitesinin düşük olduğundan yola çıkılarak öğlen yapılan seyirlerin daha kaliteli olduğu ve bunun sürüş konforuna doğrudan yansıdığı görülmüştür.

Sürüş kalitesinin konfora doğrudan etkili olduğunu Tablo 6.1'e bakarak söylenmektedir. Bu tabloda aynı rota ve farklı zaman dilimlerinde yapılan seyirler gösterilmiştir. Konfor puanına göre sıralama yapıldığında aynı rotada ortaya çıkan durum; Hızlanma ve yavaşlama durumlarında oluşan ortalama kuvvetlerin konfor puanıyla orantılı olmasıdır. Buradaki ortalama kuvvetler aracılığıyla sürücünün yaptığı hızlanma ve yavaşlama sürüş etkinliklerinin hangi şiddetle gerçekleştiğini söylemiştir. Ayrıca yedi seyirde de hızlanma ve yavaşlama olaylarında oluşan toplam kuvvet miktarı birbirine yakındır. Burada rota özelinde gerçekleşen sürüş etkinliklerinin oluşturacağı kuvvet hakkında bilgi vermektedir.

Haritalama sayesinde seyir konforu hakkında daha kolay bilgi sağlayabilmekteyiz.



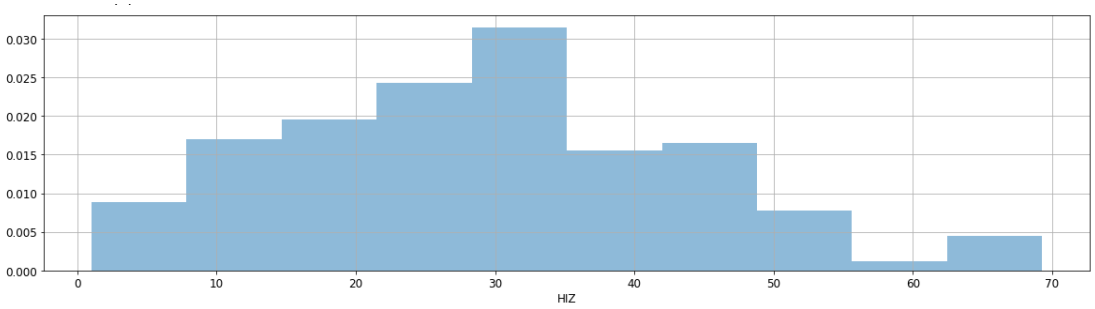
Şekil 5.12 Yol Kalitesi-Ortalama Hız Arasıdaki Ters Korelasyon İlişkisi



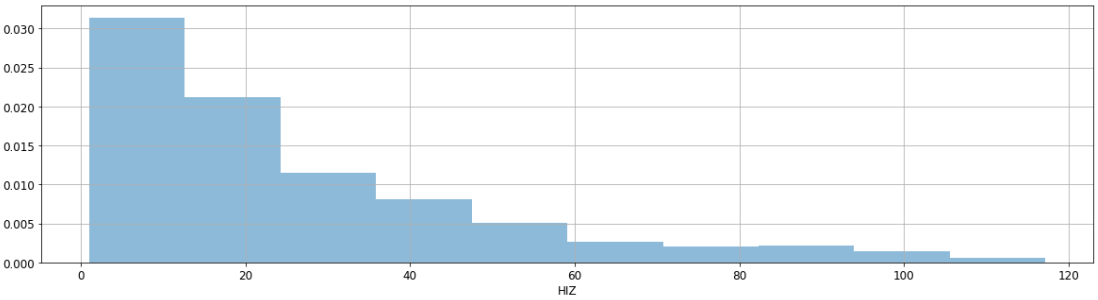
Şekil 5.13 Ortalama Hız Değerinin Konforlu Seyirlerde Daha Düşük Olması

Şekil 5.18'de görüldüğü gibi yapılan seyir Tablo 6.1'deki bir numaralı seyire aittir. Grafik üzerinde kırmızıdan sarıya doğru ton değişimi söz konusudur. Kırmızı rengin yoğun olduğu bölgelerde üç eksenden alınan kuvvetin büyüklüğü fazla olmaktadır. Sarı tonlarında ise bu durumun tam tersi mevcuttur.

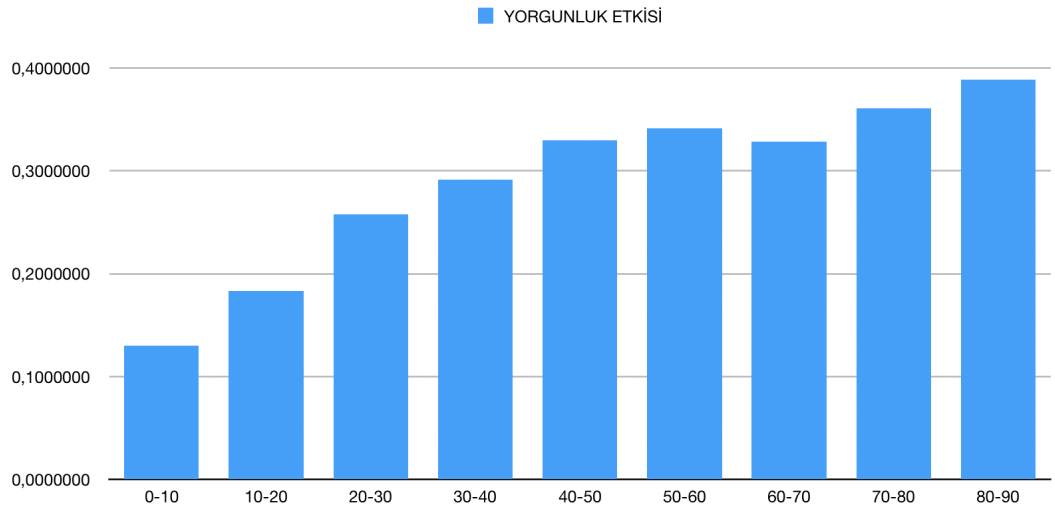
Şekil 5.19'de ise Tablo 5.5'e ait yedi numaralı seyir bulunmaktadır. Şekil 5.18'e göre karşılaştırma yaptığımızda düşük konfor puanına sahip bir seyirdir. Kırmızı tonlarının bu figürde daha yoğun olduğu, seyir süresince daha yüksek şiddette kuvvetin etkisi altında kalındığı gözükmektedir.



