



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ARAÇLARIN ŞERİT DEĞİŞİKLİĞİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE
ANALİZİ VE SINIFLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yunus Emre AVCI
195105007**

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL

MAYIS 2021



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ARAÇLARIN ŞERİT DEĞİŞİKLİĞİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE
ANALİZİ VE SINIFLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yunus Emre AVCI
195105007**

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL

MAYIS 2021

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlanması, araştırılması ve yürütülmesi sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman Hilmi KOÇAL'a ve değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Adem TUNCER'e teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardımları ve katkıları ile bana destek olan tüm saygıdeğer hocalarıma, arkadaşlarıma ve başta abim Dr. Cafer AVCI olmak üzere aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2021

Yunus Emre Avcı
Araştırma Görevlisi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon.....	3
1.2 Tez Çalışmasının Katkıları.....	4
1.3 Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri.....	4
1.3.1 Şerit Değişikliği.....	4
1.3.2 Keyfi Şerit Değişikliği	9
1.3.3 Zorunlu Şerit Değişikliği.....	11
1.3.4 Mikroskobik ve Makroskobik Şerit Değişikliği.....	12
1.4 Tezin Organizasyonu.....	14
2 MATERYAL ve METOT	15
2.1 Veriseti	15
2.2 Dalgacık Dönüşümü	16
2.2.1 Geliştirilen Modelde Kullanılan Dalgacıklar	17
2.3 Şerit Değişikliği Manevrası.....	20
2.3.1 Azimut.....	21
2.3.2 Yanal Sapma	23
2.3.3 Sınıflandırma	24
2.3.4 Şerit Değişikliği Zamanı ve Hedef Şerit	25
2.4 Şerit Değişikliği Manevrasının Kategorileştirilmesi.....	26



3 DENEY SONUÇLARI	29
3.1 Şerit Değişikliği Tespiti	29
3.2 Şerit Değişikliği Manevrasının Türünün Sınıflandırılması	31
4 TARTIŞMA VE SONUÇ.....	33
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ	41





KISALTMALAR

ADD	: Ayırık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform)
DTW	: Dinamik Zaman Bükme (Dynamic Time Warping)
DWT	: Ayırık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform)
DNN	: Derin Sinir Ağı (Deep Neural Network)
FIR	: Sonlu Dürtü Yanıtı (Finite Impulse Response)
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
HMM	: Gizli Markov Modeli (Hidden Markov Model)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
K-NN	: K-En Yakın Komşuluk (K-Nearest Neighbor)
KŞD	: Keyfi Şerit Değişikliği
LK	: Şerit Takibi (Lane Keeping)
LC	: Şerit Değişikliği (Lane Changing)
LIDAR	: Uzaklık Tespiti ve Uzaklık (Light Detection and Ranging)
LLC	: Sola Şerit Değişikliği (Left Lane Changing)
LSTM	: Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory)
NGSIM	: Next Generation Simulator
RLC	: Sağa Şerit Değişikliği (Right Lane Changing)
YSA	: Yapay Sinir Ağı
ZŞD	: Zorunlu Şerit Değişikliği
WT	: Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1 Önerilen modelin literatürdeki yeri	14
Çizelge 3.1 Önerilen modelin farklı dalgacık fonksiyonlarındaki performans metrikleri	30



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Genel şerit değişikliği adımları	2
Şekil 1.2 Yol çalışması nedeniyle zorunlu şerit değişikliği	9
Şekil 1.3 Şerit daralması sonucu şerit değişikliği	9
Şekil 1.4 Keyfi şerit değişikliği.....	11
Şekil 2.1 Atina şehrinde gerçekleştirilen deneyde veri toplanan 10 bölge	16
Şekil 2.2 Haar dalgacığı	18
Şekil 2.3 Daubechies(db2) dalgacığı.....	19
Şekil 2.4 Symlet (sym2) dalgacığı	20
Şekil 2.5 Şerit değişikliği tespit modelinin akış diyagramları	21
Şekil 2.6 Hareket halindeki bir aracın azimut açısının hesaplanması ...	22
Şekil 2.7 Şerit değiştiren bir araca ait gürültülü ve filtreli azimut serileri.....	22
Şekil 2.8 Şerit takibi gerçekleştiren bir araca ait gürültülü ve filtreli azimut serileri.....	23
Şekil 2.9 Şerit değişikliği türleri a) Ani şerit değişikliği b) Yumuşak şerit değişikliği	26
Şekil 2.10 Şerit değişikliği türünün tespiti ile ilgili akış diyagramı	27
Şekil 3.1 Geliştirilen modeldeki deneylerin gerçekleştirildiği Leoforos Alexandras Caddesi	29
Şekil 3.2 Şerit değişikliği gerçekleştiren bir araca ait detay katsayıları	30
Şekil 3.3 Deneylerin gerçekleştirildiği caddedeki araçların hareketleri	31



ARAÇLARIN ŞERİT DEĞİŞİKLİĞİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE ANALİZİ VE SINIFLANDIRILMASI

ÖZET

Artan araç talebi ve kentleşme nedeniyle trafik yönetimi giderek zorlaşmaktadır. Trafik koşullarını iyileştirmeye yönelik akıllı ulaşım sistemleri kullanılarak birçok model geliştirilmekte, bu modeller ve trafik verileri kullanılarak çözümler sunulmaktadır. Trafiğin önemli bir parçası olan şerit değişikliği, trafik verimliliği, güvenliği ve akımı üzerinde büyük etkisi olan temel sürüş davranışlarından biridir. Bu tez çalışmasında şerit değişikliği tespitine yönelik yeni bir model geliştirilmiştir. Şerit değişikliği tespiti için ilk olarak pNEUMA veri seti ile sağlanan WGS-84 koordinatları kullanılarak araçların azimut açıları hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra araçlara ait katedilen mesafe verisi de kullanılarak araçların yanıl sapmaları hesaplanmıştır. Azimut serisine çok seviyeli ayrık dalgacık dönüşümü uygulanarak her bir araca ait maksimum genlik elde edilmiştir. Şehir içi yollarda araçların şerit değiştirme davranışları, yanıl sapma ve maksimum genlik özniteliklerinin K-NN ile sınıflandırılmasıyla tespit edilmiştir. Şerit değişikliğinin gerçekleştiği zaman aralığı, uygulanan dalgacık tipi ve maksimum genlikli dalgacık katsayısı ile belirlenmiştir. Zaman aralığı tespitine ek olarak aracın geçiş yaptığı hedef şerit, maksimum genlikli dalgacık katsayısı işaretine göre belirlenmiştir. Şerit değişikliği tespitinin yanı sıra, haar, symlet ve daubechies dalgacık dönüşümü taban fonksiyonları uygulanarak şerit değişiminin seviye bilgisini içeren öznitelikler elde edilmiş ve bu öznitelikleri kullanarak şerit değişimi yumuşak ve ani olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada önerilen dalgacık dönüşümü yaklaşımının şerit değişikliğini tespit etmede başarılı olduğu görülmüştür. Literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında önerilen yöntemin yüksek başarı oranı sağladığı ve daha az işlem karmaşıklığına sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şerit değiştirme; Dalgacık dönüşümü; Azimut; Sınıflandırma; Akıllı Ulaşım Sistemleri



ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF THE LANE CHANGING OF VEHICLES BY WAVELET TRANSFORM

ABSTRACT

Traffic management is getting more difficult because of increasing vehicle demand and urbanization. Many models are developed using intelligent transportation systems to improve traffic conditions, and solutions are offered using traffic datasets with these developed models. Lane changing is an important part of traffic and, it's one of the basic driving behaviors that has a major impact on traffic efficiency, safety and flow. In this thesis, a new model has been developed for the lane changing detection. In order to detect lane changing, the azimuth angles of the vehicles were calculated using the WGS-84 coordinates provided with the pNEUMA data set. In addition, the lateral deviations of the vehicles were calculated using the traveled distance data of the vehicles. The maximum amplitude of each vehicle was obtained by applying multilevel discrete wavelet transform to the azimuth series. The lane changing behavior of vehicles in urban roads has been determined by classifying the lateral deviation and maximum amplitude features with K-NN. The time interval at which the lane changing takes place was determined by the applied wavelet type and the maximum amplitude wavelet coefficient. In addition to the time interval detection, the target lane that the vehicle passes through was determined according to the wavelet coefficient sign of the maximum amplitude. Besides of the lane changing detection, lane changing was classified as smooth and sudden using the features including level information of lane changing were obtained by applying wavelet transform base functions of haar, symlet and daubechies. It is observed that the wavelet transform approach proposed in the thesis is successful in detecting the lane changing. Compared to other approaches in the literature, it was determined that the proposed method provides a high success rate and has less processing complexity.

Keywords: Lane changing; wavelet transform; azimuth; classification; Intelligent transportation systems



1. GİRİŞ

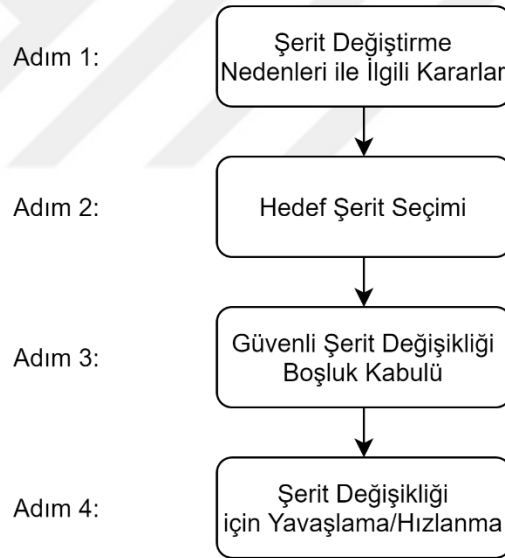
Etkili ulaştırma sistemleri, önemli birçok destinasyona erişilebilirliği kolaylaştırarak sosyoekonomik fırsatlar ve yararlar oluşturmaktadır. Bilim ve teknolojinin hızlı gelişimi, nüfus artışı gibi sebepler sonucu yüksek kapasiteli, hızlı, güvenli ve konforlu bir ulaşım isteği artış göstermektedir. Artan talepler nüfus artışına paralel olarak karayolu taşımacılığına olan talebin ve motorlu araç sayısının her geçen gün artması sonucu ortaya çıkmaktadır. Artışa bağlı olarak mevcut trafik sorunlarının gitgide daha geniş kitlelerce hissedileceği ve şehirlerin önemli bir sorunu olarak yerini koruyacağı görölmektedir.

Trafikte sorunlara neden olan yollardaki araç sayısı çokluğunun yanı sıra, trafik akımına yönelik trafik modellemelerinin geliştirilmesi ile trafiğe yönelik özömlerin uygulanmasını içeren akıllı ulaşım sistemlerine (AUS) olan ihtiyaı arttıran başka birçok neden bulunmaktadır. Yetersiz toplu taşıma seçenekleri veya diğer nedenlerden dolayı karayolu için çok fazla aracın yer alması, yolda tıkanmaya ve birleşmeye neden olan yol çalışması, kamu hizmeti nedeniyle şerit kapatma, senkronize olmayan trafik sinyalleri, araçların dönüşüne engel olan çok fazla yaya geçidi, toplu taşıma sisteminin hali hazırda aşırı kalabalık olması ve yol sisteminin yetersiz olduğu alanlarda aşırı gelişme, gerçekleştirilen şerit değişiklikleri gibi nedenler trafikte problemlere neden olmaktadır.

Artan taşıt sahipliği ve taşıtlı ulaşımın önde olduğu kentleşme modelinde trafiğin zirve saatinde yaşanan tıkanıklıklar ise trafik kazalarında, emisyon salınımında ve seyahat sürelerinde artış gibi bir dizi sorunu beraberinde getirmektedir. Dünya çapında trafik kazalarında 1.35 milyon insan ölmekte ve 50 milyon kişi de uzun vadeli sakatlık yaşamaktadır. Yol kazaları, ölümlerin 8. önde gelen nedeni olarak yapılan çalışmayla tespit edilmiştir [1]. Çalışmaya göre kazalar genelde dört faktörden kaynaklanmaktadır: (i) Sürücü (davranış, beceri), (ii) evre (geometrik tasarım, güvenlik araçları, hava koşulları), (iii) Trafik dinamikleri (akış, hız ve yoğunluk) ve (iv) Araç özellikleri (tür, şekil, boyut ve şartlar). Bu kaza faktörlerinden sürücü faktörleri, kazaların en olası nedenidir [2]. Bu kapsamda trafik kazaları özelinde ölkemiz açısından yapılan değerlendirmeler incelendiğinde ise 2018 yılında arkadan çarpmak suretiyle gerçekleşen kazaların oranı %7.74, şerit değiştirmeye bağlı

gerçekleşen kazaların oranı %7.21, araç hızını şartlara uyduramama nedeni ile gerçekleşen kazaların oranı ise %39.31 olarak gerçekleşmiştir [3].

Trafik akımında ortaya çıkan problemlerin nedenlerinden biri olan şerit değişikliği, sürücülerin ya planlanan hedefe ulaşmak (zorunlu şerit değiştirme) ya da istenen sürüş koşullarını elde etmek (keyfi şerit değiştirme) için yolda sıklıkla gerçekleştirdiği rutin sürüş görevlerinden biridir. Bu nedenle, şerit değişikliği trafik akımı teorilerinin çok önemli bir bileşenidir. Bir şerit değiştirme süreci genel olarak Şekil 1.1'de gösterildiği gibi dört karar verme adımı temel alınarak modellenmektedir. 1. adımda, şerit değiştirmenin gerekli olup olmadığı ve potansiyel şerit değiştirme nedenlerinin söz konusu sürücü tarafından kabul edilip edilmediği değerlendirilmektedir. Ardından, 2. adımda şerit değişikliği manevrası için hedef şerit belirlenmektedir. 3. Adım, uygun şerit değişikliğinin uygun şekilde seçilmesi veya reddedilmesi için hedef şeritteki ön ve arka boşlukların kontrolünü içeren adımdır. Son adımda, söz konusu aracın hedef şeride hareket edebilmesi için gerekli bir hızlanma veya yavaşlama benimsenmektedir.



