

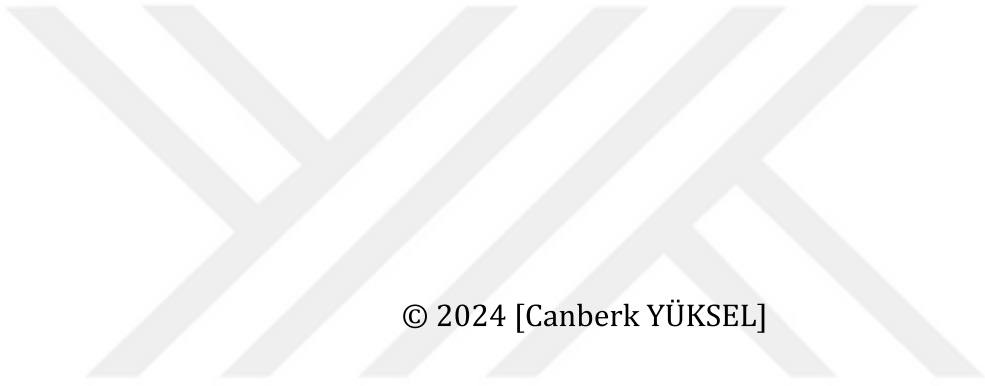
T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAYOLU TAŞITLARINDA GÜVENLİ SÜRÜŞ ŞARTLARININ  
TESPİTİ İÇİN NİHAİ SÜRÜŞ SİMÜLATÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

Canberk YÜKSEL

Danışman  
Prof. Dr. Habib GÜRBÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TAŞIT TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA- 2024



© 2024 [Canberk YÜKSEL]

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin amacı, önemi, endüstriyel sosyal yararları.....	3
1.2. Trafik kazaları ve oluş sebepleri.....	4
1.3. Güvenli Sürüş Teknikleri.....	7
1.4. Frenleme Mesafesi ve Süresine Etki Eden Faktörler.....	10
1.5. Sürüş simülatörleri ve kullanım amaçları.....	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	14
3. METERYAL VE METOD.....	20
3.1 Sürüş Simülatörünün Elektro-Mekanik Tasarım ve İmalatı.....	20
3.1.1. Sürüş simülatörü kabin imalatı.....	20
3.1.2. Sürüş simülatöründe kullanılan donanımlar.....	22
3.1.3. Sürüş simülatörünün kurulumu.....	26
3.2. Sürüş Simülatörünün Yazılımsal Tasarımı.....	30
3.2.1. Sürüş simülatörünün yazılım algoritmasının oluşturulması.....	30
3.2.2. Sürüş simülatörünün yazılımının oluşturulması.....	34
3.3. Sürüş Simülatörü Test Prosedürü.....	39
3.4. Veri Analizi.....	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	70
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	79

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## KARAYOLU TAŞITLARINDA GÜVENLİ SÜRÜŞ ŞARTLARININ TESPİTİ İÇİN NİHAİ SÜRÜŞ SİMÜLATÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

Canberk YÜKSEL

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Taşıt Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Habib GÜRBÜZ

Bu çalışmada, karayolu taşıtlarında frenleme şartlarına etki eden sürücü reaksiyon süresi, sistemin gecikme süresi, frenleme süresi ve bu sürelerle karşılık gelen mesafelerin tespit edilebilmesi için bir nihai sürüş simülatörü geliştirilmiştir. Geliştirilen sürüş simülatörü, gerçek bir A-segment otomobilin (FIAT-126-BIS) ön kaput, sürücü ve yolcu bölmesinden oluşan yarım kesit bir otomobil test platformuna sahiptir. Otomatik vites bir aracın sürüş şartlarının simüle edildiği test platformu, elektronik gaz ve fren pedallarına, bir direksiyon standına, bir kontrol paneline, bir sürüş ekranına ve bir sürücü bilgilendirme ekranına sahiptir. Geliştirilen sürüş simülatörü algoritmasında, sürüş öncesi emniyet kemeri ve dikiz aynalarının (sağ ve sol) ön kontrol şartı mecburi tutulmakta ve sürücü reaksiyon süresinin tespiti için dışardan sürücü şartlandırması sağlayan kontrol butonu bulunmaktadır. Test esnasında, araç hızı, sürücü reaksiyon süresi, sürücü reaksiyon süresinde kat edilen mesafe, toplam frenleme süresi ve frenleme mesafesi sürücü bilgi ekranı üzerinden sürücüye aktarılmaktadır. Geliştirilen nihai sürüş simülatöründe, farklı yaş guruplarına sahip 21 adet kadın ve 49 adet erkek olmak üzere toplam 70 adet sürücü ile 90 ile 255 km/h hız aralığında sürüş testleri gerçekleştirilmiştir. Testler öncesi uygulanan anket çalışmasında sürücüye ait genel ve sürüş şartlarına ilişkin bilgiler tespit edilerek bunların sürücü reaksiyon süresine etkileri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sürücülerin eğitim durumu ile sürücü reaksiyon süresinin kısaldığını, sürücülerin mesleğinin sürücü reaksiyon süresine etki ettiğini, sürücü yaşı ve sürüş yılı tecrübesi ile sürücü reaksiyon süresinin arttığını, sürücülerin günlük araç kullanım süresindeki artış ile reaksiyon süresinin kısaldığını, evli/çocuklu sürücülerin bekar sürücülere göre daha kısa sürücü reaksiyon süresine sahip olduğunu, yorgunluk durumunun sürücü reaksiyon süresine etki ettiğini ve dinlenmiş durumdaki sürücülerin reaksiyon sürelerinin daha kısa olduğunu, spor yapan sürücülerin daha kısa sürücü reaksiyon süresine sahip olduğunu, kronik rahatsızlığı bulunan ve gözlük kullanan sürücülerin daha yüksek sürücü reaksiyon süresine sahip olduğunu, sigara kullanan sürücülerin daha uzun sürücü reaksiyon süresine sahip olduklarını, sürüş esnasında emniyet kemeri kullanan sürücülerinin reaksiyon sürelerinin daha kısa olduğu, ancak sürüş esnasında cep telefonu ve/veya CD çalar/TV benzeri iletişim/eğlence donanımlarını kullanan sürücülerin daha uzun sürücü reaksiyon süresine sahip

olduklarını göstermiştir. Öte yandan, nihai sürüş simülatörü testlerine katılan 70 adet sürücünün tamamı dikkate alındığında ortalama sürücü reaksiyon süresi 1,143 sn ve sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma ( $\sigma_{SRS}$ ) değerleri 0,498'dir. Ayrıca, araç hızı ile frenleme süresi ve frenleme mesafesinin lineere oldukça yakın bir eğri ile artış göstermiştir. Bu açıdan geliştirilen nihai sürüş simülatörünün araç hızı ile doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karayolu taşıtları, Güvenli sürüş, Nihai sürüş simülatörü, Sürücü reaksiyon süresi ve mesafesi, Frenleme süresi ve mesafesi.

**2024, 79 sayfa**



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DEVELOPMENT OF THE ULTIMATE DRIVING SIMULATOR FOR THE DETECTION OF SAFE DRIVING CONDITIONS IN ROAD VEHICLES**

**Canberk YÜKSEL**

**Suleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Vehicle Technologies**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. HABİB GÜRBÜZ**

In this study, a final driving simulator has been developed to determine the driver reaction time, the delay time of the system, the braking time, and the corresponding distances affecting the braking conditions in road vehicles. The developed driving simulator has a half-section automotive test platform made up of the front hood, driver, and passenger compartments of a real A-segment car (FIAT-126-BIS). Electronic accelerator and brake pedals, a steering wheel stand, a control panel, a driving screen, and a driver information screen are all features of the test platform where driving conditions for an automatic transmission vehicle are carried out. The seat belt and rearview mirrors (right and left) must be pre-controlled in the developed driving simulator algorithm before driving, and there is a control button that gives external driver conditioning to gauge the driver's reaction time. The driver information display relays information to the driver during the test, including vehicle speed, driver reaction time, distance traveled during reaction time, total braking time, and braking distance. In the final driving simulator developed, driving tests were carried out with a total of 70 drivers, 21 female and 49 males, of different age groups, at speeds between 90 and 255 km/h. The general and driving conditions of the driver were identified in the questionnaire research used prior to the testing, and their impacts on the driver's reaction time were identified. The results obtained showed that the driver's training level and driver reaction time were reduced, the driver's profession affected the driver reaction time, the driver reaction time increased with the driver's age and driving year experience, the reaction time was shortened with the increase in the daily vehicle usage time of the drivers, the married / child drivers had shorter driver reaction time than single drivers, the fatigue situation affected the driver reaction time and rested that drivers with the condition have shorter reaction times, that drivers who play sports have shorter driver reaction times, that drivers with chronic conditions and who use glasses have higher driver reaction times, that drivers who smoke have longer driver reaction times, that drivers who use seat belts while driving have shorter reaction times, but that drivers who use seat belts while driving have shorter reaction times, but that they have shorter reaction times, but that they have a mobile phone and/or CD player/TV while driving. It has been shown that drivers using communications/entertainment equipment have longer driver reaction times.

On the other hand, when all 70 drivers who took part in the final driving simulator tests are considered, the average driver reaction time is 1.143 seconds, and the standard deviation ( $\sigma_{SRS}$ ) values of the driver's reaction times are 0.498. Additionally, there was a linear rise in vehicle speed, braking duration, and braking distance. In this regard, it has been determined that the developed final driving simulator gives accurate results with the vehicle speed.

**Keywords:** Highway vehicles, Safe driving, Ultimate driving simulator, Driver reaction time and distance, Braking time and distance.

**2024, 79 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli ‘‘Danışman Hocam’’ Prof. Dr. Habib GÜRBÜZ’e teşekkür ederim. Çalışmalarımda yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Hüsameddin AKÇAY’a ve Arş. Gör. Ümit TOPALCI hocalarıma teőekkürü borç bilirim. Proje kapsamında Isparta İl Jandarma Komutanlığı ve Isparta İl Jandarma Komutanlığı Trafik İl Őube Müdürlüğü’ne verdikleri destek ve imkanlar için teşekkür ederim.

Prof. Dr. Habib Gürbüz’n danışmanlığında yürütülen FYL-2023-8994 nolu ‘‘Karayolu Taşıtları İçin Güvenli Sürüş Şartları Simülatörünün Geliştirilmesi’’ projesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Canberk YÜKSEL  
ISPARTA, 2024

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Yıllara Göre Trafik Kaza Oranları.....	7
Şekil 3.1. Yarım Kesit A-segment Aracın Test Görünümü.....	21
Şekil 3.2. Arduino Leonardo Görünüm.....	22
Şekil 3.3. Kontrol paneline yerleştirilen yaylı buton resimleri.....	23
Şekil 3.4. Elektronik kontrollü fren ve gaz pedalı.....	24
Şekil 3.5. Sürücü şartlandırma (acil durum uyarı) butonu.....	24
Şekil 3.6. LCD Dokunmatik Ekran.....	25
Şekil 3.7. PCB baskı devrenin tasarım çizimine ait görüntü.....	26
Şekil 3.8. DC güç kaynağına ait görünüm.....	26
Şekil 3.9. Kontrol Panosu Görünüm.....	27
Şekil 3.10. Dokunmatik Ekran Görünüm.....	27
Şekil 3.11. Nihai sürüş simülatörünün donanım montajlanmış fotoğrafı.....	28
Şekil 3.12. PCB Baskısıyla Arduino Bağlantısı Görünüm.....	29
Şekil 3.13. Nihai sürüş simülatörünün donanım montajlanmış fotoğrafı.....	30
Şekil 3.14. Nihai sürüş simülatöründe gerçekleştirilen örnek test sürüşü....	32
Şekil 3.15. Frenleme hareketine bağlı aracın Hız - zaman değişim grafiği...	32
Şekil 3.16. Sürüş simülatörü için geliştirilen yazılım algoritması akış diyagramı.....	33
Şekil 3.17. Nihai sürüş simülatörüne ait Şematik Görünüm.....	41
Şekil 4.1. Örnek bir nihai sürüş simülatörü testinde, frenleme esnasında zamana bağlı araç hızının ve mesafenin (frenleme ve durma) değişimi.....	47
Şekil 4.2. Farklı araç hızlarında frenleme süresi ve mesafesinin değişimi....	48
Şekil 4.3. Öğrenim guruplarına göre sürücü reaksiyon süresinin değişimi..	49
Şekil 4.4. Meslek guruplarına göre sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	50
Şekil 4.5. Sürücü yaşı ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	51
Şekil 4.6. Sürücü tecrübesi ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	52
Şekil 4.7. Günlük araç kullanım süresi ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	53
Şekil 4.8. Sürülerin medeni hali/çocuk ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	54
Şekil 4.9. Sürücünün yorgunluk durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	55
Şekil 4.10. Sürücünün spor yapma durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	56
Şekil 4.11. Sürücünün kronik rahatsızlık durumu ile reaksiyon süresinin değişimi.....	57
Şekil 4.12. Gözlük kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	59
Şekil 4.13. Sigara kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	60
Şekil 4.14. Kemer kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	61

Şekil 4.15. Cep telefonu kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	62
Şekil 4.16. Araç içinde CD çalar/TV kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi.....	63



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Arduino Teknik Özellikleri.....	23
Çizelge 3.2. Dokunmatik Ekran Teknik Özellikleri.....	25
Çizelge 3.3. Sistemde kullanılan kabuller ve sabitler tablosu.....	38
Çizelge 3.4. Farklı koşullar için sürücülerin tepki süreleri.....	40
Çizelge 4.1. Denek sürücülere ait bazı bilgiler.....	44



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Bir cismin yüzey alanı
F	Aerodinamik direnç kuvveti
$f_{ro}$	Yuvarlanma direnç katsayısı
gr	Gram
G	Taşıt ağırlığı
W	Genişlik
Kg	Kilogram
KB	Kilobayt
$m^3$	Metreküp
mt	Metre
mm	Milimetre
mA	Miliamper
MHz	Megahertz
N	Newton
P	Hava yoğunluğu
$R^2$	Root mean square
Sn	Saniye
$S_f$	Araç hızı sıfıra ulaşana kadar oluşan frenleme mesafesi
$T_k$	Kayıp süre
$T_f$	Yüksek hızlarda frenleme süresi
$t_t$	Araç durana kadar geçen toplam süre
$t_r$	Reaksiyon süresi
$t_b$	Sürücü frenleme süresi
$t_s$	Sistem tepki süresi
V	Volt
$W_r$	Yuvarlanma direnci
$x_{gaz\_teпки}$	Süre boyunca araç hızına bağlı kat edilen mesafe
$x_{fren\_teпки}$	Süre boyunca araç hızına bağlı kat edilen mesafe
$x_{frenleme}$	Süre boyunca araç hızına bağlı kat edilen mesafe
$x_{durma}$	Araç durana kadar geçen toplam mesafe
$x_{reaksiyon}$	Sürücü reaksiyon süresi boyunca alınan yol
$x_{frenleme}$	Sürücü frenleme süresi boyunca alınan yol
Y	Yatay boyut
$\sigma_{SRS}$	Reaksiyon süresi standart sapma değeri
$\Delta t_{gaz\_teпки}$	Gaz tepkisindeki zaman değişimi
$\Delta t_{fren\_teпки}$	Fren tepkisindeki zaman değişimi
$\Delta t_{frenleme}$	Fren pedalının minimumdan maksimuma konuma kadar geçen süre
$\Delta V_{fren\_teпки}$	Fren tepkisindeki hız değişimi
$\Delta V_{frenleme}$	Pedalın minimum konumdan maksimum konuma kadar hız değişimi
$\Delta V_{gaz\_teпки}$	Gaz tepkisindeki hız değişimi

## 1. GİRİŞ

Trafik, karayolu taşımacılığı ve trafik kazaları, bir toplumun ulaşım sistemlerinin önemli bir parçasını oluşturur. Karayolu taşımacılığı, insanları ve malları karayolu ağları üzerinde taşımak için kullanılan her türlü araç ve sistemleri içerir. Ancak bu, trafik kazalarının da meydana gelebileceği bir faaliyettir (Yan vd., 2021). Trafik kazaları, insanların, araçların ve diğer nesnelerin karayolu üzerinde çarpışması sonucunda meydana gelir. Modern bir toplumda trafik büyük önem taşımaktadır. Trafiğin, özellikle karayolu taşıtlarının etkin yönetimi, çözülmesi gereken acil bir sorun haline gelmiştir (Hu vd., 2004). Bu kazalar, can kaybı, yaralanmalar, maddi hasarlar ve ekonomik kayıplar gibi sonuçlara yol açabilir (Masilkova, 2017). Dünya sağlık örgütü verilerine göre her yıl 1,35 milyon insan trafik kazalarında hayatını kaybetmekte ve yaklaşık 50 milyon insanın da kazalardan dolayı geçici veya kalıcı sakatlıklar yaşadığı bilinmektedir. Trafik kazalarının oluş sebeplerinin %90'ından fazlası sürücü hatasından kaynaklanmaktadır (Lives, 2017; De Felice ve Petrillo, 2011; Dhillon, 2017; Blincoe vd., 2015). Trafik kazaları, trafik kurallarına uymama, hız ihlalleri, dikkatsizlik, sarhoş sürüş, yorgunluk ve araç arızaları gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Trafik kazaların oluşumuna etki eden sürücü kaynaklı hatalar arasında, sürücü dikkat dağınıklığı en yüksek etkiye sahiptir (Gürbüz ve Buyruk, 2019). Hız ihlalleri Sürücülerin belirlenen hız limitlerini aşması, kontrolü kaybetmelerine, durma mesafelerini uzatmalarına ve çarpışmalara neden olabilir. Dikkatsizlik sürücülerin cep telefonu kullanması, yemek yemesi, müzik dinlemesi veya diğer dikkat dağıtıcı aktivitelerle meşgul olması kazalara yol açabilir (National, 2017; RSA, 2015; Dingus vd., 2016; Regan vd., 2011). Alkollü veya uyuşturucu etkisi altında sürüş alkol veya uyuşturucu madde kullanımı, sürücülerin tepki sürelerini yavaşlatır, dikkatlerini dağıtır ve araç kontrolünü olumsuz etkiler (Bragazzi vd., 2018). Yorgunluk uzun süreli araç kullanımı, uykusuzluk veya yorgunluk hali sürücülerin dikkatini azaltır ve kazalara neden olabilir (Akerstedt, 2000; Lemke vd., 2016; Useche vd., 2017; Anderson vd., 2012). Trafik kurallarına uymama kırmızı ışık ihlalleri, şerit değiştirme kurallarına uymama, geçiş önceliği hakkına saygı göstermeme gibi trafik kurallarına uyulmaması da kazalara sebep olabilir (Retting, vd., 1998; Flannery

ve Maccubbin 2002). Araç arızaları arızalı frenler, lastik patlamaları veya direksiyon sistemi problemleri gibi araç arızaları, kazalara neden olabilir (Wang, 2002).

Araç kullanmak, beş davranış düzeyinde 1600'den fazla ayrı görev içeren oldukça karmaşık bir görevdir (Walker vd., 2001). Sürücüler aynı anda aracı kontrol eder, hızı ve yörüngeyi ayarlar, tehlikelerle başa çıkar, hedeflerine yönelik ilerlemeyi değerlendirir ve navigasyon gibi stratejik kararlar verir. Groeger (2000), sürücü davranışının büyük ölçüde amaca yönelik olduğunu ve sürücülerin birden fazla hedefi (güvenlik, hız, ekonomi vb.) olabileceğini öne sürer ve bunlar herhangi bir zamanda birbiriyle çelişebilir. Sürücüler bu çelişkileri değerlendirir ve sürüşlerini buna göre planlar (Young vd., 2011). Güvenli sürüş teknikleri, trafik kazalarını önlemek ve sürücülerin güvenli bir şekilde seyahat etmelerini sağlamak için kullanılan yöntemlerdir. Trafik kurallarına uymak, hız limitlerine uymak, geçiş kurallarına uymak, şerit değiştirirken sinyal vermek gibi temel trafik kurallarına uymak güvenli sürüş tekniklerinden bazılarıdır. İngiliz ve Amerikan kaza raporları tarafından verilen istatistiksel veriler, uykulu ve/veya dikkat dağınıkken araç kullanmaktan kaçınmanın tür ciddi kazaları önlemek için son derece önemli bir yaklaşım olduğunu bize göstermektedir. Hükümetler, uzun mesafeli sürüşte zorunlu dinlenme gibi kaza sayısını azaltmak için bazı politikaları yasallaştırdı. Ancak bu önlemler yine de bu kazaların oranını azaltmak için yeterli değil. Bu nedenle araştırmacılar, araç kazalarını önlemek için sürücülerin izlenmesine ve sürücülerin dikkat dağınıklığının ölçülmesine yönelik sistemleri hedeflemektedir (Kaplan vd. 2015).

Son araştırmalar, gerektiğinde sürücü (çarpışma) uyarılarını tetiklemek için sürüş ortamındaki nesnelere (örneğin, yayalar, bisikletliler, engeller) algılamak ve sundukları tehlikeyi değerlendirmek için yöntemler geliştirmeye odaklanmaktadır. Bunların amacı, sürücülerini yaklaştırmakta olan kritik duruma karşı uyararak, örneğin frenleme veya yoldan çıkma gibi yeterli tepkiler verebilmelerini sağlamaktır. Örneğin, çarpışma riskinin çok yakın olduğu çok kritik bir durumda, sürücü uyarıları, kazaların oluşumunu ve ciddiyetini azaltabilecek sürücülerin hızlı ve güçlü bir fren tepkisini ortaya

çıkarmalıdır. Bunu sağlamak için sürücü uyarılarının tasarımı çok önemli hale geliyor (Winkler vd., 2015). Sürüş simülatörleri, sürücülerin sanal bir ortamda araç kullanmalarını sağlayan cihazlardır. Bu simülatörler, gerçek araç kontrolünü taklit eder ve farklı trafik koşullarında sürüş deneyimi sunar. Sürüş simülatörleri, sürücülerin becerilerini geliştirmelerine, farklı trafik senaryolarını deneyimlemelerine ve güvenli sürüş tekniklerini pratik etmelerine yardımcı olur. Sürüş simülatörleri, sürücülerin tepki sürelerini iyileştirmelerine, acil durum senaryolarında doğru kararlar almalarına ve riskli durumları önceden tahmin etmelerine yardımcı olabilir. Ayrıca, yeni sürücülerin ve profesyonel sürücülerin eğitimlerinde kullanılarak güvenli sürüş becerilerini artırmaya yönelik bir araç olarak da kullanılırlar.

### **1.1 Tezin amacı, önemi, endüstriyel ve sosyal yararları**

Geliştirilen “nihai sürüş simülatörü” mevcut literatürde teorik ve deneysel olarak testleri gerçekleştirilen sürüş simülatörlerinden farklı olarak; taşıt karakteristiği ve kullanım şartlarının yanında sürücülerin fiziki ve ruhsal şartlarına ve araç hızına bağlı olarak değişen toplam frenleme mesafesi ve süresine etki eden sürücü ve araç tabanlı faktörlerin tespit edilmesi ve bu konuda sürücünün bilgilendirmesini kapsamaktadır. Dolayısıyla, bu nihai sürüş simülatörü, mevcut sürüş simülatörlerinden farklı olarak trafik kazalarının oluşumunda ana etken olarak gösterilen taşıt hızı ve mevcut taşıt hızı şartlarındaki olası frenleme sonrası aracın toplam durma mesafesi ve süresi hakkında sürücü bilgilendirilerek sürüş güvenliği hakkında farkındalık oluşturulacaktır. Karayolu taşıtlarının gerçek yol ve sürüş şartlarını simüle etmek için geliştirilen sürüş simülatörleri yardımıyla; sürücü dikkat dağınıklığı, sürücü yaşı, yol ve hava şartları gibi sürüş şartlarına etkiyen bazı kritik parametrelerin tespiti gerçekleştirilebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, karayolu taşıtlarında frenleme şartlarına etki eden sürücü ve sistem tabanlı faktörlerin etkisini ortaya çıkartabilmek için bir nihai sürüş simülatörü geliştirilmiş ve gerekli imalat işlemlerinin ardından bir test platformu hazırlanmıştır. Geliştirilen nihai sürüş simülatörü, gerçek bir A-segment otomobilin (FIAT-126-BIS) ön kaput, sürücü ve yolcu bölmesinden oluşan yarım kesit bir test platformu üzerinde konumlandırılan elektronik gaz ve fren pedallarına, bir direksiyon standına, bir

kontrol paneline, bir sürüş ekranına ve bir sürücü bilgilendirme ekranına sahiptir. İlk çalışma testleri gerçekleştirilen nihai sürüş simülatorü ile 30 – 210 km/h aralığındaki 11 farklı araç hızı için ön testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sürücünün dikkatini yönlendirmede ve tehlikeyi algılamada iyi bir performans sergileyebilmesi için hükümetlerin ve/veya yerel yönetimlerin, karayolu taşıtları için getirmiş oldukları yasal hız sınırlamalarına uymalarının önemini ortaya çıkarmıştır. Araç simülasyonları hem endüstriyel hem de sosyal açılarından bir dizi önemli avantaj sunmaktadır. Endüstriyel bakımdan, araç simülasyonları, sürücü eğitimi ve yetenek geliştirmenin maliyetini azaltmada etkili bir araçtır. Geleneksel sürücü eğitimi süreçleri genellikle pahalı ve risklidir, ancak simülasyonlar, güvenli bir ortamda çeşitli trafik senaryolarını simüle ederek sürücülerin becerilerini geliştirmelerine olanak tanır. Ayrıca, endüstriyel kullanım, araçların tasarım ve mühendislik süreçlerinde de değerli bir rol oynayabilir, çünkü simülasyonlar, gerçek dünya testlerine kıyasla daha hızlı ve daha ekonomik bir şekilde yapılabilecek denemeleri mümkün kılar. Sosyal açıdan, araç simülasyonları trafik güvenliği konusunda önemli bir rol oynar. Simülasyonlar, sürücülerin tehlikeli durumlarla başa çıkma yeteneklerini geliştirir ve trafik kurallarına uygun davranışları öğretir, bu da gerçek dünyada trafik kazalarını azaltabilir. Ayrıca, araç simülasyonları, öğrencilere sürücü eğitimi verme süreçlerini iyileştirerek genç sürücülerin daha iyi hazırlanmalarına yardımcı olabilir. Bu nedenle, araç simülasyonları, endüstriyel uygulamalarda verimliliği artırmanın yanı sıra toplum genelinde trafik güvenliğini artırmak için önemli bir araç olarak değerlendirilebilir.

