



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAŞIT ŞERİT DEĞİŞTİRME HAREKETLERİ İÇİN
GENETİK PROGRAMLAMA TABANLI BİR KARAR MODELİ

RAZ MOHAMMAD CHOHTAY

Ocak 2021

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAŞIT ŞERİT DEĞİŞTİRME HAREKETLERİ İÇİN
GENETİK PROGRAMLAMA TABANLI BİR KARAR MODELİ

RAZ MOHAMMAD CHOHTAY

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi MUHAMMED EMİN CİHANGİR BAĞDATLI

Ocak 2021

Raz Mohammad CHOGHTAY tarafından **Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI** danışmanlığında hazırlanan “**Taşıt Şerit Değiştirme Hareketleri için Genetik Programlama Tabanlı Bir Karar Modeli**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç. Dr. Hasan Erhan YÜCEL, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sercan SERİN, Üniversitesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../..../20...

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Raz Mohammad CHOHTAY



ÖZET

TAŞIT ŞERİT DEĞİŞTİRME HAREKETLERİ İÇİN GENETİK PROGRAMLAMA TABANLI BİR KARAR MODELİ

CHOGHTAY, Raz Mohammad
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI

Ocak 2021, 72 sayfa

Şerit değiştirme hareketleri temel olarak zorunlu şerit değişikliği ve keyfi şerit değişikliği şeklinde sınıflandırılmaktadır. Zorunlu şerit değişikliği, planlanan varış yerine ulaşmak için sürücünün zorunlu olarak yaptığı şerit değiştirme olarak tanımlanmaktadır. Keyfi şerit değişikliği, daha iyi trafik koşullarında seyahat etme talebi nedeniyle sürücünün gerçekleştirmiş olduğu şerit değiştirmedir. Mevcut şeritte ve yan şeritlerdeki trafik özellikleri sürücülerini keyfi şerit değişikliği yapmaya motive etmektedir. Bunun sonucu olarak karayolları üzerinde çok sayıda şerit değiştirme hareketleri görülmektedir. Bu çalışma trafikte şerit değiştirme hareketlerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturan keyfi şerit değiştirme hareketlerini modellemeye odaklanmıştır. Genetik programlama yöntemi kullanarak bir şerit değiştirme karar modeli geliştirilmiştir. Yöntemin seçilmesinde, genetik programlamanın literatürde farklı mühendislik problemlerinde göstermiş olduğu yüksek başarısı etkili olmuştur. Geliştirilen model iki farklı karayolundan toplanan verilerle test edilmiş ve performansı ortaya konulmuştur. Buna ilaveten, model literatürdeki yüksek performanslı başka bir modelle karşılaştırılmıştır. Önerilen karar modelinin taşıt hareketlerine ve simülasyon yazılımlarına anlamlı bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karar modeli, keyfi şerit değiştirme, genetik programlama, şerit değiştirme.

SUMMARY

A GENETIC PROGRAMMING BASED-DECISION MODEL FOR VEHICLE LANE-CHANGING MOVEMENTS

CHOGHTAY, Raz Mohammad
Nigde Omer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI

January 2021, 72 pages

The movement of lane-changing can mainly be classified as mandatory lane-changing and discretionary lane-changing. Mandatory lane-changing is the lane change enforcedly performed by a driver in anticipation of reaching their planned target. Discretionary lane-changing occurs when a driver aspires to travel in better traffic conditions. The state of the traffic in the existing lane and adjacent lanes motivates drivers to change lane discretely. As a result, numerous movements of lane-changing are seen on roads. This study focuses on modelling discretionary lane changes which make up the majority of lane changes in traffic. A lane-changing decision model was developed using a method of genetic programming. The decision to use genetic programming has come from its high levels of success in various engineering problems in literature. The developed model was tested with the data gathered from two different highways and was revealed its performance. In addition, the model was compared with another high-performance model in literature. It is believed that the proposed decision model will make a significant contribution to vehicle movements and simulation software.

Keywords: Decision model, discretionary lane-changing, genetic programming, lane-changing.

ÖNSÖZ

Şerit değiştirme, trafik akımı üzerinde doğrudan etkisi olan bir sürüş görevidir. Araştırmalara göre meydana gelen kazaların %94'ü sürücü hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu kazaların %8,4-%13,7'sinin karayollarında şerit değiştirme sırasında gerçekteştiği gözlenmiştir. Gelişen teknoloji ile beraber geliştirilen akıllı taşıt sistemleri söz konusu kazaların önüne geçilmesinde ve etkin trafik yönetiminin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında taşıtların şerit değiştirme kararlarını destekleyen/sağlayan bir model geliştirilerek kazaların azaltılmasına ve etkin bir trafik yönetiminin sağlanmasına katkı sağlanacağı düşünölmektedir. Söz konusu model farklı trafik koşullarında taşıtın şerit değiştirme kararlarını destekleyen/sağlayan bir karar mekanizmasını sunmaktadır.

Çalışmalarında bana her türlü kolaylığı sağlayıp yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI'ya ve yüksek lisans eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmadaki verilerin incelenmesinde bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma bu süreçte beni her konuda destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca Karayolları Genel Müdürlüğü'ne ve taşra teşkilatına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmanın, yeni çalışmalara ışık tutmasını, Türkiye'de ve dünyada trafik kazalarının azalmasına faydalı olmasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY.....	iv
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÖÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	vi
SİMGE VE KISALTMALAR	vii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM II	1
LİTERATÜR TARAMASI	3
BÖLÜM III.....	17
ŞERİT DEĞİŞTİRME HAREKETLERİ.....	17
3.1 Şerit Değişirme Parametreleri.....	17
3.2 Şerit Değişirme İşlemi	20
3.3 Şerit Değişirme Hareketlerinin Yapısı ve Sınıflandırılması	22
3.4 Geleneksel Keyfi Şerit Değişirme Modelleri	26
BÖLÜM IV	30
METODOLOJİ	30
4.1 Genetik Programlama	30
4.2 Genetik Programlama Akışı.....	30
4.2.1 Genetik programlama bileşen adımları	33
4.2.1.1 Fonksiyon ve terminal setleri	33
4.2.1.2 Uyumluluk fonksiyonu	34
4.2.1.3 Kontrol parametreleri	35
4.2.1.4 Seçim operatörü.....	35
4.2.1.5 Çaprazlama operatörü.....	36
4.2.1.6 Mutasyon operatörü	38
4.2.1.7 Durma kriteri	38
4.3 Gen İfadeli Programlama.....	39

BÖLÜM V	45
SAHA ÇALIŞMASI VE VERİLERİN İNCELENMESİ.....	45
5.1 Saha Çalışması.....	45
5.1.1 Video kayıt alma işlemi.....	50
5.1.2 Yolara işaret yerleştirilme işlemi.....	51
5.2 Verilerin İncelenmesi.....	55
BÖLÜM VI.....	56
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	56
6.1 Verilerin Analizi	56
BÖLÜM VII	63
SONUÇ VE TARTIŞMA	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Gözden geçirilen şerit değiştirme parametrelerinin özeti.....	18
Çizelge 3.2. Bir şerit değişiminde taşıt etkileşimlerini tanımlayan değişkenler.....	20
Çizelge 5.1. Modelde kullanılan girdi değişkenler.....	54
Çizelge 6.1. Modelde kullanılan GEP parametreleri.....	57
Çizelge 6.2. GEP karar modelinin performans sonuçları.....	60
Çizelge 6.3. Karşılaştırma için rastgele seçilen bir örnek veri seti.....	61
Çizelge 6.4. Modellerin performans karşılaştırması modelinin performans sonuçları...	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Şerit değiştirme sırasında taşıtlar ve konumları..	18
Şekil 3.2. Şerit değiştirme manevrasının anları ve aralıkları: (a) şerit değiştirme yolundaki şerit değiştirme manevrası anları ve (b) taşıt hareketinin görüntüsü üzerindeki şerit değiştirme başlangıç ve bitiş anı hareket yolu.....	21
Şekil 3.3. Zorunlu şerit değiştirmenin basit bir gösterimi.	22
Şekil 3.4. Keyfi şerit değiştirme şekil üzerinde gösterimleri.....	23
Şekil 3.5. Şerit değiştirme yöntemine ait akım tablosu	24
Şekil 3.6. Şerit değiştirme modelinin yapısı	25
Şekil 3.7. Tipik bir KşD hareketi.	27
Şekil 4.1. Genetik programlama akış diyagramı.....	32
Şekil 4.2. Bir bireyin ağaç yapısı (fonksiyonlar: + ve x; terminaller: a, b ve 4).....	34
Şekil 4.3. Çaprazlama için seçilmiş iki birey ve bireylerin seçilmiş çaprazlama noktaları ile çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (ocuklar).....	37
Şekil 4.4. Mutasyon operatörü örnek işlemi	38
Şekil 4.5. Gen ifadeyi programlamanın çalışmasına ilişkin akış diyagramı.....	40
Şekil 4.6. İki genli açıklama ağacı ve matematiksel ifadesi	42
Şekil 4.7. Uzun bir kromozomdan elde edilen alt kromozomlar.	43
Şekil 5.1. Saha alışması için seçilen karayolların konumları.....	45
Şekil 5.2. İncelenen karayolların kesiminin lokasyonları(a) Niğde –Aksaray (D330) karayolu ve (b) Adana –Aksaray (E90) karayolu	48
Şekil 6.1. Geliştirilen GEP karar modelinin ifade ağacı.....	57
Şekil 6.2. GEP iterasyon süreci	58
Şekil 6.3. Şerit değiştirme durumlar için GEP karar modelinin performansı.....	59
Şekil 6.4. Şerit değiştirmeme durumları için GEP karar modelinin performansı.....	59
Şekil 6.5. Şerit durumları için önerilen karar modellerinin gözlemlerle karşılaştırılması	62

FOTOĞRAFLAR VB. MALZEMELER DİZİNİ

Fotoğraf 5.1. Görüntüleri almak için kamera yerleştirilen köprü	49
Fotoğraf 5.2. Görüntüleri almak için kamera yerleştirilen yaya üstgeçidi	50
Fotoğraf 5.3. Kamera kayıtlarından elde edilen yakınlaştırılmış bir görüntü.....	51
Fotoğraf 5.4. Saha ölçümleri ilgili görüntüler	51
Fotoğraf 5.5. Yol üzerinde belirlenmiş işaretleri gösteren bir şekil	53
Fotoğraf 5.6. Konu taşıtın şerit değiştirme manevrasına ait bir görsel.....	54



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

t	Zaman
v	Hız
d	Boşluk
X	Konum
M	Mesafe
T	Taşıt

Kısaltmalar

ŞD	Şerit Değişirme
ZŞD	Zorunlu Şerit Değişirme
KŞD	Keyfi Şerit Değişirme
ŞDE	Şerit Değişirme Etkisi
ŞDK	Şerit Değişirme kararları
NGSM	Yeni Nesil Simülasyon
KTB	Kümülatif Beklenti teorisi
BÇS	Bulanık Çıkarım Sistemi
LGP	Doğrusal Genetik Programlama
MEP	Çoklu ifade Programlama
GEP	Gen İfadeli Programlama
AA	Açıklama Ağaçları
Alt-AA	Alt Açıklama Ağaçları
AOÇ	Açık Okuma Çerçevesi
SOŞRA	Sürücünün Orijinal Şeritte Rahatsızlık Anı
ŞDSMA	Şerit Değişirmek İçin Sürücünün Motive Anı
ŞŞDKAA	Sürücünün Şeridi Değişirmek İçin Karar Aldığı Anı
HŞSA	Hedef Şerit Seçildiği Anı
SYHBA	Sürücünün Yanal Harekete Başladığı Anı

YHTA

Yanal Hareketi Tamamlandığı Anı



BÖLÜM I

GİRİŞ

Şerit Değiştirme (ŞD) hareketi, trafik akımı üzerinde doğrudan etkisi olan bir sürüş görevidir. ŞD hareketi aynı zamanda sürücünün en önemli kararlarından birini oluşturmaktadır. Son zamanlarda, nüfus artışı ile birlikte taşıt sayısı gün geçtikçe artmakta ve bunun doğal sonucu olarak ortaya çıkan trafik yoğunluğu kent yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Trafik yoğunluğunun artması, trafik kazalarını da beraberinde getirmektedir. Araştırmalara göre, meydana gelen kazaların %94'ü sürücü hatalarından kaynaklanmaktadır (Bulumulle ve Bölöni, 2016). Sürücülerin dikkatsizliği nedeniyle oluşan kazalar, maddi hasarlar, geçici veya kalıcı sakatlanmalar ve daha kötüsü, ölümlerle sonuçlanmaktadır. Bu kazaların %8,4 ile %13,7'sinin karayollarında ŞD sırasında gerçekleştiği gözlenmektedir (Balal vd., 2016). Yanlış ŞD hareketleri, trafik akım özelliklerini etkilemesinin yanı sıra, trafik güvenliğini de tehdit etmektedir. Araştırmalar ŞD'nin, yanal trafik hareketlerinin, trafik sıkışıklığına yol açan ana nedenlerden biri olduğunu göstermektedir (Zhang, 2014). Literatürde ŞD hareketi, Keyfi Şerit Değiştirme (KŞD) ya da Zorunlu Şerit Değiştirme (ZŞD) olarak sınıflandırılmaktadır (Yang ve Koutsopoulos, 1996; Sun ve Kondyli, 2010; Sun ve Elefteriadou, 2011). Bu sınıflandırma, KŞD veya ZŞD için karar verme sürecinin farklı motivasyonlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. KŞD için birincil motivasyon hız avantajı veya daha iyi bir sürüş ortamı elde etmek iken, ZŞD için planlanan hedefe ulaşmaktır. Bu nedenle, her iki tip ŞD hareketi için farklı sürücü hareketi beklenmektedir (Balal vd., 2016). Bu tez çalışmasında, sürücülerin KŞD hareketlerine odaklanılmıştır.

KŞD, geçmek istenilen hedef şeridin sürücüye daha iyi trafik koşulları önermesinden dolayı meydana gelen şerit değiştirmeleridir. Bu şekilde, sürücü arzu ettiği hıza ulaşmakta ve yavaş ilerleyen taşıtları veya ağır vasıtaları takip etmek zorunda kalmamaktadır. Böylelikle, mevcut ve yan şeritteki trafik özellikleri, devamlı sürücülerini KŞD yapmaya motive etmektedir (Moridpour vd., 2010). Bunun sonucu olarak trafikte çok sayıda şerit değişikliği gözlemlenmektedir.

Literatür gözden geçirildiğinde, araştırmacıların, özellikle son yıllarda, KŞD olayını çok çeşitli yaklaşım ve yöntemlerle ele aldığı görülmektedir. Bu durum, KŞD olayının

açıklığa kavuşmasına yönelik önemli bir kazanımdır. ŞD modelleme çalışmaları, özellikle otonom taşıt teknolojileri için büyük önem taşıdığından, güncel ve popüleritesi yüksek olan ŞD konusunda yapılan tüm araştırmalar literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Böylelikle, literatürde bu alana dair daha başarılı model arayışlarının devam edeceği öngörülmektedir.

Bu çalışmanın amacı taşıt hareketleri ve simülasyon yazılımlarının gelişimine katkı sağlamak için bir KŞD modelini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda modelin geliştirilmesi için, bir genetik programlama tekniği olan Gen İfadeli Programlama (GEP) yöntemi kullanılarak, bir KŞD karar modeli geliştirilmiştir. Yöntemin seçilmesinde, GEP'in literatürde farklı mühendislik problemlerinde göstermiş olduğu yüksek başarısı etkili olmuştur. Geliştirilen model, iki farklı karayolundan toplanan verilerle test edilmiştir. Buna ek olarak model, literatürdeki yüksek performanslı başka bir modelle karşılaştırılmış ve performansı ortaya konulmuştur. Önerilen karar modelinin, simülasyon yazılımlarına anlamlı bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın sınırlılığı hakkında şunlar söylenebilir: Bu çalışmada ŞD hareketleri içerisinde yalnızca KŞD hareketleri incelenmiştir. Önerilen model, serbest akıma sahip ve düşük/orta yoğunluklu (12-21 taşıt/km/şerit) trafik koşulları altında toplanan verilerle geliştirilmiş ve test edilmiştir. Bunlara ilaveten, tüm veriler yağışsız hava durumu ve kuru zemin koşullarında toplanmıştır.

Çalışmanın organizasyonu aşağıdaki gibi düzenlenmiştir: Bölüm 2'de literatür taraması sunulmuş, Bölüm 3'te ŞD hareketlerine ait teorik bilgiler sunulmuştur; Bölüm 4'de veri toplama ve hazırlama süreci açıklanmıştır; Bölüm 5'te çalışmada kullanılan metot tanıtılmış; Bölüm 6'da araştırmanın ulaştığı bulgular sunulmuştur. Son olarak, Bölüm 7'de elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

Taşıtların ŞD hareketleri, literatürde iki ana başlık altında incelenmiştir. Bir kısım araştırmacılar, trafik üzerindeki Şerit Değiştirme Etkisini (ŞDE) modellemeye yönelik çalışmalar ortaya koymuştur. İkinci bir kısmı ise Şerit Değiştirme Kararlarını (ŞDK) modellemeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada ise ŞDK'ye odaklanılmış olup ŞDK'ye yönelik literatür taramasının özeti aşağıdaki gibidir:

Gipps (1986), yaptığı çalışmada, sürücünün ŞD'den önce alması gereken kararları birbirine bağlayacak bir yapı önermiştir. Önerilen yapı ile gerçek trafik koşullarının trafik simülasyonlarına uyarlanması hedeflenmiştir. Ortaya çıkan yapı ile sürücü hareketinin gerçek bir simülasyonunun sağlandığı tartışılmıştır. Gipps modelindeki sürücü hareketi deterministik olarak kabul edilmiştir. Bu deterministik modelde, gerekli dönüş mesafesine bağlı olarak sürücü gerekli hızı korumaya veya bir ŞD manevrasına hazırlanmaya karar vermektedir. Gipps'in Avustralya yol koşullarında sürücü hareketinin tutarlı ve gerçekçi bir tanımını sağladığı belirlenmiştir.

Hunt ve Lyons (1994), yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları yaklaşımı ile ŞD kararlarını modellemiştir. Çalışmada iki yaklaşım ele alınmıştır. İlk olarak, bir sürücünün hareketini modellemek için, tek bir gizli katman ve geri yayılım öğrenme algoritmasına sahip bir sinir ağı kullanılmıştır. İkinci yaklaşımda, özellikle ŞD'ye odaklanmış ve sinir ağının bir öğrenme vektörünün birçok sınıflandırma türünü kullanmışlardır. Hem test hem de eğitimdeki performansın, mikroskobik bir simülasyonun kural tabanlı bir sürücü karar modeli tarafından üretilen veriler için çok iyi olduğu üzerinde durulmuştur.

Ahmed vd. (1996), yaptıkları çalışmada farklı bir seçim program çerçevesi kullanarak ŞD hareketini modellemeye yönelik sistematik bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım ile ŞD hareketleri üç adımda modellenmiştir. Bu adımlar, yeniden yönlendirmeyi dikkate alma kararı, sol veya sağ şerit seçimi ve kararı uygulamak için kabul edilebilir bir mesafe şeklinde belirlenmiştir.

Yang ve Koutsopoulos (1996) yaptıkları çalışmada bir mikroskobik trafik simülasyonu geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri simülasyonun, taşıt takip, ŞD ve trafik sinyali yanıtlama mantığını kullanarak bireysel taşıt hareketlerini simüle edebildiğini ifade etmişlerdir.

Wei vd. (2000), yaptıkları çalışmada ŞD hareketlerini, video gözlemlerinden elde edilen taşıt yörünge verileri yardımıyla, VEVID programını kullanarak incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, ŞD hareketinin modellenmesine birtakım kurallar önerilmiştir. Şerit değiştirme modelinin, üç çeşit bileşenden oluştuğu ifade edilmiştir. Bunlar, karar modeli, koşul modeli ve manevra modelleri olarak belirtilmiştir. Sürücülerin ŞD kararlarının, seyahat manevrası planlarına, mevcut şerit tipine ve mevcut- bitişik şeritlerdeki trafik koşullarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. ŞD koşul modelinde, çeşitli ŞD türleri için kabul edilebilir kuralların açıklamasının olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, ŞD manevra modelinin belirli bir ŞD tipinde, taşıtın hızını ve süresini tanımladığı belirtilmiştir. İncelenen modellerin tümü sezgisel bir yapıda oluşturulmuştur. Değişen lokomotif modelinin ise belirli bir şerit değiştirme türünde, taşıtın hızını ve mesafesini tanımladığı belirtilmiştir.

Hashimoto vd. (2001), ŞD kararı ve sürücü tehlikesinin belirlenmesi amacıyla bir mekanizma incelemesi yapmışlardır. Bu incelemede, güvenli ve emniyetsiz şeritler arasındaki bir taşıtın içindeki kritik alanı belirlemek için etkili değişkenler test edilmiştir. Daha sonra, kritik bir boşlukla ilişkili taşıt durum değişkenlerini içeren bir regresyon denklemine ulaşılmıştır. Denklemin yapısının, değişkenlerin tehlike tespit mekanizmasına paralel olduğu ve değişkenlerin karar kriterlerine uygun olduğu gösterilmiştir. Bu öznel tehlike önlemleri, nesnel bir tehlike ölçüsü ile karşılaştırıldığında, deneklerin kararlarında güvenlik mesafeleri analiz edilmiş ve ŞD destek sistemlerine duyulan ihtiyaç tartışılmıştır. Deneklerin kararlarındaki güvenlik mesafelerini analiz ettikten ve bir tehlike kriterini subjektif bir tehlikeye işaret etmeyen bir kriterle karşılaştırdıktan sonra, destek şeridi değişikliği gereksinimlerinin sistemleri tartışılmıştır.

Hidas (2002), sürücü ve taşıt etkileşimini ortaya koyan bir akıllı sistem simülasyonu geliştirmiştir. Yapılan araştırmada; simülasyon çıktıları tıkanıklık ve kaza yönetimi gibi uygulamaların değerlendirilmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir. Simülasyonda kullanmak üzere, ŞD hareketleri için bir algoritma geliştirilmiş ve bu şekilde geliştirilen

ŞD modelinin tıkanık trafik koşullarında gerçekçi bir akım-hız ilişkisi ürettiğini savunulmuştur.

Toledo vd. (2003), yaptıkları çalışmada ŞD hareketinin genel olarak iki adımda modellendiğini incelemişlerdir. Birincisinin ŞD hareketinin dikkate alma kararı, ikincisinin ise ŞD hareketinin yürütme kararı olduğunu ifade etmişlerdir. ŞD hareketleri için geliştirilen modellerin çoğu zorunlu veya keyfi değiştirme olarak sınıflandırılmaktadır. Sürücünün mevcut şeritten çıkması gerektiğinde ise ZŞD ve KŞD, sürüş koşullarını iyileştirmek amacıyla yapılmaktadır. Şerit değişikliklerinin yürütülmesini modellemek için boşluk kabul modelleri kullanılmıştır. Son olarak yapılmış modellerin bir mikro simülatör kapsamında kullanılmasının, gerçekçi olmayan trafik akımı özelliklerine sebep olabileceğini belirtmişlerdir. Fakat ŞD modellerinin parametrelerini titizlikle tahmin etmek için çok az miktarda deneysel çalışma yapıldığı bilinmektedir. Entegre ŞD modelini, sürücülerin zorunlu ve keyfi ŞD sorunlarını birlikte değerlendirmelerini sağlayan bir model olarak sunmuşlardır. Modelin parametreleri, ayrıntılı taşıt yörünge verileri ile tahmin edilebildiğini ifade etmişlerdir.