Şekil 1.1 Genel şerit değişikliği adımları

Şerit değişikliği manevrası komşu şerit sürücülerini yavaşlatmakta ve çevredeki trafik akışını bozabilmektedir. Dolayısıyla kurallara uygun yapılmayan şerit değişikliği sık sık çarpışmaların nedenlerinden biri olarak rapor edilmektedir. Araç içi emniyet sistemleri ile trafik yönetimi ve denetimine yönelik AUS uygulamalarının önemli bir ihtiyaç olduğu görülmektedir. Etkili ve sürdürülebilir bir ulaşım yönetimi çok boyutlu, kapsamlı, planlı ve ülke çapında koordine bir AUS ile gerçekleştirilebilmektedir. Yol güvenliği ve trafik akım verimliliğinde şerit değiştirmenin önemi görülmekle birlikte,

şerit değişikliği manevrasının analizi ve modellenmesi kritik hale gelmektedir. Sonuç olarak AUS'un farklı disiplinlerle olan ilişkisi ve dünya genelinde sahip olduğu hayati rol ile bugünün ve geleceğin en önemli araştırma alanlarından biri olduğu görülmektedir. Ulaşımda ve trafikte risklerin, kaza oranlarının, trafik sıkışıklığının, karbon emisyonunun, hava kirliliğinin azaltılması ile güvenliğin, sürdürülebilirlik ve güvenilirliğin, trafikte anlık hızların, trafik akımının ve yolcu tatmininin artırılması, yolculara en uygun rotanın sağlanması, trafikte mobilitenin sağlanması gibi durumlarda AUS önemli bir yere sahiptir [4].

1.1 Motivasyon

Şerit değiştirme manevrası, veri eksikliği nedeniyle literatürde kent içi yolları kapsayan yeterli sayıda çalışmaya sahip değildir. Aksine şerit değişikliği manevrası, özellikle karayolu ulaşım ağlarında büyük ilgi görerek farklı şekillerde modellenmiştir. Diğer günlük rutin sürüş davranışlarıyla karşılaştırıldığında, şerit değişikliği manevrası daha karmaşıktır ve şerit değiştiren sürücülerin (veya karar vericilerin) çevredeki trafik koşullarını (örneğin, öndeki aracın hızı, mesafesi ve mevcut sürüş şeridindeki boşlukları) fark etmesini gerektirir. Şerit değişikliği manevraları sırasında artan belirsizlik ve karar hatalarının sonucu olarak başarılı bir şerit değişikliği kararı, sürücünün zihinsel iş yükünü ve stresini arttırmakla birlikte, sürüşü daha hatasız hale getirmektedir.

Akıllı ulaşım sistemleri, gelişmiş ulaşım teknolojilerinin kullanımını içerir. Araçların internet entegrasyonu sayesinde trafikteki araçlar kendileri ile diğer araçlar ve çevre arasında veri gönderip alabilir, böylelikle bağlantılı bir ortam oluşabilir. Bu veriler, trafik akımını kontrol ederek ve kazaları önleyerek verimli bir ulaşım sağlamak için işlenebilir. Bu amaçla, bağlantılı bir ortam tarafından sağlanan sürüş yardımlarının araçla ilgili güvenliği artırması beklenmektedir. Sürücülerin sağlanan sürüş yardımlarını kabul edip etmedikleri (ve dolayısıyla bağlantılı bir ortamdan fayda sağlayıp sağlamadıkları) ve buna göre sürüş davranışlarını değiştirip değiştirmedikleri, bağlantılı bir ortamın başarısı için doğrudan etkileri olan sorulardan bazılarıdır [5].

Trafiğin mikroskobik bir bileşeni olan şerit değişikliğinin sürücü, ortam ve trafik akımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Bu amaçla akıllı, sürdürülebilir, güvenli ve yetersiz çalışmaların olması nedeniyle şehir içi yolları kapsayan şerit değişikliği tespit modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, sinyal işleme uygulamaları sonucu elde

edilen bilginin dalgacık dönüşümü kullanımı sonucu daha az işlem karmaşıklığı ile elde edilebileceği varsayımıyla yeni bir şerit değişikliği ve şerit değişikliği tür tespiti modeli geliştirilmiştir.

1.2 Tez Çalışmasının Katkıları

Bu tez çalışmasında, insansız hava araçları (İHA) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen görüntüler kullanılarak oluşturulmuş pNEUMA [6] veriseti kullanılarak şerit değişikliği, şerit değişikliği zamanının ve türünün tespiti hedeflenmiştir. Verisetinde yer alan farklı tipteki araçlara ait koordinat bilgileri kullanılarak, çok katmanlı dalgacık dönüşümü ile şerit değişikliği tespitine yönelik bir model geliştirilmiştir. Şerit değişikliği tespiti için geliştirilen modelin testi üç farklı ana dalgacık ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Şerit değişikliği tespiti ve şerit değişikliği türünün tespitine yönelik geliştirilen modelin başarısı K-en yakın komşuluk (K-NN) sınıflandırıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Bu çalışmanın bundan sonraki çalışmalarda araştırmacılar için alternatif bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın literatüre ana katkıları aşağıda özetlenmiştir:

- Ek filtreler gerektirmeden sadece Sonlu Dürtü Yanıtı (FIR) filtresi kullanımı ile şerit değişikliği tespiti gerçekleştirilmiştir.
- İşlem sayısını minimumda tutarak sadece dalgacık dönüşümü ve FIR filtresi ile şerit değişikliği tespiti gerçekleştirilmiştir

1.3 Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri

1.3.1 Şerit Değişikliği

Şerit değişikliği manevrası, trafik akımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, şerit değişikliği manevrasının anlaşılması, kapasite analizi ve güvenlik çalışmaları gibi çeşitli uygulama alanlarında önemli bir yere sahiptir. Özellikle şerit değişikliği manevrası, mikroskobik çözümlerin en önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Son yıllarda, ulaşım sistemlerinin analizi için yararlı birçok aracın ortaya çıkmasının ardından, daha güvenilir sürüş davranış modellerinin özellikle de şerit değişikliği (LC) modellerinin geliştirilmesine olan ilgi de artmıştır [7]. LC davranışının tespiti, birçok araştırmacı tarafından gizli markov model (HMM), destek vektör makinesi (SVM) ve yapay sinir ağı (YSA) gibi makine öğrenmesi yöntemleri

kullanılarak gerçekleştirilmişken son zamanlarda derin öğrenme yöntemleriyle de sıkça modellenmeye başlanmıştır.

Potansiyel LC ve şerit takibi (LK) adaylarını genelleştirmek için spektral zaman-frekans analizi bölümleme yaklaşımı Zheng ve Hansen [8] tarafından geliştirilmiştir. Dinamik Zaman Bükme (DTW) ve HMM algoritmaları ile sınıflandırma gerçekleştirilmiş, sınıflandırma sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak LC analizi yapılmıştır.

Dou vd. [9] sürücülerin otoyollarda LC manevralarının tahminine ilişkin YSA ve SVM yöntemlerinin kullanıldığı bir model geliştirmiştir. Modelde LC'nin tespiti için araç ve yol yüzey durumu bilgileri kullanılmıştır. YSA ve SVM yöntemleri birleştirildikten sonra geliştirilen model, literatürdeki diğer sınıflandırıcılar ile karşılaştırılmıştır.

Sinir ağı, belirsizlikleri genelleme ile öğrenme ve çözme yeteneği nedeniyle LC tahmininde sıkça kullanılan yaklaşımlardan biridir. Ding vd. [10], bir geri yayılım YSA modeli uygulayarak geçmiş araç verileri üzerinde LC tespiti gerçekleştirmiştir. Daha sonra uygulanan modelin eğitim süresi ve doğruluk sonuçları Elman ağ modeli kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sürüş simülatörü verileri ve Next Generation Simulation (NGSIM) veriseti kullanılarak yapılan çalışmaya göre, uygulanan model şehir içi yollarda trafik akışında yüksek doğruluğa ulaşmıştır.

Şerit değiştirme manevraları, güvenlik açısından da kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. LC manevrasının trafik akımındaki güvenliği nasıl etkilediği araştırılırken ana yöntem olarak simülasyon yöntemlerini kullanan çalışmalar da gerçekleştirilmiştir [11, 12]. Çalışmalarda Simülatör ve NGSIM verilerinde şerit değişikliğini tespit etmek için YSA, geri yayımlı YSA ve Elman YSA modelleri kullanılmış, modellerin sonuçları eğitim süresi ve doğruluğu açısından karşılaştırılmıştır.

Kamera tabanlı LC manevrası tespiti konusundaki birçok erken çalışma şerit sınırı modellemesine dayanmaktadır. Genel görüntü bilgisi geniş anlamda çalışılmadığından geliştirilen sistemler kamera kalibrasyonuna duyarlıdır. Bu nedenle, şerit takibi ve şerit değişikliği gibi sürüş davranışlarını sınıflandırmak için SVM tabanlı çerçeve kullanarak LC manevrasını tespit etmek için kamera tabanlı bir LC davranış modeli, Baek ve He [13] tarafından geliştirilmiştir. Toplanan görüntülerden ve SVM modellerinden çıkarılan kenar bilgileri, temel bileşen analizi (PCA) uygulanarak veya

uygulanmadan karşılaştırılmıştır. Bir evrişimli sinir ağı da çıkarılan kenarlarda LC sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır. Yazarlara göre çalışma %79,7 doğruluğa ulaşmıştır.

Derin öğrenme yöntemleri son zamanlarda LC manevralarını tespiti için sık sık kullanılmaktadır. Gao vd. [14] LC tespitine yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada, 22 farklı fizyolojik sinyalden sürücünün şerit değiştirme davranışına ilişkin grup tabanlı evrişimli sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada İHA kullanılarak oluşturulan highD veri setindeki şerit değişikliği manevrasını tanımlamak için yoğunluk tabanlı kümelemeye sahip bir SVM kullanılmıştır. Wei vd. gerçekleştirdikleri ve derin öğrenme kullandıkları çalışmada ise, etiketli veriler uzun kısa süreli bellek (LSTM) modeline verilerek gerçek zamanlı olarak ortalama 3 saniye ile LC tespit edilmiştir. Ayrıca yaklaşımda şerit düzeyinde karar vermede GPS verilerinin yetersizliğine ve yüksek doğruluk elde etmek için LIDAR kullanmanın maliyetine dikkat çekilmektedir [15]. Çalışmada, araca yerleştirilen ön görüş kamerası ile yakalanan görüntüler ve atalet ölçüm ünitesinden elde edilen veriler kullanılmış, LC manevrasını algılamak için derin öğrenme tabanlı bilgisayarlı görme sistemi geliştirilmiştir. Yazarlara göre önerilen yöntem, LC'yi yüksek doğrulukla tespit etmektedir.

Huang vd. [16], LC manevrasını tespit etmek için sinir ağlarını kullanarak LC modeli geliştirmişlerdir. İlk olarak, iki YSA modelinin girdi ve çıktı katmanları ile LC modellerinin girdilerini belirlemek için LC modelini etkileyen faktörler analiz edilmiştir. Daha sonra girdi ve çıktıya göre, veri setinden şerit değişikliği ile ilgili veriler çıkartılarak operasyonel seviye LC örnekleri oluşturulmuştur. Sosyal güç davranış teorisi ve veriye dayalı modelleme, operasyonel seviye LC davranış modellemesi gibi daha karmaşık sürüş davranışlarına uygulanmaya çalışılmıştır. Orijinal yörünge yerine, göreceli mesafe, hız, göreceli hız girişi, anlık veya tarihsel yörünge ve göreceli mesafe bilgileri aynı anda girilmiştir. LC modelleri için, ileri beslemeli bir sinir ağı LC modeli ve tekrarlayan sinir ağı tabanlı LC modeli kullanılmıştır. Yinelemeli yöntem kullanılarak, uygun derin sinir ağı (DNN) tabanlı operasyonel seviye LC modeli belirlenmiştir. Ampirik veri testlerine göre, geliştirilen sinir ağı tabanlı operasyonel seviye LC modelinin, ticari simülasyon yazılımının mevcut LC modellerine göre yörünge tahmininde daha doğru olduğu tespit edilmiştir.

Arterlerde ve yoğun şehir merkezlerinde trafik durumlarını hesaba katmak yetersiz trafik penetrasyon oranları, gizlilik sorunları, GPS hataları vb. kısıtlamalar sonucunda ortaya çıkabilecek çeşitli sorunlar nedeniyle güç olabilmektedir [17]. Bu nedenle, İHA sürüsü kullanılarak trafik sıklığının yaşandığı bölgelerdeki trafik akımından gerçekleştirilen deneyle veriler toplanmıştır [18]. Şerit ve şerit değişikliği tespitine yönelik gerçekleştirilen çalışmada araçların anlık enlem ve boylam değerleri kullanılarak hesaplanan azimut açısı, gerçek kuzey ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Tepe tespit aracı ile azimut grafiğindeki zirveler belirlenmiştir. Araçların LC manevralarının %96 doğrulukla tespit edildiği yazarlar tarafından belirtilmiştir [17].

Yavaşlama dalgalarının kökenleri ve tetikleyicileri, yavaşlama aşaması ve ardından hızlanma aşaması olarak tanımlanan bir salınımında dalgacık temelli enerji hesaplamasıyla tanımlanır. Hızdaki herhangi bir değişiklik, dalgacık çerçevesinde bir enerji sıçramasına neden olacaktır. Bu enerji artışı ile araca geri dönülerek yavaşlama dalgasının kaynağı belirlenebilir. Salınımın kaynağı belirlendikten sonra yavaşlama ve ivme dalgalarının yolları izlenerek, salınımın araçtan araca yayılması dalgacık dönüşümü (WT) kullanılarak incelenmiştir. Yavaşlama ve ivme dalgalarının gelişinin neden olduğu önemli hız değişiklikleri, dalgacık temelli enerjideki artışlara eşlik ederek dalga varış zamanlarını tam olarak belirlemelerini sağlamıştır. Yavaşlama dalgasının araçtan araca genlik üzerindeki değişimi incelenerek ve yavaşlama evresindeki hız düşüş hızı dikkate alınarak şerit değiştirme manevrası ile yavaşlama dalgasının tetiklendiği tespit edilmiştir [19].

