

**TRAFİK EĞİTİMİ İÇİN ZEKİ ETMENLER GELİŞTİRME**

**Murat DEMİR**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2008  
ANKARA**



**TRAFİK EĞİTİMİ İÇİN ZEKİ ETMENLER GELİŞTİRME**

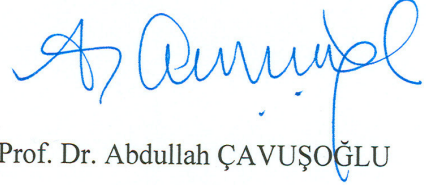
**Murat DEMİR**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2008  
ANKARA**

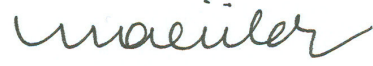
Murat DEMİR tarafından hazırlanan TRAFİK EĞİTİMİ İÇİN ZEKİ ETMENLER GELİŞTİRME adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İnan GÜLER



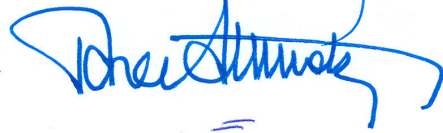
Üye : Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU



Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY



Üye : Prof. Dr. Taner ALTINOK



Üye : Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

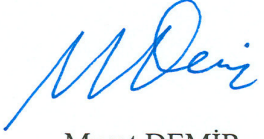


Tarih : 12/09/2008

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Murat DEMİR

# TRAFİK EĞİTİMİ İÇİN ZEKİ ETMENLER GELİŞTİRME

(Doktora Tezi)

Murat DEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Eylül 2008

## ÖZET

Bu çalışma, acemi sürücülerin tehlike algısı becerilerini geliştirmek amacıyla, bir sürücü eğitim simülatörü üzerinde yapılan geliştirmeleri içermektedir. Bu çalışma, Türkiye'deki şehiriçi trafiğinde sıklıkla karşılaşılan tehlikeli durumların-etkileşimlerin simülatör ortamında yaratılması ve acemi sürücülerin bu ortamda sürüş pratiği yaparak tehlike algısı becerilerinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, sapkın sürücü davranışlarını ve sürüş stillerinin temsil edebilen sürücü davranış modeli geliştirilmiştir. Söz konusu model, iki katmanlı Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri (HEZDM) modelleme yapısı temel alınarak geliştirilmiştir. Farklı sürüş stili biçim dosyalarını üretmek için, Microsoft Visual Studio'da grafik kullanıcı ara yüzü yazılım geliştirilmiştir. Çalışmada, TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü test ortamı olarak kullanılmıştır. Geçerlilik testleri ve analizler neticesinde, geliştirilen modellerin ve söz konusu modellerin kullanıldığı sanal trafik ortamının geçerliliğine yönelik başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, sunulan sistemin, acemi sürücülerin tehlike algısı becerilerinin artırılmasında ve az da olsa ülkemizde trafik kazalarının azaltılmasında katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

**Bilim Kodu** : 702.3.006

**Anahtar Kelimeler** : Sürücü davranış modellemesi, sürücü eğitimi, durum makineleri, etmen tabanlı modelleme.

**Sayfa Adedi** : 148

**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU

**DEVELOPING INTELLIGENT AGENTS FOR TRAFFIC EDUCATION****(Ph.D. Thesis)****Murat DEMİR****GAZI UNIVERSITY****INFORMATICS INSTITUTE****September 2008****ABSTRACT**

**This study includes the developments we made with the goal of using a driving simulator in developing the hazard perception skills of novice drivers. This study has been specifically oriented to create hazardous traffic situations in the simulator, which are common in Turkish urban traffic environment and let the novice drivers to practice them in order to improve their hazard perception skills. For the purpose of this study, we developed a driver behaviour model, which emulates aberrant driving behaviours and driving styles (i.e. behaviours) for different categories of driver. The model was developed based on a two layer Hierarchical Concurrent State Machines (HCSM) modelling framework. A graphical user interface (GUI) software is developed by using Microsoft Visual Studio programming framework in order to prepare driving style configuration files. In our study, we used TRAFİKENT driving simulator as a test-bed. Validation experiments and evaluations have demonstrated satisfactory results regarding developed models. It is concluded that, the presented system can contribute to improve the hazard perception skills of novice drivers and to a some amount decrease the number of traffic accidents that occurs in our country.**

**Science Code : 702.3.006****Key Words : Driver behaviour modeling, driving training, state machines, agent-based simulation.****Page Number : 148****Adviser : Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOğLU'na, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Prof. Dr. Ömer Faruk BAY'a ve Prof. Dr. Şeref SAğIROğLU'na, TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünü bu çalışmada deney ortamı olarak kullanmama izin veren METEKSAN Sistem firması yöneticilerine, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eőim Funda DEMİR'e ve biricik kızıma teőekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. TRAFİK GÜVENLİĞİ VE SÜRÜCÜ EĞİTİMİ .....	9
2.1. Trafik Kazalarındaki Sürücü Faktörü .....	9
2.2. Trafik Güvenliği ve Sürücü Eğitimi Arasındaki İlişki .....	11
2.3. “Güvenli Sürücülük” Becerisi .....	13
2.4. “Tehlike Algısı” (Yolu Okuma) Becerisi .....	15
2.5. Trafik Güvenliğini Sağlamada “Acemi Sürücü” Eğitiminin Önemi .....	16
2.6. Türkiye’deki Mevcut Sürücü Eğitiminin Yapısı .....	19
2.7. Diğer Ülkelerdeki Sürücü Eğitiminin Yapısı .....	21
3. TRAFİK ORTAMININ MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU .....	24
3.1. Taşıt Sürme Faaliyeti (Driving Task) .....	24
3.2. Trafik Simülasyonunda Kullanılan Modeller .....	26
3.3. Trafik Simülasyonunun Kullanıldığı Alanlar .....	28
3.4. Sürücü Davranışlarının (Driver Behaviours) Modellenmesi .....	30
3.5. Trafik Simülasyonlarında Kullanılan Modelleme Teknikleri .....	31
3.5.1. Uzman sistemler .....	32

3.5.2. Sonlu durum makineleri (SDM).....	33
3.5.3. Hiyerarşik eş zamanlı durum makineleri (HEZDM).....	36
3.5.4. Bulanık mantık.....	39
3.5.5. Etmten tabanlı (agent based) modelleme.....	40
4. “TRAFİKENT” SÜRÜCÜ EĞİTİM SİMÜLATÖRÜ .....	46
4.1. Simülasyon Altyapısı Yazılımı .....	47
4.2. Sürücü Kabini.....	50
4.3. Sanal Trafik Ortamı .....	51
4.4. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün Dünyadaki Benzerleriyle Karşılaştırılması .....	52
5. ŞEHİRİÇİ TRAFİĞİNDE KARŞILAŞILAN TRAFİK KURALI İHLALLERİNE YÖNELİK ÖLÇEK UYGULAMASI .....	54
5.1. Materyal .....	54
5.2. Metot.....	54
5.3. Deneysel Bulgular ve Tartışma .....	55
6. TRAFİKENT SÜRÜCÜ EĞİTİM SİMÜLATÖRÜNDE “RİSKLİ TRAFİK ORTAMI” YARATILMASI .....	56
6.1. Yapay Zekâ (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü (YZM) .....	59
6.1.1. Taşıt cinsi seçim modeli.....	61
6.1.2. Yön tayini modeli .....	62
6.1.3. Yolcu indirme/bindirme modeli .....	62
6.1.4. Dönüşler/kavşak geçişi modeli.....	62
6.1.5. Serbest sürüş modeli .....	64
6.1.6. Şerit/koridor takibi modeli .....	65
6.1.7. Sürat adaptasyonu modeli .....	67
6.1.8. Taşıt takibi modeli .....	69
6.1.9. Şerit değiştirme modeli .....	73

6.1.10. Taşıt durdurma modeli .....	83
6.1.11. Kişiliğe bağlı sürücü davranışları modeli.....	83
6.1.12. YZM yazılım mimarisi yapısı.....	84
6.2. Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü .....	93
6.2.1. Trafik ortamı biçim dosyaları.....	93
6.2.2. Sürüş stilleri biçim dosyaları.....	96
6.2.3. Sürücü kusurları.....	99
6.2.4. Sürücü kusurları ve sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki .....	101
6.3.5. Ticari taksi sürücü sınıfı ve sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki	104
6.2.6. Yolcu minibüsü sürücü sınıfı ve sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki .....	105
6.3. Grafik Kullanıcı Ara Yüzlü Sürüş Stili Biçim Dosyası Üretme Yazılım Modülü.....	106
7. GEÇERLİLİK (VALİDASYON) ÇALIŞMASI .....	107
7.1. Materyal .....	108
7.2. Metot.....	108
7.3. Deneysel Bulgular ve Tartışma .....	113
8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	118
KAYNAKLAR .....	121
EKLER.....	127
EK-1. Trafik kuralı ihlallerinin belirlenmesine yönelik ölçek uygulaması.....	128
EK-2. Ölçek uygulamasının sonuçları .....	129
EK-3. YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu.....	130
EK-4. Demografik bilgi formu .....	145
EK-5. Öz bildirim dayalı test sonu değerlendirme ölçeği .....	147
ÖZGEÇMİŞ.....	148

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Bazı ülkelerde ve Türkiye’de trafik kazalarında yaralanma ve ölüm oranları [2].....	2
Çizelge 2.1. Türkiye’de sürücü eğitiminin ders konuları ve süreleri [3].....	19
Çizelge 4.1. “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü” yeni versiyonunun dünyadaki benzerleri ile karşılaştırılması.....	53
Çizelge 6.1. Karayolları Trafik Yönetmeliği’ne göre, aksine bir işaret bulunmadıkça şehir içi ve şehirlerarası römorksuz taşıt cinsleri için saatteki en çok hız limitleri [65] .....	68
Çizelge 6.2. Cinslerine göre Ankara şehir içi trafiğinde dolaşması serbest olan taşıtların sayıları ve oranları .....	94
Çizelge 6.3. 2002 ve 2005 yıllarındaki Türkiye trafiğinde dolaşan araç türlerinin sayıları ile “yerleşim yeri” inde kazaya karışan araç türlerinin sayıları ve korelasyonu .....	94
Çizelge 6.4. “Riskli Trafik Ortamı” nda dolaşan sanal taşıt etmenlerinin cinsleri ile sürücü kusurları arasındaki ilişkiyi gösteren tablo .....	96
Çizelge 7.1. Katılımcıların EK-5’ deki anket sorularına verdikleri cevapların frekansları a) Anket sonucu -1 b) Anket Sonucu -2 .....	116

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. OECD' ye üye ülkelerdeki ölüm sebeplerinin, farklı yaş grupları için oransal dağılımı [1] .....	1
Şekil 2.1. Sürücülük faktörü ve taşıt kullanmayı öğrenmenin aşamaları arasındaki ilişki.....	13
Şekil 2.2. 2003 yılında OECD ülkelerinde, 1.000.000 nüfus başına ölen taşıt sürücüsü sayısının farklı yaş gruplarına göre dağılımı [1].....	16
Şekil 2.3. 2002 EGM Trafik İstatistik Yıllığı verilerine göre, dört yıllık yaş grubu aralıklarında, sürücülerin sebebiyet verdiği ölümlü kaza sayısı [28] ....	17
Şekil 2.4. Ehliyet alma yaşı ve “sürücülük” yılı ile bir milyon kilometre başına düşen kaza sayısı arasındaki ilişki [1].....	18
Şekil 2.5. Türkiye'deki sürücü eğitiminin yapısı [33].....	20
Şekil 2.6. Gözetmen nezaretinde sürücü eğitiminin yapısı [29] .....	21
Şekil 2.7. Öğrenme Süreçli Sürücü Eğitiminin Yapısı [29] .....	22
Şekil 3.1. Taşıt sürme faaliyetine ilişkin görevlerin genel yapısı .....	25
Şekil 3.2. 'A' taşıtının T - şeklindeki kavşağa yaklaşma durumu .....	26
Şekil 3.3. Sürücü davranış modelinin kapsadığı süreçler .....	30
Şekil 3.4. Tipik bir SDM durum geçiş diyagramı .....	33
Şekil 3.5. SDM algoritması.....	34
Şekil 3.6. Metro turnikesine ait durum geçiş diyagramı.....	35
Şekil 3.7. Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişlerin durum geçiş diyagramı ile gösterimi [48] .....	36
Şekil 3.8. Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişlerin durum grafiği ile gösterimi [48].....	36
Şekil 3.9. Eş zamanlı durumların durum geçiş diyagramı ile gösterimi [48] .....	37
Şekil 3.10. Eş zamanlı durumların durum grafiği ile gösterimi [48] .....	37
Şekil 3.11. Tipik bir HEZDM durum grafiği [50] .....	38

Şekil 3.12.	Bulanık mantık tabanlı sistem blok diyagramı .....	39
Şekil 3.13.	Etmen-çevre ilişkisi [58] .....	41
Şekil 3.14.	Etmenlerin genel yapılarına göre sınıflandırılması [57] .....	42
Şekil 3.15.	Etmenlerin sahip oldukları özelliklere göre sınıflandırılması [61] .....	43
Şekil 3.16.	Etmen-Nesne yapısı [62] .....	44
Şekil 4.1.	TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün sistem mimarisi .....	46
Şekil 6.1.	“TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü” için geliştirilen yazılım bileşenleri (koyu renk ile gösterilenler) ve veri akış şeması .....	58
Şekil 6.2.	Bölünmemiş yol .....	64
Şekil 6.3.	Bölünmüş yolun gidiş istikameti .....	65
Şekil 6.4.	Bakış ve sapma mesafelerinin gösterimi .....	66
Şekil 6.5.	Hızlanma ivmesi [66] .....	69
Şekil 6.6.	Taşıt takibinde kullanılan yönetsel bölgelerin gösterimi [67] .....	70
Şekil 6.7.	Yasak bölgenin gösterimi .....	70
Şekil 6.8.	Takip bölgesinin gösterimi .....	71
Şekil 6.9.	Yasak bölge ihlali yapan taşıt .....	72
Şekil 6.10.	Yasak bölgeye giren taşıtların takip-yavaşlama ivmesi .....	72
Şekil 6.11.	Şerit değiştirme modeli akış şeması .....	74
Şekil 6.12.	Öndeki yavaş giden taşıtın oluşturduğu “baskı fonksiyonu”nun gösterimi .....	75
Şekil 6.13.	Farklı şeritlerdeki trafikten kaynaklanan “baskı fonksiyonları”nın gösterimi .....	76
Şekil 6.14.	Arkadaki taşıtın oluşturduğu “baskı fonksiyonu”nun gösterimi .....	77
Şekil 6.15.	Şerit değiştirme davranış modelleri .....	78
Şekil 6.16.	“Geçiş Aralığı Kabulü” karar sürecinin gösterimi .....	80
Şekil 6.17.	Güvenli “kritik geçiş aralığı” ( $Q_{ga}$ ) fonksiyonunun grafiksel gösterimi .....	81
Şekil 6.18.	Güvenli olmayan “Kritik geçiş aralığı” ( $Q_{ga}$ ) hesabı .....	82

Şekil 6.19. Şerit değiştirme sürecinin gösterimi .....	82
Şekil 6.20. Taştın durmasını gerektiren bir durum .....	83
Şekil 6.21. YZM mimari yapısı .....	85
Şekil 6.22. YZM HEZDM durum ve veri akış şeması.....	90
Şekil 6.23. “Karar Verme Katmanı” SDM veri akış şeması.....	91
Şekil 6.24. “Karar Uygulama Katmanı” HEZDM veri akış şeması.....	92
Şekil 6.25. Sürüş stili biçim dosyası üretme yazılım modülü grafik kullanıcı ara yüzü.....	106
Şekil 7.1. Yakın_takip sürüş stili biçim dosyası .....	109
Şekil 7.2. Farklı taşıt cinslerine atanan sürüş stillerini gösteren trafik ortamı biçim dosyası.....	110
Şekil 7.3. Farklı taşıt cinslerinin sanal ortamdaki sayılarını gösteren biçim dosyası .....	111
Şekil 7.4. PDRM ile elde edilen ölçüm verilerinin ortalamalarının, katılımcıların sürüş deneyimlerine (acemi; tecrübeli) göre dağılımları. ....	114

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün genel görünüşü .....	47
Resim 7.1. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe sürüş testine tabi tutulan katılımcı.....	112



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$a_{acc}(v)$	Taşıtın ivmelenme fonksiyonu, $m/s^2$
$\alpha_y$	İvmelenme fonksiyon sabiti
$\beta_y$	İvmelenme fonksiyon sabiti
$g$	Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$y$	Sürüş stili parametresi (saldırgan,normal,yavaş)
<b>m</b>	Metre
<b>km</b>	Kilometre
<b>sn.</b>	Saniye
$B_m$	Bakış mesafesi, metre
$S_m$	Sapma mesafesi, metre
$T_y$	Takip bölgesi, m
$D_y$	Yasak bölge, m
<b>n</b>	n no'lu taşıt
$v$	Taşıtın anlık hızı
$v_n$	Arkadaki (n) taşıtın hızı, m/sn.
$v_{n-1}$	Öndeki (n-1) taşıtın hızı, m/sn.
$t_{min}$	Takip mesafesi kritik zaman aralığı, sn.
$D_{durma}$	Duran iki taşıt arasındaki mesafe, m
$a_{ort.}$	Ortalama yavaşlama ivmesi, $m/sn.^2$
$t_T$	Takip bölgesi zaman aralığı, sn.
$M_T$	Takip bölgesi en düşük mesafe aralığı, m
$Q$	Yasak bölgeyi ihlal etme oranı
$d_y$	Arka arkaya giden iki taşıt arasındaki mesafe, m
$a_{yavaşlama}(Q)$	Takip-yavaşlama ivmesi fonksiyonu, $m/sn.^2$
$P$	Potansiyel yavaşlama ivmesi fonksiyonu, $m/sn.^2$

$d$	İki taşıt arasındaki mesafe, m
$v_n^{ter}$	Arkadaki aracın tercih ettiği hız değeri, m/sn.
$c_{sol}$	Sol şeride geçmek için kritik eşik değeri
$\Delta v_{min}$	İki taşıt arasındaki hız farkı eşiği, m/sn.
$c_{sağ}$	Sağ şerite geçmek için kritik eşik değeri
$T_{şerit}$	Taşıttın şeritte geçirdiği süre, sn.
$T_{min}$	Şeritte kalınması gereken en az süre, sn.
$Q_{ga}(d_{left})$	Kritik geçiş aralığı fonksiyonu
$d_{left}$	Kavşağa yada durağa kalan mesafe, m
$\Gamma$	Eylem fonksiyonu,
$a_{dur}(Q)$	Durma ivmesi fonksiyonu, m/sn. <sup>2</sup>
$k$	Direksiyon döndürme katsayısı, sabit
$\theta$	Sapma açısı, derece
$r$	Korelasyon değeri
$ss$	Standart sapma
$F$	F-testi değeri (grup varyanslarının birbirine oranı)
$p$	Güven düzeyi
$N$	Katılımcı sayısı

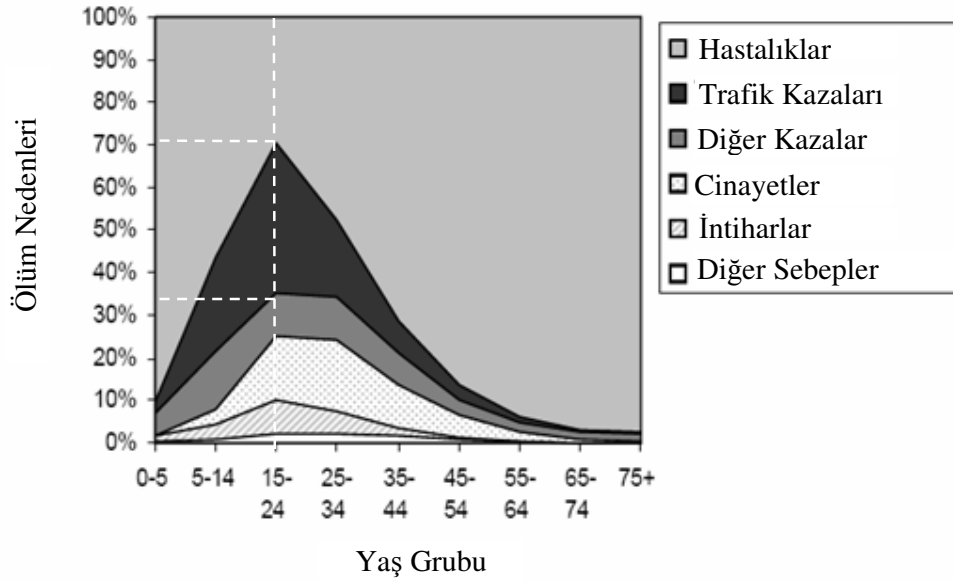
### Kısaltmalar

### Açıklama

<b>ABD</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>PYİ</b>	Potansiyel Yavaşlama İvmesi
<b>YZM</b>	Yapay Zeka (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü
<b>EGM</b>	Emniyet Genel Müdürlüğü
<b>SDM</b>	Sonlu Durum Makineleri
<b>HEZDM</b>	Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri
<b>OECD</b>	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
<b>ÇP</b>	Çıktı Parametreleri
<b>PDRM</b>	Performans Değerlendirme ve Raporlama Modülü

## 1. GİRİŞ

Trafik kazaları dünyada, özellikle gelişmekte olan ülkeler arasında giderek büyüyen bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)' ne üye ülkelerde yapılan bir araştırmaya göre, son yıllarda meydana gelen 15 ile 24 yaşları arasındaki insan ölümlerinin yaklaşık % 35'i, trafik kazaları neticesinde gerçekleşmiştir. Bu kazalarda, yılda yaklaşık 25 000 insan hayatını kaybetmektedir [1] (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. OECD' ye üye ülkelerdeki ölüm sebeplerinin, farklı yaş grupları için oransal dağılımı [1]

Türkiye, toplumdaki her bireyin trafik kazası geçirme riski yüksek olan ülkeler arasındadır [2]. Bunun yanı sıra, yılda gidilen km miktarı dikkate alınarak yapılan hesaplamalara göre 100 000 000 taşıt/km. ye düşen ölüm oranı ABD'de 0,3, İngiltere ve Almanya'da 1, Japonya'da 1,4 iken, bu oran ülkemizde 10 dur [2] (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Bazı ülkelerde ve Türkiye’de trafik kazalarında yaralanma ve ölüm oranları [2]

ÜLKELER	100 000 000 Taşıt/km. başına düşen yaralanma	100 000 000 Taşıt/ km. başına Düşen ölüm
Amerika	58	0,3
İngiltere	60	1
Almanya	51	1
Fransa	27	1,9
Japonya	111	1,4
Türkiye	229	10

Trafik polisinin düzenlediği kaza tespit tutanaklarından derlenen istatistik verilerine göre Türkiye’de trafik kazalarının baş sorumlusu olarak sürücüler gösterilmektedir. 2007 yılına ait verilere göre, Türkiye’de meydana gelen toplam 95 257 trafik kazasının 93 628’ine sürücülerin neden olduğu belirlenmiştir [3]. Yapılan araştırmalar, diğer ülkelerde de benzer bir durum olduğunu ortaya koymaktadır [4,5]. Bu rakamların ışığında trafik sorununun çözülmesi ve trafik güvenliğinin iyileştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalarda, sürücü eğitimine odaklanan faaliyetlerin ne kadar büyük önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle sürücü kalitesini arttırmaya yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Araştırmalar, her yıl büyük can ve mal kaybına neden olan trafik kazalarının azaltılmasının, yani trafik güvenliğinin sağlanmasının, ancak sürücü, yaya, yolcu olarak insan faktörünün trafik ortamındaki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması ile mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır [6].

Dünyadaki bir çok ülkede, yirmi beş yaşın altındaki genç sürücülerin ölümlü ve yaralanmalı kazaya karışma oranı diğer sürücülerden fazladır [1]. Bu bulgularla paralel olarak, ehliyeti aldıktan hemen sonra yeterince deneyim kazanmadan yollara çıkan ve çoğunluğunu gençlerin oluşturduğu acemi sürücülerin kaza yapma olasılığı

deneyimli sürücülerden çok daha yüksektir [7]. “Acemilik” olarak açıklanan bu durum, gerçekte taşıt kullanmayı teknik yetkinlik düzeyinde, sadece manevra kabiliyeti düzeyinde öğrenen sürücünün, trafik ortamındaki tehlikelerin ve risklerin neler olduğuna, bu tehlikelerle ne sıklıkta karşılaşıldığına ve bunlara karşı nasıl önlem alınacağına ilişkin bir beklenti yada algıya sahip olmamasıyla ilişkilidir.

Dikkate değer diğer bir husus ise, trafik kazalarının yaklaşık % 80-85’inin şehir içi yollarda meydana gelmesidir [8]. Şehir içindeki araç trafiği, sürücülerin, diğer sürücülerle, yayalarla, trafik ışıklarıyla ve trafik işaretleriyle çok yoğun biçimde etkileşim içinde olduğu, büyük çaplı dinamik ortamlardır.

Sürücülerin (kullandıkları araçlar vasıtasıyla), yayaların ve trafiği denetleyenlerin (trafik işaretleri ve lambaları vasıtasıyla) birbirleriyle etkileşimleri sonucu gelişen davranışlar bütünü olan trafik, 1950’li yıllardan bu yana benzetim (simülasyon) tabanlı AR-GE çalışmalarının uygulama alanı olmuştur [9-12].

Benzetim, literatürde bir çok tanımı olmasına karşın, bu çalışma ile ilgili olarak kısaca; herhangi bir sistemi anlamak veya anlatmak için, sistem özelliklerinin ve davranış karakteristiklerinin bir model vasıtasıyla dinamik olarak temsil edilmesi olarak tanımlanabilir.

Bir sistem hakkında bilgi edinmek veya işleyişini öğrenmek için öncelikle o sistemin bir şekilde modelini üretmek gerekmektedir. Bu bağlamda model, bir sistemin temsili, taklidi; benzetim ise, sistemi temsil eden modelin belirli bir zaman ve mekan içerisinde işletilmesi, oynanması suretiyle sistem içindeki etkileşimlerin model vasıtasıyla canlandırılmasıdır.

Bilgisayar bilimlerindeki hızlı gelişime paralel olarak, gerçek yaşama ait ortamların/kesitlerin bilgisayar ortamında, üç boyutlu (3B) ve dinamik olarak yeniden canlandırılabilmesi sayesinde, benzetim (simülasyon) uygulamaları, problem çözme ve analiz aracı olmasının yanı sıra eğlence sektöründe (3B çizgi sinemalar, bilgisayar oyunları, vb.) ve eğitim alanında da sıklıkla kullanılan bir araç durumuna

gelmiştir. Trafik ortamının modellenmesinde ve benzetiminde (simülasyonunda), araştırmacılar tarafından çeşitli yapay zeka ve modelleme tekniklerinden faydalanılmaktadır.

Trafik ortamı gibi bir çok dinamik etmenin (araç sürücüleri, yayalar, trafik ışıkları vb.) rol aldığı büyük çaplı benzetimlerde, söz konusu etmenlerin belli seviyede otonomiye sahip olmaları ve bu sayede belli kurallar çerçevesinde özgün ve gerçekçi davranış biçimlerini otomatik olarak üretmeleri ve benzetim ortamında sergilemeleri arzu edilmektedir.

Eğitim ve öğretim amaçlı benzetim uygulamalarında, benzetim modelinin fiziksel ve fonksiyonel açılardan mümkün olduğunca gerçeğe yakın olması arzu edilmektedir. Bir bakıma, insanda gerçek sistemle etkileşiyormuş hissi uyandırması amaçlanmaktadır. Bu tür uygulamalarda, insan duyularına hitap eden fiziksel modellerden, bilgisayar grafiği, animasyon ve sanal gerçeklik uygulamalarından faydalanılmaktadır. Bu amaçla geliştirilen sistemlere literatürde “simülator” denilmekte olup, gerçek sistemin işleyişi hakkında bilgi edinmek ve/veya o sistemi kullanan sistem operatörlerini (pilot, makinist vb. gibi) eğitmek için kullanılmaktadırlar.

Günümüzde benzetim araçları (simülatorler), eğitim alanında sıklıkla kullanılan etkin araçlar durumuna gelmişlerdir. Benzetim araçları kullanmanın, gerçek yaşama göre bir çok avantajı vardır. Bunlar arasında, temsil ettiği gerçek yaşam ortamlarından daha ucuz, daha kontrollü ve daha az tehlikeli eğitim olanakları sağlamasını sayabiliriz. Pilot eğitiminden cerrah eğitimine, sürücü eğitiminden sporcu eğitimine kadar pek çok alanda benzetim araçları kullanılmaktadır. Bu sistemler, üç boyutlu sanal ortamlarda eğitim ve analiz amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin, sivil ve askeri alandaki pilotaj eğitimlerinin önemli bir kısmı bu tür sistemlerde verilmektedir.

Öğrencilerin, benzetim araçlarında (simülatorlerde) pratik yaparak öğrenmelerini sağlamak, bir çok kabiliyet için etkili bir eğitim metodudur. Son yıllarda, teknolojik

gelişmeler ve maliyetlerin aşağı çekilmesi sayesinde, sürücü eğitimlerinde de bu sistemler daha fazla ve etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle Avrupa ülkeleri ve diğer gelişmiş ülkelerde bu konu üzerinde yapılan çalışmalar, temel sürüş becerilerinin yanı sıra, normal şartlarda uzun bir zaman sürecindeki taşıt sürme deneyimi ile kazanılan yolu okuma (tehlike algısı) ve güvenli sürücülük becerilerinin, simülator ortamında güvenli bir şekilde kazandırılmasına odaklanmıştır [13]. Sürücü adaylarına söz konusu becerilerin, gerçek trafik ortamında karşılaşmaları muhtemel tehlikeli durumların simülator ortamında canlandırılması ve sürücülerin bu tehlikeli durumları kontrollü ortamlarda yaşayıp, tecrübe etmeleri sağlanarak etkin bir şekilde kazandırılabilceği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir [14].

Sürücü simülatorlarından verimli bir şekilde yararlanmak için, fiziksel görünüşün yanı sıra sanal trafik ortamının ve bu ortamda yer alan taşıtlar ile diğer unsurlara (trafik ışıkları, yayalar, vb.) ait davranışların da gerçekçi olması gerekmektedir.

Ülkemizde ve dünyada, hali hazırda kullanılmakta olan sürücü eğitim simülatorleri ve bu simülatorler için geliştirilmiş olan trafik ortamı benzetim modelleri incelendiğinde; söz konusu sistemlerin etkileyici 3B görsel sunumlara (yollar, binalar, taşıtlar gibi) ve fiziksel modellere (taşıt kabini, direksiyon, vites kolu, pedallar gibi) sahip oldukları görülmektedir. Ancak, söz konusu sistemlerde;

- Sürücüye gerçekçi bir trafik ortamında sürüş yapıyor hissi vermek için, bilgisayar ortamında oluşturulan diğer sanal sürücülere ait bazı sürücü davranışlarının (şerit değiştirme, şerit değiştirirken yada kavşaklardan dönerken sinyal verme gibi) ve farklı davranış karakteristiklerinin (saldırganlık, heyecan arama, yaşlılık gibi) modellenmediği [15-16],
- Aynı şekilde, gerçekçi bir şehir içi trafiğinde karşılaşılan bazı tehlikeli durumların (ticari taksilerin ve minibüslerin yolcu indirmek ve bindirmek için, trafiği tehlikeye düşürücü şekilde şerit değiştirmeleri, aniden yavaşlamaları ve duraklamaları, vb.) modellenmediği görülmektedir [17-18].

Yukarıda tanımlanan ve Türkiye’deki sürücü kurslarında hali hazırda kullanılmakta olan sürücü eğitim simülatörleri, sürücü adaylarının temel sürüş becerilerini kazanmalarına yardımcı olmakta, ancak yolu okuma (tehlike algısı) ve güvenli sürücülük becerilerini kazandırmakta yetersiz kalmaktadır [4,19].

Bu çalışmada, trafik güvenliği açısından risk yaratan ve kaza yapma olasılığı yüksek olan “acemi” sürücülerin yolu okuma (tehlike algısı) ve güvenli sürücülük becerilerinin geliştirilmesi amacıyla; şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan ve kazaya neden olan “sürücü kusurları” ile “tehlike yaratan çeşitli durumların-etkileşimlerin” modellenmesi ve halen ülkemizde bir çok sürücü kursunda kullanılmakta olan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe sanal bir “Riskli Trafik Ortamı”nın yaratılması amaçlanmıştır.

İkinci bölümde, dünyada ve ülkemizde her yıl büyük can ve mal kaybına sebep olan trafik kazalarının meydana gelmesinde başat faktör olan ‘sürücü faktörü’nün azaltılmasına ve trafik güvenliğinin iyileştirilmesine yönelik daha önce yapılmış çalışmalara ait literatür bilgileri sunulmaktadır. Ayrıca, sürücü eğitiminin dünyadaki ve Türkiye’deki mevcut yapısı ve bu yapının zafiyetleri anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, trafik ortamının modellenmesi ve simülasyonunda kullanılmak üzere taşıt sürme faaliyetinin tanımı yapılmakta ve bu faaliyeti gerçekleştirmek için gerekli olan, üç farklı seviyedeki (stratejik, taktik ve kontrol) görevler detaylı şekilde açıklanmaktadır. Daha sonra, trafik ortamının canlandırılmasına yönelik bilgisayar simülasyonlarında kullanılan, detay seviyelerine göre dört farklı sınıfa ayrılan trafik modelleri (Makro-Simülasyon, Mikro-Simülasyon, Meso-Simülasyon ve Nano-Simülasyon modelleri) tanımlanmaktadır. Son olarak, trafik simülasyonlarında kullanılan modelleme tekniklerinden bazıları (Uzman sistemler, Sonlu Durum Makineleri, Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri, Bulanık Mantık ve Etmen Tabanlı Modelleme) kısaca açıklanmış ve trafik ortamının modellenmesine yönelik uygulama alanları belirtilmiştir.



Bu çalışma kapsamında bazı bileşenleri geliştirilen olan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü' nün sahip olduğu özellikler ise dördüncü bölümde anlatılmaktadır.

Beşinci bölümde, ülkemizde meydana gelen trafik kazalarına sebep olan sürücü asli ve tali kusurlarından en fazla kazaya neden olanları dikkate alınarak, Ankara'daki şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan “trafik kuralı ihlalleri” nin, yolcu minibüsleri, ticari taksi ve özel halk otobüsleri açısından analiz edilmesi amacıyla, bu çalışma kapsamında yapılmış olan ölçek uygulaması anlatılacaktır. Bu çalışma ile, şehir içi trafiğinde dolaşan çeşitli taşıt cinslerine göre tipik sürücü hata ve ihlalleri ile meydana gelme sıklıklarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Altıncı bölümde, halen ülkemizde bir çok sürücü kursunda kullanılmakta olan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe mevcut sanal trafik ortamının gerçekçiliğini artırmaya ve yukarıda tanımlanan sanal “Riskli Trafik Ortamı” nın yaratılmasına yönelik olarak, mevcut yazılım üzerinde yapılan iyileştirmeler ile bu çalışma kapsamında yeni baştan geliştirilmiş olan yazılım bileşenleri (modüller ve dosyalar) detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Sistem üzerinde mevcut olan yazılım modüllerinden, bu çalışma kapsamında içerikleri değiştirilmiş olanlar ile sistemde daha önce bulunmayıp, bu çalışma kapsamında geliştirilerek, sisteme eklenen yazılım modülleri aşağıda belirtilmiştir:

*Yapay Zeka (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü:* Sürücülerin gerçek trafik ortamında karşılaştıkları ve yönetmeleri gereken çeşitli durumlar (örneğin, kavşaklardan geçme, öndeki aracı güvenli bir mesafeden takip etme, şerit değiştirme, vb.) karşısında sergileyebilecekleri taktik seviyedeki sürüş görevleri ve bunlarla ilişkili sürücü davranış biçimleri, ülkemizde en fazla kazaya neden olan sürücü asli ve tali kusurlarını da kapsayacak şekilde modellenmiştir.

Bilgisayarda oluşturulan sanal şehir içi trafik ortamında kendi başlarına (otonom) ya da başka bir programın/kullanıcının kontrolünde (yarı-otonom) hareket edebilen ve yukarıda tanımlanan sürücü davranış biçimlerini sergileyebilen taşıt etmenlerine (minibüs, halk otobüsü, ticari taksi vb.) ait algılama, karar verme ve uygulama

süreçlerinin etkin bir şekilde modellenebilmesi için, “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü” yazılımının Yapay Zeka (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü, Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri (HEZDM) modelleme ve programlama yapısından faydalanılarak yeni baştan tasarlanmış ve yazılmıştır.

*Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü:* Bu çalışma kapsamında yeni baştan yazılan ve “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü”ne entegre edilen söz konusu modül, yine bu çalışma kapsamında ilk defa oluşturulan “Trafik Ortamı Biçim Dosyası”nı dikkate alarak, sanal taşıt etmenlerinin cinsini, sayılarını, bunlara atanan sürüş stillerini, başlangıç pozisyonlarını, ilerleme yönü ve hızlarını belirleyip, üretmekte ve böylece gerçekçi bir sanal trafik ortamının canlandırılmasında yardımcı olmaktadır.

*Grafik Kullanıcı Ara Yüzlü (GUI) Sürüş Stili Biçim Dosyası Üretme Yazılım Modülü:* Gerçekçi bir sanal trafik ortamının oluşturulabilmesi için, şehir içi trafiğinde yer alan taşıt etmenlerinin gerçek hayattaki hemcinslerinin sergiledikleri farklı sürüş stillerini ve sürücü kusurlarını canlandırmaları gerekmektedir. Bu maksatla oluşturulan sürüş stili biçim dosyalarının kolayca üretilmesi için grafik kullanıcı ara yüzlü (GUI) biçim dosyası üretme yazılım modülü geliştirilmiştir. Bu yazılım modülü sayesinde, gerçek bir şehir içi trafik ortamında karşılaşılan çeşitli taşıt cinslerine göre (ticari taksi, yolcu minibüsü, halk otobüsü) ve sürücülerin kişilik ve demografik özelliklerine göre (saldırgan, yorgun, yaşlı, vb.) farklı sürüş stillerine ait biçim dosyaları kolaylıkla oluşturulabilmektedir.

Yedinci bölümde, bu çalışma kapsamında geliştirilen ve “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü” ne entegre edilen yazılım bileşenleri sayesinde oluşturulan sanal “Riskli Trafik Ortamı” hakkında yapılan geçerlilik (validasyon) çalışması anlatılmakta ve elde edilen bulgular açıklanmaktadır.

Tezin sonuç bölümünde ise, geçerlilik çalışması kapsamında elde edilen bulgular literatüre dayalı olarak, dünyada ve Türkiye’de trafik güvenliğine yönelik katkıları bakımından değerlendirilmekte, bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

## 2. TRAFİK GÜVENLİĞİ VE SÜRÜCÜ EĞİTİMİ

Bu bölümde, dünyada ve ülkemizde her yıl büyük can ve mal kaybına sebep olan trafik kazalarının meydana gelmesinde başat faktör olan 'sürücü faktörü'nün azaltılmasına ve trafik güvenliğinin iyileştirilmesine yönelik daha önce yapılmış çalışmalara ait literatür bilgileri sunulmaktadır. Ayrıca, sürücü eğitiminin dünyadaki ve Türkiye'deki mevcut yapısı ve bu yapının zafiyetlerine de değinilmektedir.

### 2.1. Trafik Kazalarındaki Sürücü Faktörü

Motorlu araçların icadı, insan yaşamını etkileyen en önemli buluşlardan biridir. Halen dünyada ve Türkiye'de yük ve yolcu taşımacılığının önemli bir kısmı karayolu ile yapılmaktadır. Örneğin, bu oran ülkemizde % 95 seviyesindedir.

“Trafik, iki nokta arasındaki araç, insan ve mal hareketidir” [5]. Bir başka tanıma göre trafik; “İnsanların, hayvanların ve araçların karayolları üzerindeki hal ve hareketleridir” [20]. Trafiğe ilişkin tanımlar bazı açılardan farklı olsa da “Trafik” kavramında üç temel öge söz konusudur:

- Araçlar,
- İnsanlar,
- Çevre

Sistem kuramına göre trafik ortamı, pek çok alt sistemden oluşan büyük, karmaşık ve dinamik bir sistemdir [5,10]. Araç, insan ve çevre bu sistemin üç temel alt sistemidir. Söz konusu sistemler, trafik ortamında belli bir denge içerisindedirler. Bu üç sistem olumlu yada olumsuz sürekli bir etkileşim içerisindedir. Sistemlerin en küçüğü olan insandaki bir değişim bu sistemlerin en büyüğü olan çevreyi etkilerken, çevredeki bir değişim de insanı etkilemektedir.

Trafik ortamında, dışarıdan kontrol edilmesi, değiştirilmesi en zor, hatta bazı açılardan olanaksız tek sistem insandır. Aracın teknolojisi, bilimin olanaklarıyla en

güvenli ve en sağlam hale getirilebilir. Çevre, trafik mühendisliğinin son bilgi birikimiyle her gün daha da güvenli olabilir. Ancak tüm bu gelişmeler, en son teknolojiyle üretilmiş araçlarla, en son gelişmelere göre planlanmış ve yapılmış karayollarında meydana gelen kazaları önleyememektedir.

Trafikle ilgili insan yaşamını etkileyen en önemli sorun, bilim ve teknolojiadaki gelişmelere rağmen meydana gelen kaza oranlarındaki artıştır. Buradaki en önemli sorun, çevre ve araçla uyum sağlayamayan insan, yani sürücüdür.

Trafik kazaların incelenmesi sonucunda; kazaların %90'ından fazlasının insan faktöründen kaynaklandığı tespit edilmiş olup, sürücü, yaya ve yolcu olarak üç şekilde trafiğin içinde yer almaktadır [21]. Diğer sebepler ise taşıt, yol ve çevre-iklim şartlarıdır. Çok küçük bir orana sahip yaya ve yolcu faktörlerini saymazsak, trafik kazalarında başat faktör olarak sürücüler karşımıza çıkmaktadır. Trafik polisinin düzenlediği kaza tespit tutanaklarından derlenen istatistik verilerine göre Türkiye'de trafik kazalarının baş sorumlusu olarak sürücüler gösterilmektedir. 1997 yılına ait verilerde sürücülerin kazalardaki nedensellik oranı % 96,61; 1998 yılına ait verilerde ise % 96,48 olarak belirlenmiştir [3]. Yapılan araştırmalar, diğer ülkelerde de benzer bir durumun olduğunu ortaya koymaktadır [4,5].

Kazalardaki sürücü faktörü ile ilgili iki husus öne çıkmaktadır:

- Sürücülük becerileri (taşıt kullanma becerileri)
- Sürüş stili (taşıt kullanma tarzı)

Sürücülerin taşıt kullanma tarzlarını etkileyen psikolojik faktörleri ve bu faktörlerin iyileştirilmesine yönelik çözümleri, bu konuda uzmanlaşmış trafik psikologlarına bırakacak olursak, sürücülere 'güvenli sürücülük' becerilerinin kazandırılması amacıyla; sürücü eğitiminde kullanılan benzetim araçları (simülatörler) ve trafik ortamının gerçekçi bir şekilde bilgisayar vasıtası ile canlandırılması için geliştirilen sürücü davranış modelleri bu çalışmanın ilgi alanındadır.