## **1.2. Trafik kazaları ve oluş sebepleri**

Trafik kazaları, dünya genelinde ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır ve can kaybı, yaralanma ve maddi hasar gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır (Masilkova, 2017). Araştırmalar, trafik kazalarının birçok farklı faktörden kaynaklandığını göstermektedir (Odero vd., 2003). Trafik kazalarının oluş sebeplerini ele alındığında hız ihlalleri, dikkatsizlik, alkollü veya uyuşturucu etkisi altında sürüş, yorgunluk, trafik kurallarına uymama ve araç arızaları gibi faktörler trafik kazalarına neden olarak öne çıkmaktadır (Elvik ve Vaa 2004). Hız ihlalleri, trafik kazalarının en yaygın nedenlerinden biridir. Bu konuda yapılan bir

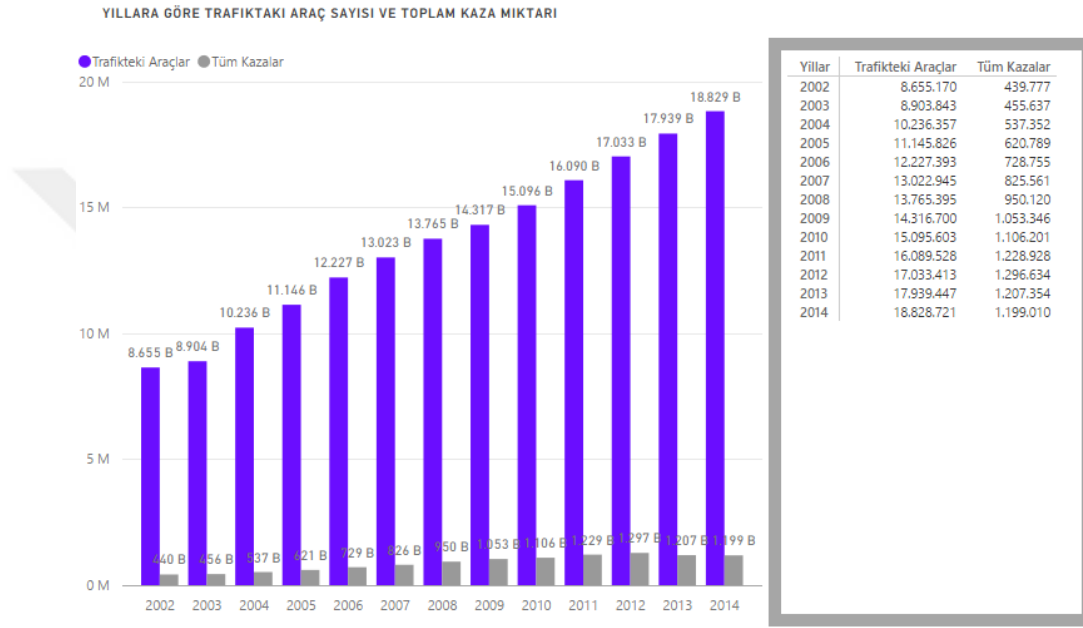
çalışmada ise hız ihlallerinin özellikle otoyollarda sıkça görüldüğünü ve kontrol kaybına, uzun durma mesafelerine ve çarpışmalara neden olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle, hız limitlerine uymak ve sürüş hızını kontrol etmek, trafik kazalarının azaltılmasında önemli bir adımdır (Talebpour vd., 2013). Kazaların meydana geliş sebepleri arasında ise dikkatsizlik, bir diğer önemli faktördür. Bazı çalışmalarda cep telefonu kullanımı, yemek yeme, müzik dinleme gibi dikkati dağıtan aktivitelerin sürücülerin dikkatini azalttığını ve kazalara neden olabileceğini göstermektedir. Bu yüzden, sürücülerin araç kullanırken dikkatlerini yola odaklamaları ve dikkat dağıtıcı faktörleri en aza indirmeleri önemlidir. Alkol veya uyuşturucu etkisi altında sürüş de trafik kazalarının yaygın bir nedenidir (Valen vd., 2019). Alkol veya uyuşturucu maddelerin sürücülerin tepki sürelerini yavaşlattığını, dikkatlerini dağıttığını ve araç kontrolünü olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu yüzden, alkollü veya uyuşturucu etkisi altında araç kullanmak kesinlikle kaçınılması gereken bir davranıştır. Trafik kazalarının oluş sebepleri arasında yorgunluk da önemli bir yer tutmaktadır. Uzun süreli araç kullanımı, uykusuzluk veya yorgunluk hali sürücülerin dikkatini azaltır ve kazalara neden olabilir. Bu konuda yapılan çalışmalar, düzenli molalar vermenin ve yeterli uyku almanın önemini vurgulamaktadır (Khudair vd., 2023). Belirtildiği gibi insan hatasından kaynaklanan trafik kazaları üzerine yapılan araştırmalara göre, yapılan hatalar üç ana başlıkta belirtilmektedir (Sam vd., 2016):

- Algısal yetersizlik: Parlama, düşük ışık veya sürücünün yorgun, uykulu veya sarhoş olması gibi bazı durumlarda, sürücü bazı önemli ayrıntıları göremez. Bu aynı zamanda düz yoldaki keskin virajları, dik yokuşları, gizli kavşakları veya gizli uyarı levhalarını içeren Kaza Kara Noktalarında da olur.
- Dikkatsizlik: Sürücünün zihni başka bir şeye konsantre olduğunda, sürücü genellikle açıkça görülebilen bir yaya veya arabayı fark edemez. Buna “Dikkatsizlikten Kaynaklanan Körlük” denir. Bu, tepkisinde bir gecikmeye veya tepkide bir hataya neden olacaktır. Araştırmalar, sürücülerin yarısından fazlasının acil durumlarda yeterince sert ve yeterince hızlı frene basmadığını gösteriyor.

- Yanlış Tepki: Sürücü bilgiyi doğru olsa da bazen yanlış bir tepki verebilir, örneğin: Fren yerine gaza basmak, keskin dönüşler yapmak veya bir kazayı başka bir kazaya sürüklememek için sert fren yapmak.

Birinci durumda, sürücüler böyle bir tepkinin gerekeceğini beklemedikleri için yeterli mesafeyi korumazlar ve fren yapmaya hazırlanmazlar. Bu beklenti eksikliği göze çarpmayan bir trafik durumundan kaynaklanıyor olabilir. İkinci durumda, öndeki araçla olan mesafe duracak kadar büyük olabilir, ancak sürücünün dikkati önündeki yola odaklanmaz. Dolayısıyla öndeki araç fren yaparsa sürücü zamanında tepki veremez çünkü bu frenlemeyi çok geç fark eder. Bu dikkatsizlik yine yakın gelecekte tepki gerektirecek hiçbir şeyin olmayacağına dair yanlış bir beklentiden kaynaklanıyor olabilir. Bu yüzden, dinamik bir sürüş ortamındaki beklentilerin sürücülerin performansı ile yakın bir bağlantısı vardır. Eksik veya yanlış beklentilerin sonuçlarını inceleyen çoğu çalışma, belirli olaylara ilişkin tepki sürelerine odaklanır. Sürücülerin beklenmedik olaylara tepki vermesi gerektiğinde tepki süresinin arttığı veya tepkilerin ortaya çıkmadığı sıklıkla görülür (Näätänen ve Summala, 1976; Shinar, 2017; Olson ve Sivak, 1986; Russell, 1998). Ek olarak, bakış davranışı beklentilerden etkilenir. Bazı araştırmalar, sürücülerin bilgi beklemedikleri alanlara hiç veya çok fazla odaklanmadıklarını göstermiştir (Martens, 2004; Martens ve Fox, 2007). Böylece beklenmeyen olayların tespit süresi artar. Üçüncü adımda, sürücülerin bundan sonra ne olacağını tahmin etmesi gerekiyor. Durum, öndeki araca konsantre olmanın gerekli olduğunu gösteren hiçbir bilgi sunmadığı zaman, sürücüler durum modellerini güncelleme sıklıklarını azaltacaktır. Ayrıca, hiçbir şey olmayacağına dair bu beklenti, sürüş davranışını da etkileyebilir ve örneğin öndeki bir aracı kısa mesafeden takip etmeye yol açabilir. Sonuç olarak, trafik kazalarının oluş sebepleri çeşitlilik göstermektedir. Hız ihlalleri, dikkatsizlik, alkollü veya uyuşturucu etkisi altında sürüş, yorgunluk, trafik kurallarına uymama ve araç arızaları gibi faktörler, trafik kazalarına yol açabilen ana etmenlerdir. Bu nedenle, trafik güvenliği için trafik kurallarına uyulması, dikkatli ve sorumlu bir şekilde araç kullanılması, hızın kontrol edilmesi ve yorgunluktan kaçınılması büyük önem taşımaktadır (Vranes vd., 2018). Ülkemizde trafik faaliyetlerine yön verilmesi, güvenli trafik ortamının

sağlanması ve trafik kuralları konusunda eksikliklerin belirlenmesi amacıyla, Türkiye karayolu ağında meydana gelen ve trafik zabıtası/ polis ve jandarmaya intikal eden kazalar ile Trafik Sigortaları Bilgi Merkezi (TRAMER)'ne tutanakla ulaştırılan karayolu ağında meydana gelen ölümlerle, yaralanmayla ve maddi hasarla sonuçlanan trafik kazalarına ait verilerden derlenen, yıllara göre toplam meydana gelen trafik kazaları ve ayrıca trafikte yer alan araç sayıları hakkında değişim grafiği ve tablosu Şekil 1.1'de verilmiştir.



**Şekil 1.1.** Yıllara göre Türkiye’de trafikte yer alan araçlar ve meydana gelen trafik kazaları hakkında sayısal bilgiler (TÜİK, 2022).

### 1.3. Güvenli Sürüş Teknikleri

Birçok ülkede iş ve eğlence hayatının idame ettirilmesinde araç kullanımı, karayolu ulaşımında önemli bir yere sahiptir. Bu durum, insanların işe gidip gelmelerine, işlerini sürdürmelerine ve çok sayıda sosyal ve ev içi faaliyette bulunmalarına olanak tanır. Çoğu insan araba sürmeyi günlük hayatın temel bir parçası olarak görür ve özellikle toplu taşıma araçlarına sınırlı erişimi olanlar bu kapsamda değerlendirilebilir (Sherman, 2006). Trafiğin küresel önemi göz önüne alındığında, karayolu güvenliğine özel önem verilmeli ve taşıtların verimliliği ve güvenliği için büyük önem taşıyan standartlar sağlamaya çalışılmalıdır (Lee, 2011). Güvenlik düzenlemelerinin varlığı ve uygulanması olmadan, trafik

kazaları yılda iki milyondan fazla ölümlerle dünyadaki önde gelen ölüm nedeni haline gelmektedir. Bir karayolu taşıtının herhangi bir fiziksel nesneyle çarpışması sonucu trafik kazası meydana gelir ve yaralanma, maddi hasar ve ölümlerle sonuçlanır. Çarpışma riskine katkıda bulunan faktörler ise araç tasarımı, araç hızı, yol tasarımı ve sürücü bozukluğu olarak sıralanabilir. Güvenli sürüş ise aracın kapasitesini zorlamadan, trafik kurallarına uyarak ve araç içi güvenlik teknolojilerinden aktif şekilde faydalanarak tam bir hakimiyet ile araç kullanılması olarak tanımlanır. Güvenli bir şekilde araç kullanmak için, sürücülerin yolda herhangi bir zamanda sürüş görevinin zorluğunu değerlendirebilmesi gerekir. Güvenli sürüş, karmaşık psikomotor beceriler, hızlı bilgi işleme, uyanıklık ve sağlam muhakeme gerektirir (Frier, 2014). Bu, trafik koşullarındaki herhangi bir kritik değişikliği tespit etmek ve olası tehlikeleri tespit etmek için doğru zamanda doğru yere bakmalarını gerektirir. Çoğu zaman, bu görevin zaman baskısı altında gerçekleştirilmesi gerekir. Araştırmacılar, tehlikelerin algılanması ve bunlara tepki verilmesinin acemi ve deneyimsiz sürücüler için karar verme sürecinin özellikle kritik bir parçası olduğunu iddia etmektedir. Deneyimsiz genç sürücülerin aşırı kaza yapması, kısmen bu alandaki becerilerinin yetersiz ve gelişmemiş olduğu öne sürülür (Kuiken ve Twisk, 2001). Tehlike algısı ile kaza katılımı arasındaki ilişkinin araştırılmasının zor olduğu kanıtlanmış olsa da laboratuvar çalışmalarında bazı tespitler gerçekleştirilebilmiştir (Quimby ve Watts, 1981; Quimby vd., 1986).

Güvenli sürüş teknikleri, sürücülerin trafik kazalarını önlemek ve güvenli bir şekilde seyahat etmelerini sağlamak için kullanılan yöntemlerdir. Araştırmalar, çeşitli güvenli sürüş tekniklerinin trafik kazalarını azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Güvenli sürüş tekniklerinin önemini ele alan bazı çalışmalarda trafik kazalarının önlenmesi için sürücülerin dikkat etmesi gereken temel beceriler ve stratejiler incelenmektedir. Güvenli sürüş tekniği olarak başta gelebilecek olan kriter ise trafik kurallarına uymasıdır. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, trafik kurallarına uyum, trafik kazalarını önlemek ve güvenli bir sürüş ortamı sağlamak için önemli bir adımdır. Hız limitlerine uymak, geçiş kurallarına uymak, şerit değiştirirken sinyal vermek gibi temel trafik kurallarına uymak, diğer sürücülerin

hareketlerini tahmin etmeyi kolaylaştırır ve kazaların önüne geçer. Bir başka güvenli sürüş tekniği, dikkatli olmaktır. Sürüş sırasında dikkat dağıtan faktörlerin azaltılması, kazaları önlemek açısından kritiktir (Kuiken ve Twisk 2001). Yapılan araştırmalarda cep telefonu kullanımının sürüş performansını olumsuz etkilediği ve kazalara neden olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, araç kullanırken cep telefonu kullanmamak, dikkatinizi yola ve çevrenize odaklamak için önemli bir adımdır. Güvenli takip mesafesi, bir başka önemli güvenli sürüş tekniğidir. Önünüzdeki araca yeterli bir takip mesafesi bırakmak, ani frenlemelerde çarpışma riskini azaltır. AAA (American Automobile Association) tarafından yapılan bir araştırma, yetersiz takip mesafesinin kazaların en yaygın nedenlerinden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, güvenli bir takip mesafesi korumak, kazaları önlemek için önemlidir. Trafik koşullarına uyum sağlamak da güvenli sürüş tekniklerinin bir parçasıdır. Örneğin, yağmur, kar veya buzlu yollar gibi zorlu hava koşullarında sürüş yaparken, sürüş hızını azaltmak, frenleme mesafesini artırmak ve daha dikkatli olmak önemlidir. Bu şekilde, araç kontrolünü sağlamak ve kazaları önlemek mümkün olabilir (Dingus vd., 2006).

Güvenli sürüşün sürdürülebilir hale getirilmesindeki amaç, karayolu kazalarının meydana gelmesini önlemek ve bunun mümkün olmadığı durumlarda, (ciddi) yaralanma vakalarını mümkün olduğunca azaltmaktır. Bu ise, insan özelliklerinin başlangıç noktası olarak kullanıldığı proaktif bir yaklaşımla başarılabilir ki bu kullanıcı merkezli bir sistem yaklaşımı ile mümkün olabilir. Bir yandan bu özellikler, insanın fiziksel savunmasızlığına ve insanın bilişsel kapasitelerine ve sınırlamalarına atıfta bulunurken, diğer yandan insanlar düzenli olarak istemeden hata yaparlar ve görevlerini her zaman gerektiği gibi yerine getiremezler. Ancak, insanlar her zaman kurallara uymaya ya da kasıtlı olarak ihlal etmeye istekli değildir. Çevreyi (örneğin yol veya araç) insan özelliklerine göre uyarlayarak ve yol kullanıcılarını trafik görevlerine hazırlayarak (eğitim ve öğretim yoluyla), doğası gereği güvenli bir karayolu trafik sistemi elde edilebilir. Doğası gereği veya sürdürülebilir şekilde güvenli trafiğin en önemli özellikleri, trafik sistemindeki gizli hataların (sistemdeki insan hatalarına veya kazalara neden olan trafik ihlallerine neden olan boşluklar) mümkün olduğunca önlenmesi ve karayolu güvenliğinin olabildiğince az bağımlı olmasıdır. Güvenli

yol kullanımının sorumluluğu yalnızca karayolu kullanıcılarına değil, aynı zamanda trafik sisteminin çeşitli unsurlarının (altyapı, araçlar ve eğitim gibi) tasarımından ve işletilmesinden sorumlu olanlara da verilmelidir (Wegman vd., 2008). Sonuç olarak, güvenli sürüş teknikleri ile trafik kazalarını azaltmak ve güvenli bir sürüş deneyimi sağlamak için önemlidir. Trafik kurallarına uymak, dikkatli olmak, güvenli takip mesafesini korumak ve trafik koşullarına uyum sağlamak gibi teknikler, sürücülerin kazaları önlemek için uygulamaları gereken önemli adımlar olarak sıralanabilir.

#### **1.4. Frenleme Mesafesi ve Süresine Etki Eden Faktörler**

Frenleme mesafesi ve süresi, bir aracın hızını düşürerek durmasının gerektiği mesafe ve zaman aralığını ifade eder. Bu faktörler bir dizi etkenden etkilenebilir. Manuel olarak sürücü tarafından kontrol edilen bir aracın, kritik durumlarda frenleme esnasındaki meydana gelen süreleri anlamak önemlidir. Örneğin bir sürücünün, yolda yaya geçidindeki bir yaya, başka bir durmuş araç, başıboş bir hayvan veya herhangi bir yol molozu gibi bir engel gördüğündeki anlık tepkisi, frene basmak olacaktır. İnsan tepki süresi, herhangi bir uyarana yanıt vermek için geçen sürenin bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Tepki süresini etkileyebilecek birçok faktör vardır, bunlardan bazıları yaş, cinsiyet, kişisel özellikler, dikkat dağınıklığı, hastalık, yorgunluk veya sarhoşluk düzeyi vb. olası geniş sonuçlar nedeniyle sürücülerin tepki süresi geniş çapta incelenmiştir (Green, 2000). Bunun nedeni, daha yavaş bir reaksiyon süresinin ölümcül kazalara yol açabilmesidir. Aracı tamamen durdurmak için sürücünün tepki süresi veya durma süresi genellikle üç aşamaya ayrılır: 1- Zihinsel işlem süresi (sürücünün duyuşal girdiyi algılaması ve bir tepkiye karar vermesi için gereken süre), 2- Vücut hareket süresi (ayağını gaz pedalından kaldırmak gibi programlanmış hareketi gerçekleştirmek için kullanılan süre) ve frene dokunma) ve 3- Mekanik tepki süresi (fiziksel cihazın tepkisini yerine getirmesi için geçen süre, örneğin fren devreye girdikten sonra arabayı durdurmak için gereken süre) (Sam vd., 2016).

Zihinsel işlem süresi, fiziksel bir tepki olmaksızın doğrudan ve nesnel olarak ölçülemeyen içsel bir nicelik olduğu için, genellikle hareket süresi ile

ölçülür (Setti vd., 2016). Beyin uygun bir manevraya karar verdiğinde, vücut kasları buna göre tepki verir. Bu senaryo için yanıt, frenleri uygulamak olacaktır. Sürücünün vücudunun seçilen eylemi gerçekleştirmesi için geçen bu süreye vücut hareket süresi denir. Aynı durumda, sürücünün ayağını gaz pedalından kaldırması ve fren pedalına basması gerekir. Frenlerin devreye girmesi için de küçük bir süre gerekir. Bu süre yine oldukça değişkendir ve frenleme tarzına, aciliyete, aracın durumuna vb. bağlıdır ve literatürde bilgileri incelendiğinde bu sürenin 0,3 s ile 1 s arasında değiştiği görülmektedir (Setti vd., 2006). Son olarak, sürücü harekete geçtikten sonra mekanik cihazın yanıt vermesi ve manevrayı gerçekleştirmesi için geçen süredir. Sürücü frene bastıktan sonra bile, aracın manevrayı tamamlaması, yani tamamen durması biraz zaman alır. Bu süreye mekanik tepki süresi veya manevra süresi denir. Bu süre her araca göre değişir ve aracın boyutu, türü, yer çekimi, yol yüzeyi, hava koşulları, aracın ortalama yavaşlaması, aracın durumu, frenleme kapasitesi, aracın ağırlığı gibi birçok faktöre bağlıdır.

Frenleme olayında belirtilen bu toplam süreler içerisinde, araç kaçınılmaz olarak belirli bir mesafe kat eder. Bu mesafe, frenleme / durma mesafesi olarak bilinir. Frenleme mesafesi ise bir aracın frene basıldıktan sonra bulunduğu hızdan tamamen durmasına kadar olan ilerleme mesafesidir. Aracın durma süresi hakkında fikir sahibi olunarak frenleme mesafesi de hesaplanabilir. Frenleme mesafesi, aracın durmasının üç aşaması sırasında aracın kat ettiği mesafedir. Ayrıca, yol güvenliği uygulamalarında sürücünün çarpışmadan aracı durdurabilmesi için bir engeli görmesi gereken yaklaşık mesafe olarak da söylenebilir (Sam vd., 2016).

Frenleme mesafesi ve süresine bazı etkenler etki ettiği bilinmektedir. Bu etkenlerin başında ise araç hızı öne çıkmaktadır. Araç hızı frenleme mesafesi ve süresi üzerinde en belirleyici faktördür. Daha yüksek hızlarda aracın momentumu artar ve bu da durma mesafesinin uzamasına neden olur. Araç hızı ile frenleme mesafesi arasında doğrusal bir ilişki vardır, yani hız iki katına çıktığında frenleme mesafesi dört katına çıkabilir. Tepki süresi sürücünün bir tehlike fark ettiği anda tepki vermesi için geçen süreye tepki süresi denir. Tepki süresi, algılama süresi (tehlikenin fark edilmesi), karar verme süresi ve tepki

verme süresi gibi faktörlerden oluşur. Tepki süresi ne kadar uzunsa, aracın daha fazla yol kat etmesine ve dolayısıyla frenleme mesafesinin uzamasına neden olur. Yol durumu da frenleme mesafesi üzerinde etkilidir. Islak veya kaygan bir yolda, tekerleklerin yere olan tutunması azalır ve aracın durması daha uzun sürebilir. Ayrıca, yolun eğimi de frenleme mesafesini etkiler. Eğimli bir yolda, aracın ağırlığı eğim yönünde etkili olabilir ve durma mesafesini artırabilir. Lastik durumu araç lastiklerinin durumu da önemlidir. Aşınmış veya yetersiz lastiklerin yol tutuşu azalır ve frenleme mesafesini uzatabilir. Ayrıca, doğru lastik basıncı ve uygun desenli lastiklerin kullanılması da frenleme performansını etkiler. Araç durumu fren sistemleri, süspansiyon sistemi ve diğer mekanik parçaların durumu da frenleme mesafesi üzerinde etkilidir. İyi bakımlı bir araçta, frenlerin daha etkili olduğu ve daha kısa durma mesafelerine ulaşılabildiği bilinmektedir.

### **1.5. Sürüş simülatörleri ve kullanım amaçları**

Sürüş simülasyonu geliştirmeye 60'larda analog bilgisayarlar ve elektronik devreler kullanılarak başlandı. Sürüş simülatörleri, bir bilgisayar ekranında birincil yol ortamının görüntülediği bir joystick veya klavye kontrolü kullanan çok basit simülatörlerden, tam boyutlu araç kabini ve hareket düzeltme, 6 serbestlik derecesi ve görüş açısı 360° alana sahip milyonlarca dolarlık simülatörlere kadar değişebilir. Sürüş simülatörleri, karmaşık görevleri nispeten düşük bir maliyetle test etmeyi sağlayan güçlü araçlardır. Sürüş davranışını incelemek için faydalıdır ve pist değerlendirmelerini test etmek için verimli bir alternatif sunarlar. Sürüş simülatörleri, sürücü adaylarının sürüş becerilerini geliştirmek ve trafik kurallarına uymayı öğrenmek için kullanılır. Simülasyonlar, sürücülere gerçekçi trafik senaryolarında pratik yapma imkânı verir ve riskli durumları kontrol altına alma becerilerini geliştirir. Bu sayede, sürücü adayları güvenli ve sorumlu bir şekilde araç kullanmayı öğrenirler. Deneysel koşulların tekrarlanabilirliği, testlerin güvenliği ve maliyet etkinliği, sürüş simülatörlerini kullanmak için motive edici faktörlerden bazılarıdır. Sürüş simülatörleri, farklı mevcut veya yeni yol konfigürasyonlarını veya ekipmanlarını test etmeyi ve karşılaştırmayı kolaylaştırır. Bu nedenle, yol tasarımının sürücüler tarafından nasıl algılanıp anlaşıldığını ve onlara nasıl tepki verebileceklerini belirlemelerine izin vererek, sürüş davranışını araştırmak için güçlü araçlardır.

Yüksek riskli senaryoların sanal ortamda denenmesi sürüş simülatörlerinin başlıca avantajlarıdır. Simüle edilmiş olaylar üzerinde güvenli bir ortamda tam kontrol sağlarlar. Katılımcılara, tehlikeli oldukları veya nadiren meydana geldikleri için bir test pistinde veya yolda çalışması zor olacak sürüş görevleri sunmak mümkündür. Örneğin, sürüş simülatörleri, yaşlı yayalar gibi risk altındaki popülasyonları veya trafik sıkışıklığı olan senaryoları incelemek için kullanılabilir. Sürücünün yorgunluğunu, bozukluğunu ve tıbbi sorununu araştırmak için de kullanılabilirler. Sürüş durumları gerektiği kadar çoğaltılabilir ve bu, aynı senaryodaki birkaç katılımcının davranış karşılaştırmalarını kolaylaştırır. Yüksek frekanslı sensörler kullanılarak sanal ortama sürücü geri bildirim ve direksiyon simidi, pedallar, vites değişimi gibi sürüş performansı ölçümleri kaydedilebilir (Ghasemi, 2020).

Simülatörler, kullanım alanına göre farklı amaçlar için geliştirilebilmektedir. Bunlardan ilki eğitim simülatörleridir. Eğitim simülatörlerinde, sürücülerin / sürücü adayların trafik kuralları kapsamında güvenli ve sorumlu bir şekilde araç kullanım yönleri geliştirilir. Araştırma sürüş simülatörleri, trafik güvenliği ve sürüş davranışları gibi alanlarda araştırma yapmak için kullanılır. Bu simülasyonlar, farklı yol koşullarının, trafik düzenlemelerinin ve sürücü davranışlarının etkilerini analiz etmek için kullanılabilir. Araştırmalar, yeni trafik yönetimi stratejileri geliştirmek, sürüşe etki eden faktörleri anlamak ve trafik kazalarını azaltmak gibi hedeflere ulaşmak için sürüş simülatörlerini kullanır. Sürücü değerlendirme sürüş simülatörleri, sürücülerin performansını değerlendirmek için kullanılır. Özellikle, yeni sürücülerin, yaşlı sürücülerin veya özel ihtiyaçları olan sürücülerin yeteneklerini değerlendirmek için simülasyonlar kullanılır. Bu değerlendirmeler, sürücülerin güvenli sürüş becerilerini belirlemek ve gerektiğinde eğitim veya destek sağlamak için kullanılır. Araç geliştirme sürüş simülatörleri, otomobil üreticileri ve mühendislik şirketleri tarafından araç geliştirme süreçlerinde kullanılır. Bu simülasyonlar, araçların performansını test etmek, güvenlik sistemlerini optimize etmek, yakıt verimliliğini artırmak ve yeni teknolojilerin etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Bu şekilde, gerçek dünyada yapılan testlerin maliyetini ve zamanını azaltarak daha verimli bir şekilde araç geliştirme süreci yürütülür.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Curry vd. (2011), sürücü eğitiminin yeni sürücüler üzerindeki etkisi sistematik olarak incelemiştir. Araştırmacılar, yeni sürücülerin trafik kazalarına karışma olasılığını azaltmak için tasarlanmış farklı sürücü eğitim programlarını incelemişlerdir. Yapılan sistematik inceleme ve sürücü eğitiminin genel olarak yeni sürücülerin kazaya karışma olasılığını azalttığını göstermiştir. Özellikle, uzun süreli, bireyselleştirilmiş ve etkileşimli eğitim programlarının daha etkili olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, sürücü eğitiminin etkisini sürdürülebilir kılmak için destekleyici politikalar ve uygulamaların gerekliliği vurgulanmıştır.