Başarılı şerit değiştirme manevraları genellikle trafik akışı ve yol güvenliği sorunları üzerinde olumsuz etkileri olan şerit değişikliği modellemesinde dikkate alınmaktadır. Ancak, başarısız şerit değişikliği, söz konusu olumsuzluklarda başarılı şerit değişikliklerinden daha büyük bir paya sahip olmaktadır. Başarısız şerit değişikliği, geçmek istenen şeridin yanı sıra şeritteki trafik akışını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, bağlantılı bir ortamda başarısız şerit değiştirme girişimlerinin ele alındığı çalışmada [20], dalgacık dönüşümü tabanlı yaklaşımla başarısız girişimler tespit edilmiş ve ortalama hız, trafik akış verimliliği gibi parametrelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Yazarlara göre NGSIM veri setine uygulanan yaklaşım ile yeterli bir doğruluk oranı elde edilmiştir. Başarısız şerit değiştirme manevraları mevcut şerit değiştirme modellerine dâhil edilerek yazarlar tarafından şerit değiştirme modellerinin doğruluk oranı artırılmaya çalışılmıştır.

Literatürde, Dinamik Zaman Bükme (DTW) gibi yaklaşımlara, şerit değişikliği manevralarının tespitini içeren çalışmalarda sıklıkla karşılaşılmaktadır. DTW, belirli kısıtlamalarla ve kurallarla zaman serisi analizinde hız bakımından değişebilen iki zamansal dizi arasındaki en uygun benzerliği ölçen bir algoritmadır. İki belirli zaman serisi için bir ızgara oluşturarak ögeler arasındaki mesafeyi hesaplamaktadır. Algoritma, ızgaradaki toplam mesafeyi en aza indirmenin en iyi yolunu tahmin etmektedir. DTW'in en büyük dezavantajı, hızlı ve kolay uygulanması nedeniyle zaman serisi verilerinin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılmasına rağmen yüksek eşik değeri bağımlılığı nedeniyle kolay transfer edilememesidir.

DTW kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalardan ilki olan Zheng vd.'nin [8] geliştirdikleri modelde, dönüşler, frenleme ve şerit değişikliği tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise otoyollarda şerit değişikliklerinin denetimsiz bir öğrenme yöntemine dayalı yeni bir çerçeve önerisi ile belirlemiş [21], şerit değişikliği manevrası türlerini temsil etmek için manevralar, HMM ve hiyerarşik kümeleme kullanılarak temel itici eylemlere ayrılmıştır. Ardından DTW kullanılarak şerit değişikliği manevraları tespit edilmiştir.

Pan vd. [22] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, zorunlu şerit değişikliği (ZŞD) ve keyfi şerit değişikliği (KŞD) davranışlarının eşzamanlı simülasyonunu sağlamak için çok şeritli trafik dinamiklerini gerçekçi bir şekilde yakalamak için mezoskopik çok şeritli model önerilmiştir. Önerilen mezoskopik çok şeritli hücre aktarım modeli Kaliforniya, Orange County'deki State Route 241 otoyolunun bir bölümünde kalibre edilmiş ve doğrulanmış olup, şerit değiştirme manevralarının hem olumlu hem de olumsuz etkileri gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, modelin hücre aktarım modelinin gerektirdiği dışında hiçbir ek veri gerektirmediği, bu nedenle çoğu yönetim merkezinde mevcut olan verilerden dinamik mezoskopik çok şeritli trafik durumuna erişmek için basit bir simülasyon aracı olarak ya da trafik olayının veya şerit kontrol stratejisinin etkisini tahmin etmede potansiyel uygulama olarak kullanılabileceği yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Genel anlamda ele alınan şerit değişikliği çalışmalarının yanı sıra şerit değişikliği, sürücünün motivasyonuna bağlı olarak zorunlu veya keyfi olarak sınıflandırılabilir [23, 24]. Sürücülerin sürüşüne devam edebilmek için mevcut şeritten ayrılması gerektiğinde, ZŞD incelenmektedir. Diğer bir yandan, sürücüler yavaş araçlardan

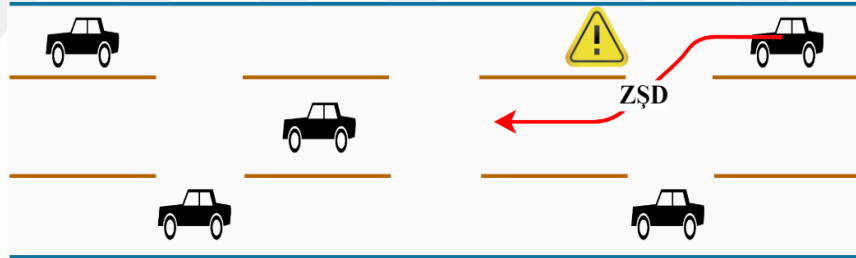
kaçmak, büyük / ağır araçları geçmek gibi sürüş koşullarını iyileştirmeye yönelik şerit değişikliği KŞD olarak ele alınmaktadır.

Şerit değişikliği çevredeki trafik koşullarına müdahalesi nedeniyle trafik akımlarının makroskobik ve mikroskobik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak KŞD veya ZŞD olarak incelenen şerit değişikliği, KŞD ve ZŞD'den bağımsız olarak çalışıldığında mikroskobik bir özellik olmaktadır. Sürücülerin şerit değişikliği manevrasını etkileyen faktörleri anlamak, çeşitli trafik ve ulaşım çalışmalarında şerit değişikliği modellerine etkisi nedeniyle önemlidir [25].

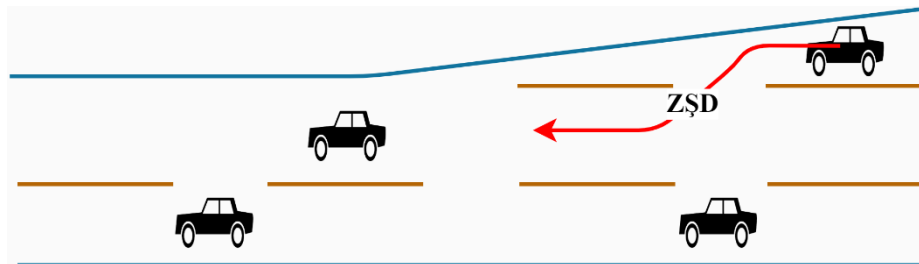
Daha önce değinilmiş olan model sınıflandırmaları temelinde, şerit değişikliğine yönelik gerçekleştirilen diğer çalışmalara alt başlıklarda bahsedilmiştir.

1.3.2 Zorunlu Şerit Değişikliği

Zorunlu şerit değişikliği, sürüşün gerçekleştiği yollarda yol yapımı (Şekil 1.2), kaza durumu, şerit daralması (Şekil 1.3) gibi sebeplerden dolayı sürücülerin gerçekleştirdiği şerit değişikliğidir. Çoğunlukla ZŞD, araçların şerit değiştirmesi için zorlayıcı bir durumdur.



Şekil 1.2 Yol çalışması nedeniyle zorunlu şerit değişikliği



Şekil 1.3 Şerit daralması sonucu zorunlu şerit değişikliği

ZŞD için aşırı öğrenme makinesi tabanlı bir karar verme yönteminin önerildiği çalışmada Cheng vd. [26], doğru şerit değişimi için gerekli olan birden fazla sürüş değişkenini çıkarmış ve doğru şerit değişikliği kararını oluşturmak için yerleşik bir

çekirdek aşırı öğrenme makinesi ağının girdileri olarak kullanmışlardır. Çekirdek aşırı öğrenme makinesi ağı, US Highway-101 ve Interstate-80'deki (I-80) NGSIM veri setinden alınan araç yörünge verileriyle on kat çapraz doğrulama yaklaşımı kullanılarak eğitilmiştir. Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi ile yazarlar tarafından geliştirilen yöntemin şerit değiştirme kararını birleştirme olayları için %92,86 doğrulukla ve birleştirme olmayan etkinlikler için %94,36 doğrulukla verebileceği belirtilmiştir. Hem aşırı öğrenme makinesi hem de SVM yöntemiyle karşılaştırıldığında, önerilen yöntemin karar vermede daha doğru ve daha hızlı olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Kaza oranının yüksek olduğu ve yolda darboğaza neden olan otoyol birleşim bölümlerinde, otonom ve sürücülü araçlar ile karışık trafik ortamları söz konusu olduğundan bu bölümler daha karmaşık hale gelmektedir. Otonom araçların şerit değişikliğinin neden olduğu trafik kazalarını önlemek için manuel araçların sürüş davranışını doğru bir şekilde tanımlaması ve otoyol birleşim noktalarındaki ZŞD manevrasının özelliklerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Sürücünün psikolojik özelliklerine dayalı bir analitik ZŞD yöntemi Hao vd. [27] tarafından önerilmiştir. İlk adımda, sürücü üzerindeki ZŞD baskısı kavramı önerilmiş, ardından şerit değiştirme niyeti, sürücünün ZŞD baskısı ve eğilimi dikkate alınarak ölçülmüştür. Son olarak, şerit değiştirme niyetine ve hedef şeridin ilerleme dağılımına bağlı olarak, şerit değiştirme konumunun dağılım özelliklerini tanımlamak için ZŞD pozisyonlarına ait bir olasılık yoğunluk modeli önerilmiştir. NGSIM veri seti ile veri doğrulaması yapılarak, LC analiz modellerinin gerçek senaryolarda şerit değişikliği gerçekleştiren araç özelliklerini nesnel olarak tanımlayabildiği belirtilmiştir. Yazarlara göre geliştirilen model geleneksel LC modeliyle karşılaştırıldığında, önerilen modelin daha yorumlanabilir ve sürüş amacına daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlara göre yazarlar, gelecekte heterojen trafik akışında otonom araçların gerçekleştireceği şerit değişikliğinin güvenli olarak tanınmasında önemli gelişmeler gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

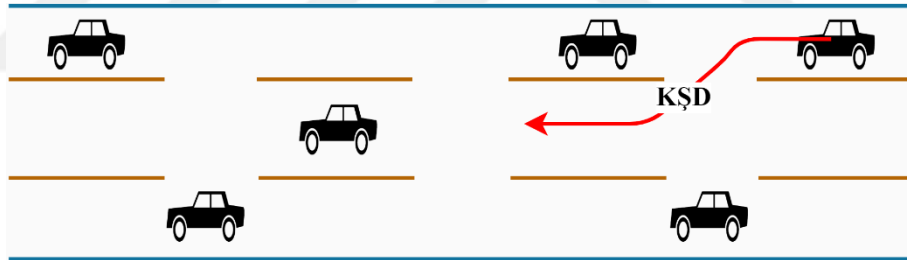
Yapay zekâ temelli ZŞD karar yöntemleri, sürücünün düşünme ve sürüş süreci sırasındaki eylemlerini simüle etmek için bir bilgisayar kullanır ve şeritleri değiştirmenin ve hedef şerit seçiminin gerekli olup olmadığını belirlemek için çevreyi inceler. Yapay zekâ modelleri, sürücünün LC davranışının potansiyel belirleyicilerini keşfetmek için bulanık mantık [28], yapay sinir ağları [29] ve Bayes sınıflandırması

[30, 31] gibi bazı yapay zekâ algoritmalarını uygulamaktadır. Yapay zekâ modelleri tamamen veriye dayalıdır ve herhangi bir fiziksel anlam parametresine sahip değildir; yöntemin performansını ve senaryo genişlemesini analiz etmek sakıncalıdır ve sürücünün psikolojik faktörlerini dikkate almamaktadır [22].

1.3.3 Keyfi Şerit Değişikliği

Keyfi şerit değişikliği genellikle bir sürücü hedef şeritte daha hızlı bir hız, daha uzun takip mesafesi, daha fazla görüş açısı, daha iyi sürüş kalitesi vb. gibi sürüş kalitesini artırmaya yönelik istekleri sonucu gerçekleştirilen şerit değişikliği olarak incelenmektedir.

Zheng vd. [32] tarafından araçların KŞD tesptine yönelik önerilen modelde sinir ağı ve çok terimli logit kullanılmıştır. İki farklı araç verisetinden alınan şerit değişikliği gerçekleştirmiş araç örneklerinde başarılı sonuçlar elde edildiği yazarlar tarafından belirtilmiştir. Sinir ağı, sürücünün sola veya sağa yapılan şerit değişikliğinin farklı motivasyonlarını belirlemek için kullanılan yöntemlerde daha yüksek doğruluk göstermiştir.



Şekil 1.4 Keyfi şerit değişikliği

KŞD için gerçekleştirilen diğer bir çalışmada da etkili hız ve aralık faktörlerine sahip stokastik bir yaklaşım sunulmuştur [33]. Hedef şerit ile orijinal şerit arasındaki hız ve boşluk mesafesi farkı ile üssel bir olasılık modeli olan trafik değişkenlerine uygulanan dönüştürülmüş doğrusal regresyon sonucunda, KŞD'nin şerit değiştirme olasılığı üzerinde gerçek etkileri olduğu belirtilmiştir.

Şerit değişikliği gerçekleştiren aracın çevredeki araçlarla etkileşimlerini anlamak, şerit değiştirme davranışının güvenliği ve modellenmesi için önemli bir konudur. Balal vd. [34] KŞD'ye yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada, şerit değiştiren araçla ilgili 10 parametrenin istatistiksel özelliklerini incelemiştir. Bu parametreler, araçlar arasındaki boşlukları, çarpışma sürelerini ve söz konusu aracın hızını tanımlamaktadır.

Parametre değerleri, NGSIM veri setlerinde araç yörünge verilerinden çıkarılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre; tüm parametrelerin birbiriyle pozitif korelasyon içinde olduğu, boşlukların ve mesafenin en iyi log-normal dağılımı ile tanımlandığı, çarpışmaya kadar geçen zamanların en iyi Laplace dağılımı ile tanımlandığı, hız parametresinin, log-lojistik dağılım ve normal dağılım ile tanımlabildiğı belirtilmiştir. Sonuçlar bir şerit değiştirme olayının riskini ölçmek için bir veya birkaç seçilmiş parametrenin kullanılması için yeterli olabileceğini göstermektedir.