## 2.2. Trafik Güvenliği ve Sürücü Eğitimi Arasındaki İlişki

Genel olarak, taşıt kullanma faaliyeti iki ayrı boyut olarak görülebilir: Sürücülük becerileri ve sürüş stili. Trafik güvenliğinde bireysel farklılıkları inceleyen araştırmacılar, öncelikli olarak sürücülük becerileri ve sürüş stili arasında bir ayırım yapmaktadırlar [22]. Sürücülük yada taşıt kullanma becerileri, taşıt kullanmak için gerekli olan teknik bilgi ve becerileri içermektedir. Sürücülük becerileri, daha çok sürücünün taşıt kullanmada ne oranda yetkin ve deneyimli olduğunu ve bu becerileri etkin olarak kullanmak için mesafe tahmini, çevresel algı, seçici dikkat, refleks ve tepki süresi gibi psiko-motor ve bilişsel özelliklerin düzeyini tanımlamakta kullanılır. Sürüş stili ise, sürücülerin taşıt kullanırken bilinçli (kontrollü) yada otomatik (kontROLSÜZ) olarak başvurdukları taşıt kullanma tarzı olarak tanımlanabilir [23].

Sürüş stili, sürücünün taşıt kullanmada başat alışkanlık olarak tercih ettiği ve bir anlamda sürücülükte kendini ifade etme aracı olarak kullandığı hız yapma, yeterli takip mesafesi bırakma, emniyet kemerini kullanma yada trafik kurallarını ihmal etme gibi doğrudan ulaşım güvenliği ve kaza riskiyle ilgili tutum ve davranışları kapsar. Sürücü becerileri, bilişsel süreçler ve motor beceriler ile ilişkili iken; sürüş stili ise, sürücünün kişilik özelliklerini, tutumlarını ve güdülerini yansıtmaktadır [24].

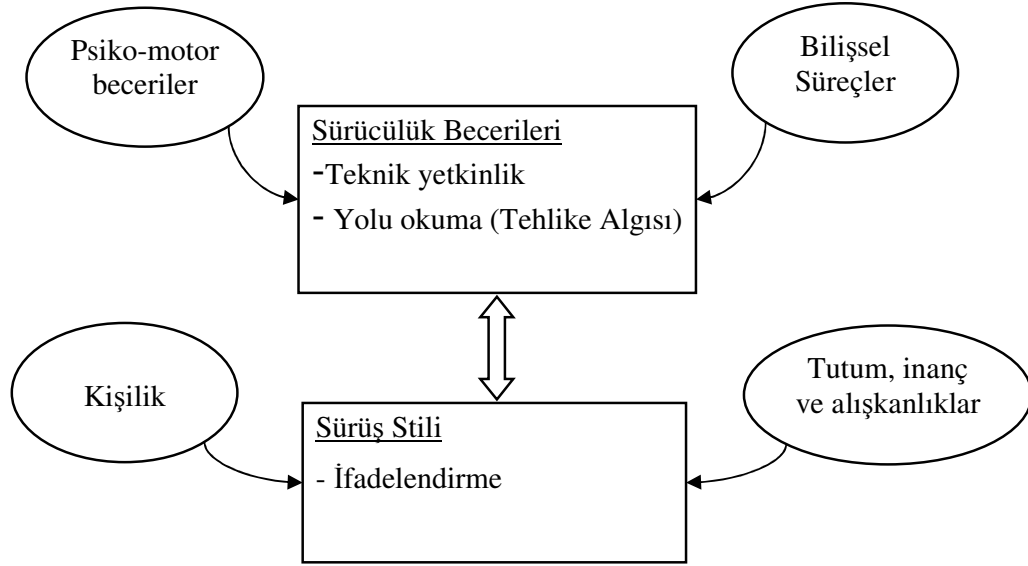
Sürücülük becerileri ve sürüş stili gerçek trafik ortamında bazı yönleriyle sürekli etkileşen unsurlar olarak gözlenir. Genellikle, sürücülük deneyiminin başında beceriler ön plana çıkarken, zamanla bu becerileri ifade etme tarzı olarak davranışlar, sürücülüğü tanımlayan temel öğeler olarak şekillenir. Bu nedenle, becerilerden alışkanlıklara yada davranışlara geçişi gelişimsel aşamalar içinde ele almak gerekir.

Taşıt kullanmayı öğrenmek üç aşamadan oluşan bir süreçtir [25]. Birinci aşama, “teknik yetkinlik” evresi olarak tanımlanmaktadır. Bu aşamada sürücü, aracı kontrol etme, direksiyon hareketlerini öğrenme, durma, kalkma, sinyal verme vb. taşıt kullanmada teknik olarak bilinmesi ve uygulanması gereken kurallar silsilesini öğrenir ve bunları otomatik beceriler olarak geliştirmede yetkinleşir. İkinci aşama, “yolu okuma” [tehlike algısı] evresi olarak da tanımlanır. Bu aşamada, sürücü trafik

ortamını tarama, tehlikeleri algılama ve bekleme gibi [bilişsel] süreçleri otomatikleştirir. “İfadelendirme” aşaması olarak tanımlanan son evrede ise sürücü kendi kişilik özelliklerine (örn., heyecan arama), toplumda yaygın tutum ve normlara (örn., sosyal ve sağlık) göre bir taşıt kullanma tarzı belirler ve onu kullanır. Becerileri davranışlara bağlayan bu aşama, sürüş stiline kazanıldığı ve davranışların otomatikleşerek alışkanlıklara dönüştüğü aşamadır.”

Trafik güvenliği için, sürücü davranışını anlamak ve açıklamak adına sürücünün bilişsel süreçlerine değinmek gerekir. Taşıt kullanmanın, çeşitli bilişsel ve motor yeteneklerin kullanılmasına dayalı algısal bir görev olduğunu söyleyebiliriz. Sürücülerin taşıt kullanırken trafik ortamına dikkat etmeleri, ortamı doğru anlamaları, olası risk ve tehlikeleri zamanında görebilmeleri ve değişen koşullara zamanında tepki verebilmeleri gerekir. Bu işlevlerin yerine getirilmesi ise, problem çözme, karar verme, farkındalık, görsel, mekansal ve çevresel ipuçlarına yönelik algı ve dikkat gibi bilişsel süreçlerin etkin şekilde kullanımına bağlıdır [26].

Yukarıda yapılan tanımlamaları birleştirecek olursak; sürücülük becerilerinin, teknik yetkinlik ve yolu okuma aşamalarını kapsadığını, çeşitli bilişsel süreçler ve psiko-motor becerilerin etkin bir şekilde kullanılmasına dayalı olduğunu; sürüş stiline ise, ifadelendirme aşamasını kapsadığını, sürücünün kişilik özellikleri ile toplumda yaygın tutum ve normlarla şekillendiğini; ayrıca, sürücülük becerileri ve sürüş stiline gerçek trafik ortamında sürekli etkileşen unsurlar olduklarını söyleyebiliriz. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Sürücülük faktörü ve taşıt kullanmayı öğrenmenin aşamaları arasındaki ilişki

### 2.3. “Güvenli Sürücülük” Becerisi

Güvenli trafik sistemi, genellikle kaza sayısının en aza inmesini sağlayan sistem olarak tanımlanır. Benzer şekilde, güvenli sürücü de kazaya neden olmayan kişi olarak tanımlanmaktadır [26]. Güvenli sürücülük becerisi, bu iki tanıma paralel olarak, kazalardan kaçınma ve güvenli sürücülüğü aktif olarak sürücü davranışlarına yansıtma yeteneğine karşılık gelmektedir. Aşağıdaki maddelerin “Güvenli Sürücülük Becerilerini” temsil ettiği bulunmuştur [27].

- Hız sınırlarına uyma
- Gereksiz risklerden kaçınma
- Yeterli takip mesafesi bırakma
- Sabırsızlanmadan yavaş bir aracın arkasından sürme
- Trafik ışıklarına dikkatle uyma

Güvenli sürücülük becerisi, teknik yetkinlik aşaması ve yolu okuma (tehlike algısı) becerisini kapsayan “sürücülük becerileri” ile yakından ilişkilidir. Birçok çalışmada,

sürücülük becerilerinin dikkat, kontrollü hız, tepki süresi, taşıt takibi mekan ve hareket algısı, çarpışma tahmini algısı gibi birçok bilişsel süreçle yakından ilişkili olduğu gösterilmektedir [26]. Diğer bir deyişle, bilişsel ve motor beceriler sürücülük becerileriyle pozitif korelasyon göstermektedir. Ancak bunun anlamı, güvenli sürücülük becerilerinin de her zaman artacağı anlamını taşımamaktadır. Örneğin, trafik ortamında sürücünün görüş alanına giren uyarıcıları değerlendirebilmesi için görsel keskinlik önemli bir bilişsel değişkendir. Görsel keskinliği en yüksek olduğu yaş grubu ise 18-25 yaş grubudur. Trafik kazalarına yönelik istatistikler incelendiğinde, görsel keskinliğin en yüksek olduğu 18-25 yaş grubundaki sürücülerde kaza oranının da en yüksek olduğu görülmektedir [28].

Güvenli sürücülük becerisi, sürüş stili ile de yakından ilişkilidir. Sürüş stili, genellikle taşıt kullanırken sergilenen olumsuz (sapkın) sürücü davranışları ölçülerek araştırılmaktadır. Söz konusu olumsuz sürücü davranışları genel olarak trafik ihlalleri, hataları ve ihmalleri olarak üç grupta toplanmaktadır [27]. Yapılan araştırmalar, ihlallerin başta kaza sıklığı olmak üzere, alınan cezalar ve yaralanmalar gibi her türlü riski en iyi kestiren (yordayan) değişken olduğunu göstermektedir [23].

Olumsuz sürücü davranışları, genellikle sürücülük becerilerinin kazanıldığı, yani taşıt kullanmanın öğrenildiği acemilik döneminde gelişmekte ve pekiştirilmektedir. Güvenli sürücülükten çok beceriye vurgu yapan sürücü eğitim sistemi bu olumsuz davranışların pekiştirildiği ortamların başında gelmektedir. Bu nedenle, taşıt kullanmanın öğrenildiği ilk yıllarda olumsuz tutum ve davranışlar yerleşmeden yapılacak müdahaleler sürüş stiline değiştirilmesinde en etkili yöntemdir. Bunu göz önüne alarak bazı batı ülkelerinde sürücülük belgesi başlangıçta geçici olarak verilmekte, aday güvenli sürücü olduğunu trafik kayıtları ile kanıtlaması durumunda (örn., iki yıl içinde belirli cezaları almayanlar gibi) sürücü belgesini kalıcı olarak alabilmektedir [29].



## 2.4. “Tehlike Algısı” (Yolu Okuma) Becerisi

Sürücülerin güvenli bir şekilde taşıt kullanabilmeleri için, trafik ortamına dikkat etmeleri, ortamı doğru anlamaları, olası risk ve tehlikeleri zamanında algılayabilmeleri ve değişen koşullara zamanında tepki verebilmeleri gerekir.

Güvenli sürücülüğün belirleyicilerinden olan ve bir anlamda “yolu okuma” becerisi diyebileceğimiz “tehlike algısı” becerisi, sürücülük becerileri teknik yetkinlik düzeyinde gelişmiş sürücülerin gerçek trafik ortamındaki tehlikeyi/riski önceden algılayarak gerekli önlemleri alma becerisine karşılık gelmektedir.

Trafikte tehlike algısı, en genel anlamda sürücülerin yoldaki potansiyel tehlikeleri nasıl algıladığı, yorumladığı ve buna nasıl ve hangi hızda tepki verdiğiyle ilişkilidir. Bu nedenle, tehlike algısı literatüründe en yaygın kullanılan model, potansiyel tehlikeye yönelik dört temel aşamanın işlenmesi sürecine dayanır [30]. Buna göre ilk olarak sürücünün potansiyel tehlikeyi algılaması yada fark etmesi gerekir. İkinci aşamada sürücü algıladığı potansiyel tehlikenin ne derece güvenliğe bir tehdit olarak gördüğü ve tepki vermeye gerek duyulup, duyulmadığına karar vermesi gerekir. Sürücü tepki vermeye gerek duymuşsa, üçüncü aşamada tehlikeye karşı alınacak en uygun önlemi yada eylemi seçmesi gerekir. Son aşamada ise, seçilen eylem uygulamaya geçilir.

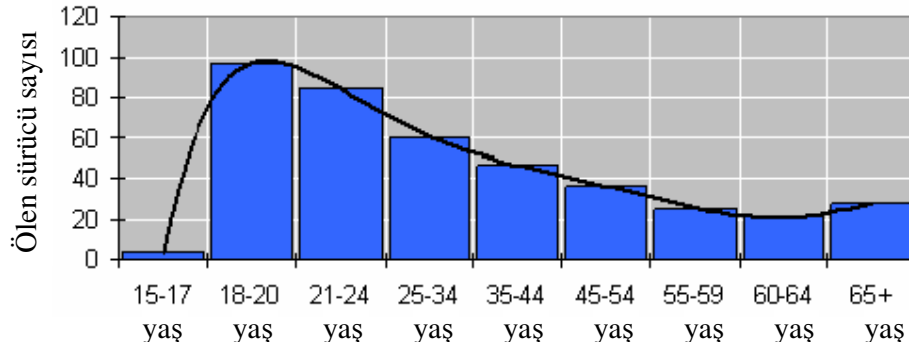
Geçmiş araştırmalar, tehlike algısı becerisinin sürüş deneyimiyle birlikte arttığını, acemi sürücülerle karşılaştırıldığında, tehlike algısı gelişmiş deneyimli sürücülerin,

- Trafik ortamını ve yolu doğru ve sistemli bir şekilde taradıklarını,
- Güvenli takip mesafesi bıraktıklarını,
- Doğru tahmin ve planlama yaptıklarını,
- Yolun durumuna uygun olarak hızlarını ayarlayabildiklerini,
- Tehlikeleri daha erken gördüklerini,
- Başka sürücülerin hatalarını telafi edebildiklerini göstermektedir [31].

## 2.5. Trafik Güvenliğini Sağlamada “Acemi Sürücü” Eğitiminin Önemi

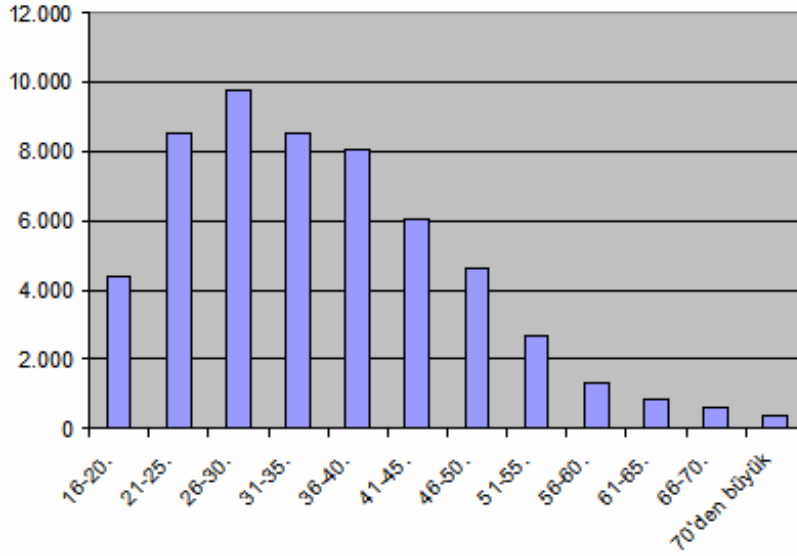
Ehliyeti aldıktan hemen sonra, yeterince deneyim kazanmadan yollara çıkan acemi sürücülerin kaza yapma olasılığı deneyimli sürücülerden çok daha yüksektir [31]. “Acemilik” olarak açıklanan bu durum, gerçekte taşıt kullanmayı teknik yetkinlik düzeyinde, sadece manevra kabiliyeti yada araçla beden arasındaki motor eşgüdüm düzeyinde öğrenen sürücünün, trafik ortamındaki tehlikelerin ve risklerin neler olduğuna, bu tehlikelerle ne sıklıkta karşılaştığına ve bunlara karşı nasıl önlem alınacağına ilişkin bir beklenti yada algıya sahip olmamasıyla ilişkilidir.

Avustralya’da toplam sürücülerin sadece %15’ini oluşturan 16-24 yaş arası sürücüler, ölümlü kazaların %35’ini, yaralanmalı kazaların ise %50’sini yapmaktadırlar [31]. OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)’ ye üye ülkelerdeki farklı yaş gruplarındaki nüfus dikkate alınarak yapılan hesaplamalara göre 1.000.000 kişi başına düşen ölüm oranı benzer bir durum ortaya koymaktadır [1] (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. 2003 yılında OECD ülkelerinde, 1.000.000 nüfus başına ölen taşıt sürücüsü sayısının farklı yaş gruplarına göre dağılımı [1]

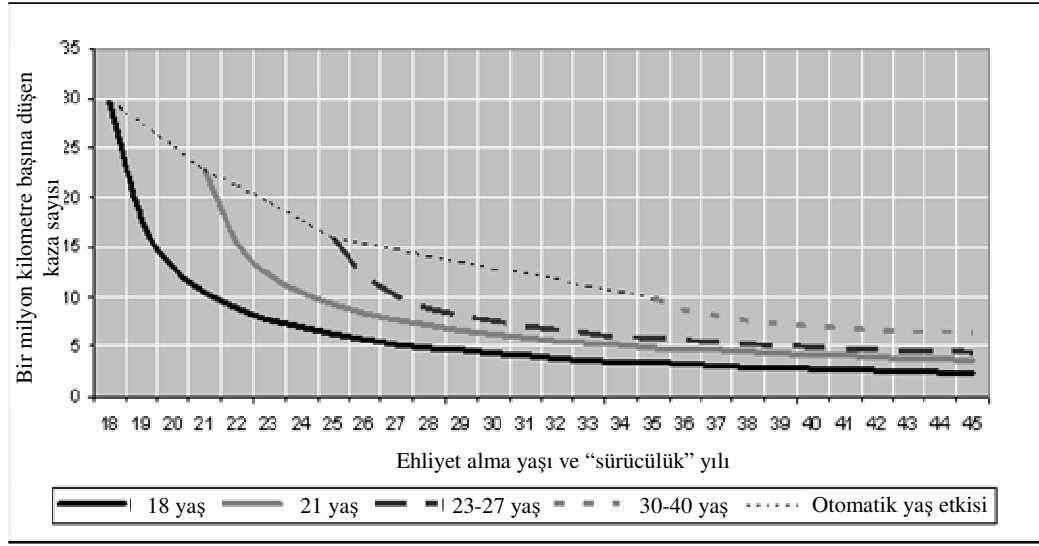
2002 Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) Trafik İstatistik Yıllığı verilerine göre, ülkemizde gerçekleşen kazaların büyük çoğunluğu ilk deneyim yıllarında gerçekleşmektedir [28] (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. 2002 EGM Trafik İstatistik Yıllığı verilerine göre, dört yıllık yaş grubu aralıklarında, sürücülerin sebebiyet verdiği ölümlü kaza sayısı [28]

Yukarıdaki verilerden, genç yaştaki sürücülerin ileri yaştakilere nazaran daha çok kazaya karışmasının sebebi, gençlikten kaynaklanan olumsuz sürücü davranışlarından mı, yoksa “acemilikten” mi kaynaklandığı anlaşılamamaktadır. Bu soruya cevap niteliğinde olan, çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, İsviçre’de 18-19 yaş grubundaki yeni ehliyetli sürücülerin yaptıkları kaza sayısının, taşıt kullanma deneyimi sekiz aya yaklaştığında %50 azaldığı bulunmuştur [31]. Başka bir çalışmada ise, deneyimsiz sürücülerin en çok ilk iki ayda kaza yaptıkları ve altı aydan sonra kazaya karışma oranının düşmeye başladığı bulunmuştur [32].

Bu konuyla ilgili Hollanda’da yapılan başka bir çalışmada ise, sürücü belgesi alma yaşı arttıkça kaza yapma riskinin azaldığı görülmekle beraber, sürücülük deneyiminin artmasının yapılan kaza sayısının azalmasında çok daha önemli olduğu görülmüştür [1] (Şekil 2.4).



Şekil 2 4. Ehliyet alma yaşı ve “sürücülük” yılı ile bir milyon kilometre başına düşen kaza sayısı arasındaki ilişki [1]

Taşıtı kontrol etme, direksiyon hareketlerini öğrenme, durma, kalkma, sinyal verme vb. gibi teknik yetkinlik düzeyindeki sürücü becerilerini öğrenmek nispeten daha kolay ve birkaç saatlik bir eğitime ihtiyaç duyarken, sürücülerden trafik ortamındaki kritik ipuçlarını okuyabilme, belirli durumlar için beklentiler geliştirebilme, olası riskleri yada tehlikeleri doğru algılayabilme ve uygun önlemler alma gibi yolu okuma becerilerinin geliştirmesi bazen yıllar sürmektedir [1].

Deneyimli sürücülerde, sürücülük becerileri pratik yaptıkça otomatikleşmekte ve alışkanlık haline gelmektedir. Bunun sonucu olarak deneyimli sürücüler, acemi sürücülere oranla araç sürme faaliyetine daha az zihinsel kapasite ayırmakta, bununla birlikte radyoyu açma, yanındakiyle konuşma gibi ek işleri rahatça yapabilmektedir. Bu sınırlama nedeniyle, araç sürme faaliyeti sırasında aniden gelişen beklenmedik durumlar ve beliren tehlikeler acemi sürücüler için daha ciddi bir tehdit oluşturmakta ve daha çok kazalara sebebiyet vermektedir [1,7]. Acemi sürücülerde gözlemlenen ve deneyimsizlikten kaynaklanan diğer bir zorluk da, trafik ortamını tarayarak, muhtemel tehlikeleri algılayamamaları ve gerekli tepkileri zamanında verememeleridir. Acemi sürücüler, tek tek tehlikelere “kilitlenirken”, deneyimli sürücüler, ortamı bir bütün olarak tarar ve algırlar.

Yukarıda sunulan veriler göstermektedir ki, sürücü adaylarının trafiğe çıkabilecek düzeyde deneyime ulaşmaları ve “acemilik” dönemlerindeki kazaya karışma oranlarının azaltılması için, daha etkili sürücü eğitimi verilmesini sağlayacak yeni yeteneklerin geliştirilmesine, gerektiğinde sürücü eğitiminin yeniden yapılandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2.6. Türkiye’deki Mevcut Sürücü Eğitiminin Yapısı

Türkiye’de gerekli eğitimi sağlayarak taşıt sürücüsü yetiştirmek ve yetiştirenlere sürücü belgesi vermek görev ve yetkisi, 1987 yılında özel sürücü kurslarına verilmiştir. Bu kurslarda, dersler teorik eğitim ve direksiyon eğitimi olarak iki ayrı alanda verilmektedir. Teorik dersler ve direksiyon eğitimi dersleri haftanın her gününe dengeli olarak dağıtılmaktadır. Sürücü belgesi sınıfına göre belirlenmiş ders saatleri Çizelge 2.1’ de belirtilmiştir;

Çizelge 2.1. Türkiye’de sürücü eğitiminin ders konuları ve süreleri [3]

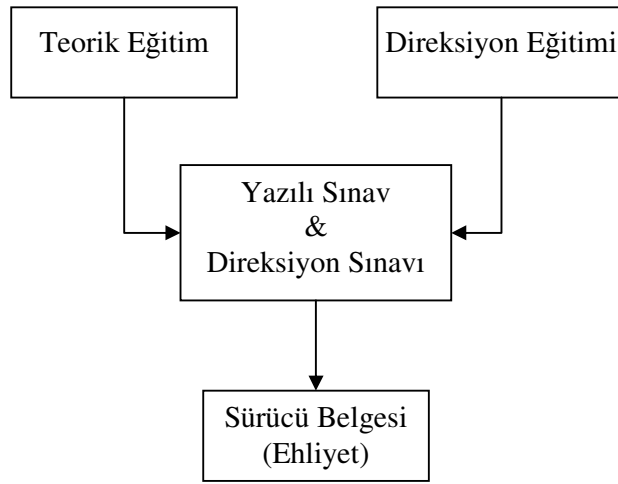
Kurs Sınıfı	Ders Konuları ve Süresi (saat)			
	Trafik ve Çevre Bilgisi	İlk Yardım	Motor ve Araç Tekniği Bilgisi	Direksiyon Eğitimi
“A1”,”A2”	20	12	5	10
“B”	35	12	16	20
“C”,”D”,”E”	35	12	20	45
“F”	20	12	10	10
“G”	20	12	-	-
“H”	35	12	-	16

Teorik eğitimini tamamlayan kursiyerler debriyaj ve çift frenli özel araçlarda, direksiyon eğitimine tabi tutulmaktadırlar. Bu eğitimin yarısı temel becerilerin uygulandığı çalışma alanlarında aracın çalıştırılıp, sürülmesine ayrılır. Diğer yarısı ise il ve ilçe komisyonlarınca belirlenen güzergahlarda, akan trafikte yapılmaktadır.

Eğitimlerini tamamlayan sürücü adayları Milli Eğitim Bakanlığı’nın düzenlediği, Motorlu Taşıtlı Sürücü Adayları sınavına katılırlar. Bu sınavda adayların ilk yardım,

Trafik ve Çevre, Motor ve Araç Tekniği konularında, teorik eğitim boyunca öğrendikleri bilgiler test edilir. Teorik bölümü başarmak için her üç bölümden 100 puan üzerinden 70 puan almak gereklidir. Teorik sınavı başarıyla tamamlayanlar, direksiyon sınavına katılırlar. Bu sınav, gerçek araçlarla, şehir trafiğinde yapılır ve değerlendirmede adayların çeşitli sürüş becerileri konusundaki yeterlilikleri ölçülür. Her kursiyere uygulanacak direksiyon sınavı 15 dakikadan az olamaz.

Türkiye’deki sürücü eğitiminin yapısı Şekil 2.5’ deki gibidir [33].



Şekil 2.5. Türkiye’deki sürücü eğitiminin yapısı [33]

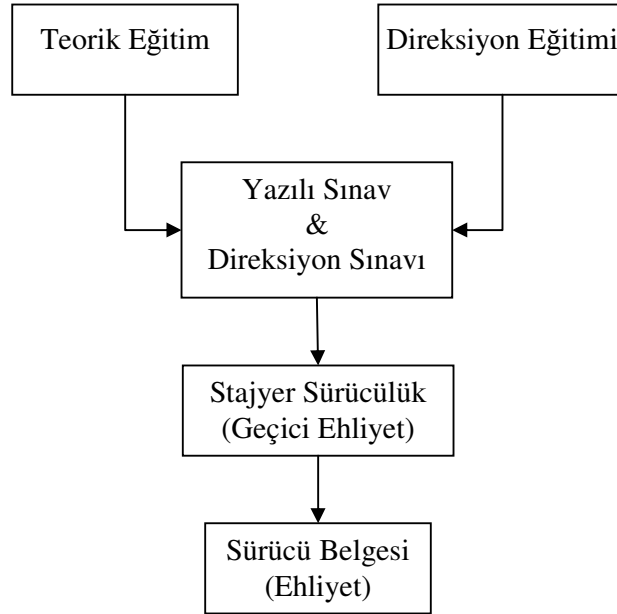
Türkiye’deki sürücü kurslarında uygulanan ve teorik derslere ağırlık veren eğitim sistemi, adayları sürücü belgesi almaya hak kazanmak için motive etmektedir. Bunun sonucunda, adaylar sadece sürücü sınavını geçmeye yarayacak bilgileri öğrenirler. Bununla birlikte, direksiyon eğitimi için ayrılan sürenin teorik eğitime oranla az olması ve pek az sürücü kursunda uygulamalı eğitim verebilecek özel pistin mevcut olması, sürücü adaylarının “teknik yetkinlik” düzeyinde sürücü becerilerini kazanmalarına ve sürücü belgesi almaya yetecek kadar direksiyon eğitimi almalarına; ancak, “güvenli sürüş” için gerekli olan ve yapılan araştırmalara göre sürüş deneyimi arttıkça gelişen yolu okuma (tehlike algısı) becerilerini kazanmak için, gözetim altında yeterli direksiyon eğitimi alamamalarına sebep olmaktadır [33].

## 2.7. Diğer Ülkelerdeki Sürücü Eğitiminin Yapısı

Bazı Avrupa Birliği üyesi ülkelerin yanı sıra ABD, Kanada gibi diğer bazı ülkelerin verdikleri eğitim ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Sürücü eğitimi genellikle sürücü okullarında teorik ve pratik olarak iki ayrı alanda verilirken, ders saatleri ve yaş sınırlarında farklılıklar mevcuttur [29].

Sürücü eğitimi farklı ülkelerde çeşitli şekillerde düzenlenmiştir. Ülkelerin bir çoğunda yetki verilmiş sürücü okullarında eğitim görmek zorunludur. Bazı ülkeler diğer başka düzenlemeler de ortaya koymuştur. Aşağıda, bu düzenlemelerin en önemlilerinden ikisi anlatılacaktır.

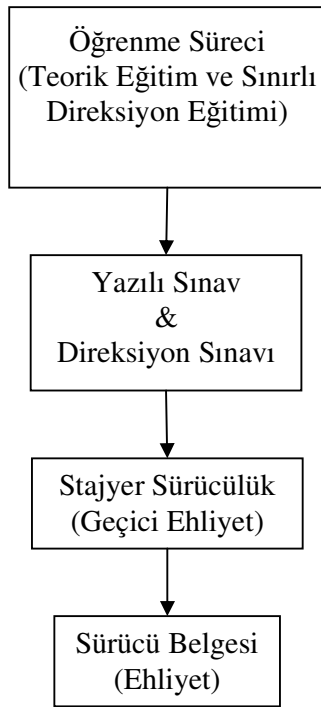
*Gözetmen Nezaretinde Sürücü Eğitimi Sistemi:* Bu sistemde, sürücü okulundaki eğitiminin birinci bölümünün akabinde öğrenci, okul ve gözetmen arasında bir sözleşme yapılır. Öğrenci ancak belirli bir süre (genellikle iki yıl kadar) gözetmen nezaretinde trafiğe çıkabilir. Gözetmen nezaretinde sürücülük esnasında öğrenci gözetmenle birlikte düzenli olarak ileri düzey eğitime devam eder (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Gözetmen nezaretinde sürücü eğitiminin yapısı [29]

Gözetmen Nezaretinde Sürücü Eğitim Sistemi Avusturya, Almanya, İzlanda, Norveç, Portekiz, Finlandiya ve İsveç gibi bir çok ülkede halen uygulanmaktadır. Bu sistemin avantajı, öğrencinin eğitim esnasında sürücülük deneyimini kazanmasıdır. Bu sürücülük deneyimi sürücü belgesi alınmasından sonraki kısa dönem için çok yararlı olmaktadır.

*Öğrenme Süreçli Sürücü Eğitimi Sistemi:* Bu sistem belirli koşullar altında, öğrenci sürücüye sınavdan önce trafikte pratik yapma olanağı sağlayan sürücü belgesi sistemidir. Bu sistem de genellikle bir gözetmen gerektirmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Öğrenme Süreçli Sürücü Eğitiminin Yapısı [29]

Öğrenme Süreçli Sürücü Eğitim Sistemi ABD, Kanada, Avustralya ve Yeni Zellanda' da halen uygulanmaktadır. Bu sistem, öğrencilere belge almadan önce sürüş tecrübesi kazandırma olanağını ve belge aldıktan sonra da daha güvenli araç kullanmalarını sağlamayı amaçlamaktadır.



Ancak, yukarıda bahsi geçen her iki sürücü eğitim sisteminde yer alan, gözetmen nezaretinde sürücülük safhasının, eğitim esnasında gerçek trafik ortamındaki tehlikelere maruz kalındığından, yolu okuma (tehlike algısı) becerilerini kazandırmakta emniyetli bir yol olduğu söylenemez.

### **3. TRAFİK ORTAMININ MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU**

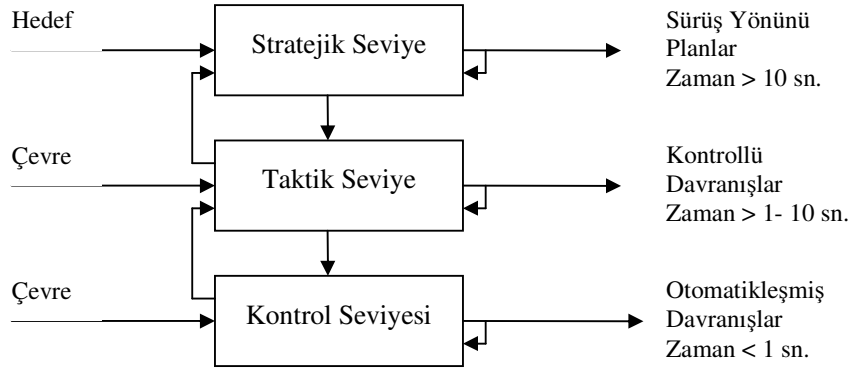
Bir sistem hakkında bilgi edinmek veya işleyişini öğrenmek için öncelikle o sistemin bir şekilde modelini üretmek gerekmektedir. Simülasyon uygulamalarının çekirdeğini, kullanılan model veya modeller oluşturmaktadır. Kavram olarak model; bir fikrin, sistem veya nesneye ait özelliklerin ve davranış karakteristiklerinin, bir kısmının veya tamamının başka bir şekilde (genellikle basitleştirilmiş bir şekilde) temsil edilmesidir [34].

Benzetim, literatürde bir çok tanımı olmasına karşın, bu çalışma ile ilgili olarak kısaca; sistemi (trafik sistemini) temsil eden modelin (bilgisayar modelinin) belirli bir zaman ve mekan içerisinde (bilgisayar ortamında) oynatılarak (koşturularak), sistem içindeki etkileşimlerin model vasıtasıyla canlandırılmasıdır.

Trafik ortamı gibi bir çok dinamik etmenin (araç sürücüleri, yayalar, trafik ışıkları vb.) rol aldığı büyük çaplı benzetimlerde, etkili bir eğitim ortamı sağlanabilmesi için, söz konusu etmenlerin belli seviyede otonomiye sahip olmaları ve bu sayede belli kurallar çerçevesinde özgün ve gerçekçi davranış biçimlerini, otomatik olarak üretmeleri ve benzetim ortamında sergilemeleri gerekmektedir.

#### **3.1. Taşıt Sürme Faaliyeti (Driving Task)**

Taşıt sürme faaliyeti, sistem kuramına göre; dinamik ve karmaşık bir sistem olan trafik ortamında, dengede kalmak için sürekli bir uyum ve adaptasyon sürecini gerektiren iştir [5,35]. Yıllardır insanların nasıl araç sürdüklerine dair birçok araştırma yapılmıştır. Araştırmalar, sürücülerin araç sürme faaliyetini, üç farklı seviyede tanımlanan görevleri yerine getirerek gerçekleştirdiklerini göstermiştir [36] (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Taşıt sürme faaliyetine ilişkin görevlerin genel yapısı

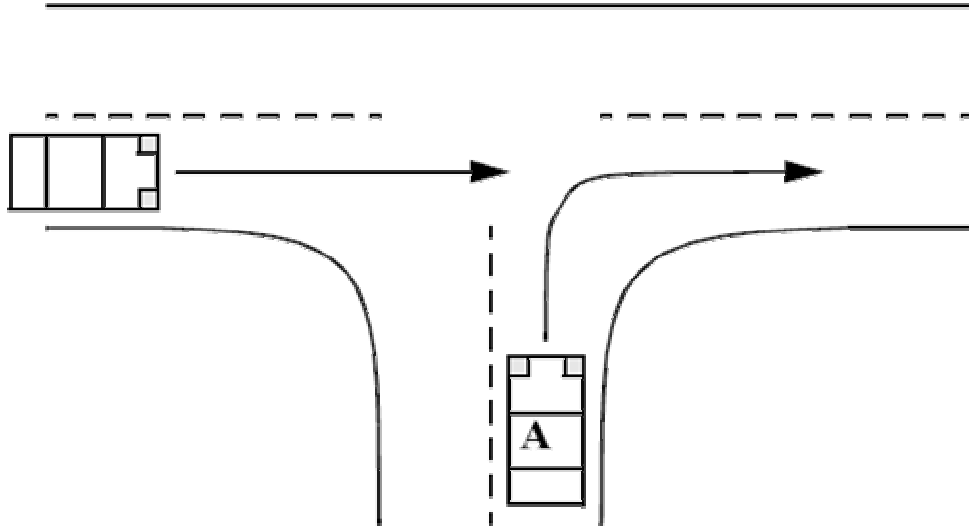
**Stratejik seviye:** Sürücü, hangi ulaşım aracını süreceğini, araç sürmek ile ilgili nihai hedefinin ne olduğunu belirlemekte ve hedefine ulaşmak için gideceği yönü tayin etmektedir. Bu seviyede aldığı kararlar, sürücünün hedeflerinden ve çevreden etkilenmektedir.

**Taktik seviye:** Sürücü, trafik ortamında karşısına çıkan ve yönetmesi gereken, örneğin kavşaklardan geçmek, öndeki aracı güvenli bir mesafeden takip etmek, şerit değiştirmek, sollama yapmak gibi durumlar ile ilgili kısa süreli hedefler belirlemekte ve bu amaçla aracına manevra yaptırmaktadır. Bu seviyede sürücü, öncelikle etrafındaki diğer sürücülerle ve trafik işaretleriyle ilgilenmektedir. Sürücü, davranışlarını o anda gelişen duruma göre belirlemekte, ancak stratejik seviyedeki hedefinden de etkilenmektedir.

**Kontrol seviyesi:** Sürücünün, stratejik ve taktik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda araca manevra yaptırmak için gerekli olan kontrol faaliyetlerini otomatik olarak gerçekleştirdiği seviyedir. Sürücü bu seviyede, manevranın nasıl uygulanacağına karar verir (direksiyonu ne kadar çevireceği, gaz/fren pedalına ne kadar basacağı gibi).

Her seviyedeki taşıt sürme faaliyeti, Şekil 3.1’de belirtilen hiyerarşiye uygun olarak, diğer seviyelerle etkileşim içindedir. Bu durum, Şekil 3.2’de bir örnekle açıklanmıştır.

Şekil 3.2’de gösterilen durumda ‘A’ taşıtının sürücüsü, hangi yöne döneceğine (stratejik seviye); sol taraftan yaklaşan taşıtın geçmesini bekleyip, beklemeyeceğine (taktik seviye); fren pedalına ne kadar kuvvet uygulayacağına ve direksiyon simidini ne kadar döndüreceğine (kontrol seviyesi) karar verip, uygulamaktadır.



Şekil 3.2. ‘A’ taşıtının T - şeklindeki kavşağa yaklaşma durumu

### 3.2. Trafik Simülasyonunda Kullanılan Modeller

Bilgisayarlar, 1950’li yılların ortalarından itibaren trafik sistemlerinin simülasyonunda kullanılmaya başlanmıştır [10]. O zamandan bugüne kadar geçen sürede bilgisayar simülasyonu, trafik sistemi ile ilgili konular üzerine yapılan çok çeşitli bilimsel çalışmalarda, planlama, eğitim ve sunumlarda kullanılan bir araç haline gelmiştir.

Trafik ortamının canlandırılmasına yönelik bilgisayar simülasyonlarında kullanılan modeller, detay seviyelerine göre dört farklı sınıfa ayrılırlar [10,37]:

- Makro-Simülasyon modelleri
- Mikro-Simülasyon modelleri
- Meso-Simülasyon modelleri
- Nano-Simülasyon modelleri

*Makro-Simülasyon* modellerinin geliştirilmesinde, gözlemlenebilen sistem davranışları üzerine odaklı, yukarıdan-aşağıya doğru modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır. Makro-simülasyon modelleri, trafikteki araçların tek tek modellenmediği, bunun yerine bir bütün olarak ele alındığı; trafiğin, akış yoğunluğu, ortalama hız gibi kavramlarla tanımlandığı, genellikle akışkanlar dinamiğinden türetilmiş olan matematik modellerdir. Bilgisayar üzerinde koşturulma süreleri bir avantaj olsa da, trafik ortamı gibi bir çok açıdan doğrusal (lineer) olmayan ve başlangıç koşullarına çok duyarlı olan karmaşık sistemlerin incelenmesinde yetersiz kalmaktadırlar ve sadece ideal koşullar altında, sistem davranışlarının incelenmesine yardımcı olabilirler. Bu modeller genellikle, geniş ölçekli karayolu ağlarındaki trafiğin incelenmesinde; trafik yoğunluğu ve araçların sebep olduğu hava kirliliği gibi problemlerin, ideal koşullar altındaki analizinde kullanılmaktadırlar.

Gerçek yaşamdaki trafik ortamı ise, her biri özgün davranış karakteristiklerine sahip, farklı sürücüler tarafından sürülen farklı tipteki araçların birbirleriyle ve ortamdaki diğer zeki etmenlerle (yayalar, trafik kontrol sistemleri vb.) etkileşimlerini ihtiva etmektedir ve trafik sisteminin bir sonraki durumunu tahmin etmek neredeyse imkansızdır. Örneğin, trafikte ilerleyen bir aracın arızalanması yada kaza yapması sonucu trafiğin tıkanmasını önceden belirlemek çok zor, hatta imkansızdır.

Potansiyel olarak, makro-simülasyon modellerine nazaran daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayan *mikro-simülasyon* modellerinin geliştirilmesinde ise, incelenen sistemin, kendini oluşturan küçük parçaların/alt-sistemlerin büyük bir kümesi olarak ele alındığı, aşağıdan-yukarı doğru modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır.

Bu modelleme yaklaşımında odak noktası, sistemi oluşturan alt-sistemlerin belirlenmesi, bu alt-sistemlere ait özgün niteliklerin, davranışların ve diğer alt-sistemlerle aralarındaki yerel etkileşimlerin tanımlanmasıdır. Ana sistemin davranışı, söz konusu alt-sistemlerin özgün davranışlarının ve kendi aralarındaki yerel etkileşimlerin sonucu gelişerek ortaya çıkmaktadır [12,38]. Trafik sistemi söz konusu olduğunda, her bir araç (sürücüsü ile birlikte), yaya, trafik ışığı yada karayolu birer alt sistem olarak ele alınabilir. Örneğin, trafikte ilerleyen bir her hangi bir aracı ele

alırsak, söz konusu aracın farklı niteliklere (tip, uzunluk, genişlik, en yüksek hızı, hızlanma ve yavaşlama limitleri gibi) sahip olduğunu; çevresindeki diğer araçlarla, yolla ve yol üzerindeki trafik işaretleriyle sürekli bir etkileşim içerisinde olduğunu; bu etkileşimler sırasında, hızlı gitmek, sık şerit değiştirmek, yakın takip mesafesi bırakmak gibi kendine özgü davranış karakteristikleri sergilediğini gözlemleyebiliriz.

Bu iki temel modelleme yaklaşımının yanı sıra, bu modelleme yaklaşımlarının türevi sayılabilecek nitelikte olan meso-simülasyon ve nano-simülasyon modelleri de trafik ortamının modellenmesinde kullanılmaktadır.

*Meso-simülasyon* modelleri, makro ve mikro-simülasyon modellerinin bir karışımı niteliğindedir; trafikteki araçlar ayrı ayrı modellenmekle birlikte, belli bir karayolu kesiti üzerindeki tüm araçlar aynı niteliklere (tip, hız, uzunluk vb.) ve çevresiyle etkileşiminde basit davranışlar sergileyecek şekilde modellenmektedir.

*Nano-simülasyon* modelleri ise, söz konusu modeller arasında en detaylı olanlarıdır. Mikro-simülasyon modellerinin geliştirilmesinde kullanılan modelleme yaklaşımı temel alınmakla birlikte, nano-simülasyon modellerinde kullanılan araç nitelikleri ve çevre ile etkileşimleri tanımlayan davranış modelleri çok daha fazla değişken içermektedir. Örneğin, motor gücü, lastiklerin sürtünme faktörü, aracın ağırlığı gibi değişkenlerin yanı sıra, sürücünün karar verme süreci ve trafikteki davranış karakteristikleri de bu modellerde detaylı bir şekilde yer almaktadır. Sürücü davranışlarının incelenmesinde ve sürücü eğitiminde kullanılan simülasyonlarda oluşturulan modeller çoğunlukla nano-simülasyon modelleridir.

