



**T.C.**

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA İKİLEM BÖLGELERİ VE SARI  
IŞIK SÜRESİNİN ETKİSİ**

**ELİF ZAHİDE MERCAN**

**İNŞAAT ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR**

**KIRIKKALE-2023**





**T.C.**

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA İKİLEM BÖLGELERİ VE SARI  
IŞIK SÜRESİNİN ETKİSİ**

**ELİF ZAHİDE MERCAN**

**İNŞAAT ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR**

**KIRIKKALE-2023**

Elif Zahide MERCAN tarafından hazırlanan “SİNYALİZE KAVŞAKLARDA İKİLEM BÖLGELERİ VE SARI IŞIK SÜRESİNİN ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan (Danışman): Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

İnşaat Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Erdem DOĞAN

İnşaat Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN

Ulaştırma Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 20/02/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Elif Zahide Mercan

20/02/2023

## ÖZET

# SİNYALİZE KAVŞAKLARDA İKİLEM BÖLGELERİ VE SARI IŞIK SÜRESİNİN ETKİSİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

Ocak 2023, 75 sayfa

Kavşaklar, farklı yönlerden gelen araçların yol ağları üzerinde kesiştiği önemli noktalardır. Sinyalize kavşaklara yaklaşmakta olan sürücüler, sarı ışık ile karşılaştıklarında güvenli bir şekilde durmak ya da geçmek konusunda belirsizlikler içeren bir ikilem bölgesine yakalanmaktadır. Bu çalışmanın ilk bölümünde; aracın hızı, yavaşlama ivmesi, kavşağın temizlenme süresi, sürücünün algılama-tepki süresi ve toplam kavşağın genişliği ile aracın uzunluğunu ifade eden beş faktör dikkate alınarak 648 farklı trafik durumu için Tip I ikilem bölgesi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, Tip I ikilem bölgesi uzunluğunun; aracın hızı, sürücünün algılama-tepki süresi, toplam kavşak genişliği ile aracın uzunluğunun artmasıyla arttığını, fakat kavşağın temizlenme süresi ve yavaşlama ivmesinin artmasıyla azaldığını göstermiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde; sarı ışık süresinin yeteri kadar uzun olduğu sinyalize kavşaklarda sarı ışık ile karşılaşan sürücülerin durmak ya da geçmek konusunda karar vermelerinin gerektiği bir kararsızlık bölgesi olan Tip II ikilem bölgesi araştırılmıştır. İzmit Orduevi Kavşağı'nda alınan veriler incelenerek kavşağa yaklaşırken sarı ışıkla karşılaşan araçların hızı, durma çizgisine mesafesi ve sürücülerin dur/geç kararları incelenmiştir. Toplam 2.172 sürücünün tepkisi, aracın hızı ve konumu ile SPSS yazılımı yardımıyla analiz edilerek bir logit model oluşturulmuştur. Oluşturulan model ile kavşağa yaklaşırken sarı ışık ile karşılaşan sürücülerin durma olasılıkları tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, araçların durma çizgisine olan mesafesi arttıkça durma olasılığının arttığını, ancak hız arttıkça durma olasılığının azaldığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sinyalize kavşaklar, ikilem bölgesi, dur/geç kararı, logit model

## ABSTRACT

### DILEMMA ZONES AND THE EFFECT OF YELLOW LIGHT DURATION AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

Kırıkkale University

Institute of Science

Department of Civil Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

January 2023, 75 pages

Intersections are significant locations in the road system where vehicles coming from different roads encounter. Drivers who approach the signalized intersections experience a dilemma that includes lots of uncertainty between stopping safely or crossing over when they face the yellow traffic light. In the first part of this study, the Type I Dilemma Zone has been examined for 648 different traffic situations within the scope of five factors which represent the speed of the vehicle, acceleration of slowing down, clearance time of the intersection, perception and reaction time of the driver, and the total length of the intersection and the vehicle. As a result of the study, it has been observed that the length of the Type I dilemma zone increases along with the vehicle's speed, perception and reaction time of the driver, with the total length of the intersection and the vehicle, however; the length of Type I dilemma zone decreases in conjunction with the increase in the clearance time of the intersection and acceleration of slowing down.

In the second part of this study, the Type II dilemma zone which is a indecision zone where the drivers who face yellow traffic lights on signalized intersections with the duration of yellow lights are sufficient, must decide whether to stop or cross the road. The speed of the vehicles, distance to the stop line, and stop-or-go decisions of the drivers have been observed by analyzing the data obtained from Kocaeli Officer's Club Intersection. A logit model has been formed with the assistance of SPSS software by analyzing the reaction of the 2,172 drivers, the speed of the vehicles, and their location. The possibilities of the drivers' stopping decisions who face yellow traffic lights while approaching the intersection with the model have been predicted. As a result of this study, it has been observed that the possibility of stopping accelerates along with the increase of the distance of the vehicles to the stopping line, however; the possibility of stopping decelerates with the increase of the speed.

**Keywords:** Signalized intersections, dilemma zone, stop-or-go decisions, logit model

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR'e desteği için teşekkür ederim.