Bir sürücünün otoyollarda KşD hareketini gerçekleştirip gerçekleştirmeme konusundaki ikili kararını modelleyen çalışmada Balal vd. [35], bulanık çıkarım sistemi sunmuştur. Geliştirdikleri sistem dört girdi değişkeni kullanmaktadır: söz konusu araç ile orijinal şeritte öndeki araçla arasındaki boşluk, söz konusu araç ile hedef şeritte nde yer alan araç arasındaki boşluk, hedef araç ile hedefteki takip eden araç arasındaki boşluk, orijinal şerit ve hedef şeritlerde önceki ve sonraki araçlar arasındaki mesafe. Bulanık ıkarım sistemi, NGSIM araç yörünge verileriyle eğitilerek, Kaliforniya'daki US Highway 101'den toplanan verilerle test edilmiştir. Test sonuçlarına göre sistemin %82,2 doğrulukla "evet, şerit değiştir" ve %99,5 doğrulukla "hayır, şerit değiştirme" şeklinde şerit değiştirme nerileri yaptığı yazarlar tarafından gözlemlenmiştir. Geliştirilen sistemin, şerit değiştirme danışma sistemlerinde, otonom araçlarda ve mikroskobik trafik simülasyon araçlarında uygulanma potansiyeline sahip olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir.

1.3.4 Mikroskobik ve Makroskobik şerit Değişikliği

Trafik akımında şerit değişikliği manevraları trafik akışını bozarak potansiyel olarak bir tıkanıklığa ve daha da kötüsü trafik kazalarına neden olabilmektedir. Trafik sıkışıklığı ve çarpışmalar modern karayolu ağ sisteminin temel sorunları olduğundan, şerit değiştirme davranışı araştırma alanı olarak önemli derecede ilgi görmektedir. Çok sayıda çalışma, bu davranışı nitel ve nicel yollarla anlamaya çalışmış ve bu da bir dizi şerit değiştirme modellemesi ile sonuçlanmıştır. Bu şerit değişikliği modellemeleri makroskobik ve mikroskobik düzeyde önemli sayıda çalışmayı içermektedir.

Makroskobik şerit değişikliği modellerinin çoğu, karayolu üzerindeki homojen araç grupları dikkate alınarak bazı mikroskobik hususlara (araç takibi, boşluk kabul, vb.) dayanılarak oluşturulmuştur. Bugüne kadar, makroskobik düzeyde şerit değiştirme çalışmaları esas olarak iki konuya odaklanmaktadır: (i) şerit değişikliklerinin sayısı ile

trafik akışı, ortalama hız, yoğunluk vb. gibi diğer trafik durumu değişkenleri arasındaki ilişki ve (ii) şerit değiştirmenin yanal ve boylamsal dağılımı [36]. Öte yandan, şeritler arasındaki akışların değişim hızı [37], yoğunluk salınımı ve trafik akımının istikrarsızlığı [38] ve araçlar arasında ilk giren ilk çıkar ihlalinin derecesi [39] gibi trafik akımı karakteristiklerini anlamaya yönelik birçok makroskobik şerit değişikliği modelleri çalışılmıştır.

Son on yılda şerit değiştirme modellerini içeren çok sayıda mikroskobik trafik modelleri de geliştirilmiştir. Ancak, bu şerit değişikliği modelleri hakkında çok az ayrıntı yayınlanmıştır [4]. Mikroskobik trafik modellerinin doğruluğunun büyük ölçüde şerit değişikliği modeline bağlı olduğu düşünüldüğünde, şerit değişikliği modellerinin açıkça anlaşıldığından, uygun şekilde tasarlandığından ve dikkatlice kalibre edildiğinden emin olmak çok önemlidir. Mikroskobik düzeyde geliştirilen modellemelerde birçok farklı yaklaşımlar yer almaktadır. Mikroskobik düzey modellemelerinden biri olan ve şerit değiştirme nedenlerinin ilk olarak değerlendirildiği kural tabanlı modeller Sun ve Elefteriadou [40], Sun ve Kondyli [41] ve Sheu [42] tarafından çalışılmıştır. Trafik akımında oluşan nedenler bir şerit değişikliğini gerektiriyorsa, şerit değişikliği için gerekli boşlukların kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için bir boşluk kabul (gap acceptance) modeli kullanılmaktadır. Tüm adımların logit veya probit modellere dayandığı ayrık seçim tabanlı mikroskobik modellere yönelik çalışmalar Toledo vd. [43], Choudhury ve Ben-Akiva [44] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık tabanlı modelleri de içeren YSA mikroskobik modellemesi ise Wu vd. [45] tarafından çalışılmıştır. Bir diğer mikroskobik model olan teşvik temelli modellerde sürücüler faydalarını en üst düzeye çıkarmaya çalışırlar ve kararlarını, "Avantaj" değeri ve eşik değeri arasındaki karşılaştırmayı temel alarak verirler [46]. Kesting vd. [47] tarafından geliştirilen MOBIL yaklaşımı ve Schakel vd. [48] tarafından geliştirilen gevşeme ve senkronizasyon ile şerit değişikliği modeli yaklaşımı teşvik temelli modeller olarak ele alınmaktadır.

Bu tez çalışmasında mikroskobik düzeyde çalışmalar gerçekleştirilmiş olup şerit değişikliği ve şerit değişikliğinin türünün tespitine yönelik dalgacık dönüşümü kullanılarak geliştirilen model sunulmuştur. Bu tez çalışmasının literatürdeki diğer çalışmalarla başarı, veri seti, yöntem ve yol tipi olarak karşılaştırılması Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Geliştirilen modelin literatürdeki yeri

Çalışma	Yıl	Konu	Yol	Yöntem	Veri Seti	Başarı
Ding vd. [10]	2013	LC	Otoyol	BPANN, Elman Ağı	NGSIM	-
Zheng vd. [32]	2014	KŞD	Otoyol	ANN, Multi Logit	NGSIM	LLC %94.58 RLC %73.33
Pan vd. [22]	2016	KŞD, ZŞD	Otoyol	Mezoskopik Model, Kinematik Dalga	PeMS	-
Dou vd. [9]	2016	LC	Otoyol	Birleşik Sınıflandırıcı	NGSIM	Birleşim %78 Diğer %94
Gao vd. [14]	2018	LC	Şehir içi, Otoyol	Grup Tabanlı CNN	HighD	%85.21
Cheng vd. [26]	2019	ZŞD	Otoyol	Kernel ELM, SVM	NGSIM	Birleşim %93 Diğer %94
Klitzke vd. [21]	2020	LC	Otoyol	DTW, HMM	NGSIM	%98
Barpounakis vd. [18]	2020	LC	Şehir içi	Tepe Tespit Aracı, İnterpolasyon	pNEUMA	%96
Gerçekleştirilen Çalışma	2021	LC	Şehir içi	Dalgacık Dönüşümü	pNEUMA	%98

1.4 Tezin Organizasyonu

Sunulan tez çalışması 4 bölüm olarak düzenlenmiştir. İlk bölümde şerit değişikliğine ait literatür taraması keyfi, zorunlu, mikroskobik ve makroskobik olarak alt başlıklarda ele alınmıştır. 2. bölümde tez çalışmasında kullanılan materyal ve metotlar olan dalgacık dönüşümü, azimut, yanal sapma vb. hakkında teorik bilgiler ile materyal ve metotlarla ilgili gerçekleştirilen çalışmadan görsellerle desteklenerek yaklaşımlar hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3’de şerit değişikliği ve şerit değişikliği türü tespitine yönelik gerçekleştirilen deneylerin sonuçları sunulmuştur. Son olarak 4. bölümde sonuçlardan bahsedilerek gelecek çalışmalar özetlenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1 Veri Seti

Mevcut yörünge verileri, uzamsal ve zamansal kapsam açısından yetersiz olabilmektedir. Tam araç takibi ve ilgili aracın trafik akış dinamiklerinin doğru bir şekilde işlenmesi için daha kapsamlı araç verileri gerekebilmektedir. Ek olarak, trafik senaryolarının örneklenmesindeki bazı veri setlerinin sınırlamalara veya eksik araç verilerine sahip olması, önemli olabilecek bazı trafik olaylarının tanımlanmasında veya açıklanmasında sorunlar yaratabilmektedir. NGSIM gibi bazı araç veri kümeleri trafik akımı araştırmalarında büyük başarılar elde etse de hala yüksek kaliteli araç verileri sıkıntısı yaşanmaktadır.

pNEUMA [6] yoğun bir şehir merkezine sahip olan Atina'da bir dizi İHA kullanılarak türünün ilk örneği olan bir deney sırasında elde edilen benzersiz bir veri kümesidir. Deneylerle, mevcut kavramları yeniden gözden geçirmek ve değerlendirmek için yeni fırsatlar ve trafikle ilgili önemli olayları tanımlamanın yeni yollarını ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır. Bu veri kümesi, araştırma topluluğu ile paylaşılan bir açık bilim girişiminin parçası olmakta ve çalışma alanında bulunan hemen hemen her aracın yarım milyondan fazla ayrıntılı araç verisini içermektedir. Bu çalışmada kullanılmakta olan pNEUMA veri seti, Ekim 2018'de Yunanistan'ın Atina kenti üzerinde bir İHA sürüsü yerleştiren Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL)'nin Kentsel Ulaşım Sistemleri Laboratuvarı (LUTS) tarafından sağlanmaktadır. Daha önce oluşturulan trafik veri setlerinden daha iyi çözünürlük ve kalite elde etmek için İHA sürüsü ile trafik akımı kaydedilmiştir. EPFL'nin Atina kentini seçmesindeki neden, farklı türdeki mikroskobik ve makroskobik trafik konuları üzerinde araştırma yapmaya olanak tanıyan kentsel, çok modlu yoğun ortama sahip olmasıdır. pNEUMA, hafta içi sabah saatlerinde trafiğin en yoğun olduğu zamanlarda kaydedilen 10 farklı bölgeyi içermektedir. Kayıt alanı 1.3 km^2 'lik, farklı yoğunluğa ve farklı sayıda şeritlere sahip yolları kapsamaktadır. Bu alan 100 km'lik bir yol ağı, birçok kavşak, otobüs durağı ve yaklaşık yarım milyon araç verisi içermektedir. Maksimum video kare hızı olan her 0.4 saniyede bir kalibre edilmiş her bir aracın konum bilgisi, Dünya Jeodezi Sistemi (WGS-84) formatında bu büyük veri setine dâhil edilmiştir. Veri seti; hız, ivme, gidilen mesafe ve araç türünü (araba, taksi, otobüs, motosiklet, orta araç ve ağır araç) içermesinin yanı sıra, konum bilgisi kullanılarak oluşturulabilecek çok sayıda yeni

özelliğe izin vermektedir.



Şekil 2.1 Atina şehrinde gerçekleştirilen deneyde veri toplanan 10 bölge [17]

2.2 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü sinyallerin zaman-frekans gösteriminin elde edilmesi için kullanılan bir matematiksel dönüşüm fonksiyonudur. Dalgacık dönüşümü durağan olmayan sinyallerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kısa süreli Fourier Dönüşümü'nün (STFT) aksine, WT yüksek frekanslarda kısa pencereler ve düşük frekanslarda uzun pencereler kullanır [49]. Bu özellik, temel bir dalgacığın ölçeklenmesi ve ötelenmesi arasındaki benzerliklere bakılarak elde edilir. Tüm dalgacıklar, öteleme ve ölçek parametreleri kullanılarak seçilen bir ana dalgacıktan oluşturulur. Dalgacıkların zaman boyutu boyunca hareketi öteleme ile belirtilirken, ana dalgacıkların zaman daralması ve uzaması ölçek ile belirtilir. Dalgacıkların ortalama değeri sıfıra eşit olan bant geçişi benzeri bir spektruma, yani bir dalga gibi salınıma sahip olmalıdır. Ölçekleme yerel düzenlilik hakkında fikir verirken, zaman dalgacıkların oluştuğu anı ifade eder. Ayrıca zaman, dalgacık analizinde meydana gelen ani değişiklikleri belirleyen önemli bir faktördür [50].

Dalgacık dönüşümü, çalışma yöntemine göre Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT) olarak iki gruba ayrılır. CWT'de her ölçek için dalgacık katsayılarının hesaplanması zordur ve zaman alıcıdır. Bu nedenle DWT, durağan olmayan sinyal analizi için daha sık kullanılmıştır. Dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümünün bir uzantısı olarak düşünülebilir. Fourier dönüşümünün aksine,

dalgacık dönüşümü uygulanarak frekans ve zaman gösterimleri elde edilebilir. Çeşitli ölçeklere odaklanır ve Fourier dönüşümüne kıyasla hangi frekans bileşeninin sinyali hangi zamanda içerdiğini bize gösteren daha iyi zaman-frekans çözünürlüğü sağlar. CWT sinyali dalgacık adı verilen temel ortogonal işlevlere ayrıştırır.

Sürekli ölçeklenemeyen ve çevrilemeyen DWT, öteleme ve ölçek parametrelerindeki sürekli değişikliklerden kaynaklanan verimsizlik sorununu çözmek için geliştirilmiştir [51]. Sinyalin çok seviyeli ayrıştırılması, çok seviyeli DWT ile gerçekleştirilebilir. Yaklaşım ve detay katsayıları çok seviyeli DWT uygulanarak elde edilir. Yaklaşım veya ölçekleme katsayıları, sinyali düşük geçiş olarak temsil eder. Detay katsayıları dalgacık katsayılarıdır. Sonraki her seviyede, yaklaşım katsayıları sırasıyla yaklaşık ve detay katsayıları olan kabaca düşük geçiş ve yüksek geçiş katsayılarına bölünmüştür.