### **3.3. Trafik Simülasyonunun Kullanıldığı Alanlar**

Trafik ortamının simülasyonu, araştırmacılar tarafından farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu amaçlar arasında en yaygın olanları:

*Trafik ortamının analizi:* Trafik ortamı, daha önce de belirtildiği üzere karmaşık bir sistemdir. Trafik sisteminin en büyük parçası olan çevre ve çevrenin alt parçaları

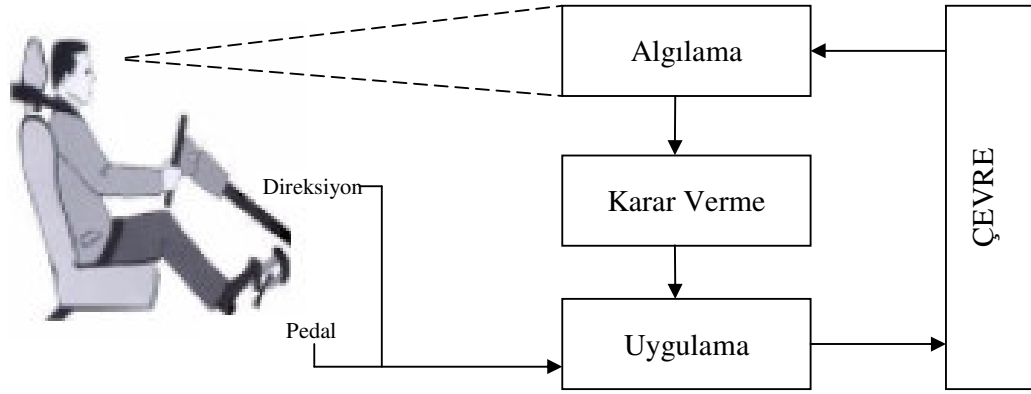
olan yolların, kavşakların, trafik kontrol sistemlerinin yapımı ve geliştirilmesi çoğu zaman maliyetli ve trafik sisteminin işleyişini doğrudan etkileyen faktörler olduğundan, dikkatli bir şekilde ele alınıp değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bilgisayar simülasyonları ile trafik ortamının canlandırılması, bu değerlendirmelerin maliyet etkin bir şekilde yapılmasına olanak vermektedir [39].

*Araç kontrol sistemlerinin test edilmesi:* Trafikteki insan faktörünün en aza indirilmesi amacıyla, her hangi bir insan müdahalesi olmaksızın hareket edebilen zeki araçların (robotların) trafikte yük ve insan taşımacılığında kullanılması fikri birçok araştırmaya konu olmuştur [40]. Çevrelerini çeşitli sensörler vasıtasıyla algılayan ve zeki denetim algoritmaları ile kontrol edilen bu araçların, gerçek yaşamdaki trafik ortamında denenmesi, trafik güvenliği açısından bir tehdit oluşturmaktadır. Bunun yerine, bilgisayarda canlandırılan trafik ortamı, söz konusu araçların test edilebilmeleri için kontrollü ve güvenli bir ortam sunar [41].

*Sürücü davranışlarının incelenmesi ve sürücü eğitimi:* Trafikteki sürücü davranışlarının incelenebilmesi için, yüksek seviyede temsil kabiliyetine, doğruluğa ve detaya sahip trafik simülasyonlarına ihtiyaç vardır [42]. Bu çalışmalar için genellikle, trafik ortamını canlandıran bilgisayar modelinin yanı sıra; sürücünün trafik simülasyonu ile etkileşimini sağlayan geniş bir ekran, direksiyon, pedallar ve vites kolu gibi parçalardan oluşan fiziksel araç modelini de kapsayan benzetim cihazları (simülatörler) kullanılarak yapılmaktadır [11]. Bu tür çalışmalarda kullanılan bilgisayar ve fiziksel modelin, gerçek yaşamdaki trafik ortamı ve insan-araç etkileşimini, en azından yapılan araştırma sınırları içinde gerçekçi bir şekilde temsil etmesi gerekmektedir. Bu maksatla geliştirilen modellerin, uygulama alanı sınırları içinde doğru ve gerçekçi davranışlar sergilediğinin test edilmesi ve gerekli kalibrasyonların yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde, sürücü davranışlarıyla ilgili yanlış sonuçlara ulaşılabileceği gibi, sürücü eğitiminde negatif eğitim transferine de sebep olunabilir.

### 3.4. Sürücü Davranışlarının (Driver Behaviours) Modellenmesi

Daha önce belirtildiği üzere araç sürme faaliyeti, dinamik ve karmaşık bir sistem olan trafik ortamında dengede kalmak için sürekli bir uyum ve adaptasyon sürecini gerektiren bir iştir. Sürücünün, araç sürme faaliyetini gerçekleştirmek için sergilediği davranışlar, literatürde “sürücü davranışları” ifadesi ile tanımlanmaktadır. Sürücü davranışlarını tanımlayan modeller genel olarak, algılama, karar verme ve uygulama süreçlerini içermektedir [35] (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Sürücü davranış modelinin kapsadığı süreçler

*Algılama Süreci:* Sürücüler, araç kullanmak için çoğunlukla görsel algılama bilgilerini kullanırlar. İnsan algılaması, doğası gereği kesin olmayan, yaklaşık değerlere dayanmaktadır. (Örneğin, sürücünün önündeki aracın hızına göre takip mesafesini ayarlaması gibi) Algılamayı etkileyen diğer faktörler arasında hava koşulları gibi çevresel faktörler ile dikkat etme gibi içsel faktörler de sayılabilir.

*Karar Verme Süreci:* Sürücünün, çevresinden elde ettiği algılara (diğer araçlar, hava ve yol durumu gibi) ve kendi trafik bilgisine, eski tecrübelerine dayanarak yaptığı muhakeme ve usamlama (akıl yürütme) sonucunda, stratejik ve taktik seviyelerdeki sürüş görevlerine ilişkin kararlar aldığı süreçtir. Ayrıca, sürücünün davranış karakteristikleri (kısa/uzun takip mesafesi bırakmak, saldırganlık derecesi, v.b.) ve o andaki psikolojik durumu gibi içsel faktörler de bu süreçte alınan kararları etkilemektedir.



*Uygulama Süreci:* Sürücünün, esas sürüş faaliyetlerini gerçekleştirdiği süreçtir. Bu süreçteki faaliyetler, sürücünün kontrol seviyesindeki sürüş görevlerine ilişkin aldığı kararlar doğrultusunda ve motor refleksleri vasıtasıyla otomatik olarak gerçekleştirir; çoğu zaman sürücü nasıl vites değiştirdiğinin farkında bile olmaz.

Sürücü davranışlarının modellenmesinde bazı temel alt-davranış modellerinden faydalanılmaktadır [41,43]. Bunlar;

- Yol takibi: Sürücünün, çok şeritli yolda, şerit çizgileri ile belirlenen, kendine ayrılan şeritte ilerlemek için veya tek yönlü yolda, yoldan dışarı çıkmamak için, aracının yanal pozisyonunu ve yol durumuna göre hızını ayarladığı sürücü davranışlarıdır.
- Araç takibi: Sürücünün, trafikte ilerlerken diğer araçlara çarpmamak için sergilediği davranışlardır. Örneğin, önünde daha düşük bir hızda seyreden bir araca çarpmamak için yavaşlaması, öndeki araçla arasına, hıza bağlı olarak belirli bir takip mesafesi bırakması gibi sürücü davranışları bunlardan bazılarıdır.
- Şerit değiştirme: Sürücünün, öndeki yavaş bir aracı sollamak için veya çok şeritli yolda daha hızlı/yavaş bir şeride geçmek için, öndeki araç ile arasındaki hız farkına, mesafeye ve geçmek istediği şeritteki trafik durumuna bağlı olarak sergilediği davranışlardır.

Şehir içi trafiğindeki sürücü davranışlarının modellenmesi için, yukarıda anılan modellerden başka, kontrollü/kontrolüz kavşaklardan geçmek, yön değiştirmek, durmak/duraklamak gibi davranış modelleri de tanımlanabilir.

### **3.5. Trafik Simülasyonlarında Kullanılan Modelleme Teknikleri**

Trafik simülasyon modellerinin geliştirilmesinde kullanılan yazılım araçları ve modelleme tekniklerinde son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Aşağıdaki

alt maddelerde, modelleme tekniklerden bazıları kısaca açıklanmış ve trafik ortamının modellenmesine yönelik uygulama alanları belirtilmiştir.

### **3.5.1. Uzman sistemler**

Uzman sistemler, belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır [44].

Bir uzman sistem genel olarak iki ana elemandan oluşur. Bunlardan birisi bilgi tabanı diğeri ise çıkarım mekanizmasıdır. Bilgi tabanı, ilgili alan bilgisini içerir. Genel olarak bu bilgiler; “if-then” şeklinde kurallar halinde toplanır. Bunlara ilaveten uzman sistemlerin iki eleman daha vardır. Bunlar ise bilgi edinme ve toplama modülü ile açıklama modülüdür.

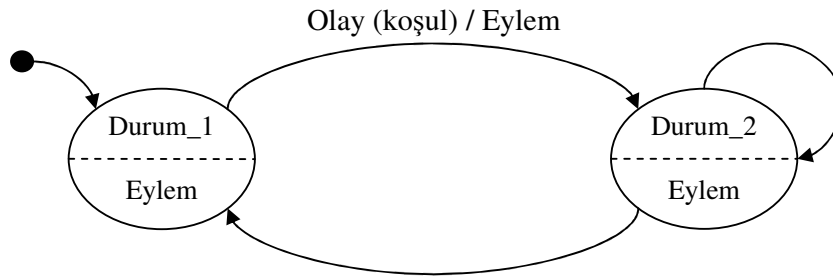
Problem sahasına ilişkin eksik ve kesin olmayan bilgilerden yola çıkarak bir takım doğru sonuçlara ulaşmak konusunda geleneksel (prosedürel) programlama tekniklerinden daha başarılı olmasına ve günümüzde uzman sistemlerle yapılmış bir çok başarılı uygulama örnekleri bulunmasına rağmen, karmaşık ortamların modellenmesinde büyük çaplı kural kümesine ihtiyaç duyması, bunun yanında uzmanların alan bilgisinin elde edilmesinin ve formüle edilerek kural kümesi haline getirilmesinin oldukça zor olması, bugün uzman sistemlerin geliştirilmesinde en büyük darboğazı oluşturmaktadır.

Uzman sistemler, trafik ortamlarına yönelik olarak hali hazırda, trafiğin izlenmesi ve kontrolü ile karayolu ağının analizi, planlanması ve yönetiminde kullanılmaktadır [45]. Bunun yanı sıra, trafik simülasyonu modellerinin koşturulması ile elde edilen büyük miktardaki verinin incelenmesinde ve sonuçların analizinde yararlı olabileceği değerlendirilmektedir.

### 3.5.2. Sonlu durum makineleri (SDM)

Davranış modellemelerinde kullanılan modelleme tekniklerinden biri de sonlu durum makineleri (veya sonlu durum otomatu veya basitçe durum makinesi)' dir. Sonlu durum makineleri (SDM), bir sistemin yada nesnenin sınırlı sayıdaki durumlar arasında, önceden tanımlanmış olaylara (koşullara) göre geçiş yapmasını sağlayan ve meydana gelen eylemlerden oluşan mantık mekanizmasına verilen isimdir [46].

SDM' nin temeli *durum geçiş diyagramı* (state transition diagram) yapısına dayanmaktadır (Şekil 3.4), [47,48].



Şekil 3.4. Tipik bir SDM durum geçiş diyagramı

*Durum (state)*, her hangi bir anda sistemi tanımlayan değişkenler topluluğu olarak tanımlanır (örn., makine durumu). Boşluktan başlayan çizge *başlangıç durumunu*; kutucukları birbirine bağlayan çizgeler durumlar arası *geçişleri* gösterir. *Geçiş (transition)*, durum değişimini gösterir ve bunu sağlamak için gereken *geçiş koşulu* ile tanımlanır. *Eylem (action)*, belirli bir zamanda gerçekleştirilen etkinliğin tanımıdır. En önemli iki eylem tipini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz:

- *Geçiş eylemi*: Durum değişimi sırasında gerçekleştirilen eylemdir.
- *Aktivasyon (faaliyet) eylemi*: Mevcut durum süresince devam eden ve mevcut durum ile girdilere bağlı gerçekleştirilen eylemdir.

*Geçiş koşulu*, girdi verileri üzerindeki mantık işlemini temsil etmekte olup, girdi verilerine bağlı olarak “DOĞRU” yada “YANLIŞ” sonucunu verir. Geçiş koşulu ‘DOĞRU’ sonucunu verdiği takdirde, durumlar arası geçiş işlemi gerçekleşir ve eğer tanımlı ise *geçiş eylemi* de gerçekleşir. Aksi takdirde, mevcut durum devam eder.

Mevcut durum süresince, mevcut duruma ve girdilere bağlı olarak, *aktivasyon eylemi* gerçekleştirilir.

Herhangi bir SDM'ni, aşağıda sunulan parametreler kümesi ve Şekil 3.5' de sunulan algoritma ile tanımlayabiliriz:

$\langle I, O, S, s_0, \delta, \acute{I} \rangle$ ;

$I$  : girdi verilerinin kümesi,

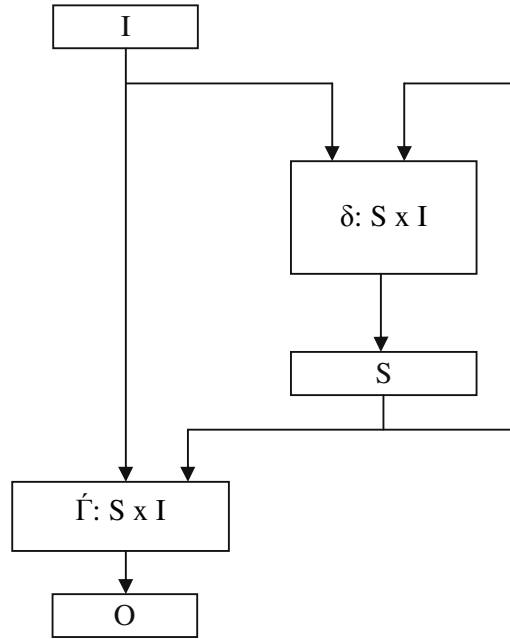
$O$  : çıktı verilerinin kümesi,

$S$  : sonlu durumlar kümesi,

$s_0$  : başlangıç durumu ( $s_0 \in S$ ),

$\delta$  :  $S \times I \rightarrow S$ ; geçiş fonksiyonu,

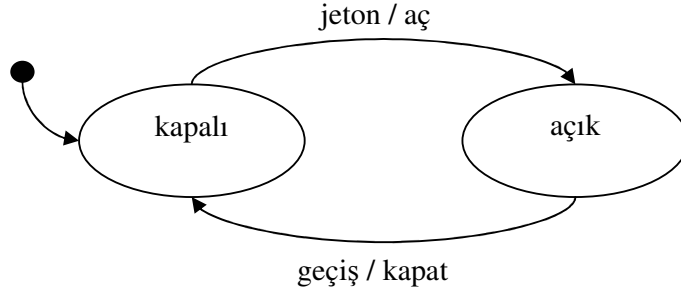
$\acute{I}$  :  $S \times I \rightarrow O$ ; geçiş veya aktivasyon eylemi fonksiyonu.



Şekil 3.5. SDM algoritması

SDM'ni anlatmak için verilecek en basit örnek, metro istasyonlarındaki turnikelerdir. Basit bir cihaz olan bu turnikeler aslında sonlu durum makinesi tarafından yönetilmektedir. Turnikenin *açık* ve *kapalı* olmak üzere sadece iki durumu mevcuttur. *Kapalı* olduğu durumda yolcu, turnike üzerindeki deliğe jetonunu atar ve

mevcut durumun değişmesine neden olur. Böylece turnike artık *açık* durumuna geçmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Metro turnikesine ait durum geçiş diyagramı

SDM daha çok ardışık (yani herhangi bir anda sadece tek bir durum makinesi ile tanımlanabilen) davranışlar sergileyen sistemlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Trafik simülasyonu modellerinde genellikle trafik ışıkları SDM ile modellenmektedir [18]. Ancak, SDM'nin üzerine bina edildiği *durum geçiş diyagramının* yapısı nedeniyle, karmaşık ve eş zamanlı etkileşimlerin yer aldığı sistemlerin davranış modellerinin SDM tekniği ile oluşturulmasında büyük zorluklarla karşılaşmaktadır.

Örneğin, trafik ortamındaki sürücülerin sergiledikleri davranışları modellemek için, modellenen ortamdaki bir çok farklı durumun ve koşulun aynı anda (eş zamanlı olarak) dikkate alınması gerekmektedir (şerit değiştirirken öndeki taşıt ile olan takip mesafesini korumak gibi). Ancak, SDM'nin üzerine bina edildiği *durum geçiş diyagramının* yapısı nedeniyle;

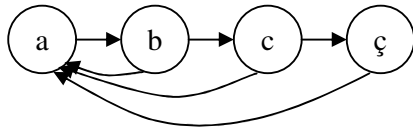
- Modeli oluşturan durumlar arasında herhangi bir gruplandırma yada hiyerarşik yapılanma gerçekleştirilememektedir. Bu sebeple, davranış modelinin belirli kısımlarının diğer kısımlardan izole edilmesi ve parça parça geliştirilmesi mümkün olmamaktadır [48].
- Eş zamanlı etkileşimler de dikkate alındığında, sistem lineer olarak büyürken, sistemi tanımlamakta kullanılan durumların sayısı genellikle üssel olarak artmaktadır (state explosion). Bu sebeple, çok sayıda durum ve bu durumlar arasındaki bağlantılar, oldukça fazla karmaşık ve anlaşılması zor bir diyagram oluşturabilmektedir [49].

### 3.5.3. Hiyerarşik eş zamanlı durum makineleri (HEZDM)

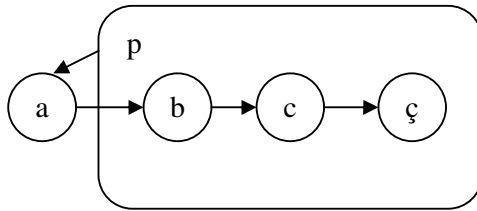
Karmaşık tepkisel (reactive) sistemleri modellemek için genellikle, *durum grafikleri* (statecharts) yapısı üzerine bina edilmiş HEZDM modelleme tekniğinden faydalanılmaktadır.

HEZDM modelleme tekniğın üzerine bina edildiği *durum grafikleri* (statecharts) yapısı [47,48];

- Sistemi tanımlayan durumların, *üst-durum* ve *alt-durum* olarak hiyerarşik şekilde gruplandırılmasına ve iç içe kümelenmesine izin verir.
- Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişler, EXCLUSIVE-OR (DIŞLAYAN VEYA) durum grupları ile önlenmektedir (Şekil 3.7, 3.8). Bu şekilde gruplanmış durumların meydana getirdiği üst-durumu *küme*<sup>1</sup> olarak adlandırabiliriz. Eğer sistem yada nesne, Şekil 3.8'deki *p* kümesinde ise, aslında *p* kümesinin içinde yer alan alt-durumlardan *sadece* birinde demektir.



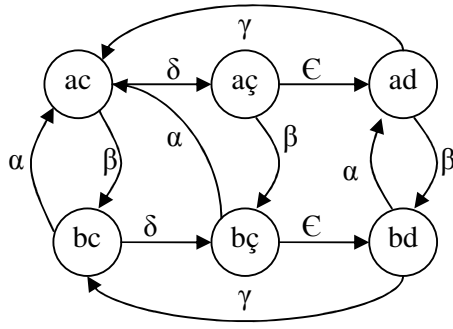
Şekil 3.7. Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişlerin durum geçiş diyagramı ile gösterimi [48]



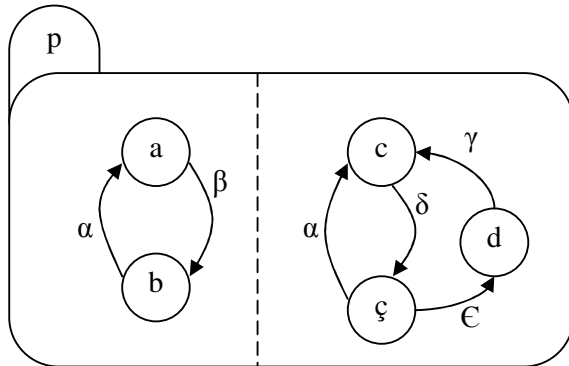
Şekil 3.8. Durumlar arasındaki tekrarlanan geçişlerin durum grafiği ile gösterimi [48]

<sup>1</sup> “Üst-durum”, “alt-durum” ve “küme” terimleri durum grafiklerinin hiyerarşik yapılanmasını anlatmak için kullanılmakla beraber, aslında her biri sistemin yada nesnenin içinde bulunduğu bir *durumu* temsil etmektedirler.

- Eş zamanlı etkileşimler sonucu sistemdeki durumların sayısının üssel olarak artması, AND (VE) durum grupları ile önlenmektedir (Şekil 3.9, 3.10). Şekil 3.10'da,  $a$  ve  $b$  durumları  $x$  kümesinin,  $c$ ,  $\zeta$  ve  $d$  durumları  $y$  kümesinin alt-durumlarıdır;  $x$  ve  $y$  kümeleri de  $p$  kümesinin alt-durumlarıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere, her bir durum yada durum kümesi, eğer mevcutsa, bir üst-durum kümesinin alt-durumudur. Eğer sistem yada nesne, Şekil 3.10'daki  $p$  kümesinde ise, aslında  $p$  kümesinin içinde yer alan  $x$  ve  $y$  alt-durumlarından *her ikisinde* bulunuyor demektir.



Şekil 3.9. Eş zamanlı durumların durum geçiş diyagramı ile gösterimi [48]



Şekil 3.10. Eş zamanlı durumların durum grafiği ile gösterimi [48]

Yukarıda, bu tez çalışmasında da kullanılan bazı temel özellikleri anlatılan *durum grafikleri* (statecharts) yapısı üzerine bina edilen HEZDM modelleme tekniğinde, farklı durumları temsil eden durum makineleri hiyerarşik bir yapı içerisinde tutulmaktadır. Bu sayede, model çok daha anlaşılabilir bir yapıya kavuşurken, karmaşık ve eş zamanlı davranışlar kolayca modellenebilmektedir.

Herhangi bir HEZDM'ni, girdi ve çıktı verisi akışı, iç içe kümelenmiş sonlu durum makineleri, kontrol parametreleri ile eylem fonksiyonundan oluşan bir 'kapalı kutu' (black box) olarak görebiliriz ve aşağıda sunulan parametreler kümesi ile tanımlayabiliriz:

$\langle I, O, S, s_0, K, Y, \delta, \hat{\Gamma} \rangle$ ;

$I$  : girdi verilerinin kümesi,

$O$  : çıktı verilerinin kümesi,

$S$  : iç içe kümelenmiş sonlu durumlar kümesi,

$s_0$  : başlangıç durumu (durumları) ( $s_0 \in S$ ),

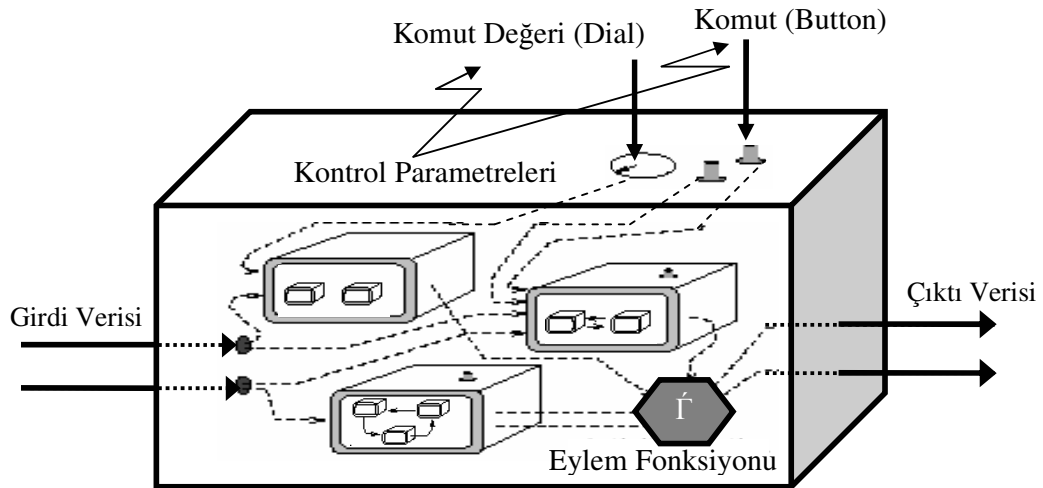
$K$  : kontrol parametreleri,

$Y$  : yerel değişkenler,

$\delta$  :  $S \times I \rightarrow S$ ; geçiş fonksiyonu,

$\hat{\Gamma}$  :  $S \times I \rightarrow O$ ; geçiş veya aktivasyon eylemi fonksiyonu.

Aşağıdaki şekilde, tipik bir HEZDM yapısında yer alan ve iç içe kümelenmiş durum makinelerinin hiyerarşisi, durumlar arası geçişler ve veri akışı görülmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Tipik bir HEZDM durum grafiği [50]



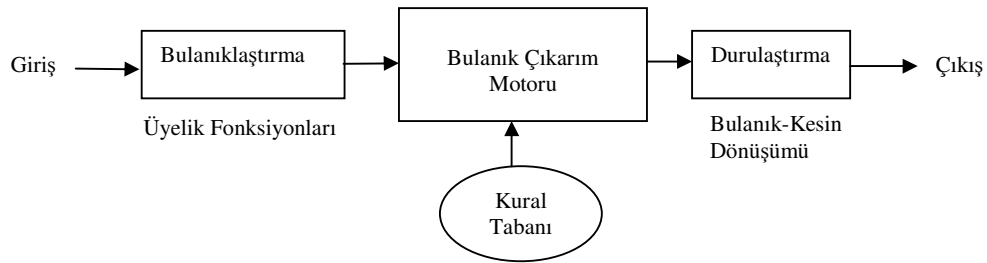
HEZDM nano-simülasyon ve mikro-simülasyon uygulamalarında, genel olarak sürücü davranışlarının modellenmesinde kullanılmaktadır [49,50]. Bu tez çalışmasında, TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründeki trafik ortamında yer alan sanal taşıt sürücülerinin davranışlarının modellenmesinde, bu çalışma kapsamında yeni geliştirilen Yapay Zeka Modeli, *iki katmanlı* HEZDM modelleme ve yazılım mimarisi yapısı temel alınarak geliştirilmiştir.

#### 3.5.4. Bulanık mantık

Bulanık mantık teorisi, klasik mantığın genişletilerek, “mutlak doğru” ile “mutlak yanlış” arasında kalan değerlerin de kullanıldığı, kısmi doğruluk kuramıdır [51,52].

Bulanık mantık, kontrol, yönetim ve karar destek gibi çeşitli amaçlara yönelik olarak endüstride başarıyla uygulanmaktadır. Bulanık (bilgi-tabanlı) sistemler ve bulanık mantık denetleyicileri; matematik modellerinin çıkarılması zor olan ve “uzman bilgisi” ne dayalı karmaşık sistemlerin modellenmesi ve denetlenmesinde kullanılan, iki ana uygulama sınıfıdır.

Bulanık mantık tabanlı sistemler, temel olarak; sayısal değerlerin sembolik değerlere atanması için bulanıklaştırma (fuzzification), karar verme için bulanık çıkarım (fuzzy inference) ve sembolik değerlerin sayısal değerlere atanması için durulaştırma (defuzzication) işlemleri olmak üzere üç temel özelliği yerine getirmektedir [45] (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Bulanık mantık tabanlı sistem blok diyagramı

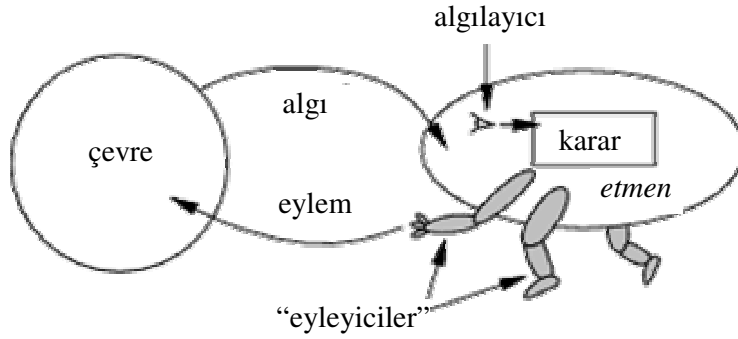
Bulanık tabanlı yaklaşımda girişler, çıkışlar ve denetim (çıkarım) tepkisi, bir uzman tarafından tespit edilen sözel terimler ile tanımlanmaktadır. Denetim altındaki sistemin karmaşık matematik modeline ihtiyaç duyulmamaktadır.

Bulanık mantık kuramı, kesin ve açık olmayan veri ve bilginin kolay, anlaşılır bir şekilde modellenmesine imkan tanır. Esasen, bir sürücünün çevresini algılaması kesin olmayan gözlemlere (örneğin, önünde giden aracın uzaklığı, tahmini hızı; hava ve yol koşulları, görüş mesafesi vb.) dayanmaktadır. Sürücü karar verme sürecinde, içinde bulunduğu trafik ortamını anlamak ve aracına yaptıracağı manevralar için, kesin olmayan bu algılara dayanarak mantık yürütmekte ve karar vermektedir [53,54]. Son olarak, vermiş olduğu kararları uygulama sürecinde, yine kesin olmayan refleksleri vasıtasıyla uygulamaktadır. Ancak, bulanık mantık kuramı trafik simülasyon modellerinde, özellikle nano-simülasyon modellerinde kullanımı nispeten az araştırılmış bir konudur [55,56].

### **3.5.5. Etmen tabanlı (agent based) modelleme**

Bilgisayar bilimlerinde etmenler ve çoklu-etmen sistemleri hakkında, olağan üstü bir şekilde artan oranda ilgi duyulmaktadır. Özellikle, yapay zeka bilimiyle uğraşan bilim adamları tarafından “Zeka nedir?” sorusuna benzer şekilde “Etmen nedir?” sorusu sorulmakta ve cevap aranmaktadır [57].

Etmenler hakkında, farklı alanlarda çalışan bir çok araştırmacı tarafından yapılmış değişik tanımlar bulunmakla beraber, genel bir tanım yapmak gerekirse; Etmen, algılayıcıları yardımıyla içinde bulunduğu çevreyi algılayan ve eyleyicileri yardımıyla çevreyi ve ileride çevreye yönelik algılarını etkileyen eylemde bulunan şeylere verilen isimdir [58,59] (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Etmen-çevre ilişkisi [58]

Etmenler, bir takım gerçek yada yapay çevre (artificial environment) içerisinde “yaşayan” donanım yada yazılım tabanlı bilgisayar sistemleridir ve genel olarak aşağıdaki özelliklere sahiptirler [57,60]:

- *Otonomi*: Etmenler, insanların yada diğer dış etkenlerin doğrudan bir etkisi olmadan eylem yaparlar ve bu eylemler üzerinde bir dereceye kadar kontrol sahibidirler.
- *Tepkisel davranma*: Etmenler çevrelerini algırlar ve çevredeki değişimlere uygun ve zamanında tepki gösterirler.
- *Öngörülü davranma*: Etmenler, çevrelerindeki değişimlere tepki göstermekle kalmayıp, inisiyatif alarak, kendi hedeflerine yönelik davranışlar sergileyebilirler.
- *Sosyal olma*: Etmenler, insanlarla veya diğer etmenlerle iletişim kurabilirler ve görevlerini başarmak için yardımlaşabilirler.

Bazı araştırmacılar tarafından öne çıkarılan bazı diğer özellikleri ise; seyyar olma (mobility), güvenilir olma ve öğrenme kabiliyeti.

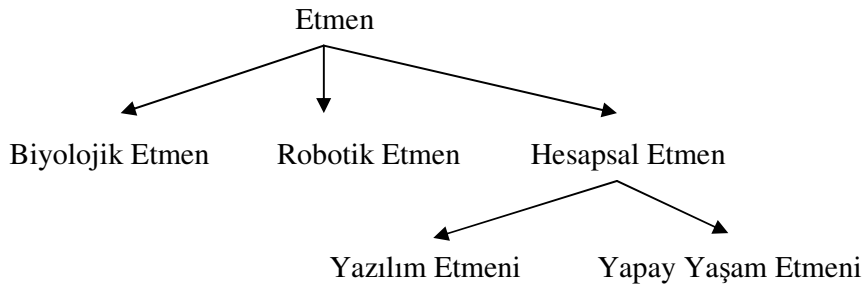
Bir şeyin etmen olup, olmadığına karar verebilmek için mutlaka sahip olması gereken en az özellikler hakkında bilim adamları arasında fikir birliği olduğunu söylemek zordur. Örneğin, bazılarınca öğrenme kabiliyeti bir şeyin etmen olarak tanımlanabilmesi için mutlaka sahip olması gerekmektedir [57]. Ancak, genel olarak kabul gören görüşe göre yukarıda belirtilen ilk üç özelliğe sahip olan şeyler etmen olarak kabul edilmektedir.

Genel kabul gören tanıma göre; insanları, bazı robotları, bazı yazılım programlarını etmen olarak tanımlamak mümkündür. Örneğin, sadece görsel algılayıcılara sahip ve koyu bir zemine çizilmiş beyaz bir çizgiyi takip etmesi için programlanmış mobil bir robot ışıklı bir ortamda çevresini algılayarak hedefine yönelik eylemde bulunurken (yani hareket ederken) “etmen” olarak tanımlanabilir. Ancak, aynı robotu ışısız bir ortamda “etmen” olarak tanımlamak mümkün değildir.

Etmenler, sahip oldukları özelliklere bağlı olarak bir dereceye kadar zeki davranışlar sergilerler, bazen de belirgin seviyede otonom davranışlar sergilerler. Bu nedenle, literatürde “etmen” kavramı yerine bazen “zeki etmen” yada “otonom etmen” terimleri kullanılmaktadır [57].

Etmenleri bir takım kriterlere (genel yapılarına, sahip oldukları özelliklere, içinde buldukları çevreye, sahip oldukları kontrol mekanizmalarına vb.) göre sınıflandırmak mümkündür:

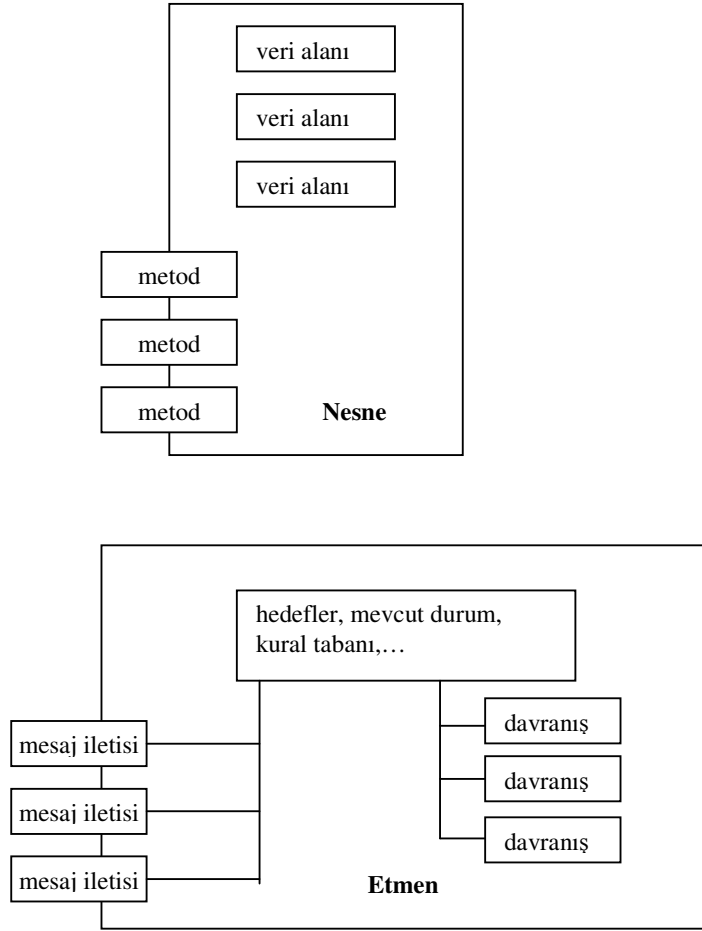
Etmenleri genel yapılarına göre sınıflandıracak olursak; canlıların sınıflandırılmasında kullanılan ağaç modeli hiyerarşisi örnek alınarak hazırlanan etmen sınıflarını gösteren şekil aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Etmenlerin genel yapılarına göre sınıflandırılması [57]

Etmenleri sahip oldukları özelliklere göre sınıflandıracak olursak; öngörülü davranma özelliği ön plana çıkan “kasıtlı, planlı” etmenler ve tepkisel davranma özelliği ön plana çıkan “tepkisel, plansız” etmenlerin avantaj ve dezavantajları aynı zamanda kullanım alanlarını belirlemektedir [61] (Şekil 3.15).





Şekil 3.16. Etmen-Nesne yapısı [62]

Etmenler bir dereceye kadar otonomiye sahip olduklarından; bir nesne, “public” olarak tanımlanmış bir metoduna erişime mutlaka izin verirken, etmen bu girişimi duruma göre engelleyebilmektedir [62].

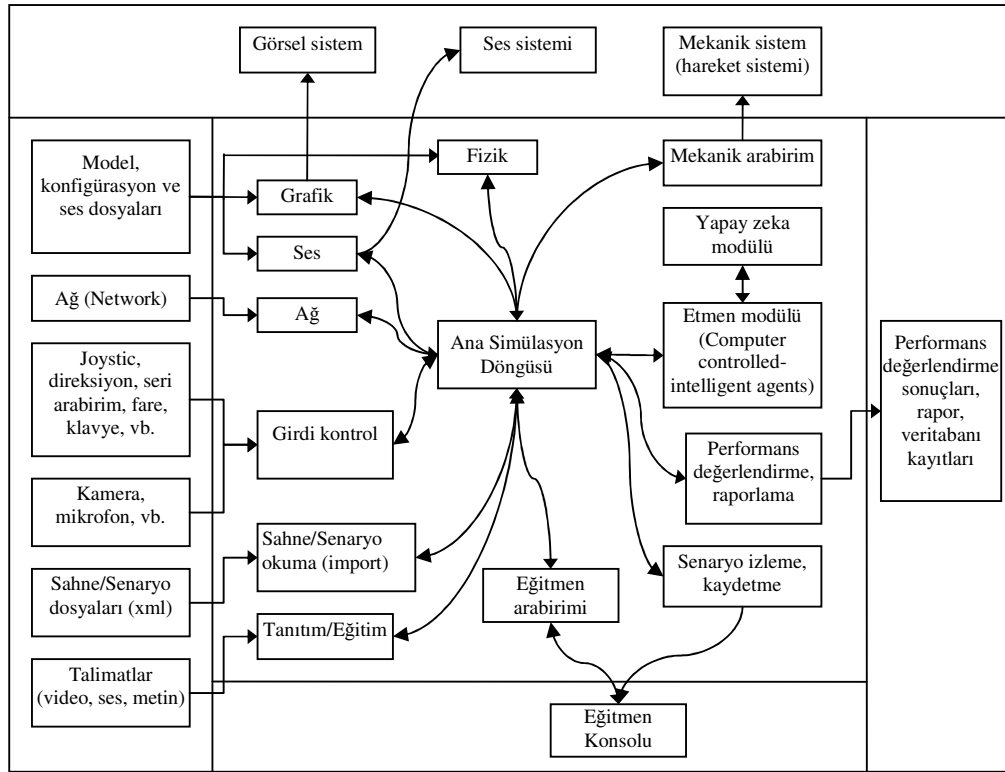
Trafik ortamının, özellikle şehir içi trafiğinin, birbirinden farklı birçok alt-sistemi ve bu alt-sistemler arasındaki etkileşimleri içeren karmaşık bir sistem olduğunu daha önce belirtmiştik. Etmen tabanlı modelleme tekniğinin, trafik simülasyon modellerinin geliştirilmesinde uygun ve verimli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır [59].

Trafik simülasyon modellerini incelediğimizde, trafik ortamında otonom ve bir dereceye kadar zeki davranış sergileyen unsurların etmen tabanlı modellendiği görülmektedir. Trafik simülasyonuna yönelik bir çok uygulamada, farklı türdeki etmenlerin, araç sürücüleri ve araçlarının, trafik ışıklarının, akıllı ulaşım sistemlerinin, yayaların davranışlarının ve birbirleriyle etkileşimlerinin modellenmesinde kullanıldığı görülmektedir [63].

#### 4. “TRAFİKENT” SÜRÜCÜ EĞİTİM SİMÜLATÖRÜ

METEKSAN Sistem firması tarafından geliştirilen TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü, hali hazırda Türkiye’de yüzün üzerinde sürücü kursunda kullanılmaktadır.

TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün sistem mimarisi Şekil 4.1’de, genel görünüşü ise Resim 4.1’ de sunulmuştur.



Şekil 4.1. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün sistem mimarisi





Resim 4.1. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün genel görünüşü

Bu çalışma kapsamında bazı bileşenleri geliştirilen TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü' nün sahip olduğu özellikler bu bölümde anlatılacaktır.

#### 4.1. Simülasyon Altyapısı Yazılımı

Genel sistem mimarisi Şekil 4.1' de sunulan sistemin, TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü simülasyon altyapısı yazılımında bulunan modüller aşağıda sunulmuştur:

*Grafik Modülü:* Üç boyutlu, gerçek zamanlı grafik desteği sağlamaktadır. OpenGL teknolojisi üzerine kuruludur. Grafik modülü sis, duman, alev, yağmur gibi sanal ortamın gerçeklik hissini artırmaya yönelik gelişmiş görsel efektleri de sunabilecek kapasitededir.

*Ses Modülü:* Kullanıcının çevresini saran bir ses sistemi donanımını kontrol eden olan ses modülü, simülasyon ortamındaki sesleri, gerçeğe benzer bir şekilde seslerin kaynaklandığı doğrultulardan kullanıcıya aktarmaktadır.

*Fizik Modülü:* Nesnelerin 3B hacimleri ile yerçekimi ve diğer kuvvetlere bağlı olarak karşılıklı etkileşimleri, hareket etme ve çarpışma gibi fiziksel olayların bilgisayar ortamında hesaplanıp, simülasyonun gerçeğe uygun olmasını sağlamaktadır.

*Harici donanımları kontrol eden modüller:* Simülasyon sisteminin parçası olan ve sistemdeki bilgisayar dışında kalan bütün donanımlar, bu modüller tarafından kontrol edilmektedir. Haricî donanımlar aşağıda sunulmuştur:

- Direksiyon seti, vites, pedal ve el freni gibi kullanıcıların bilgisayarlara veri girişi yapmasını sağlayan araçlar,
- Simülatörde kullanılan projeksiyon sistemi, göstergeler ve ikaz ışıkları gibi bilgisayarların kullanıcılara verileri çeşitli biçimlerde iletebilmesini sağlayan araçlar,

*Etmen (Agent) Modülü:* Etmenler, senaryo içerisinde kendi başlarına kararlar alıp, faaliyet gösteren ve/veya hareket edebilen özerk (otonom) simülasyon nesnelidir. Ana simülasyon döngüsü içerisinde her bir etmene söz verilerek, onların belirli kısıtlar içerisinde istedikleri gibi hareket edebilmeleri sağlanmaktadır. Bu kendi başına hareket edebilmeleri ve zeki davranışlar sergilemeleri Yapay Zeka Yazılım Modülü vasıtasıyla sağlanmaktadır.

Senaryo Tasviri Modülü vasıtasıyla da bu etmenlerin ne şekilde davranacağı belirtilebilmektedir. Bu açıdan her bir etmen tipinin kendilerine özel, nasıl davranacaklarını belirleyen bir senaryo yazılımı ile ilişkilendirilmeleri gerekmektedir.