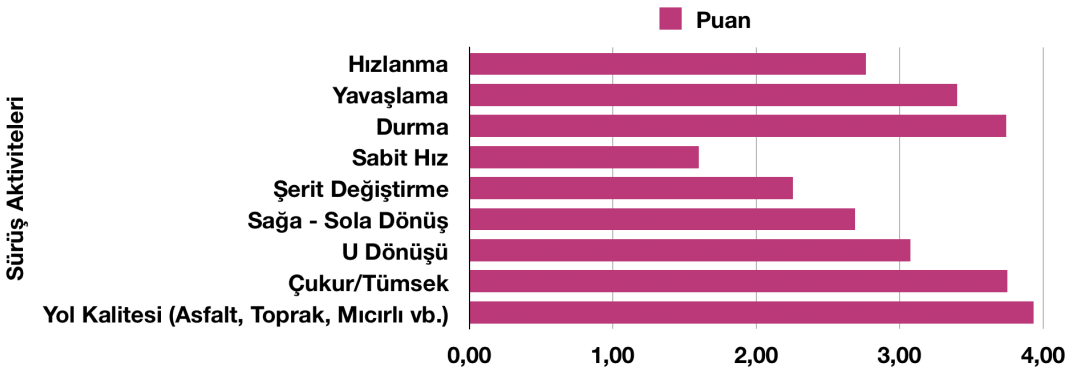
Şekil 5.14 Düşük Konforlu Bir Seyirdeki Hız Bilgisinin Dağılımı



Şekil 5.15 Yüksek Konforlu Bir Seyirde Hız Bilgisinin Dağılımı



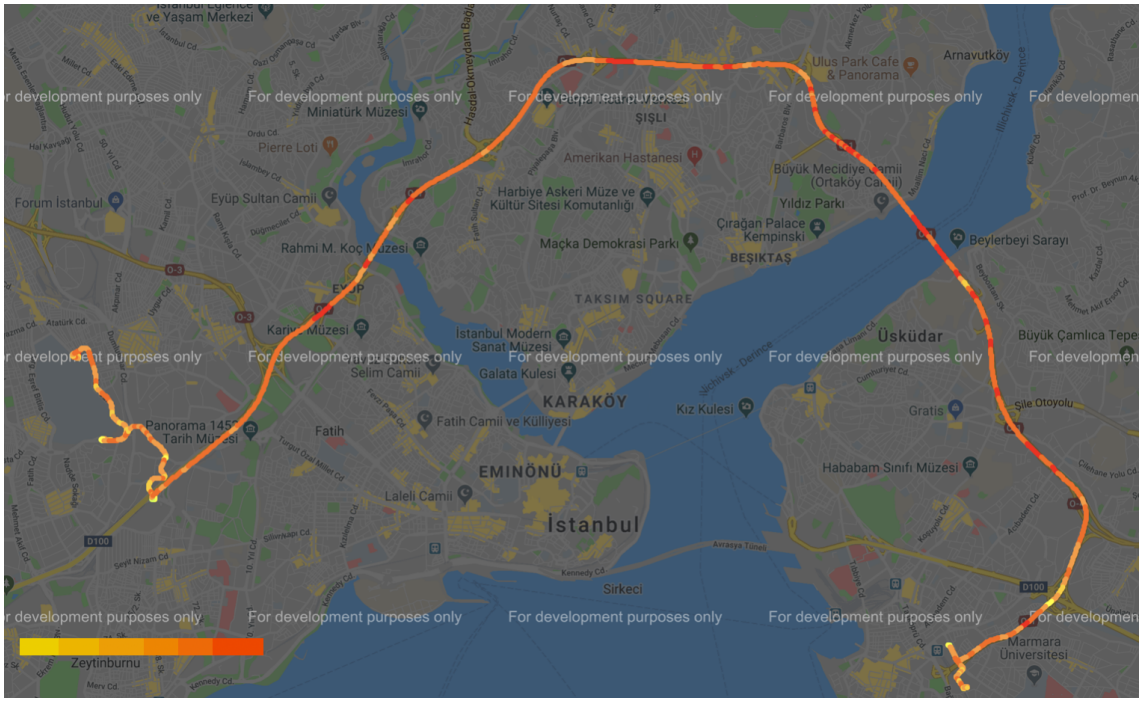
Şekil 5.16 Hız aralıklarına göre yorgunluğun değişimi (Ortalama kuvvet - Hız aralığı)



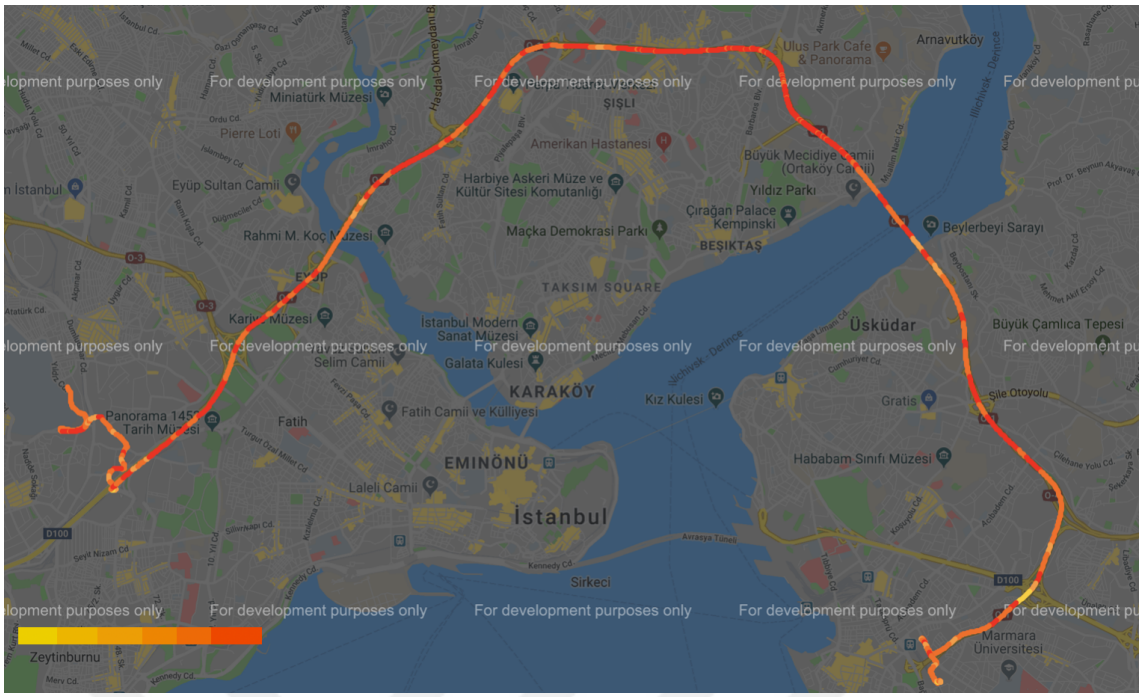
Şekil 5.17 Anket Sonuçlarına göre Sürüş Aktivitelerinin Yorgunluğa Etkisi