Desapriya vd. (2008), yaşlı sürücüler için tasarlanan sürücü eğitim programlarının etkililiği sistematik bir inceleme ve meta-analiz ile değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, yaşlı sürücülerin katıldığı eğitim programlarının sürüş becerilerini ve güvenli sürüş davranışlarını geliştirdiğini bulmuşlardır. Bu sonuçlar, yaşlı sürücülerin güvenli sürüş becerilerini sürdürmeleri ve trafik güvenliğini artırmak için eğitim programlarının önemini vurgulamaktadır.

Caird vd. (2008) çalışmalarında, cep telefonu kullanımının sürüş performansı üzerindeki etkisi sistematik bir inceleme ve meta-analiz ile değerlendirmiştir. Araştırmacılar, cep telefonu kullanımının sürüş dikkatini azalttığını, tepki süresini uzattığını ve sürüş hatalarının arttığını bulmuşlardır. Bu sonuçlar, cep telefonu kullanımının sürüş güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerini vurgulayarak, sürücülerin sürüş sırasında cep telefonu kullanmaktan kaçınmasının önemini göstermektedir.

Ting vd. (2008), sürücü yorgunluğunun sürüş performansı üzerindeki etkisi sistematik bir inceleme ve meta-analiz ile değerlendirilmiştir. Otuz genç erkek denek, 90 dakikalık laboratuvar simüle edilmiş otoyol sürüşü sırasında analiz edildi. Sürücü uyanıklığı ve dikkatindeki bozulmayı değerlendirmek için uykululuk derecelendirmeleri ve tepki süresi testleri kullanıldı. Sonuçlarda uykululuk derece puanlarının, tepki sürelerinin ve dengesiz sürüş performansının zamanla önemli ölçüde arttığını ortaya çıkardı; bu da aşırı sürüş

süresinin önemli bir yorgunluk faktörü ve yorgunlukla ilgili kazaların potansiyel nedeni olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, sürücülerin dinlenmiş ve uyanık olmanın önemini vurgulayarak güvenli sürüş için uygun dinlenme aralıklarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Masello vd. (2022) gerçekleştirdikleri çalışmada, gelişmiş sürücü destek sistemlerinin (ADAS) yol türleri, aydınlatma ve hava koşulları kombinasyonları genelinde kazaların azaltılması üzerindeki beklenen etkisini ölçmek için ileri sürüş teknolojileri ve yol güvenliği literatürünü birleştiren disiplinler arası bir metodoloji sunmuşlardır. Çalışmada, gelişmiş sürücü destek sistemlerinin (ADAS) güvenlik etkinliğinin yanı sıra sekiz farklı kaza türü ve 18 sürüş senaryosuna göre çarpışma sıklığı ve şiddetinin dağılımını incelemektedir. Birleşik Krallık'tan (Birleşik Krallık) alınan karayolu güvenliği raporları kullanılarak, en ciddi kazaların kırsal yollarda veya otoyollarda karanlıkta meydana geldiği ve olayların yüksek konsantrasyonunun (%77) sınırlı bir bağlamsal koşullar alt kümesinde meydana geldiği keşfedilmiştir. 18 üzerinden 4). Ayrıca araştırmacılar, ADAS teknolojilerinin (ör. otomatik acil frenleme, şerit takip sistemi) kaza riskini önemli ölçüde azalttığını ve güvenli sürüş davranışlarını teşvik ettiğini bulmuşlardır. Bu sonuçlar, ADAS teknolojilerinin güvenli sürüşte önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Theofilatos ve Yannis (2014), hava koşullarının trafik kazaları üzerindeki etkisini gözden geçirmektedir. Yağmur, kar, buzlanma gibi hava koşullarının sürüş koşullarını nasıl etkilediği ve kazalara olan katkısı üzerinde durulmaktadır. Araştırmacılar, hava koşullarının trafik güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmekte ve sürücülerin bu koşullara uygun şekilde hareket etmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Klauer vd. (2014), çarpışma olasılığı ve kazaya ramak kalan olaylar ile cep telefonu kullanmak gibi ikincil görevlerin yerine getirilmesi arasındaki bağlantıyı inceledikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Objektif değerlendirmeyi mümkün kılmak amacıyla, daha fazla sürüş deneyimine sahip 109 yetişkinin ve yeni ehliyet almış 42 sürücünün (16,3 ila 17,0 yaş arası) arabalarına ivme ölçerler, kameralar, küresel konumlandırma sistemleri ve diğer sensörler takıldı.

Çalışma sonucunda, cep telefonunu çevirmek, deneyimli sürücüler arasında oldukça yüksek bir kaza veya kazaya yakın riski arttırdığı tespit edildi (olasılık oranı, 2,49; %95 GA, 1,38 ila 4,54). Ek olarak, deneyimsiz sürücülerin zaman içinde yüksek risk taşıyan ikincil görevlere dikkat etme olasılıkları deneyimli sürücülere göre daha fazla olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, sürücü dikkatinin trafik güvenliği için kritik olduğunu vurgulamakta ve sürücülerin dikkat dağıtıcı etkenlerden kaçınmasının önemini vurgulamaktadır.

Bioulac vd. (2017), direksiyon başındaki uykululuğa bağlı motorlu araç kazası riskini sistematik bir inceleyerek, meta-analiz yöntemi ile sürücü yorgunluğunun trafik kazaları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Uykuluyken araba kullanmaya ilişkin düzeltilmiş risk tahminlerinin analize dahil edildiği araştırmada, rastgele etki modeli kullanılarak risk tahminleri ve %95 güven aralıkları (%95 GA) çıkarılmış ve bu faktörler üzerinden olasılık oranları (OR) belirlenmiştir. Direksiyon başında uykululukla ilgili motorlu taşıt kazalarının bireysel tahminleri arasındaki heterojenliğin kaynaklarını araştırmak için rastgele etkili meta-regresyon analizlerinde, heterojenliğin ölçülebilmesi içinse Q istatistikleri ve I<sup>2</sup> indeksi kullanılmıştır. Meta-regresyonlar kullanılarak heterojenliğin olası nedenleri incelendi. 4904 kişiyle on vaka kontrol çalışması, 13.674 katılımcıyla bir kohort çalışması ve 51.520 katılımcıyla on kesitsel çalışma sonucunda, artan kaza oranlarında meydana gelen riskin sürücü yorgunluğuyla bağlantılı olduğu (toplanmış OR 2,51 [%95 GA 1,87; 3,39]) tespit edilmiştir. Ayrıca, bireysel risk tahminleri arasında ise anlamlı bir heterojenlik (Q = 93,21; I<sup>2</sup> = %83) ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar, uyku eksikliği, uzun süreli sürüş, iş saatleri ve nörolojik faktörler gibi yorgunluğa yol açan unsurların sürücülerin dikkat ve tepki sürelerini nasıl etkilediğini ve kazalara olan katkısını ele almaktadır. Yorgunlukla ilgili farkındalığın artırılması ve dinlenme düzeninin önemi vurgulanmaktadır.

Bruce vd. (2014), dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu (DEHB) olan sürücüler için sürüş simülatörü eğitimini ele almışlardır. Araştırmacılar, simülatör eğitiminin DEHB'li sürücülerin dikkat, odaklanma ve sürüş becerileri üzerindeki etkisini incelediği çalışmada, simülatör eğitiminin sürücü becerilerinde önemli gelişmeler sağladığını bildirmişlerdir.

Hsiao vd. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada, trafik kazalarında insan faktörlerinin rolünü ele almışlardır. İnsan davranışı, algılama, dikkat dağınıklığı, yorgunluk ve hatalı kararlar gibi faktörler üzerinde durulduğu çalışmada araştırmacılar, insan faktörlerinin trafik kazalarında önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulayarak ve bu alanda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Blana (1996), EPSRC tarafından finanse edilen "EPSRC sürüş simülatöründe sürücü performansı: bir doğrulama çalışması" adı altında bir literatür çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada esas olarak, sürücü davranışına ilişkin geliştirilen sürüş simülatörlerinin doğrulaması üzerine yapılan çalışmalara odaklanılmıştır. Sürüş simülatörleri için davranışsal ve fiziksel doğrulama ile ilgili olarak çeşitli yaklaşımlar, metodolojiler ve kriterlerin önerildiğini belirterek, önerilen bu doğrulama yaklaşımlarının dikkate alındığı veya alınmadığı bir dizi davranışsal doğrulama çalışması gerçekleştirmiştir. Simülatörün gerçekçiliği genellikle simülatörü kullanan kişilerin izlenim ve görüşlerine ilişkin anketler kullanılarak kontrol edileceğini, bu alanda çalışma yapan araştırmacıların derecelendirmeler için farklı anket ve farklı ölçekler kullandığını ve belirlenen bu yöntemlerin simülatörün geçerliliği açısından kritik öneme sahip olduğunu görülmüştür. Çalışma sonucunda yüksek bütçelerin aşılmadığı ve her tür uygulama alanı için geçerli olacak bir sürüş simülatörünün oluşturulmasının neredeyse imkânsız olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, çok karmaşık olmayan bir sürüş simülatörü ile belirli bir uygulama türü için aynı geçerli sonuçlara ulaşılabileceği gerçeğinin her zaman göz önünde bulundurulması gerektiği de vurgulanmıştır.

Wynne vd. (2019), gerçek dünya sürüşüyle karşılaştırıldığında sürüş simülatörünün doğruluğuna ilişkin kanıtları değerlendirmek için bir literatür tarama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar tarafından, simüle edilmiş sürüş ile bir araçta karayolu sürüşü arasında doğrudan bir karşılaştırma bildiren 44 çalışma ele alınmıştır. Sürüş simülatörlerinin ele alındığı çalışmaların yaklaşık yarısı kadarında mutlak veya görece geçerliliğe ulaşılabildiği, yaklaşık üçte birinde ise geçersiz sonuçların olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, güvenli ve kontrollü ortamlarda sürüş davranışlarının incelenmesine olanak tanıyan sürüş simülatörlerinin sonuçlarının geçerliliği büyük ölçüde simülatörün aslına

uygunluğuna bağlı olduğu vurgulanmış ve her ne kadar bu durum sezgisel görünse de simülatörün sadakati ve geçerliliği arasındaki ilişkinin basit olmadığı belirtilmiştir. nkn bazı düşük sadakatli simlatrlerin, bazı ölçümlerde kabul edilebilir geçerlilik gösterirken, bazı yüksek sadakatli simlatrlerin diğer ölçümlerde geçersiz görünmektedir. Dolayısıyla, araştırmacılar edindikleri bulgular sonucunda, ayrıntıları ve istatistiksel analiz ıktıları açısından, sürüş simülatörü araştırmalarının raporlanmasında bir iyileştirme ihtiyacının olduğunu belirtmişlerdir. Bunun için bu alandaki çalışmalara kılavuzluk görevi göreceğine inandıkları birtakım öneriler sunarak, sürüş simlatrleri ile yapılan çalışmalarda deney sayısının artırılması ve bu deneylerin sonuçları arasında daha fazla karşılaştırma yapılabilmesi için tanımlayıcı bazı istatistikler ile sonuçların raporlanması tavsiye edilmiştir.

Dosovitskiy vd. (2017), açık kaynaklı kentsel düzenleri, çok sayıda araç modelini, binaları, yayaları, sokak tabelalarını vb. içeren ve otonom şehir içi sürüş sistemlerinin geliştirilmesini, eğitimi içeren CARLA (Car Learning to Act) olarak isimlendirilen bir simülatör çalışması gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon platformunda, sürüş tekniklerini öğretmek için kullanılabilir GPS koordinatları, hız, ivme ve çarpışmalar ve diğer ihlaller hakkında kapsamlı bilgiler dahil edilmiştir. Çalışmada simülatör platformunda, otonom sürüşe yönelik üç farklı senaryonun performansını incelenmiştir. Bunlardan ilki, vizyona dayalı bir algılama modülü, kurala dayalı bir planlayıcı ve bir manevra kontrolöründen oluşan klasik modüler bir hattır. İkincisi, taklit öğrenme yoluyla uçtan uca eğitilen, duyu-sal girdiyi sürüş komutlarıyla eşleştiren derin bir ağdır. ncs ise pekiştirmeli öğrenim yoluyla uçtan uca eğitilen derin bir ağdır. Ayrıca, bu şekilde artan zorluktaki kontrollü hedefe yönelik navigasyon senaryolarını sahnelemek için kullanılan simülatörde, geçilmesi gereken rotanın karmaşıklığını, trafiğin varlığını ve evre koşulları da sürekli olarak değiştirilmektedir. Simülatör sonuçlarında,  yaklaşımın performansları karşılaştırılmıştır. Genel olarak sonuçlarda, duyu-motor kontrolüne yönelik öğrenmeye dayalı yaklaşımlar için genellenmenin önemi vurgulanmıştır.

Reed ve green (1999), gerçek sürüş ve düşük maliyetli bir sürüş simülatörü arasında karşılaştırılmalı bir araştırma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Altı erkek

ve altı kadın, periyodik olarak simüle edilmiş telefon görüşmelerini yaparken, bir otoyol rotası üzerinde gerçek sürüş testini sürdürmüştür. Aynı denekler, renkli bir sahne ve yalnızca yol kenarı işaretlerini gösteren, iki görsel doğruluk seviyesi kullanan bir laboratuvar sürüş simülatöründe teste tabi tutuldular. Her iki test esnasında şerit konumu, hız, direksiyon açısı ve gaz keleşbeği konumu kaydedildi. Simülatörde şerit tutma, yoldakine göre daha az hassastı, ancak hız kontrol performansı iki test için benzerdi. Gerçek sürüş sırasında şerit konumunun standart sapması, simülatörde ortalama olarak yaklaşık iki kat daha büyüktü (0,360'a karşılık 0,165 m). Hem simülatörde hem de gerçek sürüşte, telefon numarayı çevirirken şerit tutma ve hız kontrolü normal sürüşe göre daha az hassastı, ancak performans düşüşü simülatörde daha fazlaydı. 60 yaş üstü denekler, eşzamanlı telefon çevirme görevi sırasında, hem simülatörde hem de yolda 20 - 30 yaş arası deneklere göre daha büyük performans düşüşleri gösterdi. Simülatör, hız kontrolü ölçümleri için iyi bir mutlak geçerlilik ve telefon görevi ve yaşın sürüş hassasiyeti üzerindeki etkileri için iyi bir göreceli geçerlilik gösterdi. Çalışma sonuçları arasında araştırmacılar, gerçek sürüş ile simülatör sürüşü arasında zayıf bir korelasyon (0,34) gözlemlerse de, gerçek bir sürüşte yapılan yol testlerine kıyasla sürüş simülasyonu ekonomik, kontrol edilebilir ve daha güvenli olduğunu da belirtmişlerdir.

### **3. MATERYAL VE METOD**

Karayolu taşıtlarında güvenli sürüş şartlarının tespiti için gerçek sürüş şartlarının simüle edildiği (sürücü koltuğu, emniyet kemeri, direksiyon simidi, gaz pedalı, fren pedalı, start/stop butonu, dikiz aynası vb.) bir nihai sürüş simülatörünü geliştirilmiştir. Sürüş simülatörü ile sürücü koltuğuna oturan sürücüye, sürüş öncesi hazırlıklar (sürücü koltuğunun ayarlanması, dikiz aynalarının ayarlanması, emniyet kemerinin bağlanması), motorun ilk harekete geçirilmesi (start/stop butonuna basılması), farklı sürüş koşulları (ayarlanabilir yol yapısı; asfalt yol, toprak yol vb.) ve sürücü koşulları için (gaz pedalı hareketi ve taşıt hızı, fren pedalı hareketi ve frenleme performansı, sürücü reaksiyon süresi, fren sisteminin cevap verme süresi, toplam frenleme ve durma mesafesi ve süresi) gerekli bilgi ve uyarıların bilgisayar ekranı ve araç üzerinden üzerinden görüntülü ve sesli olarak hazırlanan komutlar ile sürekli olarak hedef sürücüye aktarılması planlanmıştır. Belirlenen amaç ve hedefler doğrultusunda “nihai sürüş simülatörü” ile; ilk defa ehliyet alacak sürücü adaylarının eğitimi, halen ehliyeti olan sürücülerin dikkatlerinin geliştirilmesi, sürücülerin olası trafik kazalarının oluşum şartları ve sebepleri hakkında bilgilendirilmesi, daha güvenli karayolu taşıtlarının geliştirilme çalışmalarına katkı sağlayacaktır.

#### **3.1 Sürüş Simülatörünün Elektro-Mekanik Tasarım ve İmalatı**

Bu çalışmada, karayolu taşıtlarında sürücülerin trafik kurallarını uygulama becerilerinin geliştirmesi ve riskli durumlarla frenleme mesafesine etki eden sürücü ve sistem tabanlı faktörlerin etkisini belirlemek için bir nihai sürüş simülatörünün tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

##### **3.1.1. Sürüş simülatörü kabin imalatı**

Nihai sürüş simülatörünün tasarım ve imalat sürecinde, gerçekçi bir sürüş deneyimi sağlamak adına A-segment otomobilin (FIAT-126-BIS) ön kaputu ile sürücü ve yolcu bölmesinden oluşan yarım kesit bir test platformunu

oluşturulmuştur. Yarım kesit A-segment otomobile ait test platformu şekil 3.1. de verilmektedir.

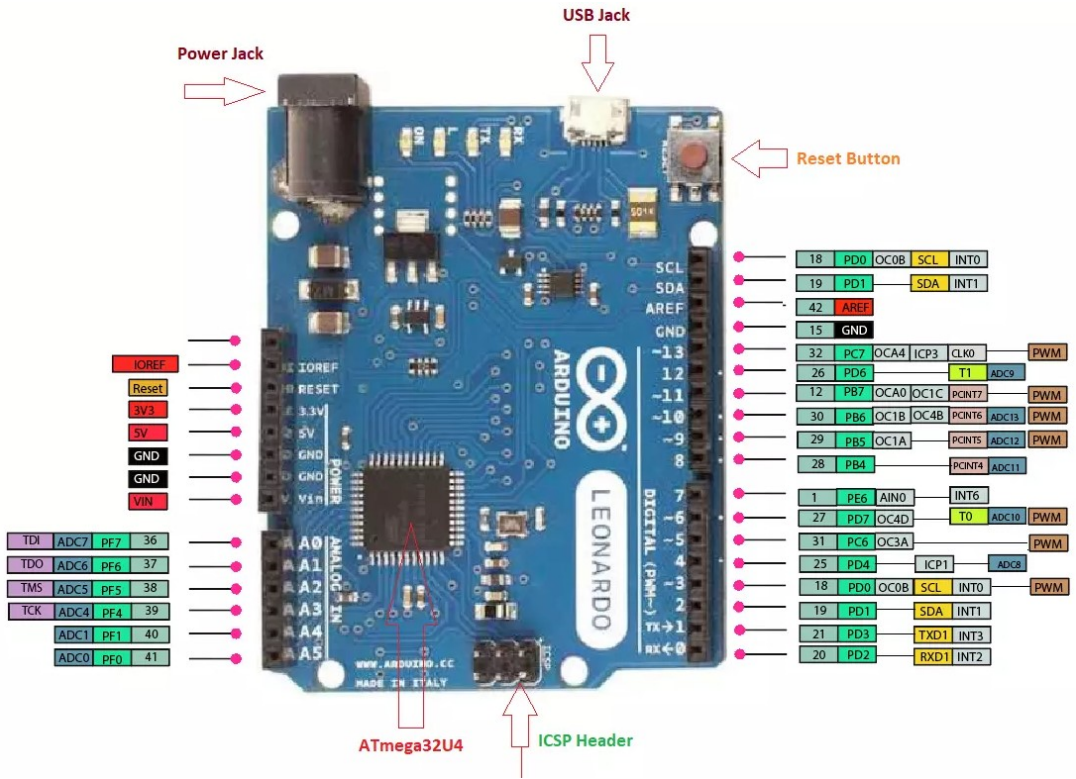


**Şekil 3.1.** Yarım Kesit A-segment otomobile ait test platformu

Otomatik vites bir aracın sürüş şartlarının simüle edildiği test platformunda; direksiyon standı, elektronik kontrollü gaz ve fren pedalları, sürüş ekranı, sürüş öncesi emniyet kemeri ve dikiz aynalarının (sağ ve sol) ön kontrol butonlarının bulunduğu kontrol paneli, start/stop butonu, test yenileme butonu, frenleme öncesi dışardan sürücü şartlandırmasının sağlandığı kontrol butonu, ön kontroller ve sürüş bitiminde simülasyon sonuçlarının gösterildiği dokunmatik sürücü bilgi ekranı bulunmaktadır. Bilgisayara bağlı olan büyük simülatör ekranı (21" curved ekran) kaputun üstüne ve kullanılan bilgisayar ise kaputun altına konumlandırılmıştır. Ayrıca, fren ve gaz pedalından alınan bilgiler doğrultusunda araç hızına bağlı olarak frenleme mesafesi ve süresine etki eden faktörlerin hesaplandığı, verilerin bilgisayar ve bilgi ekranına aktarıldığı; sürüş durumuna göre simülasyonun bilgisayar kısmının da yine mikrodenetleyici ile kontrol edildiği bir yazılım hazırlanmış ve tüm sistemi kontrol eden mikrodenetleyicili geliştirme kartı ile birlikte entegre bir yazılım-donanım sistemi hazırlanarak araç kaputu altına montajları gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.2. Sürüş simülöründe kullanılan donanımlar

Nihai sürüş simülöründe kullanılan donanımsal ve yazılımsal bileşenlerin, yüksek hassasiyette olması ve gerçek sürüş şartlarını en iyi şekilde simüle etmesi önemlidir (Bruck vd., 2020). Bu amaçla nihai sürüş simülörü için yol ve trafik şartlarını, araç dinamiklerini ve sürücü davranışlarını simüle edebilme kabiliyetine sahip bir yazılım geliştirilmiştir. Nihai sürüş simülörü için geliştirilen yazılım, C/C++ tabanlı Arduino IDE açık kaynak kodlu ve kendi arayüzüne sahiptir. Yazılım geliştirme sürecinde Arduino IDE tarafından programlanabilen Arduino Leonardo geliştirme kartı kullanılmıştır. Arduino Leonardo geliştirme kartının seçilmesinde en önemli kriter ise yazılım-donanım haberleşmesinin yanısıra, yazılım-bilgisayar haberleşmesine ilaveten bilgisayarda klavye donanımı gibi kullanılabilmesi ve bu sayede simülasyonda kullanılan ekrandaki grafik arayüzünün istenilen şartlara uyum sağlanmasının gerçekleştirilebilmesidir. Arduino Leonardo geliştirme kartına ait görsel Şekil 3.2’de, teknik özellikler ise Çizelge 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Arduino Leonardo Görünüm

**Çizelge 3.1.** Arduino Teknik Özellikleri

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
Mikrodenetleyici	ATMEGA2560
Çalışma Gerilimi	5 V
Giriş Gerilimi (önerilen)	7-12 V
Giriş Gerilimi (limit)	6-20 V
Dijital G/Ç Pinleri	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	6
Her G/Ç için Akım	40 mA
3.3V Çıkış için Akım	50 mA
Flash Hafıza	32 KB (ATmega328)
SRAM: 2 KB	ATmega328
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	68.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	25 g

Nihai sürüş simülatoründe test sürüşü öncesi sağ ve sol dikiz ayanlarının ve emniyet kemerinin kontrolünün yapıldığına dair ön kontrol şartı bulunmaktadır. Bu şartların sağlandığına dair onay verilmesi durumunda start/stop butonu ile sistem çalıştırılmaktadır. Bu şartların sağlanabilmesi için farklı renklerde (kırmızı, mavi, sarı ve siyah) 4 adet yaylı butonun yer aldığı bir kontrol paneli hazırlanarak sürücünün kolay müdahale edebileceği bir konumda A-segment aracın ön sürücü bölmesine yerleştirmiştir. Ayrıca, kontrol paneli üzerinde bir sonraki teste geçiş için bir adet test yenileme butonu da (sarı renkte) konumlandırılmıştır. Farklı renklerde kullanılan yaylı butonlara ait görüntüler Şekil 3.3'te verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Kontrol paneline yerleştirilen yaylı buton resimleri

Ön kontrol sonrası aracın hızlanma ve frenleme şartlarının sürücü tarafından sağlanabilmesi için üç pin çıkışlı elektronik kontrollü elektronik gaz ve fren pedalları (2 adet) kullanılmıştır. 12 V doğru akım kaynağı ile beslenen her iki pedaldan, basma oranına bağlı olarak 0 – 5 volt aralığında değişen sinyal çıkışı alınmaktadır. Elektronik fren pedalına ait görüntü Şekil 3.4'te verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Elektronik kontrollü fren ve gaz pedalı

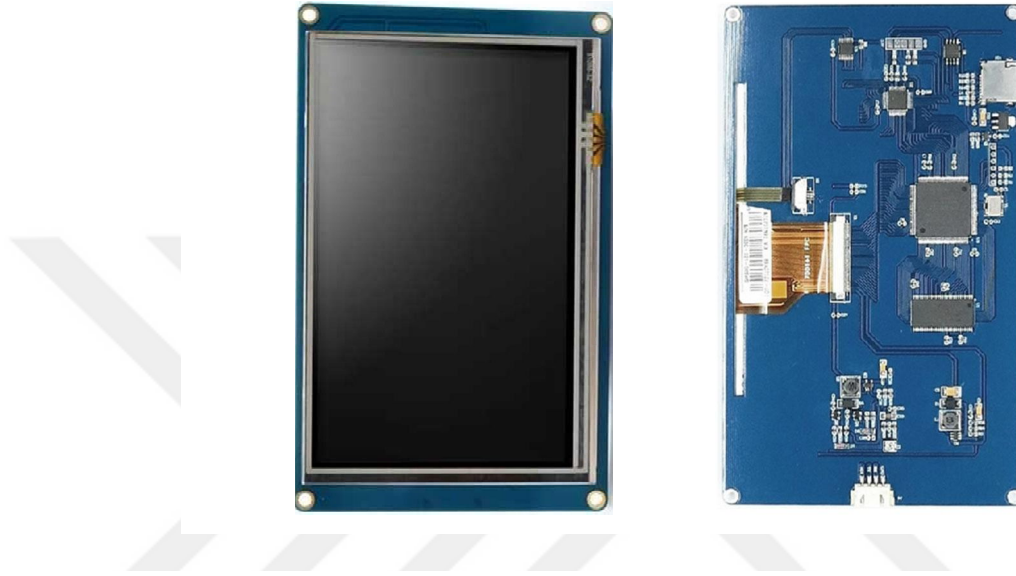
Alınan bu çıkış sinyalleri ise Arduino geliştirme kartına iletilmiştir. Gaz pedalı yardımıyla sağlanan herhangi bir araç hızında karşılaşılan engelin simüle edilerek sürücünün frenleme yapmasını sağlamak için bir sürücü şartlandırma (acil durum uyarı) butonu yerleştirilmiştir. Sürücü şartlandırma (acil durum uyarı) butonuna ait görüntü Şekil 3.5'te verilmiştir.