Sisteme yeni bir etmen eklenebilmesi için, o etmenin ne şekilde davranacağını belirleyen bir yazılımın sisteme sunulması gerekmektedir. Sistem bu yazılımı kullanarak senaryo içerisine eklenmiş olan bu tipteki etmenlerin çalışmasını sağlamaktadır.

Bilgisayar ve/veya insanlar tarafından kontrol edilen özerk/yarı-özerk (otonom/yarı-otonom) taşıtlar, insanlar ve hayvanlar etmen tabanlı olarak modellenmiştir.

*Yapay Zeka Yazılım Modülü:* Bu modülün aslî görevi, simülasyonların gerçekçiliğini sağlamak için sanal ortamlarda bulunan ve faaliyet gösterebilmeleri için karar alma yeteneğine ihtiyaç duyan hareketli ve hareketsiz etmenlere bilgisayar merkezli karar alma mekanizması sağlamaktır. Hareketli etmenlere örnek olarak, gerektiğinde bilgisayar tarafından da kontrol edilebilen özerk/yarı-özerk taşıtlar, insanlar ve hayvanlar gösterilebilir. Hareketsiz etmenler ise, trafik lambaları gibi belli durumlarda belirli kurallar dahilinde çeşitli şekilde davranmaları gereken, durum (state) bilgisine sahip nesnelere sahiptir.

*Sahne Tasviri (Scene Representation) Modülü:* Simülasyonlardaki sanal ortamların içerdiği yollar, binalar, araçlar, insanlar, hayvanlar, dağlar, akarsular, meteorolojik olaylar, sanal ortamda uyulması gereken kurallar (örneğin trafik kuralları), vs. gibi akla gelebilecek her türlü unsurun bilgisayarların içinde ne şekilde saklanacağını ve programlar tarafından nasıl kullanılacağını belirleyen protokoller ve bu protokolleri uygulayan yazılımlar bu modülü oluşturmaktadır.

*Senaryo Tasviri (Scenario Representation) Modülü:* Eğitime yönelik simülasyonların öncelikli hedeflerinden biri, gerçek yaşamda karşılaşılabilecek çeşitli durumları sanal ortamda yaratıp, kullanıcıda bu durumlarda sahip olması ve uygulaması beklenen yetenek ve özellikleri oluşturmak ve geliştirmektir. Örneğin yola âni olarak bir yaya çıkartılarak sürücünün reflekslerinin test edilebilmesi ve bu gibi durumlara aşinalık kazanabilmesinin sağlanması, bir trafik eğitim simülöründe bulunması istenen bir özelliktir. Aynı şekilde, askeri eğitim amaçlı bir simülörde, bir düşman saldırısı vaziyeti yaratıp, kullanıcının savunma planlaması ve komuta yeteneklerini test edebilir. Gerçek yaşamda karşılaşılabilecek bu gibi durumların her biri birer senaryodur.

Teknik olarak senaryolar, belli bir zamana ve mekâna yayılması gereken ve aynı şekilde başlamasına rağmen, kullanıcının tepkilerine ve önceden tanımlanmış çeşitli

diğer faktörlere göre farklı şekilde gelişip farklı şekilde sonlanabilen olaylardır. Senaryo tasviri ise, senaryoyu oluşturan her türlü unsurun bilgisayarların içinde ne şekilde saklanacağını ve programlar tarafından nasıl kullanılacağını belirleyen protokoller ve bu protokolleri uygulayan yazılımlardır. Senaryo tasvirinin sahne tasvirinden farkları, zaman boyutunun senaryo tasvirlerinin içinde kullanılması ve senaryo tasvirlerinin, simülasyonun akışının çeşitli etkenlere göre farklı şekillerde dallanabilmesi için kontrolü bilgisayara bırakabilmeyi sağlayacak planlamalar içermesidir.

*Senaryo Hazırlama, Düzenleme ve Yönetme Modülü:* Bu modül, eğitmenlere çeşitli senaryolar hazırlayabilmek ve varolan senaryolar üzerinde (gerek simülasyonlar öncesinde ve gerekse simülasyonlar sırasında) düzenlemeler ve değişiklikler yapabilmek için gerekli olan yazılımları içermektedir.

*Performansı Değerlendirme ve Raporlama Modülü:* Bu modül, simülasyonu yapılan taşıta ait bilgileri ve trafikte uyulması gereken kuralları bünyesinde barındırmaktadır. Simülasyon sırasında kullanıcının yaptığı ihlalleri göz önüne alarak, simülasyon bitiminde kullanıcının performansı hakkında değerlendirme yapar, gerekirse önceden belirlenmiş olan bir skala üzerinden kullanıcıya not verir ve bunlara ait raporları oluşturur.

#### **4.2. Sürücü Kabini**

Bir taşıtın gerçeğe yakın olarak üretilmiş kabinidir. Sürücü kabininde bulunan özellikler şöyledir:

- Kabinin içinde gerçek araçta olduğu gibi koltuk, direksiyon, vites, pedallar, göstergeler, ikazlar, kontroller vb. bileşenler bulunmaktadır. Tüm bu bileşenler, gerçek araçta sahip oldukları fiziksel özelliklere benzer şekilde yer alır ve gerçek araçtaki fonksiyonlarına benzer şekilde çalışır.

- Ekran kartı ve LCD monitörden oluşan görsel sistem, sürücüye 40 derecelik bir görüş açısı sağlar. Sürücü bu sistem üzerinde oluşturulan sanal dünyayı görür ve bu ortamda araç kullanır.
- Sürücünün çevresini saran bir ses sistemi ile simülasyon ortamındaki sesler gerçeğe benzer bir şekilde, seslerin kaynaklandığı doğrultulardan sürücüye aktarılmaktadır.

### 4.3. Sanal Trafik Ortamı

Sanal trafik ortamı, sürücünün, aracının penceresinden baktığında etrafında görmüş olduğu dış çevrenin (yollar, diğer taşıtlar, hava şartları vb.), belirli bir senaryo kapsamında gerçeğe yakın bir biçimde canlandırılmasıdır.

Eğitim yapılacak sanal trafik ortamında;

- Sürücünün kullanacağı taşıt,
- Bilgisayar tarafından kontrol edilen özerk (otonom) taşıtlar,
- Yayalar,
- Trafik işaret ve işaretçileri bulunmaktadır.

Aşağıda, simülörde kullanılan modeller (ve parantez içlerinde de daha ileri için düşünülen hedefler) belirtilmiştir:

- 30 (100) kilometre şehir içi yol
- 100 (1000) kilometre şehirlerarası yol
- 30 (59) farklı otonom araç modeli

Sanal trafik ortamında kontrol edilebilen unsurlar şunlardır:

- Hava şartları (güneşli, yağmurlu, sisli, vs.)
- Işık şartları (gece, gündüz)
- Trafik yoğunluğu (boş yollar veya değişken yoğunlukta trafik)
- Zaman limiti
- Hata puanı limiti

- Özel senaryolar (yola çıkan hayvan, uzun yolda yavaş yokuş çıkan kamyonlar, görüşü engelleyen güneş, vs.)
- Senaryoya müdahale (tekerlek patlatma, fren arızası oluşturma, yük dengesini bozma, yağmur başlatma, motor arızası oluşturma, vs.)

#### **4.4. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün Dünyadaki Benzerleriyle Karşılaştırılması**

“TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü”nün halen kullanılmakta olan versiyonundaki sanal trafik ortamının, dünyadaki benzerleri ile karşılaştırıldığında yeterince gerçekçi olmadığı; gerçek trafik ortamında karşılaşılan, sürücülerin sebep olduğu tehlikeli durumları ve etkileşimleri sanal ortamda canlandırmak için gerekli *parametrik* sürücü davranış modellerine sahip olmadığı görülmektedir [64] (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü” yeni versiyonunun dünyadaki benzerleri ile karşılaştırılması

	VISSIM	HUTSIM	PARAMICS	TEXAS	AIMSUN	TRAFİKENT
Özellikleri	Davranış Modellemesi					
Parametrik geçiş aralığı kabulü modeli	evet	evet	evet	evet	evet	hayır
Parametrik şerit değiştirme modeli	evet	evet	evet	evet	evet	hayır
Parametrik taşıt takibi modeli	evet	evet	evet	evet	evet	hayır
Parametrik dönme hızı	evet	hayır	hayır	evet	hayır	evet
Sarı trafik ışığına tepki	sürüş stili, aracın durumu	bilgi yok	sürüş stili	sürüş stili, aracın durumu	evet	hayır
Değişken intikal(tepki) süresi	hayır	planlanıyor	evet	evet	evet	hayır
Kavşak geçişi	evet	bilgi yok	evet	evet	evet	evet
Değişken hızlanma/yavaşlama ivmesi	evet	evet	evet	evet	evet	hayır
Ayarlanabilir görüş uzaklığı	evet	bilgi yok	hayır	evet	evet	evet
Yayalarla taşıtların etkileşimi	evet	evet	evet	hayır	evet	evet
Dönme vb. bir amaç için birden fazla şerit değiştirme	evet	bilgi yok	evet	hayır	hayır	hayır
Kavşakta geçiş önceliği modeli	evet	evet	evet	evet	evet	evet
Manevraların kaydı	mümkün	mümkün	mümkün	evet	mümkün	evet
Park etmek	evet	bilgi yok	evet	hayır	hayır	hayır
Dönüş sinyali verme	hayır	bilgi yok	hayır	hayır	hayır	evet
U-dönüş yapabilme	evet	bilgi yok	evet	evet	evet	evet

## 5. ŞEHİRİÇİ TRAFİĞİNDE KARŞILAŞILAN TRAFİK KURALI İHLALLERİNE YÖNELİK ÖLÇEK UYGULAMASI

Araştırmacılar tarafından, sürücü adaylarının ve acemi sürücülerin tehlike algısı becerilerinin, gerçek trafik ortamında karşılaşmaları muhtemel tehlikeli durumlar baz alınarak eğitilmeleri önerilmektedir [14].

Bu bölümde, ülkemizde meydana gelen trafik kazalarına sebep olan sürücü asli ve tali kusurlarından en fazla kazaya neden olanları dikkate alınarak, Ankara'daki şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan "trafik kuralı ihlalleri" nin, yolcu minibüsleri, ticari taksi ve özel halk otobüsleri açısından analiz edilmesi amacıyla, bu çalışma kapsamında yapılmış olan ölçek uygulaması anlatılacaktır.

### 5.1. Materyal

Çalışmaya iki farklı kurumda servis ve makam şoförlüğü yapan toplam 50 sürücü gönüllü olarak katılmıştır. Çalışmaya katılan sürücülerden 8' inin anketi, eksik ve hatalı doldurma nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır. Ankete verdiği cevaplar değerlendirmeye alınan toplam 42 sürücünün yaşları 27 ile 52 arasında değişmektedir, yaş ortalaması 38.48 (ss=6.15)'dir. Aktif olarak araç kullanma süreleri 3 yıl ile 30 yıl arasında değişmektedir. Araç kullanma süresi ortalaması ise 18 yıl (ss=6.11)'dir. Çalışmaya katılan sürücülerin kat ettikleri yol mesafesi 25.000 km ile 1.000.000 km arasında değişmektedir. Kat edilen yol ortalaması ise 481.000 km (ss=270.175)' dir. 10 sürücü bugüne kadar hiç kaza yapmadığını, 8 sürücü 1 kez kaza yaptığını, 7 sürücü 2 kez kaza yaptığını, 7 sürücü 3 kez kaza yaptığını, 1 sürücü 4 kez kaza yaptığını, 1 sürücü 5 kez kaza yaptığını ve 1 sürücü de 6 kez kaza yaptığını belirtmişlerdir.

### 5.2. Metot

Çalışmada, Türkiye'de meydana gelen trafik kazalarına sebep olan sürücü asli ve tali kusurlarından en fazla kazaya neden olan "Trafik kuralı ihlalleri" dikkate alınarak



hazırlanan bilgi formu ile katılımcılardan yolcu minibüsleri, ticari taksi ve özel halk otobüslerine yönelik olarak gözlemledikleri ve kazaya neden olabilecek/olmuş “Trafik kuralı ihlallerini”, sıklık derecesine göre, 1 ile 5 (1=Hiç bir zaman; 2=Bazen; 3=Sık; 4= Çok sık; 5= Her zaman) arası seçeneklerden kendilerine en uygun seçeneği seçerek sıralamaları istenmiştir (EK-1).

### 5.3. Deneysel Bulgular ve Tartışma

Ölçek uygulamasından elde edilen bulgular doğrultusunda, katılımcıların verdiği cevapların değerlendirilmesi neticesinde, sürücülerin bilgi formunda belirtilen “Trafik kuralı ihlallerine”, şehir içi trafiğinde “sıklıkla” karşılaştıkları (ortalama=3.26; ss=0.32) sonucuna varılmıştır (EK-2). Çalışmaya katılan sürücülerin en çok karşılaştıkları ilk beş trafik ihlali aşağıda verilmektedir;

- Halk otobüslerinin şeride tecavüz ederek sıkıştırması (3.90),
- Yolcu minibüslerinin hatalı sollaması (3.73),
- Halk otobüslerinin yakın takip yapması (3.72),
- Ticari taksilerin taşıt yolu üzerinde ve duraklamının yasak olduğu yerlerde ve hallerde duraklama yapmak; hatalı yolcu indirme/bindirme yapması (3.71),
- Yolcu minibüslerinin yakın takip yapması (3.70)

Ölçek uygulaması sonucunda elde edilen veriler, sanal trafik ortamında kendi başlarına hareket edebilen ve yukarıda belirtilen olumsuz davranışları sergileyen taşıt sürücülerini (minibüs, halk otobüsü, ticari taksi vb.) ile trafik ortamında tehlike yaratan çeşitli durumların-etkileşimlerin modellenmesinde ve sürücü eğitim simülöründe “Riskli Trafik Ortamı”nın oluşturulmasında kullanılmıştır.

## 6. TRAFİKENT SÜRÜCÜ EĞİTİM SİMÜLATÖRÜNDE “RİSKLİ TRAFİK ORTAMI” YARATILMASI

Ülkemizde ve dünyada, hali hazırda kullanılmakta olan sürücü eğitim simülatörleri ve bu simülatörler için geliştirilmiş olan trafik ortamı benzetim modelleri incelendiğinde; söz konusu sistemlerin etkileyici 3B görsel sunumlara (yollar, binalar, taşıtlar gibi) ve fiziksel modellere (taşıt kabini, direksiyon, vites kolu, pedallar gibi) sahip oldukları görülmektedir. Ancak, söz konusu sistemlerde;

- Sürücüye gerçekçi bir trafik ortamı sunmak için bilgisayar ortamında oluşturulan diğer sanal sürücülere ait bazı sürücü davranışlarının (şerit değiştirme, şerit değiştirirken yada kavşaklardan dönerken sinyal verme gibi) ve farklı davranış karakteristiklerinin (saldırganlık, heyecan arama, yaşlılık gibi) modellenmediği [15-16],
- Aynı şekilde, gerçekçi bir şehir içi trafiğinde karşılaşılan bazı tehlikeli durumların (ticari taksilerin ve minibüslerin yolcu indirmek ve bindirmek için, trafiği tehlikeye düşürücü şekilde şerit değiştirmeleri, aniden yavaşlamaları ve duraklamaları, vb.) modellenmediği görülmektedir [17-18].

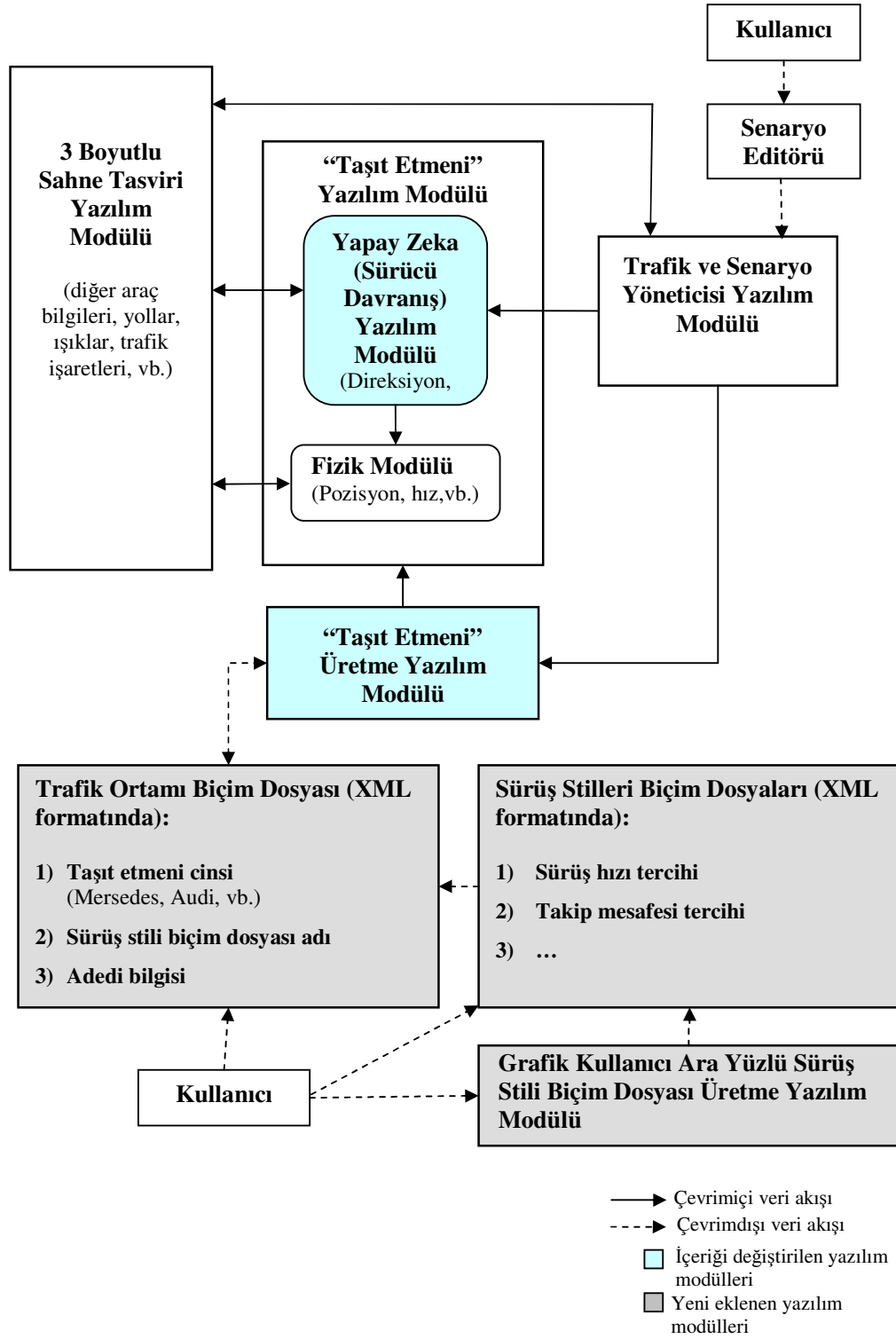
Bu çalışmada, trafik güvenliği açısından risk yaratan ve kaza yapma olasılığı yüksek olan “acemi” sürücülerin yolu okuma (tehlike algısı) ve güvenli sürücülük becerilerinin geliştirilmesi amacıyla; şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan ve kazaya neden olan “sürücü kusurları” ile “tehlike yaratan çeşitli durumların-etkileşimlerin” modellenmesi ve halen ülkemizde bir çok sürücü kursunda kullanılmakta olan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe sanal bir “Riskli Trafik Ortamı”nın yaratılması amaçlanmıştır.

Bu bölümde, halen ülkemizde bir çok sürücü kursunda kullanılmakta olan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründeki sanal trafik ortamının gerçekçiliğini artırmaya ve yukarıda tanımlanan sanal bir “Riskli Trafik Ortamı”nın yaratılabilmesi için, mevcut yazılım bileşenleri üzerinde yapılan iyileştirmeler ile bu çalışma kapsamında yeni baştan geliştirilmiş olan yazılım bileşenleri (modüller ve dosyalar) detaylı bir şekilde anlatılacaktır (Şekil 6.1).

TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe daha önce mevcut olan yazılım modüllerinden olan “Yapay Zeka (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü” ve “Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü” nün içerikleri, bu çalışma kapsamında çok büyük bir oranda değiştirilmiştir.

TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe daha önce bulunmayıp, bu çalışma kapsamında geliştirilerek sisteme eklenen yeni yazılım modülleri ve dosyaları ise aşağıda belirtildiği gibidir:

- Sürüş Stilleri Biçim Dosyaları (xml formatında)
- Trafik Ortamı Biçim Dosyaları (xml formatında)
- “Grafik Kullanıcı Ara Yüzlü Sürüş Stili Biçim Dosyası Üretme Yazılım Modülü”



Şekil 6.1. “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü” için geliştirilen yazılım bileşenleri (koyu renk ile gösterilenler) ve veri akış şeması

### **6.1. Yapay Zekâ (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü (YZM)**

TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe hali hazırda gerçek trafik ortamını canlandırmak için kullanılmakta olan sanal taşıt etmenlerinin davranışlarını ve çeşitli seviyelerdeki sürüş görevlerini temsil eden YZM'nin, bu çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan sürücü davranış biçimi modellerini ve farklı sürüş stillerini canlandırmak için gerekli olan parametreleri içermediği görülmüştür. Bu nedenle, söz konusu YZM'nin yeni baştan geliştirilmesine karar verilmiştir.

Sanal trafik ortamında kendi başlarına (otonom) ya da başka bir programın/kullanıcının kontrolünde (yarı-otonom) hareket edebilen taşıt etmenlerine ait algılama, karar verme ve uygulama süreçlerinden ve yol takibi, şerit değiştirmek, kontrollü/kontROLSÜZ kavşaklardan geçmek gibi alt-davranış modellerinden oluşan sürücü davranışlarının, kolay anlaşılır ve hızlı bir şekilde modellenmesinde Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri (HEZDM) modelleme tekniği kullanılmıştır.

Araştırmalar, sürücülerin taşıt sürme faaliyetini, üç farklı seviyede tanımlanan görevleri yerine getirerek gerçekleştirdiklerini göstermiştir. Bunlar, daha önce tanımlandığı üzere sırasıyla; stratejik seviyedeki sürüş görevleri, taktik seviyedeki sürüş görevleri ve kontrol seviyesindeki sürüş görevleridir (Bkz. Şekil 3.1).

Sürücülerin, taşıt sürme faaliyetini gerçekleştirmek için sergilediği davranışlar, literatürde “sürücü davranışları” ifadesi ile tanımlanmaktadır. Doğası itibariyle çok karmaşık olan sürücü davranışlarını, “sürücü davranış biçimleri” nin bileşkesi olarak tanımlayabiliriz [12,35]. Söz konusu “sürücü davranış biçimleri”, belirli bir mantık gözetilerek, bu çalışma kapsamında stratejik seviye, taktik seviyesi ve kontrol seviyesi sürüş görevleri ile uyumlu olacak şekilde gruplandırılmış ve aşağıda ayrı ayrı tanımlanan sürücü davranış biçimi modelleri geliştirilmiştir.

### Stratejik seviyedeki sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri

Stratejik seviyede sürücü, hangi ulaşım aracını süreceğini, araç sürmek ile ilgili nihai hedefinin ne olduğunu belirlemekte ve hedefine ulaşmak için gideceği yönü tayin etmektedir. Şehir içi trafik ortamında gözlemlenen ve bu çalışma kapsamında geliştirilen, stratejik seviye sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri aşağıda sunulmuştur:

- Taşıt cinsi seçim modeli
- Yön tayini modeli

### Taktik seviye sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri

Taktik seviyede sürücü, trafik ortamında karşısına çıkan ve yönetmesi gereken durumlar (örneğin, kavşaklardan geçmek, sollama yapmak, yolcu indirme/bindirmek) ile ilgili kısa süreli hedefler belirlemekte ve bu amaçla aracına manevra yaptırmaktadır. Bu seviyede sürücü, öncelikle etrafındaki diğer sürücülerle ve trafik işaretleriyle ilgilenmektedir. Sürücü, davranışlarını o anda gelişen duruma göre belirlemekte, ancak stratejik seviyedeki hedefinden de etkilenmektedir. Şehir içi trafik ortamında gözlemlenen ve bu çalışma kapsamında geliştirilen, taktik seviye sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri aşağıda sunulmuştur:

- Yolcu indirme/bindirme modeli
- Dönüşler/kavşak geçişi modeli
- Serbest sürüş modeli

### Kontrol seviyesi sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimleri

Kontrol seviyesinde sürücü, stratejik ve taktik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda taşıta manevra yaptırmak için otomatik davranışlar sergiler. Sürücü bu seviyede, taşıta manevra yaptırmak için direksiyonu ne kadar çevireceğine ve

gaz/fren pedalına ne kadar basacağına karar verir. Şehir içi trafik ortamında gözlemlenen ve bu çalışma kapsamında modellenen, kontrol seviyesi sürüş görevlerine ilişkin sürücü davranış biçimi modelleri aşağıda sunulmuştur:

- Şerit/koridor takibi modeli
- Sürat adaptasyonu modeli
- Taşıt takibi modeli
- Şerit değiştirme modeli
- Taşıt durdurma modeli
- Kişiliğe bağlı davranışlar modeli

Yukarıda sıralanan söz konusu sürücü davranış biçimi modellerinin her biri, farklı sürüş stillerini ortaya çıkartmak için birer araç olan farklı sürücü tercihleri ile bu çalışma kapsamında oluşturulması hedeflenen “Riskli Trafik Ortamı” için gerekli olan sürücü asli ve tali kusurlarını (2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununun 84 ncü maddesi) kapsayacak şekilde aşağıda tanımlanmıştır:

#### **6.1.1. Taşıt cinsi seçim modeli**

Sürücüler, nihai hedeflerine göre hangi ulaşım taşıtını süreceğine karar verirler. Bu çalışma kapsamında, kamyon, minibüs, ticari taksi ve muhtelif markalarda otomobil modelleri kullanılacaktır. Taşıtlar, ayrıca ‘yolcu taşıtı’ ve ‘özel taşıt’ olarak sınıflandırılmıştır.

Sanal trafik ortamında hangi taşıt cinslerinin, ne oranda bulunacağı, başlangıç pozisyonu, başlangıç yönü ve hızlarının ne olacağına ilişkin hususlar “Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü” bölümünde detaylandırılacaktır.

### **6.1.2. Yön tayini modeli**

Sürücüler, sürüş hedeflerine göre kavşaklardan hangi yöne gideceklerine karar verirler. Stratejik bir sürüş görevi olan yön tayini, bu çalışma kapsamında her bir taşıt için, eğitim hedefine yönelik Trafik ve Senaryo Yöneticisi Yazılım Modülü tarafından ya da rasgele olarak belirlenmektedir.

### **6.1.3. Yolcu indirme/bindirme modeli**

Yolcu indirme/bindirme modeli, yolcu taşıtı kullanan sürücülerin, yolcu durağına ya da durak haricinde bekleyen bir yolcuya yaklaşıldığında, yolcu indirme/bindirme amacıyla, taşıtlarını en sağ şeritte ve durağın ya da yolcunun hemen önünde durmasını sağlamak için sergiledikleri taktik seviye sürücü görevlerini modeller. Modelimize göre sürücü, eğer taşıtı en sağ şeritte değilse, uygun bir mesafe geriden itibaren taşıtın en sağ şeride geçmesi için çaba sarf eder. Ancak, trafik yoğunluğu nedeniyle bunu başaramazsa, yolcuyu almaktan vazgeçer ve yoluna devam eder.

*Yolcu indirme/bindirme tercihi:* Sürücülerin duraklarda ve durak haricinde yolcu indirme/bindirme eğilimini belirtir.

1. Normal: Yolcu indirme ve bindirme maksadıyla duraklarda durması.
2. Saldırgan:
  - a) Yolcu indirme ve bindirme maksadıyla durak haricinde durması,
  - b) Durağa son 30-50 metre mesafe kalınca sağ şeride geçmeye çalışması.

### **6.1.4. Dönüşler/kavşak geçişi modeli**

Sürücülerin kontrollü ya da kontrolsüz bir kavşağa yaklaşırken, kavşaktan sağa veya sola dönerken veya karşı yola geçerken sergilediği davranışları modeller. Modelimiz, kavşaktan dönülecek yönün (sağa, sola ya da doğrudan karşıya) ve kavşakta takip edilecek ilgili koridorun belirlenmesi, dönülecek yön için en uygun şeride geçilmesi, kavşağa yaklaşan diğer taşıtlar dikkate alınarak geçiş önceliğinin hesaplanması ve



trafik ışıklarına (kırmızı, sarı, yeşil) tepki verilmesi ile ilgili taktik seviye sürüş görevlerini modellemektedir.

*Kavşağa yaklaşırken zamanında doğru şeride geçme tercihi:* Sürücünün kavşağa yaklaşırken şerit değiştirme ile ilgili sergilediği davranışı tanımlar.

1. Normal: Kavşaklara yaklaşırken, 30 metre mesafeden önce şerit değiştirir.
2. Saldırgan: Kavşaklara yaklaşırken, 30 metre mesafe içinde şerit değiştirir.

*Kavşağa yaklaşırken sürüş hızı tercihi:* Sürücünün kavşağa yaklaşırken aracının hızını ayarlaması ile ilgili sergilediği davranışı tanımlar.

1. Normal: Kavşaklara yaklaşırken hızını azaltır.
2. Saldırgan: Kavşaklara yaklaşırken hızını azaltmaz.

*Dönüşlerde sinyal verme tercihi:* Sürücünün kavşakta döneceği yönü belirtmek için sinyal verme ile ilgili sergilediği davranışı tanımlar.

1. Normal: Sağa/sola dönüş işaretini verir.
2. Saldırgan: Sağa/sola dönüş işaretini vermez.

*Geçiş önceliğine uyma tercihi:* Sürücünün trafik zabıtası veya trafik işaret levhası veya ışıklı trafik işaret cihazları bulunmayan kavşaklar sergilediği davranışı tanımlar.

1. Normal:
  - a) Dönüş sırasında, karşıdan gelen ve emniyetle durdurulamayacak kadar kavşağa yaklaşmış olan taşıtların geçmesini bekler,
  - b) Dönüşe başlamadan, sağdan gelen taşıtlara ilk geçiş hakkını verir,
  - c) Bölünmüş yola ya da anayola çıkan sürücüler bu yoldan geçen araçlara ilk geçiş hakkını verir (700 metre varsa çıkabilir),
2. Saldırgan:
  - a) Dönüş sırasında, karşıdan gelen ve emniyetle durdurulamayacak kadar kavşağa yaklaşmış olan taşıtların geçmesini beklemez,
  - b) Dönüşe başlamadan, sağdan gelen taşıtlara ilk geçiş hakkını vermez,
  - c) Bölünmüş yola ya da anayola çıkan sürücüler bu yoldan geçen araçlara ilk geçiş hakkını vermez,

*Trafik ışıklarına uyma tercihi:* Sürücünün trafik ışıklarına uyma, uymama davranışını tanımlar.

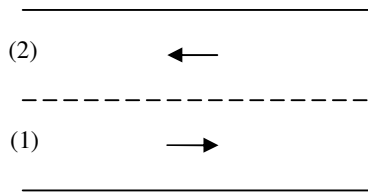
1. Normal: Trafik ışıklarına uyar
2. Saldırgan: Trafik ışıklarına uymaz.

### 6.1.5. Serbest sürüş modeli

Serbest sürüş bölgesi, bu çalışma kapsamında, sürücünün önündeki şeridin sona ermesi, kavşağa yaklaşması ya da yolcu indirme/bindirme amacıyla durmasını veya yavaşlamasını gerektirecek nedenlerden her hangi birinin olmadığı bölge olarak tanımlanmıştır. Serbest sürüş modeli, söz konusu bölgede, taşıt etmeninin önünde yavaş giden bir taşıt bulunması veya kendi arkasından daha hızlı bir taşıtın yaklaşması durumlarında, taşıtını daha rahat ve/veya daha hızlı sürebileceği uygun bir şeride geçmek istemesi ve şartlar uygunsa bu isteğini hayata geçirmesine yönelik taktik seviye sürüş görevlerini modellemektedir.

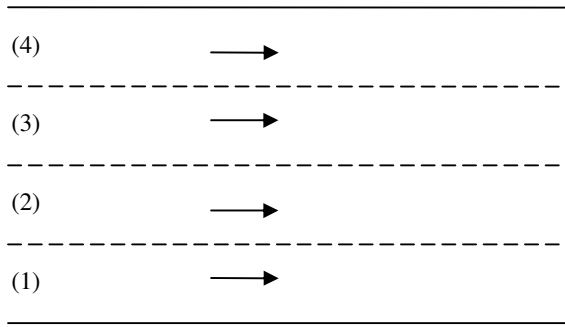
Serbest sürüş bölgesindeki sürücüler taşıtlarını, hava ve yol durumuna ve sahip oldukları sürüş stiline göre, tercih ettikleri şeritte, şeridin ortasından, sağından ya da solundan sürme eğilimindedirler.

Gidiş ve geliş istikametlerine ayrılmış sadece birer adet şeridi bulunan çift şeritli bölünmemiş yollarda bütün araçlar için tercih edilen şerit gidiş istikametindeki sağ şerittir (Şekil 6.2). Diğer şerit ise sollama şerididir. Bu çalışma şehir içi yollardaki sürücü davranışlarını kapsadığından, sürücülerin sollama davranışı modellenmemiştir.



Şekil 6.2. Bölünmemiş yol

Aşağıdaki şekilde sunulduğu gibi, gidiş istikametinde iki ya da daha fazla şeride sahip olan bölünmüş yollarda ise, tercih edilen şerit, taşıt türüne göre farklılık arz etmektedir (Şekil 6.3). Trafiğin sağdan aktığı ülkemizde, aşağıdaki şeritleri sağdan sola doğru numaralandıracak olursak, yavaş giden taşıtlar ile minibüs, taksi, halk otobüsü gibi yolcu taşıyan taşıtlar daha çok “1” nci veya “2” nci şeridi tercih ederken, hızlı taşıtlar ve otomobiller gibi özel taşıtlar daha çok “3” ncü veya “4” ncü şeridi tercih etmektedirler. “3” ve “4” numaralı şeritleri tercih eden sanal taşıtlar, iki şeritli bölünmüş yola girdiklerinde tercih ettikleri şerit otomatik olarak “2” nci şerit olarak, “2” nci şeridi tercih edenlerin ise, “1” nci şerit olarak değişir. Modelimizde yer alan sanal taşıtlar, dönme, durma ve duraklama gibi nedenlerin haricinde tercih ettikleri şeritte ya da hemen sağındaki veya solundaki şeritten giderler, bu şeritlerin dışına çıkmazlar.



Şekil 6.3. Bölünmüş yolun gidiş istikameti

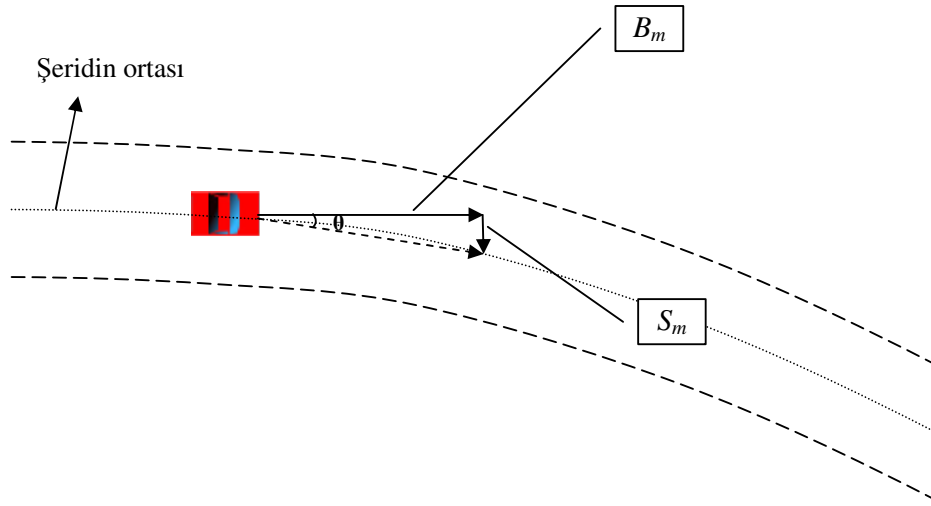
*Şerit tercihi:*

1. En sağ şerit (1),
2. En sol şerit (4),
3. Rast gele şerit

#### 6.1.6. Şerit/koridor takibi modeli

Şerit/koridor takibi modeli, sürücülerin kendilerine ayrılan şeritte ilerlemeleri veya şerit değiştirmeleri esnasında yoldan dışarı çıkmamak için, taşıtın yönüne göre direksiyon pozisyonunu ayarladıkları sürücü davranışlarını modellemektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan modelde, her hangi bir taşıt bulunduğu şeritte ilerlerken, anlık olarak hesaplanan ilerleme istikametinde belirli bir mesafe (Bakış mesafesi [ $B_m$ ]) kadar ilerlemeye devam etmiş olsaydı, bulunduğu şeridin ortasından ne kadar sağa yada sola sapsın olacağı hesaplanır (Sapma mesafesi [ $S_m$ ]) ve ardından bu sapmayı düzeltmek için gerekli olan yeni direksiyon konumu belirlenir (Eş. 6.1), [36]. Bu sayede, sürücülerin kendilerine ayrılan şeridi takip etme davranışları modellenmiş olur (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Bakış ve sapma mesafelerinin gösterimi

$$\text{Yeni direksiyon konumu: } k \times \theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{2}{(B_m)^2} \times (S_m) \right\} \quad (6.1)$$

$k$  Direksiyon döndürme katsayısı [sabit]

$\theta$  Sapma açısı [derece]

$B_m$  Bakış mesafesi [metre]

$S_m$  Sapma mesafesi [metre]

Bu çalışma kapsamında, BM değeri düşük hızlarda 15 metre, 25 m/sn' den yüksek hızlarda ise 25 metre kabul edilmiştir [36].

Ayrıca, sürücülerin buldukları şeridin sağındaki ya da solundaki şeridi ihlal edip, etmedikleri, ne oranda ve ne kadar süre ile ihlal ettikleri de bu modelde tanımlanmaktadır.

*Şerit tecavüzü tercihi:*

1. Sürücünün seyir halindeyken sağdaki şeride tecavüz etmesi (oranı, süresi)
2. Sürücünün seyir halindeyken solundaki şeride tecavüz etmesi (oranı, süresi)

### **6.1.7. Sürat adaptasyonu modeli**

Sürücüler taşıtlarını, hava ve yol durumuna ve sahip oldukları sürüş stiline göre, tercih ettikleri süratte ve bu sürate erişmek için tercih ettikleri hızlanma ve yavaşlama ivmesi ile sürme eğilimindedirler. Sürücü adaptasyonu modeli, söz konusu sürücü davranışlarını temsil etmektedir.

*Sürüş hızı tercihi :*

1. Saldırgan : (Limit+ %20) – (Limit+ %40); normal dağılım
2. Normal : (Limit - %10) – (Limit + %10); normal dağılım
3. Yavaş : (Limit - %40) – (Limit - %20); normal dağılım

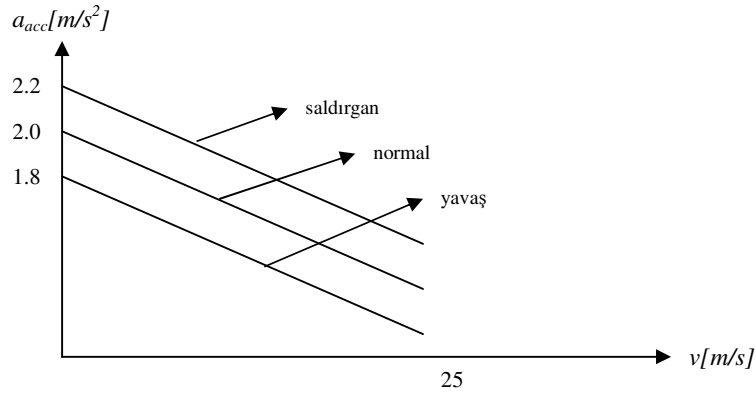
Karayolları Trafik Yönetmeliği'ne göre, Karayolları Trafik Kanununda ve Yönetmeliğinde yazılı kayıt ve şartlar dışında ve aksine bir işaret bulunmadıkça şehir içi ve şehirlerarası römorksuz taşıt cinsleri için saatteki en çok hız limitleri aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.1) [65].

Çizelge 6.1. Karayolları Trafik Yönetmeliği'ne göre, aksine bir işaret bulunmadıkça şehir içi ve şehirlerarası römorksuz taşıt cinsleri için saatteki en çok hız limitleri [65]

ARAÇ CİNSİ	YERLEŞİM YERİ İÇİNDE	YERLEŞİM YERİ DIŞINDA	OTOYOLDA
Otomobil	50	90	120
Otobüs,	50	80	100
Minibüs, kamyon, kamyonet	50	80	90
Arazi taşıtlarında ve motosikletlerde	50	70	80
Tehlikeli madde taşıyan araçlar ve özel yük taşıma izin belgesi veya özel izin belgesi ile karayoluna çıkan araçlarda (Belgelerinde aksine bir hüküm yoksa)	30	50	60
Motorlu ve motorsuz bisikletlerde	30	50	--
Lastik tekerlekli traktörler, arızalı bir aracı çeken araçlar ve iş makinelerinde	20	20	--

Yol ve trafik şartlarının uygun olduğu, önlerinde herhangi bir engelin bulunmadığı zamanlarda, sanal sürücünün taşıtını tercih ettiği hıza çıkarmak için tercih edebileceği hızlanma ivmesi, gerçekçiliği artırmak amacıyla, aşağıdaki fonksiyon ile temsil edilmiştir (Şekil 6.5) [66]. Sanal sürücü için, “saldırgan”, “normal” ve “yavaş” olmak üzere üç farklı ivmelenme fonksiyonundan birisi seçilebilmektedir.

*Hızlanma ivmesi tercihi:* Taşıtın herhangi bir andaki hızlanma ivmesi değeri, o andaki anlık hızına ve sanal sürücünün kişilik özelliğine bağlı olarak değişmektedir (Eş. 6.4) [66].



Şekil 6.5. Hızlanma ivmesi [66]

$$a_{acc}(v) = \alpha_y - \beta_y \cdot v, \quad y \in [\text{Saldırgan}, \text{Normal}, \text{Yavaş}] \quad (6.4)$$

1. Saldırgan : ( $\alpha_1 = 2.2, \beta_1 = 0.04$ )
2. Normal : ( $\alpha_1 = 2.0, \beta_1 = 0.04$ )
3. Yavaş : ( $\alpha_1 = 1.8, \beta_1 = 0.04$ )

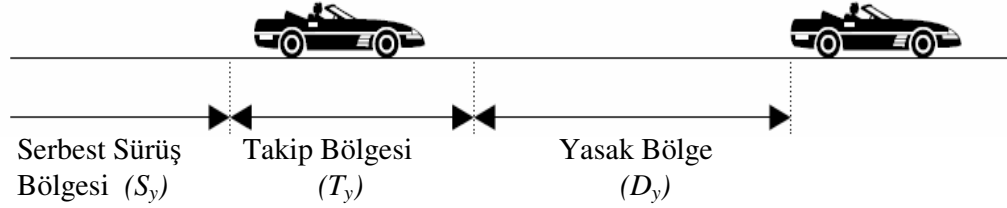
*Yavaşlama ivmesi tercihi:* Yavaşlama ivmesi, taşıtın durmasını gerektiren her hangi acil bir durum söz konusu olmadığı durumlarda, taşıtın hızının istenen seviyeye indirilmesi için kullanılan frenleme ivmesidir.