Tablo 5.5 Aynı Rotada Yapılan Seyirlerin Konfor Puanları ve Sürüş Deneyimiyle İlişkisi

SEYİR	KONFOR PUANI	ORTALAMA HIZ (km/s)	ZAMAN	ORTALAMA KUVVET -HIZLANMA- (G)	ORTALAMA KUVVET -YAVAŞLAMA- (G)	TOPLAM KUVVET -HIZLANMA- (G)	TOPLAM KUVVET -YAVAŞLAMA- (G)	ZAMAN DİLİMİ
1	81,71	26,74	60	0,1986	0,1780	155,3	146,0	AKŞAM
2	56,84	45,69	37	0,2777	0,2711	162,3	159,0	AKŞAM
3	54,69	45,06	36	0,3073	0,2720	144,7	157,3	AKŞAM
4	53,61	51,80	33	0,3557	0,3379	155,4	148,5	AKŞAM
5	52,46	52,74	31	0,3079	0,3137	112,3	152,4	AKŞAM
6	51,83	49,00	36	0,3168	0,3665	197,3	211,8	AKŞAM
7	49,60	56,08	30	0,3104	0,3295	130,3	150,8	AKŞAM



Şekil 5.18 Yüksek Konforlu Sürüşün Haritada Gösterimi



Şekil 5.19 Düşük Konforlu Sürüşün Haritada Gösterimi

6
Sonuç ve Öneriler

Bu tezde mobil cihazlardaki hareket sensörleri ile ulaşım konforunu skorlayabilmek için yeni bir yaklaşım ortaya sunulmuş, sunulan bu yaklaşımı gerçeklemek için bir sistem mimarisi oluşturulmuştur. Sistemin çalışması için gerekli hareketlenme bilgisi akıllı telefonlardaki *ivmeölçer, jiroskop, GPS* sensörlerinden elde edilmiştir. Ulaşım verilerini toplamak için kitle kaynaklı yaklaşım kullanılarak *araba, tramvay, otobüs, metro, tren, metrobüs, vapur, minibüs, uçak* olmak üzere dokuz farklı ulaşım aracından veriler toplanmıştır. Bu veriler kullanılarak farklı ulaşım araçlarındaki konfor seviyeleri incelenmiştir. Yolcuların ulaşım sırasında maruz kaldığı fiziksel kuvvetler incelendiğinde en konforlu ulaşım tipi olarak belirlenmiş uçağın, otobüse göre %130 daha konforlu olduğu ortaya çıkmıştır. Araba ulaşım tipi referans alındığında raylı ulaşımlar içerisinde *Marmaray'ın* %63 daha konforlu, deniz ulaşımında *vapurun* %70 daha konforlu olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanında *metrobüs* taşıt tipinin arabaya göre %10 daha konforsuz olduğu görülmüştür. Bu farklılığın temel sebebini sürüş aktiviteleri oluşturmaktadır. Bu nedenle sürüş aktivitelerinin etkisi araştırılmış, bu tez kapsamında *hızlanma, yavaşlama, sabit hızla gidiş, sağa dönüş, sola dönüş, durma* olmak üzere altı farklı sürüş aktivitesi tespit edilmiştir. Bu aktivitelerin tespit edilmesi için eşik tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşım için 1Hz'lik pencereler seçilmiştir. Boylamsal sürüş aktivitelerinin tespit edilmesi için ardışık iki pencere arasındaki hız farkının 5 km/h olması gereklidir. Yanal aktivitelerin tespit edilmesi için jiroskop sensöründen elde edilen değerin, yönünden bağımsız *0,135*'den büyük olması gereklidir. Ortalama bir seyirde ulaşımın %53' lük kısmı *sabit hızla gidiş* aktivitesinden oluşmaktadır. Bu aktivite bir seyirde ortalama 0,32 G kuvveti oluşturmaktadır. Hızlanma ve yavaşlama aktiviteleri ise yaklaşık 0,43 G kuvvet oluşturmaktadır. Seyir boyunca hızlanma, yavaşlama aktivitelerinin daha az sıklıkla gerçekleştiği için *sabit hızla gidiş* aktivitesi bir sürüşün konforlu olmasında etkili en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Çünkü konforlu sürüşlerde bu aktivite, toplam seyrin %65'lik kısmını oluştururken konforsuz seyirlerde bu oran %44'lere kadar düşmektedir.

Konforu etkileyen bir diğer unsur ise aracın hız bilgisidir. Yapılan testlerin sonucunda

konforlu sürüşlerde ortalama hız bilgisinin, konforsuz sürüşlere göre %87 oranında daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Yüksek ortalama hıza sahip sürüşlerde konfor skoru 36-50 aralığında ve 50-80 km/h değerine sahip olduğu görülmüştür. Düşük ortalama hıza sahip sürüşlerde ise bu konfor skoru 60 ve üzeri olmuş, seyir ortalama 20-30 km/s aralığında gerçekleşmiştir. Ayrıca yüksek hızlarda dikey eksenden gelen kuvvetlerin yol kalitesinden bağımsız azaldığı görülmüştür. Çünkü yüksek hızlarda tekerleklere etki eden sürtünme kuvveti azalmakta ve aracın dikey eksendeki titreşimi azalmaktadır. Yol kalitesinin ulaşım konforunu önemli oranda etkilediği görülmüştür. Ulaşım boyunca araca etki eden kuvvetlerin ortalama %76'sı dikey eksenden oluşmaktadır.

Anket çalışması sayesinde sistemin üretmiş olduğu çıktılar desteklenmiştir. Ankete katılan 111 kişinin ikinci soruya vermiş olduğu cevaplarda *uçak* ulaşım aracının aldığı 4.7 puan ile en konforlu ulaşım tipi olduğu ortaya çıkmıştır. Bir uçak yolculuğu boyunca yolcuya etki eden kuvvetin ortalama 0,3 G olduğu gözlemlenmiştir. Ankette verilen cevaplar ile ortalama kuvvetlerin ters orantılı olduğu gözlemlenmiş, verilen cevapların sistemin üretmiş olduğu sonuçları desteklediği ortaya çıkmıştır. Ayrıca beşinci soruya verilen cevaplar arasında en düşük olan ve 1.56 puanına sahip *Sabit Hız* seçeneği ise konforlu seyirlerde *sabit hızla gidiş* aktivitesinin sürüş aktiviteleri içinde en etkili olduğunu desteklemiştir.