**Şekil 3.5.** Sürücü şartlandırma (acil durum uyarı) butonu

Donanımsal olarak kontrol panelinin hemen sağ tarafına, ön kontrollerin yapıldığının onayını görsel olarak veren ve sürüş testi esnasında aracın ulaştığı hızı ve acil durum uyarısı sonrasında sürücünün fren yapmaya başlaması ve

aracın durmasına kadar geçen süre ve mesafenin görüntülediği bir sürücü bilgilendirme ekranı konumlandırılmıştır. Dokunmatik özelliğe sahip sürücü bilgilendirme ekranı (LCD ekran), seri haberleşme portuna ve istenilen şekilde kullanılabilmesine olanak sağlayan kendine ait editör yazılımına sahiptir. Simülatör için kullanılan dokunmatik LCD ekrana ait görüntü Şekil 3.6'da teknik özellikler ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.



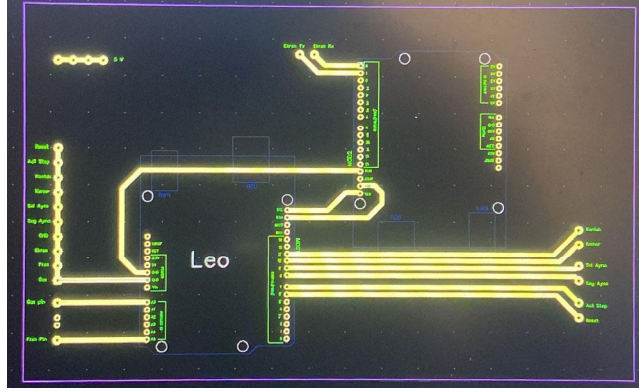
**Şekil 3.6.** LCD Dokunmatik Ekran

**Çizelge 3.2.** Dokunmatik Ekran Teknik Özellikleri

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
LCD Türü	TFT
Arayüzey	RGB
Dokunmatik denetleyici	GT811
Dokunmatik Panel Türü	Kapasitif
Arka Işık	LED
Ekran boyutu (mm)	154.21 (G) × 85.92 (Y)
Nokta aralığı (mm):	0,0502 (G) × 0,1432 (Y)
Çözünürlük	1024 x 600 (Piksel)
Çalışma gerilimi	3.0V ~ 3.6 V

Nihai sürüş simülatöründe kullanılan tüm elektrik/elektronik donanım ve yazılımın yüklü olduğu Arduino Leonardo geliştirme kartı arasında bağlantıların

sorunsuz bir şekilde sağlandığı bir PCB devre kartı tasarlanarak imal edilmiştir. Şekil 3.7’de baskı devre kartının tasarım aşamasına ait görüntü yer almaktadır.



**Şekil 3.7.** PCB baskı devrenin tasarım çizimine ait görüntü

Ayrıca, nihai sürüş simülöründe kullanılan tüm elektrik/elektronik donanımı için gerekli güç ihtiyacı, farklı DC voltaj çıkışı verebilme kabiliyetine ve bir AC/DC dönüştürücüye sahip bir güç kaynağı tarafından sağlanmıştır. Nihai sürüş simülöründe kullanılan DC güç kaynağına ait görüntü Şekil 3.8’de verilmiştir.



**Şekil 3.8.** DC Güç Kaynağına ait görüntü

### 3.1.3. Sürüş simülörünün kurulumu

Nihai sürüş simülörünün, otomobil test platformu üzerine montajında ilk olarak 3mm kalınlığında 15 x 25 mm ebatlarında yanmaz plastik plaka kesilmiş ve plaka üzerinde belirlenen 5 farklı noktada, yaylı butonlara bağlantı yapılabilmesi için 2 mm kesit kalınlığında elektrik tesisat kabloları için delikler açılmıştır. Yanmaz malzemenin dışta kalan yüzeyine ise butonların sabitlendiği

ve kontrol panelinin kapak kısmını oluşturan parçanın montajı ve araç göğsü üzerine sabitleme işlemi Şekil 3.9'da görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.9.** Kontrol Panosu Görünüm

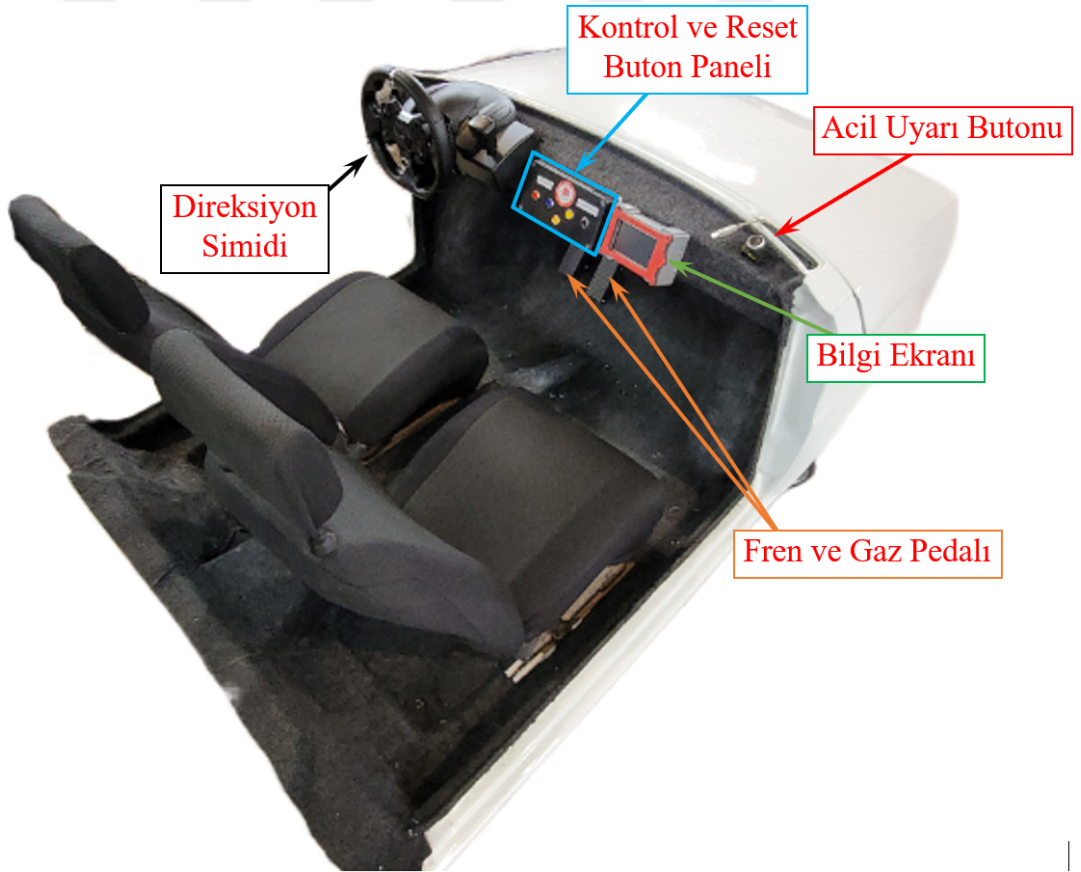
Sonrasında temin edilen LCD bilgi ekranını test platformu üzerine yerleştirmek için plastik malzemeden üretilen aparat imal edilmiştir. Bu aparat ilk olarak PC ortamında tasarlanıp, daha sonra 3D yazıcı kullanılarak imal edilmiştir. Aparatın tasarımında ise, sürücünün bilgi ekranını rahat bir şekilde görebilmesi için sol tarafa açılı olacak şekilde ölçülendirilmiştir. Plastik sabitleme aparatı ile birlikte montajı tamamlanan LCD bilgi ekranına ait görüntü Şekil 3.10'da verilmiştir.



**Şekil 3.10.** Dokunmatik Ekran Görünüm

Nihai sürüş simülöründe kullanılan tüm ekipmanlar yarım kesit A-segment otomobile ait test platformu üzerine montaj edilmiştir. Sürücü ve bir yolcu koltuğuna sahip test platformunun sürücü bölmesine, sürüş sırasında sürücünün

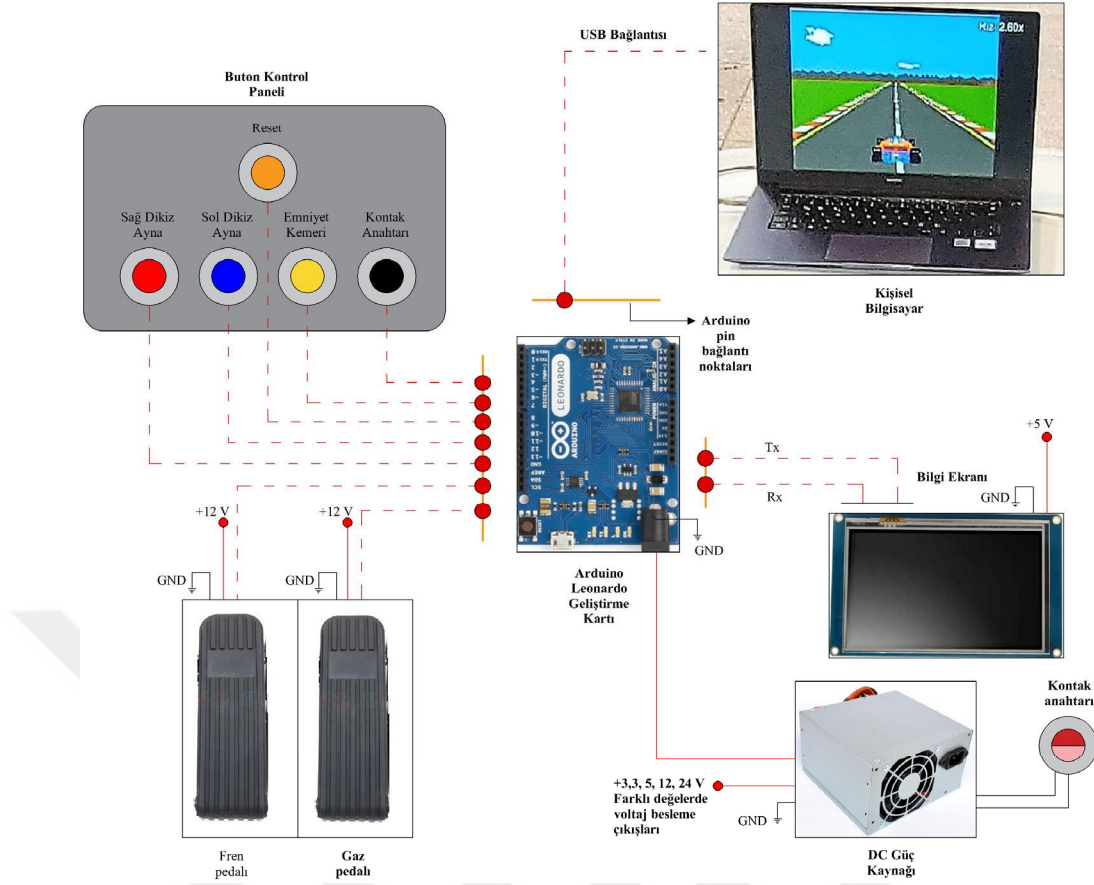
oturma pozisyonu ve ergonomisi dikkate alınarak elektrik kontrollü gaz ve fren pedalları ve direksiyon standı konumlandırılmıştır. Sağ ve sol dikiz aynalarının kontrol butonları, emniyet kemeri kontrol butonu, start/stop ve test yenileme butonunun bulunduğu ön kontrol paneli sürücünün kolay erişebileceği şekilde aracın ön paneli üzerine konumlandırılmıştır. Ön kontrol panelin hemen sağına ön kontrol onaylarının görselleştirildiği, test sırasında ve sonrasında sürücü bilgilendirmesinin yapıldığı dokunmatik sürücü bilgi ekranı yerleştirilmiştir. Test sırasında karşılaşılan engelin sürücüye bilgilendirilmesi için kullanılan sürücü şartlandırma (acil durum uyarı) butonu test sırasında sürücü dışından bir kişi tarafından kolay müdahale edebilecek şekilde ön panelin en sağ uç noktasına konumlandırılmıştır. Tüm ekipmanların montaj edildiği nihai sürüş simülatörünün son hali. Şekil 3.11’de verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Nihai sürüş simülatörünün donanım montajlanmış halinin fotoğrafı

Ayrıca, nihai sürüş simülatörünün montaj aşamalarında, daha önce tasarımı gerçekleştirilerek imal edilen PCB baskı kartı üzerine Arduino geliştirme kartı





**Şekil 3.13.** Nihai sürüş simülatörünün donanım montajlanmış halinin fotoğrafı

### 3.2 Sürüş Simülatörünün Yazılımsal Tasarımı

Gerçek sürüş şartlarının simüle edildiği nihai sürüş simülatöründe gerçekleştirilen yazılım için; öncelikle çalışma şartları belirlenmiş, akış diyagramı oluşturulmuş, sistemden okunacak sensörlerin verileri tanımlanmış ve sistemde görüntülenecek çıktılar için gerekli hesaplamalar detaylı olarak bu bölümde incelenmiştir.

#### 3.2.1. Sürüş simülatörünün yazılım algoritmasının oluşturulması

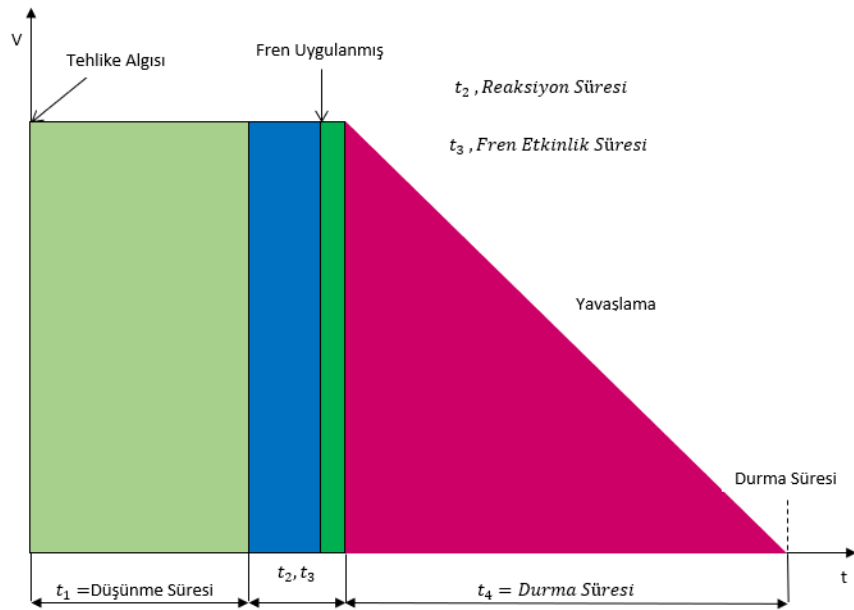
Gerçek sürüş şartlarının simüle edildiği nihai sürüş simülatöründe gerçekleştirilen sürüş testleri öncesi, sürücü koltuğuna oturan kişinin test sürüşüne başlamadan önce ilk olarak kontrol paneli üzerinde bulunan ön kontrol butonlarına basması gerekmektedir. Sürücü kontrol paneli üzerinde bulunan

emniyet kemeri, sağ dikiz aynası ve sol dikiz aynası kontrol butonunu tıkladıktan sonra star/stop butonuna basarak sistemin çalışmasını sağlamaktadır. Bu kontrollerin tamamlanmasının ardından sőrücü bilgi ekranında Şekil 3.14'te yer alan "1. Ekran Gőruntüsü" gőrünür hale gelmektedir. Burada, kontrollerin yapıldığının bir göstergesi olarak durum gösterge butonları yeşil renge dönüşür. Sőrücünün gaz pedalına müdahalesi ile aracın hızlanması ve herhangi bir engelin çıkması durumunda sőrücünün fren pedalına müdahalesi durumunda Şekil 3.14'te yer alan "2. Ekran Gőruntüsü" gőrünür hale gelmektedir. Bu aşamada, sőrücü bilgi ekranında gaz ve fren pedalı % açıklık oranı ve araç hızı anlık olarak takip edilebilmektedir. Bir sonraki aşamada acil sőrücü Şartlandırma (acil durum uyarı) butonunun devreye alınmasını gerekmektedir. Araç belli bir hızda seyir halinde ilerlerken harici bir kişi sőrücü Şartlandırma (acil durum) butonunu aktif eder ve böylece sőrücünün frenleme yapması için uyarılması sağlanır. Sőrücü Şartlandırma (acil durum uyarı) butonunu basılma ani herhangi bir engelin ortaya çıktığını temsil eder ve bu andan sőrücü fren pedalına müdahale edene kadar geçen süre "sőrücü reaksiyon süresine" ve araç hızının sıfır olduğu ana kadar geçen sürede "toplam frenleme süresine" karşılık gelir. Bu aşamada sőrücü bilgi ekranında Şekil 3.14'te yer alan "3. Ekran Gőruntüsü" gőrünür hale gelir. Bu ekranda, sőrücü reaksiyon süresi ve sőrücü reaksiyon süresinde kat edilen mesafe, aktif frenleme süresi ve mesafesi, toplam durma süresi ve mesafesinin yanında anlık araç hızı da sayısal olarak gőrünür hale gelir.

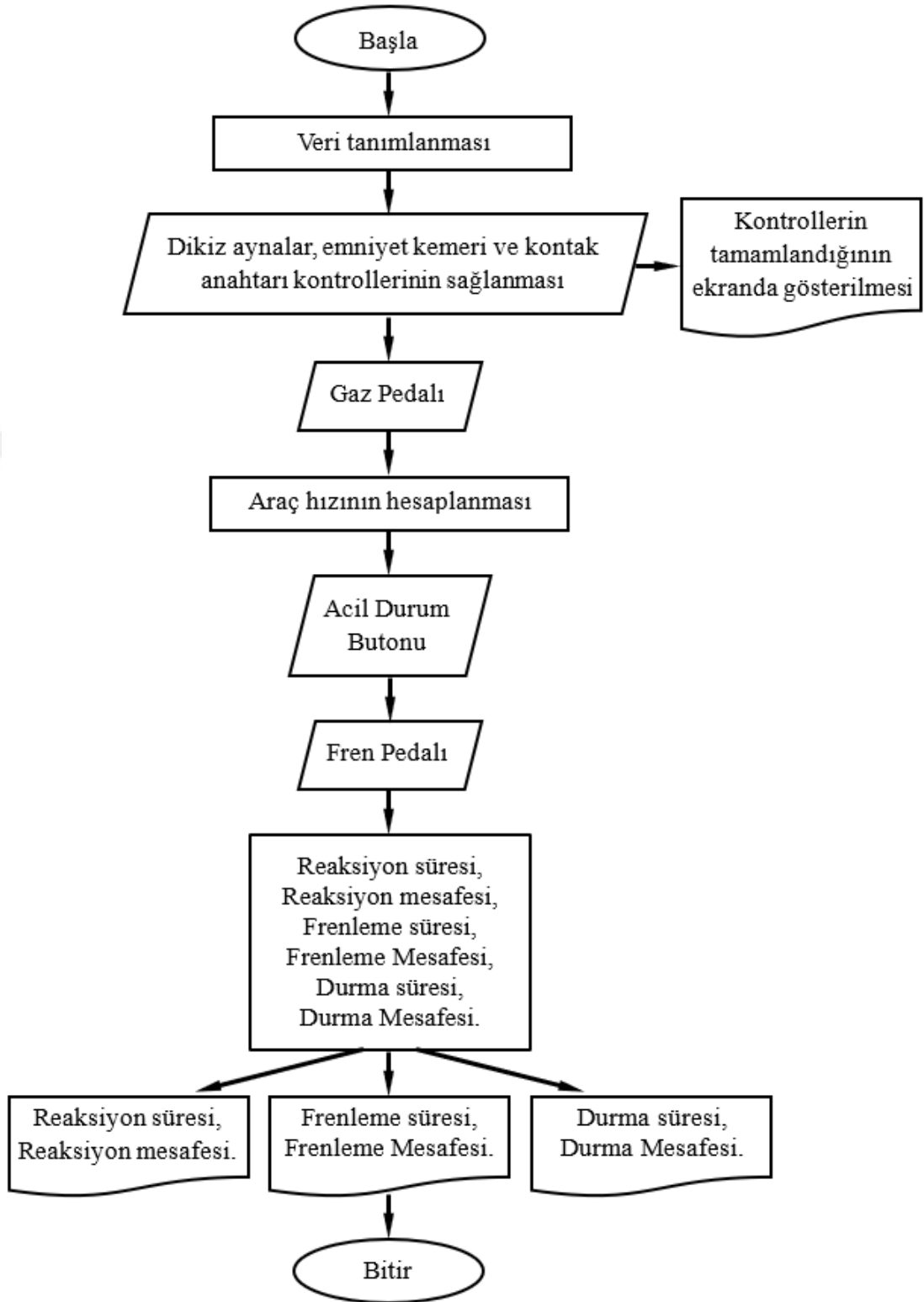
Kritik durumlarda aracın manuel olarak kontrol edilmesi sürecini anlamak önemlidir. Bir sőrücü yolda yaya geçidindeki bir yaya, başka bir durmuş araç, başıboş bir hayvan veya herhangi bir yol molozu gibi bir engel gőrüdüğünde, anında tepkisi frene basmak olacaktır. Aracı tamamen durdurmak için Sőrücünün Tepki Süresi veya Durma Süresi olarak tanımlanan süreçler ortaya çıkmaktadır. Bu süreler içerisinde araç tarafından kaçınılmaz olarak belirli bir mesafe kat edilir. Bu mesafe, Durma Mesafesi olarak bilinir. Şekil 3.15'te frenleme hareketine bağlı olarak bir aracın Hız – zaman değişimine ait grafik verilmiştir. Çalışmaya ait algoritmanın akış diyagramı ise Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.14. Nihai sürüş simülöründe gerçekleştirilen örnek test sürüşü



Şekil 3.15. Frenleme hareketine bağlı olarak bir aracın Hız - zaman değişim grafiği



Şekil 3.16. Sürüş simülâtörü için geliştirilen yazılım algoritması akış diyagramı

### 3.2.2. Sürüş simülatörünün yazılımının oluşturulması

Acil bir durumda sürücünün tepki süresi, tehlikenin fark edildiği andan itibaren frene ya da diğer frenlemeye yönelik aksiyonların başlamasına kadar geçen zamanı ifade etmektedir. Tepki süresi; sürücünün dikkat seviyesi, yorgunluk durumu ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bu süre boyunca araç, sürüş hızına bağlı olarak belirli bir mesafe kat etmekte ve bu süre boyunca araç tarafından kat edilen mesafe, sürüş hızına göre farklılık göstermektedir. Reaksiyon süresi, sürücünün tehlikenin farkına varmasından frene basmaya başlama anına kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Bu süre, sürücünün dikkat seviyesine, yorgunluk durumuna, çevresel vb. faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Reaksiyon süresi boyunca araç, sürüş hızına göre belirli bir mesafe kat etmektedir ve bu süre içinde alınan yol, aracın hızına göre değişiklik göstermektedir. Farklı hızlarda gerçekleştirilen sürüş testleri sırasında, sürücü bilgilendirme ekranı üzerinde gösterilen araç hızı, sürücü reaksiyon süresi, sürücü reaksiyon süresinde kat edilen mesafe, aktif frenleme süresi ve mesafesi, toplam frenleme mesafesi ve süresinin tespiti, kullanılan eşitlikler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen yazılım için kullanılan eşitlikler ile sabitler ve kabuller tablosu bu bölümde verilmektedir.

Aracın hızlanma ve yavaşlamasına ait hesaplamalar eşitlik 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'te verilmektedir

$$V = V_0 \pm a * t - (F + W_r) \text{ için } V = \begin{cases} \text{max} = 255 \\ \text{min} = 0 \end{cases}$$

ve

$$a = \begin{cases} \text{fren\_oranı} = 0; a = 0; \\ \text{fren\_oranı} = 100; a = 6,5; \end{cases} \quad (3.1)$$

$$F = 0,5 \times C_d \times A \times \rho \times V^2 \quad (3.2)$$

$$A = H * L * 0,9 \quad (3.3)$$

$$W_r = G \times f_{ro} \quad (3.4)$$

$$G = m * g \quad (3.5)$$

Burada aerodinamik direnç kuvveti  $F$  (N), hareket eden bir cismin yüzey alanı  $A$  ( $m^2$ ), hava yoğunluğu  $\rho$  ( $\frac{kg}{m^3}$ ) ve araç hızı  $V$  ( $\frac{m}{sn}$ ) ile ilişkilidir. Burada  $W_r$  Yuvarlanma Direnci (N),  $G$  Taşıtın Ağırlığı (N),  $f_{ro}$  Yuvarlanma Direnci Katsayısı olarak verilmektedir.

Acil durum esnasında sürücünün gaz pedalından ayağını çekme süresinin, bu süredeki hız değişiminin ve yol alınan mesafenin hesaplanması eşitlik 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmektedir;

$$\Delta t_{gaz\_tepki} = \sum_{gaz\_oranı=0}^{gaz\_oranı=max} (t_{gaz\_tepki\_yeni} - t_{gaz\_tepki\_eski}) \quad (3.6)$$

$$\Delta V_{gaz\_tepki} = \sum_{gaz\_oranı=0}^{gaz\_oranı=max} (V_{yeni} - V_{eski}) \quad (3.7)$$

$$x_{gaz\_tepki} = \Delta V_{gaz\_tepki} * \Delta t_{gaz\_tepki} \quad (3.8)$$

Burada  $\Delta t_{gaz\_tepki}$ , sürücünü gaz pedalından ayağını çekmesi ve gaz pedalının bulunduğu maksimum konumdan minimum konuma geçme süresince bu sürenin değişiminin toplamını ifade etmektedir.  $\Delta V_{gaz\_tepki}$ , sürücünü gaz pedalından ayağını çekmesi ve gaz pedalının bulunduğu maksimum konumundan minimum konuma geçme süresince araç hızının değişiminin toplamını ifade etmektedir ve  $x_{gaz\_tepki}$  ise bu geçen süre boyunca araç hızına bağlı kat edilen mesafeyi ifade etmektedir.