1. Saldırgan :  $-3.2 \text{ m/s}^2$
2. Normal :  $-1.5 \text{ m/s}^2$
3. Yavaş :  $-1 \text{ m/s}^2$

### 6.1.8. Taşıt takibi modeli

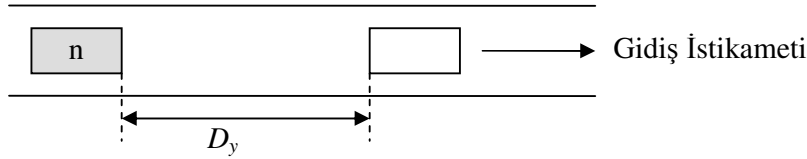
Sürücü davranış biçimlerinden biri olan ve sürücülerin buldukları şeritte ve hemen önlerinde ilerleyen başka bir taşıtı takip etme davranışı olarak tanımladığımız “Taşıt Takibi” nin modellenmesinde farklı yaklaşımlar kullanılmakla beraber, bu çalışmada kullanılan modelleme yaklaşımı aşağıda açıklanmıştır [67,68]. Buna yaklaşıma göre, öndeki taşıt ile onu takip eden taşıt arasındaki mesafe, modeldeki gerçekçiliği arttırmak için, her iki taşıtın hızlarına bağlı olarak değişen üç farklı yönetimsel

bölgeye (yasak bölge, takip bölge ve serbest sürüş bölgesi) ayrılmakta ve her bir bölgedeki sürücü davranış biçimi ayrı ayrı modellenmektedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Taşıt takibinde kullanılan yönetimsel bölgelerin gösterimi [67]

Yasak bölge, arkadaki taşıtın ortalama bir yavaşlama ivmesi ( $a_{ort.}$ ) ile öndeki taşıtın hızına inebilmesi için gerekli tahmini fren mesafesi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6.7). Yasak bölgenin uzunluğu, bu çalışmada aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Eş. 6.2).



Şekil 6.7. Yasak bölgenin gösterimi

$$D_y(v_n - v_{n-1}) = \left\{ \begin{array}{ll} v_n \times t_{min} + \frac{(v_n - v_{n-1})^2}{2 \times a_{ort.}} + D_{durma} & v_n \geq v_{n-1} \\ v_n \times t_{min} + D_{durma} & v_n < v_{n-1} \end{array} \right\} \quad (6.2)$$

$D_y$  yasak bölge [m],

$v_n$  arkadaki (n) taşıtın hızı [m/s],

$v_{n-1}$  öndeki (n-1) taşıtın hızı [m/s],

$t_{min}$  takip mesafesi kritik zaman aralığı [s],

$D_{durma}$  her iki taşıt durduklarında, aralarındaki mesafe [m]

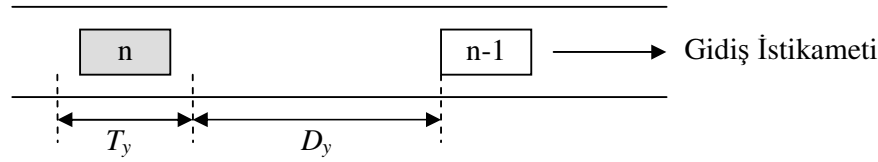


$a_{ort}$  ortalama yavaşlama ivmesi [ $m/s^2$ ]

*Takip mesafesi kritik zaman aralığı ( $t_{min.}$ ) tercihi:*

1.  $t_{min.}(\text{saldırğan}) = 0.9 \text{ s.} \pm 0.2 \text{ sn.}$  (Normal dağılım)
2.  $t_{min.}(\text{normal}) = 2.0 \text{ s.} \pm 0.2 \text{ sn.}$  (Normal dağılım)
3.  $t_{min.}(\text{yavaş}) = 3.0 \text{ s.} \pm 0.2 \text{ sn.}$  (Normal dağılım)

Takip bölgesi, sürücünün normal şartlar altında “taşıt takibi” davranışını sergilediği, hızlanma veya yavaşlama yönünde herhangi bir ivmelenmesinin olmadığı varsayılan bölgedir (Şekil 6.8). Takip bölgesinin uzunluğu aşağıdaki formülle hesaplanır (Eş. 6.3).



Şekil 6.8. Takip bölgesinin gösterimi

$$T_y = \begin{cases} \max\{v_n \times t_T; M_T\} & v_n \geq v_{n-1} \\ 0 & v_n < v_{n-1} \end{cases} \quad (6.3)$$

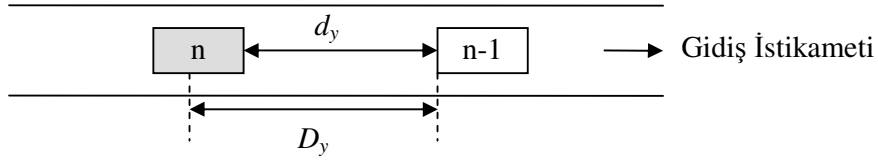
$t_T$  takip bölgesi zaman aralığı [s],

$M_T$  takip bölgesi en düşük mesafe aralığı [m],

Eğer arkadaki taşıt, yasak ve takip bölgesi mesafelerinin toplamından daha geride ise, serbest sürüş bölgesinde bulunuyor demektir. Sürücü bu bölgede, yukarıda tanımlı olan, ‘serbest sürüş bölgesi’ ile ilgili sürücü davranış biçimlerini sergiler.

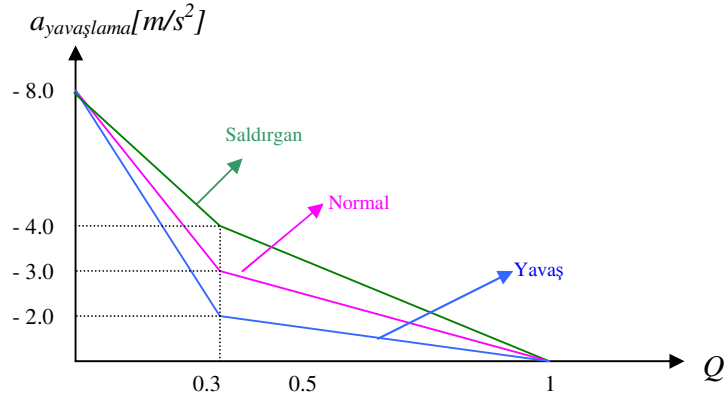
*Takip-yavaşlama ivmesi tercihi:* Eğer arkadaki taşıt, önündeki taşıtla arasındaki yasak bölgeye girer ise, önündeki araca çarpmamak ve tekrar takip bölgesine geri dönerek normal takip yapmak için, uygun bir ivme ile yavaşlamak zorundadır (Şekil

6.9). Bu durumda, arkadaki taşıtın takip-yavaşlama ivmesi, yani sürücüsünün fren pedalına basma gücü, yasak bölgeyi ne kadar ihlal ettiği ile doğru orantılı olarak artar. Arkadaki taşıtın yasak bölgeyi ihlal etme oranı,  $Q$ , her iki taşıtın arasındaki mesafenin,  $d_y$ , “Eş. 6.4.” ile hesaplanan yasak bölgeye ( $D_y$ ) oranı olarak tanımlanır. Yasak bölgeye giren taşıtların takip-yavaşlama ivmesi, sürüş stiline göre üç farklı fonksiyon ile temsil edilebilir (Şekil 6.10, Eş. 6.5).



Şekil 6.9. Yasak bölge ihlali yapan taşıt

$$Q = \frac{d_y}{D_y} \quad (6.4)$$



Şekil 6.10. Yasak bölgeye giren taşıtların takip-yavaşlama ivmesi

$$a_{yavaşlama}(Q) = \alpha_y - \beta_y \cdot Q, \quad y \in [\text{Saldırgan}, \text{Normal}, \text{Yavaş}] \quad (6.5)$$

$$1. \text{ Saldırgan} : \left\{ \begin{array}{ll} \alpha_{11} = 8.0, \beta_{12} = 13.33, & 0 \leq Q < 0.3 \\ \alpha_{21} = 5.7, \beta_{22} = 5.71, & 0.3 \leq Q < 1.0 \end{array} \right\}$$

$$2. \text{ Normal} : \left\{ \begin{array}{ll} \alpha_{11} = 8.0, \beta_{12} = 16.66, & 0 \leq Q < 0.3 \\ \alpha_{21} = 4.3, \beta_{22} = 4.28, & 0.3 \leq Q < 1.0 \end{array} \right\}$$

$$3. \text{ Yavaş} : \left\{ \begin{array}{ll} \alpha_{11} = 8.0, \beta_{12} = 20.00, & 0 \leq Q < 0.3 \\ \alpha_{21} = 2.8, \beta_{22} = 2.85, & 0.3 \leq Q < 1.0 \end{array} \right\}$$

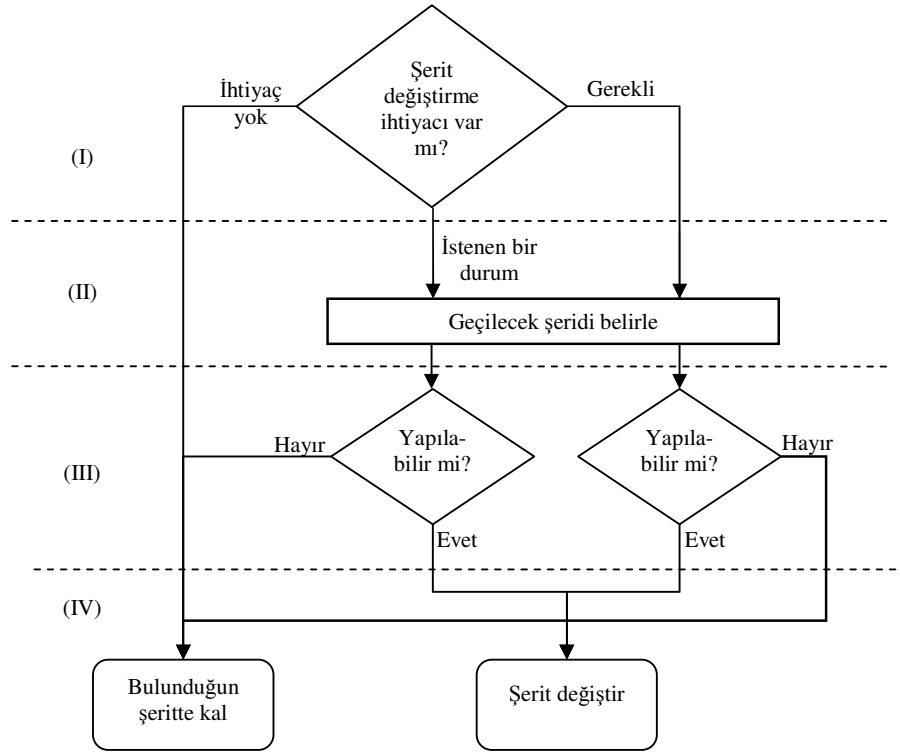
### 6.1.9. Şerit değiştirme modeli

Bu çalışmada, gidiş ve geliş istikameti bölünmüş olan ve her bir istikameti çok şeritli olan yollarda sürücünün şerit değiştirme davranışının gerçekçi bir şekilde modellenebilmesi hedeflenmektedir. Bu maksatla, sürücülerin tercih ettiği şeritte önlerinde yavaş giden bir aracın bulunması (örn;  $V_{\text{kullanıcı_aracı}} - V_{\text{öndeki_arac}} > 3\text{m/sn}$  olması) ya da arkadan daha hızlı bir taşıtın gelmesi durumları için 'isteğe bağlı'; dönme, durma, duraklama (duraklarda ve durak haricinde yolcu indirme/bindirme amacıyla), şerit sonu gibi durumlar için ise 'gerekli olan' şerit değiştirme davranışı (geçiş aralığı kabulü, vb.) modellenmiştir.

Şerit değiştirme kararını verirken, sürücüler çeşitli şartları göz önünde bulundurma ihtiyacı duyarlar. Şerit değiştirme kararının alınmasının aşağıdaki üç sorunun cevabının verilmesine bağlı olduğunu söyleyebiliriz [67,68].

- Şerit değiştirmek gerekli midir?
- Şerit değiştirmek istenen bir durum mudur?
- Yol ve trafik şartları şerit değiştirmeye izin veriyor mu?

Bu sorular üzerine bina edilmiş olan ve bu çalışma kapsamında da kullanılan şerit değiştirme modelinin akış şeması aşağıda sunulmuştur (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Şerit değiştirme modeli akış şeması

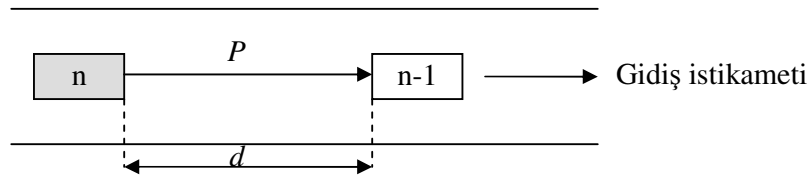
Bu modele göre, şerit değiştirme işlemi dört safhadan oluşmaktadır. Birinci safhada, herhangi bir şerit değiştirme öngörülmemekte, ancak buna ihtiyaç olup olmadığı kontrol edilmektedir. İkinci safhada, eğer ihtiyaç olduğu tespit edilirse, ihtiyacın hangi sebepten kaynaklandığına bağlı olarak geçilmek istenen şerit belirlenir. Üçüncü safhada, geçilmek istenen şeritte yeterli bir “geçiş aralığı”nın bulunup, bulunmadığı sorgulanır. Son safhada ise, eğer yeterli bir “geçiş aralığı” bulunursa, şerit değiştirilir; bulunamazsa, karar iptal edilir ve birinci safhaya geri dönülerek yeni bir karar süreci başlatılır.

#### Şerit değiştirmenin “istenen bir durum” olduğu karar alma sürecinin modellenmesi:

Sürücünün, eğer şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu başka bir durum söz konusu değil ise, önünde yavaş giden bir taşıt bulunması veya kendi arkasından daha hızlı bir

taşıtın yaklaşması durumlarında, aracını daha rahat ve/veya daha hızlı sürebileceği uygun bir şeride geçmek istemesi ve şartlar uygunsa bu isteğini hayata geçirmesine yönelik kararlar aldığı süreci kapsamaktadır.

Yukarıda tanımlanan şerit değiştirme modelinin birinci safhasında yapılan sorgulama sonucunda, sürücünün şerit değiştirmeyi istemesini etkileyen faktörler; sürücünün tercih ettiği hız, önündeki aracın uzaklığı ve hızı, varsa yan şeritlerdeki araçların uzaklık ve hızları, eğer varsa arkadan gelen daha hızlı aracın uzaklığı ve tercih ettiği hız, ayrıca bulunduğu şeritte geçirdiği zamandır. Bu maksatla kullanılan “baskı fonksiyonu”, iki aracın arasındaki potansiyel yavaşlama ivmesini (PYİ) sonuç vermektedir (Şekil 6.12), (Eş. 6.6), [69].



Şekil 6.12. Öndeki yavaş giden taşıtın oluşturduğu “baskı fonksiyonu”nun gösterimi

$$P = \frac{(v_n^{ter} - v_{n-1})^2}{2 \times d} \quad (6.6)$$

$P$  potansiyel yavaşlama ivmesi fonksiyonu [ $m/s^2$ ]

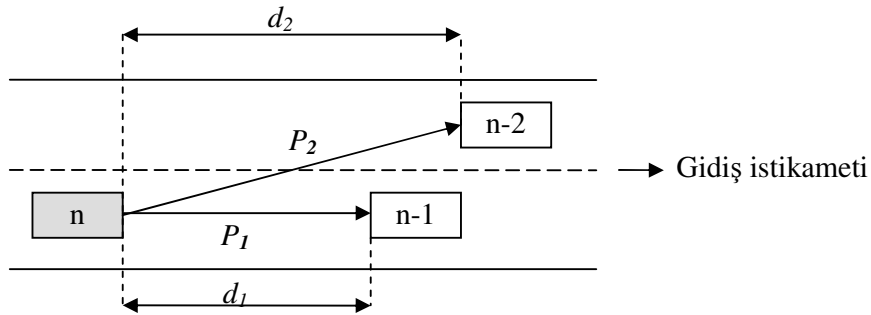
$d$  iki taşıt arasındaki mesafe [m]

$v_n^{ter}$  arkadaki taşıtın (n) tercih ettiği hız değeri [m/s]

$v_{n-1}$  öndeki taşıtın (n-1) hızı [m/s]

Bu çalışmada kullanılan şerit değiştirme modeline göre; sürücü, önünde daha yavaş giden bir taşıt ile karşılaştığında; eğer şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu başka bir durum söz konusu değil ise, öncelikle önündeki yavaş araçtan kaynaklanan şerit değiştirme ihtiyacının olup, olmadığına karar vermektedir. Öndeki araçtan kaynaklanan PYİ, sol şeritte ilerleyen ve göreceli olarak sürücünün önünde seyreden

diğer araçtan kaynaklanan PYİ ile karşılaştırılmaktadır (Şekil 6.13). Bu karşılaştırma sonucunda, sürat avantajı sağlayan kritik eşik değeri ( $c_{sol}=0.56$ ) aşılsa, sürücü için sol şeride geçmenin avantajlı olduğu söylenebilir (Eş. 6.7). Bununla birlikte diğer şartlar; yani, sürücünün tercih ettiği hız ile önündeki araç arasındaki hız farkı belirli bir eşik değerini aşarsa ( $\Delta v_{\min} < v_n^{ter} - v_{n-1}$ ) ve aracını sürmekte olduğu şeritte belirli bir süre geçirdiyse ( $T_{şerit} > T_{\min}$ ), sürücünün sol şeride geçmek istediğine karar verilir (Eş. 6.8).



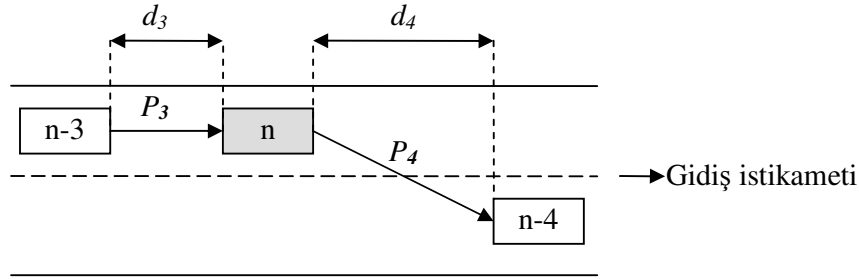
Şekil 6.13. Farklı şeritlerdeki trafikten kaynaklanan “baskı fonksiyonları”nın gösterimi

$$c_{sol} \times P_1 > P_2, c_{sol} \in [0,1] \quad (6.7)$$

$$(c_{sol} \times P_1 > P_2) \text{ VE } (v_{n-1} < v_n^{ter} - \Delta v_{\min}) \text{ VE } (T_{şerit} > T_{\min}) \quad (6.8)$$

Bu çalışmada kullanılan şerit değiştirme modeline göre; sürücü, arkasından yaklaşan daha hızlı bir araç varsa ve eğer şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu başka bir durum söz konusu değil ise, arkadaki araçtan kaynaklanan şerit değiştirme ihtiyacının olup, olmadığına karar vermektedir. Bu maksatla, sürücünün aracına arkadan yaklaşan aracın potansiyel yavaşlama ivmesi, sağ şeritte ilerleyen ve göreceli olarak sürücünün önünde seyreden diğer araçtan kaynaklanan PYİ ile karşılaştırılmaktadır (Şekil 6.14). Bu karşılaştırma sonucunda, arkadaki aracın yarattığı baskıyı gösteren kritik eşik değeri ( $c_{sağ}=0.86$ ) aşılsa, sürücü için sağ şeride geçmenin avantajlı olduğu söylenebilir (Eş. 6.9). Bununla birlikte diğer şart; yani, sürücü aracını

sürmekte olduğu şeritte belirli bir süre geçirdiyse ( $T_{şerit} > T_{min}$ ), sürücünün sağ şeride geçmek istediğine karar verilir (Eş. 6.10).



Şekil 6.14. Arkadaki taşıtın oluşturduğu “baskı fonksiyonu”nun gösterimi

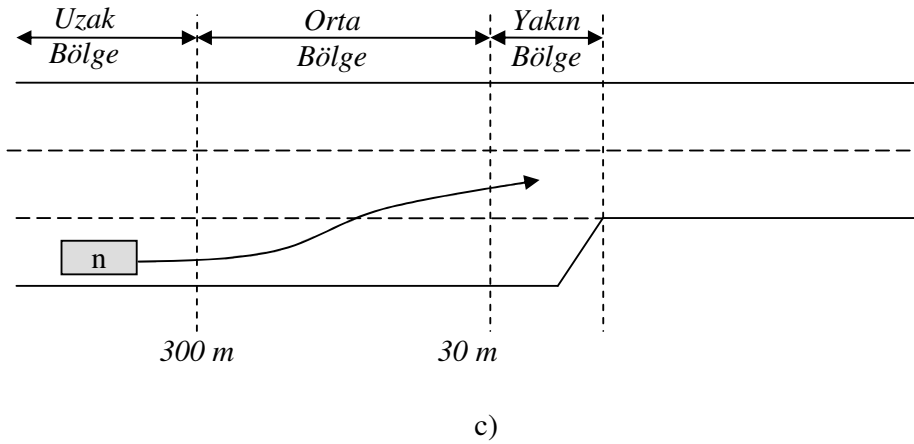
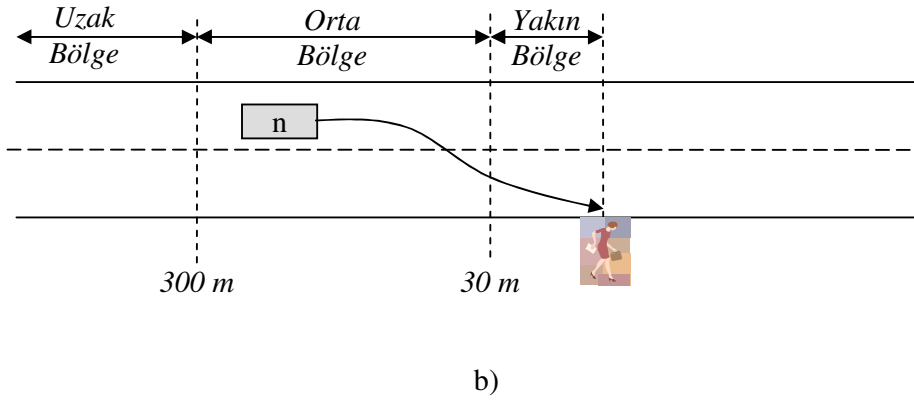
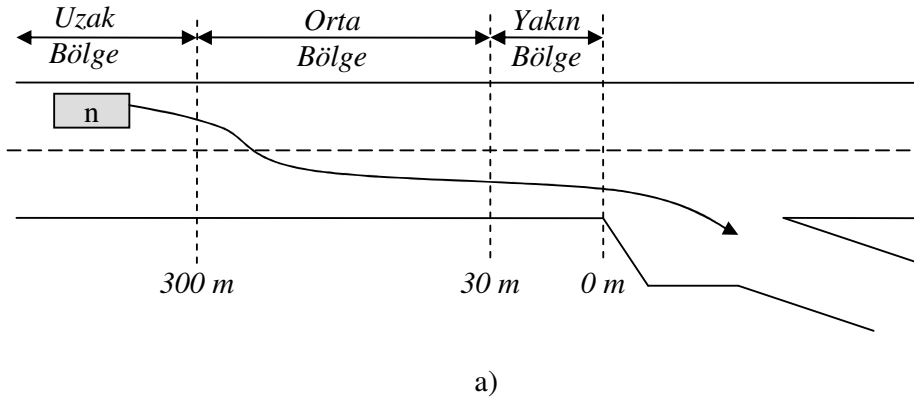
$$c_{sağ} \times P_3 > P_4, c_{sağ} \in [0,1] \quad (6.9)$$

$$(c_{sağ} \times P_3 > P_4) \text{ VE } (T_{şerit} > T_{min}) \quad (6.10)$$

Şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu karar alma sürecinin modellenmesi:

Diğer taraftan, sürücünün önündeki şeridin sona ermesi ve diğer şeritle birleşmesi, gideceği istikamete dönmek, durmak veya yolcu indirme/bindirme amacıyla duraklamak hedeflerinden her hangi biri nedeniyle sürücünün şerit değiştirmek istemesi, “gerekli” olan şerit değiştirme sürecini tetiklemektedir.

Bu amaca yönelik olan sürücü şerit değiştirme davranışının modellenebilmesi için, yol kesiti, yaklaşılmakta olan kavşak, yol ayrımı, indirilecek ya da bindirilecek yolcu durağı ya da şerit sonu nirengi alınarak, üç farklı bölgeye ayrılmakta ve her bir bölgedeki şerit değiştirme davranışı ayrı ayrı modellenmektedir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Şerit değiştirme davranış modelleri

- a) Kavşak yada yol ayırımına yaklaşma b) Yolcu indirme/bindirme  
c) Şerit sonu

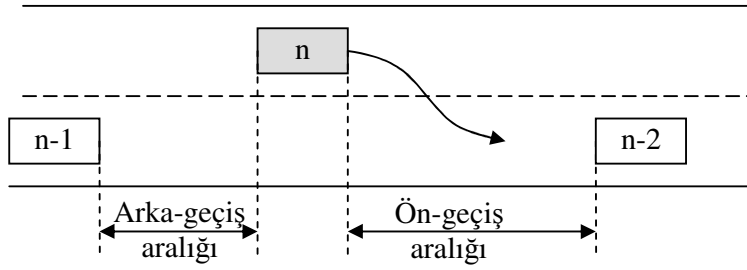


Uzak bölgede, “isteğe bağlı” şerit değiştirme modeli kullanılır. Orta bölgede sürücü isteğe bağlı şerit değiştirmez, bunun yerine amacına ulaşmak için gerekli şeridi belirler ve o şeride geçmeye çalışır.

Kavşağa, durağa veya yol ayırımına 30 metre kala hala istenen şeride geçilememiş ise normal şartlarda süreç iptal edilir. Şerit sonu ya da önde duran bir engel tespit edilmişse, süreç sonuna kadar devam ettirilir. Bununla birlikte, önde bir engelin bulunması, şerit sonunun tespit edilmesi ya da kavşakta kırmızı ışık olması gibi taşıtın durmasını gerektiren hallerde, taşıt takibi modelinin yasak bölge formülü ( $D_y$ ) kullanılarak, eğer şerit değişimi gerçekleştirilemezse taşıtın durdurulması sağlanır.

“Geçiş Aralığı Kabulü” karar sürecinin modellenmesi ve “Kritik Geçiş Aralığı” hesabı:

Modelimize göre; şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu ya da “istenen bir durum” olduğu zamanlarda, geçilmek istenen şerit belirlendikten sonra, söz konusu şeritte yeterli “geçiş aralığı”nın bulunup, bulunmadığı kontrol edilir. Eğer yeterli bir “geçiş aralığı” bulunduğu tespit edilirse, şerit değiştirilir; aksi takdirde, karar iptal edilir ve birinci safhaya geri dönülerek yeni bir karar süreci başlatılır. Literatürde “geçiş aralığı kabulü” olarak adlandırılan bu sürecin modellenmesi için, genellikle iki aşamalı bir modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır [12,69]. Buna göre, geçilmek istenen şeritteki önde bulunan taşıt ile sürücünün taşıtı arasındaki geçiş aralığı (ön-geçiş aralığı) ve arkada bulunan taşıt ile sürücünün taşıtı arasındaki geçiş aralığı (arka-geçiş aralığı) ayrı ayrı hesaplanır (Şekil 6.16). Eğer her iki geçiş aralığının da sürücü için yeterli olduğuna karar verilirse şerit değiştirilir. Ancak, herhangi birinin yeterli olmadığı tespit edilirse karar iptal edilir.

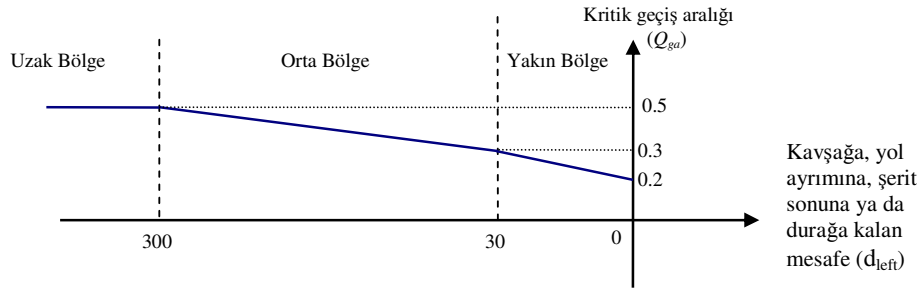


Şekil 6.16. “Geçiş Aralığı Kabulü” karar sürecinin gösterimi

Bir sürücünün yeterli bulup, kabul ettiği geçiş aralığını diğer bir sürücü yeterli bulmayabileceği gibi, aynı sürücü tarafından farklı şartlar altında yeterli bulunan geçiş aralıkları da çoğu zaman değişiklik arz etmektedir. Sürücünün stratejik ve taktik seviyede aldığı kararlar ve sürüş stili, geçiş aralığı kabulünü etkileyen unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, tüm bu faktörleri içeren bir modele ihtiyaç vardır. Literatürde bu maksatla geliştirilmiş çeşitli modeller yer almakla birlikte, bu çalışma kapsamında kullanılan modelin detayları aşağıda açıklanmaktadır [12,70].

Bu modele göre; ön ve arka geçiş aralıklarının hesaplanması için, yukarıda tanımlanan taşıt takibi modelinden faydalanılmaktadır. Eğer sürücü, o anki hızını koruyarak geçmek istediği şeride geçerse, söz konusu şeritte önde bulunan taşıt ile arasındaki, taşıt takibi modeline göre hesaplanan yasak bölgeyi ihlal etme oranı ( $Q$ ), sürücünün kabul edebileceği bir yavaşlama ivmesini sonuç verirse, ön-geçiş aralığı kabul edilmiş sayılır. Arka geçiş aralığı için ise; eğer sürücü, o anki hızını koruyarak geçmek istediği şeride geçerse, söz konusu şeritte arkasında bulunan taşıt ile kendi taşıtı arasındaki, taşıt takibi modeline göre hesaplanan yasak bölgeyi ihlal etme oranı ( $Q$ ), sürücünün kabul edebileceği bir yavaşlama ivmesini sonuç verirse, arka-geçiş aralığı kabul edilmiş sayılır. Bu çalışmada geçiş aralığı hesaplamalarında kullanılan ve  $Q$  cinsinden “kritik geçiş aralığı” değeri ( $Q_{ga}$ ), şerit değiştirmenin “istenilen bir durum” olduğu süreç için 0.5 olarak kabul edilmiştir. Şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu süreçte ise,  $Q_{ga}$  değeri aşağıda belirtilen farklı bölgeler için, yine aşağıda sunulan formül ile hesaplanır (Şekil 6.17), (Eş. 6.11).

Şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu durumlarda, sürücüler genel olarak daha riskli kararlar alma ve uygulama eğilimindedirler. Örneğin, geçmek istedikleri şeritteki daha küçük “geçiş aralıklarını” kabul eder ve geçmeye çalışırlar.



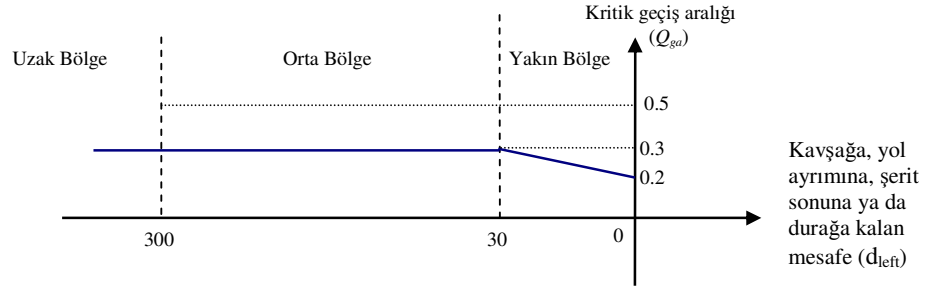
Şekil 6.17. Güvenli “kritik geçiş aralığı” ( $Q_{ga}$ ) fonksiyonunun grafiksel gösterimi

$$Q_{ga}(d_{left}) = \alpha + \beta \cdot d_{left} \quad (6.11a)$$

$$Q_{ga} : \left\{ \begin{array}{ll} \alpha = 0.5 & 300 \leq d_{left} \\ \alpha = 0.277, \beta = 0.00074, & 30 \leq d_{left} < 300 \\ \alpha = 0.2, \beta = 0.0033, & 0 \leq d_{left} < 30 \end{array} \right\} \quad (6.11b)$$

“Kritik geçiş aralığı” ( $Q_{ga}$ ) tercihi: Sürücülerin şerit değiştirmeye karar verdikten sonra, geçmek istedikleri şeritteki “geçiş aralığı”nın yeterli olup, olmadığına karar vermelerine ilişkin davranışlarını modeller.

1. Normal : Tercih ettiği şeritte yavaş giden bir aracın olması (örn;  $V_{kullanıcı\_aracı\_ter} - V_{öndeki\_araç} > 3m/sn$  olması) veya arkadan daha hızlı bir taşıtın gelmesi durumunda, ayrıca dönme, duraklama (duraklarda ve durak haricinde yolcu indirme/bindirme amacıyla), durma ve park etme gibi hallerde, değiştirilecek şeritte güvenli bir aralık oluşmasını müteakip şerit değiştirmek (Eş 6.11).
2. Saldırgan : Tercih ettiği şeritte yavaş giden bir aracın olması veya arkadan daha hızlı bir taşıtın gelmesi durumunda, ayrıca dönme, duraklama, durma ve park etme gibi hallerde, değiştirilecek şeritte güvenli bir aralık oluşmasını beklemeden şerit değiştirmek (Şekil 6.18), (Eş 6.12).

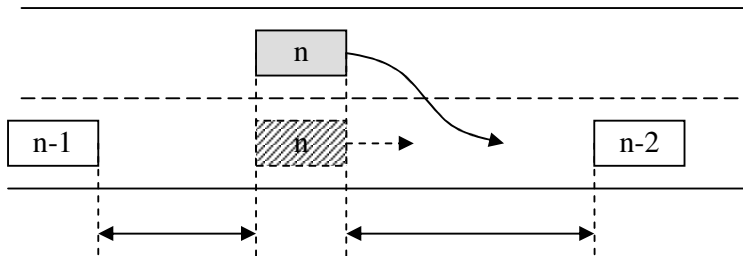


Şekil 6.18. Güvenli olmayan “Kritik geçiş aralığı” ( $Q_{ga}$ ) hesabı

$$Q_{ga}: \left\{ \begin{array}{ll} \alpha = 0.3 & 30 \leq d_{left} \\ \alpha = 0.2, \beta = 0.0033, & 0 \leq d_{left} < 30 \end{array} \right\} \quad (6.12)$$

#### Şerit değiştirme uygulama sürecinin modellenmesi:

Modelimize göre; şerit değiştirmenin “gerekli” olduğu ya da “istenen bir durum” olduğu zamanlarda, geçilmek istenen şerit belirlendikten sonra, söz konusu şeritte yeterli “geçiş aralığı”nın bulunduğu tespit edilirse, şerit değiştirme süreci başlatılır. Şerit değiştirme süreci başlatıldığında, geçilmek istenen şeritteki taşıtlar, sanki söz konusu taşıt etmeni buldukları şeride geçmiş gibi davranırlar, hızlanma ve yavaşlama ivmelerini, söz konusu taşıt etmeninin kendi şeritlerindeki yatay izdüşümüne göre belirlerler (Şekil 6.19). Bu arada, şerit değiştirmekte olan taşıt etmeni, kendi hızını ve yönünü hedeflediği şeride makul bir sürede geçmek için ayarlar.



Şekil 6.19. Şerit değiştirme sürecinin gösterimi

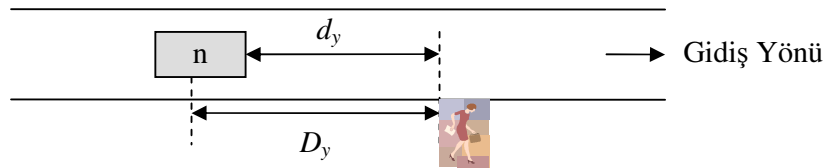
*Şerit değiştirirken sinyal verme tercihi:* Sürücülerin şerit değiştirirken sinyal verme ya da vermeme eğilimini belirtir.

1. Normal: Şerit değiştirirken sinyal vermek.
2. Saldırgan: Şerit değiştirirken sinyal vermemek.

#### 6.1.10. Taşıt durdurma modeli

Taşıt durdurma modeli, sürücünün, park etmek, şerit sonu, kırmızı ışık, önde duran bir taşıt yada başka bir engel nedeniyle taşıtını durdurmak için sergilediği davranışları modeller.

*Durma ivmesi tercihi:* Sürücülerin belirli bir mesafe ileride durmak için seçtikleri durma ivmesini modeller. Bölüm 6.1.8’ de tanımlanan ‘takip-yavaşlama ivmesi fonksiyonu’ ile benzer özelliklere sahiptir. Aşağıdaki şekilde yer alan yolcuyu, söz konusu modeldeki duran bir araç olarak düşünebiliriz (Şekil 6.20).



Şekil 6.20. Taşıtın durmasını gerektiren bir durum

#### 6.1.11. Kişiliğe bağlı sürücü davranışları modeli

*Korna çalma tercihi:*

1. Saldırgan: Sürücünün önünde yavaş giden başka bir taşıt olduğunda yada trafik ışığı ‘yeşil’ olduğunda korna çalar.
2. Normal: Korna çalmaz.

*Uzun far ile sinyal verme tercihi:*

1. Saldırgan: Sürücünün önünde yavaş giden başka bir taşıt olduğunda yada trafik ışığı ‘yeşil’ olduğunda, gece ise uzun farı kullanarak sinyal verir.
2. Normal: Uzun far ile sinyal vermez.

### 6.1.12. YZM yazılım mimarisi yapısı

YZM, yukarıda tanımlanan sürücü davranış biçimlerini sergileyebilen sanal taşıt etmenlerine (minibüs, hususi otomobil, ticari taksi vb.) ait karar verme ve uygulama süreçlerinin, farklı seviyelerdeki (stratejik, taktik ve kontrol seviyesi) sürüş görevlerini içerecek şekilde, etkin ve verimli olarak modellenmesine imkan veren, Hiyerarşik Eş Zamanlı Durum Makineleri (HEZDM) modelleme ve yazılım mimarisi yapısı temel alınarak geliştirilmiştir.

HEZDM modelleme ve yazılım mimarisi yapısının seçilmesinde rol oynayan başat sebepler:

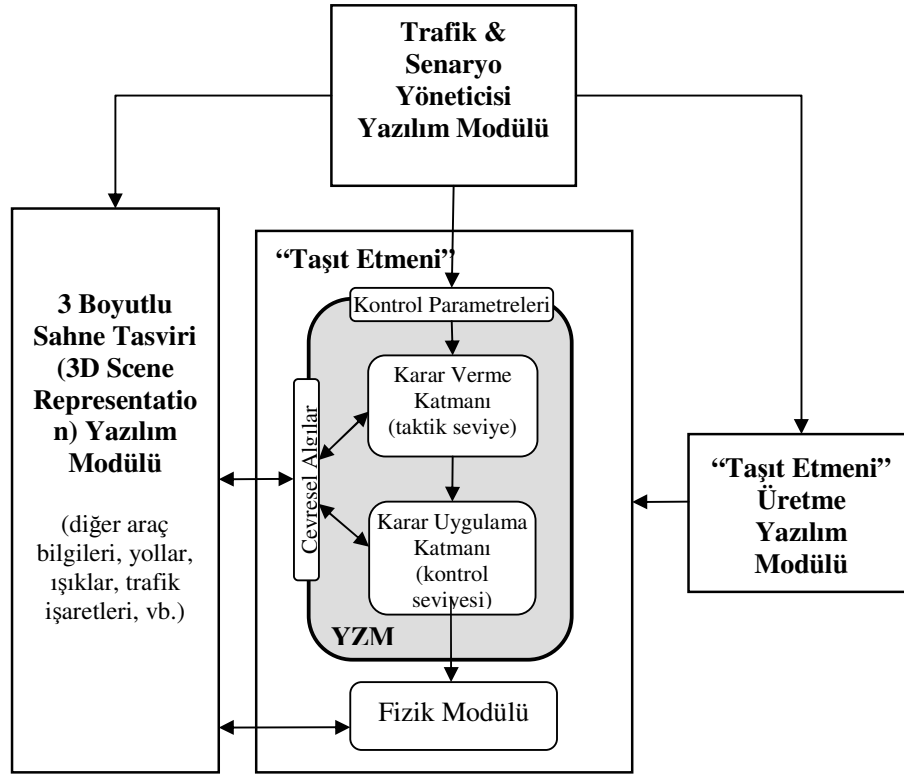
- Sanal taşıt etmenlerinin, çeşitli seviyelerdeki (stratejik, taktik ve kontrol seviyesi) sürüş görevlerinin, farklı frekanslarda koşturulabilen yazılım kod parçaları sayesinde etkin ve verimli bir şekilde modellenebilmesine imkân vermesi,
- Çıktı değişkenleri (ivmelenme ve direksiyon kontrol değeri) aynı olan, fakat çoğunlukla birbirinden farklı değişken değerleri üreten sürücü davranış biçimi modellerinin, eş zamanlı koşturulacak şekilde yapılandırılmasına imkan sağlaması,
- Sürücü davranış biçimi modellerinin ürettiği, birbiriyle çatışan değişken değerleri arasından, amaca en uygun değer seçilmesi ya da türetilmesine imkan vermesi,
- Modüler olması sayesinde, çok emek sarf etmeden yeni davranış biçimleri ile sürüş stillerinin eklenebilmesi ve mevcutların geliştirilebilmesidir.

Bu çalışma kapsamında yeni baştan geliştirilen YZM, temel olarak iki katmanlı bir HEZDM modelleme ve yazılım mimarisi yapısına sahiptir (Şekil 6.21). Bu özellik, aynı zamanda yeni geliştirilen YZM'nin yazılım mimarisi yapısını dünyadaki benzerlerinden ayıran ayraç özelliğidir.

Birinci katman, sürücünün stratejik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda taşıta manevra yaptırmak için, trafik ortamında karşısına çıkan ve yönetmesi gereken yolcu

indirme/bindirme, dönüşler/kavşak geçişi ve serbest sürüş gibi taktik seviyedeki sürüş görevlerine yönelik alınan kararların modellendiği “Karar Verme Katmanı”dır.

İkinci katman ise, sürücünün stratejik ve taktik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda taşıta manevra yaptırmak için, taşıt takibi, şerit takibi, şerit değiştirme, hız adaptasyonu, yavaşlama ve durma gibi sürekli dikkat ve kontrol gerektiren kontrol seviyesindeki sürüş görevlerinin (direksiyonun ne kadar döndürüleceği ve ivmelenmenin ne kadar olacağı) modellendiği “Karar Uygulama Katmanı”dır.



Şekil 6.21. YZM mimari yapısı

Sanal ortamdaki her bir “taşıt etmeni” için, o etmene özgü sürüş stilini yansıtan biçim dosyasından gelen parametre değerlerinin yanı sıra, Trafik ve Senaryo Yöneticisi Yazılım Modülü’nden gelen komut ve değerler ile Sahne Tasviri Yazılım Modülü’nden gelen (gerçek bir sürücünün çevresindeki diğer araçlar, trafik işaretleri, yol durumu ve kendi taşıta ait algıladıklarını kapsayan) durum bilgileri, her bir

sanal taşıt etmeni için, YZM’nde ayrı ayrı işlenmektedir. Bu işlem sonucunda oluşturulan “direksiyon” ve “ivmelenme (gaz ya da fren)” değişken değerleri söz konusu taşıt etmeninin fizik modülüne mesaj olarak gönderilmektedir.