Ulaşım konforunu objektif bir biçimde değerlendirmek için yeni bir skorlama yöntemi geliştirilmiştir. Bu sayede seyir esnasındaki kuvvetleri temel alan, ölçülebilir bir konfor düzeyi metriği ortaya konmuştur. Buna göre konforsuz seyirler 0 ile 50, orta konforlu seyirler 50 ile 70 puan aralığına yerleşmiştir. Yüksek konfora sahip seyirler ise asgari 70 olacak şekilde bir puan almıştır. Ortaya sunulan konfor düzeyi skorlama formülü sadece hareket vektörlerini kullanarak bir sonuç üretmektedir. Bu sayede pek çok ulaşım aracına bu formül uygulanabilmektedir. Yapılan testlerde yüksek konforlu sürüşlerin öğlen vakitlerinde gerçekleştiği, konforsuz sürüşlerin daha çok sabah ve akşam vakitlerinde gerçekleştiği görülmüştür.

Tez kapsamında sürüş olaylarını harita üzerinde gösteren bir uygulama da gerçeklenmiştir. Burada tıpkı bir trafik yoğunluk haritası gibi yollara ait o bölgelerde gerçekleşen seyirlerden faydalanarak hesaplanan ortalama kuvvetler haritada gösterilmiş ve konforlu/konforsuz rotalar belirlenmiştir. Bu harita sayesinde ayrıca yolculuğun bölgesel olarak çok yorucu, az yorucu kısımları ortaya çıkartılmıştır. İlerleyen çalışmalarda skorlama için ortaya sunulan formüle ulaşım süresi, hava durumu, araç içi ses durumu, yolcu sayısı gibi parametreler eklenerek yorgunluğu ve konforu etkileyen diğer faktörlerin de denklemde yer alması planlanmaktadır.

Öte yandan tez kapsamında ortaya atılan skorlama yaklaşımı ve gerçeklenmiş sistem mimarisi sayesinde kullanıcılara başlangıç ve bitiş noktaları arasında en konforlu yolu öneren bir çalışmanın altyapısı hazırlanmıştır.

A
Ekler

Tablo A.1 Hıza bağlı Sürüş Konforunun Değişimi

HIZ _ARALIGI(km/h)	YOL_KALITESI	ENLEMSEL	BOYLAMSAL	TOP_SQ_ROOT _HEPSI	TOP_SQ_ROOT _Z_HARIC
0-10	0,26600337214285713	0,38874974542857144	0,1299652	0,48864620306842704	0,30593622220938693
10-20	0,3228742138571428	0,36799366614285717	0,18316372814285714	0,522700724700396	0,3501230571745255
20-30	0,4372116098571429	0,42960569500000007	0,2580312491428572	0,6650527576850808	0,47457009402560196
30-40	0,4736387961428571	0,4707633488571429	0,29170232957142855	0,72872634707155	0,5229228480706748
40-50	0,496228834	0,4006559441428571	0,3299059342857143	0,7180572169033146	0,5215471128263786
50-60	0,4698196435714287	0,3780095955714286	0,3410248542857143	0,692762371286325	0,49106863884146323
60-70	0,3080138168571428	0,32810416742857135	0,3283188511428571	0,5570620468804772	0,32628444445126004
70-80	0,29427992371428563	0,2594154102857143	0,36105227185714284	0,5331564232082321	0,30187658556135794
80-90	0,3046531342857143	0,2523191982857143	0,3889240837142857	0,5547435920735379	0,31123425523451304

Tablo A.2 Ulaşım Konforunu Analiz Etmek için Çıkartılan Özellikler

ÖZELLİK ADI	**AÇIKLAMA**
DURATION	Ulaşım süresi
MEAN_LINX	Boylamsal eksendeki kuvvet ortalaması (G)
MEAN_LINY	Yanal eksendeki kuvvet ortalaması (G)
MEAN_LINZ	Dikey eksendeki kuvvet ortalaması (G)
STD_LINX	Boylamsal eksendeki kuvvetin standart sapması
STD_LINY	Yanal eksendeki kuvvetin standart sapması
STD_LINZ	Dikey eksendeki kuvvetin standart sapması
MEAN_JERK_LINX	Boylamsal eksendeki kuvvetin saniyede değişimi (G)
MEAN_JERK_LINY	Yanal eksendeki kuvvetin saniyede değişimi (G)
MEAN_JERK_LINZ	Dikey eksendeki kuvvetin saniyede değişimi (G)
MEAN_SPEED	Ortalama hız (km / sa)
DATASET	Seyrin dosya yolundaki ismi
MEAN_ISO2631	Üç eksende etki eden kuvvetlerin şiddetlerinin ISO2631 formülasyonuna göre ortalaması (G)
COUNT_MANUEVER	Ulaşım boyunca gerçekleşen toplam manevra sayısı (saniye / seyir)
COUNT_ACCELERATION	Ulaşım boyunca gerçekleşen toplam hızlanma sayısı (saniye / seyir)
COUNT_DECELERATION	Ulaşım boyunca gerçekleşen toplam yavaşlama sayısı (saniye / seyir)
COUNT_STABLE	Ulaşım boyunca gerçekleşen toplam sabit hızla gidiş sayısı (saniye / seyir)
COUNT_TOTAL	Ulaşım boyunca gerçekleşen toplam sürüş eylemi sayısı (saniye / seyir)
COUNT_STOP	Ulaşım boyunca gerçekleşen toplam durma sayısı (saniye / seyir)
ACTUAL_LOADDISTURBANCE	ISO2631 formülüne göre ölçülen toplam kuvvet değeri
IDEAL_LOADDISTURBANCE	Konforlu sürüş parametrelerine göre hesaplanan ideal konfor değeri
START_TIME	Ulaşımın başlangıç zamanı (gg-aa-yyyy SS:dd:ss Z)
END_TIME	Ulaşımın bitiş zamanı (gg-aa-yyyy SS:dd:ss Z)

Tablo A.3 Ulaşım Konforunu Analiz Etmek için Çıkartılan Özellikler (Devam)