Bir sinyalin detay ve yaklaşım katsayıları

$$d(k, m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \phi_{k,m}(n) \quad (1)$$

$$a(k, m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \psi_{k,m}(n) \quad (2)$$

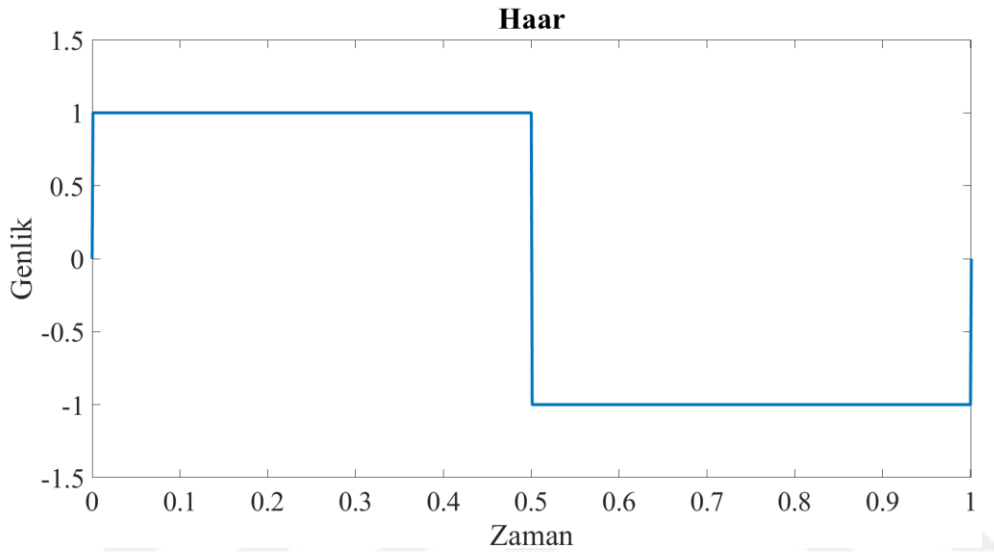
(Denk.1) ve (Denk. 2) kullanılarak elde edilmektedir. Denklemden yer alan k , ayrık dalgacık düzeylerinin sayısıdır, m ise ötelemedir. Sinyalin yaklaşımı, m öteleme ile k seviyesinde sinyal ve ölçek fonksiyonunun iç çarpımı ile elde edilir. Benzer şekilde, detay ise m öteleme ile k seviyesindeki sinyal ve ψ dalgacık fonksiyonunun nokta çarpımının detay katsayısıdır. Daha yüksek bir ölçek faktörü değeri, yavaş değişen değişiklikleri tanımlayabilen büyük dalgacıklara karşılık gelirken, daha küçük ölçek faktörü, ani değişiklikleri tespit etmek için özellikle yararlı olan sıkıştırılmış bir dalgacık oluşturur. Böylelikle serideki ani veya yumuşak şerit değişiklikleri ölçek faktörüne göre tespit edilebilir. WT'nin farklı frekans ve zaman çözünürlüklerinde uygulanabilmesi, WT'yi doğru sonuçlar için güçlü bir araç haline getirir.

2.2.1 Geliştirilen Modelde Kullanılan Dalgacıklar

Sinyalin ayrık dalgacık dönüşümü alınarak yaklaşımlar ve detaylar elde edilmektedir. DWT, birçok doğal sinyal için seyrek bir gösterim sağlamaktadır. Yaklaşımlar, sinyalin bir ölçekleme fonksiyonunun ölçeklenmiş ve ötelenmiş kopyaları ile karşılaştırarak oluşturulur. Ayrıntılar olarak da bilinen ardışık ölçekler arasındaki farklar, dalgacıkların ölçeklendirilmiş ve çevrilmiş kopyaları kullanılarak yakalanır.

Şerit değışikliğı tespitine yönelik gerçekleştirilen çalışmada Haar, Daubechies ve Symlet dalgacıkları kullanılmıştır.

Haar dalgacık ilk ve en basit dalgacıktır. Haar dalgacıklarının teknik dezavantajı, sürekli olmaması ve dolayısıyla türevlenebilir olmamasıdır. Ancak bu özellik, ani geçişlere (ayrık sinyaller) sahip sinyallerin analizi için bir avantaj olabilmektedir. Mümkün olan en basit ortogonal dalgacık sistemi, Haar ölçekleme fonksiyonu ve dalgacıkla üretilmektedir. Haar dalgacığı Şekil 2.2’de gösterildiğı gibidir.



Şekil 2.2 Haar dalgacığı

Daubechies, Ingrid Daubechies'in çalışmasına dayanan Daubechies dalgacıkları, ayrık bir dalgacık dönüşümünü tanımlayan ve belirli bir destek için maksimum sayıda kaybolan momentle karakterize edilen ortonormal dalgacık ailesidir. Bu sınıfın her dalgacık tipinde, ortogonal çok çözünürlüklü bir analiz üreten bir ölçekleme fonksiyonu (baba dalgacık adı verilir) yer almaktadır. Birinci dereceden Daubechies dalgacığı, dalgacık işlevi bir adım işlevine benzeyen Haar dalgacık olarak da bilinmektedir. Önerilen yaklaşımda kullanılan 2. derece daubechies dalgacığı (db2) simetriye sahip olmamakla birlikte 2 birleşme noktası içermektedir. db2 dalgacığının filtre uzunluğu ise dördüttür. db2 dalgacığı Şekil 2.3’de gösterildiğı gibidir.

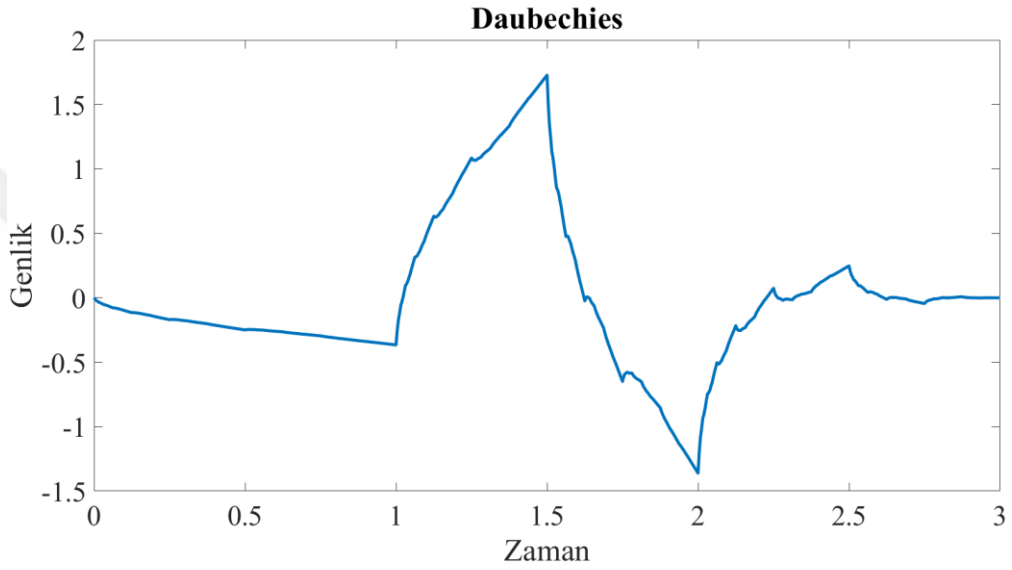
Daha yüksek seviyeli Daubechies fonksiyonlarının analitik bir ifadeyle tanımlanması kolay değildir. Daubechies fonksiyonlarının derecesi, dalgacık fonksiyonun birleşim noktalarının sayısını veya sıfır anlarının sayısını göstermektedir. Bu, dalgacık

fonksiyonunun salınım sayısı ile zayıf bir şekilde ilişkilidir. Birleşim noktalarının sayısı ne kadar fazla olursa, ayrışmanın frekans lokalizasyonu o kadar iyi olmaktadır.

Haar dalgacığı ya da db1;

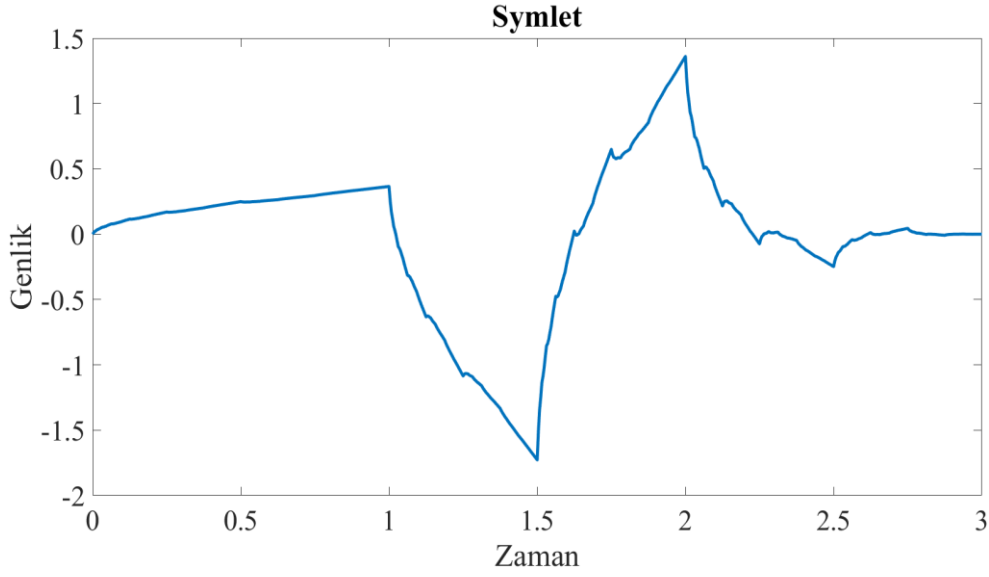
$$\Psi(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}, & \text{eğer } 0 \leq t \leq \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2}, & \text{eğer } \frac{1}{2} < t < 1 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 2.3 Daubechies(db2) dalgacığı

Symlet dalgacıkları, Ingrid Daubechies tarafından db ailesine modifikasyonlar olarak önerilen ortogonal ve kompakt olarak desteklenen dalgacıklardır. Symletler simetriktir ve en az asimetriye sahip dalgacıklardır. İlişkili ölçeklendirme filtreleri, doğrusal faz filtrelerine yakındır. Symletler özellikleri neredeyse db dalgacıklarınki ile aynıdır. Symletler 2'den 8'e kadar olan dereceye sahip olmaktadır ve 2. derece symlete ait dalgacık Şekil 2.4'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.4 Symlet(sym2) dalgacı

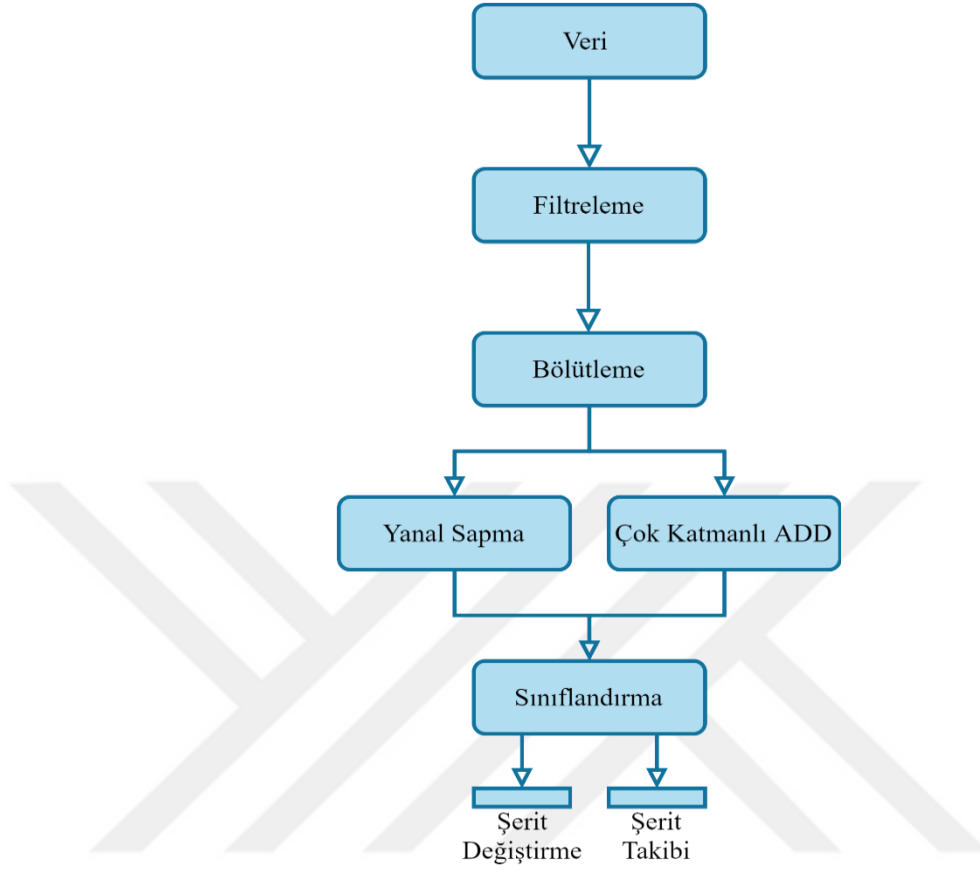
2.3 Şerit Değiştirme Manevrası

Şerit değiştirme manevrası, iki bitişik şerit arasındaki şerit çizgisini geçen bir araç olarak tanımlanabilir. Şerit değiştirme işlemi genellikle birkaç saniye sürer. Temel olarak LC, LC'ye neden olan motivasyonların ortaya çıkmasıyla başlar ve araç hedef şeritte yanal olarak stabil olduğunda tamamlanır.

Şerit değişikliği ve şerit değiştirme tipi sınıflandırma adımlarının gösterildiği Şekil 2.5'de bulunan azimut için araçlara ait WGS-84 koordinatları kullanılmış, yani bir aracın ardışık 2 konumu alınarak seçilen çalışma alanındaki araçlara açı serisi elde edilmiştir. Verisetinin sahip olduğu yüksek gürültü seviyesi nedeniyle açı serisindeki aracın durduğu ve dönüş yaptığı anlar kaldırıldıktan sonra FIR filtresi ile serilerdeki gürültü giderilmiştir. Ardından filtre uygulanmış serilere yanal sapma ve çok katmanlı dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Son olarak, sınıflandırıcı ile yanal sapma ve DWT'den elde edilen ölçek özniteliklerinde sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Şerit değiştirme manevrasının tespitine yönelik gerçekleştirilen adımlarda kullanılan materyal alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

Şekil 2.4'de görülebileceği gibi, çalışmamızdaki işlem sayısı ve karmaşıklığı düşüktür. LOESS, enterpolasyon ve tepe algılama aracı gibi işlemler [17] gerçekleştirilmeden yalnızca dalgacık dönüşümü ve FIR filtresi kullanılarak LC tespiti gerçekleştirilmiştir. Azimut açısı 0,04 saniyelik bir zaman farkı ile pNEUMA veri setindeki araçların konumlarının enlem ve boylam bilgileri kullanılarak hesaplandı. Hareket halindeki

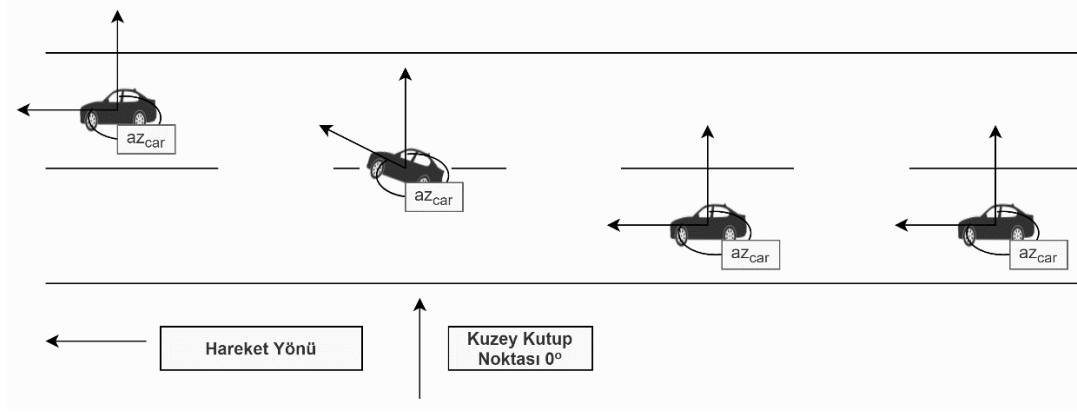
aracın azimut-zaman serisi yüksek gürültü içerdiğinden belirli bir eşik değeri belirlenmiş ve gürültüye neden olan noktalar kaldırılmıştır.