Salvucci (2004), yapmış olduğu çalışmasında taşıtların şerit değiştirme hareketlerini tespit etmek için güçlü bir gerçek zamanlı sistem sunmuştur. "Akıllı izleme yapısı" olarak adlandırılan sistem, sürücünün niyetini ve son olarak ortaya çıkan hareketi bir sürücü davranış tahmin modeli kullanarak simüle etmiştir. Sistem bu simülasyonları, gözlemediği sürücü hareketleriyle ve fiili hareketleriyle karşılaştırarak, sürücünün gözlemlenemeyen niyetini tahmin etme görevini gerçekleştirmiştir. Çalışma, sistemin %4 yanılma oranıyla %85 doğruluğa nasıl ulaştığını göstermiştir. Sistem, şerit değişikliklerinin %80'ini 0,5 saniye içinde ve %90'ını 1 saniye içinde tahmin ederek tespit etmiştir. Elde edilen sonuçlar, taşıtın hedef şeridine ilk yaklaştığında doğru tahminlere ulaşıldığını göstermiştir.

Xuan ve Coifman (2006), çalışmalarında taşıtların yol üzerinde yaptıkları ŞD hareketlerini incelemiştir. Çalışma kapsamını, ilk olarak yol güzergâhını belirtmek amacıyla bir mesafe-zaman grafiğini kaynak olarak meydana getirmiştir. 24 seferde belirli bir yolda, her gün aynı saatte ve aynı yönde seyreden bir gözlemci taşıt hakkında bilgi toplanmış olup bu bilgiye uygun taşıtın uzun mesafe grafikleri çizilmiştir. Çizilen konum-zaman grafikleri, ilk olarak yapılan konum-zaman grafiğiyle kıyaslanarak taşıtın

yaptığı gidiş ve dönüş verileri belirtilen sıfır, yani başlangıç nokta verilerini geçtiğinden, taşıtın nerede şerit değiştirme hareketinde bulunduğu ve ŞD'nin zorunlu mu yoksa keyfi mi olduğu konum tabanlı olarak gözlenmiştir.

Laval ve Dagonzo (2006), yaptıkları çalışmada ŞD hareketlerinin trafik akım süresine yaygın kesintiler oluşturduğunu ve bu durumda trafik akımının azalmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, azalmayı belirleyebilmek amacıyla bir çerçeve sunulmuştur. Bu çerçeve, şerit değiştiren taşıtları detaylı bir şekilde ele almıştır.

Ramanujam (2007), yaptığı çalışmada yoğun trafiğin görüldüğü ana yollar üzerindeki akım değişikliklerinin ayrı modeller ile incelemesi gerektiğini bildirmiştir. Gelişmiş şehirlerdeki trafiğin hızla arttığını, trafiğin yoğun olduğu ana yolların çevre yollarındaki yönteminden daha farklı bir yaklaşımla yönetilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Kesting vd. (2007), yaptıkları çalışmada çok çeşitli taşıt takip modellerinde keyfi ve zorunlu şerit değişiklikleri için ŞD kuralları türeten genel bir model önermişlerdir. Belirli bir şeridin avantajı ve şerit değişikliklerinin riski, mikroskobik trafik modelleri ile hesaplanan boylamsal ivme açısından belirlenmiştir. Bu belirleme, simetrik ve asimetric geçiş kuralları için kompakt ve genel güvenlik ve teşvik kriterlerinin formasyonuna onay verdiğini ifade etmiştir. Ayrıca modelin, hız farklılıklarının kritik etkisini otomatik olarak ŞD kurallarına çevirdiğini belirtmiştir. Güvenlik kriterinin şerit değişikliklerini ve kritik çarpışmaları önlerken, kriterin bir “nezaket faktörü” aracılığıyla şerit değiştiren diğer sürücülerin avantaj ve dezavantajlarını teşvik ettiğini ifade etmiştir. Bu parametrenin ŞD motivasyonu ile tamamen tekil olarak değiştiğini belirtmişlerdir.

Webster vd. (2008), çalışmalarında simülasyon zamanının her aşamasında potansiyel manevra dizileri oluşturan ve bir zaman çizgisi üzerindeki planlamaya göre saptırma eylemini seçen bir ŞD modeli sunmuşlardır. Bu model, bir veri seti kullanılarak kalibre edilmiş ve bunun sonucunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Moridpour vd. (2009), çalışmalarında otoyollardaki ağır taşıt sürücülerini için iki ve üç bulanık küme içeren bulanık mantık tabanlı ŞD karar modeli sunmuşlardır. Modelin doğruluğunu belirlemek için saha çalışmalarıyla elde edilen tahminleri karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucuna göre; ağır taşıtlar için bulanık tabanlı ŞD

modelinin başarılı olduğu savunulmuştur. Ayrıca bu modelin simülasyon yazılımlarına dahil edilmesiyle simülasyonların daha gerçekçi sonuçlar üreteceği ileri sürülmüştür.

Zhou vd. (2009) yapmış oldukları araştırmada, ŞD'den önce trafik durumunu kontrol etmek için dikkat dağınıklığının bilinç sel etkilerini göstermeyi amaçlamışlardır. Şerit değiştirme esnasındaki kazaları önlemek için sürücünün farkındalığını artırmaya ve dikkat dağıtıcı unsurlara dikkat çekmeye yardımcı olacak destek fonksiyonlarının sağlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Son olarak, bilinç sel dikkat dağınıklığının durumsal farkındalığın algısal yeteneğini azaltabileceğini savunmuşlardır.

Sun vd. (2014), yapmış oldukları araştırmada, sürücü hareketiyle ilgili verileri kullanarak sürücülerin ana arterlerde şerit değiştirme manevralarını modellemek için kapsamlı bir çerçeve sunmuşlardır. Çeşitli ŞD senaryoları altında, sürücü tipinin kentsel arterler üzerindeki etkilerini araştırmak ve mikroskobik taşıt verilerini toplamak için odak grup çalışmaları ve “taşıt içi” sürüş testleri gerçekleştirilmiştir. Sahadan toplanan verilerle, çeşitli ŞD senaryoları altında ŞD olasılığını ve karşılık gelen boşluk kabul özelliklerini tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir. Her bir senaryo için ŞD olasılığı, odak grup tartışmalarından belirlenen faktörlerin yanı sıra sürücü türlerinin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Ayrıca boşluk kabul modellemesinde, ŞD manevraları sırasında meydana gelebilecek taşıt etkileşimlerini açıklamak için bir dizi başlatılmıştır. Önerilen ŞD modeli, CORSIM'de uygulanmıştır. Yeni geliştirilen modelin simülasyon yetenekleri, CORSIM'deki orijinal ŞD algoritması ve saha verileri ile karşılaştırılmıştır. Doğrulama sonuçları, yeni algoritmayı benimseyerek, simülatörün, mevcut CORSIM algoritmasına kıyasla, şerit arası seyahat süresi farklılıklarını daha gerçekçi bir şekilde göstermiştir. Şerit kullanımı ve kümülatif şerit değişikliği sayısı, yeni ŞD modeli uygulandıktan sonra daha doğru bir şekilde modellenmiştir. Günün farklı zamanlarından gelen trafiği içeren bir duyarlılık analizinden elde edilen standart istatistikler, yeni ŞD modelin orta derecede sıkışık bir arter durumunda en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca yoğun trafik ve hem de yoğun olmayan trafik koşullarında orijinal CORSIM modelinden tutarlı bir şekilde yüksek performans göstermiştir. Son olarak, ŞD'de sürücü hareketine ilişkin hususları iyileştirmek için mevcut mikro simülatörlere dahil edilebildiğini savunulmuştur.

Zheng vd. (2014), çalışmalarında NGSIM verilerinden büyük ölçekli yörünge verilerini kullanarak, taşıtların KŞD hareketlerini araştırmışlardır. ŞD örnekleri, sürücünün yolculuğu sırasında taşıt takip etme ve serbest akım örnekleri tarafından büyük ölçüde geride kaldığından, iki yörünge veri kümesinden temsili örnekler alınmıştır. Ayrıntılı bir veri analizi sol şerit değiştiren örnekler için, sol şeritteki trafik koşullarının mevcut şeritten ve sağ şeritten açıkça üstün olduğunu gösterirken, sağ şerit değiştiren örnekler için, sağ şeridin üstünlüğünün o kadar belirgin olmadığını göstermiştir. Büyük ölçüde ŞD'nin doğal karmaşıklığı ve bu tür hareketleri analiz etmek için büyük ölçekli verilerin bulunmaması nedeniyle, örneklerin kapsamlı olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada ŞD'nin karmaşıklığını yakalamak amacıyla bir sinir ağı modelini benimsemişlerdir. Bu arada, sinir ağı modeli daha önceki çalışmalarda ŞD için bir çerçeve olarak sıklıkla kabul edilen bir multinomial logit modelinde karşılaştırmak için geliştirilmiştir. Her iki model, iki veri kümesiyle doğrulanmıştır. Model tahmini için kullanılan veri setinde, sinir ağı modelinin doğru tahmin ettiği yüzde, sol şerit değiştiren örneklerin %94,58'ini ve sağ şerit değiştiren örneklerin %73,33'ünü doğru bir şekilde tahmin edebilirken, multinomial logit modeli tarafından doğru olarak tahmin edilen yüzde sırasıyla sadece %13,25 ve %3,33 olduğu gösterilmiştir. Yeni veri setinde, sinir ağı modelinde sol ve sağ şerit değiştiren örneklerin doğruluğu sırasıyla %72,2 ve %43,4'e düşmüştür. Ancak, multinomial logit modelinin şerit değiştiren kararları tahmin edeceğini belirtmişlerdir. Açıkçası, çalışmalarının sinir ağı modeli multinomial logit modelinden daha iyi performans gösterdiği savunulmuştur. Ayrıca önerilen sinir ağı modeli duyarlılık analizi kullanılarak, ağır taşıt sürücülerinin ŞD kararları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, ilgili şeritlerdeki en yakın öndeki taşıtların tümü ağır taşıtlar olduğunda, şerit değiştirmeyen örneklerin %7'sinden fazlasının ŞD'ye karar verdiği, sol şerit değiştiren örneklerin %17'sinden fazlasının sol şerit değiştirdiklerini tersine çevirdiği gösterilmiştir. Sağ ŞD kararlarını değiştiren örneklerin yüzdesi %26,5'in üzerinde olduğu gösterilmiştir.

Wang vd. (2015), yaptıkları çalışmada ayrık ŞD kararlarının ve sürekli hızlanmaların birlikte değerlendirerek, uzaklaşan ufuk optimal kontrolüne ve dinamik oyun teorisine dayanan birleşik ŞD ve taşıt takip kontrolü için öngörücü bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşım tahmini ŞD dizilerini ve hızlanmaları oluşturmakta olup otonom ve bağlı taşıt sistemleri için geçerli olduğu ifade edilmiştir. Buna ek olarak, yaklaşımın çalışma aşamaları sayısal örneklerle gösterilmiştir. Sayısal örnekler, yaklaşımın otoyol

koşullarında mikroskobik düzeyde makul ŞD ve taşıt takip etme manevraları ürettiğini göstermiştir. Çalışma sonucuna göre, önerilen yaklaşımın güvenlik ve konfor gereksinimlerine uyarken, verimli ŞD manevraları üretebileceğini göstermiştir.

Balal vd. (2016), çalışmalarında sürücülerin KŞD hareketleri için bulanık çıkarım sistemine dayalı ikili bir karar modeli önermişlerdir. Önerilen modelin geliştirilmesi için dört girdi değişkeni kullanılmıştır. Girdi değişkenleri bir sürücü araştırmasının sonuçlarına göre seçilmiş ve ilgili taşıtta bulunan sensörler yardımıyla toplanmıştır. Bulanık çıkarım sistemi, California Emeryville'deki I-80 otoyolundan toplanan NGSIM taşıt yörünge verileriyle eğitilmiş ve daha sonra Kaliforniya'daki 101 karayolundan toplanan verilerle test edilmiştir. Testin sonuçlarında, sistemin ŞD kararı vermesinde çok yüksek doğruluk performansı gösterdiği savunulmuştur. Bu doğruluk değerleri, TRANSMODELER'in NGSIM verileriyle kalibre edilen otoyollardaki KŞD için boşluk kabul modeli tarafından verilen aynı performans ölçütlerinden daha iyi performans göstermiştir. Önerdikleri modelin, ŞD karar destek sistemlerinde, otonom taşıtlarda ve mikroskobik trafik simülasyon araçlarında uygulanabilecek bir potansiyele sahip olduğunu iddia etmişlerdir.

Tang vd. (2018), çalışmalarında taşıt sensörlerinden gelen bilgileri birleştirerek, sürücülerin şerit değiştirme ve şerit değiştirmemesini etkileyen parametreleri tahmin etmek amacı ile adaptif bulanık sinir ağına dayalı ŞD tahmin modelini geliştirmişlerdir. Modelin geliştirilmesi için girdi ve çıktı değişkenlerinin verileri taşıt simülatörü yardımıyla toplanmıştır. Bu arada, bu simülatör taşıtların farklı hızları (60 km/s, 80 km/s ve 100 km/s) ile üç farklı senaryoda tasarlanmıştır. Model geliştirilmesine toplam 47 sürücü katılmış ve tahmin modelini eğitmek ve doğrulamak için 141 geçerli ŞD veri örneği toplanmıştır. Tahmin sonuçları, önerilen modelin etkililiğini ve istikrarını göstermiştir. Ayrıca, önerilen tahmin modeli üç farklı makine öğrenme yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Son olarak, şerit değiştiren taşıt parametreleri taşıtın istikametinin ve ivmenin duyarlılık analizi yoluyla, bu iki girdi değişkeninin direksiyon açılarının tahmininde önemli bir rol oynadığı ve ŞD sürecinde dikkate alınması gereken iki anahtar faktör olduğu bulunmuştur. Geliştirilen modelin, sürücü yardım sisteminin pratik etkilerini iyileştirmek ve ŞD güvenliğini artırmak için yardımcı olacağı savunulmuştur.

He vd. (2018), çalışmalarında trafik sinyallerinin çevresindeki taşıtlar için bir Kooperatife sürüş ve ŞD modeli önermişlerdir. Önerilen model, akıllı sürücü modeline dayalı olarak trafik sinyallerin çevresindeki taşıtlara; durma sıklığını, seyahat süresini azaltmak, sinyal döngüsü durumu, trafiğe olan mesafe vb. gibi trafik koşullarına göre yolun verimini iyileştirmek amacı ile trafik sinyallerinin çevresindeki taşıtlar için önceden planlanmış yörüngeler sağlamıştır. Trafik sinyallerin çevre taşıtlarla ilgili durum, şerit değiştiren taşıt ile çevresindeki taşıtlar arasındaki ilişkiye uygun olarak, ŞD sürecinde güvenliği ve konforu artırmak amacı ile senaryoda iş birliğine dayalı ŞD stratejisini de planlanmıştır. Bir simülasyon deneyi ile, önerilen model geleneksel akıllı sürücü modeliyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı trafik koşullarındaki performans analizi yapılarak modelin fizibilitesi ve üstünlüğü doğrulanmıştır. Simülasyon deney sonuçları, önerilen modelin ortalama seyahat süresini kısaltabileceğini ve akıllı Sürücü modeline göre durma süresini azaltabileceğini göstermiştir. Böylece taşıtlara değer vererek kolayca şerit değiştirebileceği savunulmuştur. Ancak bu modelde, farklı taşıtların ve farklı sürücülerin sürüş alışkanlıklarının ve özelliklerinin iş birliğine dayalı sürüş hareketi üzerindeki etkisi dikkate alınmamıştır.

Cheng vd. (2018), yapmış oldukları çalışmalarında trafik akımında KŞD hareketine ilişkin mekanizmaları araştırmışlardır. NGSIM verileri, farklı ŞD kurallarının geçerliliğini değerlendirme amacı ile kullanılmış ve US-101 otoyolundaki 4 lokasyonun 373 ŞD hareketi analizi edilerek kural tabanlı modelin klasik ŞD kuralları bulunmuştur. Değerlendirme sonucunda, deneysel veri kümesindeki birçok durum açıklanamamıştır. Bu nedenle, konum değişikliği olmadan birkaç saniyelik bir zaman ufkundan sonra konumu karşılaştıran yeni bir karar kuralı önermişlerdir. Önerilen kural, basit ve anlaşılması kolay (9 saniye içinde başka bir pozisyona sahip olmak) olarak tanımlanmıştır. NGSIM verileriyle yapılan testler, bu kuralın ŞD durumlarını çoğunu (%76) açıklayabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, KŞD'nin daha gerçekçi açıklamasına yol açan mikroskobik trafik modellerinde uygulanabilir kapasiteye sahip olduğunu savunmuşlardır. Ayrıca mikroskobik trafik akım simülasyonunda kullanılması kolay olduğunu ve şerit değişikliklerini hesaba katan trafik kontrolü için bir temel oluşturulabileceğini ifade etmişlerdir.

Li vd. (2018), farklı senaryolar üzerinde sürüş tarzını dikkate alarak sürücülerin ŞD niyetini tahmin etmek için, ŞD Bayes ağı-Gauss hibrit modeli ile birleştirilmiş bir ŞD

Bayes ağı modeli önermişlerdir. Önerilen modelin eğitilmesinde etkili olan verileri elde etmek amacıyla, bir zaman aralığı etiketleme yöntemi kullanmak yerine sürücülerin bakış hareketini izleyerek bakış tabanlı bir etiketleme yöntemi önermişlerdir. ŞD Bayes ağı-Gauss hibrit modeli, bir sürücünün ŞD amacını tahmin etme yeteneği, destek vektör makinesi ve Naive Bayes ile karşılaştırıldığında farklı ŞD senaryolarında ve sürüş tarzlarında değerlendirilmiştir. Veriler, 9 agresif, 15 tarafsız ve 8 tutucu sürücüden oluşan 32 sürücünün katıldığı bir sürüş simülöründe toplanmıştır. Deneysel sonuçlar, önerdikleri ŞD Bayes ağı-Gauss hibrit modeline kıyasla en iyi performansı elde ettiğini göstermiştir. Son olarak önerilen modelin diğer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında hem sürüş tarzı hem de bağlamsal trafik dikkate alındığında %78,2 doğrulukla gerçek ŞD manevralarından ortalama 4,5 sn. ileride bir sürücünün ŞD niyetini tahmin ettiğini savunmuşlardır.

Jin ve Murray (2019), yaptıkları çalışmada verilen trafik alanlarında insan tercihlerini karşılayan KŞD politikasını sentezlemek için bir kontrol doğaçlaması önermişlerdir. Önerilen kontrol doğaçlamasında birinci sırada Markov modellerinde varsayılan trafik modelleri altında, otomatik bir taşıt için ŞD ortamını tanımlamak üzere eğittiklerini ifade etmişlerdir. Ardından trafik verileri kullanılarak, modelindeki parametreler öğretilmiş ve kontrol doğaçlaması ile kalibre edilmiştir. Daha sonra, sürücünün ŞD hareketine dayanarak ve Markov modeli kullanılarak KŞD politikasını eğittikleri belirlenmiştir. ŞD politikasındaki parametrelerin, otomatik bir taşıtın keyfi olarak şerit değiştirmesine izin verirken çeşitli trafik ortamlarında aşırı sık ŞD manevralarından kaçınmak için kontrol doğaçlamasıyla kalibre edebildiği savunulmuştur.

Yang vd. (2019), yaptıkları çalışmada Şangay doğal sürüş çalışmasından 5339 ŞD olayını incelemek için bir ayıklama algoritması geliştirmişlerdir. Bu arada, elde edilen verilerle ana ŞD bileşenlerini incelemişlerdir. Boşluk kabulü ve süresi ile etkileyen faktörler arasındaki ilişkileri geliştirmesinde çok düzeyli doğrusal modeller kullanılmıştır. Bu etkiler daha sonra hız değişim oranı, fren zaman damgası ve zaman aralıkları kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarında, (1) boşluk kabulünün karayolu tipi ve motivasyona göre değiştiğini, ön ve arka boşluklarının çevresel değişkenleri, taşıt tipi ve kinematik parametrelerden önemli ölçüde etkilendiğini; (2) süre 0,7 saniyeden 16,1 saniyeye değişmiş, değiştiğinde boşluk kabulüne benzer değişkenlerden önemli ölçüde etkilendiğini; (3) beş Çinli takip eden sürücüden birinin şerit değişikliklerine %10'u aşan

hızlanma ile yanıt verdiğini; (4) Takip edenlerin neredeyse yarısı bir aracın ŞD niyetini algıladıklarında fren yaptığını ve çarpışma süresi 4,7 saniyeye ulaşmadan önce %90'ının fren yaptığını; (5) şerit değişikliklerinin %70'inden fazlasında minimum zaman aralığı başlangıç ve çapraz şerit noktaları arasında oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ŞD teorisinin uluslararası gelişimini ilerletmenin yanı sıra çalışmada önemli uygulamalarından biri, otonom ve yarı otonom taşıtların daha güvenli bir zaman aralığı aşamasında fren yapacak şekilde tasarlanabilmesini savunmuştur. Devam eden gelişmiş sürücü destek sistemleri ve otonom ve yarı otonom taşıtların gelişiminde de faydalı olduğunu belirtmiştir. Hafif ticari taşıt hareketini başlattığında takip eden taşıt sürücülerinin %44'ünün fren yapması, gelişmiş sürücü destek sistemlerin hem komşu şeritlerdeki taşıtların hareketini hem de sürücünün kendi şeridini dikkate alması gerektiğini göstermiştir. Ek olarak, otonom ve yarı otonom taşıtlar kontrolü, daha insan benzeri ve rahat hale getirmek için çalışmadan elde edilen bulguları birleştirmiştir. ŞD olaylarının %70'inden fazlasında başlangıç ile şerit geçiş noktası arasında minimum çarpışma süresinin meydana geldiği gösterildiğinden, otonom ve yarı otonom taşıtlar bu daha güvenli aşamada fren yapacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, Çin'de otonom ve yarı otonom taşıtlar testinin ortaya çıkması, Çin'in ŞD hareketini dikkate almayı gerekli olduğunu göstermiştir.

Xu vd. (2019), çalışmalarında ŞD manevrasının ilk aşamasında ve hem de ŞD sürecinde güvenliği sürdürmeyi amaçlayan dinamik iş birliğine dayalı bir ŞD manevra modeli önermişlerdir. Önerilen modelin geliştirilmesinde, çevredeki taşıtların değişken durumları dikkate alınmıştır. Bu koşula uymak için, ŞD işlemi sırasında, zaman noktası için her iki taşıt arasındaki güvenli mesafeyi hesaplamak için geliştirilmiş bir minimum güvenlik aralığı modeli oluşturulmuştur. Minimum güvenlik aralığı modelinin hesaplama sonuçlarına dayanarak, güvenli yörüngeler elde etmek ve çarpışmaları önlemek için dinamik bir ŞD yörünge planlama ve yeniden planlama yöntemi önerilmiştir. Manevranın geçerliliğinin doğrulamasında bazı tipik ŞD senaryoları ve iletişimin etkisi simüle edilmiştir. Sonuçlar, önerilen manevra modelinin, çevredeki taşıtların hız sınırı olmadığında ve karmaşık koşullar altında verimli ve güvenli ŞD hareketini sağlayabileceğini göstermiştir.

Liu vd. (2019a), yaptıkları çalışmada görüş tabanlı ŞD destek sisteminin doğruluğunu artırmak amacıyla kör noktada, taşıt hareketinin belirsizliği altında, dinamik bir ŞD

modeli geliştirmişlerdir. İlk aşamada, monoklüler derinlik ağı, ego-hareket tahmini ve akış ağını birleştiren RGBD akış ağı önerilmiştir. İkinci aşamada, sürüş ortamını kategorize eden ve farklı senaryoların üstesinden gelmek için farklı ŞD hareketleri öneren ŞD karar veri tabanı oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada, ŞD için farklı yanal ve boylamsal maliyet fonksiyonlarını birleştiren bir şerit değişimi için optimum yörünge modeli önerilmiştir. Son aşamada ise aynı senaryolarda deneyimli sürücü ve önerilen otomatik ŞD modeli karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, önerilen modelin ŞD sürecinde herhangi bir çarpışma olmadan sorunsuz ve düzenli çalıştığı gösterilmiştir.