ÖZELLİK ADI	**AÇIKLAMA**
SCORE_LOADDISTURBANCE	Konfor skoru
PERCENTAGE_ACCELERATION	Ulaşımdaki hızlanma aktivitesinin oranı
PERCENTAGE_DECELERATION	Ulaşımdaki yavaşlama aktivitesinin oranı
PERCENTAGE_STOP	Ulaşımdaki durma aktivitesinin oranı
PERCENTAGE_STABLE	Ulaşımdaki sabit hızla gidiş aktivitesinin oranı
MEAN_LONGITUDINAL_STABLE	Sabit hızla gidilen noktalarda ölçülen ortalama kuvvet (G)
MEAN_LONGITUDINAL_ACCELERATION	Hızlanma noktalarda ölçülen ortalama kuvvet (G)
MEAN_LONGITUDINAL_DECELERATION	Yavaşlama noktalarda ölçülen ortalama kuvvet (G)
STD_LONGITUDINAL_STABLE	Sabit hızla gidilen durumların standart sapması
STD_LONGITUDINAL_ACCELERATION	Hızlanma durumlarının standart sapması
STD_LONGITUDINAL_DECELERATION	Yavaşlama durumlarının standart sapması
CUSUM_LONGITUDINAL_ACCELERATION	Sadece hızlanma durumlarında alınan toplam kuvvet (G)
CUSUM_LONGITUDINAL_DECELERATION	Sadece yavaşlama durumlarında alınan toplam kuvvet (G)
CUSUM_LONGITUDINAL_STABLE	Sadece sabit hızla gidilen durumlarda alınan toplam kuvvet (G)
CUSUM_MANUEVER	Manevra sırasında alınan toplam kuvvet (G)
MEAN_VERTICAL_ACCELERATION	Hızlanma durumlarında dikey eksende etki eden ortalama kuvvet (G)
MEAN_VERTICAL_DECELERATION	Yavaşlama durumlarında dikey eksende etki eden ortalama kuvvet (G)
MEAN_VERTICAL_STABLE	Sabit hızla giden durumlarda dikey eksende etki eden ortalama kuvvet (G)
CUSUM_VERTICAL	Ulaşım boyunca dikey eksenden gelen toplam kuvvet (G)
PERCENTAGE_CUSUM_LONGITUDINAL_ACCELERATION	Ulaşım boyunca hızlanma etkinliklerinde alınan kuvvetlerin oranı
PERCENTAGE_CUSUM_LONGITUDINAL_DECELERATION	Ulaşım boyunca yavaşlama etkinliklerinde alınan kuvvetlerin oranı
PERCENTAGE_CUSUM_LONGITUDINAL_STABLE	Ulaşım boyunca sabit hızla gidiş etkinliklerinde alınan kuvvetlerin oranı
TIMEZONE	Zaman dilimi (Sabah, öğle, akşam, gece)
LABEL	Ulaşım tipi

Tablo A.4 Konfor Puanına göre Sürüş Sonuçları

	KONFOR PUANI	SÜRE	ORTALAMA HIZ	ORTALAMA KUVVET (G)	HIZLANMA (%)	YAVAŞLAMA (%)	DURMA (%)	SABİT HIZLANMA (%)	ZAMAN DİLİMİ
davutpasa_kucukyali_20190226_175707	93,926	98	22,48	0,38	10,84	10,06	12,71	66,40	ÖĞLEN
Akmerkez_kadikoy_20181019_172007	86,765	73	14,14	0,31	6,44	6,19	34,56	52,81	ÖĞLEN
Davutpasa_Cengelkoy_20181130_151940	82,454	47	28,29	0,45	14,20	12,18	6,51	67,11	ÖĞLEN
davutpasa_kadikoy_20181115_204343	81,706	60	26,74	0,40	10,15	10,15	14,14	65,56	AKŞAM
kadikoy_davutpasa_20181113_092840	81,639	48	29,84	0,41	10,14	10,17	15,46	64,23	SABAH
akmerkez_kadikoy_20181126_163110	81,376	34	24,55	0,48	13,32	11,92	16,18	58,58	ÖĞLEN
kadikoy_capitol_davutpasa_20190206_085404	73,548	54	29,69	0,49	14,08	13,56	8,16	64,20	SABAH
davutpasa_avrasya_kadikoy_20181016_180538	70,898	62	23,27	0,45	11,81	11,04	12,22	64,93	AKŞAM
davutpasa_avrasya _20181122_193441	70,742	45	28,81	0,49	9,88	9,51	19,54	61,08	AKŞAM
Gebze_kadikoy_20190209_170956	70,130	59	44,35	0,49	11,35	11,15	2,18	75,32	ÖĞLEN
kadikoy_maslak_20181116_132115	68,481	35	30,92	0,49	11,20	11,29	13,66	63,85	ÖĞLEN
Florya_Kosuyolu_20190428_143806	67,510	39	38,97	0,47	8,99	8,23	4,79	77,98	ÖĞLEN
davutpasa_kadikoy_20181107_145404	66,616	32	44,97	0,50	12,39	13,35	4,59	69,67	ÖĞLEN
davutpasa_avrasya_kadikoy_20190211_171957	66,577	65	21,70	0,44	10,71	10,20	18,73	60,36	ÖĞLEN
kadikoy_goztepe_20181123_184319	66,053	20	10,03	0,47	9,54	10,02	41,26	39,19	AKŞAM
goztepe_kadikoy_20181009_202930	65,358	6	17,52	0,52	12,90	12,10	6,45	68,55	AKŞAM
Kadikoy_Erenkoy _Davutpasa_20181130_091217	64,635	114	18,52	0,37	10,04	9,06	36,73	44,17	SABAH
kadikoy_kanyon_20181211_112324	62,933	23	39,33	0,55	16,23	14,76	7,24	61,77	SABAH
kadikoy_davutpasa_20190301_090539	60,670	44	39,08	0,54	14,32	14,09	10,12	61,47	SABAH
berber_fsm_davutpasa_20190222_093533	59,397	51	51,43	0,51	11,08	10,92	8,80	69,20	SABAH
kadikoy_davutpasa_20181017_132946	58,730	33	46,78	0,54	12,22	12,92	5,86	69,01	ÖĞLEN
davutpasa_avrasya_kadikoy_20190206_174055	58,099	51	27,45	0,53	13,86	12,68	8,79	64,67	ÖĞLEN
kadikoy_avrasya_davutpasa_20181219_084629	57,532	56	22,23	0,48	11,33	11,35	30,88	46,44	SABAH
kadikoy_kucukyali_20181021_131312	57,308	16	39,71	0,52	12,23	12,33	10,55	64,89	ÖĞLEN
kadikoy_avrasya_davutpasa_20190218_085227	57,110	47	31,32	0,49	13,01	11,50	16,61	58,88	SABAH
davutpasa_kadikoy_20181010_213614	56,836	37	45,69	0,50	12,02	11,67	11,54	64,77	AKŞAM
kadikoy_erenkoy_avrasya_nisantasi_20181127_063439	55,506	41	32,45	0,57	9,94	10,82	12,59	66,65	SABAH