Şekil 2.5 Şerit değişikliği tespit modelinin akış diyagramı

2.3.1. Azimut

Azimut terimi, iki çizginin oluşturduğu açıyı tanımlar; biri mevcut konumu Kuzey Kutbu'na bağlayan, diğeri mevcut konum ve sonraki konumdur. Bu çalışmada, pNEUMA veri setinde yer alan araçların WGS-84 koordinatı kullanılarak hesaplanmıştır. Yolun azimutu ile aracın azimutu karşılaştırıldığında, iki açının düz bir yolda benzerlikler gösterdiği ve araç şerit değiştirmeye başladığında aracın azimutunun buna bağlı olarak aracın hareket yönüne göre artmaya veya azalmaya başladığı görülmüştür. Azimut yerel maksimum veya minimuma ulaştıktan sonra, yani araç şerit değişimini tamamladıktan sonra, yolun azimutu düz yollarda sabit kaldığından, kademeli olarak orijinal değerine geri dönecektir.



Şekil 2.6 Hareket halindeki bir aracın azimut açısının hesaplanması

Aracın azimutunu hesaplamak için (4) 'te verilen denklem kullanılmıştır. Bu denklem aynı zamanda [12] 'de de belirtilmektedir.

$$az_x = atan2[(\sin \Delta\lambda * \cos \varphi_2), (\cos \varphi_1 * \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 * \cos \varphi_2 * \cos \Delta\lambda)] \quad (4)$$

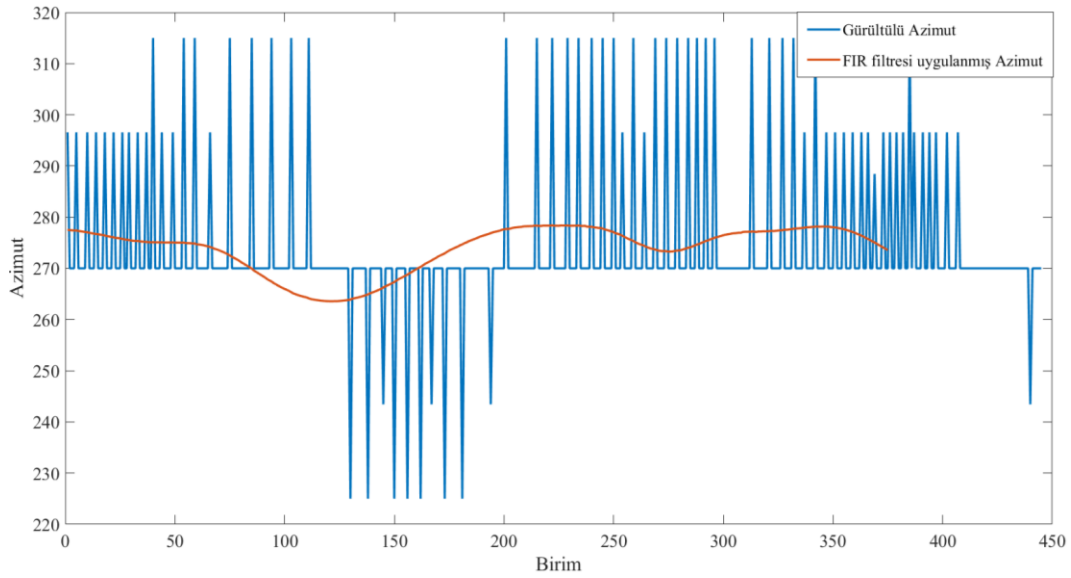
φ_1 : başlangıç noktasının enlemi

φ_2 : son noktanın enlemi

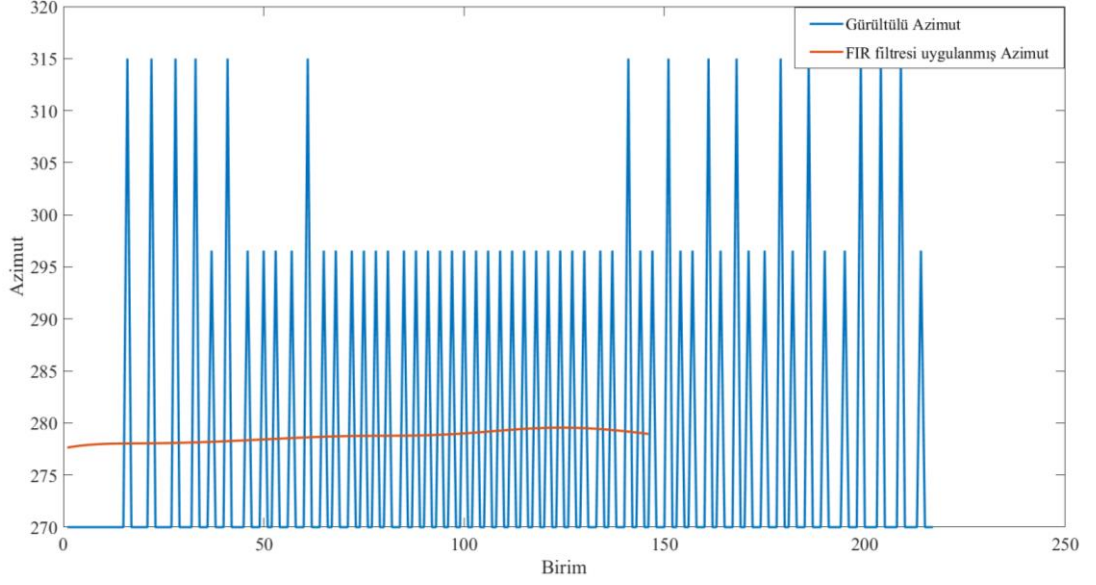
λ_1 : başlangıç noktasının boylamı

λ_2 : son noktanın boylamı

$\Delta\lambda$: $\lambda_1 - \lambda_2$



Şekil 2.7 Şerit değiştiren bir araca ait gürültülü ve filtreli azimut serileri



Şekil 2.8 Şerit takibi gerçekleştiren bir araca ait gürültülü ve filtreli azimut serileri

Gürültülü azimut serilerini yumuşatmak için pencere bazlı FIR filtresi kullanılmıştır. Şekil 2.7’de ve Şekil 2.8’de gürültülü azimut ve FIR filtresi kullanılarak yumuşatılmış azimut serileri verilmiştir. Şerit değiştirme algoritmasını optimize etmek ve zirveyi tespit etmek amacı ile yumuşatılmış yörünge azimut verilerine çok katmanlı DWT uygulanmıştır.

2.3.2. Yanal Sapma

Yanal modeller, LC manevrası için daha iyi bir sınıflandırıcı oluşturmak için kullanılmaktadır [52, 17]. Kısa vadede bir aracın şerit değiştirip değiştirmeyeceğini tahmin edebilen sınıflandırıcılar, sürüş destek sistemlerini iyileştirmek için kullanılabilir. Böyle bir sistem, araya girecek bir komşu aracı tespit ederse, ani frenlemeyi önlemek, daha yumuşak ve daha güvenli bir sürüş sağlamak için buna göre gerekli tepkiyi verebilir.

$$dist = 6371 * \arcsin\left(\left(\frac{\sin^2 \Delta \varphi}{2} + \cos \varphi_1 * \cos \varphi_2 * \frac{\sin^2 \Delta \varphi}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\right) \quad (5)$$

$$dy = dy + \sin(az_x - az_{road}) * dist \quad (6)$$

Bir araca ait yanal sapma (Denk. 5) ve (Denk. 6) kullanılarak hesaplanmaktadır [17]. Denklemlerde kullanılmakta olan değişkenlerden az_x , x aracının azimutu az_{road} ise testlerin gerçekleştirildiği yolun azimutunu ifade etmektedir. Diğer değişkenler ise (Denk. 4)’de bahsedildiği gibidir.

Araçların şerit değiştirip değiştirmediği, sınıflandırmada ikinci bir öznitelik olarak belirli bir aracın kat ettiği mesafe üzerinden yanal sapmanın kümülatif toplamı olan dy kullanılarak tespit edilmiştir. Aracın kat ettiği mesafe kullanıldığı için, trafik sinyalleri veya tıkanıklık nedeniyle araç durduğunda bu anlardaki yanal sapma sıfır olacağından kümülatif toplamında gürültülü veriler görünmemektedir.

2.3.3. Sınıflandırma

Sınıflandırma, sınıfı bilinmeyen kayıtların daha önceden tanımlanmış kategorilerden birine sınıflandırıcı makine öğrenmesi yöntemleriyle atanarak sınıflarının tahmin edildiği denetimli öğrenme yaklaşımıdır. Bir sınıflandırıcı olan K-NN hem sınıflandırma hem regresyon problemlerini çözebilen denetimli, parametrik olmayan makine öğrenmesi algoritmasıdır. Özelleşmiş bir eğitim aşaması olmadığından ve sınıflandırma yaparken tüm veriyi eğitim için kullanmasından ötürü tembel öğrenme algoritmasıdır. K-NN algoritması yeni veri noktalarının değerlerini tahmin etmek için özellik benzerliği kullanarak yeni veri noktasına eğitimdeki noktalara yakın olduğuna bağlı olarak bir değer atanır. Test noktasının bir uzaklık metriği kullanılarak sınıfı bilinen örneklerle olan uzaklığı hesaplanır ve k en yakın komşuya bakılarak uygun sınıfa atanır.

Bu çalışmada şerit değişikliği ve şerit değişikliği türünün tespitine yönelik gerçekleştirilen sınıflandırma adımı K-NN kullanılarak şerit değişikliği LC veya LK olarak sınıflandırılırken, şerit değişikliği türü yumuşak ve ani olarak sınıflandırılmıştır.

$$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \\ x_d \end{Bmatrix}, x_n: n \text{ aracının maksimum genliği} \quad (7)$$

$$Y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \\ y_d \end{Bmatrix}, y_n: n \text{ aracının yanal sapması} \quad (8)$$

Şerit değişikliği tespiti için gerçekleştirilen sınıflandırmada (Denk. 7) ve (Denk. 8)'de tanımlanmış X ve Y öznitelik vektörleri ile birlikte, etikelendirilmiş sınıf vektörü kullanılarak K-NN ile sınıflandırma yapılmıştır.

Şerit değişikliği türünün tespitinde kullanılan vektörler (Denk. 9), (Denk. 10) ve (Denk. 11)'de tanımlanmıştır.

$$Xh = \begin{cases} xh_1 \\ \vdots \\ xh_d \end{cases}, xh_n: n. aracın haar maksimum genliği \quad (9)$$

$$Xd = \begin{cases} xd_1 \\ \vdots \\ xd_d \end{cases}, xd_n: n. aracın db2 maksimum genliği \quad (10)$$

$$Xs = \begin{cases} xs_1 \\ \vdots \\ xs_d \end{cases}, xs_n: n. aracın sym2 maksimum genliği \quad (11)$$

Xh , Xd , Xs öznitelikleri ve etikenlendirilmiş sınıf bilgisi kullanılarak K-NN sınıflandırıcısı ile şerit değişikliği tespiti gerçekleştirilmiştir.

2.3.4. Şerit Değişikliği Zamanı ve Hedef Şerit

Şerit değişikliğinin gerçekleştiği zaman ve şerit değiştiren aracın geçiş yaptığı şerit trafik akımı analizi, kaza analizi gibi AUS'u destekleyen trafik olgularının belirlenmesi önemli bir yere sahiptir. Ölçek ve öteleme değişkenleri, çok seviyeli DWT uygulanarak LC'nin tespit edildiği seviyedeki detay katsayılarına göre belirlenmiştir. Ölçek değişkeni, LC'nin meydana geldiği seviyeye karşılık gelirken, öteleme değişkeni, maksimum genliğe ulaşılan seviyedeki maksimum katsayının sırasına karşılık gelmektedir. Çocuk dalgacıklar ana dalgacıktan ($\psi(t)$) (Denk. 12) kullanılarak elde edilmiştir

$$\psi_{j,k}(t) = \sqrt{1/2^j} * \psi((t - k * 2^j) / 2^j) \quad (12)$$

Denklemden yer alan j , ölçek değişkenini ifade ederken k ise öteleme değişkenini belirtmektedir.

Ölçek ve öteleme değişkenleri kullanılarak şerit değiştiren aracın kayıt başlangıcından ne kadar süre sonra şerit değiştirdiği saniye cinsinden belirlenmiştir. Veri setindeki örnekleme süresi, kullanılan verilere bağlı olarak $T_s = 0.4$ saniyedir. Denklem (12) kullanılarak alt dalgacıklar oluşturulmuş, maksimum genliğe sahip dalgacığın başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmiştir. Bu dalgacıkların başlangıç noktası t_0 ve bitiş noktası t_s olarak belirlenmiştir. Ardından, bu noktalar ve seviye bilgisi kullanılarak gerçek zamana geçiş yapılmıştır. Araca ait ilk verinin kaydedildiği zamandan kaç saniye sonra şerit değişikliği gerçekleştiği saniye cinsinden belirlenmiştir. Ayrıca

öteleme katsayısının işaretine göre aracın sağ şeride mi yoksa sol şeride mi geçtiği tespit edilmiştir.