Acil durum esnasında sürücünün gaz pedalından fren pedalına basmaya kadar geçen sürenin, bu süredeki hız değişiminin ve yol alınan mesafenin hesaplanması eşitlik 3.9, 3.10 ve 3.11'de verilmektedir;

$$\Delta t_{fren\_tepki} = \sum_{fren\_oranı=0}^{fren\_oranı=0,1} (t_{fren\_tepki\_yeni} - t_{fren\_tepki\_eski}) \quad (3.9)$$

$$\Delta V_{fren\_tepki} = \sum_{fren\_oranı=0}^{fren\_oranı=0,1} (V_{yeni} - V_{eski}) \quad (3.10)$$

$$x_{fren\_tepki} = \Delta V_{fren\_tepki} * \Delta t_{fren\_tepki} \quad (3.11)$$

Burada  $\Delta t_{fren\_tepki}$ , sürücünü gaz pedalından ayağını çektikten sonra fren pedalına dokunana kadar sürenin değişiminin toplamını ifade etmektedir.  $\Delta V_{fren\_tepki}$ , sürücünü gaz pedalından ayağını çekteikten sonra fren pedalına dokunana kadar sürenin değişiminin toplamını ifade etmektedir ve  $x_{fren\_tepki}$  ise bu geçen süre boyunca araç hızına bağlı kat edilen mesafeyi ifade etmektedir.

Acil durum esnasında sürücünün reaksiyon süresinin ve bu sürede yol alınan mesafenin hesaplanması eşitlik 3.12 ve 3.13'te verilmektedir;

$$t_r = \Delta t_{gaz\_tepki} + \Delta t_{fren\_tepki} \quad (3.12)$$

$$x_{reaksiyon} = x_{gaz\_tepki} * x_{fren\_tepki} \quad (3.13)$$

Burada  $t_r$ , sürücünü gaz pedalından ayağını çekmesi fren pedalına dokunmasına kadar sürenin değişimin (yani gaz pedalından ayağını çekme süresi  $\Delta t_{gaz\_tepki}$  ve sonrasında fren pedalına basana kadar geçen süre olan  $\Delta t_{fren\_tepki}$  sürelerinin toplamı olarak belirtilen sürücü reaksiyon süresini ifade etmektedir.

Acil durum esnasında sürücünün fren pedalına basma süresinin, bu süredeki hız değişiminin ve yol alınan mesafenin hesaplanması eşitlik 3.14, 3.15, 3.16 ve 3.17'de verilmektedir;

$$\Delta t_{frenleme} = \sum_{frenleme=0,1}^{frenleme=max} (t_{frenleme\_yeni} - t_{frenleme\_eski}) \quad (3.14)$$

$$\Delta V_{frenleme} = \sum_{frenleme=0,1}^{frenleme=max} (V_{yeni} - V_{eski}) \quad (3.15)$$

$$x_{frenleme} = \Delta V_{frenleme} * \Delta t_{frenleme} \quad (3.16)$$

$$t_b = \Delta t_{frenleme} \quad (3.17)$$

Burada  $\Delta t_{frenleme}$ , sürücünü fren pedalına basması ve fren pedalının bulunduğu minimum konumdan maksimum konuma geçme süresince bu sürenin değişimin toplamını ifade etmektedir ve aynı zamanda bu ifade  $t_b$  frenleme süresi olarak ifade edilmektedir.  $\Delta V_{frenleme}$ , sürücünü fren pedalına basması ve fren pedalının bulunduğu minimum konumdan maksimum konuma geçme süresince araç hızının değişiminin toplamını ifade etmektedir ve  $x_{frenleme}$  ise bu geçen süre boyunca araç hızına bağlı kat edilen mesafeyi ifade etmektedir.

Acil durum esnasında aracın toplam durma süresinin hesaplanması eşitlik 3.18'de verilmektedir.

$$t_t = t_r + t_b + t_s \quad (3.18)$$

Burada  $t_t$ , aracın durmasına kadar geçen toplam süre olarak tanımlanmaktadır ve bu süre; sürücü reaksiyon süresi  $t_r$ , sürücü frenleme süresi  $t_b$  ve sistem tepki süresi  $t_s$  değerlerinin toplamına eşittir.

Acil durum esnasında aracın toplam durma mesafesinin hesaplanması eşitlik 3.19'da verilmektedir.

$$x_{durma} = x_{reaksiyon} + x_{frenleme} \quad (3.19)$$

Burada  $x_{durma}$ , aracın durmasına kadar geçen toplam mesafe olarak tanımlanmaktadır ve bu mesafe; sürücü reaksiyon süresi boyunca alınan yol  $x_{reaksiyon}$  ve sürücü frenleme süresi boyunca alınan yol  $x_{frenleme}$  değerlerinin toplamına eşittir.

Yazılım sürecinde kullanılan formüllerde ihtiyaç duyulan sabitler ve kabuller ile ilgili değerlerin yer aldığı veriler Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 3.3.** Sistemde kullanılan kabuller ve sabitler tablosu

KABULLER VE SABİTLER		Değerler	Birimler	Kaynakça
Yuvarlanma Direnç Katsayısı, $f_{ro}$	Düzdün asfalt, beton	0,0015	-	Hucho, 2011; Milliken ve Milliken, 2002
	Küçük taş döşenmiş	0,0015		
	İri taş döşenmiş	0,0015		
	Şose	0,02		
	Çamurlu yol	0,05		
	Gevşek toprak, kum	0,1-0,35		
Aerodinamik Direnç Katsayısı, $C_d$		0,45	-	
Hava Yoğunluğu, $\rho$		1,293	kg/m <sup>3</sup>	
Araçın Kütlesi, m		1200	kg	
Yer Çekim İvmesi, g		9,81	m/sn <sup>2</sup>	
Farklı Yol Yüzeyleri İçin Araç Frenleme İvmesi, a	Buzlanmış Yol	1,0	m/sn <sup>2</sup>	Kuralay, 2008; Öz A. Vd., 2017
	Islak Buzlu Yol	0,5		
	Kuru Buzlu Yol	1,5		
	Karlı Yol	1,5		
	Buzlu Yolda Zincir Kullanımı	2,0		
	Serpilmiş Karlı Yol	2,0		
	Sıkışmış Karlı Yolda Kış Lastiği Takılmış	2,5		
	Yağlanmış Yol	1,5		
Kamyon İçin Araç Frenleme İvmesi, a	Yüklü, Islak Yol, Savrulma Durumu	3,0	m/sn <sup>2</sup>	Kuralay, 2008; Öz A. Vd., 2017
	Hafif Yüklü, Kuvvetli Savrulma Durumu	3,5		
	Kuru Yol	4,5		
	Yüksüz, Kuru Yol	5,0		
	Römorku Boş, Kuru Yol	5,0		
	Hafif, Kuru Yol	5,5		
Motosiklet İçin Araç Frenleme İvmesi, a	Sadece Arka Tekerden Frenlenmiş	4,0	m/sn <sup>2</sup>	Kuralay, 2008; Öz A. Vd., 2017
	Sadece Ön Tekerden Frenlenmiş	6,5		
	Optimum Frenleme	10		
Otomobil İçin Araç Frenleme İvmesi, a	Kötü Yol	4,0	m/sn <sup>2</sup>	Kuralay, 2008; Öz A. Vd., 2017
	Islak Yol	4,5		
	Islak Asfalt Yol	5,5		
	Kış Lastiği Takılmış, Kuru Yol	5,5		
	Yüklü, Kuru Beton	6,0		
	Yüklü, Kuru Flaster Yol	6,0		
	Kuru Yol	6,5		
	Radyal Lastikli, Pütürlü Yol	7,0		
	ABS Düzenekli	7,5		
	Çok Pütürlü Yol	8,0		
	Spor Otomobil, Radyal Lastikli, Pütürlü Yol	7,5		
Sistem Cevap Verme Süresi, $T_b$		50	msn	Schubert vd., 2013
Araç Ölçüleri	H	1,4	mt	
	L	1,5	mt	

### 3.3 Sürüş Simülatörü Test Prosedürü

Gerçekleştirilen sürüş testleri öncesi ilk olarak sürücüyü nihai sürüş simülatörünün çalışması tanıtılacak ve gerçek hayattaki araç kullanım alışkanlıklarının dışına çıkmadan sürüş testlerini gerçekleştirmesi tavsiye edilmiştir. Testlerden önce sürücünün, kontrol butonları fren ve gaz pedallarının kullanımı ve sürücü şartlandırma (acil durum uyarı) butonunun aktif edilme şartlarına aşına olabilmesi için test platformunu belli bir süre kullanması sağlanmıştır. Testler esnasında simülasyonun bilgisayar ekranında yer alacağı ve mini bilgi ekranından ise ihtiyaç duyulan verilerin takip edileceği bildirilmiştir. Deneklere mini bilgi ekranından ise 1. ekran görüntüsünde araç kontrollerinin yani kemer ve ayna kontrolü ile marş yapılmasının kontrolünün sağlanacağı bildirilmiştir. 2. ekran görüntüsünde ise gaz ve fren pedalı konumu ve araç hızı bilgilerinin aktarılması sağlanmıştır. Daha sonra acil stop (acil bir durum ortaya çıkması durumunda) butonun basılacak ve aynı esnada görevli tarafında dikkati dağıtılan sürücü uyarılarak frenleme yapması sağlanmıştır. 3. ekran görüntüsünde ise acil stop sonrası frenlemeye gecikmesi süresi, frenleme süresi ve frenleme mesafesi gibi veriler anlık olarak aktarılmıştır.

Belirlenen prosedüre göre her bir sürücünün, önceden belirlenen ve sürücüyü bildirilen 0 – 255 km/h aralığında değişen farklı araç hızlarında sürüş testleri gerçekleştirmek hedeflenmektedir. Bir diğer prosedür ise tüm denekler için; cinsiyeti, yaşı, eğitim durumu, mesleği, medeni hali, yaşadığı şehir, sürüş tecrübesi, ehliyet sınıfı, varsa kullanılan araç, emniyet kemeri kullanım durumu, araç kullanım süresi, araç multimedya sistemleri ile ilgilenme durumları, araç içerisinde telefon kullanımı, sigara kullanımı, alkol kullanımı, araç bakım sıklığı, gözlük kullanımı, yorgunluk durumları, kronik hastalıkları ve spor yapıp yapmadıkları gibi günlük hayatın olağan akışında yer alan pek çok etken ile ilgili durumları için EK A'da yer alan mini bir anket doldurulması sağlanmıştır. Ankete verilen cevaplar değerlendirilerek çeşitli kategoriler oluşturulmuştur. Deneklerin rastgele ve gönüllük esasına göre katılım sağlanmıştır.

Ayrıca literatür taraması ve ön testlerden elde edilen veriler doğrultusunda farklı sürücü koşullarındaki reaksiyon süreleri incelenmiş ve gerçekleştirilen çalışma

için hedef olarak Çizelge 3.4'teki tabloda yer alan reaksiyon süresi aralıkları belirlenmiştir.

**Çizelge 3.4.** Farklı koşullar için sürücülerin tepki süreleri

<b>Reaksiyon Süresi (saniye)</b>	<b>Sürücü</b>
0,6 - 0,7	Sürücü dikkatli, odaklanmış, uyarı bekliyor ve fren yapmaya hazır
0,7 - 0,9	Sürücü dikkatli, ancak bir uyarı beklemiyor
1,0 - 1,2	Sürücü dikkatini araç kullanmayla ilgili diğer etkinliklere odaklamıştır (sürme, önleme, kaldırım gözlemi)
1,4 - 1,8	Sürücü dikkatsiz (dalgın olma, farklı uyarılarla ilgilenme vs.)
1,6 - 2,4	Sürücünün rahatsız olması (alkol, uykusuzluk, hastalık, yorgunluk vb.)

Sonuç olarak, tez çalışması kapsamında sürüş testlerinde simülatörden alınan veriler analiz edilmiş, bu doğrultuda hazırlanan ve 4. bölüm başlığı altında sunulan grafikler yorumlanarak özetlenmiştir. Şekil 3.17'de nihai test sürüş simülatörüne ait şematik çizim verilmiştir.



**Şekil 3.17.** Nihai sürüş simülatorüne ait Şematik Görünüm

### 3.4. Veri Analizi

Tez çalışması kapsamında, farklı yaş guruplarına sahip 21 adet kadın ve 49 adet erkek olmak üzere toplam 70 adet sürücü ile sürüş testleri gerçekleştirilmiştir. Testler öncesi ise uygulanan anket çalışmasında denek sürücüye ait farklı kategorilerdeki genel bilgiler kısa bir anket çalışması ile kayıt altına alınmıştır. Bu bilgiler: eğitim durumu, meslek durumu, yaş ve sürüş yılı tecrübesi, günlük araç kullanım süresi, evli/çocuklu veya bekar durumu, yorgunluk-dinlenmişlik durumu, spor alışkanlık durumu, kronik rahatsızlık durumu, sigara kullanım durumu, sürüş esnasında cep telefonu ve/veya CD çalar/TV benzeri iletişim/eğlence donanımlarını kullanım durumu şeklinde kategorize edilmiştir. Denek sürücülere ait durumlar ve sürüş şartlarına ilişkin ham bilgiler ile sürücü reaksiyon sürelerinde meydana gelen değişimler irdelenmiştir. Bundan dolayı, anket sonuçları ve gerçekleştirilen sürüş testlerinden elde edilen sonuçların birlikte anlamlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için, Aritmetik Ortalama (AO) ve Standart Sapma ( $\sigma_{SRS}$ ) olarak adlandırılan istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı veri analizi yapılmıştır. Veri analizi, bir veri kümesindeki bilgileri anlamak, yorumlamak ve değerlendirmek amacıyla yapılan bir süreçtir. Temel adımları ise şu şekildedir:

- Veri toplama ilgili veriyi toplamak, anketler, sensörler veya diğer kaynaklardan veriyi edinmek anlamına gelir.
- Veri temizleme veriyi inceleyerek eksik, hatalı veya tutarsız verileri düzeltmek ve temizlemek.
- Veri keşfi ve tanımlayıcı istatistiklerde ise temel istatistiksel ölçümleri kullanarak veriyi anlamak, örneğin ortalama, medyan, standart sapma gibi.
- Veri görselleştirme ile grafikler, tablolar veya haritalar gibi görsel araçlar kullanarak veriyi görselleştirmek.
- Hipotez testi ve istatistiksel analiz belirli bir soruya cevap bulmak veya varsayımları test etmek için istatistiksel analizler yapmak.
- Modelleme ve tahmin veri setindeki desenleri anlamak ve gelecekteki olayları tahmin etmek için istatistiksel modeller kurmak.

- Sonuçların yorumlanması ve raporlama elde edilen sonuçları anlamak, yorumlamak ve bulguları bir rapor halinde sunmak.

Bu adımlar, veri analiz sürecini genel olarak ifade eder. Fakat, bu süreç soruna bağlı olarak değişebilir.  $\sigma_{\text{SRS}}$  ise Denklem 3.20 ile hesaplanır.

$$\sigma_{\text{SRS}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.20)$$

burada; n veri sayısını,  $X_i$  örneklemin aritmetik ortalamasını,  $(X_i - \bar{X})$  her ölçümün aritmetik ortalamadan olan farkını simgeler. Aritmetik ortalama değeri ise Denklem 3.21 ile hesaplanır.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.21)$$

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Nihai sürüş simülöründe sürüş testlerine başlamadan önce ilk olarak, EK A'da yer alan ve 20 sorudan oluşan bir anket sürüş testine seçilen deneklere doldurtulmuştur. Hazırlanan ankete verilen cevaplar değerlendirilerek çeşitli kategoriler oluşturulmuştur. Katılım sağlayan deneklerden 21'i kadın ve 49'u erkek olmak üzere toplam 70 kişiden oluşan farklı niteliklerde sürücülerin reaksiyon süreleri test edilmiştir. Test sürüşüne seçilen denekler hakkındaki detaylı bilgiler Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

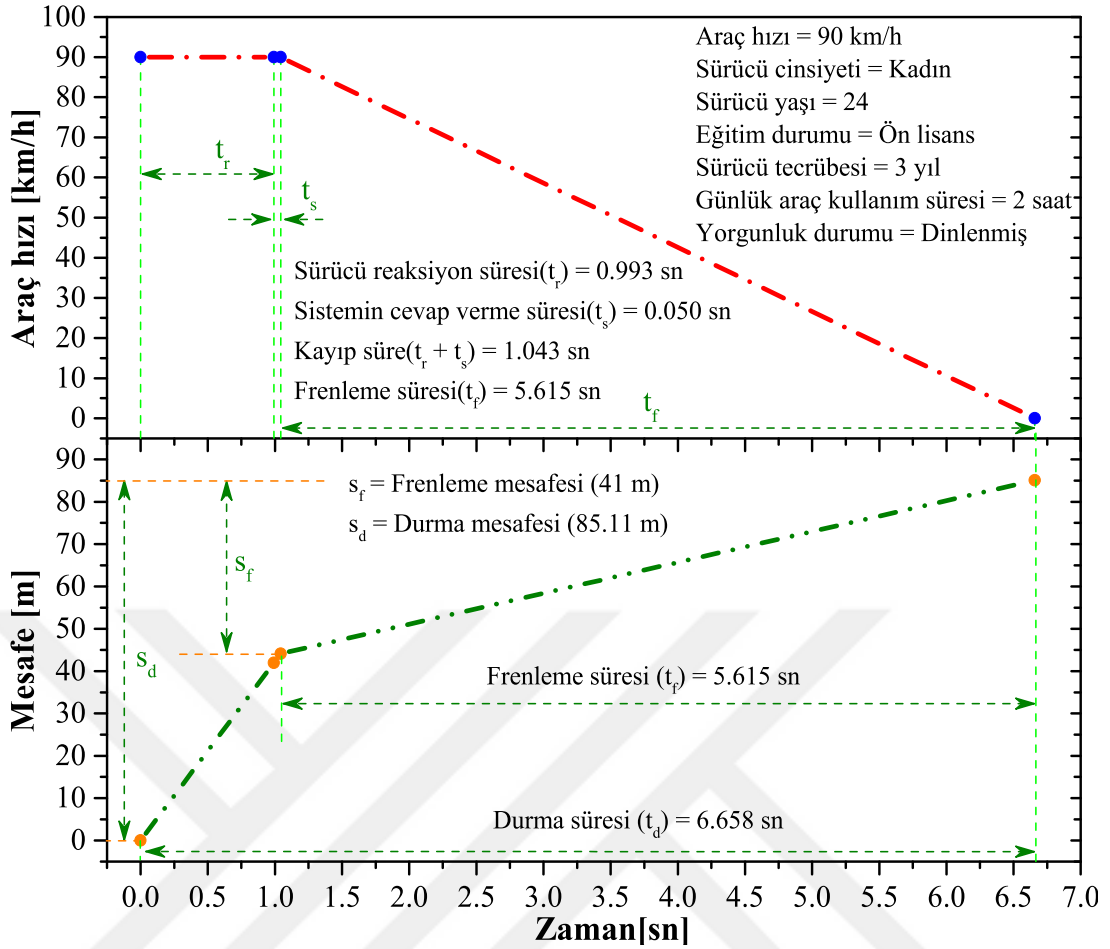
Çizelge 4.1. Denek sürücülere ait bazı bilgiler

Sürücüler için Kategoriler	Grup	Sürücü sayısı (Erkek / Kadın)	Yaş Aralığı (Erkek / Kadın)	Oran (%) (Erkek / Kadın)
Cinsiyet	Erkek/ Kadın	49/21	15-68/17-52	70/30
Eğitim durumu	İlkokul	5 Erkek / 0 Kadın	34-68/0-0	100/0
	Lise	19 Erkek / 6 Kadın	15-57/17-33	76/24
	Ön lisans	6 Erkek / 2 Kadın	26-54/24-33	75/25
	Lisans	13 Erkek / 10 Kadın	18-51/19-35	56,5/43,5
	Yüksek Lisans	2 Erkek / 2 Kadın	29-35/38-52	50/50
	Doktora	4 Male / 1 Kadın	35-45/45	75/25
Meslek durumu	İşsizler	3 Erkek / 4 Kadın	18-35/18-27	42,9/57,1
	Özel sektör	16 Erkek / 10 Kadın	16-68/18-52	61,5/38,5
	Emekli	4 Erkek / 0 Kadın	51-61/0-0	100/0
	Kamu sektörü	15 Erkek / 2 Kadın	27-47/23-45	88,2/11,8
	Öğrenci	11 Erkek / 5 Kadın	15-29/17-28	68,8/31,2
Sürüş deneyimi (yıl)	0 - 10	25 Erkek / 16 Kadın	15-40/17-45	61/39
	11 - 20	15 Erkek / 5 Kadın	35-68/33-52	75/25
	21 - 41	9 Erkek / 0 Kadın	47-64/0-0	100/0

Günlük araç kullanım süresi (saat)	0 - 4	42 Erkek / 20 Kadın	15-68/17-52	67,7/32,3
	5 - 9	4 Erkek / 1 Kadın	29-35/38	80/20
	10 - 13	3 Erkek / 0 Kadın	34-64/0	100/0
Evlilik / çocuk durumu	Bekar	20 Erkek / 12 Kadın	15-53/17-52	62,5/37,5
	Evli	29 Erkek / 9 Kadın	27-68/25-45	76,3/23,7
Kronik hastalık durumları	Hayır	41 Erkek / 11 Kadın	15-64/17-52	78,4/21,6
	Evet	7 Erkek / 4 Kadın	26-68/18-33	63,6/36,4
Gözlük kullanım durumu	Hayır	36 Erkek / 11 Kadın	15-64/18-45	76,6/23,4
	Evet	14 Erkek / 10 Kadın	17-68/17-52	58,3/41,7
Sürücü yorgunluk durumu	Dinlenmiş	41 Erkek / 11 Kadın	15-64/17-52	78,8/21,2
	Yorgun	8 Erkek / 10 Kadın	19-68/18-38	44,4/55,6
Sigara içme durumu	Hayır	26 Erkek / 10 Kadın	15-64/17-52	72,2/27,8
	Evet	23 Erkek / 11 Kadın	17-68/22-33	67,6/32,4
Spor yapma durumu	Hayır	18 Erkek / 11 Kadın	23-68/17-52	62,1/37,9
	Evet	31 Erkek / 10 Kadın	15-64/18-52	75,6/24,4
Sürüş sırasında cep telefonu kullanım alışkanlıkları	Hayır	25 Erkek / 6 Kadın	15-64/18-45	80,6/19,4
	Evet	24 Erkek / 15 Kadın	15-68/18-52	61,5/38,5
Sürüş sırasında CD çalar/TV kullanım alışkanlıkları	Hayır	19 Erkek / 6 Kadın	15-64/18-52	76/24
	Evet	30 Erkek / 15 Kadın	15-68/17-33	66,7/33,3
Sürüş sırasında emniyet kemeri kullanım alışkanlıkları	Hayır	9 Erkek / 5 Kadın	15-68/18-35	64,3/35,7
	Evet	40 Erkek / 16 Kadın	15-64/17-52	71,4/28,6

Şekil 4.1’de örnek bir nihai sürüş simülatörü testinde, frenleme esnasında zamana bağlı araç hızının ve mesafenin (frenleme ve durma) değişimi verilmiştir. Örnek sürüş simülatörü testi; 24 yaşında, ön lisans mezunu, 3 yıllık sürüş tecrübesine sahip ve testler sırasında dinlenmiş durumda olduğunu belirten bir

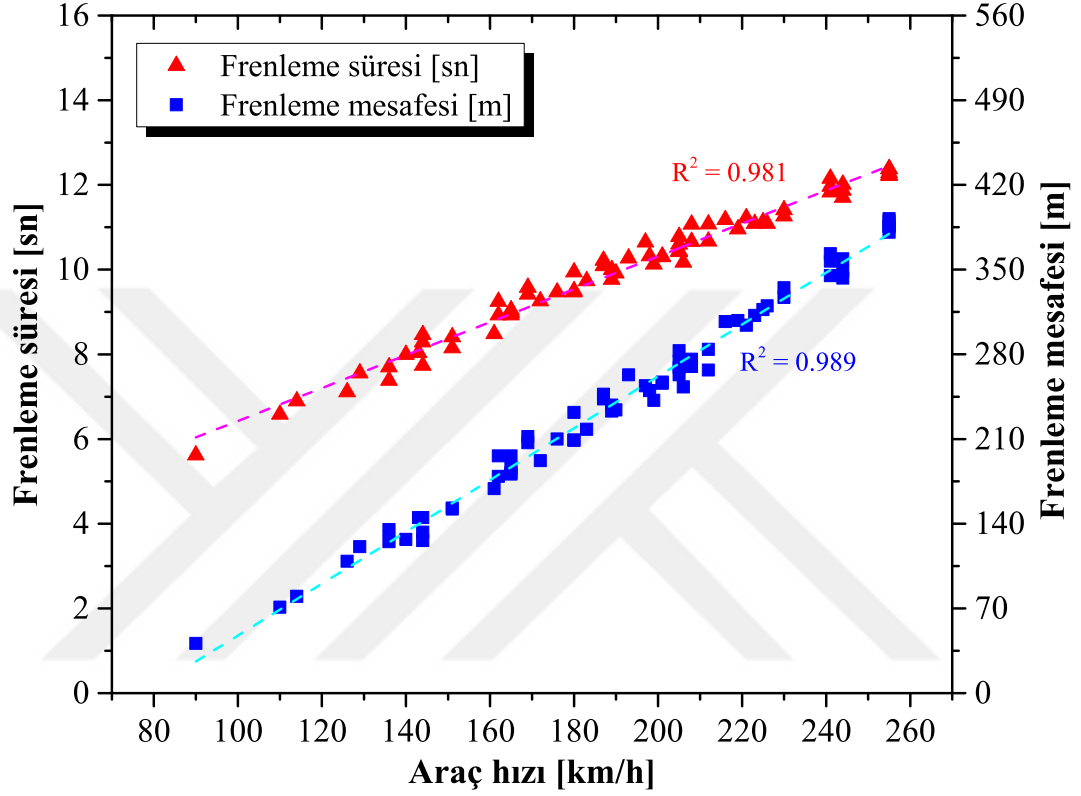
kadın sürücüye aittir. Test öncesinde, nihai sürüş simülatörü genel hatları ile sürücüye tanıtıldı, sürücüye ait bilgi anketi dolduruldu ve sürücü sürüş esnasında karşısına çıkacak olası bir engelin bir dış uyaran tarafından sesli olarak kendisine bildirileceği belirtildi. Sürücü tarafından, araç hızı 90 km/h'e ulaştığında sesli olarak testi gerçekleştiren kişi tarafından sesli olarak uyarılarak frenleme performansı nihai sürüş simülatörü tarafından kaydedildi. Gerçekleştirilen sürüş simülatörü testinde, kadın sürücünün 0,993 sn reaksiyon süresi ( $t_r$ ) olduğu tespit edildi. Nihai sürüş simülatörünün mekanik, elektrik-elektronik, görselleştirme ekipmanalar ile birlikte yazılımından kaynaklı olan ve tüm testler için sabit alınan 0,050 sn sistemin cevap vermesi süresinin ( $t_s$ ) toplamını oluşturan kayıp süre ( $t_k$ ) 1,043 sn'dir. Kayıp sürenin dışında kalan ve araç hızının sıfır olduğu ana kadarki frenleme süresi ( $t_f$ ) 5,615 sn'dir. Kayıp süre ve frenleme süresinin toplamını oluşturan toplam durma süresi ( $t_d$ ) 6,658 sn'ye karşılık gelmektedir. Frenleme esnasında ortaya çıkan süreler dikkate alındığında; aracın fiziksel olarak frenleme şartlarının ortaya çıkmadığı kayıp süre ( $t_k$ ) içerisinde 90 km/h hızla 1.043 sn boyunca kat ettiği mesafe 44.11 ve fiziksel frenleme şartlarının ortaya çıktığı andan araç hızı sıfıra ulaşana kadar geçen frenleme mesafesinde ( $s_f$ ) araç 41 metre yol kat etmiştir. Dolayısıyla, teste katılan 24 yaşındaki kadın sürücünün 90 km/h hızda karşısına bir engelin çıkması ile araç hızının sıfıra ulaşana kadarki frenleme performansı boyunca (toplam durma mesafesi- $s_d$ ) araç 85,11 metre yol ket etmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen nihai sürüş simülatöründe gerçekleştirilen örnek bir sürüş testi sırasındaki frenleme performansından ortaya çıkan yukarıdaki sonuçlar, teste katılan sürücünün fizyolojik ve ruhsal durumunun yanında sürüş sırasında ve gündelik hayattaki diğer alışkanlıklarına bağlı olarak değişik gösterecektir. Tabi ki burada, sürücüye bağlı değişkenlerin dışında araç ve yola bağlı değişkenler ve araç hızı frenleme performansını etki eden diğer önemli parametrelerdir. Özellikle yüksek hızlarda frenleme süresi ( $t_f$ ) ve bu süre içerisinde aracın kat ettiği mesafe, sürücü reaksiyon süresi ( $t_s$ ) ve sistemin cevap verme süresinin ( $t_s$ ) toplamından oluşan kayıp süre ( $t_k$ ) ve kayıp süre içerisinde aracın kat ettiği mesafeden daha yüksek değerlere ulaşacaktır.