Tablo A.5 Konfor Puanına göre Sürüş Sonuçları (Devam)

	KONFOR PUANI	SÜRE	ORTALAMA HIZ	ORTALAMA KUVVET (G)	HIZLANMA (%)	YAVAŞLAMA (%)	DURMA (%)	SABİT HIZLANMA (%)	ZAMAN DİLİMİ
davutpasa_akmerkez_20181126_125421	54,924	28	40,01	0,62	12,58	13,87	8,84	64,72	ÖĞLEN
kadikoy_davutpasa_20181218_084828	54,792	38	35,22	0,60	11,92	11,27	16,10	60,70	SABAH
davutpasa_kadikoy_20181121_205608	54,689	36	45,06	0,57	10,32	11,90	9,58	68,19	AKŞAM
kadikoy_avrasya_davutpasa_20181115_084455	54,335	38	31,90	0,60	13,39	11,64	21,35	53,62	SABAH
davutpasa_kadikoy_20181219_210217	53,614	33	51,80	0,61	10,88	10,78	5,21	73,13	AKŞAM
kadikoy_avrasya_davutpasa_20190226_082239	52,913	36	38,66	0,57	12,09	11,73	8,17	68,01	SABAH
kadikoy_avrasya_davutpasa_20181213_083320	52,746	38	37,61	0,58	12,81	12,38	11,60	63,21	SABAH
davutpasa_kadikoy_20181017_214930	52,461	31	52,74	0,56	8,18	10,94	2,61	78,27	AKŞAM
kadikoy_kozyatagi_kucukyali_20181028_122136	52,226	30	28,57	0,41	7,87	7,98	38,36	45,79	ÖĞLEN
davutpasa_kadikoy_20190227_214143	51,826	36	49,00	0,61	13,74	13,06	3,33	69,86	AKŞAM
davutpasa_avrasya_kadikoy_20190218_173159	50,867	45	31,65	0,56	12,96	13,55	12,89	60,60	ÖĞLEN
kadikoy_avrasya_davutpasa_20181126_091230	50,850	33	40,98	0,61	11,97	12,83	12,47	62,73	SABAH
kadikoy_avrasya_davutpasa_20181010_082254	50,371	54	26,44	0,55	13,81	12,70	21,15	52,34	SABAH
kadikoy_davutpasa_avrasya_20181024_085849	49,799	34	42,00	0,62	13,22	12,60	6,32	67,85	SABAH
davutpasa_kadikoy_20181031_214752	49,601	30	56,08	0,59	10,58	10,52	4,15	74,75	AKŞAM
kadikoy_avrasya_davutpasa_20181122_081109	49,164	33	38,95	0,63	12,04	11,06	18,38	58,53	SABAH
kadikoy_florya_20190428_121556	47,671	28	51,21	0,61	5,58	7,81	15,96	70,66	ÖĞLEN
kadikoy_avrasya_davutpasa_20190211_090722	47,434	38	38,11	0,62	13,86	13,39	12,56	60,19	SABAH
kadikoy_gebze_20190209_093028	46,488	54	66,10	0,65	17,34	15,93	8,19	58,53	SABAH
kadikoy_avrasya_davutpasa_20190212_081805	45,804	35	41,52	0,65	14,63	11,98	8,08	65,30	SABAH
kadikoy_kanyon_20181212_101246	44,310	19	25,81	0,68	17,32	16,97	11,17	54,55	SABAH
Davutpasa_avrasya_akasya_20181213_193222	43,611	37	36,01	0,67	14,44	12,78	8,19	64,60	AKŞAM
kazlicesme_davutpasa_20181121_090132	42,777	20	33,53	0,73	18,31	16,65	12,59	52,44	SABAH
esenboga_gazi_universitesi_20181023_085114	36,564	42	88,36	0,78	9,22	9,42	2,39	78,96	SABAH

Kaynakça

[1] *Ride comfort control systems | ıpg automotive*, https://ipg-automotive.com/areas-of-application/vehicle-dynamics/ride-comfort-control-systems/, (Accessed on 09/08/2019),

[2] J. M. Varela and C. G. Soares, "Interactive simulation of ship motions in random seas based on real wave spectra.," in *GRAPP*, 2011, pp. 235–244.

[3] S. Lerspalungsanti, A. Albers, S. Ott, and T. Düser, "Human ride comfort prediction of drive train using modeling method based on artificial neural networks," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 153–166, 2015.

[4] E. Lebezova, I. Semichastny, and A. Wolodtschenko, "Mini-bildatlanten in google maps oder yandex maps," *meta-carto-semiotics*, vol. 6, no. 1, pp. 13–17, 2017.

[5] A. B. S. Macfarlane, "Modular electric automatic guided vehicle suspension-drive unit," PhD thesis, Nelson Mandela Metropolitan University, 2016.

[6] ISO, *Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. Part 1, General Requirements: International Standard ISO 2631-1: 1997 (E)*. ISO, 1997.

[7] W. El Falou, J. Duchêne, M. Grabisch, D. Hewson, Y. Langeron, and F. Lino, "Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving," *Applied ergonomics*, vol. 34, no. 3, pp. 249–255, 2003.

[8] S. J. Park, B.-C. Min, J.-K. Lee, and E.-S. Kang, "Development of the evaluating system for ride comfort and fatigue in vehicle," SAE Technical Paper, Tech. Rep., 2001.

[9] H. Nahvi, M. H. Fouladi, and M. M. Nor, "Evaluation of whole-body vibration and ride comfort in a passenger car," *International journal of acoustics and vibration*, vol. 14, no. 3, pp. 143–149, 2009.

[10] J. C. Castellanos and F. Fruett, "Embedded system to evaluate the passenger comfort in public transportation based on dynamical vehicle behavior with user's feedback," *Measurement*, vol. 47, pp. 442–451, 2014.

[11] L. Eboli, G. Mazzulla, and G. Pungillo, "Measuring bus comfort levels by using acceleration instantaneous values," *Transportation research procedia*, vol. 18, pp. 27–34, 2016.

[12] L. L. Hoberock, "A survey of longitudinal acceleration comfort studies in ground transportation vehicles," Council for Advanced Transportation Studies, Tech. Rep., 1976.