2.4 Şerit Değiştirme Manevrasının Kategorileştirilmesi

Tez çalışmasının ikinci kısmında, trafik modellemesi üzerinde önemli etkileri olan şerit değiştirme manevra türünün tespiti gerçekleştirilmiştir. Şerit değişikliği manevrası ani ve yumuşak olarak iki farklı şekilde gerçekleşebilmektedir. Ani şerit değişimi sonucunda trafik akışında önemli değişiklikler gözlemlenebilmekte, hatta ciddi oranda kazalar olabilmektedir. Ani şerit değişiklikleri trafik akışında bir şok dalgasına neden olurken, aynı zamanda trafik kazaları üzerinde yüksek bir etkiye sahiptir. Bu nedenle şerit değişikliği manevrasının türünün tespit edilmesi, AUS’de trafik modellemesi adına büyük önem taşımaktadır.

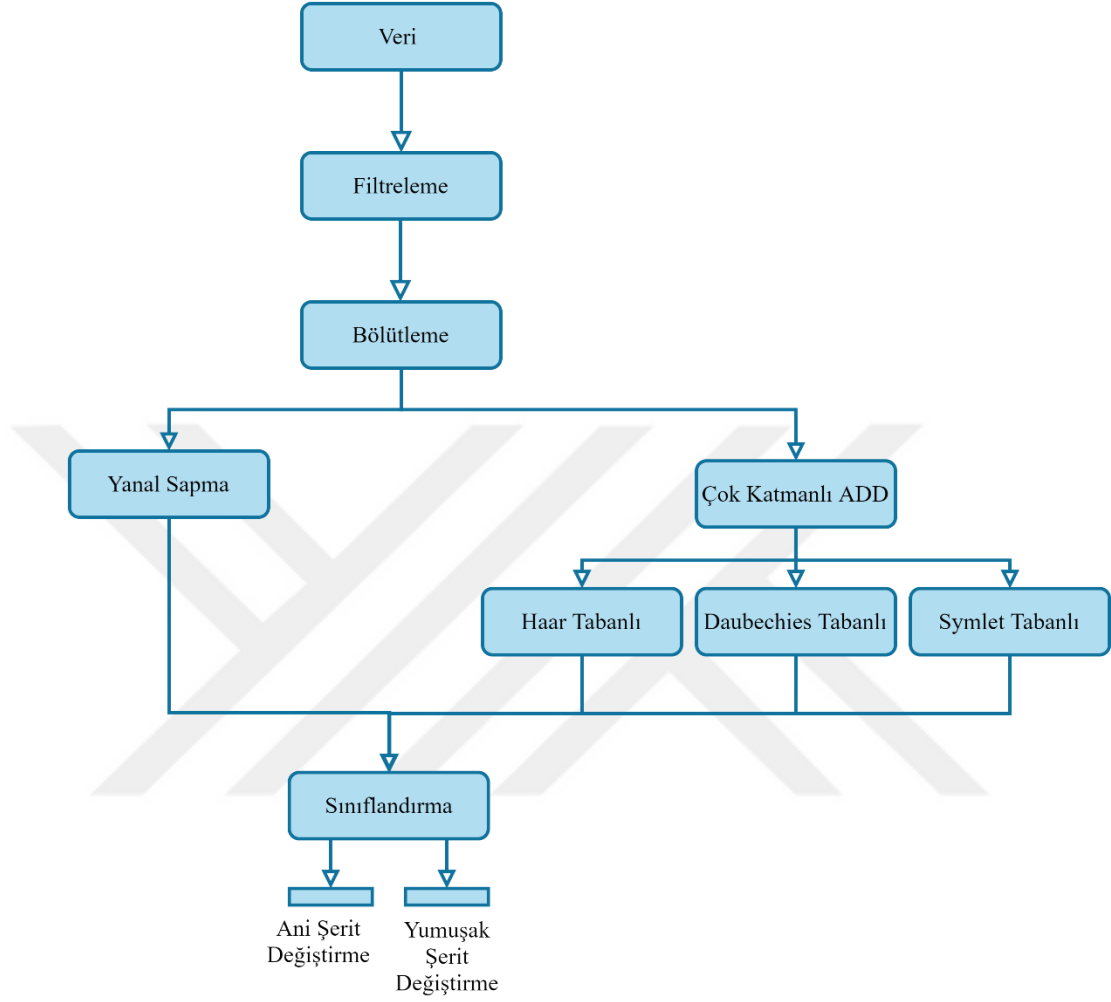


Şekil 2.9 Şerit değişikliği türleri, a) Ani şerit değişikliği, b) Yumuşak şerit değişikliği

Şekil 2.9’da şerit değişikliği gerçekleştiren iki farklı araca ait verilen rotaların, şerit değişikliğin türüne göre nasıl farklılaştığı görülmektedir.

Şerit değişikliği manevrası, Şekil 2.10'da da gösterildiği gibi araç tarafından şerit değişikliğinin nasıl yapıldığı analiz edilerek şerit değişikliği, yumuşak veya ani değişiklik olarak sınıflandırılmıştır. DWT'nin ölçek katsayısı anlamına gelen dalgacık uzunluğu, şerit değişikliğinin tespit edildiği adımlar uygulanarak belirlenmiştir. Daha yüksek bir ölçek faktörü değeri, yumuşak değişiklikleri algılamak, daha küçük ölçek faktörü, ani değişiklikleri algılayan bir dalgacık oluşturmaktadır. Böylelikle serideki ani veya yumuşak şerit değişiklikleri ölçek faktörüne göre tespit edilebilmektedir. Bu amaçla her ana dalgacık tipi için ölçek katsayı öznitelikleri çıkarılmıştır. Çıkarılan özelliklere ek olarak, manuel tanımlama ile şerit değişimi, yumuşak veya ani olarak

etiketlenmiştir. Dalgacıklardan elde edilen ölçek öznitelikleri ve etikenlendirilmiş sınıf bilgisi kullanılarak K-NN sınıflandırıcısı ile sınıflandırma gerçekleştirilerek şerit değiştirme davranışı yumuşak ve ani olarak sınıflandırılmıştır.

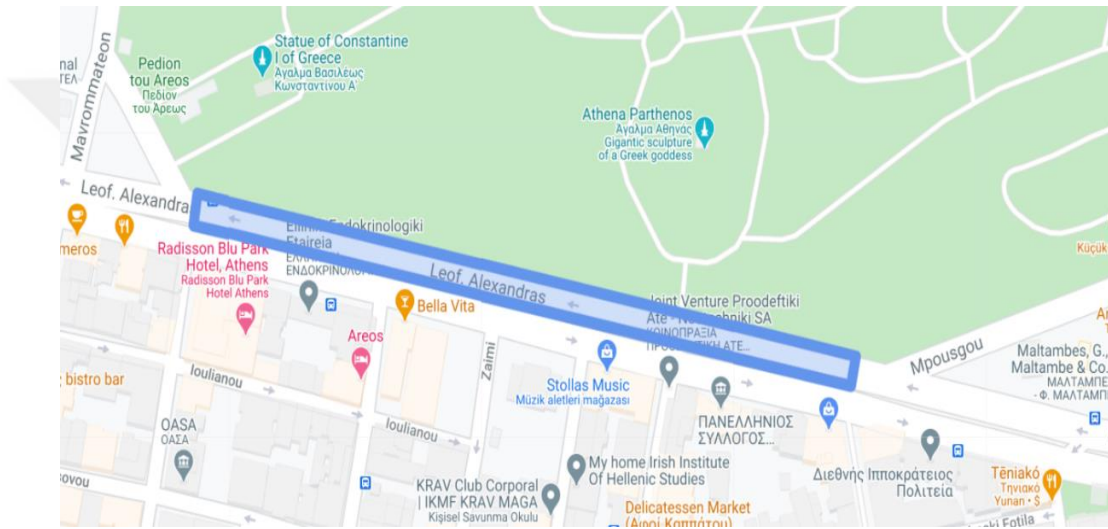


Şekil 2.10 Şerit değiştirme türünün tespit edilmesiyle ilgili akış diyagramı



3. DENEY SONUÇLARI

Yapılan çalışmanın analizini gerçekleştirmek adına pNEUMA verisetinde verilerin toplandığı bölgelerden biri olan 8. bölgedeki Leoforos Alexandras Caddesine ait veriler kullanılmıştır. Leoforos Alexandras Caddesi, 400m üç şeritli arterdir. Test veri seti, Şekil 3.1'de gösterilen çalışma alanında 10:00 - 10:30 saatleri arasındaki 388 aracı içermektedir. Farklı yaklaşımlar gerektirdiği için belirtilen araç sayısı içerisinde motosikletler ile dönüş manevrası gerçekleştiren araçlar yer almamaktadır. Transfer edilebilirlik açısından incelendiğine geliştirilen model, pNEUMA veri setinin herhangi bir bölgesindeki herhangi bir düz yola uygulanabilmektedir.



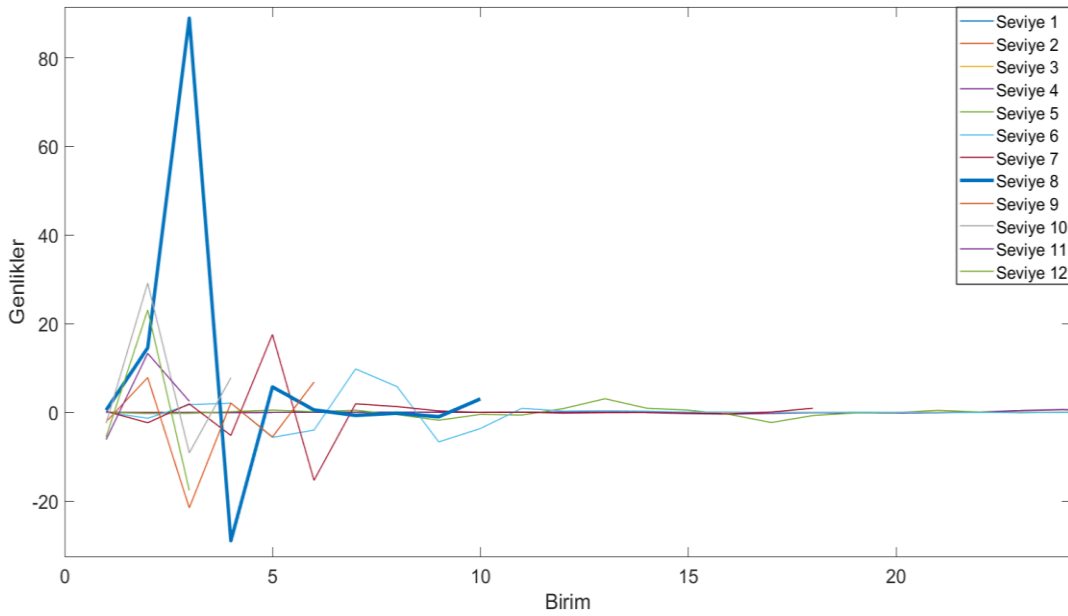
Şekil 3.1 Önerilen modeldeki deneylerin gerçekleştirildiği Leoforos Alexandras caddesi

3.1 Şerit Değişikliği Tespiti

Aracın yaptığı şerit değişikliğinin ölçek ve öteleme değişkenleri Haar, Daubechies, Symlet gibi farklı dalgacık fonksiyonları kullanılarak belirlenmiştir. Her aracın azimutları hesaplanarak elde edilen azimut serisine ilk olarak filtre, sonrasında çok seviyeli DWT uygulanmıştır. Haar, symlet ve daubechies dalgacıklarının farklı araçların farklı uzunluktaki azimut serilere 12 seviye olarak uygulanmasıyla elde edilen detay katsayıları elde edilmiştir. Şerit değişikliğinin yakalandığı detay katsayılarına bakılarak seviye belirlenmiş, ölçek ve öteleme değişkenleri tespit edilmiştir. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi 8. seviye, şerit değişikliği gerçekleştiren bir aracın şerit değişikliği tespiti için uygun dalgacık uzunluğuna - maksimum genliğe sahip olan seviyeyi göstermektedir.

Şekil 3.2’de tüm seviyelerdeki detay katsayıları verilen aracın şerit değiştirdiği zaman, $(t_0 + t_s) = 2 * T_s$ ifadesi kullanılarak saniye tipinde 179.2 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, aracın ilk verilerinin kaydedilmesinden sonraki süreye karşılık gelmektedir. Diğer bir deyişle, araç ilk kayıt süresinden ortalama 179.2 saniye sonra şerit değiştirmiştir.

Ayrıca aracın geçtiği şerit, maksimum genlik değerinin sahip olduğu işarete göre belirlenmiştir. İşareti pozitifse, araç sağ şeride, negatif ise sol şeride geçmiştir. Şekil 3.2’de örnek olarak verilen aracın maksimum genliğinin pozitif bir işarete sahip olması nedeniyle aracın mevcut şeridinden sağında bulunan şeride geçtiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.2 Şerit değişikliği gerçekleştiren bir araca ait detay katsayıları

Şerit değişikliği tespiti, şerit değiştirme ve şerit takibi için %98 doğruluk sağlayan Haar tabanlı 12 seviyeli DWT ve K-NN ile başarıyla gerçekleştirilmiştir.

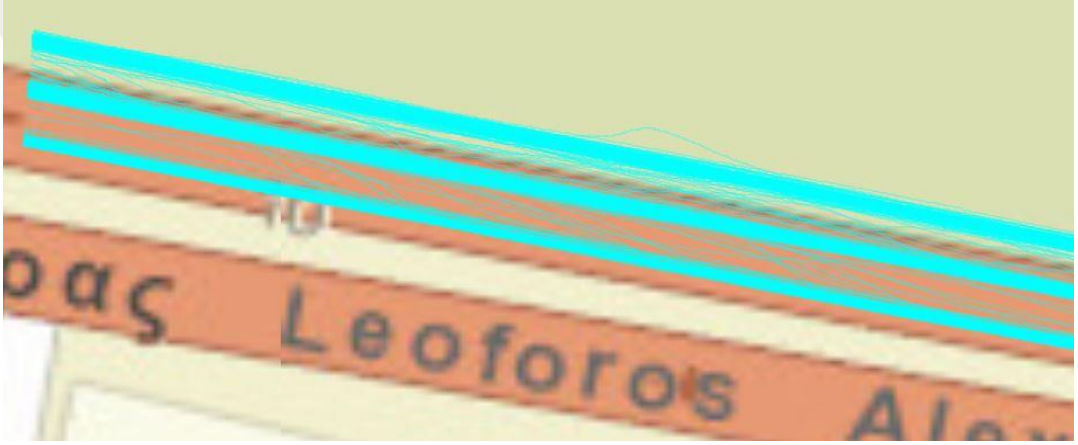
Çizelge 3.1 Önerilen modelin farklı dalgacık fonksiyonlarındaki performans metrikleri

Dalgacık	Kesinlik	Hassasiyet	F1-Skoru	Doğruluk
Haar	0.97	0.98	0.97	0.98
Daubechies	0.95	0.95	0.95	0.96
Symlet	0.94	0.92	0.93	0.94

Çizelge 3.1'de görülebileceği gibi, sınıflandırma db2 ve sym2 dalgacıklarıyla da dikkate değer bir doğrulukla gerçekleştirerek sırasıyla %96 ve %94 oranına ulaşmıştır. K-NN kullanılarak ulaşılan bu doğruluk değerleri, verisetinin %60'ı eğitim %40'ı test olarak 2 öznitelikli sınıflandırmada kullanılmasıyla elde edilmiştir.