Liu vd. (2019b), yaptıkları çalışmada otonom taşıtların ŞD hareketleri için destek vektör makinesine dayalı bir ŞD karar modeli önermişlerdir. Daha sonra, otonom taşıtın ŞD karar verme sürecinin çok parametrelili ve doğrusal olmaması nedeniyle, Bayesian parametreleri, optimizasyonlu bir destek vektör makinesi algoritması benimsenmiştir. Ayrıca, önerilen modelin etkinliği hem simülasyon hem de gerçek taşıt testleri ile doğrulanmıştır. Son olarak, önerilen destek vektör makinesi kural tabanlı bir ŞD modelini test setinde karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda destek vektör makinesi modelinin kural tabanlı ŞD modelinden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Pourmahmoud vd. (2020), çalışmalarında gerçek trafik akımında KŞD hareketi için adaptif nöro bulanık tabanlı bir model önermişlerdir. Modelin geliştirilmesi için ilk olarak ŞD hareketlerinin ölçülebilir parametrelere göre zaman aralıklarına ayırmıştır. Ardından, her bir aralık için giriş anının parametreleri tanımlanmış ve bir senaryo dahilinde incelenmiştir. Bir sonraki adımda, uygun girdi ve çıktıları seçerek tahmini bir ŞD modeli geliştirmek için adaptif nöro bulanık model hakkında bir giriş sağlanmıştır. Daha sonra zaman parametresi, bu araştırmanın diğerlerine göre ayırt edici özelliklerinden biri olan öngörücü modele bir girdi olarak kabul edilmiştir. Son olarak, önerilen tahmine dayalı modellerin performansının sonuçları, gerçek sürüş performansı ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı araştırmak için, önerilen tahmin modelinin ŞD hareketlerinin tahmin edebildiğini gösteren çeşitli hata kriterleri kullanılmıştır. Zaman parametresinin insan ve çevresel faktörlerden etkilenen bir girdi olarak kabul edilmesi koşuluyla, modellerin performansının iyileştirilebileceğini gösterilmiştir. Önerilen modelin, insan faktörlerini ve çevresel koşulları dikkate alan ŞD hareketleri için bir tahmin modeli olarak yararlanılabileceğini savunmuşlardır.

Ali vd. (2020) çalışmalarında, bağlı ortamın KŞD kararını vermesi üzerindeki etkileri analiz ederek boşluk kabulü ve KŞD süresi için iki geliştirilmiş tahmin modeli önermişlerdir. Buna ek olarak, bağlı ortamın KŞD manevralarıyla ilgili güvenlik üzerindeki etkileri araştırmak amacıyla, Weibull başarısızlık riskine dayalı süreç modeli geliştirilmiştir. Bağlantılı ortamdaki sürücülerin temel şeritlerde kıyasla büyük bir boşluğa, daha büyük bir ön mesafeye ve gecikme boşluklarına bir KŞD süresine ve daha düşük bir hızlanmaya sahip olduğu gözlenmiştir. Boşluk kabulüne ilişkin geliştirilmiş tahmin modeli, bağlı ortamın müteakip boşluk bilgisini sunduğunda sürücülerin nispeten daha büyük boşluk boyutları seçme eğiliminde olduklarını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, KŞD süresi için geliştirilmiş tahmin modeli, iyi bir iletişim ve iletişim gecikmesi olan sürüş koşullarında bağlı ortamın KŞD sürelerini sırasıyla 2,11 sn. ve 2,22 sn. artırdığını göstermiştir. Ayrıca, her sürücünün aynı boşluk boyutlarının sağlanmasıyla sınırlı olduğu ifade edilmiştir. Son olarak, tehlike temelli süre modeli, ŞD sırasında bir çarpışmadan kaçınma olasılığına ilişkin iç görüler sağlamış ve şerit değiştiren bir çarpışma olasılığının, bağlı ortam sürüş koşullarında temel senaryodan daha az olduğunu göstermiştir. Son olarak, önerdikleri modelin bağlı bir ortamın, KŞD hareketini iyileştireceğini ve trafik güvenliğini artıracaklarını savunmuşlardır.

Long vd. (2020), çalışmalarında KŞD hareketleri için kümülatif beklenti teorisine dayalı bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. İlk olarak, taşıtların dinamik çalışma durumlarını kabaca analiz edilmiş, KŞD ve şerit tutmaları için güvenlik aralığı hesaplama yaklaşımları ortaya konulmuştur. Modelin geliştirilmesi için kentsel bir yoldan toplanan gerçek verilerle, KŞD süresinin dağılımı analiz edilerek model parametreleri kalibre edilmiştir. Ayrıca modelin uygulanabilirliği gerçek gözlem ve rastgele birlik modeli ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ardından, modelin duyarlılık analizi yapılarak, karar sonucu üzerindeki her değişkenin etki derecesi belirlenmiştir. Son olarak, önerdikleri modelin, KŞD hareketini daha doğru bir şekilde tanımlayabildiğini ve karar verme sırasında sürücülerin riskten kaçışını dikkate aldığını savunmuşlardır.

Sun vd. (2020), yaptıkları çalışmada iki şeritli bir otoyolda bağlı taşıtlar için bir ŞD modeli önermişlerdir. Önerilen model, hızlı ŞD sürecinde şerit değiştiren taşıtların ve kooperatif taşıdın kinematik hareketine odaklanmıştır. Ayrıca, modelin kapasitesini göstermek için model MATLAB simülasyonunda uygulanmış ve yeni basit bir trafik senaryo testi yapılmıştır. Önerilen model, karayolu kooperatif ŞD yardımcı sisteminin

kurulması için bazı referanslar vermiştir. Sonuçlarda, kooperatif ŞD modelinin mevcut ve pratik olduğunu ve basit bir gerçek ŞD senaryosu ile birden fazla taşıtta iyi bir şekilde gerçekleştirilebileceğini gösterilmiştir.

Li vd. (2020), çalışmalarında ortalama heterojenlik ve varyans ile rastgele parametrelilikli karar logit modeli önermişlerdir. Modelin geliştirilmesinde NGSIM veri kümesi kullanılmıştır. Geliştirilen modelin tahmin sonuçları, iyi bir genel istatistiksel uyum göstermiştir. Bu arada, tüm açıklayıcı değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı rasgele parametreleri üretebildiğini belirtmişlerdir. Tahmin sonuçları, daha büyük ortalama geçiş yollarının ŞD olasılığını azalttığını göstermiştir. Aynı zamanda, sağ şeritlerde seyahat eden taşıtların, muhtemelen hızlarını artırmak için KŞD yapma olasılığının daha yüksek olduğu ve hızlanma/yavaşlamanın mutlak ortalama değeri olarak ölçülen sürücü agresifliğinin ŞD olasılığını artırdığı bulunmuştur. Son olarak, büyük taşıtların ortalama ŞD olasılığının (boyutları ve düşük hızlanma/yavaşlama özellikleri nedeniyle) daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, büyük taşıt göstergesi tahmini parametresinin, ilerleme hızından etkilenen parametrenin ortalaması ve sürücünün agresifliğinden etkilenen varyansıyla gözlemler arasında önemli ölçüde değiştiği bulunmuştur.

Shao vd. (2020), yaptıkları çalışmada otonom ve normal taşıt sürücülerin karışık trafik akımı üzerinde KŞD hareketleri için sinyalleşme oyun tabanlı yaklaşımı kullanılarak bir karar modeli önermişlerdir. Modelin geliştirilmesinde, genetik algoritma ve iyi bir Bayes dengesi içeren iki düzeyli bir kalibrasyon çerçevesine sahip NGSIM veri kümesi kullanılarak kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Önerilen modelin performansını değerlendirmek için çeşitli simülasyonlar yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, önerilen modelin boşluk tabanlı modelden daha yüksek ŞD oranlarına sahip olduğunu ve farklı yoğunluklar altında aynı anda benzer bir çarpışma zamanı değeri seviyesinde kaldığını göstermiştir. Ayrıca, modelin hassasiyetini test etmek için iki tür itici gücün (tutucu veya agresif) farklı oranlarının analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, sinyalleşme oyun tabanlı modelin şerit değiştiren sürücü tipi oranlarına karşı kararlı olduğunu savunmuşlardır.

Literatür incelendiğinde, son yıllarda taşıtların KŞD hareketlerinin çok farklı teknik ve yaklaşımlarla ele alındığı görülmektedir. Bu durum, taşıtların KŞD hareketlerinin

anlaşılmasında kazanılmış önemli bir başarıdır. Taşıtların KŞD hareketlerinin modellenebilmesi taşıt hareketleri ve simülasyon yazılımları için büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda literatürde güncelliğini koruyan KŞD hareketlerinin modelleme çalışmalarına yapılan tüm katkılar hem uygulama hem de literatür için önemli bir kazanım sağlamaktadır. Yapılan literatür taraması sonucunda literatürün sınırlılığı hakkında şunlar söylenebilir: yapay/sezgisel zekâ ve eniyileme yaklaşımları literatürde gün geçtikçe gelişmekte ve bu tekniklerin farklı mühendislik problemlerindeki başarılı sonuçları görülmektedir. Ancak, literatürde KŞD hareketleri için kullanılan yapay/sezgisel zekâ ve eniyileme tekniklerinin sayısı kısıtlıdır. Bu durum KŞD modellemesinde yeni nesil tekniklerin performansının ne olacağı ve hangi avantajları sağlayacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Gerçeğe en yakın modellemelerin sağlanabilmesi için yeni nesil yöntemlerin performanslarının ortaya konulması gerekmektedir. Bu çalışma, literatürdeki söz konusu boşluğa katkı sunmayı ve literatürde KŞD hareketleri için daha önceden uygulanmamış bir teknik ile bir KŞD karar modelini geliştirmeyi hedeflemektedir.

BÖLÜM III

ŞERİT DEĞİŞTİRME HAREKETLERİ

Şerit Değişirme (ŞD) hareketleri, trafik akımı üzerinde doğrudan etkisi olan bir sürüş görevidir. Son zamanlarda, bu hareketlerin daha iyi anlaşılması ve güvenlik sürüş verimliliğinin artırılması için birçok girişimde bulunulmuştur. Literatürde ŞD hareketleri, Keyfi Şerit Değişirme (KŞD) ve Zorunlu Şerit Değişirme (ZŞD) olarak adlandırılmaktadır (Yang vd., 1996; Sun vd., 2010; Sun vd., 2011). Bu sınıflandırma, KŞD veya ZŞD için karar verme sürecinin farklı motivasyonlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. KŞD, daha iyi trafik koşullarında seyahat etme talebi nedeniyle sürücünün gerçekleştirmiş olduğu şerit değişirmedir. Mevcut şeritte ve yan şeritlerdeki trafik özellikleri sürücülerini KŞD yapmaya motive etmektedir. Bunun sonucu olarak karayolları üzerinde çok sayıda KŞD hareketi görülmektedir.

3.1 Şerit Değişirme Parametreleri

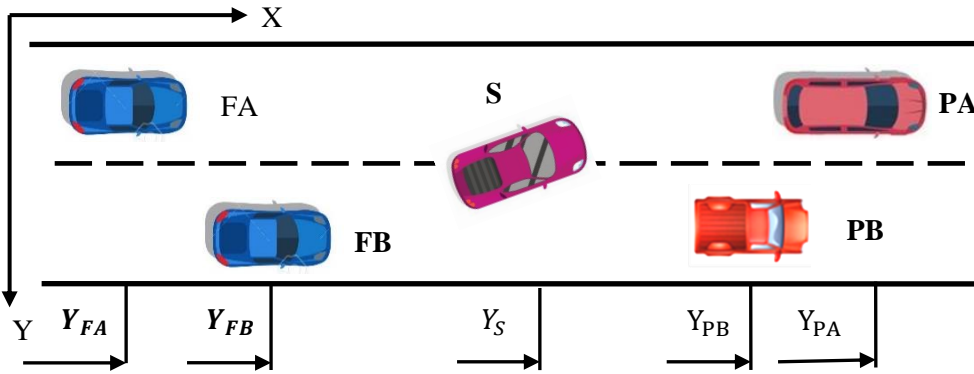
ŞD ile ilgili söz konusu çalışmalar dikkate alındıktan sonra ŞD parametreleri Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Bu çizelge yalnızca bir modelde kullanılan boşluk (öndeki ve takip eden taşıt arasındaki mesafe) ve otoyolun hız sınırı gibi parametreleri içermemektedir. Hızlandırma terimleri, bir sürücünün ŞD kararını verirken ikinci dereceden bir terimi algılaması zor olduğundan hariç tutulmuştur.

Bir örnek ŞD senaryosu beş adet taşıtı içermektedir. Söz konusu taşıt, şerit değiştiren taşıt S'dir. Bu taşıt orijinal şeridinden hedef şeride hareket eder. Şekil 3.1'deki ŞD manevrasında S taşıtı şerit işaretleyicilerini geçtiğindeki kritik anı göstermektedir. Orijinal şeritte S taşıtın önündeki taşıt, PB, arkasındaki taşıt da, FB olarak gösterilmektedir ve hedef şeritte S taşıtın önündeki taşıt, PA, arkasındaki taşıt da, FA olarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Gözden geçirilen şerit değiştirme parametrelerinin özeti

Simülasyon modeli ve/veya referans	Ön boşluk	Arka boşluk	Çarpışmaya kadar geçen süre	Hedef şeritteki mesafe	Konu taşıtın mevcut hızı	Bağıl hız
FRESIM			✓			
VISSIM		✓				
PARAMICS	✓	✓				✓
AIMSUN				✓	✓	
TransModeler				✓		
Gipps (1986)				✓	✓	✓
McDonald(1997) Brackstone(1998)				✓		
Das (1999); DasandBowles (1999)			✓	✓		✓
Hidas (2005)	✓	✓				
Yeo (2008)					✓	✓
Schakel(2012)			✓	✓	✓	✓
Moridpour(2009; 2012)	✓	✓				✓
Hill and Elefteriadou(2013)	✓	✓				

Her taşıttın merkezine referansla ölçülen S, PB, FB, PA, FA boylamsal konumları sırasıyla Y_S, Y_{PB}, Y_{FB}, Y_{PA}, Y_{FA} ile temsil edilmektedir. S, PB, FB, PA ve FA uzunlukları sırasıyla L_S, L_{PB}, L_{FB}, L_{PA} ve L_{FA} olarak belirtilmiştir. Aşağıda açıklanan 9 olası parametre vardır.



Şekil 3.1. Şerit değiştirme sırasında taşıtlar ve konumları.

Şerit değişiminden önceki ön boşluk (metre cinsinden):

$$G_{PB} = \left(Y_{PB} - \frac{1}{2} L_{PB} \right) - \left(Y_S + \frac{1}{2} L_S \right), \quad G_{PB} \geq 0 \quad (3.1)$$

Şerit değişiminden önceki arka boşluk (metre cinsinden):

$$G_{FB} = \left(Y_S - \frac{1}{2} L_S \right) - \left(Y_{FB} + \frac{1}{2} L_{FB} \right) G_{FB} \geq 0 \quad (3.2)$$

Şerit değişiminden sonra ön boşluk (metre cinsinden):

$$G_{PA} = \left(Y_{PA} - \frac{1}{2} L_{PA} \right) - \left(Y_S + \frac{1}{2} L_S \right) , \quad G_{PA} \geq 0 \quad (3.3)$$

Şerit değişiminden sonra arka boşluk (metre cinsinden):

$$G_{FA} = \left(Y_S - \frac{1}{2} L_S \right) - \left(Y_{FA} + \frac{1}{2} L_{FA} \right) G_{FA} \geq 0 \quad (3.4)$$

Şerit değişiminden önce çarpışma süresine (saniye cinsinden):

$$T_{PB} = \frac{G_{PB}}{V_S - V_{PB}} , \quad -\infty \leq T_{PB} \leq +\infty \quad (3.5)$$

Şerit değişiminden önce çarpışma için gecikme süresi (saniye olarak):

$$T_{FB} = \frac{G_{FB}}{V_{FB} - V_S} , \quad -\infty \leq T_{FB} \leq +\infty \quad (3.6)$$

Şerit değişikliğinden sonra çarpışma süresi (saniye cinsinden):

$$T_{PA} = \frac{G_{PA}}{V_S - V_{PA}} , \quad -\infty \leq T_{PA} \leq +\infty \quad (3.7)$$

Şerit değişiminden sonra çarpışma için gecikme süresi (saniye olarak):

$$T_{FA} = \frac{G_{FA}}{V_{FA} - V_S} , \quad -\infty \leq T_{FA} \leq +\infty \quad (3.8)$$

Mesafe (metre cinsinden):

$$D = \left(Y_{PA} - \frac{1}{2} L_{PA} \right) - \left(Y_{FA} + \frac{1}{2} L_{FA} \right) \quad D \geq 0 \quad (3.9)$$

Konu taşıtın VS hızı (metre/saniye cinsinden) da analiz edilir. Boşlukları ve katları tanımlarken, P alt simge önceki taşıtı belirtir, F arkadaki taşıtı belirtir; B ise şerit değişiminden önceki şeridi (orijinal şerit) ve A şerit değişikliğinden sonraki şeridi (hedef şerit) temsil eder. Literatür incelemesinde tanımlanan parametrelere ek olarak, konu taşıt orijinalinden ayrılmadan hemen önce ilgili üç aracın (S, PB, FB) yakınlığını incelemek için bir şerit değişikliğinden önceki boşluklar ve geçiş yolları analize eklenir. Yollar, pozitif bir değer çarpışma riskini gösterdiği şekilde tanımlanır. Bu, trafik uyumsuzluğu analizinde çarpışmaya kadar geçen süreye benzemektedir. Çizelge 3.2’de şerit değiştirmeyi etkileyen on potansiyel parametre listelenmiştir.

Çizelge 3.2. Bir şerit değişiminde taşıt etkileşimlerini tanımlayan değişkenler (Balal vd., 2016).

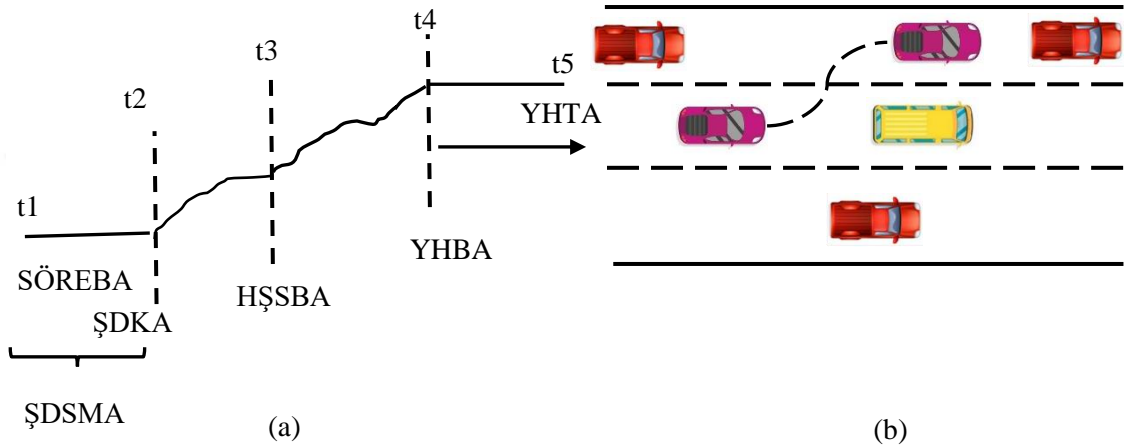
Gösterim	Tanımlama	Birim	Aralık
GPB	S taşıt ile PB taşıt arasında mesafe	m	≥ 0
GFB	S taşıt ile FB taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
GPA	S taşıt ile PA taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
GFA	S taşıt ile FA taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
D	PA taşıt ile FA taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
TPB	S taşıt ile PB taşıt arasındaki zaman aralığı	s	$-\infty$ to $+\infty$
TFB	S taşıt ile FB taşıt arasındaki zaman aralığı	s	$-\infty$ to $+\infty$
TPA	S taşıt ile PA taşıt arasındaki zaman aralığı	s	$-\infty$ to $+\infty$
TFA	S taşıt ile araç FA taşıt arasındaki zaman aralığı	s	$-\infty$ to $+\infty$
V	S taşıtın hızı	m/s	≥ 0

3.2 Şerit Değiştirme İşlemi

Bir şerit değişikliği dört aşamalı bir işlem olarak modellenebilir. Bunlar:

- 1) Motivasyon.
- 2) Hedef şeridin seçimi.
- 3) Hareket etme fırsatını kontrol etmek.
- 4) Gerçek hareketi başlatmaktır.

Bu dört adımın başlangıcı ve sonu, sırasıyla t_1 , t_2 , t_3 , t_4 ve t_5 'tir, burada $t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5$ 'tir. t_1 'de, sürücü orijinal şeritte sürüşü rahatsız hissetmeye başlar. t_1 ve t_2 arasında, dış uyaran ŞD'yi istemek için sürücüyü motive eder. t_2 'de, sürücü ŞD için kararını alır ve hedef şeridi aramaya başlar (hemen sol veya hemen sağ şerit). t_3 'te hedef şerit seçilir. t_3 'ten itibaren, sürücü aktif bir şekilde yan şeride hareketi yapmak için hedef şeritte bir fırsat arar. Sürücü t_4 'te yanal hareketi başlatır. Yanal hareket t_5 'te tamamlanır (Balal vd., 2016). Şekil 3.2'de, bu anlar ŞD hareketleri doğrultusunda çizilerek gösterilmiştir.



Şekil 3.2. ŞD manevrasının anları ve aralıkları (a) ŞD yolundaki şerit değiştirme manevrası anları ve (b) taşıt hareketinin görüntüsü üzerindeki ŞD başlangıç ve bitiş hareket yolu

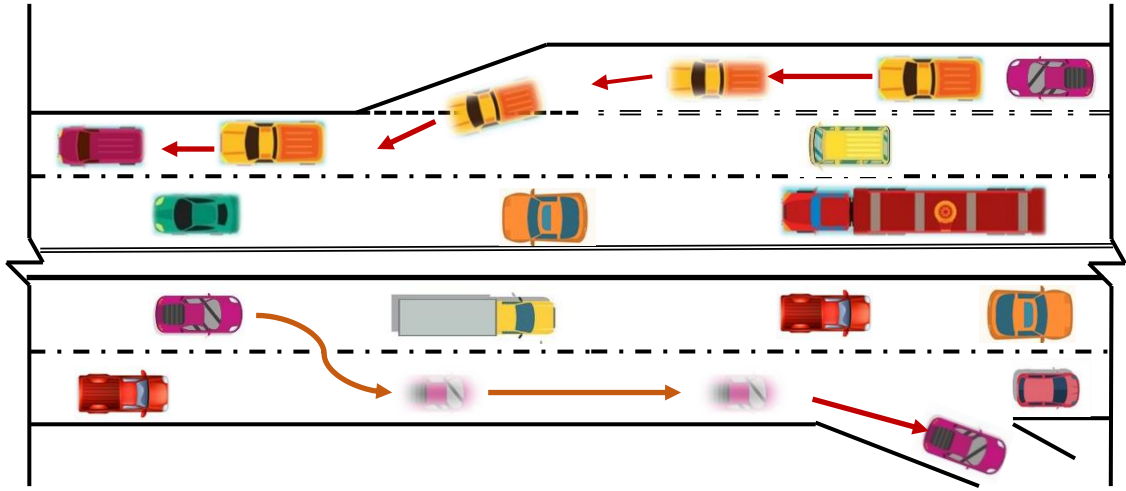
Burada, t_1 , sürücünün orijinal şeritte rahatsızlık anı (SOŞRA); t_1 ve t_2 arası, şerit değiştirmek için sürücünün motive anı (ŞDSMA); t_2 , sürücünün şeridi değiştirmek için karar aldığı an (ŞDKAA); t_3 , hedef şerit seçildiği an (HŞSA); t_4 , sürücünün yanal harekete başladığı an (SYHBA); t_5 , Yanal hareketi tamamlandığı anı (YHTA) göstermektedir.