[13] J. Xu, K. Yang, and Y.-M. Shao, "Ride comfort of passenger cars on two-lane mountain highways based on tri-axial acceleration from field driving tests," *International Journal of Civil Engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 335–351, 2018.

[14] M. Elbanhawi, M. Simic, and R. Jazar, "In the passenger seat: İnvestigating ride comfort measures in autonomous cars," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 7, no. 3, pp. 4–17, 2015.

[15] E. Enders, G. Burkhard, F. Fent, M. Lienkamp, and D. Schramm, "Objectification methods for ride comfort," *Forschung im Ingenieurwesen*, Jul. 2019, ISSN: 1434-0860. DOI: 10 . 1007 / s10010 - 019 - 00361 - 6. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s10010-019-00361-6.

[16] N. Mohajer, H. Abdi, K. Nelson, and S. Nahavandi, "On the simulation-based objective estimation of road vehicle ride comfort," in *2017 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*, IEEE, 2017, pp. 159–165.

[17] M. Cieslak, S. Kanarachos, M. Blundell, C. Diels, M. Burnett, and A. Baxendale, "Accurate ride comfort estimation combining accelerometer measurements, anthropometric data and neural networks," *Neural Computing and Applications*, pp. 1–16, 2019.

[18] A. Azzoug and S. Kaewunruen, "Ridecomfort: A development of crowdsourcing smartphones in measuring train ride quality," *Frontiers in Built Environment*, vol. 3, p. 3, 2017.

[19] S. Tan, X. Wang, G. Maier, and W. Li, "Riding quality evaluation through mobile crowd sensing," in *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, IEEE, 2016, pp. 1–6.

[20] S. S. Andaleeb, M. Haq, and R. I. Ahmed, "Reforming innercity bus transportation in a developing country: A passenger-driven model," *Journal of Public Transportation*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2007.

[21] J. Smith, N. Mansfield, D. Gyi, M. Pagett, and B. Bateman, "Driving performance and driver discomfort in an elevated and standard driving position during a driving simulation," *Applied ergonomics*, vol. 49, pp. 25–33, 2015.

[22] Y. F. Payalan and M. A. Guvensan, "Towards next-generation vehicles featuring the vehicle ıntelligence," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019.

[23] C. L. Zimmermann, T. M. Cook, and V. K. Goel, "Effects of seated posture on erector spinae emg activity during whole body vibration," *Ergonomics*, vol. 36, no. 6, pp. 667–675, 1993.

[24] M. Géradin and D. J. Rixen, *Mechanical vibrations: theory and application to structural dynamics*. John Wiley & Sons, 2014.

[25] J. DuchÊne and T. Lamotte, "Surface electromyography analysis in long-term recordings: Application to head rest comfort in cars," *Ergonomics*, vol. 44, no. 3, pp. 313–327, 2001.

[26] S. Nishiyama, N. Uesugi, T. Takeshima, Y. Kano, and H. Togii, "Research on vibration characteristics between human body and seat, steering wheel, and pedals (effects of seat position on ride comfort)," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 236, no. 1, pp. 1–21, 2000.

[27] Y. Li, C. Papachristou, and D. Weyer, "Road pothole detection system based on stereo vision," in *NAECON 2018-IEEE National Aerospace and Electronics Conference*, IEEE, 2018, pp. 292–297.

[28] A. Anaissi, N. L. D. Khoa, T. Rakotoarivelo, M. M. Alamdari, and Y. Wang, "Smart pothole detection system using vehicle-mounted sensors and machine learning," *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 9, no. 1, pp. 91–102, 2019.

[29] C. Lv, X. Hu, A. Sangiovanni-Vincentelli, Y. Li, C. M. Martinez, and D. Cao, "Driving-style-based codesign optimization of an automated electric vehicle: A cyber-physical system approach," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 4, pp. 2965–2975, 2018.

[30] G. Castignani, T. Derrmann, R. Frank, and T. Engel, "Smartphone-based adaptive driving maneuver detection: A large-scale evaluation study," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 9, pp. 2330–2339, 2017.

[31] L. Yang, R. Ma, H. M. Zhang, W. Guan, and S. Jiang, "Driving behavior recognition using eeg data from a simulated car-following experiment," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 116, pp. 30–40, 2018.

[32] C.-Y. Lin, L.-J. Chen, Y.-Y. Chen, W.-C. Lee, *et al.*, "A comfort measuring system for public transportation systems using participatory phone sensing," *ACM PhoneSense*, 2010.

[33] M. M. Bejani and M. Ghatee, "A context aware system for driving style evaluation by an ensemble learning on smartphone sensors data," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 89, pp. 303–320, 2018.

[34] F. Li, H. Zhang, H. Che, and X. Qiu, "Dangerous driving behavior detection using smartphone sensors," in *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, 2016, pp. 1902–1907.

[35] G. Castignani, T. Derrmann, R. Frank, and T. Engel, "Driver behavior profiling using smartphones: A low-cost platform for driver monitoring," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 7, no. 1, pp. 91–102, 2015.

[36] C. Saiprasert, T. Pholprasit, and S. Thajchayapong, "Detection of driving events using sensory data on smartphone," *International journal of intelligent transportation systems research*, vol. 15, no. 1, pp. 17–28, 2017.

[37] P. Dhar, S. Shinde, N. Jadav, and A. Bhaduri, "Unsafe driving detection system using smartphone as sensor platform," *International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications*, vol. 3, no. 3, pp. 65–70, 2014.

[38] J.-H. Hong, B. Margines, and A. K. Dey, "A smartphone-based sensing platform to model aggressive driving behaviors," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, 2014, pp. 4047–4056.

[39] H. Zhao, H. Zhou, C. Chen, and J. Chen, "Join driving: A smart phone-based driving behavior evaluation system," in *2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, IEEE, 2013, pp. 48–53.

[40] D. A. Johnson and M. M. Trivedi, "Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform," in *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, 2011, pp. 1609–1615.

[41] M. Van Ly, S. Martin, and M. M. Trivedi, "Driver classification and driving style recognition using inertial sensors," in *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, IEEE, 2013, pp. 1040–1045.

[42] P. Morignot, J. P. Rastelli, and F. Nashashibi, "Arbitration for balancing control between the driver and adas systems in an automated vehicle: Survey and approach," in *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, IEEE, 2014, pp. 575–580.

[43] Y. Yao, X. Zhao, Y. Wu, Y. Zhang, and J. Rong, "Clustering driver behavior using dynamic time warping and hidden markov model," Tech. Rep., 2018.