**Şekil 4.1.** Örnek bir nihai sürüş simülasyonu testinde, frenleme esnasında zamana bağlı araç hızının ve mesafenin (frenleme ve durma) değişimi

Şekil 4.2’de farklı araç hızlarında frenleme süresi ve mesafesinin değişimi göstermektedir. Şekil 4.2, çalışma kapsamında geliştirilen nihai sürüş simülasyonunda, testlere katılan farklı özelliklere sahip toplam 70 adet sürücü ile farklı araç hızlarında gerçekleştirilen testlerden elde edilen sürücü reaksiyon süresi ve sistemin cevap verme süresinin dışında kalan fiziksel frenleme şartlarının oluşturduğu frenleme süresi ve frenleme mesafesi göstermektedir. Dolayısıyla Şekil 4.2, geliştirilen nihai sürüş simülasyonunun, araç hızının değişimine bağlı olarak frenleme mesafesi ve frenleme süresinin doğruluğunu test etmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi araç hızı ile frenleme süresi ve frenleme mesafesinin lineere oldukça yakın bir eğri ile artış göstermektedir. Frenleme süresi için root mean square ( $R^2$ ) değeri 0.981 iken frenleme mesafesi için  $R^2=0.989$ ’dur. 90 km/h hızda frenleme süresi 5.615 sn ve mesafesi 41 metre iken, 255 km/h hızda frenleme süresi 12.386 sn ve frenleme süresi 386 metredir.

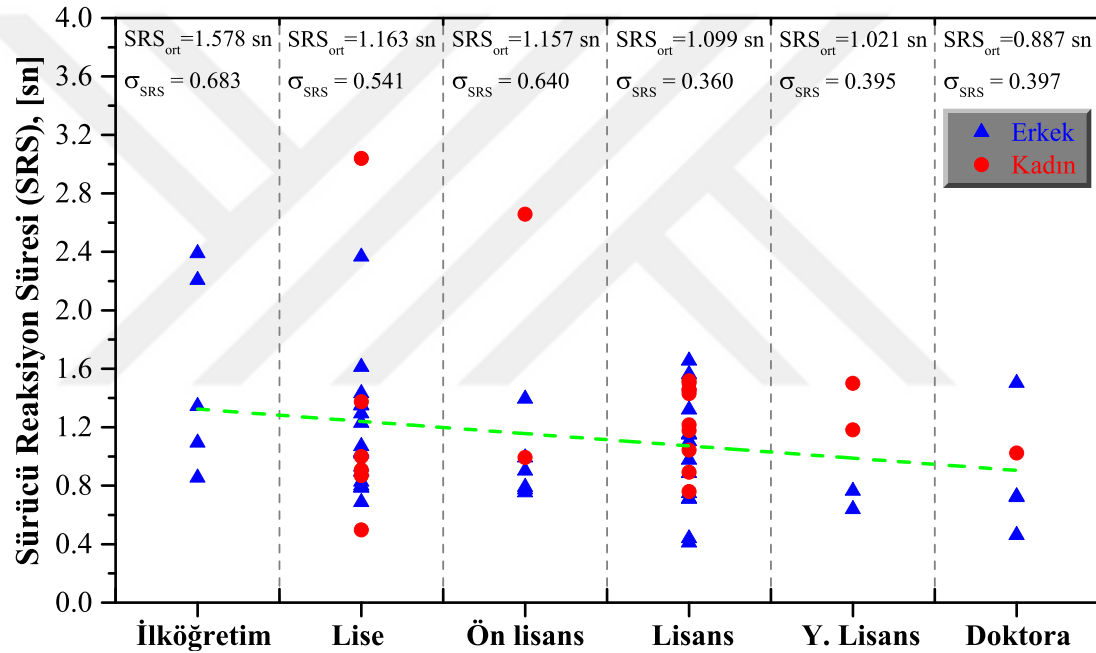
Durma süresine( $t_d$ ) etki eden sürücü reaksiyon süresi ( $t_r$ ) ve sistemin cevap verme süresi( $t_s$ ) dışında kalan frenleme süresi( $t_b$ ) dikkate alındığında, taşıt hızının frenleme süresi ve mesafesine etkisinin oldukça yüksek olduğu ve özellikle yüksek hızlarda frenleme süresinin kayıp süreden ( $t_k$ ) daha yüksek değerler alacağı açıktır.



**Şekil 4.2.** Farklı araç hızlarında frenleme süresi ve mesafesinin değişimi

Şekil 4.3'te öğrenim gruplarına göre sürücü reaksiyon sürelerinin değişimini verilmiştir. Nihai sürüş simülatörü testleri, 21 adet kadın ve 49 adet erkek sürücüden oluşan toplam 70 adetlik bir örneklem gurubuna sahiptir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın teste katılan sürücülerin eğitim durumlarına göre oluşturulan gruplandırma da sürücülerin 5 adeti ilköğretim, 25 adeti lise, 8 adeti ön lisans, 23 adeti lisans, 4 adeti yüksel lisans, 5 adeti doktora eğitimine sahiptir. Şekil 4.3'ten açıkça görülebileceği teste katılan sürücülerin eğitim durumları ile reaksiyon sürelerinde dikkate değer bir değişim olduğu görülmektedir. İlköğretim düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1,578 sn, lise düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1,163 sn, ön lisans düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1,157

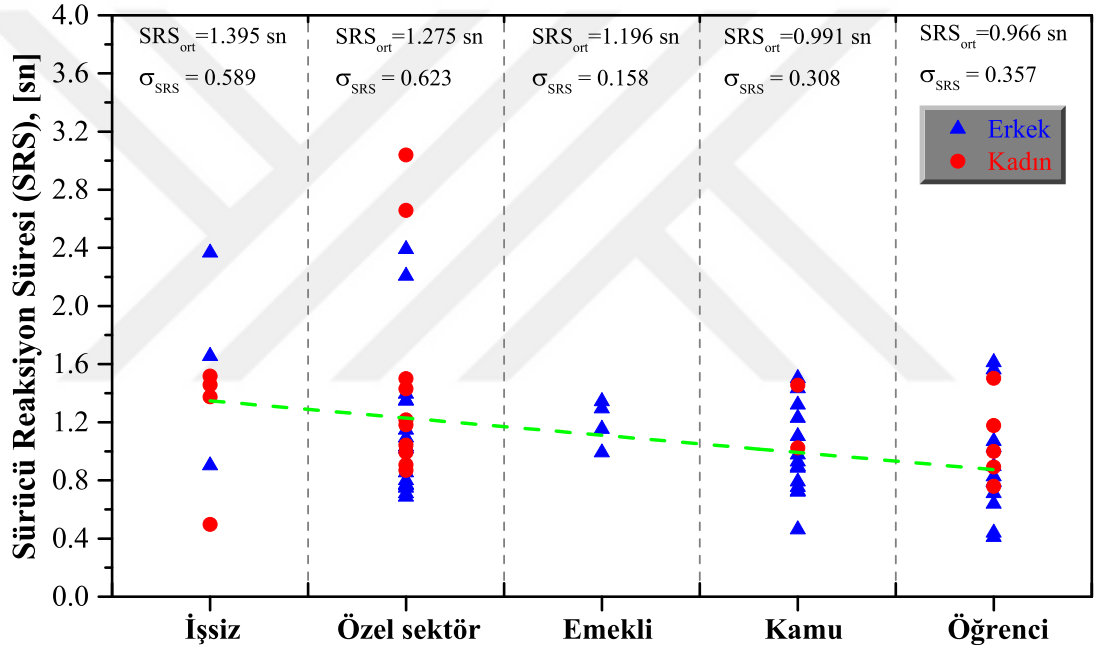
sn, lisans düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1,099 sn, yüksek lisans düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.021 sn ve doktora düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 0.887 sn'dir. Sürücülerin eğitim düzeyleri artıkça reaksiyon süresi kısalmaktadır. Aynı zamanda, aynı eğitim düzeyine sahip sürücü guruplarının reaksiyon sürelerinin standart sapma ( $\sigma_{SRS}$ ) değerlerinde de dikkate değer bir azalma ortaya çıkmaktadır. Örneğin, ilköğretim düzeyinde eğitime sahip sürücü gurubun reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,683 iken doktora eğitimine sahip sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,397'dir.



**Şekil 4.3.** Öğrenim guruplarına göre sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.4'te meslek guruplarına göre sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın teste katılan toplam 70 adet sürücünün meslek durumlarına göre oluşturulan gruplandırma da sürücülerin 7 adeti işsiz, 26 adeti özel sektör çalışanı, 4 adeti emekli, 17 adeti kamu çalışanı, 16 adeti öğrencidir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın yapılan testler sonucunda reaksiyon süresinin meslek guruplarına göre değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Herhangi bir mesleği olmayıp henüz öğrenci olan grupta sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 0.966 sn, kamu personeli olarak görev yapan sürücülerin ortalama

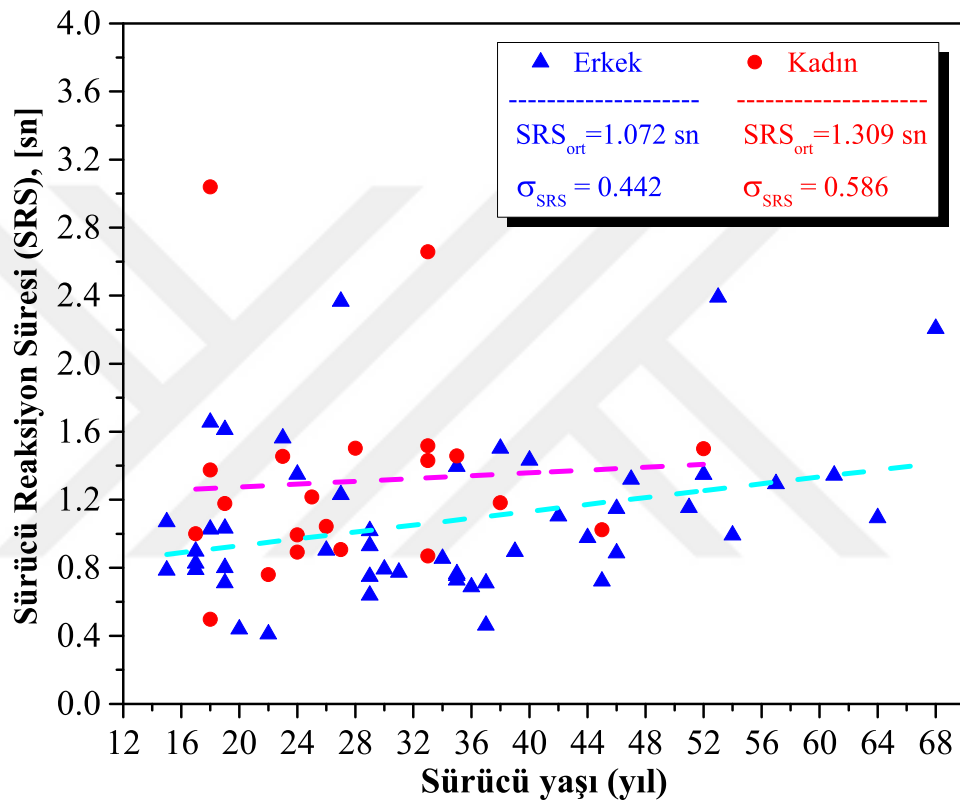
reaksiyon süresi 0.991 sn, emekli olan sürücülerimizin ortalama reaksiyon süresi 1.196 sn, özel sektörde görev yapan sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.275 sn, herhangi bir işi olmayan sürücülerin ortalama reaksiyon süresi ise 1.395 sn'dir. En yüksek ortalama reaksiyon süresi herhangi bir işi olmayan sürücülere ait iken, öğrenciler en düşük ortama reaksiyon süresine sahiptir. Aynı zamanda, aynı meslek grubunda olan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma ( $\sigma_{SRS}$ ) değerlerinde de dikkate değer bir azalma ortaya çıkmaktadır. Örneğin, emekli olarak hayatına devam eden sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.158 iken işsiz olarak hayatına devam eden sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,589'dur.



**Şekil 4.4.** Meslek guruplarına göre sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.5'te sürücü yaşı ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testine katılan toplam 70 adet sürücüden, 17 ile 52 yaş aralığındaki 21 adet kadın ve 15 ile 68 yaş aralığındaki 40 adet erkek sürücünün reaksiyon sürelerinin ayrı ayrı değerlendirildiği Şekil 4.5'te görüldüğü gibi hem kadın hem de erkek sürücülerin artan yaş ile reaksiyon sürelerinde artış gerçekleşmiştir. Bu durumun ana sebebi, artan sürücü yaşı ile fiziksel aktivitelerdeki yavaşlamadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kadın sürücülerin reaksiyon sürelerinin erkek sürücülerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Teste katılan farklı yaş

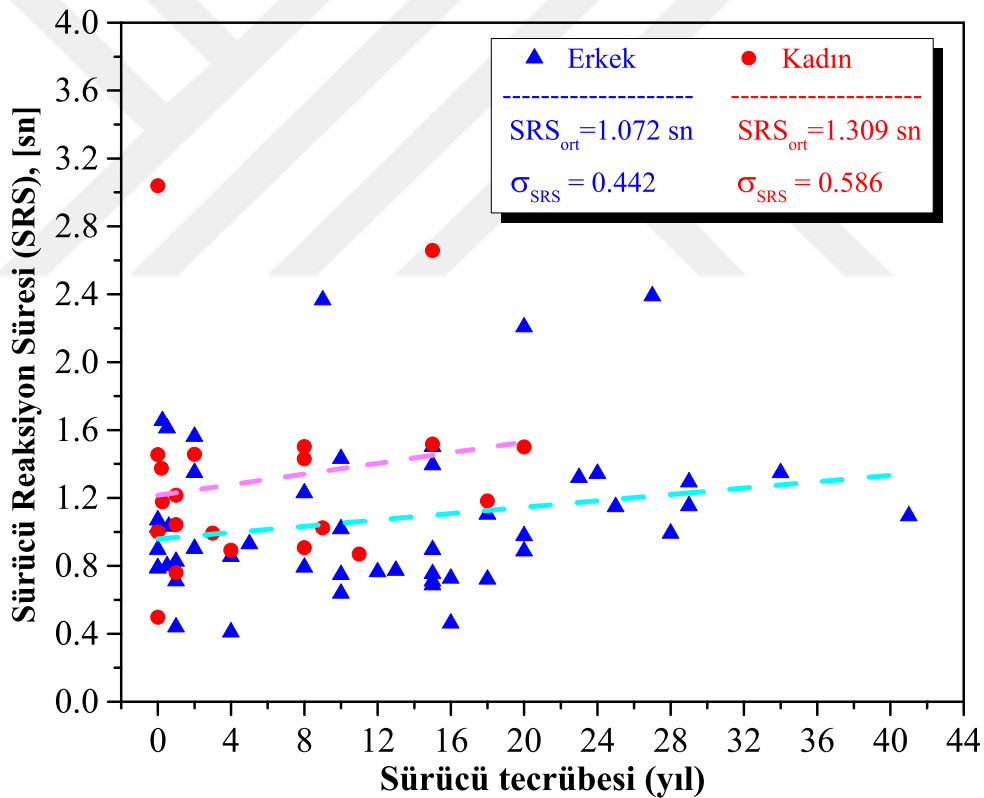
guruplarındaki 21 kadın sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi( $t_r$ ) 1.309 sn iken, teste katılan farklı yaş guruplarındaki erkek sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi( $t_r$ )1.072 sn olmuştur. Burada dikkati çeken bir diğer önemli sonuç, kadın sürücülerde artan yaş ile reaksiyon sürelerindeki artış erkek sürücülerden daha düşüktür. Aynı zamanda, 49 adet erkek sürücünün reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.442 iken 21 adet kadın sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,586'dır.



Şekil 4.5. Sürücü yaşı ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.6'da sürücü tecrübesi ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testine katılan toplam 70 adet sürücünden, 17 ile 52 yaş aralığındaki 21 adet kadın ve 15 ile 68 yaş aralığındaki 40 adet erkek sürücünün sürüş tecrübesine göre reaksiyon süresinin değişiminin incelendiği Şekil 4.6'da kadın sürücülerin sürücü tecrübe yılının 0-20 yıl arasında, erkek sürücülerin ise sürüş tecrübe yılının 0-41 yıl aralığında değişmektedir. Testlere katılan sürücüler arasında ehliyeti olan ancak aktif olarak araç kullanmayan 5 adet erkek ve 6 adet kadın sürücü bulunmaktadır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi teste katılan hem kadın hem de erkek sürücülerin tecrübe yılı ile sürücü reaksiyon sürelerinin arttığı

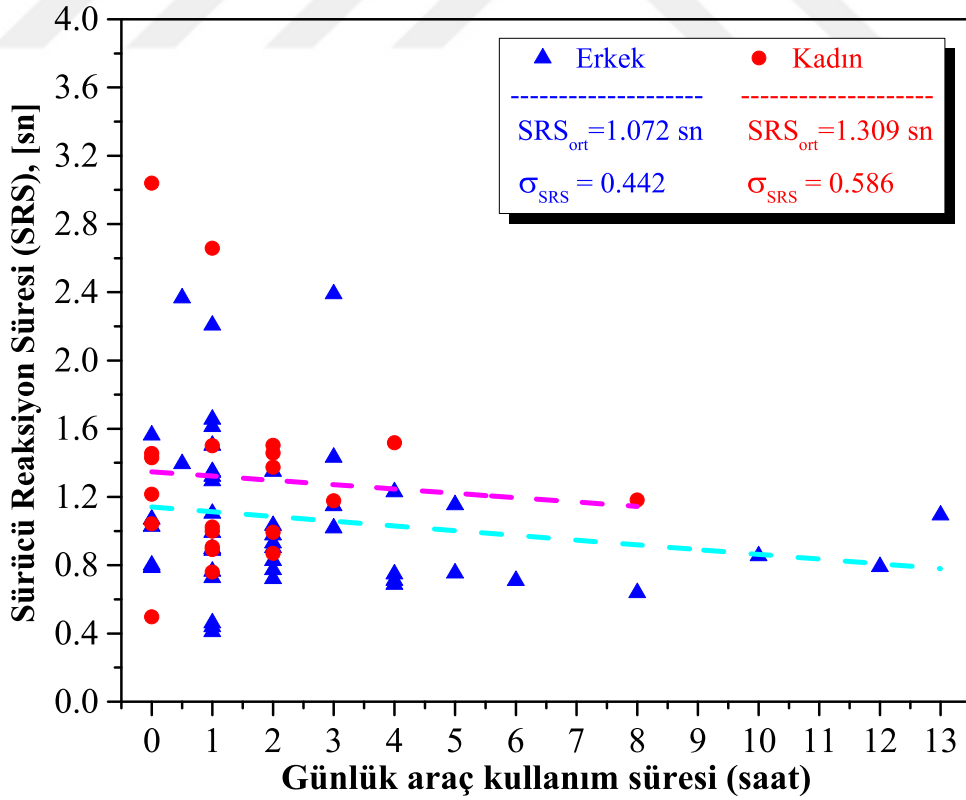
görülmektedir. Bu durumun ana sebebi, sürüş yılı tecrübesinin sürücülerin yaşları ile orantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, ülkemizde 18 yaş olan ehliyet alma sınırı dikkate alındığında, sürücülerin sürüş yılı tecrübesinin artması ile sürücü yaşları da artmakta, yaşla birlikte azalan fiziksel aktivitelerdeki yavaşlama reaksiyon süresine yansımakta ve reaksiyon süresinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, aynı örnek gurubu için yapılan test sonuçlarına göre sürücü yaşı ile sürücü tecrübe yılının ortalama reaksiyon süreleri de aynı olmaktadır. Erkek sürücülerin sürücü reaksiyon süresi ortalaması 1.072 sn iken, kadınların sürücü reaksiyon süresi ortalaması 1.309 sn'dir. Benzer şekilde, erkek sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.442 iken kadın sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,586 olmuştur.



**Şekil 4.6.** Sürücü tecrübe yılının ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

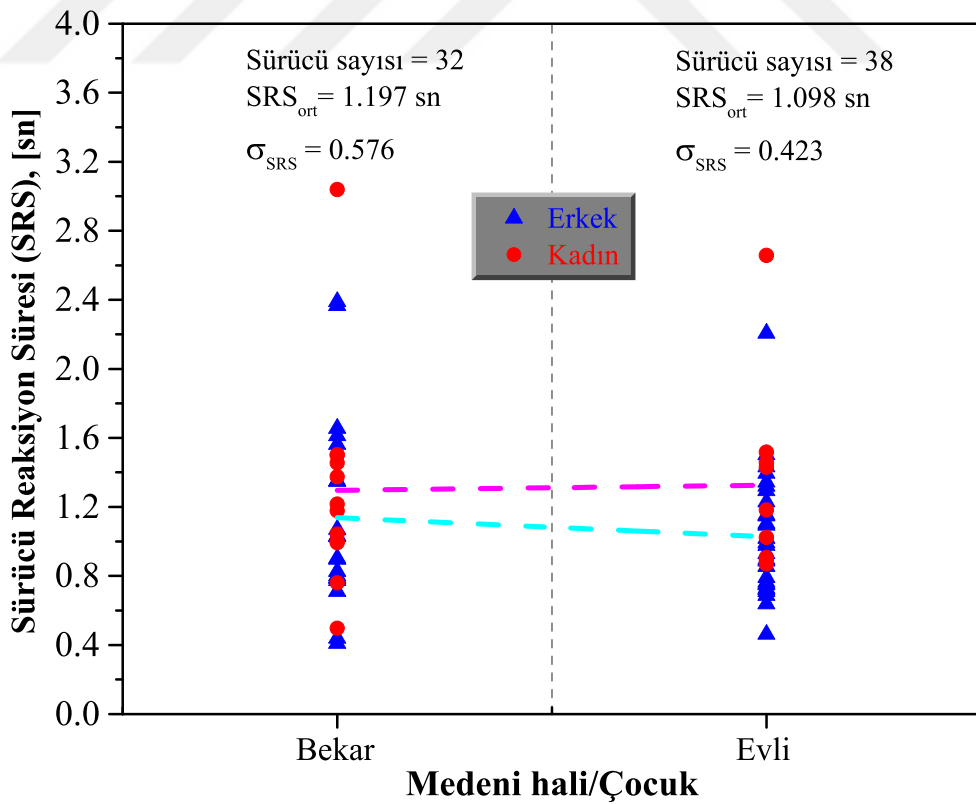
Şekil 4.7'de günlük araç kullanım süresi ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş simülatörü testine katılan 21 kadın sürücünün günlük araç kullanım süresi 0 ile 8 saat arasında değişiyor iken, erkek sürücülerin günlük araç kullanım süreleri 0 ile 13 arasında değişmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde

teste katılan hem erkek hem de kadın sürücülerin reaksiyon süreleri günlük araç kullanım süresi ile yaklaşık olarak aynı oranda azalmaktadır. Sürücü yaşı ve sürücü tecrübe yılından bağımsız olarak değerlendirilen bu örnek gurubunun sonuçları, gün içerisinde daha fazla araç kullanımına sahip sürücülerin kazandıkları tecrübe ve sürüş alışkanlığı ile frenleme esnasında daha kısa sürücü reaksiyon süresine sahip olduklarını göstermektedir. Burada dikkati çeken önemli bir sonuç, günlük ortalama 8 saat araç kullanan bir erkek sürücünün reaksiyon süresi yaklaşık olarak 0.639 sn iken, günlük 8 saat araç kullanan kadın sürücünün reaksiyon süresinin 1,182 sn olmasıdır. Sürücü yaşı ve sürücü tecrübesi ile aynı örnek gurubuna sahip sürücüler değerlendirildiğinden ortalama sürücü reaksiyon süresi ve standarttan sapma değerleri aynı değerlere sahiptir. Erkek sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.072 sn iken, kadın sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.309 sn'dir. Benzer şekilde, erkek sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.442 iken, kadın sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,586'dır.