Keyvan vd. (2015) tarafından ŞD hareketi (yani, t_4 ile t_5 arasında dört alt adımda) sınıflandırılmıştır ve Balal vd. (2016) sürücülerin KŞD hareketini t_3 'teki kararlara odaklanarak Bulanık Çıkarım Sistem tabanlı bir ikili karar modeli geliştirmiştir. Bu nedenle, her iki tip ŞD manevrası için farklı bir sürücü hareketi beklenmektedir (Balal vd., 2016). Bu tez çalışmasında bir özel genetik programlama olan gen ifade genetik programlama yaklaşımı kullanılarak sürücülerin KŞD seresinde t_3 'teki kararlarına odaklanmıştır.

3.3 Şerit Değişirme Hareketlerinin Yapısı ve Sınıflandırılması

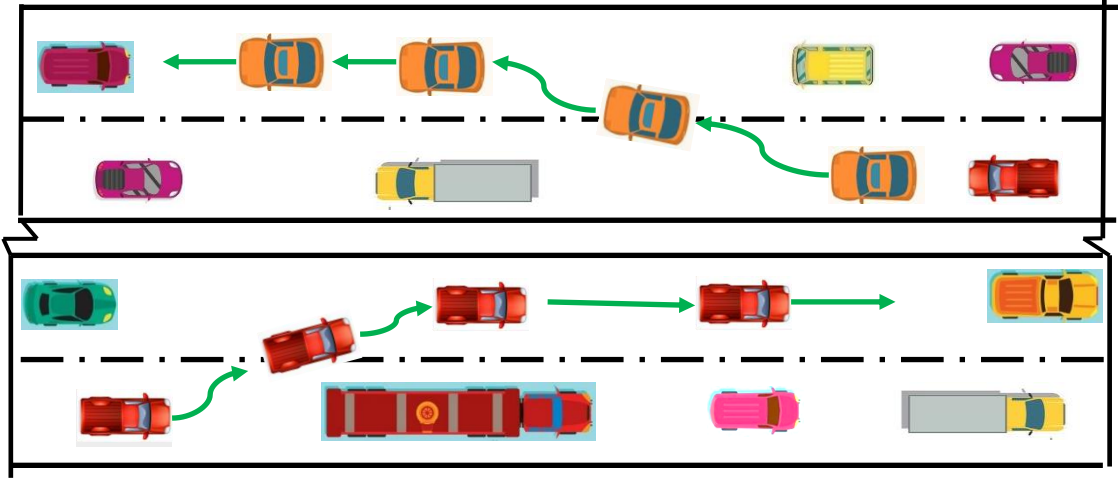
ŞD hareketleri temel olarak zorunlu şerit değiştirme ve keyfi şerit değiştirme şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Zorunlu Şerit Değişirme (ZŞD), taşıtların katılım yollarından ana yola dahil olmaları ve ana yoldan ayrılma hareketleri olmak üzere istenen hedeflere ulaşmak için şerit değiştirmelerini gerektiren durumlara denilmektedir. Örneğin, bir sürücü bir sonraki kavşaktan sağa dönecekse bu sürücünün sağ şeride geçmek amacıyla yaptığı şerit değiştirme ZŞD hareketi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.3. Zorunlu şerit değiştirmenin basit bir gösterimi

Keyfi Şerit Değişirme (KŞD), geçmek istenilen hedef şeridin sürücüye daha iyi trafik koşulları önermesinden dolayı meydana gelen şerit değiştirmedir. Bu şekilde sürücü arzu ettiği hıza ulaşmakta ve yavaş ilerleyen taşıtları veya ağır vasıtaları takip etmek zorunda kalmamaktadır.



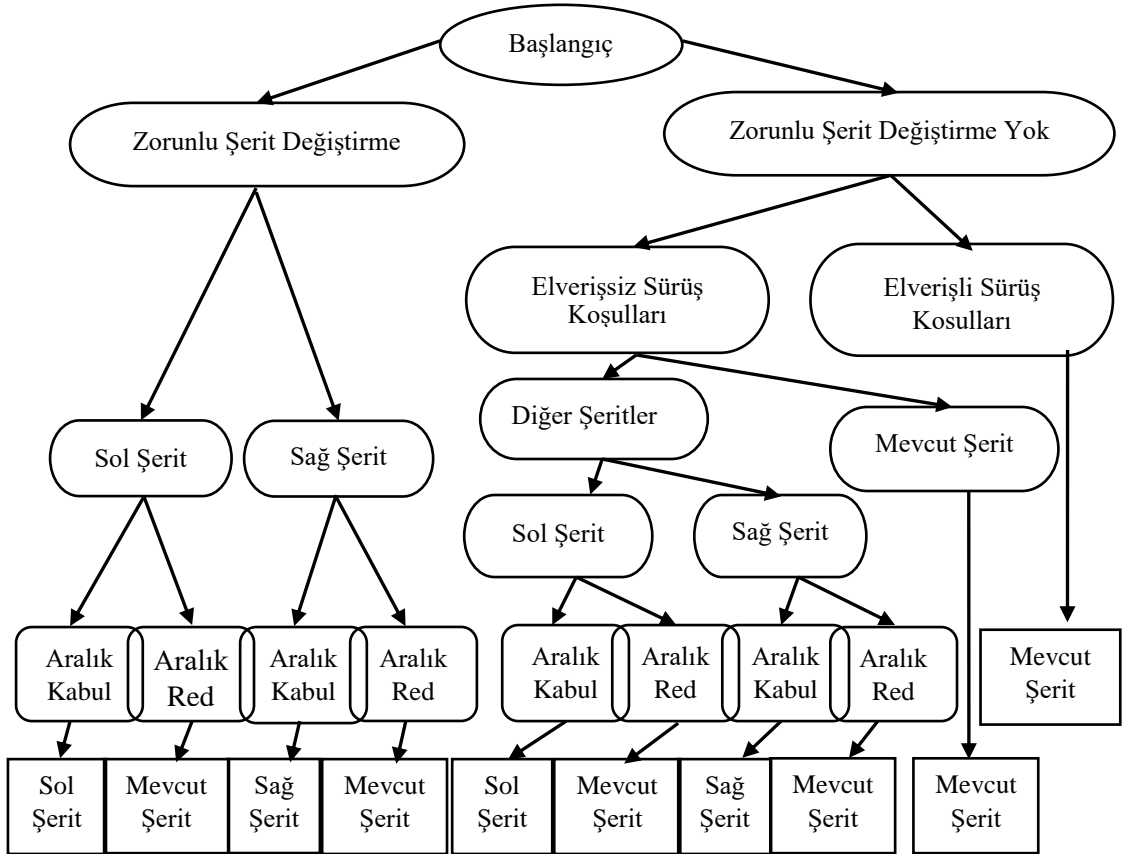
Şekil 3.4. Keyfi şerit değiştirme şekil üzerinde gösterimleri

Böylelikle, mevcut ve yan şeritteki trafik özellikleri, devamlı sürücüleri KŞD yapmaya motive etmektedir (Moridpour vd., 2010). Bunun sonucu olarak trafikte çok sayıda şerit değişikliği gözlemlenmektedir. Bu tez çalışmasında sürücülerin KŞD hareketine odaklanılmıştır.

ZŞD, taşıtın zorunlu olarak şerit değiştirmesini gerektiren şartlara tabi olan hareketlerdir. Taşıt sonradan KŞD'yi uygulayıp uygulamayacağına dair kararını vermektedir. Keyfi olarak sürüş şartı tabiri, taşıtın bulunduğu şeridin trafik akım şartlarının uygunluğunu göstermektedir. Taşıt sürüş şartlarının keyfi olup olmadığı kararına etkisi olan başlıca etkenler, sürücünün talep ettiği sürüş hızıyla mevcut hızı arasında bulunan ilişkiler ve taşıtın arkasında ve önünde ağır taşıtların bulunmasıdır. Bunlara ek olarak, ZŞD hareketinin gerekliliği olsa da sürücüler bazı zamanlar bu hareketi KŞD olarak düşünmektedirler (Aydın, 2012).

Ahmed (1999), çalışmasında bir ŞD yönteminde daha çok ayırık seçim sisteminden yararlanarak ŞD kararlarını modellemeyi hedeflemiştir. Çalışmada bu sistemin ileri sürdüğü üç temel aşama gösterilmiştir. Bu aşamalar; ŞD kararını almak, hedef şerittin seçmek ve bu şeride göre uygun boşluk kabul etmektir. Geliştirilen modelin yapısına ait gösterimi Şekil 3.5'da verilmektedir. Bu modelin yapısını gösteren Şekil 3.5'da doğru şartlar kapsamında incelenmeyen kararlar oval olarak verilmektedir. ZŞD sırasında sürücü, ZŞD'yi hızlı bir şekilde yanıtlamak gerçekleştirmek ya da içinde bulunduğu hareket haline devam etmek istemektedir. Sadece ileriye doğru bir ŞD hareketini

sergilemektedir. Modelde, KŞD sırasında, şerit değiştirmek için herhangi bir zorunluluk olmadan sürücü keyfi olarak ŞD hareketini sergilemektedir. Bu şartlar altında sürücü memnuniyeti mevcut ve istenilen hızlar arasında bulunan farkla ilişkilere sahiptir. Mevcut yol şartlarından sürücü memnun değil ise komşu şeritte bulunan yol şartlarını gözlemlemektedir. Böylece, bulunan şartları mevcut durumla karşılaştırarak en uygununu tercih etmektedir. Şerit tercih aşamasında sürücüler, mevcut şeritteki ve diğer şeritlerdeki taşıtların hızlarından etkilenmektedirler (Ahmed, 1999).

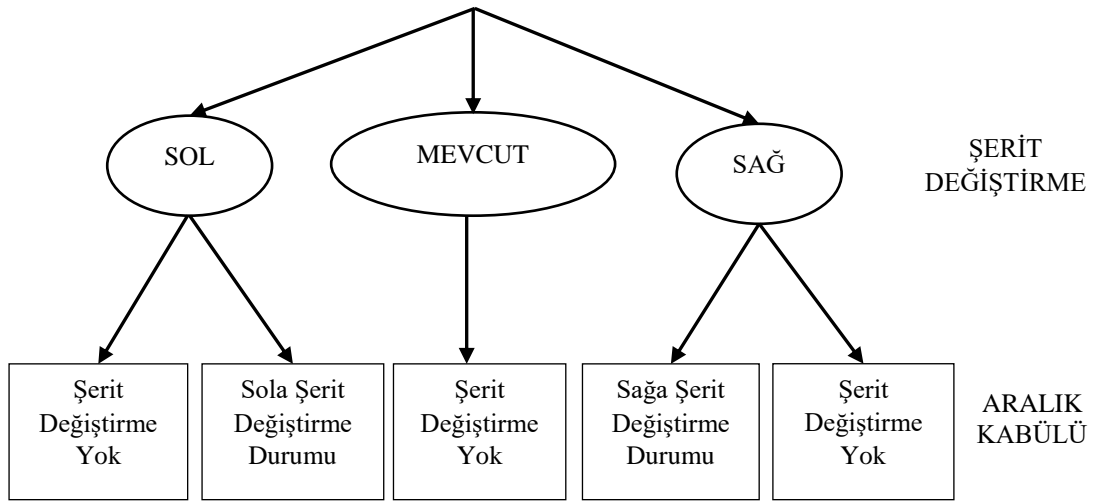


Şekil 3.5. Şerit değişikliği türlerine ait akım tablo akış diyagramı (Ahmed, 1999)

Ahmed (1999)'de önerdiği yöntem, boşluk kabul yöntemlerinde ŞD modellerinin gerçekleştirilmesinde temel öge olarak ele almıştır. Önerilen modelin değişkenleri saniyesi saniyesine taşıtların konum-zaman grafiklerini kullanarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, yöntem ZŞD'yi doğuran şartları tamamen açıklayamamaktadır. ZŞD ve KŞD parametreleri modelde aynı şekilde kabul edilmiştir. ZŞD modeli ise bütün taşıtların ZŞD şartları altında olduğu kabul edilerek otoyol giriş ve çıkış rampalarındaki kendine özgü pozisyon için deneyimler yapılmıştır. KŞD yöntemi ise otoyol çıkış rampasına mesafesi

oldukça uzak olan bir yol kısmından bilgileri toplayarak bir varsayım gerçekleştirilmiştir. Ahmed (1999) tarafından önerilen bu yöntemde sürücü bölündüğü seçenekler içinden bir şerit tercih eder ve hedeflediği şeridin komşu aralıklarını değerlendirir. Şemada en düşük aşama Şekil 3.5'te verilmiş olup modelde boşluk kabul işlemlerine denk olmaktadır (Ahmed, 1999).

Toledo vd. (2003) tarafından ŞD hareketini incelemek amacıyla birleşik bir ŞD modeli önerilmiştir. Modelde ZŞD ve KŞD hallerinin beraber bir şekilde incelenmesini ileri sürdürmüşlerdir. Bu modelde ZŞD ve KŞD'ye ait bağ, çıkış rampasına olan mesafe vb. belirlenen parametrelere göre farklı olarak görülmektedir. ZŞD haline bağlı farkındalık, koordineli artış gösteren fonksiyonlarla daha gerçekçi olduğunu göstermektedir. Açıklanan modele ait akış şeması Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Şerit değiştirme modelinin yapısı (Toledo vd., 2003)

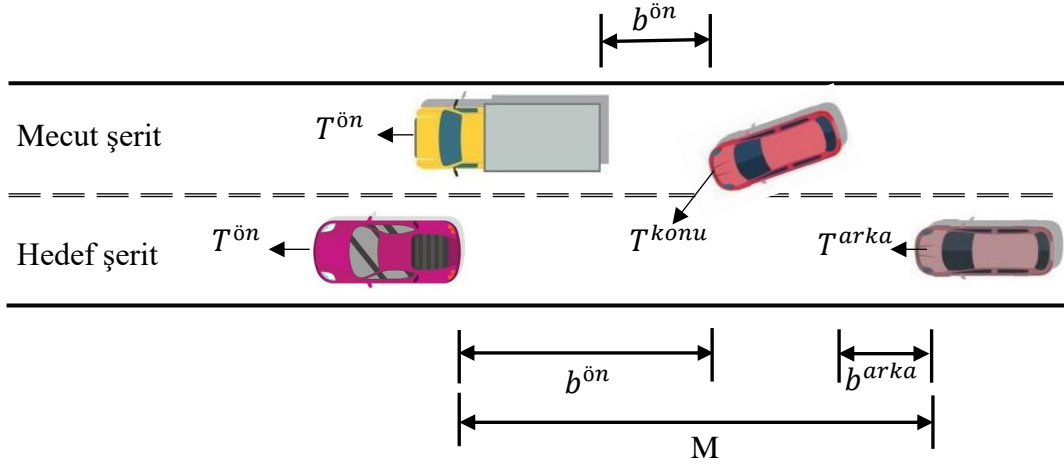
Şekil 3.6'da model yapısı 2 aşamada gösterilmektedir. Bu aşamalar ŞD hareketinin gerçekleşmesi amacıyla, ŞD'de tercih edilen şerit ve boşluk kabul kararlarıdır. Hesaplama yapılan çıkarımda sürücülerin ŞD hareketine modelde bulunan yörünge-plan parametrelerinin büyük bir etkisi olduğu görülmektedir. Modelin şeklinde yörünge-plan etkenleri farklı takım parametreleriyle beraber araştırılmaktadır. Modelin içinde ŞD değişkenleri ve boşluk kabul yöntemleri, otoyollarda devam eden taşıtların saniye cinsinden taşıt-konum grafikleri ortaya çıkmış ve test yapılarak açıklanmıştır. ŞD modellerinin büyük bir kısmı, otoyol planlarına göre ayarlanmıştır. Wei vd. (2000), şehir içi iki şeritli yolda yaptığı araştırma sonuçlarından yararlanılarak bir belirletici kural

tabanlı model elde edilmiştir. Tercih edilen şerit, otoyol üstündeki konum, istikamet ve varılacak olan konuma göre açıklanmıştır. Bu modelin şerit tercih etme işlemi, başka modeller gibi zorunlu ve keyfi olarak sınırlandırılmıştır. Modelde ZŞD; sürücülerin bir sonraki kesişim, kavşak gibi noktaları kullanarak bulunduğu yoldan çıkacak ise gerçekleştirecekleri ŞD olarak açıklanmaktadır. Sürücüler devam edeceği istikamet için gerçekleştirecekleri ZŞD'ler eğer uzakta ise, gerçekleştirecekleri ŞD'ler keyfi olarak tanımlanmaktadır. Sürücü gideceği yer için önceden uygun şeridi tercih etmişse yaptığı ŞD, KŞD ya da keyfi dönüş ve geçişler olarak tanımlanmaktadır. Gerçekleştirilen bu şerit değişikliklerinin tamamı hız üstünlüğü veya daha rahat bir yolculuğu amaçlamaktadır. Modelde, taşıtın mevcut ve komşu şeritte, ön ve arkada bulunan taşıtlar arasındaki boşlukları bilinmelidir (Toledo vd., 2003).

Trafik akımında taşıtların hareketini modellemek amacıyla Hunt ve Lyons (1994) farklı bir model olarak sinir ağları yaklaşımını kullanmışlardır. Modelde, görünen mevcut yol durumuyla ilişkili sürücünün kararı aldığı onaylanmıştır. Geliştirilen modelde görsel şekiller kullanılarak sürücünün etrafında bulunan taşıtlar ve yol durumuna göre yol etkenlerini belirtmeye ve buna ek olarak, ŞD işleminin açıklaması gözlenmiştir. Model çok sayıda veri ve bu veriye denk gelen karar ve yanıtlarla ölçülmüştür (Zhang, 2014).

3.4 Geleneksel Keyfi Şerit Değişirme Modelleri

ŞD hareketinin ilk kapsamlı modellenmesi Gipps'e (1986) aittir. Gipps'in modelinde karar verme çerçevesi, ŞD olasılığı, gerekliliği ve arzu edilebilirliğinden oluşmaktadır. Geliştirdiği modelde KŞD için girdi değişkenleri olarak T_{konu} , $T_{ön}$, T_{arka} , $b_{ön}$, b_{arka} kullanılmıştır. Ancak araştırmacı, modeli için bu değişkenlerin nasıl seçtiğini açıklamamıştır (Balal., 2016). Tipik bir KŞD hareketi Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Tipik bir KŞD hareketi (Balal vd., 2016)

Gipps (1986), ŞD modelini, daha önce geliştirdiği taşıt takip modeline dayandırmıştır. Deterministik kurallara dayalı geliştirilen KŞD modeli Denklem 3.10’da verilmiştir. Literatürde ŞD konusunda çok tanınan bu model, hedef şeritte yeterli uzunlukta bir boşluğun bulunması durumunda şerit değişikliğinin gerçekleşeceği esasına dayanmaktadır (Moridpour vd.,2010).

$$v_n(t+T) = b_n T + \left\{ b_n^2 T^2 - b_n \left[2(x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)) - v_n(t)T - \frac{v_{n-1}(t)^2}{b^{est}} \right] \right\}^{1/2} \quad (3.10)$$

Burada $v_n(t+T)$, $t+T$ anında $n-1$ liderine göre n taşıdı için maksimum güvenli hızdır; b_n , sürücünün üstlenmeye n aracıdır; b_n , n taşıdın sürücüsü hazır olduğu en şiddetli frenleme gerçekleştirmek için hazırlanır; b , n taşıdın sürücüsü tarafından kullanılan bir b_{n-1} tahminidir; T , hızı ve konumu güncellemek için zaman adıdır. $x_n(t)$, t anında n taşıtının ön tarafının konumudur ve s_{n-1} , $n-1$ aracının efektif uzunluğudur (Zheng, 2014).

KŞD hem mevcut şerit hem de hedef şeridin trafik koşullarına dayanmaktadır. Bir taşıt, önündeki yavaş seyahat eden bir taşıt nedeniyle komşu şeritleri kontrol eder. Sürücü, ŞD kararı vermeden önce bir sonraki adımda seyahatine devam edeceği uygun şeridi belirler. Şerit belirleme aşamasında, sürücünün arzu ettiği hız ve seçilecek şeridin imkân verdiği maksimum hız önemli parametrelerdendir (Yang vd., 1996). Uygun şerit belirlendikten

sonra ŞD kararı sürücü tarafından verilir. Bundan sonraki adımda ŞD manevrasının icrası gerçekleşmektedir. Bir sürücü ŞD'ye karar verdiğinde, istenen değişikliğin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğini belirlemek için hedef şeritteki geri ve öndeki boşlukları inceler. Hem geri hem de öndeki boşluklar kabul edilebilir mesafedeyse, istenen ŞD gerçekleştirilmektedir. KŞD için minimum kabul edilebilir boşluklar Denklem 3.11'deki gibidir (Yang vd., 1996).

$$g_s^{-i} = g^{-i} + \varepsilon_s^{-i} \quad i = arka, on \quad (3.11)$$

Burada, g_s^{-i} , sürücünün KŞD için kabul edilebilir olduğunu düşündüğü minimum boşluktur; g^{-i} , ortalama kabul edilebilir boşluktur. ε_s^{-i} , bir hata terimidir.

Mar ve Lin 2005 yılında, şerit değiştiren bir çarpışma önleme sistemi önermiştir. Bu sisteme aşağıdaki kuralın karşılanması durumunda konu kontrolörünün bir ŞD'ye başlamak için direksiyon simidini döndürmeye başlaması gerçekleşmektedir (Zhang, 2014).

Eğer $\{[(V_{PB} \leq V \leq V_{beklenen})] \text{ ve } [(V_{FA} \leq V) \text{ ve } (G_{FA} \geq G_{CF}^{güvenli})] \text{ ve } [(V_{PA} \geq V) \text{ ve } (G_{PA} \geq G_{CF}^{güvenli})] \text{ ve } [(G_{PB} \geq G_{LC}^{güvenli})]\}$ Sonra (\tilde{C} Evet) Değilse (\tilde{C} hayır)

Yukarıdaki kuralda, V_{PB} PB taşıdın hızıdır, $V_{beklenen}$, S taşıdın beklenen hızıdır, G_{PB} , PB ve S taşıtların arasındaki boşluktur, $G_{CF}^{güvenli}$ güvenli bir taşıt takip eden boşluktur; $G_{LC}^{güvenli}$ şerit değişikliği için güvenli aralık.

TRANSMODELER Caliper (2011) KŞD kararları vermek için iki alt modeli yerleştirmiştir. İlk alt modeli komşu şerit modeli olarak adlandırılmıştır. Mevcut şeridi ve hedef şeritleri seçerek söz konusu taşıdın olasılıklarını hesaplamak için multinominal logit yaklaşımını kullanılmıştır. Boşluk kabul modeli adı verilen ikinci model, konu taşıdın hedef şeridi seçtikten sonra uygulanmaktadır. Boşluk kabul modeli, şerit değişikliğini uygulamak güvenli midir? Sorusunu cevaplayan ikili bir karar modelidir. Boşluk kabul modelinin $GR = \{0, 1\}$ ile belirtilen, " hayır, şerit değiştirmeyin " ve " evet, şerit değiştir" önerisi vermektedir. Burada belirtilen önerisi G_{FA} ve G_{PA} 'nın kritik değerleriyle karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Boşluklar, G_{FA}^{min} ve sırasıyla G_{PA}^{min} karar

kuralıdır. Sırasıyla d_1 ve d_2 'nin kritik boşlukları olan G_{FA}^{min} ve G_{PA}^{min} ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Zhang, 2014).