[44] M. S. Qatu, M. K. Abdelhamid, J. Pang, and G. Sheng, "Overview of automotive noise and vibration," *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, vol. 5, no. 1-2, pp. 1–35, 2009.

[45] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, "Fundamentals of acoustics," *Fundamentals of Acoustics, 4th Edition, by Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, pp. 560. ISBN 0-471-84789-5. Wiley-VCH, December 1999.*, p. 560, 1999.

[46] P. Hanes, "Measurement of the performance of sound level meters using iec 61672-3: 2006," *Canadian Acoustics*, vol. 35, no. 3, pp. 144–145, 2007.

[47] C. S. Allen, M. Giraudo, C. Moratto, and N. Yamaguchi, "Chapter 4 - spaceflight environment," in *Space Safety and Human Performance*, T. Sgobba, B. Kanki, J.-F. Clervoy, and G. M. Sandal, Eds., Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 87–138, ISBN: 978-0-08-101869-9. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101869-9.00004-2. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081018699000042.

[48] D. Miloradović, J. Glišović, and J. Lukić, "Regulatıons on road vehıcle noıse–trends and future actıvıtıes,"

[49] N. S. Currey, *Aircraft landing gear design: principles and practices*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1988.

[50] *Technical specifications - neocity - bmc*, https://www.bmc.com.tr/en/bus/neocity/technicial, (Accessed on 09/19/2019),

[51] *Clio & clio rs specs_lr_0.pdf*, https://www.renault.com.au/sites/default/files/modes/specifications/pdf/Clio\%20&\%20Clio\%20RS\%20Specs_LR_0.pdf, (Accessed on 09/19/2019),

[52] G. Reder and M. Reynolds, *The world of steam locomotives*. Putnam, 1974.

[53] R. S. Raghunathan, H.-D. Kim, and T. Setoguchi, "Aerodynamics of high-speed railway train," *Progress in Aerospace sciences*, vol. 38, no. 6-7, pp. 469–514, 2002.

[54] R. Hill, "Electric railway traction. part 3. traction power supplies," *Power Engineering Journal*, vol. 8, no. 6, pp. 275–286, 1994.

[55] R. J. Allport, "The costing of bus, light rail transit and metro public transport systems," *Traffic Engineering & Control*, vol. 22, no. HS-032 837, 1981.

[56] Y. Liu, G. Sun, and R. Wei, "The developmental status and future prospects of maglev technology," *Maglev2006, Proceeding*, vol. 1, pp. 59–64, 2006.

[57] M. Delton and L. Dale, "An investigation of acceleration and jerk profiles," in *ASEE Annual Conference & Exposition*, 2008.

[58] R. Narayanamoorthy and V. H. Saran, "Error analysis of task performance with laptop in vibration environment," *Computers in Human Behavior*, vol. 27, no. 6, pp. 2263–2270, 2011.

[59] T. K. George, H. M. Gadhia, R. Sukumar, and J.-J. Cabibihan, "Sensing discomfort of standing passengers in public rail transportation systems using a smart phone," in *2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, IEEE, 2013, pp. 1509–1513.

[60] E. Dumur, Y. Barnard, and G. Boy, "Designing for comfort," *Human factors in design*, pp. 111–127, 2004.

[61] P. Vink, C. Bazley, I. Kamp, and M. Blok, "Possibilities to improve the aircraft interior comfort experience," *Applied ergonomics*, vol. 43, no. 2, pp. 354–359, 2012.

[62] F. Kremser, F. Guenzkofer, C. Sedlmeier, O. Sabbah, and K. Bengler, "Aircraft seating comfort: The influence of seat pitch on passengers' well-being," *Work*, vol. 41, no. Supplement 1, pp. 4936–4942, 2012.

[63] D. Paulet, D. Presles, and F. Neuman, *Architecture navale: connaissance et pratique*. Dunod, 2018.

[64] Y. Mitiku, D. Thomas, F. Mersha, F. Hailu, and E. Semeredin, "Design and manufacturing of mechanical steering system for parallel parking, zero turning radius, minimum turning radius with traditional turning," *Science, Technology and Arts Research Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 88–94, 2016.

[65] L. de la Fuente Valentın, A. Pardo, and C. D. Kloos, "Using third party services to adapt learning material: A case study with google forms," in *European Conference on Technology Enhanced Learning*, Springer, 2009, pp. 744–750.

[66] B. Guo, Z. Wang, Z. Yu, Y. Wang, N. Y. Yen, R. Huang, and X. Zhou, "Mobile crowd sensing and computing: The review of an emerging human-powered sensing paradigm," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 48, no. 1, p. 7, 2015.

[67] B. Guo, D. Zhang, Z. Wang, Z. Yu, and X. Zhou, "Opportunistic ıot: Exploring the harmonious interaction between human and the internet of things," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, no. 6, pp. 1531–1539, 2013.

[68] N. Maisonneuve, M. Stevens, M. E. Niessen, and L. Steels, "Noisetube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones," in *Information technologies in environmental engineering*, Springer, 2009, pp. 215–228.

[69] G. Singh, D. Bansal, and S. Sofat, "A smartphone based technique to monitor driving behavior using dtw and crowdsensing," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 40, pp. 56–70, 2017.

[70] L. M. Bergasa, D. Almerıa, J. Almazán, J. J. Yebes, and R. Arroyo, "Drivesafe: An app for alerting inattentive drivers and scoring driving behaviors," in *2014 IEEE Intelligent Vehicles symposium proceedings*, IEEE, 2014, pp. 240–245.

[71] G. Svennerberg, *Beginning Google Maps API 3*. Apress, 2010.

[72] N. Kalra, G. Chugh, and D. Bansal, “Analyzing driving and road events via smartphone,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 98, no. 12, pp. 5–9, 2014.

[73] M. T. Do and H. Zahouani, “Influence of the road-surface texture on the speed dependency of tire/road friction,” in *10th International Conference Metrology and Properties of Engineering Surfaces, Saint Etienne, France*, 2005, pp. 369–378.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgileri: yfpayalan@gmail.com

Makale

1. Y. F. Payalan and M. A. Guvensan, “Towards Next-Generation Vehicles Featuring the Vehicle Intelligence,”IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019

Konferans Bildirisi

1. Y. F. Payalan, M. A. Güvensan, "Karakteristik Sürüş Bilgileriyle Yorgunluk Tespiti ve Sürüş Güvenliği," 13. Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu 2-4 Mayıs, pp 201-209, 2019