YZM’nin her iki katmanında alınan kararları ve dolayısıyla “direksiyon” ve “ivmelenme” değişken değerlerini etkileyen harici ve dâhili bir takım değişik uyarılar ve faktörler bulunmaktadır.

#### 1. Harici uyarılar ve faktörler:

a) Çevresel Algılar: Sahne Tasviri Yazılım Modülü’nden gelen (gerçek bir sürücünün çevresindeki diğer araçlar, trafik işaretleri, yol durumu ve kendi taşıtına ait algıladıklarını kapsayan) durum bilgileri gibi,

b) Kontrol Parametreleri: Trafik ve Senaryo Yöneticisi Yazılım Modülü’nden gelen komutların uygulanmasına yardımcı olan parametrelerdir. Kontrol parametreleri sayesinde taşıt etmenleri üzerinde yarı-otonom bir kontrol sağlanmakta ve böylece eğitimde kullanılmak üzere, farklı zorluk derecelerinde çeşitli trafik senaryoları üretilebilmektedir. İki tip kontrol parametresi bulunmaktadır. Birinci tip parametreler aslında birer taktik seviye sürücü kararını temsil eden ve harici bir yönetici tarafından belirlenen komutlardır (‘şerit değiştir’, ‘sağda dur’, ‘sağa dön’, ‘kırmızı ışıkta geç’ gibi). İkinci tip parametreler ise, Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü tarafından başlangıç değerleri atanan sürüş stili parametreleridir (‘saldırganlık’, ‘hız\_tercihi’ gibi). Söz konusu parametre değerlerini değiştirmek ve böylece taşıt etmeninin sürüş stiline müdahale etmek mümkün olmaktadır.

#### 2. Dâhili uyarılar ve faktörler:

a) Sürüş Stili Parametreleri: Trafikte dolaşan farklı sürücülere ait sürüş stillerini tanımlayan parametrelerdir (saldırganlık, hız tercihi, takip mesafesi, hızlanma ve yavaşlama ivmesi gibi). Sürüş stili parametre değerleri, farklı sürücü sınıflarına (taksi, minibüs, otobüs sürücüsü; genç, yaşlı sürücü; saldırgan, yorgun sürücü gibi)



göre önceden belirlenerek, her bir taşıt etmeninin üretilmesi aşamasında Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü tarafından atanırlar. Aynı sürücü sınıfında yer alan sürücüler (örn., taksi sürücüleri) arasındaki farklılıklar, normal dağılım fonksiyonu (ort.;ss) ile belirlenmektedir. Söz konusu parametre değerleri, programın koşturulması esnasında harici bir yönetici tarafından (Trafik ve Senaryo Yöneticisi Yazılım Modülü) değiştirilebilmektedir. Sürüş stili parametreleri yerel değişkenler olarak tanımlanmış olup, YZM' nin içine gömülüdürler.

b) Trafik Bilgi Tabanı: Trafikteki taşıtların gözlenebilir davranışları (diğer taşıtlar, trafik ışıkları, yayalarla etkileşimleri gibi) ve trafik kuralları hakkında literatürde yer alan ve uzmanların deneyimlerinden faydalanılarak ortaya konan bilgilerdir. “Eğer-o zaman” (if-then) yazılım yapısı ile yapılandırılmış olup, YZM' nin içine gömülüdür.

#### Karar Verme Katmanı (Taktik Seviye)

YZM' nin birinci katmanını oluşturan yazılım kod parçaları Sonlu Durum Makinesi (SDM) yazılım mantık yapısına sahiptir. Bu katmanda yer alan her bir SDM' ne bir öncelik değeri atanarak hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur. Yani, herhangi bir anda, birden fazla SDM' nin aktif hale gelmesi için gerekli koşullar oluşması durumunda, sadece en yüksek öncelik değerine sahip SDM aktif olur (yanında (1) rakamı bulunan SDM en yüksek önceliğe, (4) rakamı bulunan ise en düşük önceliğe sahiptir). Bu sayede, belirli bir andaki trafik ortamına en uygun SDM' nin Karar Verme Katmanının kontrolünü ele geçirerek, ilgili taktik seviye sürüş görevlerini yerine getirmesi sağlanmış olur. Çalışmada kullandığımız SDM' leri, öncelik sırasına göre aşağıda tanımlanmıştır (Şekil 6.22, Şekil 6.23):

1. Trafik ve Senaryo Yöneticisi Komutları SDM (1): Aslında, Trafik ve Senaryo Yöneticisi Yazılım Modülü tarafından verilen taktik seviye sürücü kararlarını temsil eden komutlardır (‘şerit değiştir’, ‘sağda dur’, ‘sağa dön’ gibi). Bu sayede, taşıt etmenleri üzerinde yarı-otonom bir kontrol sağlanmakta ve böylece eğitimde kullanılmak üzere, farklı zorluk derecelerinde çeşitli trafik senaryoları

üretilebilmektedir. Yukarıda bahsi geçen komutlardan biri geldiğinde aktif hale gelir. Komutu yerine getirdikten sonra ise aktif halden çıkar.

2. Yolcu İndirme/Bindirme SDM (2): Taşıt etmeni eğer yolcu taşıyan bir taşıt cinsini temsil ediyorsa (örn., minibüs, taksi vb. gibi), taşıt yolcu durağına ya da durak haricinde bekleyen bir yolcuya yaklaştığında, eğer (1) no'lu SDM aktif değil ise, bu SDM aktif hale gelerek, taşıtın, durağın ya da yolcunun hemen önünde durmasını ve bir süre beklemesini sağlar. Eğer taşıt en sağ şeritte değilse, uygun bir mesafe beriden itibaren taşıtın en sağ şeride geçmesi için uğraşır. Ancak, trafik yoğunluğu nedeniyle bunu başaramazsa, yolcuyu almaktan vazgeçer ve aktif halden çıkar.

3. Dönüşler/Kavşak Geçişi SDM (3): Taşıt etmeni bir kavşağa ya da şeridin sonuna yaklaşırken, eğer (1) ve (2) no'lu SDM'leri aktif değil ise, bu SDM aktif hale gelir. Kavşaktan bir sonraki yola geçinceye kadar aktif halde kalır. Kavşaktan dönülecek yönün (sağa, sola ya da doğrudan karşıya) ve kavşakta takip edilecek ilgili koridorun belirlenmesi, dönülecek yön için en uygun şeride geçilmesi, kavşağa yaklaşan diğer taşıtlar dikkate alınarak geçiş önceliğinin hesaplanması ve trafik ışıklarına (kırmızı, sarı, yeşil) tepki verilmesi ile ilgili taktik seviye sürüş görevlerini yerine getirmekten sorumludur.

4. Serbest Sürüş SDM (4): Taşıt etmeni, yasak ve takip bölgesi mesafelerinin toplamından daha geride ise, serbest sürüş bölgesinde bulunuyor demektir. Sürücü bu bölgede, yukarıda tanımlanan, 'serbest sürüş' ile ilgili sürücü davranış biçimlerini sergiler. Taşıt etmeninin önünde yavaş giden bir taşıt bulunması veya kendi arkasından daha hızlı bir taşıtın yaklaşması durumlarında, taşıtını daha rahat ve/veya daha hızlı sürebileceği uygun bir şeride geçmek istemesi ve şartlar uygunsa bu isteğini hayata geçirmesine yönelik taktik seviye kararlar aldığı süreci kapsamaktadır.

Karar Verme Katmanı yazılım kod parçası, C++ yazılım ortamında tanımlanmış olan 'sınıf' (class) yazılım kodu yapısına sahiptir. Bu katman tarafından gerçekleştirilen sürüş görevleri taktik seviyede olduklarından, yani kontrollü davranışları temsil

ettiklerinden dolayı, söz konusu yazılım kod parçasının her taşıt etmeni için seyrek olarak, yani saniyede birkaç kez koşturulması yeterli olmaktadır.

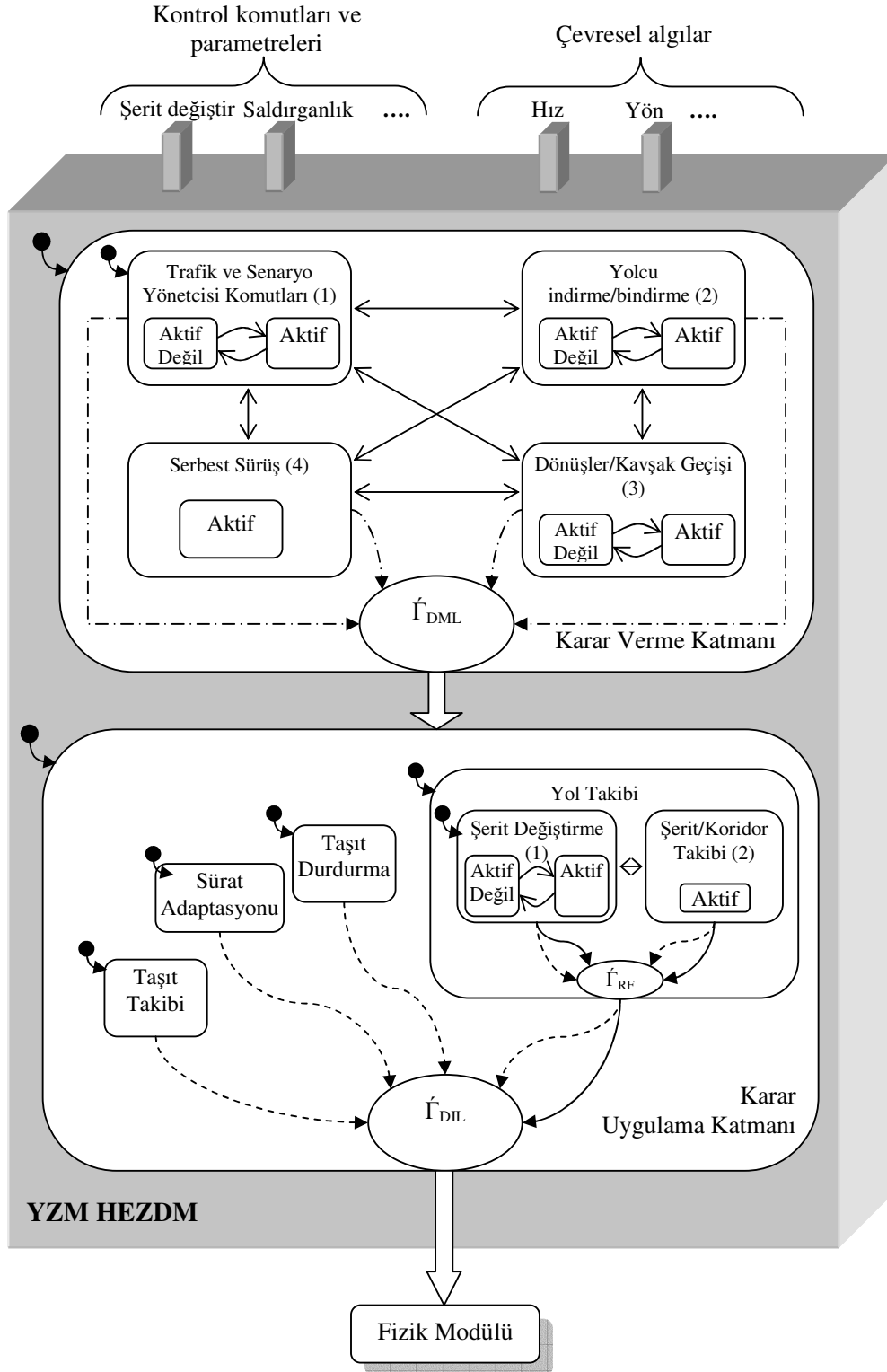
### Karar Uygulama Katmanı (Kontrol Seviyesi)

YZM' nin ikinci katmanını oluşturan yazılım kod parçaları ise, birbirine paralel olarak koşturulan HEZDM yazılım mantık yapısına sahiptir. Çalışmada kullandığımız HEZDM'leri aşağıda verilmiştir (Şekil 6.22, Şekil 6.24):

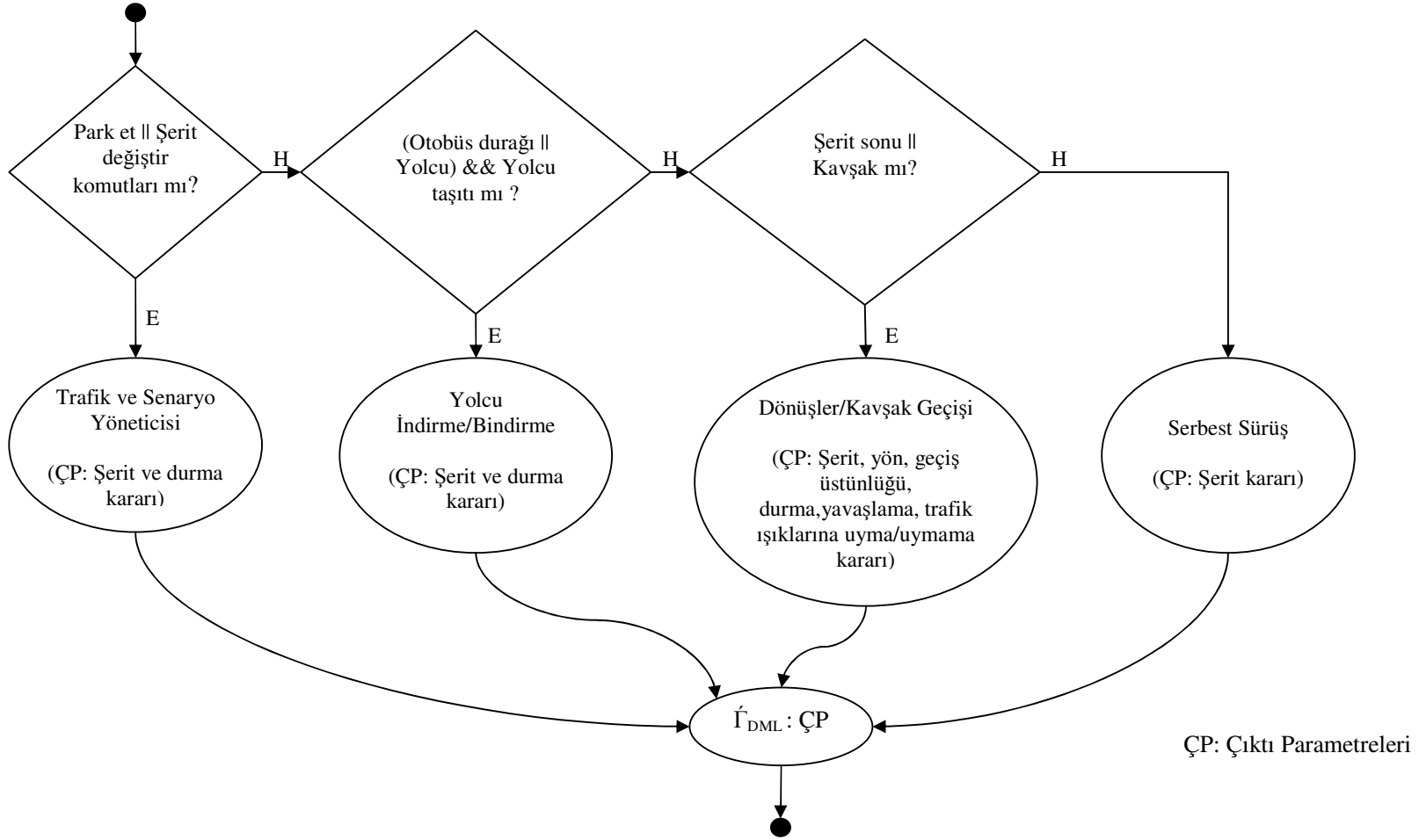
- Taşıt Takibi HEZDM:
- Sürat Adaptasyonu HEZDM:
- Taşıt Durdurma HEZDM:
- Yol Takibi HEZDM: Şerit Değiştirme SDM(1) ve Şerit/Koridor Takibi SDM(2)'lerini kapsamaktadır.

Söz konusu HEZDM'lerinin her biri, taşıt etmeninin çıktı değişkenlerinden olan "ivme" değişkeni için farklı ivme değerleri üretir. Karar Uygulama Katmanı'nın aktivasyon (çözüm) fonksiyonu ( $\hat{I}_{DIL}$ ), söz konusu çıktı değerlerinden en küçüğünü seçer ve fizik modülüne gönderir. Yol takibi HEZDM tarafından üretilen, diğer çıktı değişkeni olan "direksiyon" değeri ise olduğu gibi, herhangi bir değişime uğramadan fizik modülüne gönderilir.

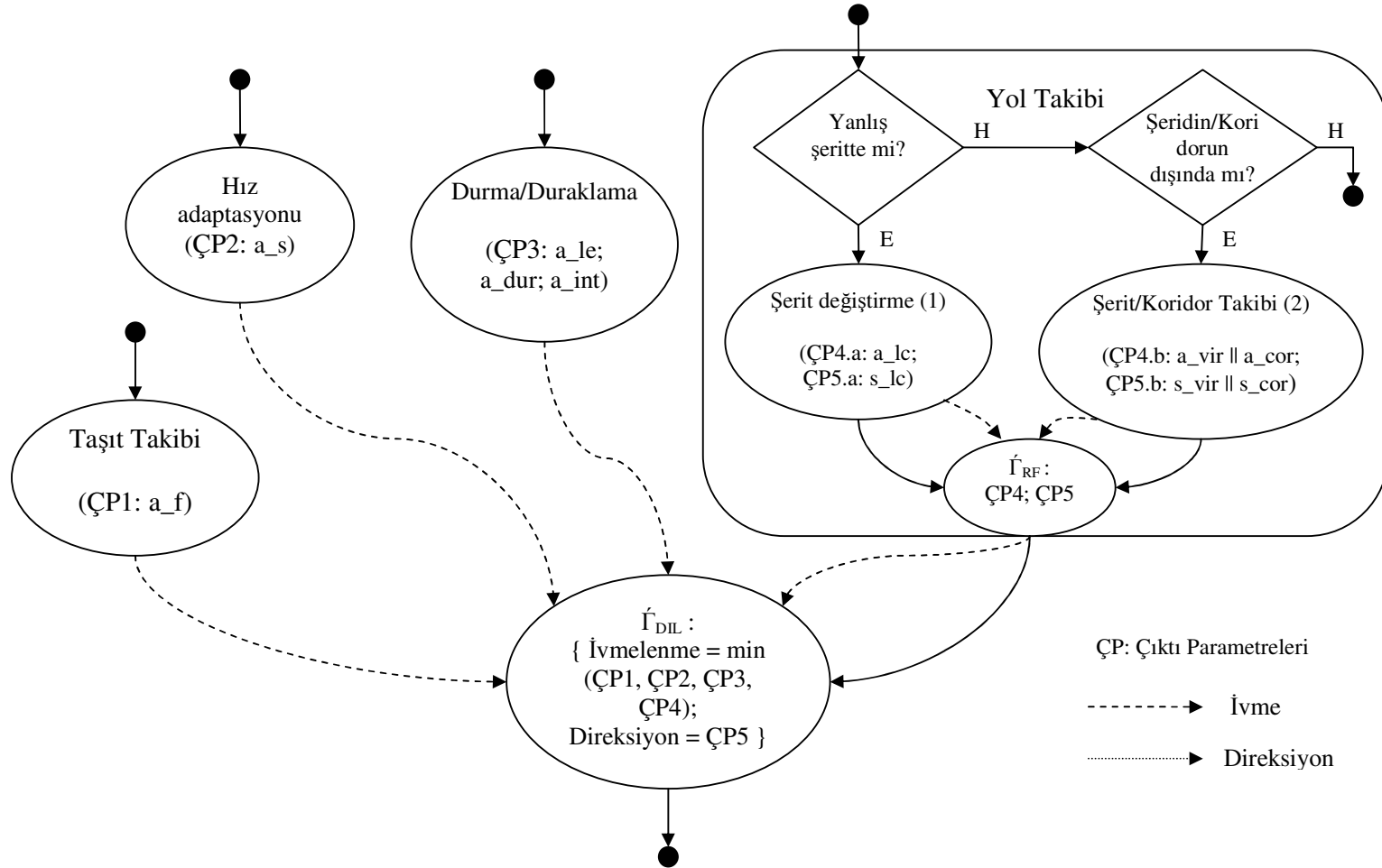
Karar Uygulama Katmanı yazılım kod parçası da C++ yazılım ortamında tanımlanmış olan 'sınıf' (class) yazılım kodu yapısına sahiptir. Bu katman tarafından gerçekleştirilen sürüş görevleri, sürücünün stratejik ve taktik seviyede verdiği kararlar doğrultusunda taşıta manevra yaptırmak için, sürekli kontrol gerektiren sürüş görevleri (direksiyonun ne kadar döndürüleceği ve ivmelenmenin ne kadar olacağını belirlenmesi) olduklarından, yani otomatikleşmiş davranışları temsil ettiklerinden dolayı, gerçekçi bir simülasyon ortamı elde edilebilmesi için, söz konusu yazılım kod parçasının her taşıt etmeni için, fizik modülü ile birlikte saniyede en az 20 ila 30 kere koşturulmaları gerekmektedir. YZM' nin taslak (pseudo) kod parçası EK-3'de sunulmuştur.



Şekil 6.22. YZM HEZDM durum ve veri akış şeması



Şekil 6.23. “Karar Verme Katmanı” SDM veri akış şeması



Şekil 6.24. "Karar Uygulama Katmanı" HEZDM veri akış şeması

## 6.2. Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü

Bu bölümde, yeni baştan tasarlanıp, geliştirilen ve “TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü”ne entegre edilen “Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü” ile alt parçaları anlatılacaktır. Söz konusu modül, aşağıda tanımlanan trafik ortamı ve sürüş stili biçim dosyalarını dikkate alarak, sanal taşıt etmenlerinin cinsini, sayılarını, bunlara atanan sürüş stillerini, başlangıç pozisyonlarını, ilerleme yönü ve hızlarını belirleyip, üretmekte ve böylece gerçekçi bir sanal trafik ortamının canlandırılmasında yardımcı olmaktadır.

### 6.2.1. Trafik ortamı biçim dosyaları

Bu dosyalar, şehir içi trafik ortamında karşılaşılan taşıt cinsleri ve sayıları ile bunlara atanan sürüş stillerini içermektedir. Bu veriler ışığında, şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan ve kazaya neden olan “sürücü kusurları” ile “tehlike yaratan çeşitli durumların ve etkileşimlerin” canlandırılabilmesi için, simülatördeki “Riskli Trafik Ortamı”nda dolaşan sanal taşıt etmenlerinin taşıt cinsleri ve sayıları ile bu etmenlerin sergiledikleri farklı sürüş stilleri birbirleri ile ilişkilendirilmekte ve son olarak, “Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü” tarafından söz konusu taşıt etmenleri üretilmektedir.

#### “Riskli Trafik Ortamı” ndaki ortamındaki taşıt cinslerinin, sayılarının belirlenmesi ve sürücü kusurları ile ilişkilendirilmesi

EGM’nin 2002 Trafik İstatistik Yıllığı verilerine göre, Ankara şehir içi trafiğinde dolaşması serbest olan taşıt cinslerinden, bu çalışmada kullanılacak olanların sayıları ve oranları aşağıdaki tabloda sunulmaktadır (Çizelge 6.2) [28]. Bu tabloya göre, sanal şehir içi trafik ortamında gerçekçi bir taşıt kompozisyonu oluşturulabilmesi için, yazılım tarafından üretilecek her 100 sanal taşıttan 85’i otomobil, 2’si minibüs, 2’si otobüs ve 11’i kamyonet olması gerekmektedir. Trafikte dolaşan otomobillerin yaklaşık 50’de biri ticari taksidir, ancak kayıtlarda kesin bir rakam bulunmamakla birlikte bu oran şehir içinde artmaktadır.

Çizelge 6.2. Cinslerine göre Ankara şehir içi trafiğinde dolaşması serbest olan taşıtların sayıları ve oranları

	OTOMOBİL	MİNİBÜS	OTOBÜS	KAMYONET	TOPLAM
Sayısı (adet)	687.759	18.109	13.521	87.575	806.964
Oranı (%)	85	2	2	11	100

EGM'nin 2002 Trafik İstatistik Yıllığı ve 2005 Trafik İstatistik Özet Bülteni ile KGM'nün 2005 Kaza İstatistiği yayınlarından yola çıkarak hazırlanan aşağıdaki çizelgeye göre, 2002 ve 2005 yıllarındaki Türkiye trafiğinde dolaşan araç türlerinin sayıları ile “yerleşim yeri” inde kazaya karışan araç türlerinin sayıları basit korelasyon hesabına göre büyük bir uyum göstermektedir (Çizelge 6.3) [28,71].

Çizelge 6.3. 2002 ve 2005 yıllarındaki Türkiye trafiğinde dolaşan araç türlerinin sayıları ile “yerleşim yeri” inde kazaya karışan araç türlerinin sayıları ve korelasyonu

YILLAR	2002			2005		
	Taşıt Sayısı	Kaza Sayısı	Basit Korelasyon	Taşıt Sayısı	Kaza Sayısı	Basit Korelasyon
OTOMOBİL	5.102.377	461.126	0,9998	5.772.745	591.544	0,9981
MİNİBÜS	331.004	46.128		338.539	57.185	
KAMYONET	970.252	95.193		1.475.057	138.570	
OTOBÜS	153.687	33.875		163.390	44.185	

İstatistiklerde, ölümlü ve yaralanmalı kazaların haricinde, kazaya karışan taşıt cinsi ile sürücü kusuru arasındaki ilişkiyi gösteren bir veri bulunmamaktadır. Mevcut olan veriler ise, meydana gelen toplam kaza sayısının çok küçük bir oranını temsil etmektedir (yaklaşık 25'te 1'i). Bu nedenle, sürücü kusurları ile kazaya karışan taşıt



cinsleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi için yukarıdaki çizelgeye başvurulmuştur (Çizelge 6.3). Çizelgeye göre, taşıt cinslerinin trafikteki sayıları ile kazaya karışma oranları arasında istatistiki açıdan büyük bir uyum söz konusudur. Buradan yola çıkarak, sürücü kusurlarını ve taşıt cinslerini, taşıt cinslerinin trafikteki toplam sayıları ile doğru orantılı olarak ilişkilendirebiliriz. Bu durumda, bilgisayar ortamındaki “Riskli Trafik Ortamı” nda dolaşan her 100 sanal taşıt etmeninden 85’i (toplam araç sayısının %85’ini oluşturan) otomobil olması ve söz konusu 85 otomobilin 21 tanesinin, (toplam sürücü kusurlarının %25’sini oluşturan) yakın takip (arkadan çarpma) yapması gerektiğini söyleyebiliriz.

Bu kriterler ışığında geliştirilecek olan ve şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan, kazaya neden olan “sürücü kusurları” ile “tehlike yaratan çeşitli durumların ve etkileşimlerin” modelleneceği “Riskli Trafik Ortamı” nda dolaşan sanal taşıt etmenlerinin cinsleri ile sürücü kusurları arasındaki ilişkiyi, aşağıdaki tabloda sunulduğu gibi dikkate alabiliriz (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. “Riskli Trafik Ortamı” nda dolaşan sanal taşıt etmenlerinin cinsleri ile sürücü kusurları arasındaki ilişkiyi gösteren tablo

	ORAN (%)	OTOMOBİL (Adet)	MINİBÜS (Adet)	OTOBÜS (Adet)	KAMYONET (Adet)
Şehir içi trafiğinde dolaşan her 100 taşıtın, taşıt cinsine göre dağılımı		85	2	2	11
Sürücü Kusurları ve Taşıt cinsleri arasındaki oransal ilişki					
Yakın Takip (Arkadan Çarpma)	(%25)	21	--	--	3
Doğrultu Değişirme Manevralarını Yanlış Yapma	(%21)	18	--	--	2
Kavşaklarda Geçiş Önceliğine Uymama	(%18)	15	--	--	2
Aşırı hızlı araç kullanmak	(%13)	11	--	--	1
Manevraları Düzenleyen Genel Şartlara Uymama	(%12)	10	--	--	1
Şeride Tecavüz Etme	(%7)	6	--	--	1
Kırmızı Işıklı Trafik İşaretinde veya Görevli Memurun Dur İşr. Geçme	(%4)	4	--	--	--

### 6.2.2. Sürüş stilleri biçim dosyaları

Bu dosyalar, gerçek bir şehir içi trafik ortamında karşılaşılan farklı sürücülere ait sürüş stili parametrelerini içermektedir. Sürüş stili parametreleri, trafikte dolaşan sürücülere ait farklı sürüş stillerini (farklı sürücü davranış biçimlerini) ortaya çıkartan araç parametrelerdir (saldırganlık, hız tercihi, takip mesafesi, hızlanma ve yavaşlama ivmesi gibi). Sürüş stili parametre değerleri, farklı sürücü sınıflarına (taksi, minibüs, otobüs sürücüsü; genç, yaşlı sürücü; saldırgan, yorgun sürücü gibi) göre önceden belirlenerek, her bir taşıt etmeninin üretilmesi aşamasında Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü tarafından atanırlar. Bu çalışma kapsamında geliştirilen

modele göre, aynı sürücü sınıfındaki sürücüler (örn., taksi sürücüleri) aynı sürüş stili parametre değerlerine sahip olsalar bile, gerçek trafik ortamındaki gibi farklı davranışlar sergileyebilmektedirler. Örneğin, taşıtın hızı ve öndeki taşıt ile arasında bıraktığı takip mesafesi belirli bir değer aralığında rastgele belirlenmektedir. Herbir farklı sürüş stili için “xml” dosya formatında, sürüş stili parametrelerini içeren dosya oluşturulmaktadır. Bu dosyalardaki parametreler, simülasyon uygulaması tarafından okunmakta ve çalışma zamanında (run-time) bellekte tutulmaktadır. Söz konusu parametreler, “Trafik ortamı biçim dosyası”nda sürüş stilinin ilişkilendirildiği taşıt etmeninin YZM tarafından karar verme ve uygulama süreçlerinde dikkate alınmaktadır. Söz konusu parametreler, orijinal yazılım ile uyumlu olması için, İngilizce olarak isimlendirilmiştir.

Sürüş stili biçim dosyası oluşturulurken kullanılan sürüş stili parametreleri, YZM’nde temsil edilen sürücü davranış biçimlerine göre sınıflandırılarak, aşağıda sunulmuştur:

1. Yolcu indirme/bindirme:

- Yolcu indirme/bindirme tercihi (passenger\_behav: normal ; aggressive)

2. Dönüşler/Kavşak Geçişi:

- Kavşağa yaklaşırken zamanında doğru şeride geçme tercihi (appr\_lane\_to\_int: normal; aggressive)
- Kavşağa yaklaşma hızı tercihi (appr\_speed\_to\_int: normal; aggressive)
- Trafik ışıklarına uyma tercihi (traff\_lights\_behav: normal; aggressive)
- Geçiş önceliğine uyma tercihi (right\_of\_way: normal; aggressive)
- Dönüşlerde sinyal verme tercihi (turn\_signal: normal; aggressive)

3. Serbest sürüş:

- Şerit tercihi (L\_desired: right; left; none)

4. Şerit/koridor takibi:

- Şerit ihlali/tecavüzü (L\_dev: no; left; right)
  - Şerit ihlali/tecavüzü oranı (L\_dev\_rate: little; much)
5. Sürat adaptasyonu:
- Sürüş hızı tercihi (speed\_factor: slow (Random(0.7±0.1)); normal (Random(1±0.1)); aggressive(Random(1.3±0.1)); custom (value; ±limit))
  - Hızlanma ivmesi tercihi (speed\_acc: slow; normal; aggressive; custom ( $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ))
  - Yavaşlama ivmesi tercihi (speed\_dec: slow (-1); normal (-1.5); aggressive (-3.2); custom)
6. Taşıt Takibi:
- Takip mesafesi tercihi (t\_min: small (Random(0.9±0.2)); normal (Random(2±0.2)); large (Random(3±0.2)); custom)
  - Takip-yavaşlama ivmesi tercihi (following\_dec: slow; normal; aggressive; custom ( $\alpha_{11}$ ,  $\beta_{12}$ ,  $\alpha_{21}$ ,  $\beta_{22}$ ))
  - Arka arkaya giden iki taşıt durdukları zaman aralarında kalan mesafe (D\_stop: normal (1.2m); custom)
  - Bir taşıt şerit sonunda durduğu zaman şerit sonuna kalan mesafe (D\_stop2: normal (10m); custom)
  - Ortalama yavaşlama ivmesi (a\_ort: normal (2m/sn<sup>2</sup>); custom)
  - Takip bölgesi zaman aralığı (t\_T: normal (0.2sn); custom)
  - Takip bölgesi en düşük mesafe aralığı (M\_T: normal (0.3m); custom)
7. Şerit Değişirme:
- Kritik geçiş aralığı (Qga) tercihi (gap\_acceptance: normal; aggressive)
  - Şerit değiştirirken sinyal verme tercihi (L\_change\_signal: normal; aggressive)
  - İki taşıt arasındaki hız farkı eşiği (V\_delta: normal (3m/sn) ; custom)
  - Sol şeriti tercih etme eşiği (c\_left: normal (0.56); custom)
  - Sağ şeriti tercih etme eşiği (c\_right: normal (0.86); custom)

- Şeritte değiştirmeden önce şeritte beklenmesi gereken minimum süre (T\_lane\_min: normal (5sn); aggressive (1sn); custom)

#### 8. Taşıt Durdurma:

- Durma ivmesi tercihi (stopping\_dec: slow; normal; aggressive; custom ( $\alpha_{31}$ ,  $\beta_{32}$ ,  $\alpha_{41}$ ,  $\beta_{42}$ ))

#### 9. Kişiliğe Bağlı Diğer Sürücü Davranışları:

- Korna çalma tercihi (horn\_behav: normal; aggressive)
- Uzun farı kullanma tercihi (far\_lights\_behav: normal; aggressive)

### 6.2.3. Sürücü kusurları

Sürücü kusurları 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununun 84 ncü maddesinde belirlenmiştir [65]. Taşıt sürücüleri trafik kazalarında, aşağıdaki durumlarda “asli kusurlu” sayılırlar;

- Arkadan çarpma,
- Doğrultu değiştirme manevralarını yanlış yapma,
- Kavşaklarda geçiş önceliğine uymama,
- Manevraları düzenleyen genel şartlara uymama,
- Şeride tecavüz etme,
- Kırmızı ışıklı trafik işaretinde veya yetkili memurun dur işaretinde geçme,
- Park için ayrılmış yerlerde veya taşıt yolu dışında kurallara uygun olarak park edilmiş araçlara çarpma,
- “Taşıt giremez” trafik işareti bulunan karayoluna veya bölünmüş karayolunda karşı yönden gelen trafiğin kullandığı şerit, rampa ve bağlantı yollarına girme,
- Yerleşim birimleri dışındaki karayolunun taşıt yolu üzerinde, zorunlu haller dışında park etme veya duraklama ve her durumda gerekli tedbirleri almama,
- Geçme yasağı olan yerlerde geçme,
- Kaplamanın dar olduğu yerlerde geçiş önceliğine uymama,

- İki den fazla şeritli taşıt yollarında, karşı yönden gelen trafiğin kullandığı şerit veya yol bölümüne girme,

Ancak, EGM' nin yayınladığı trafik istatistik yıllığı ve bültenlerinde kaza nedenleri arasında önemli bir yer tutan “aşırı hızlı taşıt kullanma” kusuru, 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununda bir şekilde yer almakla beraber, söz konusu kanunda asli sürücü kusuru olarak tanımlanmamıştır.

EGM'nin yayınladığı, çeşitli yıllara ait “Trafik İstatistik Yıllığı” verileri incelendiğinde, yukarıda sıralanan asli sürücü kusurlarından ilk yedi sıradaki kusurlar ile “aşırı hızlı taşıt kullanma” kusuru, kazaya en çok neden olan kusurlar olarak ön plana çıkmaktadır ve bu çalışma kapsamında sanal bir “Riskli Trafik Ortamı”nın geliştirilmesinde dikkate alınmıştır.

Asli sürücü kusurlarını 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununda yer alan ve trafiği düzenleyen kurallar ile ilişkilendirmek oldukça zordur. Bunun nedenlerinden biri de, bir trafik kuralına ilişkin düzenlemenin bir kaç farklı kanun maddesinde geçmesidir. Bunun yanı sıra, bir sürücü kusurunun, kanun veya yönetmeliklerde yer alan trafik kurallarından hangisinin ihlali sonucu oluştuğu kesin hatlar ile birbirinden ayrılmadığından, bir trafik ihlalinin hangi sürücü kusuru ile ilişkilendirileceği, sahada görev yapan trafik polislerinin inisiyatifi ile belirlenmektedir. Bir kaç farklı kanun maddesinde geçen bir trafik kuralına ilişkin düzenleme için, trafik polisleri tarafından en çok tercih edilen kanun maddesi “torba madde” olarak adlandırılmaktadır.

Asli sürücü kusurları, ilgili kanun maddeleri ile ilişkilendirilmiştir. Söz konusu veriler, bu çalışma kapsamında geliştirilecek olan “Riskli Trafik Ortamı”nın oluşturulmasında kullanılmıştır.

#### 6.2.4. Sürücü kusurları ve sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki

Bu bölümde, 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununda belirlenmiş olan sürücü kusurları ile bunları modellemek için araç olarak belirlenen sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki ortaya konacaktır.

##### *Arkadan çarpma (yakın takip)*

#### 1. Muhtemel sebepler:

Yakın takip yapmak. Aracını hız limitlerinin üzerinde sürmek.

#### 2. Sürüş stili parametreleri:

- a) Sürüş hızı tercihi (speed\_factor: aggressive(Random(1.3±0.1)))
- b) Takip mesafesi tercihi (t\_min: small (Random(0.9±0.2)))
- c) Takip-yavaşlama ivmesi tercihi (following\_dec: aggressive)
- d) Korna çalma tercihi (horn\_behav: aggressive)

##### *Doğrultu değiştirme manevralarını yanlış yapma*

#### 1. Muhtemel sebepler:

##### a) Sağa dönüşlerde sürücüler;

- Sağa dönüş işaretini vermez,
- Sağ şeride veya dönüş ayrılmış şeride girmez,
- Dönülen karayolunun gidiş şeridine veya gidişine ayrılmış en sağ şeridine girmez,

##### b) Sola dönüşlerde sürücüler;

- Sola dönüş işareti vermez,
- Yolun gidişe ayrılmış olan kısmının soluna yaklaşmaz,
- Gireceği yolun gidişe ayrılan kısmına girmek üzere, geniş kavisle dönüş yapmaz,

- c) Kavşaklara yaklaşırken, yerleşim yerleri dışında yüzelli metre, yerleşim yerlerinde ise otuz metre mesafe içinde ve kavşaklarda şerit değiştirir,
  - d) İşaret vermeden şerit değiştirir.
2. Sürüş stili parametreleri:
- a) Şerit değiştirirken sinyal verme tercihi (L\_change\_signal: aggressive)
  - b) Kavşağa yaklaşırken zamanında doğru şeride geçme tercihi (appr\_lane\_to\_int: aggressive)
  - c) Dönüşlerde sinyal verme tercihi (turn\_signal: aggressive)

#### *Kavşaklarda geçiş önceliğine uymama*

1. Muhtemel sebepler:
- a) Dönüş sırasında, karşıdan gelen ve emniyetle durdurulamayacak kadar kavşağa yaklaşmış olan taşıtların geçmesini beklemez,
  - b) Dönüşe başlamadan, sağdan gelen taşıtlara ilk geçiş hakkını vermez,
  - c) Bölünmüş yola çıkan sürücüler bu yoldan geçen araçlara ilk geçiş hakkını vermez,
  - d) Tali yoldan anayola çıkan sürücüler anayoldan gelen araçlara ilk geçiş hakkını vermez,
2. Sürüş stili parametreleri:
- a) Geçiş önceliğine uyma tercihi (right\_of\_way: aggressive)
  - b) Kavşağa yaklaşma hızı tercihi (appr\_speed\_to\_int: aggressive)

#### *Aşırı hızlı taşıt kullanma*

1. Muhtemel sebepler:
- a) Kavşaklara yaklaşırken, dönemeçlere girerken, tepe üstlerine yaklaşırken, dönemeçli yollarda ilerlerken, yaya geçitlerine, hemzemin geçitlere, tünellere, dar köprü ve menfezlere yaklaşırken, yapım ve onarım alanlarına girerken, hızlarını azaltmamak,



- b) Hızlarını, kullandıkları aracın yük ve teknik özelliğine, görüş, yol, hava ve trafik durumunun gerektirdiği şartlara uydurmamak,
- c) Sürücüler, aksine bir karar alınıp işaretlenmemişse yönetmelikte belirtilen hız sınırlarını aşmak.

## 2. Sürüş stili parametreleri:

- a) Sürüş hızı tercihi (speed\_factor: custom (Random(1.5±0.1)))
- b) Hızlanma ivmesi tercihi (speed\_acc: aggressive)
- c) Yavaşlama ivmesi tercihi (speed\_dec: aggressive(3.2))
- d) Kavşağa yaklaşma hızı tercihi (appr\_speed\_to\_int: aggressive)
- e) Korna çalma tercihi (horn\_behav: aggressive)

## *Manevraları düzenleyen genel şartlara uymama*

### 1. Muhtemel sebepler:

- a) Sürücülerin, park yapmış taşıtlar arasından çıkarken, duraklarken veya park yaparken taşıt yolunun sağına veya soluna yanaşırken, sağa veya sola dönerken, karayolunu kullananlar için tehlike doğurabilecek ve bunların hareketlerini zorlaştıracak şekilde davranmaları (örn., toplu taşıma araçlarının yolcu indirme ve bindirme amaçlı durakların haricindeki yol kesimlerinde durmaları, duraklamaları ve bu amaçla ani şerit değiştirmeleri gibi).
- b) Trafiki aksatacak veya tehlikeye sokacak şekilde şerit değiştirmek.
- c) Trafik işaret levhaları, cihazları ve yer işaretlemeleri ile belirtilen veya gösterilen hususlara uymamak (örn., toplu taşıma araçlarının yolcu indirme ve bindirme amaçlı durakların haricindeki yol kesimlerinde durmaları, duraklamaları gibi).

### 2. Sürüş stili parametreleri:

- a) Kritik geçiş aralığı (Qga) tercihi (gap\_acceptance: aggressive)
- b) Şerit değiştirirken sinyal verme tercihi (L\_change\_signal: aggressive)
- c) Yolcu indirme/bindirme tercihi (passenger\_behav : aggressive)
- d) Şeritte değiştirmeden önce şeritte beklenmesi gereken minimum süre (T\_lane\_min: aggressive (1sn))

### *Şeride tecavüz etme*

#### 1. Muhtemel sebepler:

- a) Sürücülerin; geçme, dönme, duraklama, durma ve park etme gibi haller dışında şerit değiştirmeleri veya iki şeridi birden kullanmaları,
- b) Araçların cinsine ve hızına uygun olmayan şeritten gitmeleri,
- c) Araçlarını, gidiş yönüne göre yolun sağından, çok şeritli yollarda ise yol ve trafik durumuna göre hızının gerektirdiği şeritten sürmemek,
- d) Gidişe ayrılan en soldaki şeridi sürekli olarak işgal etmek,

#### 2. Sürüş stili parametreleri:

- a) Şerit tercihi (L\_desired: right)
- b) Şerit ihlali/tecavüzü (L\_dev: left)
- c) Şerit ihlali/tecavüzü oranı (L\_dev\_rate: much)

### *Kırmızı ışıklı trafik işaretinde veya yetkili memurun dur işaretinde geçme*

#### 1. Muhtemel sebepler:

- a) Trafiği düzenleme ve denetimle görevli trafik zabıtası veya özel kıyafetli veya işaret taşıyan diğer yetkili kişilerin uyarı ve işaretlerine uymama,
- b) Trafik ışıklarına uymama,

#### 2. Sürüş stili parametreleri:

- a) Trafik ışıklarına uyma tercihi (traff\_lights\_behav: aggressive)
- b) Geçiş önceliğine uyma tercihi (right\_of\_way: aggressive)

### **6.3.5. Ticari taksi sürücü sınıfı ve sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki**

Bu bölümde, bu çalışma kapsamında daha önce yapılmış olan (Bkz. Beşinci bölüm) ölçek uygulaması sonuçlarına göre, Türkiye’ de şehir içi trafiğindeki ticari taksi şoförlerinin sürücü davranış biçimlerini ortaya çıkarmakta ayraç olan sürüş stili parametreleri sunulacaktır.