Boşluklar, G_{FA}^{min} ve sırasıyla G_{PA}^{min} Karar kuralıdır.

Eğer $[(d_2 \geq G_2^{min}) \vee (d_1 \geq d_1^{min})]$ eyse (GR = 1 veya ‘‘evet, şeridi değiştir’’)

Değilse (GR = 0 veya ‘‘hayır, şeridi değiştirmeyin’’) önerisini vermektedir.

Kritik boşluklar aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$d_1^{min} = e^{[b_{0,PA} + b_{1,PA} \cdot \max(0, V - V_{PA}) + b_{2,PA} \cdot \min(0, V - V_{PA}) + b_{3,PA} V_{PA} + \alpha_{PA} U + \varepsilon_{PA}]} \quad (3.12)$$

$$d_2^{min} = e^{[b_{0,FA} + b_{1,FA} \cdot \max(0, V_{FA} - V) + b_{2,FA} V_{FA} + \alpha_{FA} U + \varepsilon_{FA}]} \quad (3.13)$$

V_{FA} ve V_{PA} 'nın sırasıyla FA ve PA taşıtların hızıdır. ε_{PA} ve ε_{FA} terimleri, sırasıyla, FA ve PA arasındaki taşıtlar bakımından, konu taşıtların farklı sürücülerini arasındaki saldırganlıktaki değişkenliği hesaba katmaktadır. Model, ε_{PA} ve ε_{FA} 'nın sırasıyla ortalama 0 ve varyansı σ_{PA}^2 ve σ_{FA}^2 olan normal dağılımları takip ettiğini, yani $\varepsilon_{PA} \sim N(0, \sigma_{PA}^2)$, $\varepsilon_{FA} \sim N(0, \sigma_{FA}^2)$. U terimi, aynı sürücünün farklı zamanlarda tutarsız kararlarına neden olur. Kesilmiş bir standart normal dağılım izler $U \sim N(0,1)$, $-3 \leq U \leq +3$. $\{b_{0,PA}, b_{1,PA}, b_{2,PA}, b_{3,PA}, \alpha_{PA}, b_{0,FA}, b_{1,FA}, b_{2,FA}, b_{0,PA}, b_{0,PA}, \alpha_{FA}\}$ terimlerinin geri kalanları katsayılarıdır. Yukarıdaki kural ve denklemler başlangıçta Choudhury (2007) tarafından önerilmiş ve kalibre edilmiştir. Daha sonra NGSIM verileriyle yeniden kalibre edilmiştir (Balal, 2016). TRANSMODELER'de kodlandığı gibi kritik boşluklar için kalibre edilmiş denklemler şunlardır:

$$G_{PA}^{min} = e^{[1 + 1,541 \cdot \max(0, V - V_{PA}) + 6,210 \cdot \min(0, V - V_{PA}) + 0,130 V_{PA} + 0,008 U + \varepsilon_{PA}]} \quad (3.14)$$

$$G_{PF}^{min} = e^{[1,50 + 1,426 \cdot \max(0, V_{FA} - V) + 0,640 V_{FA} + 0,205 U + \varepsilon_{FA}]} \quad (3.15)$$

$$\text{Ve } \varepsilon_{PA} \sim N(0, 0,854^2), \varepsilon_{FA} \sim N(0, 0,954^2). \quad (3.16)$$

BÖLÜM IV

METODOLOJİ

4.1 Genetik Programlama

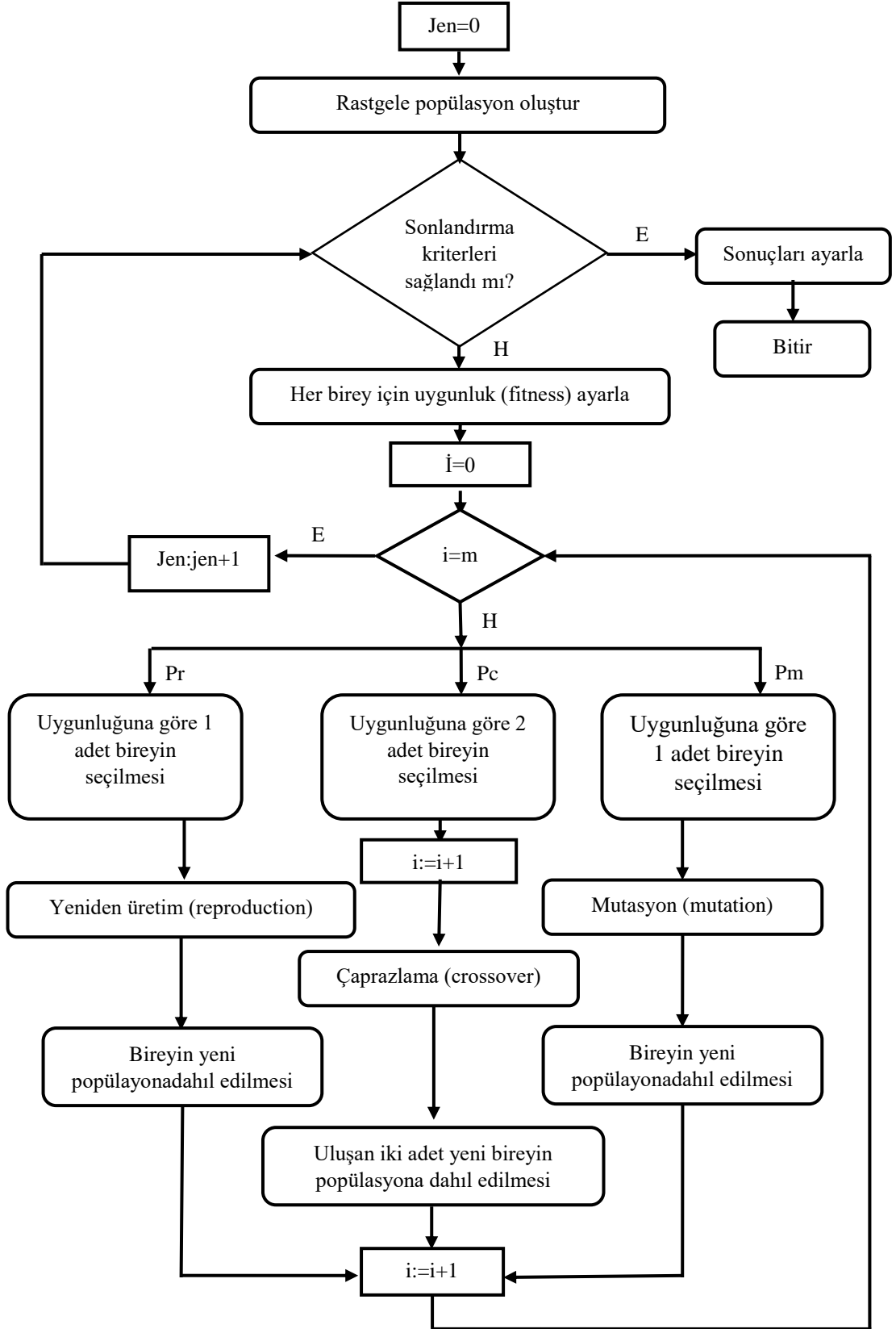
Genetik Programlama (GP), Koza tarafından önerilen Genetik Algoritma (GA) tekniklerinin bir uzantısıdır (Koza, 1992). GP karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan tekniklerden biridir. GP, genetik ve doğal seleksiyonun evrimsel fikirlerine dayanan uyarlanabilir bir sezgisel arama tekniğidir. GP, belirli sayıda aday çözüm üzerinde seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerini yaralanarak daha iyi çözümler elde etmeye çalışan bir buluşsal yöntemdir. İlk GP kullanımı Koza (1992) tarafından, GA tekniklerinden faydalanarak birçok görevleri yerine getiren bilgisayar programlarının geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. GA'lar genel olarak belirlenmiş boyutlu dizilere sahip çözümler üzerinde çalışmaktadır. GP ise bilgisayar programlarını ya da algoritmaları barındıran ağaç yapısına sahip çözümler üzerinde çalışmaktadır (Arsalan, 2005; Alikafa, 2013; Taşbaş, 2018).

Hem GA hem de GP yöntemleri, mevcut çözümleri geliştirmek ve yeni çözümleri aramak amacıyla çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerden yararlanmaktadır. GP'de çaprazlama ve mutasyon operatörleri, ağaç planlamasına uygun olarak yapılandırılmışlardır. Çaprazlama operatörü ile iki adet çözüm üzerinde tesadüfi iki tür düğüm seçilerek, çözümler arasında bilgi aktarımı gerçekleştirilir. Mutasyon operatörüyle rastgele bir düğüm seçilmiş olan modern çözümler bulma operasyonu gerçekleştirilir. Bu nedenle GA'da çaprazlama ve mutasyon operasyonları ile genler seçilirken, GP'de genlere bedel olarak düğümler seçilmektedir. GP'deki seçim operatörünün işleme mantığı ise GA'dakinden farklı değildir ve daha iyi çözümleri bir sonraki istasyonlara taşıma aşamasını karşılık olarak getirmektedir (Alikafa, 2013).

4.2 Genetik Programlama Akışı

GP, seçim, çaprazlama, mutasyon vb. gibi genetik operatörleri ağaç yapısı şeklindeki çözümlere uygulayarak popülasyondaki (çözümler setinin) yanıtları uyumluluk değerini sağlam şekilde geliştirmeye çalışan bir algoritma tekniğidir (Koza, 1992; Koza, 1994).

GP işlemlere çözüm setini doğrudan rastgele üreterek girişe başlar. Bu rastgele çözüm seti ise problemin terminal ve fonksiyon setlerinden yararlanılarak oluşturulur. Çözüm seti içerisindeki çözümler (kromozom-birey) rastgele oluşturulduğundan farklı durumlardadır. Bu işlemden sonra duraksama kriterinin sağlanmasına kadar tekrarlı şekilde devam edecek işlemler gelecektir. Bunlar, uyumluluk değer tahmini, seçim, çaprazlama ve mutasyon olmaktadır. Popülasyon içerisindeki herhangi bir bireyin eldeki problemi ne kadar iyi çözebildiğini yakalamak amacıyla uyumluluk değer tanımlar elde edilir. Daha sonra, bireyler uyumluluk değerlerine göre seçilerek türlü genetik operasyonlara tanıtılmaktadır. Bazı hususlarda diğerlerinden daha küçük olanı uygun bireylerin seçilme durumu da matematiksel olarak imkân kapsamındadır. Seçilmiş olan bireyler üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörleri sabit olasılıklarla uygulanarak, bireyler bir sonraki popülasyona dönüştürülür. Ortaya çıkarılmamış popülasyon bu şekilde oluşturulduktan ve bir iterasyon tamamlandıktan sonra, işlemler tekrardan yapılır. Birçok iterasyondan sonra, bir ya da daha fazla çözüm ortaya çıkar ve GP işlemleri tamamlanır. Şekil 4.2’de GP’nin bir akış şeması gösterilmektedir (Göloğlu ve Arsalan., 2006).



Şekil 4.1. GP'nin akış şeması (Jen: jenerasyon sayısı, M: maksimum jenerasyon sayısı, Pr: yeniden üretim oranı, Pc: çaprazlama oranı ve Pm: mutasyon oranı) (Göloğlu ve Arsalan., 2006)

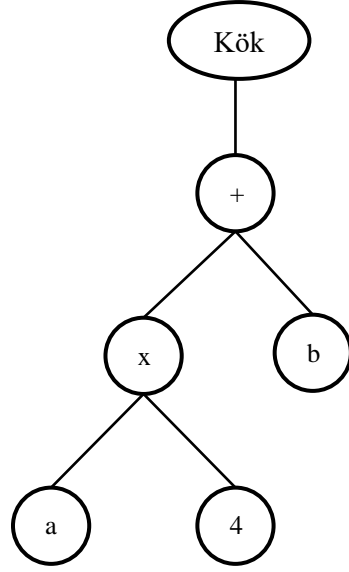
4.2.1 Genetik programlama bileşen adımları

Bir GP algoritmasının çalışması için kullanılan gerekli hazırlık adımları aşağıda açıklanmıştır. Bu adımların her biri problemin yapısına bağlı olarak her zaman kullanılmayabilir.

4.2.1.1 Fonksiyon ve terminal setleri

İlk adım, arama alanını belirlemek için kullanılır. Terminal setinde bulunan terminal elemanları, problemin açıklanmasında doğrudan etkili olan değişken, parametre ve sayısal sabit değerlerdir. Her bir problemin kendine özel terminal yapısı vardır ve terminallerin seçilmesinde kullanılan belirli kurallar bulunmamaktadır. Fonksiyon setindeki öğeler ise terminal elemanlarının belli bir yöntem mantığına göre kombinasyona yararlar. Bazı problemlerde, ilgili fonksiyonlar sadece toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi aritmetik fonksiyonları ve bunların koşullu ifadelerinden oluşabilir. Diğer problemlerde ise çok daha karmaşık operatörler kullanılabilir. GP çalışmasında terminal ve fonksiyon setlerinin tanımlanması, önce probleme has olarak yapılması gereken bir görevdir (Arsalan, 2005; Alikafa, 2013; Taşbaş, 2018).

Fonksiyonların ve terminallerin hiyerarşiye göre anlamlı bir yapı oluşturulacak şekilde bir araya getirilmesi sonucu çözümleri kodlayan kromozomlar oluşturmaktadır. GP'de yararlanılan kromozomların yapısı bir kökten çıkan ve daha sonra dallanan bir ağaca benzemektedir. Terminal elemanları, ağaç yapısının dallanmalarının tamamlandığı doğumlara yerleştirilir. Fonksiyonlar ise terminaller ile kök arasındaki noktalarda yerleşir. Şekil 4.3, matematiksel fonksiyon ve terminallerden oluşturulmuş bir kromozomun ağaç yapısının gösterimidir ve $4x+a+b$ 'yi kodlamaktadır (Arsalan, 2005).



Şekil 4.2. Bir bireyin ağaç yapısı: Fonksiyonlar: + ve x; Terminaller: a, b ve 4 (Arsalan, 2005)

Daha farklı problem çeşitlerinde özelleştirilmiş fonksiyon ve terminaller yararlanılabilir. Örneğin, problem bir robotun belirli bir alanı az adımla dolaşma olursa, GP içerisinde ilerlemek, 90° dönmek, 180° dönmek gibi hareketler açıklanabilir (Arsalan, 2005).

4.2.1.2 Uyumluluk fonksiyonu

Popülasyondaki çözümlerin, ele alınan problemi ne kadar iyi çözebildikleri uyumluluk fonksiyonu ile hesaplanır. Elde edilen uyumluluk değerine göre aday çözümlerin izleyen nesillere aktarılma olasılıkları artar ya da azalır. Bir aday çözümün uyumluluk değeri ne kadar iyiye sonrakine nesillere aktarılma olasılığı o kadar artmaktadır (Arsalan, 2005).

GP'nin, araştırma uzayında yön seçimini yapmasını tedarik eden tek mekanizma uyumluluk oranlarıdır. Bu nedenle, GP'nin çözümünü arayacağı problem için uygun bir uyumluluk fonksiyonu seçilmelidir. Bu arada literatür incelendiğinde, genel olarak aşağıdaki uyumluluk fonksiyonları tek başına ya da bir araya getirilerek kullanılmaktadır:

- Fayda Tabanlı: Uyumluluk fonksiyonunun alınan faydayla açık orantılı çıkmasıdır
- Hata Tabanlı: Uyumluluk fonksiyonunun toplam hatasına göre zıt orantılı çıkmasıdır.

- Maliyet Tabanlı: Uyumluluk fonksiyonunun yararlanan kaynakla (zaman, yer, para, ağacın yaprak sayısı vb.) zıt orantılı çıkmasıdır.
- Cimrilik Tabanlı: Uyumluluk fonksiyonunun bireylerin basitliği ile doğru orantılı çıkmasıdır (Arsalan, 2005).

4.2.1.3 Kontrol parametreleri

GP'nin çalışma sırasındaki yararlanan parametreleridir. Yararlanan parametrelerin doğru olarak belirlenmesi, sağlam çözümlere ulaşmak için rakamını ve hızını değiştirmektedir. Bu arada parametrelerin değerleri daha ileri yapılmış ve doğruluğu kanıtlanmış deneylerden ya da deneme-yanılma yöntemi vasıtasıyla elde edilebilir.

- Popülasyon büyüklüğü: GP'nin her bir nesli için oluşturulacak olan birey (kromozom) rakamıdır.
- Çaprazlama olasılığı: Çaprazlama operatörünün aday çözümleri için bir yararlanma olasılığıdır.
- Mutasyon olasılığı: Mutasyon operatörünün aday çözümleri için bir yararlanma olasılığıdır.
- Birey seçim yöntemi: bir dahaki nesirlerin yaşamlarını sürdürecektir bireylerin belirlenmesi işleminde yararlanacak olan birey seçim yöntemini ifade etmektedir. Bu yöntemler turnuva seçimi, rulet seçimi, sıralama seçimi vb. gibi yöntemlerdir.
- Maksimum iterasyon/nesil rakamı: Genel olarak uygulanan bir duraklama kriteri olan maksimum nesil (jenerasyon) rakamıdır (Arsalan, 2005).

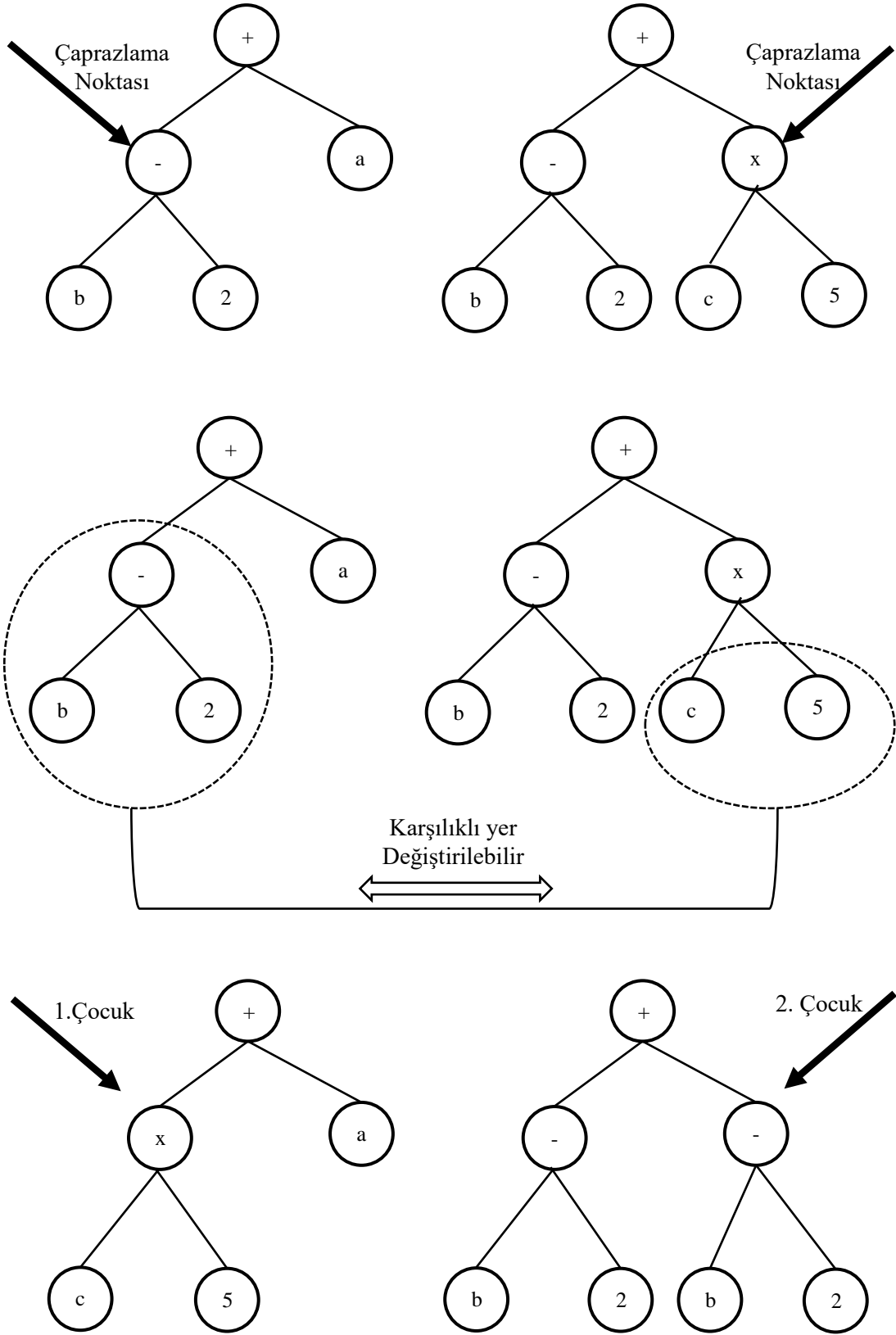
4.2.1.4 Seçim operatörü

Bir sonraki nesille aktarılmasını sağlayan kromozomların seçimini temsil eden operatörlerden biridir. Bu kromozomlar üzerinde bir sonraki nesille aktarılmadan evvel çaprazlama ve mutasyon işlemleri de olasılıklarına göre yapılabilir. Literatürde incelendiğinde birçok seçim operatörü vardır ve her birinin kendine özel avantaj ve dezavantajlarında mevcuttur (Hancock, 1994). Literatürde en çok yararlanan seçim yöntemlerinden biri olan turnuva seçimi ve rulet seçimi teknikleridir (Arsalan, 2005).

4.2.1.5 Çaprazlama operatörü

Çaprazlama operatörü kromozomlar arasında bilgi alışverişine ve bu yolla yeni işlemlerin oluşturulmasına imkân sağlayan bir operatördür. Seçilmiş iki birey onları oluşturan ağaçsal yapıların her bir noktasından iki parçada ayrılır. Ayrılan parçalar çapraz olarak yer değiştirirler. Şekil 4.3’de çaprazlama öncesinde mevcut olan iki birey ve bu çaprazlama sonrası oluşan iki yeni birey örnek olarak gösterilmiştir (Alikafa, 2013).

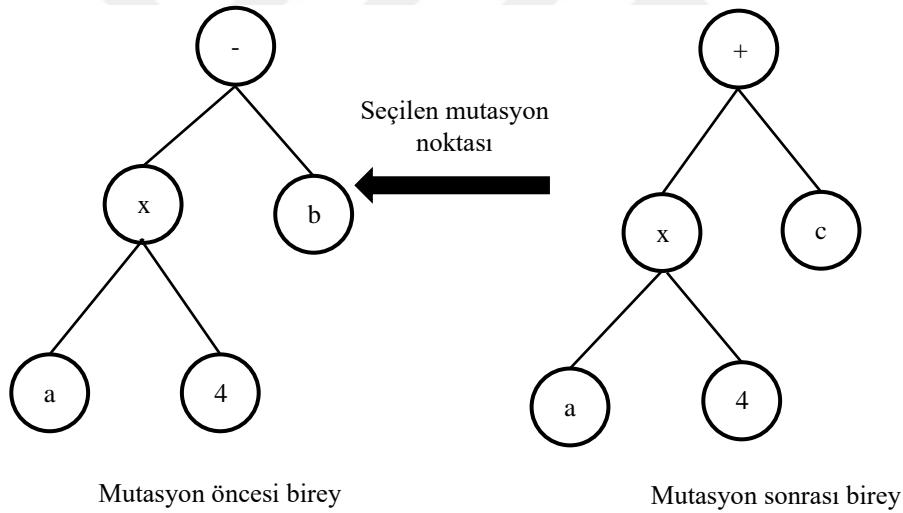




Şekil 4.3. Çaprazlama için seçilmiş iki birey ve bireylerin seçilmiş çaprazlama noktaları ile çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (çocuklar) (Alikafa, 2013)

4.2.1.6 Mutasyon operatörü

Mutasyon operatörü GP'nın işlemini son safhasını oluşturur. Seçim ve çaprazlama operatörlerinden sonra yeni kromozomlardan oluşan yeni bir popülasyon bulunur. GP çalışma sırasında sadece seçim ve çaprazlama operatörleri yararlanılırsa birkaç iterasyon sonra popülasyondaki kromozomların tamamı birbirine benzemeye başlarlar. Mutasyon operatörü bu noksanı ortadan kaldırmak maksadı ile devreye girmektedir. Mutasyon operatörü çözüm arama işleminin incelenmemiş bölgeler için yayılmasını sağlayan operatördürler den biridir. Ek olarak GP'nın yerel en iyiye takılmasını önleme görevini de Mutasyon operatörüne yüklenmiştir. Mutasyon işlemini gerçekleştirmek için bir mutasyon olasılığına gereklilik duyulur. Bu olasılık GP kontrol parametrelerin birisi olup kullanıcı tarafından açıklanır. Şekil 4.4'de mutasyon operatörünün örnek bir işlemi verilmiştir (Arsalan, 2005).