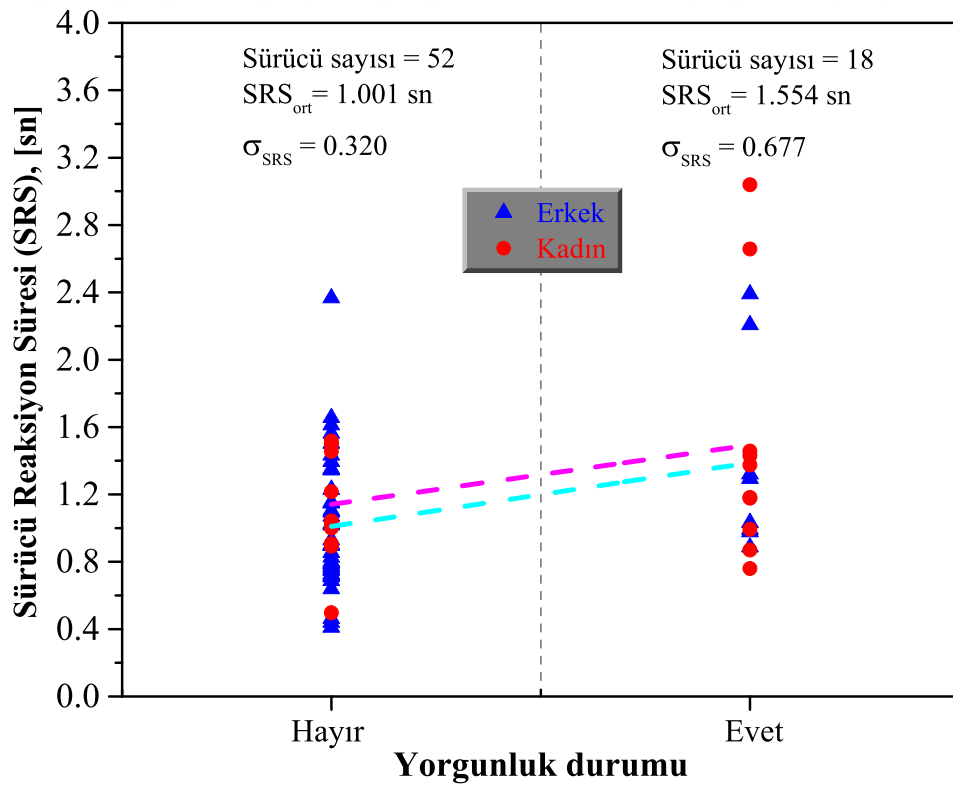
Şekil 4.7. Günlük araç kullanım süresi ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.8’de sürülerin medeni hali/çocuk durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 9 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 29 adeti olmak üzere toplam 38 adet sürücü evli/çocuk sahibi ve 32 adet sürücü bekarıdır. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın yapılan testler sonucunda reaksiyon süresinin sürücünün medeni durumuna (evli/çocuk sahibi) göre değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Medeni haline evli/çocuk sahibi olan sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.098 sn iken, bekar olan sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.197 sn’dir. Dolayısıyla, sürücülerin medeni halinin (evli/çocuk sahibi), sürücü reaksiyon süresi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu, evli/çocuk sahibi olmanın sürücüyü daha sorumlu ve dikkatli sürüşe yöneldiği görülmektedir. Aynı zamanda, evli/çocuk sahibi sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma ( $\sigma_{SRS}$ ) değerleri de bekar sürücülerden dikkate değer oranda daha düşük olduğu görülmektedir. Bekar olan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.576 iken, evli olan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,423’tür.



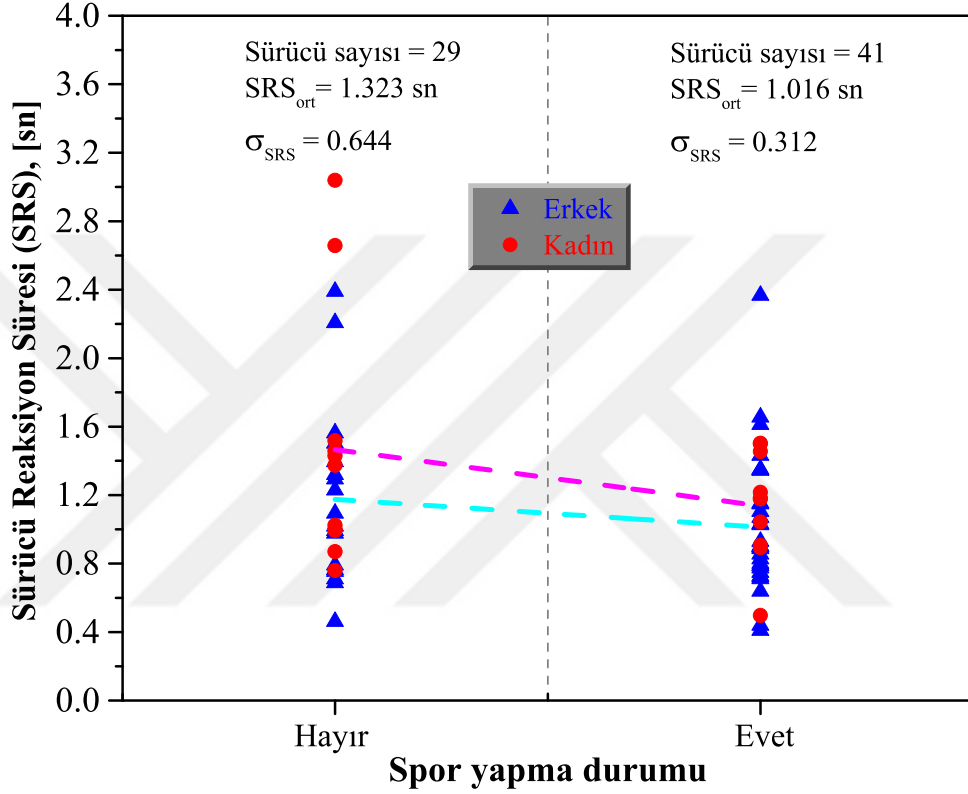
**Şekil 4.8.** Sürülerin medeni hali/çocuk durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.9'da sürücülerin yorgunluk durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında o anlık yorgunluk durumu sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 10 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 8 adeti olmak üzere toplam 18 adet sürücü yorgun olduğunu, 52 adet sürücü ise dinlenmiş durumda olduğunu belirtmiştir. Nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerin yorgunluk durumuna göre sürücü reaksiyon sürelerinin değiştiği, yorgun olduğunu belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin dinlenmiş olduğunu belirten sürücülerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Yorgun olduğunu belirten toplam 18 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.554 sn iken, dinlenmiş durumda olduğunu belirten 52 adet sürücünün ortalama reaksiyon süresi 1.001 sn'dir. Aynı zamanda, dinlenmiş olduğunu belirten sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, yorgun olduğunu belirten sürücü gurubundan oldukça düşüktür. Yorgun olduğunu belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.677 iken dinlenmiş durumda olan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,320'dir.



Şekil 4.9. Sürücülerin yorgunluk durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.10'da sürücülerin spor yapma durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında spor yapma durumu sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 10 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 31 adeti olmak üzere toplam 41 adet sürücü spor yaptığını, 29 adet sürücü ise spor yapmadığını belirtmiştir.

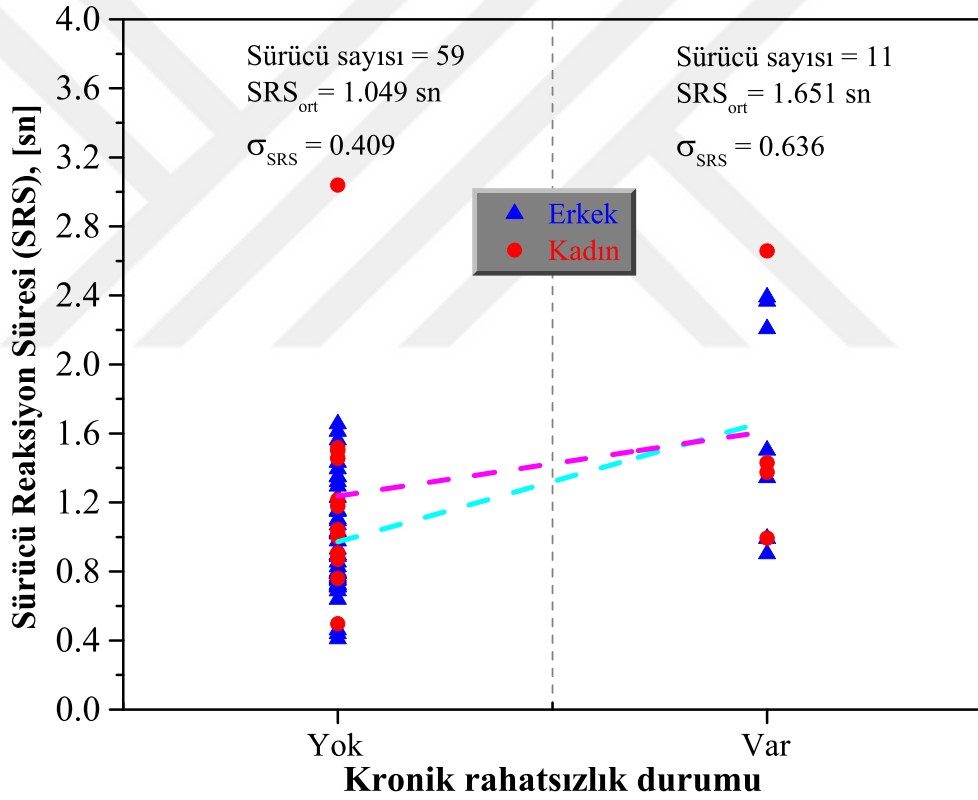


**Şekil 4.10.** Sürücülerin spor yapma durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.10'da nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerin spor yapma durumuna göre sürücü reaksiyon sürelerinin değiştiği, spor yaptığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin spor yapmadığını belirten sürücülerden daha düşük olduğu görülmektedir. Spor yaptığını belirten toplam 41 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.016 sn iken, spor yapmadığını belirten 29 adet sürücünün ortalama reaksiyon süresi 1.323 sn'dir. Aynı zamanda, spor yaptığını belirten sürücü grubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, spor yapmadığını belirten sürücü grubundan oldukça düşüktür. Spor yaptığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart

sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.312 iken spor yapmadığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,644 olmuştur.

Şekil 4.11’da sürücülerin kronik rahatsızlık durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında herhangi bir kronik rahatsızlıklarının olup olmadığı sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 4 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 7 adeti olmak üzere toplam 11 adet sürücü herhangi bir kronik rahatsızlığının olduğunu belirtirken, 49 adet sürücü herhangi bir kronik rahatsızlığının olmadığını belirtmiştir.

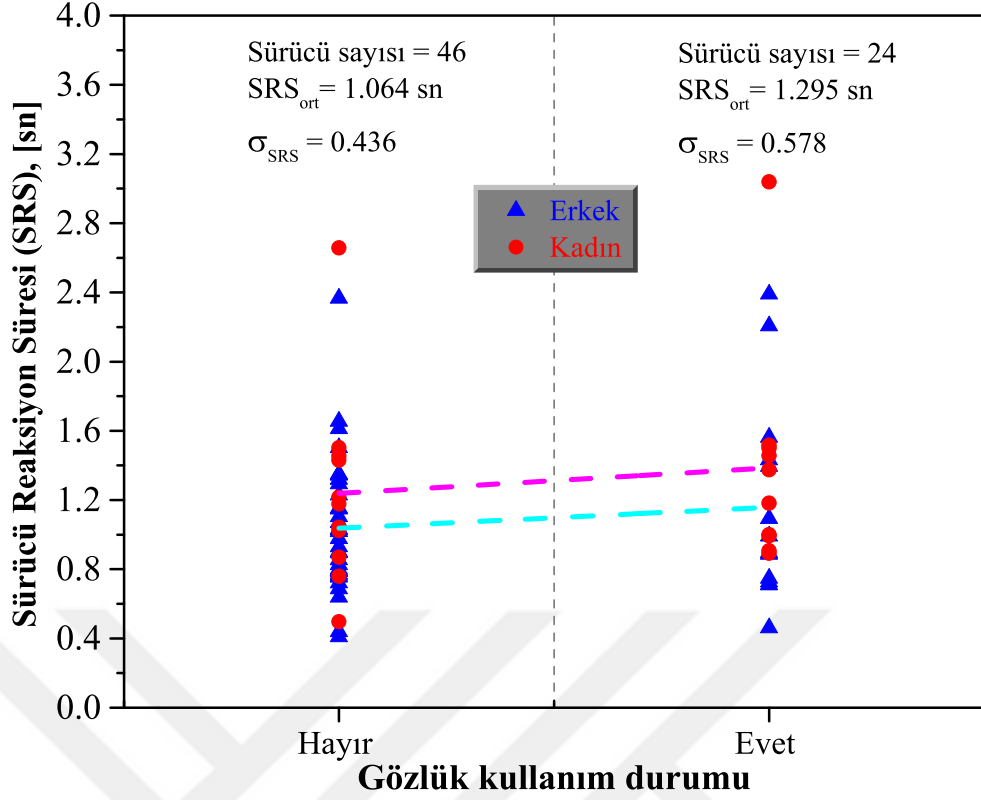


**Şekil 4.11.** Sürücülerin kronik rahatsızlık durumu ile reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.11'e göre, nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerin kronik rahatsızlık durumuna göre sürücü reaksiyon sürelerinin değiştiği, herhangi bir kronik rahatsızlığının olduğunu belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin herhangi bir kronik rahatsızlığının olmadığını belirten sürücülerden

daha yüksektir. Herhangi bir kronik rahatsızlığının olduğunu belirten 11 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.651 sn iken, herhangi bir kronik rahatsızlığının olmadığını belirten 49 adet sürücünün ortalama reaksiyon süresi 1.049 sn'dir. Aynı zamanda, herhangi bir kronik rahatsızlığının olmadığını belirten sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, herhangi bir kronik rahatsızlığının olduğunu belirten sürücü gurubundan oldukça düşüktür. Herhangi bir kronik rahatsızlığı olmayan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.409 iken herhangi bir kronik rahatsızlığı olan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,636 olmuştur.

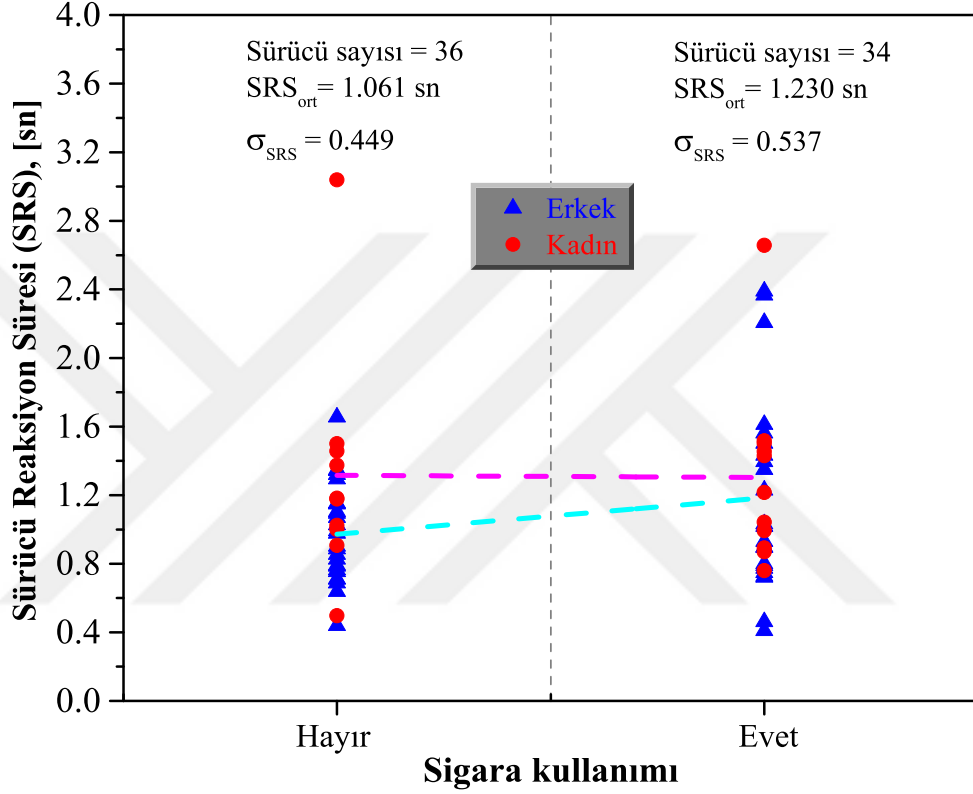
Şekil 4.12'de sürücülerin gözlük kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında herhangi bir göz rahatsızlıklarının bulunup bulunmadığı ve sürüş esnasında gözlük kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 10 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 14 adeti olmak üzere toplam 24 adet sürücü sürüş esnasında gözlük kullandığını belirtirken, 46 adet sürücü sürüş esnasında gözlük kullanmadığını belirtmiştir. Şekil 4.12'ye göre nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerden sürüş esnasında gözlük kullandığını belirtirken sürücülerin reaksiyon sürelerinin, sürüş esnasında gözlük kullanmadığını belirten sürücülerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Sürüş esnasında gözlük kullandığını belirten 24 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.295 sn iken, sürüş esnasında gözlük kullanmadığını belirten 46 adet sürücünün ortalama reaksiyon süresi 1.064 sn'dir. Aynı zamanda, sürüş esnasında gözlük kullanmadığını belirten sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, gözlük kullanmadığını belirten sürücü gurubundan oldukça düşüktür. Sürüş esnasında gözlük kullanmayan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.436 iken sürüş esnasında gözlük kullanan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,636'tür.



**Şekil 4.12.** Sürücülerin gözlük kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.13'te sürücülerin sigara kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında günlük hayatta sigara kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 11 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 23 adeti olmak üzere toplam 34 adet sürücü günlük hayatta sigara kullandığını belirtirken 36 adet sürücü günlük hayatta sigara kullanmadığını belirtmiştir. Ayrıca, sigara kullanan kadın sürücülerden 5 tanesi ve erkek sürücülerden 12 tanesi olmak üzere toplam 17 adet sürücü, sürüş esnasında araç içerisinde de sigara kullandığını belirtmiştir. Şekil 4.13'te nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerden sigara kullandığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin, sigara kullanmadığını belirten sürücülerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Sigara kullandığını belirten 34 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.230 sn iken, sürüş esnasında gözlük kullanmadığını belirten 46 adet sürücünün ortalama reaksiyon süresi 1.061 sn'dir. Aynı zamanda, sigara kullanmadığını

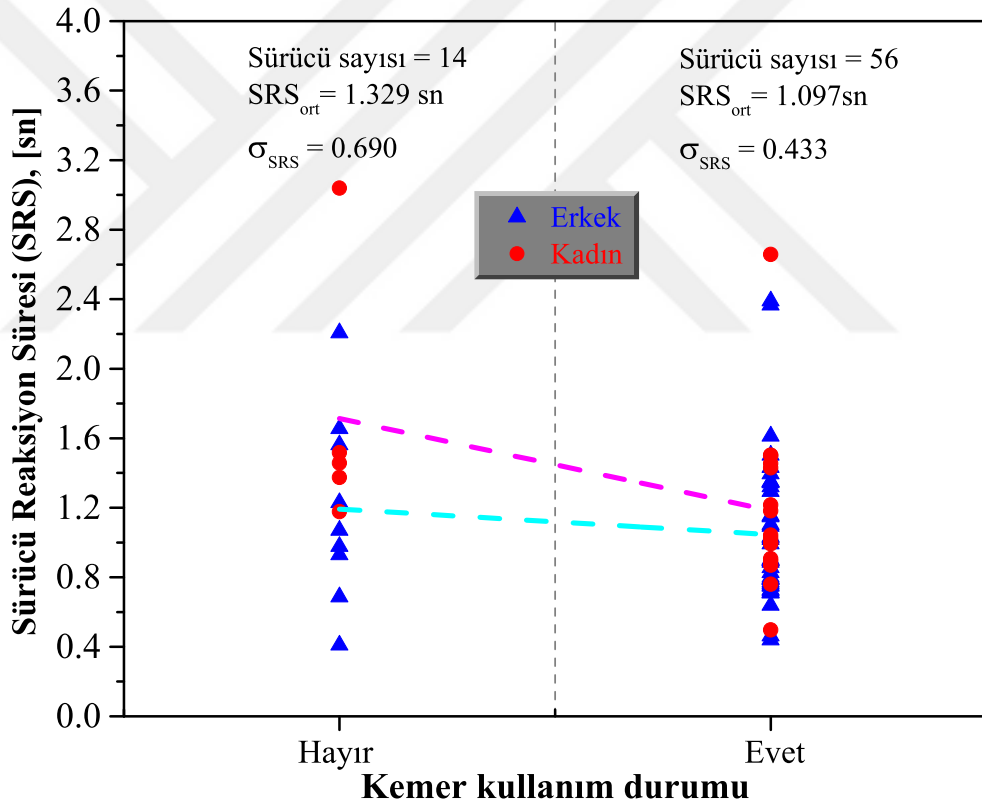
belirten sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, sigara kullanmadığını belirten sürücü gurubunun reaksiyon süresinden oldukça düşüktür. Sigara kullanmadığını belirten sürücülerin sürücü reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.449 iken sigara kullandığını belirten sürücülerin sürücü reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,537'dir.



**Şekil 4.13.** Sürücülerin sigara kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.14'te sürücülerin sürüş esnasında emniyet kemeri kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmektedir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında sürüş esnasında emniyet kemeri kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş simülatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 5 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 9 adeti olmak üzere toplam 14 adet sürücü sürüş esnasında emniyet kemeri kullanmadığını belirtirken, 56 adet sürücü sürüş esnasında emniyet kemeri kullandığını belirtmiştir. Şekil 4.14'e göre nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerden sürüş esnasında emniyet kemeri

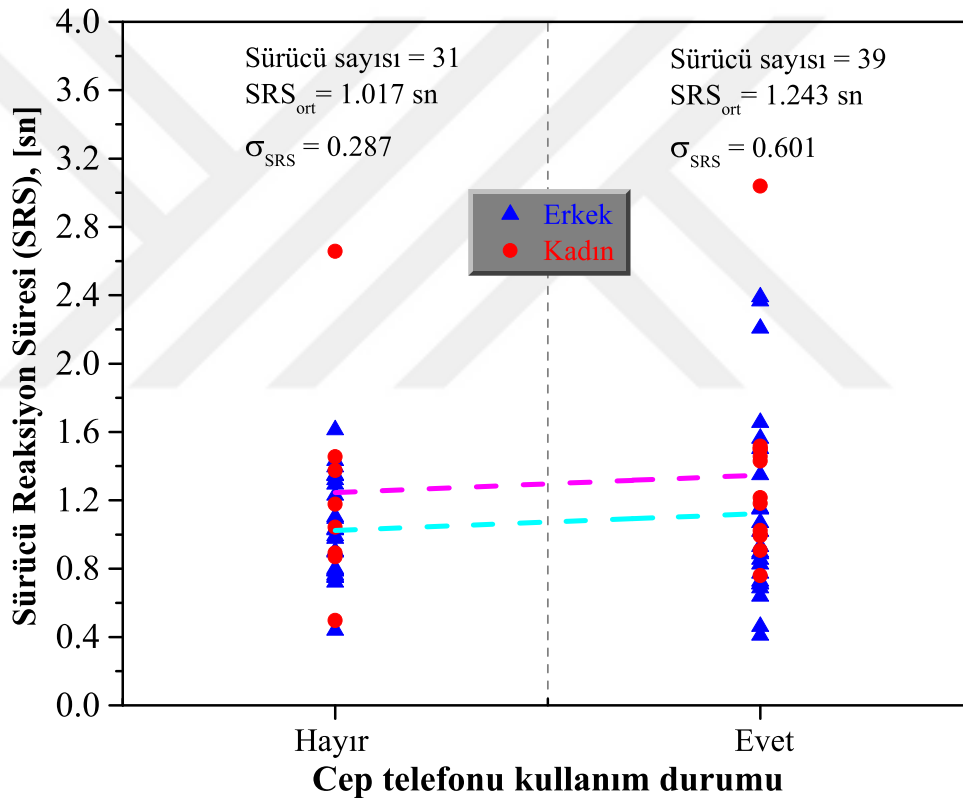
kullandığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin, sürüş esnasında emniyet kemeri kullanmadığını belirten sürücülerden daha düşüktür. Sürüş esnasında emniyet kemeri kullandığını belirten 56 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.097 sn iken, sürüş esnasında emniyet kemeri kullanmadığını belirten 14 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.329 sn'dir. Öte yandan, sürüş esnasında emniyet kemeri kullanmadığını belirten sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, emniyet kemeri kullanmadığını belirten sürücü gurubundan daha yüksektir. Sürüş esnasında emniyet kemeri kullanmayan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.690 iken sürüş esnasında emniyet kemeri kullanan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,433 olmuştur.



**Şekil 4.14.** Sürücülerin sürüş esnasında emniyet kemeri kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Şekil 4.15'te sürücülerin araç içerisinde cep telefonu kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere yapılan anket çalışmasında sürüş esnasında cep telefonu kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı nihai sürüş

simulatörü testinde, 21 adet kadın sürücünün 15 adeti ve 49 adet erkek sürücünün 24 adeti olmak üzere toplam 39 adet sürücü sürüş esnasında cep telefonu kullandığını belirtirken, 31 adet sürücü sürüş esnasında cep telefonu kullanmadığını belirtmiştir. Nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerden sürüş esnasında cep telefonu kullandığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin, sürüş esnasında cep telefonu kullanmadığını belirten sürücülerden daha yüksektir. Sürüş esnasında cep telefonu kullandığını belirten 39 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.243 sn iken, sürüş esnasında cep telefonu kullanmadığını belirten 31 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.017 sn'dir.

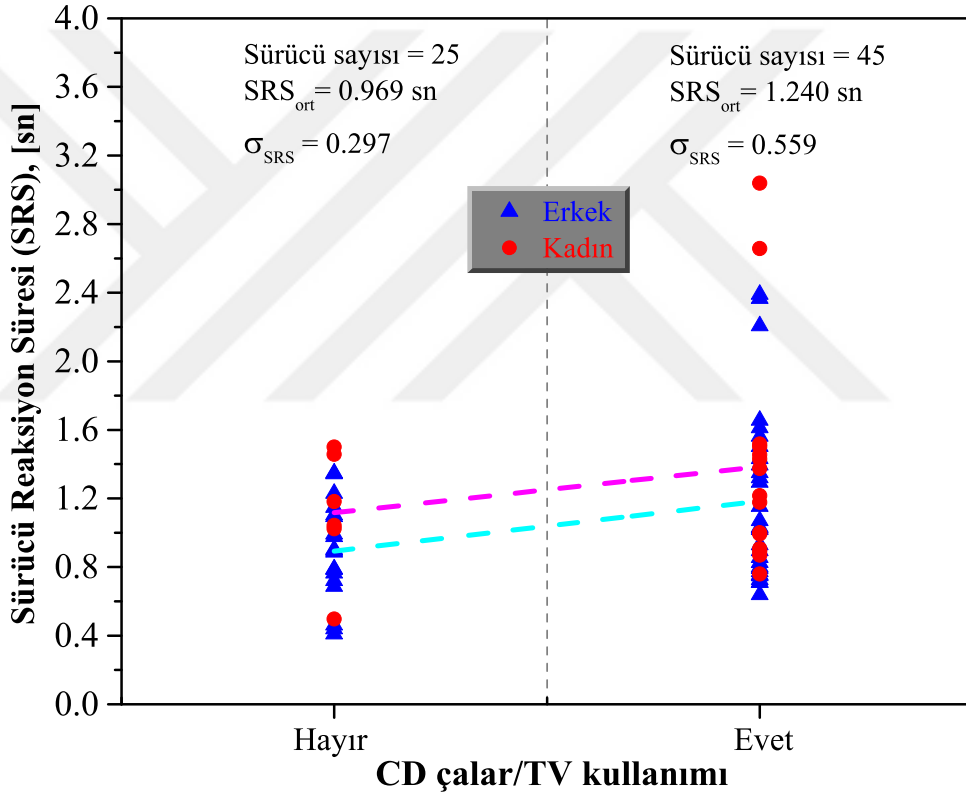


**Şekil 4.15.** Sürücülerin araç içerisinde cep telefonu kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Ayrıca, Şekil 4.15'te sürüş esnasında cep telefonu kullanmayan sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, sürüş esnasında cep telefonu kullanan sürücü gurubundan daha düşük olduğu görülmektedir. Sürüş esnasında cep telefonu kullanmayan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart

sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.287 iken sürüş esnasında cep telefonu kullanan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,601'dir.