- Yolcu indirme/bindirme tercihi (passenger\_behav: aggressive)
- Dönüşlerde sinyal verme tercihi (turn\_signal: aggressive)
- Geçiş önceliğine uyma tercihi (right\_of\_way: aggressive)
- Şerit ihlali/tecavüzü (L\_dev: left)
- Şerit ihlali/tecavüzü oranı (L\_dev\_rate: little)
- Sürüş hızı tercihi (speed\_factor: aggressive(Random(1.3±0.1)))
- Kritik geçiş aralığı (Qga) tercihi (gap\_acceptance: aggressive)
- Şerit değiştirirken sinyal verme tercihi (L\_change\_signal: aggressive)
- Durma ivmesi tercihi (stopping\_dec: aggressive)
- Korna çalma tercihi (horn\_behav: aggressive)
- Takip mesafesi tercihi (t\_min: small (Random(0.9±0.2)))
- Takip-yavaşlama ivmesi tercihi (following\_dec: aggressive)

#### **6.2.6. Yolcu minibüsü sürücü sınıfı ve sürüş stili parametreleri arasındaki ilişki**

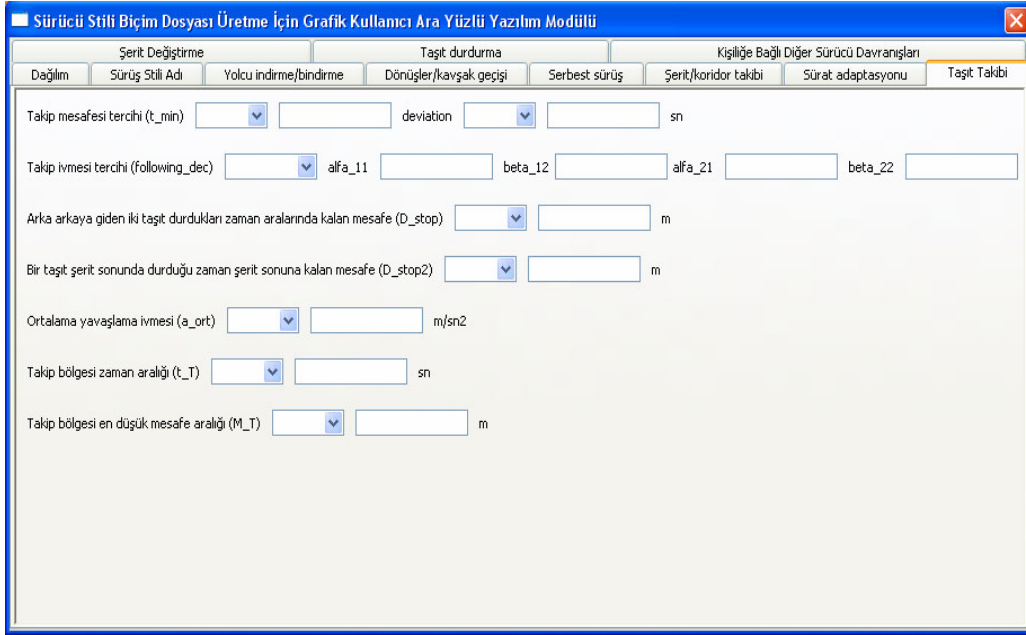
Bu bölümde, bu çalışma kapsamında daha önce yapılmış olan (Bkz. Beşinci bölüm) ölçek uygulaması sonuçlarına göre, Türkiye’ de şehir içi trafiğindeki ticari yolcu minibüsü şoförlerinin sürücü davranış biçimlerini ortaya çıkarmakta amaç olan sürüş stili parametreleri sunulacaktır.

- Yolcu indirme/bindirme tercihi (passenger\_behav: aggressive)
- Kavşağa yaklaşırken zamanında doğru şeride geçme tercihi (appr\_lane\_to\_int: aggressive)
- Dönüşlerde sinyal verme tercihi (turn\_signal: aggressive)
- Geçiş önceliğine uyma tercihi (right\_of\_way: aggressive)
- Şerit ihlali/tecavüzü (L\_dev: right)
- Şerit ihlali/tecavüzü oranı (L\_dev\_rate: much)
- Sürüş hızı tercihi (speed\_factor: aggressive(Random(1.3±0.1)))
- Kritik geçiş aralığı (Qga) tercihi (gap\_acceptance: aggressive)
- Şerit değiştirirken sinyal verme tercihi (L\_change\_signal: aggressive)
- Durma ivmesi tercihi (stopping\_dec: aggressive)

- Korna çalma tercihi (horn\_behav: aggressive)
- Takip mesafesi tercihi (t\_min: small (Random(0.9±0.2)))
- Takip-yavaşlama ivmesi tercihi (following\_dec: aggressive)

### 6.3. Grafik Kullanıcı Ara Yüzlü Sürüş Stili Biçim Dosyası Üretme Yazılım Modülü

Gerçekçi bir sanal trafik ortamının oluşturulabilmesi için, şehir içi trafiğinde yer alan taşıt etmenlerinin gerçek hayattaki hemcinslerinin sergiledikleri farklı sürüş stillerini ve sürücü kusurlarını canlandırmaları gerekmektedir. Bu maksatla oluşturulan sürüş stili biçim dosyalarının kolayca üretilebilmesi için grafik kullanıcı ara yüzlü (GUI) biçim dosyası üretme yazılım modülü geliştirilmiştir. Bu yazılım modülü sayesinde, gerçek bir şehir içi trafik ortamında karşılaşılan farklı sürüş stillerine ait biçim dosyaları “xml” dosya formatında kolaylıkla oluşturulabilmektedir (Şekil 6.25). Grafik kullanıcı ara yüzü wxWidgets 2.6.3. GUI uygulaması geliştirme paket programı kullanılarak, C++ dilinde yazılmıştır.



Şekil 6.25. Sürüş stili biçim dosyası üretme yazılım modülü grafik kullanıcı ara yüzü

## 7. GEÇERLİLİK (VALİDASYON) ÇALIŞMASI

Bu tez çalışmasında, “acemi” sürücülerin “tehlike algısı (yolu okuma)” becerilerinin ve “güvenli sürücülük” becerilerinin geliştirilmesi için, şehiriçi trafik ortamında sıkça karşılaşılan sürücü kusurlarının ve taşıtlar arasındaki tehlike yaratan çeşitli durumların-etkileşimlerin canlandırılması amaçlanmıştır. Bu maksatla geliştirilen sanal “Riskli Trafik Ortamı”nın arzu edilen ölçüde gerçekçi olup, olmadığının belirlenmesi için geçerlilik (validasyon) çalışması yapılmıştır.

Simülasyon sistemlerinin geçerliliğine yönelik literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu tür sistemlerin geçerli olup olmadıklarının belirlenmesinde iki çeşit yöntemin kullanıldığı görülmektedir; *görünüş (face) geçerliliği ve istatistiksel geçerlilik* [72]. Görünüş geçerliliği, geliştirilen modelin en azından görünüşte gerçeği yansıtmayı, yansıtmadığının tespit edilmesidir. İstatistiksel geçerlilik ise, geliştirilen modelden alınan veriler ile gerçek sistemden alınan verilerin nicel olarak karşılaştırılmasını içermektedir [73]. Geçerlilik çalışmasında her iki yöntem de kullanılarak, aşağıda sunulan hipotezler çerçevesinde, bu tez çalışmasında geliştirilmiş olan modelin geçerliliği sorgulanmıştır.

*Hipotez 1:* Tecrübeli sürücülerin güvenli sürücülük ve tehlike algısı becerileri acemilerinkinden daha iyidir. Bu nedenle, tecrübeli sürücüler, “Riskli Trafik Ortamı”nın canlandırıldığı eğitim simülatöründe acemi sürücülere nazaran daha az trafik kuralı ihlali ve daha az kaza yaparlar.

İkinci bölümde detaylı şekilde bahsedildiği üzere, dünyada ve ülkemizde yapılan araştırmalar, ehliyeti aldıktan hemen sonra yeterince deneyim kazanmadan yollara çıkan acemi sürücülerin kaza yapma olasılığının deneyimli sürücülerden çok daha yüksek olduğunu göstermektedir [1,28,31].

*Hipotez 2:* Türkiye’deki şehir içi trafik ortamında karşılaşılan farklı sürücü sınıflarına (özel otomobil, ticari taksi, minibüs, vb.) ait sürüş stilleri ile bu

sürücülerin sebep olduğu tehlikeli durumlar-etkileşimler (sürücü kusurları), “Riskli Trafik Ortamı”nda gerçekçi bir şekilde modellenmiştir.

TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörünün gerçekçiliği ve kullanılabilirliği hakkında daha önce yapılan bir araştırma sonuçlarına göre, simülatörün gerçekçi sürüş ortamını yeterince yansıtmadığı tespit edilmiştir. Hatta bazı katılımcılar söz konusu simülatörü bilgisayar oyununa benzetmişlerdir [74].

### **7.1. Materyal**

Çalışmaya bir kurumda çalışan/stajerlik yapan toplam 31 kişi gönüllü olarak katılmıştır. Çalışmaya katılan katılımcılardan birisi, ehliyetini yeni almış olmasına rağmen daha önceden taşıt kullanma tecrübesi olduğu için analiz dışı bırakılmıştır. Değerlendirmeye alınan 30 katılımcının (11 bayan, 19 erkek) yaşları 19 ile 51 arasında değişmektedir, yaş ortalaması 29,6 (ss=7,1)’dir. Katılımcıların sürücülük deneyimleri 0 ile 31 yıl arasında değişmektedir (ort.=6,6, ss=7,6). Katılımcıların çoğunluğu üniversite mezunu (%60), geri kalan katılımcılar ise yüksek okul (%10), lise (%26,7) ve ilköğretim (%3,3) mezunudur. Katılımcılar en çok şehiriçi yollarda (ort.=3,7, ss=1,7), en az şehir dışı yollarda (ort.=2,3, ss=1,1) taşıt kullandıklarını beyan etmişlerdir.

Katılımcıların 15’i tecrübeli (en az 6 yıldır aktif sürücülük deneyimine sahip) sürücü, geriye kalan 15 katılımcı ise acemi (ehliyet sınavını geçerek ehliyet almaya hak kazanmış yada en fazla 1 yıllık ehliyet sahibi) sürücüdür.

### **7.2. Metot**

Testlere hazırlık safhasında, “Riskli Trafik Ortamı”nın TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe oluşturulması maksadıyla öncelikle, bu çalışma kapsamında geliştirilen grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) sürüş stili biçim dosyası üretme yazılım programı kullanılarak, gerçek bir şehir içi trafik ortamında karşılaşılan sürücü kusurları ile ticari taksi ve minibüse ait farklı sürüş stillerini (örn., yakın takip, aşırı

hızlı, vb.; ticari taksi, minibüs) tanımlayan biçim dosyaları, Bölüm 6.2.4' de belirtilen parametreler kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 7.1).

```

20 <AccelerationBehaviour Type="1" alfa1="2.000" beta1="0.040" />
21 <DecelerationBehaviour Type="1" Value="-1.500" />
22 </SpeedAdaptation>
23 <CarFollowing>
24 <FollowRangeBehaviour Type="1" Value="2.000" Limit="0.200" />
25 <FollowDecelerationBehaviour Type="2" alfa1="8.000" alfa21="5.700" beta12="5.700" beta22="5.710" />
26 <InDistanceForStoppedTwoCar Type="1" Value="1.200" />
27 <StoppingDistanceToLaneEnd Type="1" Value="10.000" />
28 <AverageDeceleration Type="1" Value="2.000" />
29 <TimeInFollowingArea Type="1" Value="0.200" />
30 <MinDistanceInFollowingArea Type="1" Value="0.300" />
31 </CarFollowing>
32 <LaneChange>
33 <GapAcceptance Type="1" />
34 <SignalBehaviorOnLaneChange Type="1" />
35 <SpeedDiffThreshold Type="1" Value="3.000" />
36 <LeftLaneDesiringThreshold Type="1" Value="0.560" />
37 <RightLaneDesiringThreshold Type="1" Value="0.860" />
38 <MinInLaneTimeBeforeChanging Type="1" Value="4.000" />
39 </LaneChange>
40 <CarStopping>
41 <StoppingDecelerationBehaviour Type="1" alfa31="8.000" alfa41="4.300" beta32="16.660" beta42="4.280" />
42 </CarStopping>
43 <PersonalBehaviour>
44 <HornBehaviour Type="2" />
45 <FarLightsBehaviour Type="1" />
46 </PersonalBehaviour>
47 </ComplexTrafficProperties>

```

Şekil 7.1. Yakın\_takip sürüş stili biçim dosyası

Ardından, söz konusu biçim dosyaları ile çeşitli taşıt cinsleri (mercedes, audi, ticari taksi, minibüs vb.), Çizelge 6.4'de belirtilen trafik istatistiklerinde belirlenen oranlar ve sayılar dikkate alınarak eşleştirilmiştir. Donanımsal yetersizlikler nedeniyle görüntüde herhangi bir bozulma olmaması için, sanal ortamda aynı anda en fazla 40 adet hareketli sanal taşıt etmeni bulunması sağlanmıştır. Farklı taşıt cinslerine atanan sürüş stillerini gösteren biçim dosyası Şekil 7.2'de, söz konusu taşıt cinslerinin sanal ortamdaki sayılarını gösteren biçim dosyası ise Şekil 7.3'de sunulmuştur.

```

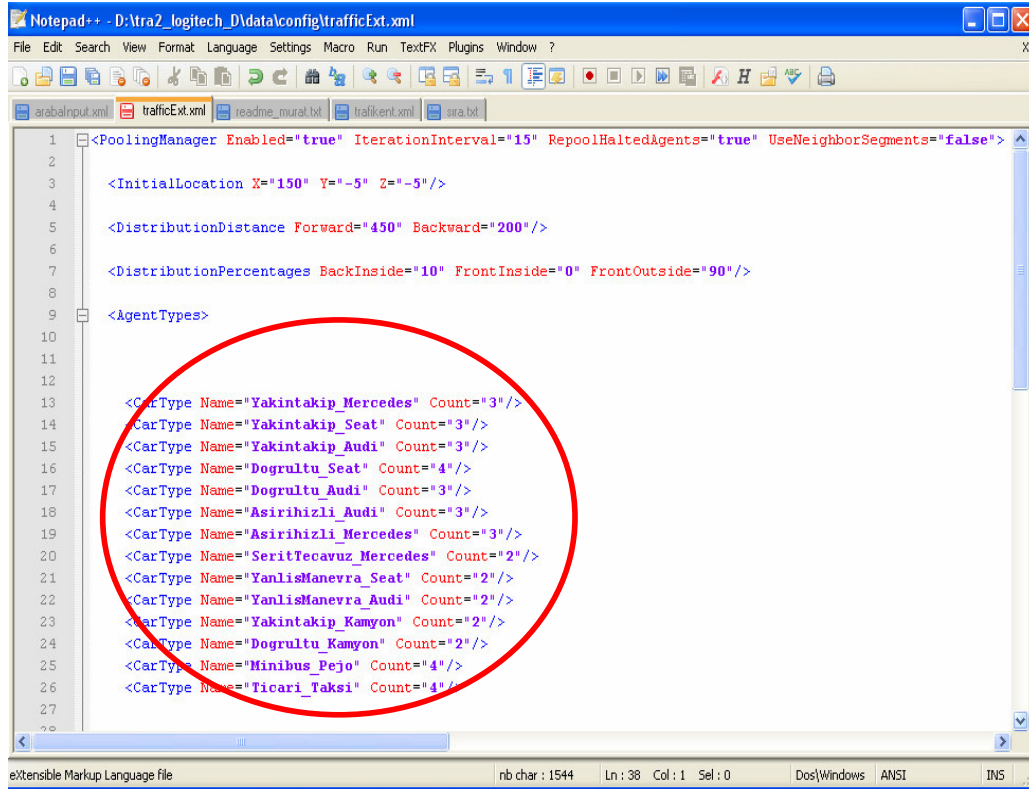
131 <AgentType Name="Yakintakip_Seat" Library="AgentAnimatedCar">
132   #include "data/scene/agents/seat/main.xml"
133   <ObjectProperties>
134     #include "data/trafik/davranis_yakin_takip.xml"
135   </ObjectProperties>
136 </AgentType>
137
138 <AgentType Name="Yakintakip_Audi" Library="AgentAnimatedCar">
139   #include "data/scene/agents/audi/main.xml"
140   <ObjectProperties>
141     #include "data/trafik/davranis_yakin_takip.xml"
142   </ObjectProperties>
143 </AgentType>
144
145 <AgentType Name="Dogrultu_Seat" Library="AgentAnimatedCar">
146   #include "data/scene/agents/seat/main.xml"
147   <ObjectProperties>
148     #include "data/trafik/davranis_dogrultu.xml"
149   </ObjectProperties>
150 </AgentType>
151
152 <AgentType Name="Dogrultu_Audi" Library="AgentAnimatedCar">
153   #include "data/scene/agents/audi/main.xml"
154   <ObjectProperties>
155     #include "data/trafik/davranis_dogrultu.xml"
156   </ObjectProperties>
157 </AgentType>

```

Extensible Markup Language file      nb char : 9184    Ln : 159    Col : 1    Sel : 0    Dos\Windows    ANSI    INS

Şekil 7.2. Farklı taşıt cinslerine atanan sürüş stillerini gösteren trafik ortamı biçim dosyası





```

1 <PoolingManager Enabled="true" IterationInterval="15" RepoolHaltedAgents="true" UseNeighborSegments="false">
2
3 <InitialLocation X="150" Y="-5" Z="-5"/>
4
5 <DistributionDistance Forward="450" Backward="200"/>
6
7 <DistributionPercentages BackInside="10" FrontInside="0" FrontOutside="90"/>
8
9 <AgentTypes>
10
11
12
13 <CarType Name="Yakintakip_Mercedes" Count="3"/>
14 <CarType Name="Yakintakip_Seat" Count="3"/>
15 <CarType Name="Yakintakip_Audi" Count="3"/>
16 <CarType Name="Dogrultu_Seat" Count="4"/>
17 <CarType Name="Dogrultu_Audi" Count="3"/>
18 <CarType Name="Asirihizli_Audi" Count="3"/>
19 <CarType Name="Asirihizli_Mercedes" Count="3"/>
20 <CarType Name="SeritTecavuz_Mercedes" Count="2"/>
21 <CarType Name="YanlisManevra_Seat" Count="2"/>
22 <CarType Name="YanlisManevra_Audi" Count="2"/>
23 <CarType Name="Yakintakip_Kamyon" Count="2"/>
24 <CarType Name="Dogrultu_Kamyon" Count="2"/>
25 <CarType Name="Minibus_Pejo" Count="4"/>
26 <CarType Name="Ticari_Taksi" Count="4"/>
27
28

```

Şekil 7.3. Farklı taşıt cinslerinin sanal ortamdaki sayılarını gösteren biçim dosyası

Son olarak, sanal ortamda yer alan çeşitli noktalara, gerçek trafik ortamındaki park etmiş taşıtları temsil eden 9 adet duran taşıt etmeni ve duraklar yerleştirilerek, TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe “Riskli Trafik Ortamı”nın oluşturulması tamamlanmıştır.

Katılımcılardan, öncelikle kişisel ve sürücülük geçmişlerine ilişkin bir bilgi formunu doldurmaları istenmiştir (EK-4). Ardından, her bir katılımcıdan 20 dakika boyunca, TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründeki “Riskli Trafik Ortamı”nda, trafik kurallarına uygun şekilde sürüş yapmaları istenmiştir (Resim 7.1). Katılımcıların takip etmeleri için herhangi bir rota belirlenmemiş, ancak 2 veya 3 kavşakta bir sağa yada sola dönmeleri istenmiştir.



Resim 7.1. TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründe sürüş testine tabi tutulan katılımcı

Performans Değerlendirme ve Raporlama Modülü (PDRM) vasıtasıyla, katılımcıların test süresince gerçekleştirdikleri trafik kuralı ihlalleri ve gerçekleştirdikleri trafik kazalarına ait veriler toplanmıştır. Söz konusu veriler, katılımcıların;

- Gerçekleştirdikleri kaza (diğer taşıtlarla yada başka nesnelere çarpışma) sayılarını,
- Yoldan çıkma (ters yola girme dahil) sayılarını,
- Trafik ışığını ihlal etme sayılarını,
- Hatalı şerit değiştirme sayılarını,
- Takip mesafesi ihlali sayılarını,
- Şerit ihlali (10 sn. süresince) sayılarını,
- Dönüş sinyali ihlali sayılarını,
- Şerit değiştirme ihlali (sinyal vermeme yada kavşağa 30 mt. kala şerit değiştirme) sayılarını
- Geçiş önceliği ihlali sayılarını içermektedir.

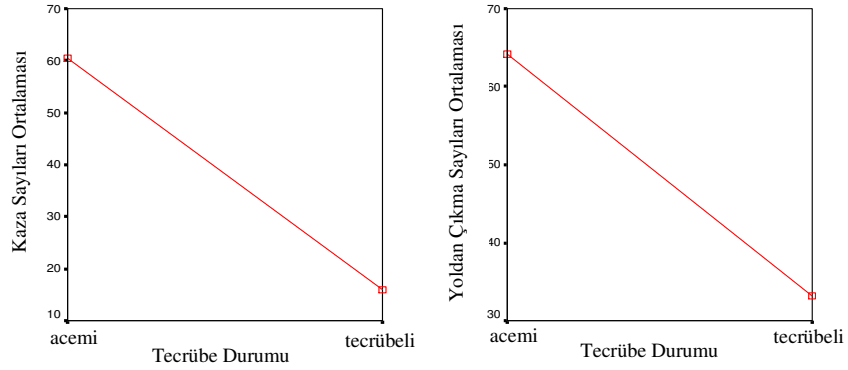
Son olarak, katılımcılardan öz bildirime dayalı test sonu değerlendirme yapmaları istenmiş ve bu maksatla hazırlanan bir ölçeği doldurmaları istenmiştir (EK-5).

### 7.3. Deneysel Bulgular ve Tartışma

Katılımcıların sürüş testi öncesinde doldurdukları bilgi formu ve sonrasında doldurdukları test sonu değerlendirme ölçeği ile sürüş testi performansları hakkında PDRM ile elde edilen veriler SPSS 11 paket programı ile analiz edilerek, yukarıda sunulan hipotezlere cevap aranmıştır. Özellikle, bu tez çalışmasının hedef kitlesi olan acemi sürücüler ile tecrübeli sürücülerin oluşturdukları gruplardan elde edilen veriler arasında anlamlı bir fark olup, olmadığını belirlemek amacıyla veriler üzerinde tek yönlü ANOVA testi uygulanmıştır. Bunun yanı sıra, veriler arasında var olan ve yukarıda sunulan hipotezlere cevap teşkil edecek nitelikteki ilişkileri ortaya çıkarmak amacıyla korelasyon ve frekans analizlerinden de faydalanılmıştır.

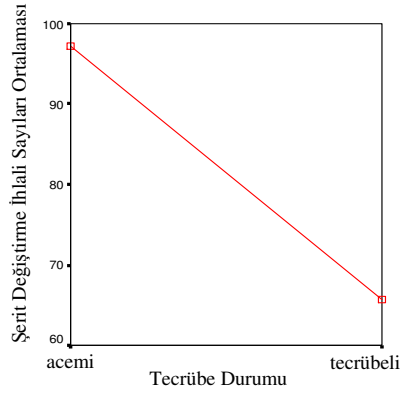
Öncelikle, sürüş deneyimlerine göre acemi ve tecrübeli olarak gruplandırılan katılımcılardan sürüş testi performansları hakkında PDRM ile elde edilen veriler üzerinde tek yönlü ANOVA testi uygulanarak, gruplar arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur:

1) Sürüş deneyimlerine (acemi; tecrübeli) göre, katılımcıların kaza sayıları ( $F=24,650$ ,  $p=0,000$ ), yoldan çıkma sayıları ( $F=17,957$ ,  $p=0,000$ ), şerit değiştirme ihlali sayıları ( $F=9,127$ ,  $p=0,005$ ), trafik ışığı ihlali sayıları ( $F=5,965$ ,  $p=0,021$ ) ve geçiş önceliği ihlali sayıları ( $F=4,682$ ,  $p=0,039$ ) ortalamaları istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde birbirinden farklıdır. Burada bahsi geçen ölçüm verileri ortalamalarının, katılımcıların sürüş deneyimlerine (acemi; tecrübeli) göre dağılımı aşağıda sunulmuştur (Şekil 7.4).

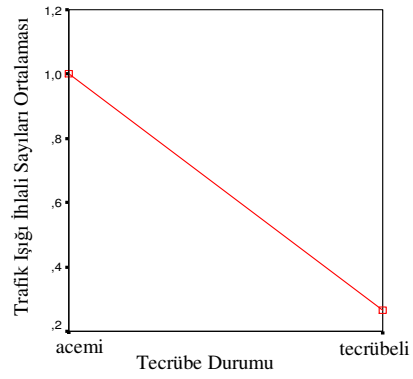


a)

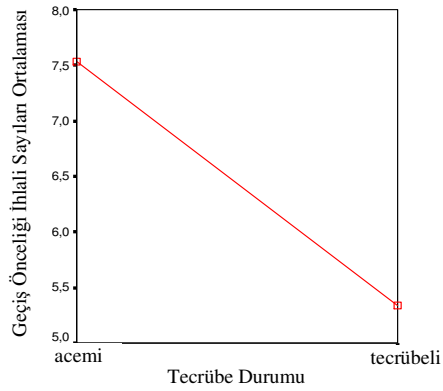
b)



c)



ç)



d)

Şekil 7.4. PDRM ile elde edilen ölçüm verilerinin ortalamalarının, katılımcıların sürüş deneyimlerine (acemi; tecrübeli) göre dağılımları.

- a) Kaza b) Yoldan çıkma c) Şerit değiştirme ihlali  
ç) Trafik ışığı ihlali d) Geçiş önceliği ihlali

Yukarıda sunulan şekillerden de anlaşılacağı üzere, katılımcılar arasından acemi olanların, tecrübeli olanlardan ortalama olarak daha fazla kaza yaptıkları, yoldan çıktıkları, şerit değiştirme ihlali yaptıkları, trafik ışığı ihlali yaptıkları ve geçiş önceliği ihlali yaptıkları görülmüştür. Özellikle, kaza sayıları ve yoldan çıkma sayıları ortalamalarına ilişkin veriler ikinci bölümde detaylı şekilde bahsedilen, gerçek trafik ortamına ilişkin araştırma sonuçları ve istatistiki veriler ile örtüşmektedir [1,28,31].

Bununla birlikte, sürüş deneyimlerine (acemi; tecrübeli) göre, katılımcıların takip mesafesi ihlali, şerit ihlali (10 sn.) ve dönüş sinyali ihlali sayıları ortalamaları incelendiğinde, tecrübeli sürücülerin daha az ihlal yaptıkları görülmekte, ancak grup ortalamaları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bunun sebepleri arasında; tecrübeli sürücülerin acemilere oranla daha süratli kullanmalarını, taşıtın ön konsolu modellenmediği için görüntüde referans eksikliğini ve tecrübeli sürücülerin testi daha az önemseyip, az özen göstermelerini sayabiliriz.

2) Katılımcıların sürüş testine girmeden önce doldurdukları bilgi formunda (EK-4) beyan ettikleri aktif taşıt kullanma süreleri ile sürüş testindeki kaza sayıları arasında, istatistiksel açıdan anlamlı olan negatif bir korelasyon olduğu (Pearson's  $r = -0,540$ ,  $p = 0,002$ ,  $N = 30$ ), aynı şekilde aktif taşıt kullanma süreleri ile sürüş testindeki yoldan çıkma sayıları arasında da, istatistiksel açıdan anlamlı olan negatif bir korelasyon olduğu (Pearson's  $r = -0,504$ ,  $p = 0,004$ ,  $N = 30$ ) görülmüştür.

Katılımcıların sürüş testine girmeden önce doldurdukları bilgi formunda beyan ettikleri şehir içinde taşıt kullanma sıklıkları ile sürüş testindeki kaza sayıları arasında, istatistiksel açıdan anlamlı olan negatif bir korelasyon olduğu (Pearson's  $r = -0,643$ ,  $p = 0,000$ ,  $N = 30$ ), aynı şekilde aktif taşıt kullanma süreleri ile sürüş testindeki yoldan çıkma sayıları arasında da, istatistiksel açıdan anlamlı olan negatif bir korelasyon olduğu (Pearson's  $r = -0,551$ ,  $p = 0,002$ ,  $N = 30$ ) görülmüştür.

3) Katılımcılardan, sürüş testi sonrası doldurmaları istenen öz bildirimine dayalı test sonu değerlendirmesi ölçeğine (EK-5) verdikleri cevapların frekansları aşağıdaki çizelgelere sunulmuştur (Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1. Katılımcıların EK-5’ deki anket sorularına verdikleri cevapların frekansları a) Anket sonucu -1 b) Anket Sonucu -2 c) Anket Sonucu -3

	Frekans	Oran (%)
Hiç Katılmıyorum	0	0
Biraz Katılıyorum	5	20
Çoğunlukla Katılıyorum	17	68
Tamamen Katılıyorum	3	12
Toplam	25	100

a)

	Frekans	Oran (%)
Hiç Katılmıyorum	0	0
Biraz Katılıyorum	9	36
Çoğunlukla Katılıyorum	15	60
Tamamen Katılıyorum	1	4
Toplam	25	100

b)

	Frekans	Oran (%)
Hiç Katılmıyorum	0	0
Biraz Katılıyorum	2	8
Çoğunlukla Katılıyorum	4	16
Tamamen Katılıyorum	19	76
Toplam	25	100

c)

Bu ölçek uygulamasından elde edilen verilere göre;

- Katılımcıların, bu çalışma kapsamında geliştirilen “Riskli Trafik Ortamı”nda, gerçek trafik ortamında karşılaştığı ve diğer sürücülerden kaynaklanan tehlikeli durumların doğru bir şekilde canlandırıldığına “çoğunlukla katıldıkları” (68%),

- Katılımcıların, bu çalışma kapsamında geliştirilen “Riskli Trafik Ortamı”ndaki sanal sürücülerin taşıt cinslerine göre sergiledikleri davranışların gerçekçi bir şekilde canlandırıldığına “çoğunlukla katıldıkları” (60%),
- Katılımcıların, gerçek trafik ortamına çıkmadan bu çalışma kapsamında geliştirilen “Riskli Trafik Ortamı”nda sürüş eğitimi almanın faydalı olacağına “tamamen katıldıkları” (76%) öğrenilmiştir.

Ölçek uygulamasında katılımcıların görüşüne sunulan önermelere “hiç katılmıyorum” cevabı veren katılımcı bulunmamaktadır. Sürüş deneyimlerine göre acemi ve tecrübeli olarak gruplandırılan katılımcıların, önermelere verdikleri cevaplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmadığı görülmüştür (Önerme-1:  $F=0,001$ ,  $p=0,978$ ; Önerme-2:  $F=0,013$ ,  $p=0,911$ ; Önerme-3:  $F=0,538$ ,  $p=0,471$ ). Yani, hem acemi hem de tecrübeli sürücü olan katılımcılar, geliştirilen “Riskli Trafik Ortamı”nın gerçekçiliği ve sürücü eğitimine faydası hakkında olumlu düşünmektedirler.

Bu sonuçlar, her iki hipotezi de güçlü bir şekilde desteklemektedir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, trafik güvenliği açısından risk yaratan ve kaza yapma olasılığı yüksek olan “acemi” sürücülerin yolu okuma (tehlike algısı) ve güvenli sürücülük becerilerinin geliştirilmesi amacıyla; şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan ve kazaya neden olan “sürücü kusurları” ile “tehlike yaratan çeşitli durumların-etkileşimlerin” modellenmesi ve sürücü eğitim simülatöründe sanal bir “Riskli Trafik Ortamı”nın yaratılması amaçlanmıştır.

Bu maksatla kullanılan TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatöründeki mevcut yazılım modüllerinden “Yapay Zeka (Sürücü Davranış) Yazılım Modülü”nün ve “Taşıt Etmeni Üretme Yazılım Modülü”nün içerikleri, bu çalışma kapsamında çok büyük bir oranda değiştirilmiştir. Buna ilave olarak, sistemde daha önce hiç bulunmayıp, bu çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan “Sürüş Stilleri Biçim Dosyaları”, “Trafik Ortamı Biçim Dosyaları” ve “Grafik Kullanıcı Ara Yüzlü Sürüş Stili Biçim Dosyası Üretme Yazılım Modülü” geliştirilerek sisteme entegre edilmiştir.

Yeni geliştirilen grafik kullanıcı ara yüzü sayesinde, gerçek bir şehir içi trafik ortamında karşılaşılan farklı sürüş stillerine ait biçim dosyaları çevrimdışı (off line) şekilde oluşturulabilmektedir. Söz konusu sürüş stillerinin sanal trafik ortamında dolaşan farklı taşıt cinslerine (otomobil, minibüs, kamyon, vb.) atanması ve sayılarının belirlenmesi işlemleri de “xml” dosyaları üzerinden kolayca yapılabilmektedir.

Farklı sürücü sınıflarına (hususî otomobil, ticari taksi, minibüs, vb.) ait sürüş stillerini ve sürücü davranışlarını temsil eden YZM yazılım modülü, bu çalışma kapsamında geliştirilen modelleme tekniği (iki katmanlı HEZDM) sayesinde, taşıt sürme faaliyetlerine ilişkin farklı seviyelerdeki sürüş görevlerinin ve “algılama, karar verme ve uygulama” sürücü davranış süreçlerinin gerçekçi bir şekilde modellenmesine imkan veren parametrik, modüler ve esnek bir yazılım yapısına kavuşturulmuştur. Bu sayede, farklı seviyelerdeki sürüş görevlerini modelleyen



yazılım kodu parçalarının farklı frekanslarda koşturulmaları mümkün hale getirilerek, donanım kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanmıştır. Bu yönüyle dünyadaki benzerlerinden ayrılmaktadır.

Araştırmacılar tarafından [14]' de belirtilen, acemi sürücülerin yolu okuma (tehlike algısı) becerilerinin geliştirilmesine yönelik eğitimlerin, söz konusu acemi sürücülerin taşıt kullandıkları trafik ortamlarında karşılaşmaları muhtemel tehlikeler dikkate alınarak şekillendirilmesi yönündeki önerisi doğrultusunda, Türkiye'deki şehir içi taşıt trafiğinde sıklıkla karşılaşılan ve kazaya neden olan sürücü kusurları ile tehlike yaratan çeşitli durumlar-etkileşimler "Riskli Trafik Ortamı"nda canlandırılmıştır.

"Riskli Trafik Ortamı" simülasyonunda yer alan sürücü davranış biçimi modelleri, dünyadaki benzerlerinde bulunan en üstün özelliklere, hatta onlarda bulunmayan duraklama ve korna çalma modellemesi gibi özelliklere sahiptir. Yapılan geçerlilik (validasyon) çalışmasında elde edilen deneysel bulgulara göre; yeni geliştirilen "Riskli Trafik Ortamı"nın ve bu ortamın oluşturulmasında kullanılan sürücü davranış biçimi modellerinin hem görünüş (face) geçerliliğine, hem de istatistiksel geçerliliğe sahip oldukları değerlendirilmektedir.

Bilgisayar donanımının izin verdiği kadar çok sanal taşıt etmeni "Riskli Trafik Ortamı"nda yaratılabilmektedir. Ancak, bu çalışma kapsamında kullanılan donanımın yetersizliklerinden ötürü görüntüde herhangi bir bozulma olmaması için, en fazla 40 hareketli ve 9 adet duran sanal taşıt etmeni kullanılabildiğinden, sanal ortamda yoğun bir taşıt trafiği yaratılamamıştır. Bu nedenle, katılımcıların diğer taşıtlarla etkileşimleri daha az olmuş ve diğer taşıtlardan kaynaklanan tehlikeli durumlar istenen sayıda gerçekleştirilememiştir. Ayrıca, sürücüler için trafikte tehlike unsuru olan yayalar ve hayvanlarla olan etkileşimler donanımsal kısıtlar nedeniyle canlandırılmamıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, sanal trafik ortamının daha gerçekçi hale getirilebilmesi için söz konusu unsurların da eklenmesi için çalışma yapılmalıdır.

Sonuç olarak, “Riskli Trafik Ortamı” simülasyonunun, hedef sürücü kitlesi olan acemi sürücülerin tehlike algısı (yolu okuma) becerilerinin artırılmasında ve az da olsa ülkemizde meydana gelen trafik kazalarının azaltılmasında katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ancak, bu katkının ne oranda olduğu bu çalışma kapsamında ölçülmemiştir. Buna ilişkin çalışmaların ileriki dönemde yapılması planlanmaktadır.

Ayrıca, sahip olduğu özellikler sayesinde söz konusu simülasyon ortamının sürücü davranışları ve trafik güvenliğine yönelik araştırmalar için kontrollü bir test ve çalışma ortamı sunabileceği de değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: European Commision Directorate-General Transport & Energy “Novice Drivers-Web text of the European Road Safety Observatory.” [http://www.erso.eu/knowledge/Fixed/06\\_young/novice%20drivers.pdf](http://www.erso.eu/knowledge/Fixed/06_young/novice%20drivers.pdf) (2008).
2. İnternet: Türkiye Trafik Eğitimi Geliştirme ve Kazaları Önleme Vakfı <http://www.tutev.org/arsiv/orjinal/ulkeleristatis6.php> (2008).
3. İnternet: Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı, [http://www.trafik.gov.tr/istatistikler/jandarmaunsur\\_07.aspx](http://www.trafik.gov.tr/istatistikler/jandarmaunsur_07.aspx) (1998).
4. Sümer, N., “Trafik Kazalarında Sosyal Psikolojik Etmenler: Sürücü Davranışları, Becerileri ve Sosyal Politik Çevre”, *Türk Psikoloji Yazıları*, 5 (9-10): 1-36 (2002).
5. Yasak, Y., “Trafik psikolojisi“, *TŞOF-PSIKOTEKNİK: Sürücü Değerlendirme Eğitim ve Araştırma Merkezi, Ankara*, 3-11 (2002).
6. AYKAÇ, D.S., “Trafik eğitiminde kullanılan dokümantasyonlar üzerine bir araştırma”, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Kazaları Araştırma ve Önleme Enstitüsü*, Ankara, 1-55 (2005).
7. Sümer, N., Ünal, A.B., “Acemi sürücülerde tehlike algısı becerisi”, *Üçüncü Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresi*, Ankara, 177-182 (2005).
8. Ece, H., “Trafik kazaları özeti”, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Kara Yolları Genel Müdürlüğü*, Ankara, 3-5 (2003).
9. Hirata, T., “Development of driving simulation system: movic-t4 and its application to traffic safety analysis in underground urban expressways”, Doktora tezi, *Tokyo Institute of Technology Department of Civil Engineering*, Tokyo, 2-3, 20-22, 157-160 (2005).
10. Pursula, M., “Simulation of traffic systems-An overview”, *Journal of Geografic Information and Decision Analysis*, 3(1):1-9 (1999).
11. Bayarri, S., Fernandez, M. and Perez, M. “Virtual reality for driving simulation”, *Communications of the ACM*, 39(5):72-76 (1996).
12. Das, S., Bowles, B.A., Houghland, C.R., Hunn, S.J. and Zhang, Y. "Microscopic Simulations of Freeway Traffic Flow," *Thirty-Second Annual Simulation Symposium*, San Diego, 79 (1999).
13. Hoeschen, A., Bekiaris, E., “Inventory of driver training needs and major gaps in the relevant training procedures”, *Commission of the European Communities- Competitive and Sustainable Growth Programme (GRD1-*

**1999-10024), Brüksel, 21-72 (2001).**

14. Sümer, N., Ünal, A.B., Birdal, A., “Assessment Of Hazard Perception Latencies Using Real Life And Animated Traffic Hazards: Comparison Of Novice And Experienced Drivers”, **Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design**, Iowa, 488-494 (2007).
15. Saniee, M., Habibi, J., “A fuzzy ranking method for automated highway driving”, **IEEE Intelligent Vehicles Symposium**, Italy, 218-221 (2004).
16. El hadouaj, S., Drogoul, A., “A study of coordination within a road traffic environment”, **Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology**, Newyork, 491-496 (2004).
17. Wright, S., Ward, N.J., Cohn, A.G., “Enhanced Precence in Driving Simulators Using Autonomous Traffic with Virtual Personalities”, **Massachusetts Institute of Technology**, 11 (6): 578-590 (2002).
18. İnternet: ABD Ulaştırma Bakanlığı “Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models - 3. Traffic Simulation Model Overview.” <http://www.tfhrc.gov/safety/pubs/03050/03.htm> (2005).
19. Lajunen, T., “Sürücü Davranış ve Performansının Araştırılması: Yöntem ve Uygulama”, **Türk Psikoloji Yazıları**, 5 (9-10): 105-119 (2002).
20. İnternet: Emniyet Genel Müdürlüğü “Çocuklar için trafik kuralları.” <http://www.egm.gov.tr/trafik.islemleri.cocuk.asp> (2005).
21. Sümer, N., Özkan, T., “Sürücü davranışları, becerileri, bazı kişilik özellikleri ve psikolojik belirtilerin trafik kazalarındaki rolleri” **Türk Psikoloji Dergisi**, 17(50): 1-26 (2002).
22. Elander, J., West, R., & French, D., “Behavioural correlates of individual differences in road-traffic crash risk: an examination of methods and findings.”, **Psychological Bulletin**, 113: 279-294 (1993).
23. Sümer, N., “Trafik güvenliğinde Sürücü Davranış Değişimi Modelleri”, **İkinci Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresi**, Ankara, 270-279 (2003).
24. Näätänen, R., Summala, H., ”Road-user behavior and traffic accidents”, **Ergonomics**, Amsterdam, 20(6): 698-700 (1977).
25. Sümer, N., Ayvaşık, H.B., Er, N., Ünal, A.B., Öztürk, F., İpekan, S., “Sürücü ihlal ve hatalarının bilgisayar temelli ölçülmesi”, **Üçüncü Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresi**, Ankara, 169-176 (2005)

26. Er, N., "Sürücünün bilişsel süreçlerini anlamak: Trafik güvenliği için ne kadar gerekli ve yeterli?", *Türk Psikoloji Yazıları*, 5(9-10):37-63 (2002).
27. Sümer, N., Lajunen, T., Özkan, T., "Sürücü Davranışlarının Kaza Riskindeki Rolü: İhlaller Ve Hatalar", *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*, Ankara, 270-280 (2002).
28. Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı, "Trafik İstatistik Yıllığı-2002", *EGM, Ankara*, 114 (2002).
29. Nyberg, A., "The impact of different licencing systems on young novice driver's safety", *VTI rapport 491A, Finland*, 95-136 (2003).
30. Grayson, G.B., Maycock, G., Groeger, J.A., Hammond, S.M., "Risk, hazard perception and perceived control", *TRL Report 560, Berkshire*, 1-24 (2003).
31. Deery, H.A., "Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers", *Journal of Safety Research*, 30(4): 225-236 (1999).
32. Mayhew, D.R., Simpson, H.M., Pak, A., "Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving." *Accident Analysis and Prevention*, 35:683-91 (2003).
33. Koman, H.C., Atabay, O., Özgümüş, E., Günelsu, Ö., "Ülkemizde sürücü eğitimi ve alternatif eğitim modelleri", *Üçüncü Trafik ve Yol Güvenliği Uluslararası Kongresi*, Ankara, 92-102 (2006).
34. Demir, M., "Eğitimde Simülasyon/simülatör Uygulamaları: Hareketli Bir Helikopter Uçuş Eğitim Simülatörünün İncelenmesi ve Sınıflandırılması; Örnek Bir Bilgisayar Simülasyonu Uygulaması", Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği*, Ankara, 4-10 (2001).
35. Archer, J., Kosonen, I., "The potential of micro-simulation modelling in relation to traffic safety assessment", *Proceedings of the ESS Conference*, Hamburg, 427-431 (2000).
36. Sukthankar, R., "Situation awareness for tactical driving", Doktora tezi, *Robotics Institute Carnegie Mellon University*, Pittsburgh, 15-29, 38-48 (1997).
37. Jakovljevic, G., Basch, D., "Implementing multiscale traffic simulators using agents", *26<sup>th</sup> Int. Conference on Information Technology Interfaces*, Croatia, 519-524 (2004).
38. Brooks, R.A., "A layered control system for a mobile robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 2(1):14-19 (1986).