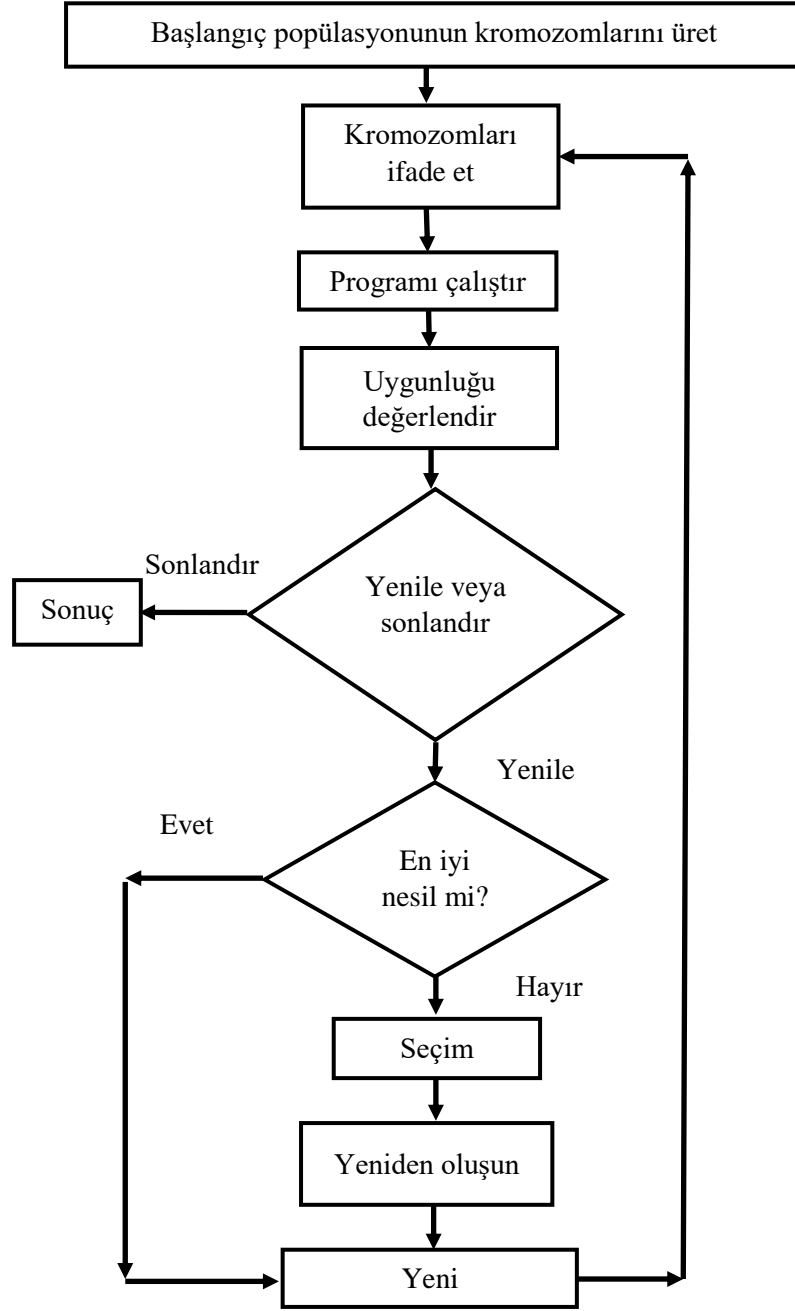
Şekil 4.4. Mutasyon operatörü örnek işlemi (Arsalan, 2005)

4.2.1.7 Durma kriteri

Durma kriteri çalışmanın ne zaman tamamlanması gerektiğini belirtir. Çaprazlama yeniden üreme ve mutasyon işlemlerin belli bir oranda uygulanması sonucu eski nesilden yeni bir nesil bulunur. Bu yeni nesil sayısı bir kontrol parametresi olarak belirtilebilir ve maksimum nesil sayısına ulaşılarak çalışma sonlandırılır (Taşbaş, 2018).

4.3 Gen İfadeli Programlama

Gen ifadeli Programlama (GEP) tekniği GA ve GP'den ilham alınarak Ferreira (2001) tarafından karmaşık problemleri çözmek için geliştirilmiştir. GEP, GP ve GA tekniklerinin bir bileşkesi olarak, geniş bir fonksiyon taraması yapmakta ve her iki tekniğin avantajlarını kendi bünyesinde bulundurmaktadır. Yapısal olarak GEP ile GP ve GA arasında çok küçük farklılıklar vardır. GEP, GP'den farklı olarak karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerde istenen sonuçlara daha başarılı bir şekilde ulaşabilmektedir. GEP'in GA'dan farkı ise, değişik şekil ve boyutlardaki lineer olmayan değişkenler arasındaki ilişkileri ifade edebilen uygun çözümler veriyor olmasıdır (Sarıdemir, 2017). Bununla birlikte GEP, iteratif yapısı nedeniyle, özellikle büyük ölçekli problemlerle uğraşırken, hesaplama açısından oldukça yoğun çalışmakta bu nedenle hedeflenen sonuçları zaman alıcı bir süreçte üretmektedir (Zhongvd, 2016). GEP'in temel amacı matematiksel bir fonksiyon türetmek olup bu fonksiyonu GEP'in genel bilgi dizinine adapte edebilmektir (Aslan vd., 2018). Şekil 4.5'te GEP tekniğinin çalışma adımlarını gösteren bir akış diyagramı verilmiştir.



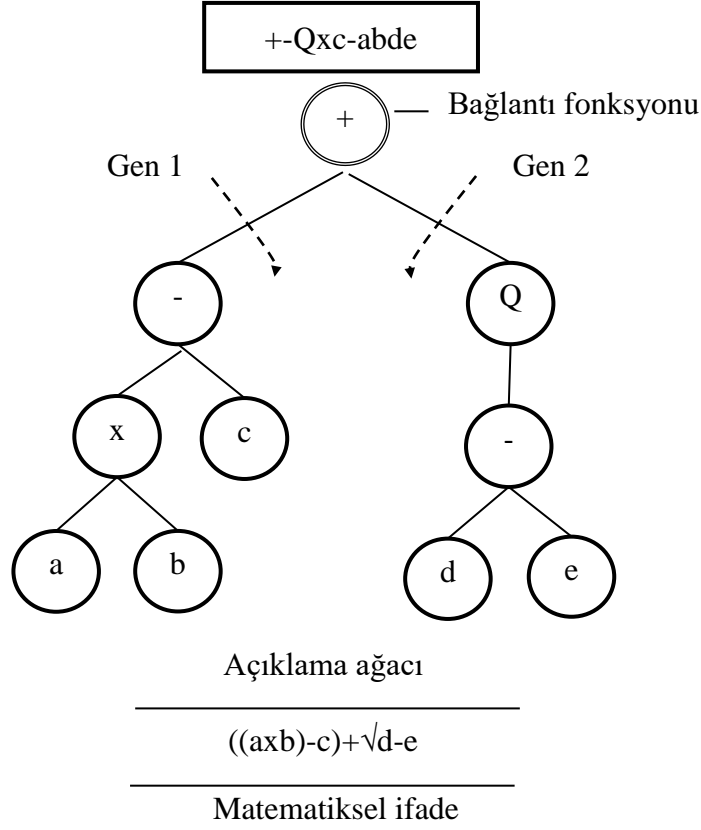
Şekil 4.5. Gen ifadedeli programlamanın çalışmasına ilişkin akış diyagramı (Ferreira, 2006; Terzi ve Özcanoğlu, 2017)

GEP tekniğinde değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için Açıklama Ağaçları (AA) oluşturulur. AA, kromozomları ifade etmekte olup seçilme işleminden sonra yeni bireyler üretmektedir (Lopes HS ve Weinert, 2004; Sarıdemir, 2017). AA'ler operatörler, fonksiyonlar, sabitler ve değişkenlerden meydana gelir. Örnek olarak; bir açıklama ağacının kromozom listesi içerisinde +, -, x, /, 2, a, b, sqrt, cos, tan gibi GEP değişkenleri yer alabilir. Bu kromozomda, "sqrt" karekökü, "2" sabit bir sayıyı, "+, -, x" matematiksel

ifadeleri, “a, b” değişkenlere verilen isimleri ifade etmektedir. Bu gibi değişkenler ile GEP, karakteristik olarak, doğrusal olmayan değişken operatörler ve işlemciler kullanarak farklı boyut ve formda doğrusal dizinlerle uygun fonksiyon üretmektedir (Koza, 1992; Ferreira, 2002; Sarıdemir, 2017). Bu değişken operatör ve işlemciler arasındaki ilişkiler, GEP tekniğini ortaya koyan Ferreira (2001) tarafından Karva notasyonları şeklinde ifade edilmiştir. Karva notasyonları, GEP yaklaşımını ortaya koyan Ferreira (2001) tarafından AA yapısı ile ifade edilmiştir (Ferreira, 2001; Ferreira, 2002b; Ferreira, 2002a; Severcan, 2012; Sarıdemir ve Kara, 2016). Karmaşık problemlerin çözümü için kullanılan AA’lar uzun kromozom yapılarını ortaya koyar. Uzun kromozomların kullanılması, karmaşık problemlerin çözümünde çok uygun olmaktadır. Çünkü her bir gen daha küçük ve daha basit bir yapı taşı için kodlanarak hiyerarşik yapıların karmaşık modüler yapı olmasına izin vermektedir. Bu nedenle problemin çözümü sırasında Alt Açıklama Ağaç’ları (Alt-AA) kullanılır. Alt-AA’lar bağlantı fonksiyonları ile birleştirilir (Ferreira, 2002b; Ferreira, 2002a; Sarıdemir, 2010; Kara, 2011; Nazari ve Riahi, 2011; Sarıdemir ve Kara, 2016). GEP genleri veya kromozomları yapısal ve fonksiyonel olarak eşsiz Alt-AA ile kodlanmış birçok Açık Okuma Çerçevesi (AOÇ) içermektedir. Var olan problemin karmaşıklığına bağlı olarak, Alt-AA’lar birden çok seçilebilir. Alt-AA’lar birbiri ile etkileşim halindedir. Alt-AA’lardaki bu etkileşim matematiksel olarak toplama, çıkarma, bölme veya çarpma işlemleri ile bağlantılı olabilir (Ferreira, 2001; Ferreira, 2002; Sarıdemir, 2017). Örnek olarak, matematiksel ifadesi $((axb)-c) + (d-e)1/2$ olan iki genli AA ve AOÇ kodlaması Şekil 4.6’de görüldüğü gibidir. AA’da yer alan genler veya kromozomlar “baş” ve “kuyruk” olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Genlerin veya kromozomların baş kısmında, Kavra nütasyonu için fonksiyonlar ve terminaller bulunur. Kuyruk kısmında ise Kavra nütasyonu işlemlerinde kullanılan terminaller ve sabitler yer alır. Kuyruktaki terminaller ve sabitler sırasıyla baş kısımda bulunan fonksiyonlar ve terminallerle işleme girerek hedef fonksiyon ve değerleri oluştururlar (Ferreira, 2001; Lopes HS ve Weinert, 2004; Sarıdemir, 2017).

ORF

0123456789



Şekil 4.6. İki genli AA ve matematiksel ifadesi (Saridemir, 2014)

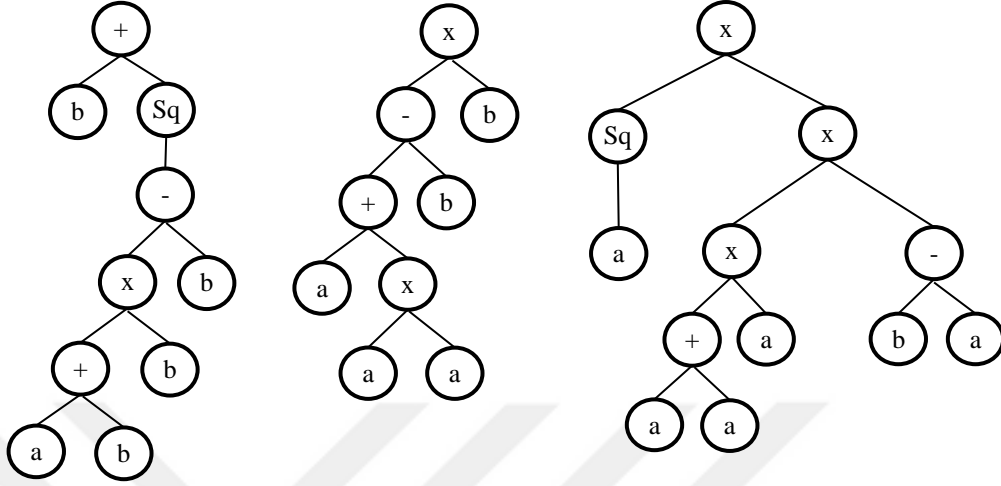
Farklı bir örnek olarak, gen uzunluğu 15 olan ve 3 tane genden oluşan kromozomunun uzunluğu 45 olmaktadır. Bu şekilde elde edilen kromozomun baş ve kuyruk kısmını oluşturan AOÇ ile Alt-AA'lar Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Alt-AA'lar 3 tane AOÇ'ye sahiptir ve her bir Alt-AA için düzenlenmiş olan AOÇ vardır. AOÇ'de gösterilen "a" ve "b" değişkenleri, "Q" (Sqrt) ise karekökü ifade etmektedir. Problemin karmaşıklık seviyesine göre Alt-AA'lar, kendi uygunluğu doğrultusunda bireysel olarak seçilmiş olabilir veya daha karmaşık şekilde olabilir. Böylelikle pek çok alt birimli AA bütünüyle seçilmiş olur. Bu Alt-AA'ların matematiksel ifadelerinden problemin çözümü için denklem elde edilmektedir (Ferreira, 2002b), (Ferreira, 2002a), (Saridemir ve Kara, 2016). Şekil 4.7'deki Alt-AA'lardan elde edilen matematiksel denklemler sırasıyla verilmiştir. Bu denklemler de toplama bağlantı fonksiyonu ile birleştirilirse AA elde edilir. GEP yaklaşımında AA'lardan elde edilen matematiksel denklemler kullanılarak bir problemin çözümü gerçekleştirilmiş olmaktadır (Saridemir ve Kara, 2016).

012345678901234 +bQx-b+ bababbbb	012345678901234 x-b+bax aaababab	012345678901234 xQxax-+ abaaaaab
--	--	--

Alt- AA1

Alt- AA2

Alt- AA3



$$\text{Alt- AA1} = (b + \sqrt{(a + b) x b}) - b$$

$$\text{Alt- AA2} = (((a + (a x a)) - b) x b)$$

$$\text{Alt- AA3} = (\sqrt{a} x (((a x a) x a) x (b - a)))$$

$$\text{AA} = (b + \sqrt{(a + b) x b}) - b + (((a + (a x a)) - b) x b) + (\sqrt{a} x (((a + a) x a) x (b -$$

Şekil 4.7. Uzun bir kromozomdan elde edilen alt kromozomlar (Sarıdemir ve Kara, 2016)

GEP tekniğinde çok sayıda genetik operatör bulunmaktadır. Kopyalama, mutasyon, yer değiştirme ve yeniden birleştirme olarak bilinen genetik operatörler, yeniden üretim sürecinde kromozomları değiştirmektedirler (Ferreira, 2001; Sarıdemir, 2010; Sarıdemir, 2017). Bu genetik operatörlerin çalışma şekli kısaca şu şekildedir: Kopyalama operatörü; kromozom üzerinde sonucu etkileyen iyi genleri sonraki kuşaklar için saklamada kullanılır. Bu operatör ile sonucu etkileyen genler belirlenir (Koza, 1992; Ferreira, 2001; Lopes HS ve Weinert, 2004; Sarıdemir, 2017). Mutasyon operatörü; genin rassal olarak değiştirilmesi için kullanılmaktadır. Mutasyonla gen başlarındaki bir sembol bir başkası ile değişebilir, ancak kuyruk kısmındaki değişim yalnızca terminallerle sınırlı kalmaktadır. Böylelikle, kromozomların yapısal düzeni muhafaza edilmiş olur. Mutasyonla üretilen tüm yeni bireyler yapısal olarak doğru programları meydana getirirler (Ferreira, 2001; Ferreira, 2002; Sarıdemir, 2017). Yer değiştirme operatörü; kromozomlarda bulunan belirli sayıdaki genin yer değiştirmesi ya da farklı genlerin yerine kopyalanması için kullanılır. Yer değiştirme, sıralı genlerin yer değiştirmesi, kök

ve gen aktarımı olmak üzere üç değişik şekilde meydana gelir. Sıralı genlerin yer değiştirmesi, kromozomun baş kısmında seçilen belirli sayıdaki genin aynı şekilde kromozomun başka bir yerindeki aynı sayıda gen ile yer değiştirmesidir. Kök aktarımı, kromozomun baş kısmında rastgele seçilen belirli sayıdaki genin yine baş kısmında değişik yerlere yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Gen aktarımı, kromozom üzerinde bir grup genin kopyalanarak yine kromozom üzerinde yer değiştirmesi ile meydana gelir (Ferreira, 2001; olak, 2006; Sarıdemir, 2017). Yeniden birleştirme operatörü; tek noktadan, iki noktadan ve belirli sayıda genin tekrardan düzenlenmesi ile kromozomların yeniden düzenlenmesinde kullanılır. Tek noktadan yeniden birleştirme ile genler, çaprazlama esnasında iki kromozom arasında rassal olarak seçilen bir noktadan yer değiştirerek yeni nesiller oluşturur. İki noktadan yeniden birleştirme ile genler, çaprazlama esnasında iki kromozom arasında rassal olarak seçilen iki noktadan yer değiştirerek yeni nesiller oluşturur. Geni yeniden birleştirme ile rassal olarak seçilen genler, yeniden birleştirilerek yeni nesiller oluşturur (Ferreira, 2001; Ferreira, 2002; olak, 2006; Sarıdemir, 2017). GEP ile ilgili daha fazla bilgiler (Ferreira, 2001), (Ferreira, 2002), (Ferreira, 2006), (Sarıdemir ve Kara, 2016), (Sarıdemir, 2017), (Bagdatlı, 2020) kaynaklardan elde edilebilir.

BÖLÜM V

SAHA ÇALIŞMASI VE VERİLERİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışması kapsamında, taşıtların KŞD hareketlerinin modellenmesinde kullanılmak üzere iki farklı karayolundan video kayıtları alınmıştır. Video kayıtlarının elde edilmesinden sonra video görüntülerinin tek tek izlenilmesi suretiyle taşıtların şerit değiştirmelerine ait parametreler bulunmuştur. Saha çalışması için belirlenen yolların lokasyonları Adana-Aksaray ve Niğde-Aksaray karayolları üzerinde yer almaktadır. Tezin bu bölümünde öncelikle veri toplama çalışmalarının nasıl gerçekleştirildiği detaylıca anlatılacaktır. Arazi çalışmalarıyla veri toplama işleminin gerçekleştiği yerlerin konumları Şekil 5.1'deki gibidir.



Şekil 5.1. Saha çalışması için seçilen karayolların konumlar

5.1 Saha Çalışmaları

Bu araştırma, arazi çalışmaları kapsamında serbest akımı olan karakollardan, trafiğin yoğun olduğu saatlerde gerçek verilerinin elde edilmesi için 10 saatlik video kamera görüntüleri alınmıştır. Görüntü alma işlemlerine geçmeden önce Adana-Aksaray ve Niğde-Aksaray iller arasındaki belirlenen karayollarına ait geometrik bilgiler ve trafik karakteristik tespitleri yapılmış daha sonra sahada konumları, geometrileri ve trafik durumları bizzat incelenmiştir. İnceleme yapılan yol kesimleri yüksek çözünürlüklü

kameralar yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Saha çalışmaları için veri toplanan birinci karayoluna ait geometrik bilgiler ve trafik karakteristikleri şu şekildedir:

- Yolun lokasyonu Türkiye’de Adana-Aksaray illeri arasındadır.
- İncelenen yol kesimi 250 m uzunluğundadır.
- İncelenen yol kesiminde yatay ve düşey kurba bulunmamaktadır.
- Yol iki şeritlidir.
- Şerit genişlikleri 3,25 metre ve banket genişliği 1.00 metredir.
- Yol üstyapısı bitümlü sıcak karışım olup incelenen yol kesiminde yol yüzeyinde herhangi bir kusur bulunmamaktadır.
- İncelenen yol kesimine başka bir yoldan katılım gerçekleşmemektedir.
- İncelenen yol kesimine yakın bir mesafede kavşak bulunmamaktadır.
- İncelenen yol kesiminde yaya hareketliliği yoktur.
- Yolda otomobil, minibüs, kamyonet, otobüs, kamyon, tır gibi taşıtlar yer almaktadır.
- Yağışsız ve yol yüzeyinin kuru olduğu şartlarda incelemeler gerçekleştirilmiştir.
- Yolun hız limiti 110 km/sa olup incelenen kesimde taşıtların 50-110 km/sa aralığında hız yaptığı görülmüştür.

Saha çalışmaları için veri toplanan ikinci karayoluna ait geometrik bilgiler ve trafik karakteristikleri şu şekildedir:

- Yolun lokasyonu Türkiye’de Niğde-Aksaray illeri arasındadır.
- İncelenen yol kesimi 250 m uzunluğundadır.
- İncelenen yol kesiminde yatay ve düşey kurba bulunmamaktadır.
- Yol üç şeritlidir.
- Şerit genişlikleri 3,25 metre ve banket genişliği 1.00 metredir.
- Yol üstyapısı bitümlü sıcak karışım olup incelenen yol kesiminde yol yüzeyinde herhangi bir yol kusuru bulunmamaktadır.
- İncelenen yol kesimine başka bir yoldan katılım gerçekleşmemektedir.
- İncelenen yol kesimine yakın bir mesafede kavşak bulunmamaktadır.
- İncelenen yol kesiminde yaya hareketliliği yoktur.
- Yolda otomobil, minibüs, kamyonet, otobüs, kamyon, tır gibi taşıtlar yer almaktadır.