3.2.Şerit Değişikliği Manevrası Türünün Sınıflandırması

Şerit değişiklikleri, şehir içi yollarda otoyoldan daha sık meydana gelmektedir. Şerit değişikliği tespiti için seçilen çalışma alanında yer alan 388 araçtan toplam 110 aracın şerit değiştirdiği gözlemlenmiştir. Çalışma alanında bulunan araçların rotalarının yer aldığı Şekil 3.3'de, kalın çizgiler arasındaki yer alan ince çizgiler şerit değişikliklerini göstermektedir.



Şekil 3.3 Deneylerin gerçekleştirildiği caddedeki araçların hareketleri

Dalgacık uzunluğunun şerit değişikliğinin gerçekleşme zamanını belirlenmesinde kullanılması dışında, şerit değişikliği manevrasının yakalandığı seviye bilgisi olarakta kullanılmıştır. Dalgacık uzunluğuna göre şerit değiştirmiş bir aracın yumuşak bir geçiş yapıp yapmadığı veya aniden diğer şeride geçip geçmediği kategorize edilmiştir. Çalışma alanında şerit değişikliği gerçekleştiren araçların yaklaşık %27'si ani olarak şerit değişikliği gerçekleştirmektedir. Haar, db2 ve sym2 dalgacıkları ayrı ayrı uygulanarak çıkarılan ölçek katsayısı öznitelikleri kullanılarak şerit değiştirme manevra tipinin sınıflandırılması, K-NN ile %93 doğruluk oranına ulaşmıştır. Böylelikle LC manevrası yumuşak ve ani olarak kategorize edilmiştir.



4. TARTIŞMA VE SONUÇ

LC manevrası, daha önce sinyal işleme ve makine öğrenme yöntemleriyle ve son zamanlarda çoğunlukla derin öğrenme teknikleriyle modellenen temel araç hareketi türüdür. Çok seviyeli ayrık dalgacık dönüşümü ile yalnızca araçların WGS-84 formatındaki konum bilgileriyle LC manevrasını tahmin edilebilmektedir. pNEUMA veri kümesindeki Leoforos Alexandras caddesi, geliştirilen modeli eğitmek ve test etmek için kullanılmıştır. İlgili caddenin belirlenen zaman aralığında, 550 araç yer almaktadır. Bu araçlardan motorsikletler ve dönüş yapan araçlar çıkarılarak geri kalan 388 araç ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Çok seviyeli ayrık dalgacık dönüşümünde üç farklı dalgacık türü kullanılarak şerit değişikliği tespiti her bir dalgacık ile tespit edilmiştir. ADD adımıdan sonra elde edilen ölçekler özniteliği ile yanıl sapma özniteliği K-NN sınıflandırıcısında kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında, geliştirilen modelin şerit değiştirme manevrasını tespit etmede başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra trafik akım güvenliği ve trafik modellemesinde önemli bir yere sahip olan şerit değiştirme davranış türünün sınıflandırılması da aynı dalgacıklar kullanılarak yumuşak veya ani şeklinde başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan çok gürültülü araç konum verilerine farklı filtreleme yöntemleri uygulayarak önerilen yöntemin başarısını artırmak mümkündür. Şerit değişikliği tespiti adımlarından biri olan azimut açısının hesaplanması yerine ardışık 3 konum bilgisi kullanılarak vektörel açı hesaplanabilir, böylelikle çalışmanın başarısı artırılabilir. Ayrıca ileride yapılacak çalışmalarda, şerit değişikliğinin trafik akımı ve yoğunluğu üzerindeki etkisinin, aracın geçtiği şeritteki kuyruk uzunluğunun ve kuyruklanma süresinin, derin öğrenme yöntemleri kullanılarak pNEUMA verisetinde analizi gerçekleştirilebilir. Ek olarak ani şerit değişikliği ya da yumuşak şerit değişikliği yaklaşımı ile devamında kaza analizi çalışmaları gerçekleştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] World Health Organization. Global status report on road safety 2018: Summary, (No. WHO/NMH/NVI/18.20). World Health Organization. (2018)
- [2] T. John R., T. NS., McDonald S. T., Shinar D., Hume R. D., Mayer R. E., Castellan N. J., Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report, Executive summary, (1979) Indiana University, Bloomington, Institute for Research in Public Safety.
- [3] Yaprak Ş., Akbulu, A. M., Trafik kaza ve denetim istatistikleri, Ankara: Polis Akademisi. (2019)
- [4] Q. Kashif Naseer, A. Abdul Hanan, A survey on intelligent transportation systems, Middle-East Journal of Scientific Research 15(5) (2013) 629-642.
- [5] A. Yasir, B. Michiel CJ, Zuduo Z., H. Md. Mazharul, Comparing the usefulness of a connected environment during mandatory and discretionary lane changing, 2020.
- [6] pNEUMA, pNEUMA open traffic – An open data initiative, <https://open-traffic.epfl.ch/> , 2018
- [7] T. Tomer, K. Haris N., B. Moshe E., Modeling integrated lane-changing behavior, Transportation Research Record. 1857(1) (2003) 30-38.
- [8] Z. Yang, H. John HL, Lane-Change Detection from Steering Signal Using Spectral Segmentation and Learning-Based Classification, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2017, 14-24.
- [9] D. Yangliu, Y. Fengjun, F. Daiwei, Lane changing prediction at highway lane drops using support vector machine and artificial neural network classifiers, 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2016, Banff, Kanada, 901-906
- [10] D. Chenxi., W. Wuhong, W. Xiao, B. Martin, A neural network model for driver's lane-changing trajectory prediction in urban traffic flow, Mathematical Problems in Engineering, 2013.
- [11] H. Peter, Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002, 10(5-6), 351-371.
- [12] L. Xiang, S. Jian-Qiao, Studies of vehicle lane-changing Dynamics and its effect on traffic efficiency, safety and environmental impact, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2017, 467, 41-58.
- [13] B. Iljoo, H. Mengwen, Vehicle's Lane-changing Behavior Detection, arXiv preprint arXiv, 1808.07518, 2018

- [14] G. Jun, M. Yi Lu, Z. Honghui, Multivariate time series prediction of lane changing behavior using deep neural network, *Applied Intelligence*, 2018, 48(10),3523-3537.
- [15] W. Zhensong., W. Chao, H. Peng, B. Matthew J., Vision-Based Lane-Changing Behavior Detection Using Deep Residual Neural Network, *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, 2019, Auckland, Yeni Zelanda, 3108-3113
- [16] H. Ling, G. Hengcong, Z. Ronghui, W. Haiwei, W. Jianping, Capturing drivers' lane changing behaviors on operational level by data driven methods, *IEEE Access*, 2018, 6, 57497-57506.
- [17] B. Emamnouil, S. Guillaume M., G. Nikolaos, Lane Detection and Lane-Changing Identification with High Resolution Data from a Swarm of Drones, *Transportation Research Record*, 2020
- [18] B. Emmanouil, G. Nikolas, On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 50-70
- [19] Z. Zuduo, A. Soyoung, C. Danjue, L. Jorge, Applications of wavelet transform for analysis of freeway traffic: Bottlenecks, transient traffic, and traffic oscillations, *Transportation Research Part B: Methodological* 45(2) (2011) 372-384.
- [20] A. Yasir., Z. Zuduo, H. Md Mazharul, Y. Mehmet, W. Simon, Detecting, analysing, and modelling failed lane-changing attempts in traditional and connected environments, *Analytic Methods in Accident Research* 28 (2020) 100138.
- [21] K. Lars, K. Carsten, K. Frank, Identification of Lane-Change Maneuvers in Real-World Drivings with Hidden Markov Model and Dynamic Time Warping, In *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2020, Rhodes, Yunanistan
- [22] Pan T. L., Lam W. H., Sumalee A., Zhong R. X., Modeling the impacts of mandatory and discretionary lane-changing maneuvers. *Transportation research part C: emerging technologies*. 68 (2016) 403-424.
- [23] A. Kazi Iftekhar, Modeling drivers' acceleration and lane changing behavior (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology) (1999)

- [24] Ahmed K., Ben-Akiva M., Koutsopoulos H., Mishalani R., Models of freeway lane changing and gap acceptance behavior, *Transportation and traffic theory* 13 (1996) 501-515.
- [25] M. Sara, S. Majid, R. Geoff, Lane changing models: a critical review, *Transportation letters*. 2(3) (2010) 157-173.
- [26] C. Senlin, X. Yang, Z. Ruxie, W. Chuanhai, A fast decision making method for mandatory lane change using kernel extreme learning machine, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 10(12) (2019) 3363-3369.
- [27] H. Wei, Z. Zhaolei, G. Zhibo, Y. Kefu, L. Li, W. Jie, Research on mandatory lane-changing behavior in highway weaving sections, *Journal of Advanced Transportation* (2020)
- [28] D. Sanjoy, B. A. Bowles, Simulations of highway chaos using fuzzy logic, 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society-NAFIPS (Cat. No. 99TH8397), 1999, New York, ABD
- [29] P. Jinshuan, G. Yingshi, F. Rui, Y. Wei, W. Chang, Multi-parameter prediction of drivers' lane-changing behaviour with neural network model, *Applied ergonomics*. 50 (2015) 207-217.
- [30] H. Yi, E. Praveen, S. Carlos, Modeling mandatory lane changing using Bayes classifier and decision trees, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 15(2) (2013) 647-655.
- [31] M. Joel C., W. David P., T. Mohan M., R. Bhaskar D., Lane change intent analysis using robust operators and sparse bayesian learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(3) (2007) 431-440.
- [32] Z. Jian, S. Koji, F. Motohiro, Predicting driver's lane-changing decisions using a neural network model, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2014, 42, 73-83.
- [33] L. Jinwoo, P. Minju, Y. Hwasoo, A probability model for discretionary lane changes in highways, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017, 2938-2946
- [34] B. Esmail, C. Ruey Long, G. Thompson, M. Jessica, Analysis of discretionary lane changing parameters on freeways, *International Journal of Transportation Science and Technology*. 3(3) (2014) 277-296.
- [35] B. Esmail, C. Ruey Long, S. Thompson, A binary decision model for discretionary lane changing move based on fuzzy inference system, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 67 (2016) 47-61.
- [36] S. Mudasser, B. Yuwei, Q. Tony Z. A macroscopic lane-changing model for freeway considering different incentives and traffic states, *Proceedings of the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 2017, Wuhan, Çin

- [37] C. Benjamin, Estimating density and lane inflow on a freeway segment, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 37(8) (2003) 689-701.
- [38] G. Denos C., H. Robert, W. George H., Density oscillations between lanes of a multilane highway, *Operations Research*. 10(5) (1962) 658-667.
- [39] J. Wen-Long, Z. Yu, C. Lianyu, Measuring first-in-first-out violation among vehicles. *Proceedings of Transportation Research Board Annual Meeting*, 2006, Washington, ABD
- [40] S. Daniel, E. Lily, Research and implementation of lane-changing model based on driver behavior, *Transportation Research Record*. 2161(1) (2010) 1-10.
- [41] S. Daniel, K. Alexandra, Modeling vehicle interactions during lane-changing behavior on arterial street, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 25(8) (2010) 557-571.
- [42] S., Jiuh-Biing, Microscopic traffic behaviour modelling and simulation for lane-blocking arterial incidents, *Transportmetrica A: Transport Science*. 9(4) (2013) 335-357.
- [43] T. Tomer, K. Haris N., B. Moshe, Integrated driving behavior modeling, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 15(2) (2007) 96-112.
- [44] C. Charisma F., B. Moshe, E., Modelling driving decisions: a latent plan approach, *Transportmetrica A: Transport Science*. 9(6) (2013) 546-566.
- [45] W. Jingxian, Brackstone M., McDonald M., The validation of a microscopic simulation model: a methodological case study, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 11(6) (2003) 463-479.
- [46] J. Cheng Jie, K. Victor L., L. Dawei, M. Ling Yu, W. Hao, Discretionary lane-changing behavior: empirical validation for one realistic rule-based model, *Transportmetrica A: transport science*. 15(2) (2019) 244-262.
- [47] K. Arne, T. Martin, H. Dirk, General lane-changing model MOBIL for car-following models, *Transportation Research Record*. 1999(1) (2007) 86-94.
- [48] S. Wouter J., K. Victor L., v. A. Bart, Integrated lane change model with relaxation and synchronization, *Transportation Research Record*. 2316(1) (2012) 47-57.
- [49] M. Stephane G., A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, *Fundamental Papers in Wavelet Theory*. (2009) 494-513
- [50] G. Robert X., Y. Ruqiang, *Wavelets: Theory and applications for manufacturing*, Springer Science & Business Media (2010)

- [51] Z. Zuduo, W. Simon, On selecting an optimal wavelet for detecting singularities in traffic and vehicular data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 25 (2012) 18-33.
- [52] C. J. van Leeuwen, *Driver Modelling and Lane Change Maneuver Prediction*, Yüksek Lisans Tezi, Groningen Üniversitesi, 2010





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Yunus Emre Avcı

Lisans: Gebze Teknik Üniversitesi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- [1] Y. E. Avcı, A. Tuncer, O. H. Koçal, “Detection of Lane Changing Vehicles with Wavelet Transform and K-Nearest Algorithm”, International Conference on Interdisciplinary Applications of Artificial Intelligence, Yalova, (2021) 38-42.