39. Lehmuskoski, V., "Development of microscopic simulation model on Ring Road III near Helsinki-Vantaa International Airport", *Urban Transport System Conference*, Sweden, 80-92 (1999).
40. Reece, D.A, Shafer, S., "A Computational Model of Driving for Autonomous Vehicles", *CMU-CS-91-122 Tech. report, Pittsburgh*, 1-40 (1991).
41. Sukthankar, R., "Situation awareness for tactical driving", Doktora tezi, *Robotics Institute Carnegie Mellon University*, Pittsburgh, 38-48 (1997).
42. Kemeny, A., Panerai, F., "Evaluating perception in driving simulation experiments", *Trends in Cognitive Sciences*, 7(1): 31-37 (2003).
43. Ni., D., "2DSIM: A Prototype of Nanoscopic Traffic Simulation", *IEEE Proceedings of the 2003 Intelligent Vehicles Symposium*, Piscataway, 47-52 (2003).
44. McHaney, R., "Artificial intelligence and computer simulation", *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, Orlando, 1118-1121 (1993).
45. İnternet: Directorate General VII - Transport of the European Commission "SMARTTEST - Review of Micro-Simulation Models" <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/deliv3.html#a2> (1997).
46. Lee, B., Lee, E.A., "Interaction of finite state machines and concurrency models", *Proceeding of Thirty Second Annual Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, California, 1715-1719 (1998).
47. Harel, D., "A visual formalism for complex systems," *Science of Computer Programming*, 8: 231-274 (1987).
48. Lucas, P.J., "An object-oriented language system for implementing concurrent, hierarchical, finite state machines", Yüksek lisans tezi, *University of Illinois*, Illinois, 1-16 (1993).
49. Okutanoğlu, A., İşler, V., "Simülasyon sistemlerinde esnek senaryo altyapıları", *Birinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı*, Ankara, 115-126 (2005).
50. Cremer, J., Papelis, Y., "The software architecture for scenario control in Iowa driving simulator", *Proc. of 4<sup>th</sup> Computer Generated Forces and Behavioral Representation Conference*, Orlando, 523-532 (1994).
51. Zadeh, L.A., "Fuzzy logic, neural networks, and soft computing", *Communications of the ACM*, 37(3): 77-84 (1994).
52. Gao, X.Z., "Soft computing methods for control and instrumentation", Doktora

- tezi, *Institute of Intelligent Power Electronics Publications*, Finland, 1-11 (1999).
53. Petropoulakis, L., "Intelligent control using agents and fuzzy behavioral structures", *Proceedings of the 15<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Greece, 389-393 (2000).
  54. George G., Cardullo, F., "Application of Neuro-Fuzzy Systems to Behavioral Representation in Computer Generated Forces", *Proc. 8 Conf. on Comp. Generated Forces*, Orlando, 575-585 (1999).
  55. Saffiotti, A., "Fuzzy logic in autonomous robotics: behaviour coordination", *Proceedings of the 6<sup>th</sup> IEEE International Conference on Fuzzy Systems*", Barcelona, 573-578 (1997).
  56. Saniee, M., Habibi, J., "A fuzzy ranking method for automated highway driving", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, 218-221 (2004).
  57. Franklin, S., Graesser, A., "Is it an agent or just a program?: A taxonomy for autonomous agents", *Proceedings of the 3th International Workshop on Agent Theories Architectures and Languages*, Berlin, 21-35 (1996).
  58. Russell, S.J., Norvig, P., "Artificial Intelligence: A Modern Approach", *Prentice Hall*, New Jersey, 32-58 (2003).
  59. Hill, R., Kim, Y. and Gratch, J., "Anticipating Where to Look: Predicting the Movements of Mobile Agents in Complex Terrain, ", *Proceedings of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Italy, 821-827 (2002).
  60. Wooldridge, M., "Agent-based Software Engineering", *IEEE Proceedings on Software Engineering*, 144(1):26-37 (1997).
  61. Ehlert, P.A.M., "Intelligent driving agents: The agent approach to tactical driving in autonomous vehicles and traffic simulation", Yüksek lisans tezi, *Delft University of Technology Faculty of Information Technology and Systems*, Netherlands, 15-20 (2001).
  62. Bauer, B., "Lecture Notes In Computer Science; Revised Papers and Invited Contributions from the Second International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering II", *Springer-Verlag, London*, 101-118 (2001).
  63. Li, Y., Ma, S., Li, W. , Wang, H. "Microscopic urban traffic simulation with multi-agent system", *Proceedings of the 2003 Joint Conference of the Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, China, 1835 - 1839 (2003).

64. Gettman, D., Head, L., "Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models Final Report", *U.S. Department Of Transportation Federal Highway Administration (FHWA-RD-03-050), Virginia*, 11-35 (2003).
65. İnternet: Trafik Sigortaları Bilgi Merkezi "2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu" [http://www.tramer.org.tr/karayollari\\_kanunu.php](http://www.tramer.org.tr/karayollari_kanunu.php) (2008).
66. Rakha, H., Snare, M., Dion, F., "Vehicle dynamics model for estimating maximum light-duty vehicle acceleration levels", *Transportation Research Record*, 1:40-49 (2007).
67. Gipps, P.G., "A Model For The Structure of Lane-Changing Decisions," *Transportation Research*, 20(5): 403-414 (1986).
68. Gipps, P. G., "A behavioural car-following model for computer simulation." *Transportation Research B*, 15(2): 105-111 (1981).
69. Kosonen, I., "HUTSIM – Urban Traffic Simulation and Control Model: Principles and Applications.", Doktora Tezi, *Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology*, Finland, 25-66 (1999).
70. Hidas, P. "Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation." *Transportation Research C*, 10(5-6): 351-371 (2002).
71. İnternet: T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Kara Yolları Genel Müdürlüğü "Trafik kazaları özeti 2006" <http://www.kgm.gov.tr/kaza2k.asp> (2008).
72. Chung, C. A., "Simulation Modeling Handbook- A Practical Approach", Parsaei, H.R., *Crc Press*, Washington, 172-191 (2004).
73. Law, A.M. and Kelton, D.W., "Simulation Modeling and Analysis 3rd ed.", *McGraw-Hill*, New York, 15-36 (2000).
74. Üke, H., "The usability study of the Trafikent driver training simulator", *Trafik ve Yol Güvenliği Üçüncü Uluslararası Kongresi*, Ankara, 545-553 (2006).



**EKLER**

## EK-1. Trafik kuralı ihlallerinin belirlenmesine yönelik ölçek uygulaması

**Anket Katılımcı Bilgileri**

Yaşınız : Bay/Bayan ?:

Mesleğiniz :

Ehliyetiniz var mı? :

Ehliyetinizin sınıfı :

Kaç yıldır aktif sürücülük yapıyorsunuz? :

Aracınız ile bugüne kadar tahmini kaç bin kilometre yol yaptınız? :

Aracınız ile bugüne kadar kaç kere kaza yaptınız? :

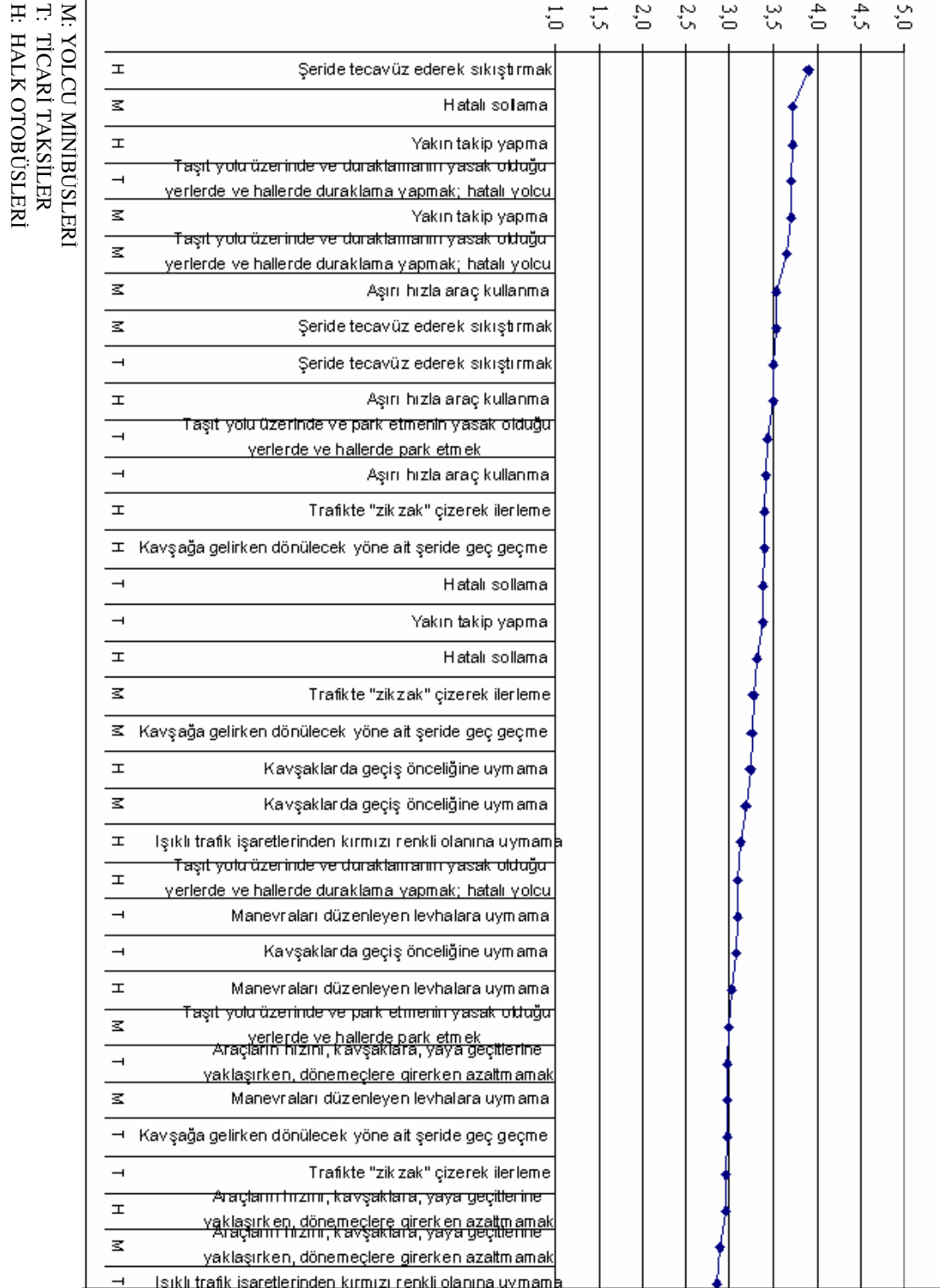
**Trafik Ortamındaki Gözlemleriniz**

“Özel Binek Taşıtlar”a “Ticari Taksi”lere ve “Yolcu Minibüsleri/Özel Halk Otobüsleri”ne yönelik olarak **gözlemlediğiniz** ve sizce kazaya neden olabilecek/olmuş “Trafik kuralı ihlallerini” sıklık derecesine göre sıralar mısınız? Sizce en uygun sütuna “X” işareti koyunuz. Varsa ilave gözlemlerinizi tablonun altına ekleyiniz.

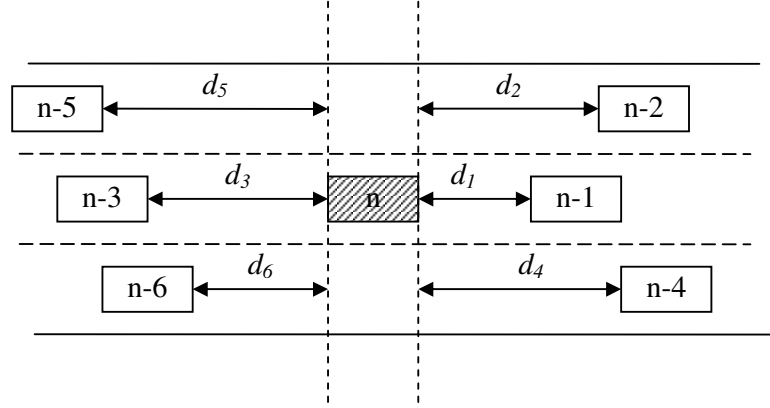
- ① HİÇ BİR ZAMAN      ② BAZEN      ③ SIK      ④ ÇOK SIK  
⑤ HER ZAMAN

<b>YOLCU MİNİBÜSLERİ/TİCARİ TAKSİLER/ÖZEL HALK OTOBÜSLERİ</b>					
“Trafik kuralı ihlalleri”	①	②	③	④	⑤
Taşıt yolu üzerinde ve duraklamanın yasak olduğu yerlerde ve hallerde duraklama yapmak; hatalı yolcu indirme/bindirme yapmak					
Taşıt yolu üzerinde ve park etmenin yasak olduğu yerlerde ve hallerde park etmek					
Hatalı sollama					
Aşırı hızla araç kullanma					
Yakın takip yapma					
Şeride tecavüz ederek sıkıştırmak					
Trafikte “zikzak” çizerek ilerleme					
Işıklı trafik işaretlerinden kırmızı renkli olanına uymama					
Gereksiz veya gereğinden uzun ve ayarsız olarak klakson/korna kullanma					
Manevraları düzenleyen levhalara uymama					
Kavşaklarda geçiş önceliğine uymama					
Kavşağa gelirken dönülecek yöne ait şeride geç geçme					
Araçların hızını, kavşaklara, yaya geçitlerine yaklaşırken, dönemeçlere girerken azaltmamak					
.....					
.....					
.....					

## EK-2. Ölçek uygulamasının sonuçları



EK-3. YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu



Şekil 3.1. “n” ile gösterilen sanal taşıt etmeninin çevresindeki taşıtlarla olan ilişkisi

**Tanımlı Fonksiyonlar:**

```

double D(char x): // yasak bölgenin (Dy) uzunluğunu döner.
{ if (x == "1" || x == "2" || x == "4" )
    if (v(n) ≥ v(n-x)) // burada x integer olarak kullanılacak...
        return ((v(n)*t_min(n))+((v(n)-v(n-x))^2/(2*a_ort))+D_stop);
    else
        return (v(n)*t_min(n)+D_stop);

    else if (x == "3" || x == "5" || x == "6" )
        if (v(n-x) ≥ v(n))
            return ((v(n-x)*2)+((v(n-x)-v(n))^2/(2*a_ort))+D_stop); // t_min(n-x) = 2
sn.
        else
            return (v(n-x)*t_min(n-x)+D_stop);

    else if (x == "int" || x == "dur")
        if (v(n) ≥ 0)
            return ((v(n)*t_min(n))+((v(n))^2/(2*a_ort)));

    else if (x == "lend")
        if (v(n) ≥ 0)
            return ((v(n)*t_min(n))+((v(n))^2/(2*a_ort))+D_stop2);
}

double T_lane (char x):// takip bölgesinin (Ty) uzunluğu
{ if (x == "1")
    if (v(n) >= v (n-1)) return (max(v(n)*t_T, M_T));
}

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

    else          return 0;
    if (x == "lend" || x == "dur") return 0;
}

double d(int x):          // taşıtlar arasındaki mesafe
{ absolute (pos(n)-pos(n-x)); } // mesafenin pozitif değer olması lazım.

double Q_normal(double d): // Kritik Geçiş Aralığı formülü
{ if ( 300 <= d ) return 0.5;
  if ( 30 <= d < 300) return 0.277 + 0.00074*d;
  if ( 0 <= d < 30)  return 0.2 + 0.0033*d;
}

double Q_agressive(double d): // Kritik Geçiş Aralığı formülü
{ if ( 30 <= d ) return 0.3;
  if ( 0 <= d < 30)  return 0.2 + 0.0033*d;
}

double speed_acc(double v): { return (  $\alpha_1 - (\beta_1 * v)$ ); } //hızlanma ivmesi: her bir
sürücü // tipi (saldırgan,normal, yavaş) için,  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinin konfigürasyon
dosyasından // geleceği varsayılmıştır.

double following_dec (double q1): //yavaşlama ivmesi: her bir sürücü tipi (saldırgan,
//normal, yavaş) için,  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinin
konfigürasyon //dosyasından geleceği varsayılmıştır.
{ if (0 <= q1 < 0.3) return - (  $\alpha_{11} - (\beta_{12} * q1)$ );
  else      return - (  $\alpha_{21} - (\beta_{22} * q1)$ );
}

double stopping_dec (double q2): //yavaşlama ivmesi: her bir sürücü tipi (saldırgan,
//normal, yavaş) için,  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinin
konfigürasyon //dosyasından geleceği varsayılmıştır.
{ if (0 <= q2 < 0.3) return - (  $\alpha_{31} - (\beta_{32} * q2)$ );
  else      return - (  $\alpha_{41} - (\beta_{42} * q2)$ );
}

// L_dev: bulunduğu şeridin sağına veya soluna söz konusu parametre ile belirtilen
oranda şerit tecavüzü yapabilmesi için, direksiyonun hangi yöne, ne kadar döneceği
bilgisini döner.

//passenger_behav: Yolcu indirme bindirme tercihi

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

**“TRAFİKENT Sürücü Eğitim Simülatörü yazılımından alınan bilgiler:**

// vehicle\_type (): “n” nolu taşıtın cinsini (otomobil, taksi, otobüs, kamyon vb.) döner.

// vehicle (n-1) : “n” nolu taşıtın önündeki taşıt “sürücünün” kullandığı sanal taşıt ise pozitif (+1) döner, aksi durumda, negatif (-1) değer döner.

// horn(3) : “n” nolu taşıtın önündeki taşıt “sürücünün” kullandığı sanal taşıt ise ve yavaş gidiyorsa, kendisi de ‘saldırgan’ ise korna çalar.

// uzun\_far() : “n” nolu taşıtın önündeki taşıt “sürücünün” kullandığı sanal taşıt ise ve yavaş gidiyorsa, kendisi de ‘saldırgan’ ise uzun farlarını kullanır çalar.

// outside\_threshold() : “n” nolu taşıtın şeridin dışına çıkıp, çıkmadığını döner.

// v(n) : “n” nolu taşıtın anlık hız bilgisini döner.

// pos(n) : yukarıdaki şekilde görülen “n” nolu taşıtın anlık pozisyonu döner.

// get\_dist\_to\_int () : “n” nolu taşıtın kavşağa olan uzaklık bilgisini döner.

// get\_number\_of\_lanes(road\_id) : “n” nolu taşıtın bulunduğu yolun kaç şeritli olduğu bilgisini döner.

//get\_dist\_to\_laneend() : “n” nolu taşıtın bulunduğu şerit eğer sonlanıyorsa, kalan mesafe bilgisini döner.

//time(C\_lane) : “n” nolu taşıtın bulunduğu şeritte geçirdiği zaman bilgisini sn. cinsinden döner. En son şerit değiştirmeden buyana geçen zaman.....

// get\_dist\_tobusstop() : durakla taşıt arasındaki mesafeyi döner.

// get\_dist\_topassenger() : yolcu ile taşıt arasındaki mesafeyi döner.

// vehicle\_crossing\_int() : kavşakta geçeceği koridoru kesen diğer koridorlardan kendinden önce geçecek başka taşıt olup, olmadığını döner.

// get\_max\_roadspeed (road\_id, vehicle\_type()) : bulunduğu yol kesimindeki, söz konusu taşıt cinsine göre hız sınırını döner.

// inside\_road() : yol üzerinde olup, olmadığı bilgisini döner.

//accell\_track\_lane (C\_lane) : şeritten çıkmamak için gerekli ivmeyi döner.

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

//steering\_track\_lane (C\_lane) : şeritten çıkmamak için direksiyonun hangi yöne, ne kadar döneceğini döner.

//inside\_intersection() : kavşak içinde olup, olmadığı bilgisini döner.

//Steering\_lanechange (Target\_lane) : Şerit değiştirme için hangi yöne ve ne kadar döneceği bilgisini döner. Sabit bir rakam.....

//\*\*\*\*\***Decision Making Layer (Class)**\*\*\*\*\*

var duraklama.distance = 0; // başlangıç değeri (global variable)

var duraklama.status = 0; // başlangıç değeri (global variable)

var DS = 0; // başlangıç değeri (global variable)

if ( !inside\_intersection()) corr\_direction = 0; // her döngünün başında, kavşaktan sağa yada sola dönmeden düz gitmeyi sağlayan koridor seçilir ve farklı bir değer atanmadığı takdirde taşıtın kavşaktan düz istikametindeki yola devam edeceği anlamına gelir.

if ( inside\_intersection()) route\_direction = 0; // her döngünün başında, kavşaktan sağa yada sola dönmeden düz gitmeyi sağlayan yön seçilir ve farklı bir değer atanmadığı takdirde taşıtın kavşaktan düz istikametindeki yola devam edeceği anlamına gelir.

if (170 < get\_dist\_to\_int () ≤ 175) route\_direction = Random (0,1,2); // kavşağa 170 metre kala gidilecek yön (0: düz, 1; sağ, 2; sol) rastgele seçilir.

Target\_lane = C\_lane; // Her döngünün başında Target\_lane, “C\_lane” e eşitleniyor. Önemli...yoksa her döngüde artar veya azalır.

//\*\*\*\*\*Logic for Desired Speed-START\*\*\*\*\*

V\_des = get\_max\_roadspeed (road\_id, vehicle\_type ()) \* speed\_factor;

// hatırlarsanız sürücü stili arayüzünden gelen “speed\_factor”: slow

(Random(0.7±0.1));

// normal (Random(1±0.1)); aggressive(Random(1.3±0.1))

if ((get\_dist\_to\_int ()<=75) && appr\_speed\_to\_int == “normal”)

V\_des = V\_des - 0.6\* V\_des;

else ((get\_dist\_to\_int ()<=75) && appr\_speed\_to\_int == “aggressive”)

V\_des = V\_des - 0.4\* V\_des;

//\*\*\*\*\*Logic for Desired Speed-END\*\*\*\*\*

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

//*****Logic for horn and long lights (korna ve uzun far) -START *****

if (d(1) <= 300 && get_dist_to_int () >=100) // 300 mt. görüş mesafesi içinde,
    //bulunduğu şeritte önünde herhangi bir araç varsa
    if ( vehicle(n-1) && (horn_behav == “agressive”|| far_light_behav ==
“aggressive”))
        if (d(1) < D(1) + T_lane(1))
            if (v(n-1) < V_des - V_delta
                horn(3), uzun_far(); // ne sıklıkla çalacağını ve yakacağını henüz
tasarlamadım.....“subject” vehicle için çalmalı sadece... Ayrıca, “agressiveness”
hem korna ile hem de duraklama.status ile ilişkilendirilmekte...

if (v(n) < ε) && vehicle(n-1) && get_dist_to_int () <=10)
    if (horn_behav == “agressive” && lamp_color= “yeşil”)
        horn(), uzun_far(); // ne sıklıkla çalacağını ve yakacağını henüz
tasarlamadım.....“subject” vehicle için çalmalı sadece... Ayrıca, “agressiveness”
hem korna ile hem de duraklama.status ile ilişkilendirilmekte...

//***** Logic for horn and long lights (korna ve uzun far) -
END*****

//*****Logic for Stop for Passenger-
START*****

if (duraklama.status != 0 && DS == 0) duraklama.status = 0;

else if (5< get_dist_tobusstop()<150) && vehicle_type () ==
(“taksi”||“minibüs”||“otobüs”)
    { if (passenger_behav == “agressive”)
        { DS = 1;
          duraklama.status = 2;
          duraklama.distance = get_dist_tobusstop ();
        } // son 30 mt. içinde de en sağ şeride geçmeye çalışır.
    else if (passenger_behav == “normal”)
        { DS = 1;
          duraklama.status = 4;
          duraklama.distance = get_dist_tobusstop();
        } // son 30 mt. içinde hala en sağ şeritte değilse, geçme işlemini iptal eder.
    else;
    }

else;

if ((v(n) < ε) && (duraklama.status != 0) && C_lane == 1)

```



EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```
    if (duraklama.status = 1) duraklama.status = 0; // sadece “dur” komutu aldı
ise, en sağ şeritte durduktan sonra tekrar hareket etmeye başlar.
```

```
else if (duraklama.distance < 3) duraklama.status = 0; // diğer durumlarda ise durağa
yada yolcuya kalan mesafesi 3 metrenin altına indiyse ve diğer şartlar sağlanıyorsa,
artık hareket etmeye başlar.
```

```
else;
```

```
// “e” öyle bir seçeriz ki taşıt 5-10 saniye kadar bekler.
```

```
//***** Logic for Stop for Passsenger-END*****
```

```
//***** Logic for Right of Way & Traffic Lights-START*****
```

```
if (get_dist_to_int () ≤ 150)
```

```
{
    if ((lamp_color= “kırmızı” && traff_lights_behav == “normal”)||
(vehicle_crossing_int() && right_of_way == “normal”))
        ROW_TL_status =1;
```

```
    else if ((lamp_color= “sarı” && (!vehicle_crossing_int()) && (traff_lights_behav
== “normal”))
        ROW_TL_status =2;
```

```
    else if ((lamp_color= “yeşil” && (!vehicle_crossing_int()) && (traff_lights_behav
== “normal”))
        ROW_TL_status =3;
```

```
    else if ((traff_lights_behav == “aggressive”)|| right_of_way == “aggressive”)
        ROW_TL_status =4;
```

```
}
```

```
//***** Logic for Right of Way & Traffic Lights-END*****
```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

//*****Traffic Director*****

// Aşağıda “if” ile başlıyıp, “else if” ile devam eden ve belirli bir önceliğe göre
//sıralanan “statement”lar, sürücünün, lane değiştirmenin gerekli olduğu durumları
//değerlendirmesini ve bu değerlendirme sonucunda aldığı TAKTİK SEVİYE deki
//sürücü kararlarını modeller.

//*****Stop for Passenger*****

else if (duraklama.status == 2 || 3)
{ if (C_lane != 1) // en sağ şeride geçene kadar şerit değiştirmeye devam eder.
  { if (duraklama.distance ≤ 30)
    { Q_ga_temp= Q_aggressive(duraklama.distance);
    if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp))
      {Target_lane = C_lane-1;
      if (L_change_signal == “normal”) right_signal();
      }
    }
  }
  else;
}
else ;
}

else if (duraklama.status == 4)
{ if (C_lane != 1) // en sağ şeride geçene kadar şerit değiştirmeye devam eder.
  { if (duraklama.distance > 30)
    { Q_ga_temp= Q_normal(duraklama.distance);
    if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp)) && ((v(n-4) > 0) &&
d(4) < duraklama.distance
      {Target_lane = C_lane-1;
      if (L_change_signal == “normal”) right_signal();
      }
    }
  }
  else DS = 0; // duraklama için şerit değiştirmekten vazgeç...
}
else ;
}

//*****Turn/Intersection Crossing*****

else if (get_dist_to_laneend() ≤ 300)
  { dist_to_laneend = get_dist_to_laneend();
  if (dist_to_laneend > 0)

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

{
    if (gap_acceptance == "normal")
        Q_ga_temp = Q_normal(dist_to_laneend);
    else
        Q_ga_temp = Q_aggressive(dist_to_laneend);
    if (C_lane = 1) // sağ şerit sona erdiyse,
    { if ((d(2)/D(2) > Q_ga_temp) && (d(5)/D(5) > Q_ga_temp))
        Target_lane = C_lane+1;
    }
    else // sol şerit sona erdiyse,
        { if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp))
            Target_lane = C_lane-1;
        }
    }
}

else if (turn_direction != 0)
    { if (turn_direction= 1)
        {if (C_lane != 1) // en sağ şeride geçene kadar şerit değiştirmeye devam eder.
            { if (get_dist_to_int () > 30 && appr_lane_to_int == "normal")
                {
                    if (gap_acceptance == "normal")
                        Q_ga_temp = Q_normal(get_dist_to_int ());
                    else
                        Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
                    if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp))
                        {Target_lane = C_lane-1;
                            if (L_change_signal == "normal") right_signal();
                        }
                    }
                else if (get_dist_to_int () ≤ 30 && appr_lane_to_int == "aggressive")
                    { Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
                        if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp))
                            {Target_lane = C_lane-1;
                                if (L_change_signal == "normal") right_signal();
                            }
                    }
                }
            else;
        }
    }

else
    {corr_direction = 1; // sağa dönmesini sağlayan koridor.
        if (turn_signal== "normal" right_signal();
        else;
    }
}

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

else if (turn_direction= 2)
    { if (C_lane != get_number_of_lanes(road_id)) // en sol şeride geçene kadar
        // şerit değiştirmeye devam eder.
        { if (get_dist_to_int () > 30 && appr_lane_to_int == "normal")
            {
            if (gap_acceptance == "normal")
                Q_ga_temp = Q_normal(get_dist_to_int ());
            else Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
            if ((d(2)/D(2) > Q_ga_temp) && (d(5)/D(5) > Q_ga_temp))
                {Target_lane = C_lane+1;
                if (L_change_signal == "normal") left_signal();
                }
            }
        }
        else if (get_dist_to_int () ≤ 30 && appr_lane_to_int == "aggressive")
            { Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
            if ((d(2)/D(2) > Q_ga_temp) && (d(5)/D(5) > Q_ga_temp))
                {Target_lane = C_lane+1;
                if (L_change_signal == "normal") left_signal();
                }
            }
        else ;
    }
else
    {corr_direction = 2; // sola dönmesini sağlayan koridor.
    if (turn_signal== "normal" left_signal();
    else;
    }
}

else if (route_direction != 0)
    { if (route_direction= 1)
        {if (C_lane != 1) // en sağ şeride geçene kadar şerit değiştirmeye devam eder.
            { if (get_dist_to_int () > 30 && appr_lane_to_int == "normal")
                {
                if (gap_acceptance == "normal")
                    Q_ga_temp = Q_normal(get_dist_to_int ());
                else Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
                if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp) && ((v(n-4) >
                0) && d (4) < get_dist_to_int ( ) )
                    {Target_lane = C_lane-1;
                    if (L_change_signal == "normal") right_signal();
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

    }
    else if (get_dist_to_int () ≤ 30 && appr_lane_to_int == “aggressive”)
        { Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
    if ((d(4)/D(4) > Q_ga_temp) && (d(6)/D(6) > Q_ga_temp))
        {Target_lane = C_lane-1;
        if (L_change_signal == “normal”) right_signal();
        }
    }
    else ;
}
else
    {corr_direction = 1; // sağa dönmesini sağlayan koridor.
    if (turn_signal== “normal” right_signal());
    else;
    }
}

else if (route_direction= 2)
    { if (C_lane != get_number_of_lanes(road_id)) // en sol şeride geçene kadar
şerit
değiştirmeye devam eder.
    { if (get_dist_to_int () > 30 && appr_lane_to_int == “normal”)
    {
    if (gap_acceptance == “normal”)
        Q_ga_temp = Q_normal(get_dist_to_int ());
        else Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
    if ((d(2)/D(2) > Q_ga_temp) && (d(5)/D(5) > Q_ga_temp))
        {Target_lane = C_lane+1;
        if (L_change_signal == “normal”) left_signal();
        }
    }
    else if (get_dist_to_int () ≤ 30 && appr_lane_to_int == “aggressive”)
        { Q_ga_temp = Q_aggressive(get_dist_to_int ());
    if ((d(2)/D(2) > Q_ga_temp) && (d(5)/D(5) > Q_ga_temp))
        {Target_lane = C_lane+1;
        if (L_change_signal == “normal”) left_signal();
        }
    }
    else ;
    }
else
    {corr_direction = 2; // sola dönmesini sağlayan koridor.
    if (turn_signal== “normal” left_signal());
    else;
    }
}

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

    }
}

//*****Free Driving*****

// Aşağıdaki “statement” ise lane değiştirmenin sürücüye avantaj sağladığı
// durumlarda aldığı lane değiştirme kararını modeller.

else if (get_dist_to_int () > 50)
{ if (d(1) <= 200) // 200 metrelik görüş mesafesinde herhangi bir taşıt varsa
  {if ((L_desired == “right” && C_lane = 1) || (C_lane !=
get_number_of_lanes(road_id)))
  P_1= (V_des - v(n-1))^2/ (2 x d(1));
  P_2= (V_des - v(n-2))^2/ (2 x d(2));

  if ((c_left*P_1 > P_2) && (v(n-1) < V_des - V_delta) && (time(C_lane)
> T_lane_min))

    if (gap_acceptance == “normal”)
      {if ((d(2)/D(2) > 0.5) && (d(5)/D(5) > 0.5))
        Target_lane = C_lane+1;}
    else
      {if ((d(2)/D(2) > 0.3) && (d(5)/D(5) > 0.3))
        Target_lane = C_lane+1;}
  }

else if (d(3) <= 100)// gerisinde 100 metreden daha yakın herhangi bir taşıt varsa
  {if ((L_desired == “left” && C_lane = get_number_of_lanes(road_id)) ||
(C_lane !=1))
  P_3= v(n-3) - v(n))^2/ (2 x d(3));
  P_4= (V_des - v(n-4))^2/ (2 x d(4))

  if ((c_right*P_3 > P_4) && (time(C_lane) > T_lane_min))

    if (gap_acceptance == “normal”)
      {if ((d(4)/D(4) > 0.5) && (d(6)/D(6) > 0.5))
        Target_lane = C_lane-1;}
    else
      {if ((d(4)/D(4) > 0.3) && (d(6)/D(6) > 0.3))
        Target_lane = C_lane-1;}
  }
}

else if (duraklama.status == 0 || DS == 0)
  Target_lane = C_lane;

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

else

Target\_lane = C\_lane;

**\*\*\*\*\*Decision Implementation Layer (Class)\*\*\*\*\***

a\_f = a\_le = a\_dur = a\_int = 1000; // her döngü başında çok büyük değer atanır ki,  
// döngü sonunda “min” değeri belirlenebilsin.

a\_s = a\_vir = a\_cor = 1000; // her döngü başında çok büyük değer atanır ki döngü  
// sonunda “min” değeri alınabilsin.

s\_vir = s\_cor = s\_lc = s\_ld = 0; // her döngünün başında sıfırlanır ki artarak devam  
etmesin....

// tabii bu büyük değer atama ve sıfırlama işlemi, advisor’dan çıkan ivme ve  
direksiyon bilgisi ilgili car agent’in pozisyon ve hız değeri bu bilgilerle yenilendikten  
sonra gerçekleşmeli.....!!!!

**\*\*\*\*\*Car Following\*\*\*\*\***

if (d(1) <= 300) // 300 mt. görüş mesafesi içinde, bulunduğu şeritte önünde  
// herhangi bir araç varsa  
{ if ((d(1) < D(1)) && (v(n) > v(n-1))) a\_f = following\_dec (d(1)/ D(1));  
else if (D(1) < d(1) < D(1) + T\_lane(1)) a\_f = 0;  
else a\_f = speed\_acc(v(n));  
}

**\*\*\*\*\*Speed Adaptation\*\*\*\*\***

if (v(n) < V\_des) a\_s = speed\_acc(v(n));

if (v(n) > V\_des) a\_s = speed\_dec;

if (v(n) = V\_des) a\_s = 0;

**\*\*\*\*\*Vehicle Stopping\*\*\*\*\***

if (get\_dist\_to\_laneend() <= 300)

{ if (get\_dist\_to\_laneend() < D(lend))

a\_le = stopping\_dec (get\_dist\_to\_laneend()/D(lend));

else if (D(lend) < get\_dist\_to\_laneend() < D(lend) + T\_lane(lend)) a\_le = 0;

else a\_le = speed\_acc(v(n));

}

if (duraklama.status=0) a\_dur = speed\_acc(v(n)); //

if (duraklama.status=1)

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

if (C_lane=1)
    a_dur= stopping_dec(0.5);    // en sağ şeritte geçerli

if (duraklama.status=2)
{ if (C_lane=1)
  { if (get_dist_tobusstop() < D(dur))
    { if (get_dist_tobusstop() / D(dur) > 0.2)
      a_dur = stopping_dec (get_dist_tobusstop() / D(dur));
    else
      { a_dur = speed_acc(v(n));
        DS=0;
      }
    }
  else if (D(dur) ≤ (get_dist_tobusstop() < D(dur) + T_lane(dur)) a_dur = 0;
  else a_dur = speed_acc(v(n));
}

if (duraklama.status=3)
{ if (C_lane=1)
  { if (get_dist_topassenger () < D(dur))
    {if (get_dist_topassenger() / D(dur) > 0.2)
      a_dur = stopping_dec (get_dist_topassenger ()/D(dur));
    else
      { a_dur = speed_acc(v(n));
        DS =0;
      }
    }
  else if (D(dur) ≤ (get_dist_topassenger () < D(dur) + T_lane(dur)) a_dur = 0;
  else a_dur = speed_acc(v(n));
}

if (duraklama.status=4)
{ if (C_lane=1)
  { if (get_dist_tobusstop() < D(dur))
    { if (get_dist_tobusstop() / D(dur) > 0.3)
      a_dur = stopping_dec (get_dist_tobusstop() / D(dur));
    else
      { a_dur = speed_acc(v(n));
        DS =0;
      }
    }
  else if (D(dur) ≤ (get_dist_tobusstop() < D(dur) + T_lane(dur)) a_dur = 0;
  else a_dur = speed_acc(v(n));
}

```



EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

```

if (get_dist_to_int () ≤ 150)
{
  if (ROW_TL_status == 1)
  { if (get_dist_to_int() < D(int))
    a_int = stopping_dec (get_dist_to_int() / D(int));
    else if (D(int) ≤ (get_dist_to_int () < D(int) + T_lane(int)) a_int = 0;
    else a_int = speed_acc(v(n));
  }

  else if (ROW_TL_status == 2)
  { if (get_dist_to_int() < D(int))
    { if (get_dist_to_int() / D(int) > 0.3)
      a_int = stopping_dec (get_dist_to_int() / D(int));
      else a_int = speed_acc(v(n));
    }
    else if (D(int) ≤ (get_dist_to_int () < D(int) + T_lane(int)) a_int = 0;
    else a_int = speed_acc(v(n));
  }

  else if (ROW_TL_status == 3)
    a_int = speed_acc(v(n));

  else if (ROW_TL_status == 4)
    a_int = speed_acc(v(n));
}

//*****Road Following*****

if (Target_lane != C_lane)
{ a_lc = accell_lanechange (Target_lane) // -1.5 *****
  s_lc = Steering_lanechange (Target_lane); // constant*****
}

else if (inside_road() && outside_threshold())
{ a_vir = accell_track_lane (C_lane + L_dev); // -1.5 *****
  s_vir = steering_track_lane (C_lane +L_dev); // constant *****
} // şeritten çıkmamak için gerekli ivmeyi ve direksiyonun hangi yöne, ne kadar
// döneceğini belirler.

else if (inside_intersection())
{ a_cor = accell_track_lane (corr_direction + L_dev); // -1.5 *
  s_cor = steering_track_lane (corr_direction + L_dev);
// constant *
} // kavşakta izleyeceği koridordan çıkmamak için, gerekli ivmeyi ve
// direksiyonun hangi yöne, ne kadar döneceğini belirler.

```

EK-3. (Devam) YZM için taslak (pseudo) kaynak kodu

else ;

```
//***** İÇİNDEKİLER *****
```

```
a_n = min (a_f, a_s, a_le , a_dur , a_int, a_lc, a_vir, a_cor);
```

```
h_n = s_vir || s_cor || s_lc;
```

EK-4. Demografik bilgi formu

**Demografik Bilgi Formu**

1) Cinsiyetiniz: ( ) Kadın ( ) Erkek

2) Yaşınız: \_\_\_\_\_

3) Mesleğiniz: \_\_\_\_\_

4) Son Bitirilen Okul: \_\_\_\_\_

5) Sürücü Belgesinin:

Alındığı Tarih : \_\_\_\_\_

Kimlik No : \_\_\_\_\_

Türü : \_\_\_\_\_

6) Kaç yıldır aktif olarak araç kullanıyorsunuz? \_\_\_\_\_

7) Yılda sürülen yol (Uygun seçeneği işaretleyiniz):

\_\_\_ Hiç kullanmıyorum

\_\_\_ 0-1000 km arası

\_\_\_ 1000 – 5000 km arası

\_\_\_ 5000 – 10000 km arası

\_\_\_ 10000 – 20000 km arası

\_\_\_ 20000 – 50000 km arası

\_\_\_ 50000 – 100000 km arası

\_\_\_ 100000 – 200000 km arası

\_\_\_ 200000 km ve üzeri

8) Son 5 yılda başımızdan geçen her türlü trafik kazası sayısı: \_\_\_\_\_

## EK-4. (Devam) Demografik bilgi formu

Ne kadar sıklıkla aşağıda belirtilen durumlarda araç kullandığınızı ilgili seçeneği işaretleyerek belirtiniz.

	<b>Hiçbir zaman</b>	<b>Nadiren</b>	<b>Bazen</b>	<b>Sık Sık</b>	<b>Oldukça sık</b>	<b>Her zaman</b>
Şehir içi yollarda						
Şehir dışı yollarda						
Yoğun araç trafiğinde						
Otobanda						
Gece						

EK-5. Öz bildirime dayalı test sonu değerlendirmesi ölçęi

### Öz bildirime Dayalı Test Değerlendirmesi

Aşağıda sunulan önermelere katılıp, katılmadığınızı ilgili seçeneği işaretleterek belirtiniz.

	Hİç katılmıyorum	Biraz katılmıyorum	Çoğunlukla katılmıyorum	Tamamen katılmıyorum
Gerçek trafik ortamında karşılaştığım ve diğer sürücülerden kaynaklanan tehlikeli durumlar doğru bir şekilde canlandırılmış.				
Sürücülerin, trafikte kullandıkları taşıt cinslerine göre sergiledikleri davranışlar gerçekçi bir şekilde canlandırılmış.				
Gerçek trafik ortamına çıkmadan bu eğitimi almanın faydalı olacağına inanıyorum.				

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİR, Murat  
 Uyuşu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 09.01.1973 Kdz.Ereğli  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon (ev) : 0 (312) 245 30 22  
 Telefon (cep) : 0 (542) 220 06 31  
 e-mail : muratdemir007@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Ü. / Elektronik Müh. Böl.	2001
Lisans	O.D.T.Ü. / Elk-Elektronik Müh. Böl.	1995
Lise	Kdz.Ereğli Anadolu Lisesi	1991

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1995- (Devam)	Kara Havacılık Okul K.lığı	Tek.Bkm.Böl.Bşk.(Müh.Yzb.)

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayımlar

- Demir, M., Yüncü, S., "Hareketli Bir Helikopter Uçuş Eğitim Simülatörü İncelenerek, Eğitimde Simülasyon ve Simülatör Uygulamaları", *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXII. Ulusal Kongresi*, Ankara, (2001).
- Altınok, T., Ağaşçıoğlu, M.A., Virlan, G., Demir, M., "Pilot Seçme Sistemi", *Uluslararası Katılımlı Kayseri IV. Havacılık Sempozyumu*, 387-390, Kayseri, (2002).

### Hobiler

Futbol, Satranç, Simülasyon teknolojileri