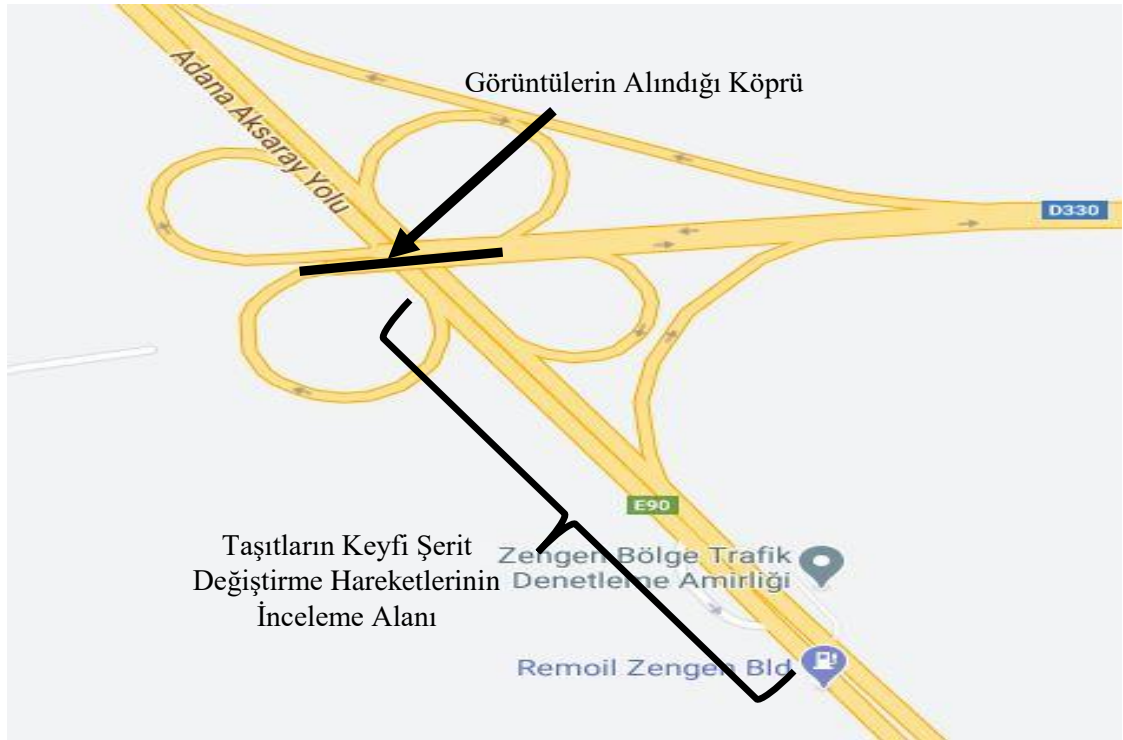
- Yağışsız ve yol yüzeyinin kuru olduğu şartlarda incelemeler gerçekleştirilmiştir.
- Yolun hız limiti 70 km/sa olup incelenen kesimde taşıtların 50-110 km/sa aralığında hız yaptığı görülmüştür.

İnceleme yapılan yol kesimleri yüksek çözünürlüklü kameralar yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Saha çalışmaları Temmuz-Ağustos 2019 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen her bir karayolunda Pazartesi-Cuma-Cumartesi günleri sabah saat 07:30-08:30 arası, 08:30-09:30 arası ve akşam 17:30-18:30 arası olmak üzere video görüntüleri alınmıştır. Görüntülerin alınmasına dair basitleştirilmiş bir gösterim Şekil 5.2'deki gibidir. Kaydedilen görüntüler daha sonra tek tek incelenerek şerit değiştirme ve şerit değiştirmeme durumlarına ilişkin veriler elde edilmiştir.

Saha çalışmaları birinci karayolu için Adana-Aksaray (E90) ve Niğde-Aksaray (D330) karayollarının birleşme noktasında bir köprü bulunmaktadır. Video kayıt alma işlemi bahsedilen konumdaki köprü üzerinde gerçekleştirilmiştir. İkinci karayolu için Niğde-Aksaray yolu üzerinde bulunan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu yerleşkesi önünde gerçekleştirilmiştir. Video kayıt alma işlemi bahsedilen konumdaki üst geçit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2'de çalışmaların yapıldığı lokasyonlar verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.2. İncelenen karayollarının kesiminin lokasyonları(a) Niğde –Aksaray (D330) karayolu ve (b) Adana –Aksaray (E90) karayolu

Çalışma kapsamında, serbest akımda KŞD hareketlerini incelendiği için araştırma yapılacak karayolunda serbest akım durumunun var olması gerekmektedir. Ayrıca tercih edilen konumda kamera yerleşimine uygun üst geçit, köprü, yüksek bina vs. yapıların bulunması gerekmektedir. Birinci saha çalışması için Adana-Aksaray (E90) ve Niğde-Aksaray (D330) karayollarının birleşme noktasında Fotoğraf 5.1’de görüldüğü gibi bir köprü bulunmaktadır. İkinci saha çalışması için Fotoğraf 5.2’de görüldüğü gibi belirlenen Niğde-Aksaray yoluna en yakın kavşak yaklaşık 650 m gerisinde bulunduğundan; mevcut kavşak belirlenen konumda serbest akımın oluşmasına engel olmamaktadır. Ayrıca belirlenen konumda video çekim işlemlerinin gerçekleştirilmesinde kameranın yerleştirilebileceği kapalı üst geçit bulunmaktadır. Tüm bu gereksinim ve şartlar ışığında bahsi geçen konumlar tercih edilmiştir.



Fotoğraf 5.1. Görüntüleri almak için kamera yerleştirilen köprü.



Fotoğraf 5.2. Görüntüleri almak için kamera yerleştirilen yaya üstgeçidi.

5.1.1 Video kayıt alma işlemi

İnceleme yapılan yol kesimleri yüksek çözünürlüklü kameralar yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Saha çalışmaları Temmuz-Ağustos 2019 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen her bir karayolu kesiminin Pazartesi-Cuma-Cumartesi günleri sabah saat 07:30-08:30 arası, 08:30-09:30 arası ve akşam 17:30-18:30 arası video görüntüleri alınmıştır. Görüntü alımı yapan kamera taşıtların ŞD bölgesini net bir şekilde görebilecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu doğrultuda, kamera, taşıtların ŞD hareketlerini görebilecek şekilde görüntü kayıtlarını alınmıştır. Görüntülerin alınmasına dair basitleştirilmiş bir gösterim Fotoğraf 5.3'deki gibidir.



Fotoğraf 5.3. Saha çalışmalarına ait video görüntüleri(a) Niğde- Aksaray(D330) karayolu ve (b) Adana-Aksaray (E90) karayolu.

5.1.2 Yollara işaret yerleştirilme işlemi

Arazi çalışması tamamlandıktan sonra kayıt edilen video görüntü üzerinde taşıtların ŞD hareketleri hesaplanırken belirli mesafeler ihtiyaç duyulacaktır. Bu çalışma kapsamında verilerin alınması için belirlenen karayolları 50 metrelik uzunluğunda segmentlere ayrılmıştır. Bunun için yol üzerinde pek çok işaretlemeler yapılarak çok sayıda mesafe ölçümleri yapılmıştır. Sahada yapılan ölçümlere ait görüntüler Fotoğraf 5.4’de verilmiştir.



Fotoğraf 5.4. Saha ölçümleri ilgili görüntüler(a) Adana–Aksaray (E90) karayolu ve (b)Niğde–Aksaray (D330) karayolu.

Böylelikle işaretleme yapılırken Fotoğraf 5.5 de görüldüğü gibi 5 parçada kesilerek yol üzerinde sabitlenmiştir. İşaretleme tamamlandıktan sonra;

- 1 numaralı aralık 50 m
- 2 numaralı aralık 50 m
- 3 numaralı aralık 50 m
- 4 numaralı aralık 50 m
- 5 numaralı aralık 50 m olarak belirlenmiştir.





(a)



(b)

Fotoğraf 5.5. Yol üzerinde belirlenmiş işaretleri gösteren bir şekil (a)Adana-Aksaray (E90) karayolu ve (b)Niğde-Aksaray (D330) karayolu

Daha sonra elde edilen ölçümler video görüntüleri üzerinde tespit edilmiştir. Bu şekilde video kayıtlarından taşıtların ŞD manevraları kolaylıkla takip edilebilmiştir.

İncelenen yol kesimlerinden ŞD hareketlerini incelemek için ŞD hareketlerini etkileyen d_0 , d_1 , d_2 ve d_3 girdi değişkenleri tespit edilerek Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Bu değişkenlerin tanımlamaları Çizelge 5.1’deki gibidir. Girdi değişkenlerinin belirlenmesinde (Balal vd., 2016)’nın çalışması dikkate alınmıştır. ŞD hareketlerinin modellenmesinde girdi değişkenlerinin belirlenmesine yönelik detaylı bilgi için (Balal vd., 2016) çalışmasına bakınız.

Çizelge 5.1. Modelde kullanılan girdi değişkenleri

Girdi	Gösterim	Tanımlama	Birim	Aralık
d_0	$b^{\text{ön}}$	Konu taşıt ile hedef şeritte öndeki taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
d_1	b^{arka}	Konu taşıt ile hedef şeritte arkadaki taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
d_2	M	Hedef şeritteki öndeki ve arkadaki taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0
d_3	$b^{\text{ön}}$	Konu taşıt ile mevcut şeritte öndeki taşıt arasındaki mesafe	m	≥ 0

Konu taşıtlar, ŞD manevrasını gerçekleştiren taşıtlardır. Serbest akımda ŞD manevrası sırasında bulunan bir taşıt Fotoğraf 5.6’de sunulmuştur.



Fotoğraf 5.6. Konu taşıtın şerit değiştirme hareketine ait bir görsel

5.2. Verilerin İncelenmesi

Bu aşamada video kayıtlarının tamamlanmasından sonra video görüntülerinin tek tek izlenilmesi suretiyle taşıtların ŞD hareketleri kullanılabilir veri setine dönüştürülmüştür. Çizelge 5.1’de belirlenen girdi değişkenleri video görüntülerinden tespit edilmiş olup her bir karayolunda yer alan taşıtların şerit değiştirme durumları ve şerit değiştirmeme durumları için ayrı ayrı veriler elde edilmiştir. Çalışma kapsamında verilerin elde edilme süreci zor, yorucu ve zaman alıcı aşamalardan birini oluşturmaktadır.

Bu araştırma, arazi çalışmaları üzerinden gerçek veri elde edilmesi ve bilgisayar tabanlı model geliştirilmesi olmak üzere iki temel çalışma üzerinde durmaktadır. Bunlar Türkiye’nin Adana-Aksaray (E90) karayolu ve Niğde-Aksaray (D330) karayollarında belirlenen serbest akımlı bölgelerden veri elde edilmesiyle yürütülmüştür. Verilerin incelenmesi sonucunda birinci karayolunun video görüntülerinden 1691 şerit değiştirmeme, 230 şerit değiştirme olmak üzere toplam 1921 veri seti elde edilmiştir. İkinci karayolunun video görüntülerinden 875 şerit değiştirmeme; 70 şerit değiştirme durumuna ait veri seti elde edilmiştir. Elde edilen veri setleri Excel dosyasına dönüştürülmüştür.

BÖLÜM VI

ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1 Verilerin Analizi

Arazi çalışmalarının ardından yapılan görüntü okumalarının tamamlanmasıyla her iki karayollarına ait tüm verilere ulaşılmıştır. Geliştirilen modelde birinci karayolunun video görüntülerinden 1691 şerit değiştirmeme, 230 şerit değiştirme olmak üzere toplam 1921 veri seti elde edilmiştir. Modelin geliştirilmesi için bu veri setinin %80'i eğitim, %20'si test verisi olarak kullanılmıştır. Saha çalışmaları sonrasında modelleme çalışmalarına geçilmiştir. Modelin geliştirilmesi için bir özel GP olan GEP tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmada GEP tekniği uygulaması için beş adım izlenmiştir.

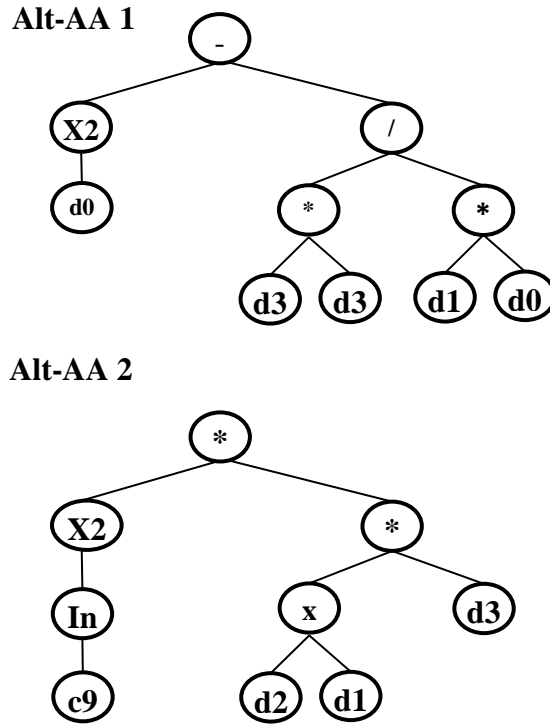
1. İlk olarak, uygunluk fonksiyonu belirlenmiştir.
2. İkincisi, kromozomları oluşturmak için terminaller ve fonksiyonlar seçilmiştir.
3. Üçüncüsü, kromozom mimarisini meydana getiren baş büyüklüğü ve gen sayısı seçilmiştir.
4. Dördüncüsü, genleri bağlayan bağlantı fonksiyonu seçilmiştir.
5. Beşincisi, varyasyona ve kendi oranlarının belirlenmesine neden olan genetik operatörler seçilmiştir.

GEP tekniği uygulamasının her bir adımındaki seçimler için öncelikle literatürdeki başarılı GEP uygulamaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve daha sonra modelin geliştirilmesinde kullanılan parametreleri keşfetmek için birçok deneyim gerçekleştirilmiştir. Modelde kullanılan her bir parametre, uzun bir süre boyunca gerçekleştirilen deneme yanımlar sonucunda keşfedilmiştir. GEP tekniği ile geliştirilen modelde kullanılan parametreler Çizelge 6.1'de verilmiştir. Birçok çabadan sonra elde edilen Çizelge 6.1'deki tüm parametreler, GEP modeli için en iyi olanlarıdır. Örneğin, geliştirilen model, bağlantı işlevi için "toplama" yerine "çıkarma" kullanılması ve/veya kromozom sayısı için "17" yerine "18" kullanılması durumunda başarılı sonuçlar üretememektedir.

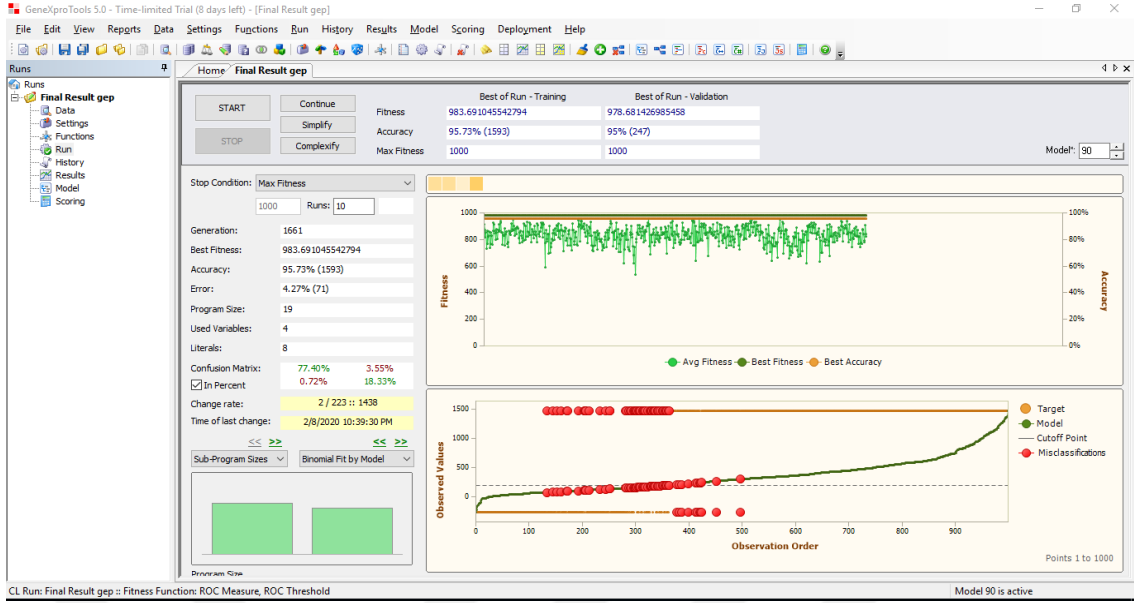
Çizelge 6.1. Geliştirilen modelde kullanılan GEP parametreleri

Parametreler	GEP
Fonksiyon seti	-, x, /, X2, Inv
Kromozom sayısı	17
Baş büyüklüğü	6
Gen sayısı	2
Bağlantı fonksiyonu	Toplama
Mutasyon oranı	0.044
Geri çevirme	0.1
Tek noktalı rekombinasyon oranı	0.3
İki noktalı rekombinasyon oranı	0.3

Seçilen GEP parametreleri doğrultusunda gerçekleştirilen iterasyonlarla 1661 jenerasyon sonucunda elde edilen iki genli GEP karar modeline ait açıklama ağacı Şekil 6.1'deki gibidir.



Şekil 6.1. Geliştirilen GEP karar modelinin ifade ağacı



Şekil 6.2. GEP iterasyon süreci

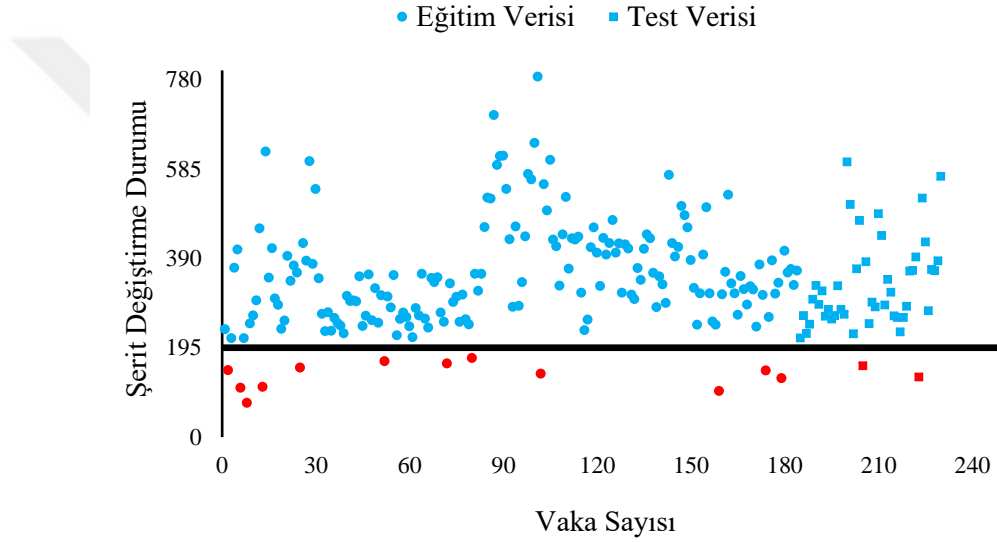
Geliştirilen modeldeki Alt-AA'larda d_0 , d_1 , d_2 ve d_3 girdi değişkenleri bulunmaktadır. Bu değişkenlerin tanımlamaları Çizelge 5.2'deki gibidir. KŞD karar modeli Çizelge 5.1'de verilen girdi değişkenleriyle oluşturulmuştur. Girdi değişkenlerinin belirlenmesinde (Balal, 2016)'nın çalışması dikkate alınmıştır. Şekil 6.1'deki Alt-AA'larda c_9 notasyonu da bulunmaktadır. Bu notasyon modelin eğitim aşamasında elde edilen bir sabit değerdir. Bu değer, modelin eğitim süreci sonucunda 8.06225 olarak bulunmuştur. GEP tekniği uygulamasına ait tüm sürecin sonucunda elde edilen GEP karar modeline ait deterministik formülasyon Denklem 6.1'deki gibidir.

$$D(x) = \frac{d_0^3 * d_1 - d_3^2}{d_0 * d_1} + \frac{d_1 * d_2 * d_3}{65} \quad (6.1)$$

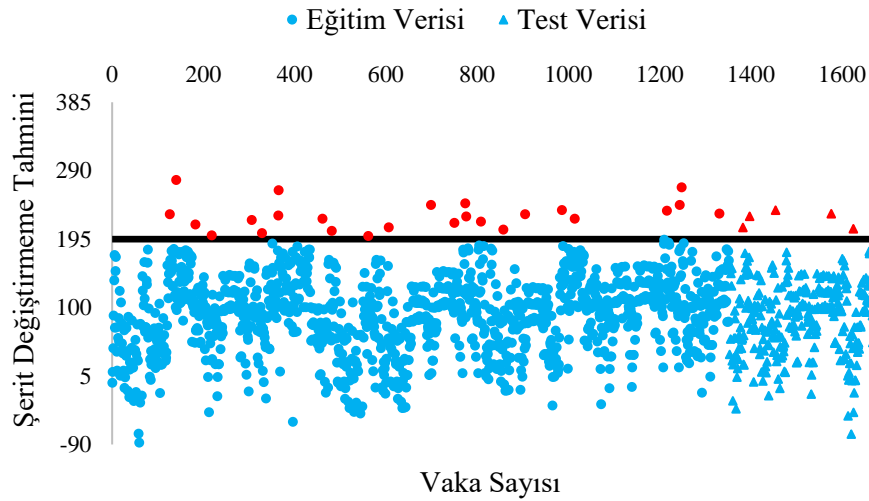
KŞD karar modelini ifade eden Denklem 6.1'deki formülasyonun ürettiği sonuçları değerlendirebilmek için Denklem 6.2'deki gibi bir karar kriteri belirlenmiştir. Yapılan kalibrasyon çalışmasının sonucunda en başarılı sonucu ortaya koyan sınır değer, eşik değeri olarak kabul edilmiştir. Söz konusu formülasyonun ürettiği değerler, eşik değerine eşit veya büyük olması “şerit değiştir” kararını; küçük olması ise “şerit değiştirme” kararını ifade etmektedir.

$$Dec(x) = \begin{cases} 0, & \text{"şerit değiştirme"} & x < 195 \\ 1, & \text{"şerit değiştir"} & x \geq 195 \end{cases} \quad (6.2)$$

GEP tekniği ile geliştirilen modelin performansı birinci karayolundan elde edilen veriler yardımıyla ortaya konulmuştur. Modelde kullanılan eğitim ve test verilerine ait sonuçlar Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'deki gibidir. Modelin performansı hem şerit değiştirme hem de şerit değiştirmeme durumu için ayrı ayrı ortaya konulmuştur. Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 incelendiğinde modelin başarı gösterdiği durumlar "mavi" renkli nokta ile ifade edilirken başarısız olduğu durumlar "kırmızı" renkli nokta ile gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Şerit değiştirme durumları için GEP karar modelinin performansı



Şekil 6.4. Şerit değiştirmeme durumları için GEP karar modelinin performansı

Saha çalışmaları ile birinci karayolundan elde edilen 1921 duruma ait veri setinden 1533'ü eğitim ve 388'i test verisi olarak modelde kullanılmıştır. Geliştirilen modelin eğitim ve test verileri karşısındaki başarısı Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de görülmektedir. Modelin performans sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Geliştirilen GEP KŞD karar modelinin performans sonuçları

	Şerit değiştirme	Şerit değiştirmeme
Eğitim	%93.48 (172/184)	%98.15 (1328/1353)
Test	%95.65 (44/46)	%98.22 (332/338)

Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Çizelge 6.2'de incelendiğinde geliştirilen modelin hem şerit değiştirme hem de şerit değiştirmeme durumları için yüksek bir başarı gösterdiği görülmektedir. Modelin başarı performansını ortaya çıkarmak için ikinci karayolundan toplanan verilerle model tekrardan test edilmiştir. İkinci karayoluna ait bilgiler bu makalede “saha çalışmaları” başlığı altında detaylı olarak verilmiştir. İkinci karayolunun video görüntülerinden 875 şerit değiştirmeme; 70 şerit değiştirme durumuna ait veri seti elde edilmiştir. Bu veriler yardımıyla modelin performansı tekrardan araştırılmıştır. Buna ek olarak, ikinci karayolundan elde edilen veriler kullanılarak, geliştirilen model literatürde KŞD'yi başarılı bir şekilde modelleyen farklı bir modelle karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda, geliştirilen modelin performansını karşılaştırmak için Balal vd., (2016)'nın geliştirdiği Bulanık karar modeli bu çalışmada uygulanmıştır. Rastgele seçilen bir örnek veri kümesi Çizelge 6.3'te gösterilmektedir. Balal vd., (2016), önerdiği bulanık modelin sonucunun 0.5 değerden ($C^* > 0.5$) fazla olması durumunda şerit değiştirme hareketinin meydana geldiğini iddia etmektedir. Çizelge 6.3'te, rasgele seçilen on beş şerit değiştiren ve on beş şerit değiştirmeyen durum için bulanık model ve GEP modelinin sonuçlarını ve kararlarını göstermektedir. Modellerin tüm veriler için çalıştırılması sonucunda elde edilen performans sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.4'de gösterilmiştir.