Şekil 4.16'da sürücülerin araç içinde CD çalar/TV kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi verilmiştir. Nihai sürüş testi öncesi teste katılan tüm sürücülere sürüş esnasında CD çalar/TV kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Toplam 70 adet sürücünün katıldığı testte, 21 adet kadın sürücüden 15 adeti ve 49 adet erkek sürücüden 30 adeti olmak üzere toplam 45 adet sürücü sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullandığını belirtirken, 25 adet sürücü sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanmadığını belirtmiştir.



**Şekil 4.16.** Sürücülerin araç içinde CD çalar/TV kullanım durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değişimi

Nihai sürüş testine katılan hem kadın hem de erkek sürücülerden sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullandığını belirten sürücülerin reaksiyon sürelerinin, sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanmadığını belirten sürücülerden daha yüksektir. Sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullandığını belirten 45 adet sürücünün ortalama sürücü

reaksiyon süresi 1.240 sn iken, sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanmadığını belirten 25 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 0.969 sn'dir. Ayrıca, sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanmayan sürücü gurubunun reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri, sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanan sürücü gurubundan daha düşüktür. Sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanmayan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma değerleri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0.297 iken sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanan sürücülerin reaksiyon sürelerinin standarttan sapma değeri ( $\sigma_{SRS}$ ) 0,559'dur.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, karayolu taşıtlarında frenleme şartlarına etki eden sürücü reaksiyon süresi, sistemin gecikme süresi, frenleme süresi ve bu sürelerle karşılık gelen mesafelerin tespit edilebilmesi için gerçek bir A-segment otomobilin (FIAT-126-BIS) ön kaput, sürücü ve yolcu bölmesinden oluşan yarım kesit bir otomobil test platformu üzerinde otomatik vites bir aracın sürüş şartlarının sağlandığı bir nihai sürüş simülatörü geliştirilmiştir. Geliştirilen simülatöründe, araç hızı, sürücü reaksiyon süresi, sürücü reaksiyon süresinde kat edilen mesafe, toplam frenleme süresi ve frenleme mesafesi sürücü bilgi ekranı üzerinden sürücüye aktarılmaktadır. Farklı yaş guruplarına sahip 21 adet kadın ve 49 adet erkek sürücülerden oluşan toplam 70 adet sürücü ile 90 km/h ile 255 km/h taşıt hızı aralığında gerçekleştirilen sürüş testleri öncesi uygulanan anket ile sürücülere ait genel ve sürüş şartlarına ilişkin bilgiler tespit edilerek bunların sürücü reaksiyon süresine etkileri tespit edilmiştir. Anket çalışmasında; sürücünün yaşı, sürücünün cinsiyeti, sürücünün eğitim durumu, sürücünün mesleği, sürücünün sürüş yılı tecrübesi, sürücünün günlük araç kullanım süresi, sürücünün medeni hali/çocuk sayısı, sürücünün yorgunluk durumu, sürücünün spor yapma durumu, sürücünün kronik rahatsızlığının olup olmadığı, sürücünün gözlük kullanıp kullanmadığı, sigara kullanıp kullanmadığı, sürüş esnasında emniyet kemeri kullanıp kullanmadığı, sürücünün sürüş esnasında cep telefonu ve/veya CD çalar/TV benzeri iletişim/eğlence donanımlarını kullanıp kullanmadığı sorularak sürücüye ait bu bilgilerin sürücü reaksiyon süresine etkileri araştırılmıştır. Nihai sürüş simülatöründe gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 90 km/h ile 255 km/h araç hızında ve farklı özelliklere sahip 70 adet sürücü ile gerçekleştirilen testlerinde, araç hızı ile frenleme süresi ve frenleme mesafesinin lineere oldukça yakın bir eğri ile artış göstermiştir. Bu açıdan geliştirilen nihai sürüş simülatörünün araç hızına bağlı olarak doğru bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir.
- Nihai sürüş simülatörü testlerine katılan 21 adet kadın ve 40 adet erkek sürücü grubundan oluşan 70 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon

süresinin 1,143 sn ve sürücülerin reaksiyon sürelerinin standart sapma ( $\sigma_{SRS}$ ) değerlerinin 0,498 olduğu tespit edilmiştir.

- Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın teste katılan sürücülerin eğitim durumlarına göre oluşturulan gruplandırmada, sürücülerin eğitim durumu ile reaksiyon süreleri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu, eğitim durumu arttıkça sürücülerin reaksiyon sürelerinin kısaldığı gözlenmiştir. Örneğin, İlköğretim düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1,578 sn iken doktora düzeyinde eğitime sahip sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 0.887 sn'ye düşmektedir.
- Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın teste katılan sürücülerin mesleğine göre oluşturulan gruplandırmada, sürücülerin mesleği ile sürücü reaksiyon süreleri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Herhangi bir işi olmayan sürücüler en yüksek ortalama sürücü reaksiyon süresine (1.395 sn) sahip iken, herhangi bir mesleği olmayıp henüz öğrenci olan sürücüler en düşüktür ortalama reaksiyon süresine (0.966 sn) sahiptir. Bununla birlikte, kamu personeli olarak görev yapan sürücü grubunun ortalama reaksiyon süresi 0.991 sn, özel sektörde görev yapan sürücü grubunun ortalama reaksiyon süresi ise 1.275 sn'dir.
- Teste katılan hem kadın hem de erkek sürücülerin sürücü yaşı ve tecrübe yılı ile sürücü reaksiyon süresinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, tüm yaş grupları için erkek sürücülerin ortalama reaksiyon süresi kadın sürücülerden daha kısadır. Teste katılan 21 adet kadın sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1,309 sn iken, erkek sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1,072 sn'dir.
- Teste katılan hem erkek hem de kadın sürücülerin sürücü reaksiyon sürelerinin günlük araç kullanım süresi ile azaldığı görülmüştür. Ancak, eşit günlük araç kullanım süresine sahip kadın ve erkek sürücüler arasında sürücü reaksiyon süresinde farklılık olduğu gözlenmiştir. Örneğin; günlük ortalama 8 saat araç kullanan bir erkek sürücünün reaksiyon süresi 0.639 sn iken, kadın sürücünün reaksiyon süresi 1,182 sn'ye yükselmiştir.
- Teste katılan hem kadın hem de erkek sürücülerin medeni hali/çocuk durumu ile sürücü reaksiyon süresinin değiştiği tespit edilmiştir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın medeni hali evli/çocuk sahibi olan sürücülerin

ortalama reaksiyon süresi 1.098 sn iken, bekar olan sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.197 sn'ye yükselmiştir.

- Testler sırasında sürücülerin yorgunluk durumunun sürücü reaksiyon süresine etki ettiği tespit edilmiştir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın, yorgun olduğunu belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.554 sn iken, dinlenmiş durumda olduğunu belirten sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.001 sn'ye azalmıştır.
- Gündelik hayatta aktif olarak spor yaptığını belirten sürücülerin spor yapmayan sürücülere göre daha düşük ortalama sürücü reaksiyon süresine sahip olduğu görülmektedir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın, spor yaptığını belirten toplam 41 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.016 sn iken, spor yaptığını belirten 29 adet sürücünün ortalama reaksiyon süresinin 1.323 sn'ye yükseldiği görülmektedir.
- Kronik rahatsızlık ve gözlük kullanım durumu gibi sağlık açısından maruziyetleri bulunan hem kadın hem de erkek sürücülerin sürücü reaksiyon sürelerinin sağlıklı sürücülere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın, herhangi bir kronik rahatsızlığının olduğunu belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.651 sn iken, herhangi bir kronik rahatsızlığının olmadığını belirten sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.049 sn'ye düşmektedir. Benzer şekilde, sürüş esnasında gözlük kullandığını belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.295 sn iken, sürüş esnasında gözlük kullanmadığını belirten sürücülerin ortalama reaksiyon süresi 1.064 sn'ye düşmektedir.
- Gündelik hayatta aktif olarak sigara içtiğini belirten sürücülerin, sigara içmeyen sürücülere göre daha yüksek ortalama sürücü reaksiyon süresine sahip olduğu görülmektedir. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın, gündelik hayatta aktif olarak sigara kullandığını belirten sürücü grubunun ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.230 sn iken, sigara içmediğini belirten sürücü grubunun ortalama reaksiyon süresi 1.061sn'ye düşmektedir.
- Sürüş esnasında kemer kullanım alışkanlığının sürücülerin reaksiyon sürelerine etki ettiği ve kemer kullanan sürücülerin kullanmayan sürücülere göre daha düşük sürücü reaksiyon süresine sahip olduğu

görülmüştür. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın, Sürüş esnasında emniyet kemeri kullandığını belirten 56 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.097 sn iken, sürüş esnasında emniyet kemeri kullanmadığını belirten 14 adet sürücünün ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.329 sn'ye yükselmektedir.

- Sürüş esnasında cep telefonu ve CD çalar/TV benzeri iletişim/eğlence donanımlarının kullanımının sürücü reaksiyon süresine etki ettiği, sürüş esnasında bu tür donanımları kullanmadığını belirten sürücülerin daha kısa sürücü reaksiyon süresine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sürüş esnasında cep telefonu kullandığını belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.243 sn iken, sürüş esnasında cep telefonu kullanmadığını belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.017 sn'ye düşmektedir. Benzer şekilde, sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullandığını belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresi 1.240 sn iken, sürüş esnasında araç içerisinde CD çalar/TV kullanmadığını belirten sürücülerin ortalama sürücü reaksiyon süresinin 0.969 sn'ye düştüğü görülmektedir. Sürüş esnasında araç içerisinde cep telefonu ve CD çalar/TV benzeri iletişim/eğlence donanımları ile meşgul olmanın görsel, zihinsel ve fiziksel etkilerle sürücülerin dikkatinin dağılmasına neden olduğu, bu durumun frenleme esnasında karşılaşılan engelin daha geç fark edilmesine neden olarak sürücü reaksiyon süresini artırdığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen nihai sürüş simülatörü ile farklı araç hızlarında farklı cinsiyet, farklı yaş, farklı eğitim durumu ve farklı kişisel özelliklere sahip sürücülerin frenleme esnasındaki sürücü reaksiyon süreleri güvenli bir şekilde ölçülebilmektedir. Bununla birlikte, geliştirilen nihai sürüş simülatörüne eklenecek ilave donanımlar ile (kamera, sesli, görüntülü ve titreşimli uyarı sistemleri vb.) gelecek çalışmalarda sürücü dikkat dağınıklığının tespit edilmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca, geliştirilen nihai sürüş simülatörü için hazırlanan stüdyo ortamı ile trafikte karşılaşılan gerçek sürüş şartlarının sağlanarak trafik şartlarına bağlı olarak sürücü reaksiyon süresi ve etki eden faktörler de tespit edilebilir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen nihai sürüş simülatörünün mevcut hali ile ve/veya yukarıda belirtilen iyileştirmeler ve güncellemeler yapıldıktan sonra sürücü adaylarının eğitimi ve belgelendirmesinin yapıldığı kamu ve özel sektör kuruluşlarda (sürücü kursları, trafik bölge müdürlükleri vb.) kullanılmasının gerekli ve zorunlu olması, trafikte güvenli sürüş şartlarının sağlanması açısından önem arz etmektedir. Özellikle, sürücülerin sürücü ehliyeti almadan önce aldıkları sürüş eğitimlerinde sürücülerin frenleme esnasında ortaya çıkan sürücü reaksiyon süresi hakkında bilinçlenmelerine önemli katkılar sağlayacaktır.



## KAYMAKLAR

- Akerstedt, T., 2000. Consensus statement: fatigue and accidents in transport operations. *Journal of sleep research*, 9(4), 395-395.
- Anderson, J.E., Govada, M., Steffen, T.K., Thorne, C.P., Varvarigou, V., Kales, S.N., Burks, S. V., 2012. Obesity is associated with the future risk of heavy truck crashes among newly recruited commercial drivers. *Accident Analysis Prevention*, 49, 378-384.
- Bioulac, S., Micoulaud-Franchi, J.A., Arnaud, M., Sagaspe, P., Moore, N., Salvo, F., Philip, P., 2017. Risk of motor vehicle accidents related to sleepiness at the wheel: a systematic review and meta-analysis. *Sleep*, 40(10), zsx134.
- Blana, E., 1996. *Driving Simulator Validation Studies: A Literature Review*.
- Blincoe, L., Miller, T.R., Zaloshnja, E., Lawrence, B.A., 2015. *The economic and societal impact of motor vehicle crashes, 2010 (Revised) (No. DOT HS 812 013)*.
- Bragazzi, N.L., Dini, G., Toletone, A., Rahmani, A., Montecucco, A., Massa, E., Durando, P., 2018. Patterns of harmful alcohol consumption among truck drivers: implications for occupational health and work safety from a systematic review and meta-analysis. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1121.
- Bruce, C., Unsworth, C., Tay, R., 2014. A systematic review of the effectiveness of behavioural interventions for improving driving outcomes in novice drivers with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *British Journal of Occupational Therapy*, 77(7), 348-357.
- Bruck, L., Haycock, B., Emadi, A., 2020. A review of driving simulation technology and applications. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 2, 1-16.
- Caird, J.K., Willness, C.R., Steel, P., Scialfa, C., 2008. A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis Prevention*, 40(4), 1282-1293.
- Chang, W.J., Liao, S.H., Wu, T.T., 2017. Relationships among organizational culture, knowledge sharing, and innovation capability: a case of the automobile industry in Taiwan. *Knowledge Management Research Practice*, 15(3), 471-490.
- Chow, E.Y., Heller, S., 2022. Hypoglycaemia in Diabetes. In *Endocrinology and Diabetes: A Problem Oriented Approach* (pp. 375-386). Cham: Springer International Publishing.
- Čulík, K., Kalašová, A., Štefancová, V., 2022. Evaluation of driver's reaction time measured in driving simulator. *Sensors*, 22(9), 3542.

- Curry, A.E., Hafetz, J., Kallan, M.J., Winston, F.K., Durbin, D.R., 2011. Prevalence of teen driver errors leading to serious motor vehicle crashes. *Accident Analysis Prevention*, 43(4), 1285-1290.
- De Felice, F., Petrillo, A., 2011. Methodological approach for performing human reliability and error analysis in railway transportation system. *International Journal of Engineering and Technology*, 3(5), 341-353.
- Desapriya, E., Subzwari, S., Scime, G., Pike, I., 2008. The effectiveness of intervention strategies to reduce motor vehicle crashes involving older drivers: systematic reviews and meta-analyses.
- Dhillon, B.S., 2017. Safety, reliability, human factors, and human error in nuclear power plants (pp. 62-88). Florida: CRC Press.
- Dingus, T.A., Guo, F., Lee, S., Antin, J.F., Perez, M., Buchanan-King, M., Hankey, J., 2016. Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2636-2641.
- Dingus, T.A., Klauer, S.G., Neale, V.L., Petersen, A., Lee, S.E., Sudweeks, J., Knippling, R. R. (2006). The 100-car naturalistic driving study, Phase II-results of the 100-car field experiment (No. DOT-HS-810-593). United States. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration.
- Dosovitskiy, A., Ros, G., Codevilla, F., Lopez, A., Koltun, V., 2017, October. CARLA: An open urban driving simulator. In *Conference on robot learning* (pp. 1-16). PMLR.
- Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M., 2009. *The handbook of road safety measures*. Emerald Group Publishing Limited.
- Farelo, C., Velada, R., Matias, C., Roseta-Palma, C., Costa, J., Santos, S., Simaens, A., 2019. O sistema de gestão ambiental do ISCTE-IUL: um modelo de integração-qualidade-sustentabilidade. *O sistema de gestão ambiental do ISCTE-IUL: um modelo de integração-qualidade-sustentabilidade*, 149-156.
- Flannery, A., Maccubbin, R.P., 2002. Using meta analysis techniques to assess the safety effect of red light running cameras.
- Ghasemi, N., 2020. Improvement of the driving simulator control and comparison between driver-road-vehicle interaction in real and simulated environment (Doctoral dissertation, Université Paris-Est; Università degli studi (Bologne, Italie)).

- Giancoli, D.C., 2008. Physics for scientists and engineers with modern physics (Vol. 2). Pearson Education.
- Giancoli, D.C., 2008. Physics for scientists and engineers with modern physics. Pearson Education.
- Green, M., 2000. "How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation human factors*, 2(3), 195-216.
- Groeger, J.A., 2013. *Understanding driving: Applying cognitive psychology to a complex everyday task*. Routledge.
- Gürbüz, H., Buyruk, S., 2019. Improvement of safe stopping distance and accident risk coefficient based on active driver sight field on real road conditions. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(12), 1843-1850.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 2013. *Fundamentals of physics*. John Wiley Sons.
- Hsiao, H., Chang, J., Simeonov, P., 2018. Preventing emergency vehicle crashes: status and challenges of human factors issues. *Human factors*, 60(7), 1048-1072.
- Hu, W., Xiao, X., Xie, D., Tan, T., Maybank, S., 2004. Traffic accident prediction using 3-D model-based vehicle tracking. *IEEE transactions on vehicular technology*, 53(3), 677-694.
- Hucho, W.H. (Ed.), 2013. *Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering*. Elsevier.
- Kaplan, S., Guvensan, M.A., Yavuz, A.G., Karalurt, Y., 2015. Driver behavior analysis for safe driving: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6), 3017-3032.
- Katz, J., 1995. *Race car aerodynamics*. Robert Bentley.
- Khudair, A.M., Abdul Jabbar, A.S., Al-Dahawi, A.M. (2023, December). Studying the effect of fatigue on driving speed: A simulation study. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2834, No. 1). AIP Publishing.
- Klauer, S.G., Guo, F., Simons-Morton, B.G., Ouimet, M.C., Lee, S.E., Dingus, T.A., 2014. Distracted driving and risk of road crashes among novice and experienced drivers. *New England journal of medicine*, 370(1), 54-59.
- Kuiken, M., Twisk, D. 2001. Safe driving and the training of calibration: literature review.

- Kuiken, M., Twisk, D., 2001. Safe driving and the training of calibration: literature review.
- Kuralay, N.S., 2008. Motorlu Taşıtlar Temel ve Tasarım Esasları, Yapı Elemanları, Cilt: 2, Fren ve Direksiyon Sistemleri. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/2008/485, İzmir.
- Landex, A., Kaas, A.H., 2005, June. Planning the most suitable travel speed for high frequency railway lines. In Proceedings of the 1st international seminar on railway operations modelling and analysis (pp. 1-16).
- Lee, B., 2011. United Nations Decade of Action for Road Safety.
- Lemke, M.K., Apostolopoulos, Y., Hege, A., Sönmez, S., Wideman, L., 2016. Understanding the role of sleep quality and sleep duration in commercial driving safety. *Accident Analysis Prevention*, 97, 79-86.
- Lives, S.A., road safety technical package 2017. World Health Organization. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255199/9789241511704-eng.pdf>.
- Martens, M.H., Fox, M., 2007. Does road familiarity change eye fixations? A comparison between watching a video and real driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(1), 33-47.
- Martens, M.H., 2004. Stimuli fixation and manual response as a function of expectancies. *Human factors*, 46(3), 410-423.
- Masello, L., Castignani, G., Sheehan, B., Murphy, F., McDonnell, K., 2022. On the road safety benefits of advanced driver assistance systems in different driving contexts. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 15, 100670.
- Masilkova, M., 2017. Health and social consequences of road traffic accidents. *Kontakt*, 19(1), e43-e47.
- Näätänen, R., Summala, H., 1976. Road-user behaviour and traffic accidents. Publication of: North-Holland Publishing Company.
- National Highway Traffic Safety Administration., 2017. Distracted driving 2015: traffic safety facts research note (rep. No. DOT HS 812 381).
- Odero, W., Khayesi, M., Heda, P.M., 2003. Road traffic injuries in Kenya: magnitude, causes and status of intervention.
- Ondruš, J., Vrábel, J., Kolla, E., 2018, October. The influence of the vehicle weight on the selected vehicle braking characteristics. In *Transport Means- Proceedings of the International Conference* (pp. 384-390).

- Öz, A., Gürbüz, H., Yakut, A.K., Sağıroğlu, S., 2017. Braking performance and noise in excessive worn brake discs coated with HVOF thermal spray process. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 535-543.
- Pacejka, H., 2005. *Tire and vehicle dynamics*. Elsevier.
- Peden, M.M., (Ed.), 2004. *World report on road traffic injury prevention*. World Health Organization.
- Quimby, A.R., Watts, G.R., 1981. *Human factors and driving performance* (No. LR 1004 Monograph).
- Quimby, A.R., Maycock, G., Carter, I.D., Dixon, R., Wall, J.G., 1986. *Perceptual abilities of accident involved drivers* (No. RR 27).
- Regan, M.A., Hallett, C., Gordon, C.P., 2011. Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy. *Accident Analysis Prevention*, 43(5), 1771-1781.
- Retting, R.A., Williams, A.F., Greene, M.A., 1998. Red-light running and sensible countermeasures: Summary of research findings. *Transportation research record*, 1640(1), 23-26.
- Russell, E.R., 1998. Using concepts of driver expectancy, positive guidance and consistency for improved operation and safety.
- Salaani, M.K., Schwarz, C., Heydinger, G.J., Grygier, P.A., 2007. Parameter determination and vehicle dynamics modeling for the national advanced driving simulator of the 2006 BMW 330i (No. 2007-01-0818). SAE Technical Paper.
- Sam, D., Velanganni, C., Evangelin, T.E., 2016. A vehicle control system using a time synchronized Hybrid VANET to reduce road accidents caused by human error. *Vehicular communications*, 6, 17-28.
- Schubert, T.W., D'Ausilio, A., Canto, R., 2013. Using Arduino microcontroller boards to measure response latencies. *Behavior research methods*, 45, 1332-1346.
- Serway, R.A., Jewett, J.W., 2018. *Physics for scientists and engineers*. Cengage learning.
- Setti, J.R., Rakha, H.A., El-Shawarby, I., 2006, September. Analysis of brake perception-reaction times on high-speed signalized intersection approaches. In *2006 IEEE intelligent transportation systems conference* (pp. 689-694). IEEE.
- Sherman, F.T., 2006. Driving the ultimate IADL. *Geriatrics*, 61(10).

- Shinar, D., 2017. Driver information processing: Attention, perception, reaction time, and comprehension. In *Traffic safety and human behavior* (pp. 189-256). Emerald Publishing Limited.
- Talebpour, A., Mahmassani, H.S., Hamdar, S.H., 2013. Speed harmonization: Evaluation of effectiveness under congested conditions. *Transportation research record*, 2391(1), 69-79.
- Theofilatos, A., Yannis, G., 2014. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis Prevention*, 72, 244-256.
- Ting, P.H., Hwang, J.R., Doong, J.L., Jeng, M.C., 2008. Driver fatigue and highway driving: A simulator study. *Physiology behavior*, 94(3), 448-453.
- Useche, S., Cendales, B., Gómez, V., 2017. Work stress, fatigue and risk behaviors at the wheel: Data to assess the association between psychosocial work factors and risky driving on Bus Rapid Transit drivers. *Data in brief*, 15, 335-339.
- Valen, A., Bogstrand, S.T., Vindenes, V., Frost, J., Larsson, M., Holtan, A., Gjerde, H., 2019. Driver-related risk factors of fatal road traffic crashes associated with alcohol or drug impairment. *Accident Analysis Prevention*, 131, 191-199.
- Vranes, A.J., Mikanovic, V.B., Lazovic, J.M., Kosanovic, V., 2018. Road traffic safety as a public health problem: evidence from Serbia. *Journal of Transport Health*, 8, 55-62.
- Walker, G.H., Stanton, N., Young, M., 2001. Hierarchical task analysis of driving: A new research tool.
- Wang, W., Chen, H., Bell, M.C., 2002. A study of characteristics of motorway vehicle breakdown duration.
- Wegman, F., Aarts, L., Bax, C., 2008. Advancing sustainable safety: National road safety outlook for The Netherlands for 2005–2020. *Safety Science*, 46(2), 323-343.
- Winkler, S., Kazazi, J., Vollrath, M., 2015, September. Distractive or Supportive-- How Warnings in the Head-up Display Affect Drivers' Gaze and Driving Behavior. In *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 1035-1040). IEEE.
- Wynne, R.A., Beanland, V., Salmon, P.M., 2019. Systematic review of driving simulator validation studies. *Safety science*, 117, 138-151.
- Yan, M., Chen, W., Wang, J., Zhang, M., Zhao, L., 2021. Characteristics and causes of particularly major road traffic accidents involving commercial vehicles in

China. International journal of environmental research and public health, 18(8), 3878.

Young, M.S., Birrell, S.A., Stanton, N.A., 2011. Safe driving in a green world: A review of driver performance benchmarks and technologies to support 'smart' driving. Applied ergonomics, 42(4), 533-539.



## **EKLER**

### **EK A. Denek Sürücüler İçin Hazırlanan Anket**



**EK A. Denek Sürücüler İçin Hazırlanan Anket**

Anket Soruları	Testin		Özel notlar
	Tarih	Saat	
1. Sürücünün cinsiyeti?			
2. Sürücünün yaşı?			
3. Eğitim durumu?			
4. Mesleği?			
5. Medeni haliniz? / Çocuğunuz var mı?			
6. Yaşadığınız şehir/Kaç yıldır bu şehirde yaşıyorsunuz?			
7. Sürücünün tecrübe (ehliyet süresi) yılı?			
8. Ehliyet sınıfı?			
9. Kullandığınız aracın marka/model/sınıfı?			
10. Ehliyet kemeri kullanım durumunuz?			
11. Gün içinde araç kullanım süresi?			
12. Araç içerisinde CD çalar/TV kullanıyor musunuz?			
13. Araç içerisinde telefon kullanıyor musunuz?			
14. Araç içerisinde sigara kullanıyor musunuz?			
15. Aracınızın bakımlarını ne sıklıkla yaptırıyorsunuz?			
16. Gözlük kullanım durumu?			
17. Şu an yorgunluk durumunuz nedir?			
18. Kronik rahatsızlığınız var mı?			
19. Sigara ve/veya alkol kullanıyor musunuz?			
20. Spor yapıyor musunuz?			