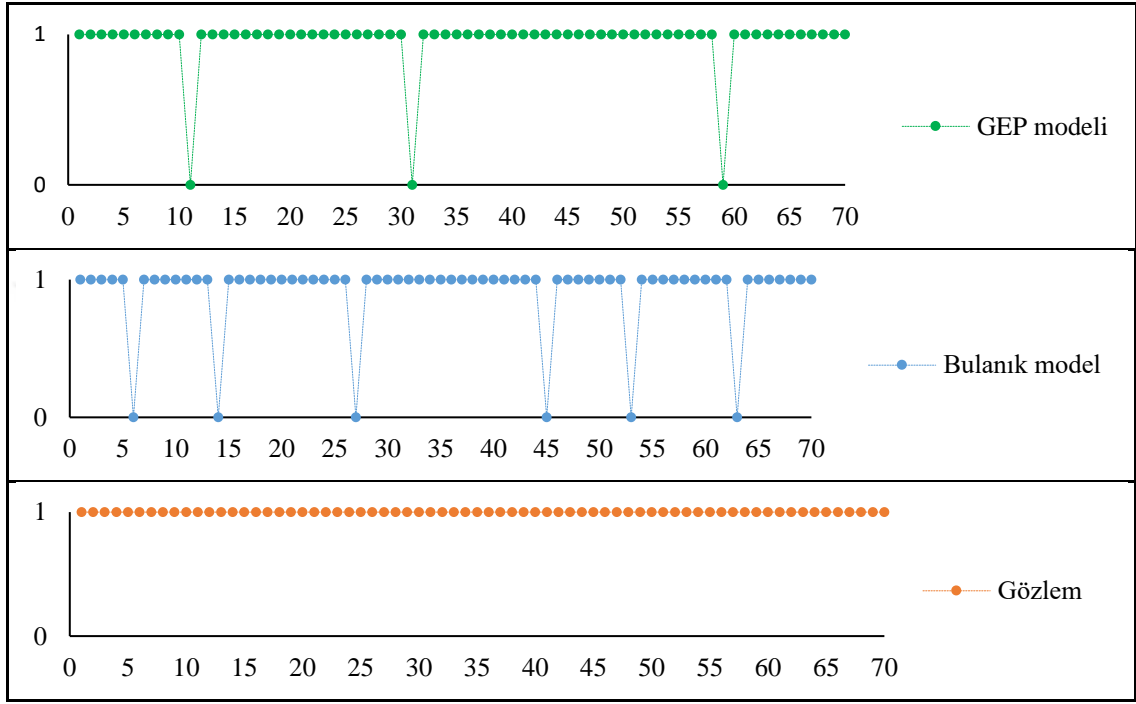
Çizelge 6.3. Karşılaştırma için rastgele seçilen bir örnek veri seti

Durum	Sıra	Girdi Değişkenleri (m)				Balal vd. (2016) Bulanık Modeli		Yeni GEP Modeli		Gözlem
		b^{harka}	$b^{hön}$	M	$b^{mön}$	C*	Karar	Dec(x)	Karar	
Şerit Değişirme	1	15.2	11.6	26.8	6.3	0.585	1	260.94	1	1
	2	13.4	12.6	26	9.6	0.6	1	227.39	1	1
	3	14.2	13.3	27.5	8.3	0.566	1	247.97	1	1
	4	15.3	17.2	32.5	22.2	0.578	1	423.13	1	1
	5	17.2	18.3	35.5	24.1	0.63	1	534.86	1	1
	6	15.2	15.7	30.9	21.4	0.529	1	388.84	1	1
	7	16.3	18.1	34.4	18	0.61	1	437.01	1	1
	8	7.6	24.1	31.7	19.1	0.623	1	280.25	1	1
	9	9.6	25.2	34.8	20.2	0.617	1	363.00	1	1
	10	8.7	24.1	32.8	21.3	0.617	1	332.56	1	1
	11	10.7	25.4	36.1	18.5	0.604	1	374.20	1	1
	12	12.1	23.2	35.3	18.1	0.62	1	373.29	1	1
	13	14.2	17.3	31.5	21.1	0.583	1	376.72	1	1
	14	19.6	9.2	28.8	16.3	0.562	1	449.13	1	1
	15	20.2	6.8	27	25.4	0.621	1	475.08	1	1
Şerit Değişirmeme	16	9.3	18.1	27.4	1.2	0.369	0	95.63	0	0
	17	11.2	19.3	30.5	5.4	0.388	0	174.20	0	0
	18	8.7	18.4	27.1	3.2	0.359	0	100.17	0	0
	19	7.1	19.7	26.8	8.1	0.34	0	115.73	0	0
	20	8.8	16.2	25	7.4	0.441	0	123.16	0	0
	21	10.3	18.2	28.5	9.1	0.383	0	178.26	0	0
	22	5.2	8.3	13.5	7.1	0.33	0	38.11	0	0
	23	7.7	2.9	10.6	11.2	0.335	0	58.96	0	0
	24	9.1	6.8	15.9	6.3	0.338	0	92.64	0	0
	25	11.2	7.8	19	9.1	0.45	0	145.24	0	0
	26	2.9	15.2	18.1	28.3	0.441	0	110.02	0	0
	27	3.7	15.6	19.3	25.4	0.472	0	120.16	0	0
	28	1.8	17.1	18.9	26.3	0.445	0	111.53	0	0
	29	8.6	4.5	13.1	21.1	0.334	0	81.59	0	0
	30	6.4	11.2	17.6	15.6	0.419	0	84.87	0	0

Çizelge 6.4. Modellerin performans karşılaştırması

	Şerit değişirme	Şerit değişirmeme
Bulanık modeli	%91.43 (64/70)	%96.23 (842/875)
GEP modeli	%95.71 (67/70)	%97.26 (851/875)

Geliştirilen model, ikinci otoyoldan alınan verilerle de test edilmiştir. Benzer şekilde yüksek bir performans elde edildi. Ayrıca, geliştirilen GEP modelinin hem şerit değiştirme ve hem de şerit değiştirmeme durumunda bulanık tabanlı KŞD karar modeline göre daha başarılı olduğu Çizelge 6.4'e göre anlaşılmıştır. Şerit değiştirme durumları için karar modellerinin performansını göstermek için grafikler Şekil 6.5'de sunulmuştur.



Şekil 6.5. Şerit durumları için önerilen karar modellerinin gözlemlerle karşılaştırılması

BÖLÜM VII

SONUÇ VE TARTIŞMA

KŞD, şerit değiştirme hareketlerinin büyük bir bölümünü meydana getirmekte ve trafik hareketleri üzerinde genellikle önemli bir seviyede negatif etki oluşturmaktadır. Başarılı bir KŞD karar modeli ile donanmış otonom taşıtların bu olumsuz etkiyi minimize edeceği düşünülmektedir. Bu nedenle KŞD'yi başarılı bir şekilde modellemek için literatürde çalışmalar sürmektedir.

Bu çalışma başarılı bir KŞD karar modelini geliştirmeye odaklanmıştır. Bu doğrultuda literatürde başka mühendislik problemlerinde yüksek başarı gösteren GEP tekniği kullanılarak bir KŞD karar modeli ortaya konulmuştur. Modelin geliştirilme aşamasında sahadan toplanan gerçek veriler kullanılmıştır. Model farklı iki karayolundan toplanan verilerle test edilmiş ve başarı göstermiştir. Bunun yanı sıra literatürdeki yüksek performanslı farklı bir modelle karşılaştırılarak önerilen modelin performansı ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen kazanımlar ve çıkarımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Şerit değiştirme alanında literatürde daha önce uygulanmamış olan GEP tekniğinin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.
- Bir KŞD karar modeli elde edilmiştir. Elde edilen model birinci karayolundan elde edilen veriler içerisinden eğitim verilerini tahmin etmede şerit değiştirme durumu için %93,48 (172/184), şerit değiştirmeme durumu için %98,15 (1328/1353); test verilerini tahmin etmede şerit değiştirme durumu için %95,65 (44/46), şerit değiştirmeme durumu için %98,22 (332/338) oranında başarılı olmuştur.
- Geliştirilen modelin performansını farklı bir açıdan tekrardan görebilmek için model, ikinci karayolundan toplanan verilerle tekrardan test edilmiştir. Tamamı test verisi olarak kullanılan ikinci karayolundan elde edilen veriler içerisinden şerit değiştirme durumu için %95,71 (67/70), şerit değiştirmeme durumu için %97,26 (851/875) oranında başarılı olmuştur. Bunun yanı sıra geliştirilen GEP KŞD modeli, literatürdeki çok başarılı bulanık KŞD modeli karşılaştırılmıştır. GEP KŞD modeli hem şerit değiştirme hem de şerit değiştirmeme durumu için bulanık KŞD modelinden daha başarılı bir performans göstermiştir. Bu

doğrultuda tamamı test verisi olarak kullanılan ikinci karayolundan elde edilen verilerle yapılan karşılaştırmada, Bulanık KŞD modeli 70 şerit değiştirme durumundan 64'ünü doğru bilirken GEP KŞD modeli 67'sini doğru bilmiştir. Şerit değiştirmeme durumu için bulanık KŞD modeli 875 durumdan 842'sini doğru bilirken GEP KŞD modeli 851 tanesini doğru bilmiştir.

- Geliştirilen modelin birinci karayolu ve ikinci karayolundaki performansları karşılaştırıldığında modelin her iki yol için de ulaştığı performans birbirine çok yakın olmuştur. Bu doğrultuda test verileri üzerinden yapılan karşılaştırmada şerit değiştirme durumu için birinci karayolunda %95,65; ikinci karayolunda %95,71 başarı elde edilirken; şerit değiştirmeme durumu için birinci karayolunda %98,22; ikinci karayolunda %97,26 başarı elde edilmiştir.
- Geliştirilen KŞD karar modeli Denklem (6.1)'deki gibi deterministik bir formülasyon formuna dönüştürülmüştür. Bunun sonucunda gelecekteki çalışmalar için kolay ve kullanıcı dostu ve herkes tarafından kullanılabilen bir model sunulmuştur. Bununla birlikte bu çalışmada elde edilen deterministik formülasyon gelecekteki çalışmalara kullanılabilir bir karşılaştırma zemini sunmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen kazanımlara sahip bir KŞD karar modeli elde edilen bu çalışmanın sınırlılığı hakkında şunlar söylenebilir:

- Bu çalışmada şerit değiştirme hareketleri içerisinde yalnızca KŞD hareketleri incelenmiş olup ZŞD hareketleri dikkate alınmamıştır. İleriki çalışmalarda ZŞD hareketlerini de ele alan bir çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.
- Önerilen model, serbest akıma sahip ve düşük/orta yoğunluk (12-21 taşıt/km/şerit) ve 50-110 km/sa hıza sahip trafik koşulları altında toplanan verilerle geliştirilmiş ve test edilmiştir. İleriki çalışmalarda yüksek yoğunluk ve düşük hıza sahip trafik koşullarını ele alan bir çalışmanın KŞD modellemesine katkı sunacağı düşünülmektedir.
- Bu çalışmada veri toplama süreci hava durumunun yağışsız ve zeminin kuru olduğu koşullarda gerçekleşmiştir. Yağışlı hava, ıslak ve/veya buzlu zemin koşullarının ele alınması KŞD hareketlerinin daha gerçekçi modellenmesini sağlayacaktır.

- Bu çalışmada önerilen model yatay ve düşey kurbanın yer almadığı düz bir yol kesiminden elde edilen verilerle geliştirilmiş ve test edilmiştir. Kurba etkisinin dikkate alınması ileriki çalışmalar için anlamlı bir görev olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda önerilen karar modelinin taşıt hareketlerine ve simülasyon yazılımlarına önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte önerilen model, gelecek çalışmalardaki modellerin performans karşılaştırmasına uygun bir forma sahip olduğu için literatüre anlamlı bir katkı sunduğuna inanılmaktadır.



KAYNAKLAR

Ahmed, K., Ben Akiva, M., Koutsopoulos, H. and Mishalani, R., “Models of freeway lane changing and gap acceptance behavior”, *Safetylit*, 13, 501-515, 1996.

Ahmed, K.I., “Modeling drivers acceleration and lane-changing behavior”, PhD Thesis, *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, 1999.

Ali, Y., Zheng, Z., MazharulHaque, M., Yildirimoglu, M. and Washington, S., “Understanding the discretionary lane-changing behaviour in the connected”, *ELSEVIER Accident Analysis and Prevention*, 137, 105463, 2020.

Alikafa M., Genetik programlama ile öncelik kuralları ve çizelgeleme algoritmalarının keşfi, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, Eskişehir, 2013.

Arsalan Y., Mühendislikte tersine problem uygulamaları için genetik programlama yaklaşımı, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2005.

Aslan, B., F, Onen. and N. Hamidi., “Diyarbakır kenti içmesuyu ihtiyacının genetik ifadeli programlama ile modellenmesi”, *[In Turkish.] DÜMF Mühendislik Dergisi 9 (2):* 859 870, 2018.

Aydın, M.M., Çok Şeritli yollarda sürücü şerit seçim hareketinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 5-25, 2012.

Bagdatli, M. E. C., “Vehicle delay modeling at signalized intersections with gene-expression programming, *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, ASCE*, 146(9), 04020107, 2020.

Balal, E., Cheu, R. L. and Sarkodie-Gyan, T., “A binary decision model for discretionary lane-changing move based on fuzzy inference system”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 47-61, 2016.

Bulumulle, G. and Bölöni, L., “Reducing side-sweep accidents with vehicle-to vehicle communication”, *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 5(4), 19, 2016.

Cheng, J.J., Victor, L., Knoop, D.L., Ling, Y.M. and H, W., “Discretionary lane-changing behavior: empirical validation for one realistic rule-based model”, *Transportmetrica A: Transport Science*, 1464526, 2018.

Ferreira, C., “Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence”, vol. 21, Springer, 2006.

Ferreira, C., “Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems”, *Complex Systems*, 13(2), 87-129, 2001.

Ferreira, C., “Genetic representation and genetic neutrality in gene expression programming”, *Advances in Complex Systems*, 5(4), 389-408, 2002.

Gipps, P. G., “A model for the structure of lane-changing decisions”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(5), 403-414, 1986.

Göloğlu, C ve Arslan, Y., “Genetik programlama ile imalat için yüzey pürüzlülük modeli geliştirilmesi”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt* 21, No 4, 667-674, 2006.

Hancock Peter J.B., “An empirical comparison of selection in evolutionary algorithms”, *Department of Psychology University of Stirling*, Scotland FK9 4LA, 1994.

Hashimoto, M., Suetomi, T., Okuno, A. and Uemura H., “A study on driver model for lane change judgement”, *Elsevier JSAE Review* 22, 2, 183-188, 2001.

He, Y., Sun, D., Zhao, M. and Cheng, S., “Cooperative driving and lane changing modeling for connected vehicles in the vicinity of traffic signals” A *Cyber-Physical Perspective. IEEE Access*, 6, 13891–13897, 2018.

Hidas, P., “Modeling lane changing and merging in microscopic traffic simulation”, elsevier, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10, 351-371, 2002.

Hunt, J.G. and Lyons, G.D., “Modeling dualcarriageway lane changing using neural networks”, *Transportation Research-C* 2 (4), 231-245, 1994.

Jin, I.G. and Murray, R.M., “Synthesizing voluntary lane-change policy using controlim provisation”, *Elsevier 51*, 34, 396-399, 2019.

Kara, I. F., “Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming”, *Advances in Engineering Software*, 42, 295-304, 2011.

Kesting, A., Treiber, M. and Helbing, D., “General lane-changing model mobil for car-following models”, *Transportation Research Record: Journal of theTransportation Research Board 1999*, 1, 86-94, 2007.

Koza, J., “Genetic programming II: automatic discovery of reusable programs. MIT press”, *Cambridge,MA, US*, 1994.

Koza, J., “Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection”, *The MIT Press,USA*, 1992.

Laval, J.A. and Daganzo, C.F., “Lane-changing in traffic streams”, *Transportation Research Part B* 40, 251-264, 2006.

Li, Q., Li, X. and Mannering, F., “A statistical study of discretionary lane-changing decision with heterogeneous vehic leand driver characteristics”, *Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Florida, Tampa, USA*, 2020.

Li, X., Wang, W. and Roetting, M., “Estimating driver’s lane-change intent considering driving style and contextual traffic”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, VOL. 20, NO. 9, 2019.

Liu, Y., Wang, X., Li, L., Cheng, S., and Chen, Z., “A novel lane change decision-making model of autonomous vehicle based on support vector machine”. *IEEE Access.*, 7, 26543-26550, 2019b.

Liu, Y., Zhang, W., and Jiang, D. “Automatic lane change model under uncertainty of vehicle motion in blindzone”, *2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE)*. (ss. 659-662). IEEE, Xiamen, China, 2019 a.

Long, X., Zhang, L., Liu, S. and Wang, J., “Research on decision-making behavior of discretionary lane-changing based on cumulative prospect theory”, *Journal of Advanced Transportation*, 1291342, 16 pages, 2020.

Lopes HS. and Weinert WR., “A gene expression programming system for time series modeling. In: Proceedings of XXV iberian latin american congress on computational methods in engineering (CILAMCE)”, *Recife (Brazil)*, 10- 12/November, 1-13, 2004.

Maza M. De la. and B. Tidor., “Increased flexibility in genetical gorithms: theuse of variable boltzmann selective pressure to control propagation”, *Proc. ofthe ORSA CSTS Conference Computer Scienceand Operations Research: New Developments in theirInterfaces*, pp 425-440, 1991.

Moridpour, S., Rose, G. and Sarvi, M., “Modelling the heavy vehic ledriver’s lane changing decision under heavy traffic conditions”, *Journal of Road and Transport Research 18 (4)*, 49–57, 2009.

Moridpour, S., Sarvi, M. and Rose, G., “Lane changing models: a critical review”, *Transportation Letters*, 2(3), 157-173, 2010.

Nazari, A. and Riahi S., “Prediction split tensile strength and water permeability of high strength concrete containing TiO₂ nanoparticles by artificial neural network and genetic programming”. *Composites Part B: Engineering*, 42(3), 473-488, 2011.

Pourmahmoudi, A., Ghaffari, A., Javadi, M. and Khodayari, A., “A predictive model of discretionary lane change behavior considering human factors in the framework of time parameters”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 234(4), 1034-1046, 2020.

Ramanujam, V., “Lane changing models for arterial traffic massachusetts”, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2007.

Salvucci, D.D., “Inferring driver intent: a case study in lane-change detection”, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 48, 19, 2228-2231, 2004.

Saridemir, M. ve Kara, İ. F., “Fiberle güçlendirilmiş silis dumanı içeren betonların yarmada çekme dayanımının GEP ile tahmini”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5.2, 208-217, 2016.

Saridemir, M., “Effect of specimen size and shape on compressive strength of concrete containing flyash: Application of genetic programming for design”, *Materials & Design*, 56, 297-304, 2014.

Saridemir, M., “Genetic programming approach for prediction of compressive strength of concretes containing ricehuskash”, *Construction and Building Material*, 24(10), 1911-1919, 2010.

Saridemir, M., “Metakaolin ve silis dumanı içeren betonların basınç dayanımının gen ifadeli programlama ile tahmin edilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23.3: 238-244, 2017.

Severcan, M. H., “Prediction of splitting tensile strength from the compressive strength of concrete using GEP”, *Neural Computing and Applications*, 21, 1937–1945, 2012.

Shao, H., Zhang, M., Feng, T. and Dong, Y., “A discretionary lane-changing decision-making mechanism incorporating drivers’ heterogeneity: a signalling game-based approach”, *Journal of Advanced Transportation.*, 2020, 1-16, 2020.

Sun, D. and Elefteriadou, L., “A driver behavior-based lane-changing model for urban arterial streets”, *Transportation Science*, 48(2), 184–205, 2014.

Sun, D. and Elefteriadou, L., “Lane-changing behavior on urban streets: a focus group based study”, *Applied Ergonomics*, 42(5), 682–691, 2011.

Sun, D. J. and Kondyli, A., “Modeling vehicle interactions during lane-changing behavior on arterial streets”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25, 557–571, 2010.

Sun, K., Zhao, X. and Wu, X., “A cooperative lane change model for connected vehicles on two-lane highway”. *Içinde CICTP 2020. (ss. 825-837). American Society of Civil Engineers, Xi’an*, China (Conference Cancelled), 2020.

Tang, J., Liu, F., Zhang, W., Ke, R. and Zou, Y., “Lane-changes prediction based on adaptive fuzzy neural network”, *Elsevier Expert Systems With Applications* 91, 452-463, 2018.

Taşbaş S, “Air quality time series for ecasting with genetic programming”, *Yaşar University Graduate School Of Natural And Applied Sciences*, Bornova / İzmir, 2018.

Toledo, T., Koutsopoulos, H. and Ben-Akiva, M., “Modeling integrated lane-changing behavior”. *Transportation Research Record* 1857, 30-38, 2003.

Wang, M., Hoogendoorn, S. P., Daamen, W., van Arem, B. and Happee, R., “Game theoretic approach for predictive lane-changing and car-following control”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 73–92, 2015.

Webster, N.A., Suzuki, T. and Kuvayt, M., “Tactical lane change model with sequential maneuver planning”, *Transportmetrica*, 4, 1, 63-78, 2008.

Wei, H., Meyer, E., Lee J. and Feng, C., “Characterizing and modeling observed lane-changing behavior: lane-vehicle-based microscopic simulation on urban street network”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1710,1, 104-113, 2000.

Xu, M., Luo, Y., Yang, G., Kong, W. and Li, K., “Dynamic cooperative automated lane-change maneuver based on minimum safety spacing model”, *İçinde 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*. (ss. 1537-1544). IEEE, Auckland, New Zealand, 2019.

Xuan, Y. and Coifman, B., “Lane change maneuver detection from probe vehicle GPS data. toronto”, *Intelligent Transportation Systems Conference ITSC '06 IEEE*, 2006.

Yang, M., Wang, X., and Quddus, M., “Examining lane change gap acceptance, duration and impact using naturalistic driving data”. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies.*, 104, 317-331, 2019.

Yang, Q. and Koutsopoulos, H.N., “A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems”, *Transportation Research 4 (C)*, 113-129, 1996.

Zheng, Z, “Recent developments and research needs in modeling lane changing”, *Transp, Res, 60B*, 16–32, 2014.

Zhong, J., Y. S. Ong. and W. Cai., “Self-learning gene expression programming.” *IEEE Trans. Evol. Comput.* 20 (1): 65–80, 2016.

Zhou, H., Itoh, M. and Inagaki, T., “Effects of cognitive distraction on checking traffic conditions for changing lanes”, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 53, 12, 824-828, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Raz Mohammad CHOGHTAY, Afganistan'ının Faryab ilinde 2001-2011 yılları arasında ilkokul, ortaokul ve lise öğretimini tamamladı. 2012 yılında girdiği Jawzjan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Haziran 2016'de mezun oldu. 2016-2018 yılları arasında Kabil'de kalite kontrol Mühendisi olarak çalıştı. 2018 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