Çalışma için gerekli olan saha verilerinin alınmasında tüm olanaklarıyla yardımcı olan Kocaeli Ulaşım Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen annem Ayşe MERCAN başta olmak üzere aileme, zorlandığım her an beni yüreklendiren arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak her daim yoluma ışık tutan Ulu Önder Mustafa Kemal Atatürk'e teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. PROBLEMİN TANIMI.....	1
1.2. AMAÇ .....	2
1.3. KAPSAM .....	3
1.4. TEZ ORGANİZASYONU.....	3
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. TİP I İKİLEM BÖLGESİ</b> .....	<b>31</b>
3.1. TİP I İKİLEM BÖLGESİ'Nİ ETKİLEYEN PARAMETRELER .....	33
3.2. TİP I İKİLEM BÖLGESİ'NİN ANALİZİ.....	36
<b>4. TİP II İKİLEM BÖLGESİ</b> .....	<b>48</b>
4.1. VERİLERİN TOPLANMASI .....	49
4.2. TİP II İKİLEM BÖLGESİNİN ANALİZİ.....	57
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>68</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>75</b>

# ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
<b>3.1.</b> İkilem bölgesi hesaplarında kullanılan değişkenler ve değerleri .....	37
<b>3.2.</b> W=15 m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2 \text{ m/s}^2$ ve $t_r=1 \text{ s}$ ) .....	38
<b>3.3.</b> W=35 m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2 \text{ m/s}^2$ ve $t_r=1 \text{ s}$ ) .....	38
<b>3.4.</b> $t_r=1 \text{ s}$ için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3 \text{ s}$ ve $W=25 \text{ m}$ ) .....	42
<b>3.5.</b> $t_r=1,5 \text{ s}$ için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3 \text{ s}$ ve $W=25 \text{ m}$ ) .....	42
<b>3.6.</b> $t_r=2 \text{ s}$ için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3 \text{ s}$ ve $W=25 \text{ m}$ ) .....	42
<b>3.7.</b> $V_0=90 \text{ km/sa}$ için algılama-tepki süresi ve temizlenme süresi arasındaki ilişki ( $a=3 \text{ m/s}^2$ , $t_c=3 \text{ s}$ ve $W=35 \text{ m}$ ) .....	46
<b>3.8.</b> $V_0=60 \text{ km/sa}$ için algılama-tepki süresi ve temizlenme süresi arasındaki ilişki ( $a=3 \text{ m/s}^2$ , $t_c=3 \text{ s}$ ve $W=35 \text{ m}$ ) .....	46
<b>4.1.</b> Kocaeli Orduevi Kavşağı sinyal planı (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı Trafik Müdürlüğü) .....	51
<b>4.2.</b> Video kayıtların elde edilen verilerin gösterimi .....	55
<b>4.3.</b> Logit modelin tahminleri ve başarısı (Sınıflandırma Çizelgesi) .....	61
<b>4.4.</b> Logit modelin parametre tahminleri ve istatistiksel önemi .....	61
<b>4.5.</b> İkilem bölgesinin sınırları ve uzunluğu .....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Araçların durma çizgisine bağlı olarak durma olasılıkları.....	10
2.2. Farklı hız değerlerine göre durma olasılıkları.....	12
2.3. Seçilen kavşak yaklaşımında verilerin toplanması ve kaydedilmesi	13
2.4. İç içe geçmiş logit modellerin yapısı .....	18
2.5. Geri sayım cihazı bulunan kavşak için hız ve durma çizgisine uzaklığa bağlı olarak sürücülerin kararları.....	20
2.6. Geri sayım cihazı bulunmayan kavşak için hız ve durma çizgisine uzaklığa bağlı olarak sürücülerin kararları.....	21
2.7. Sarı sinyalin başlangıcında araçların göreceli konumu ve sürücünün kararı, Güzergah 7 - güneye giden yaklaşım .....	22
2.8. Sarı sinyalin başlangıcında araçların göreceli konumu ve sürücünün kararı, Güzergah 62 - batıya giden yaklaşım .....	23
2.9. Tüm araçlar için Tip II ikilem bölgesi arama çizelgesi.....	25
2.10. Tip II ikilem bölgesinin uzunluğu ve sınırları.....	27
2.11. Tip I ikilem bölgesinin gösterimi.....	29
2.12. Tip II ikilem bölgesinin gösterimi.....	30
3.1. İkilem Bölgeleri .....	33
3.2. $W=15$ m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2$ m/s <sup>2</sup> ve $t_r=1$ s).....	39
3.3. $W=25$ m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2$ m/s <sup>2</sup> ve $t_r=1$ s).....	40
3.4. $W=35$ m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2$ m/s <sup>2</sup> ve $t_r=1$ s).....	40
3.5. Hız ve kavşak genişliği ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c= 4$ s, $a=3$ m/s <sup>2</sup> ve $t_r=1,5$ s) .....	41
3.6. $t_r=1$ s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$ s ve $W=25$ m).....	43

<b>3.7.</b> $t_r=1,5$ s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$ s ve $W=25$ m).....	43
<b>3.8.</b> $t_r=2$ s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$ s ve $W=25$ m).....	44
<b>3.9.</b> Hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=6$ s, $t_r=2$ s, $W=35$ m).....	44
<b>3.10.</b> Hız ve algılama-tepki süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2$ m/s <sup>2</sup> , $t_c=3$ s ve $W=35$ m) .....	47
<b>4.1.</b> Tip II İkilem bölgesi .....	49
<b>4.2.</b> Kocaeli Orduevi Kavşağı - 1 .....	50
<b>4.3.</b> Kocaeli Orduevi Kavşağı - 2.....	50
<b>4.4.</b> Kocaeli Orduevi Kavşağı üst yapı projesi (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı Trafik Müdürlüğü).....	52
<b>4.5.</b> Saha referans noktalarının gösterimi.....	53
<b>4.6.</b> Gözlem yapılan araçların hız aralıkları ve sayısı .....	56
<b>4.7.</b> Sarı sinyal başlangıcında durduğu, geçtiği ve kırmızı ışık ihlali yaptığı gözlemlenen araçlar .....	56
<b>4.8.</b> Sarı sinyal başlangıcında durduğu, geçtiği ve kırmızı ışık ihlali yaptığı gözlemlenen araçların oranı.....	57
<b>4.9.</b> Gözlemlenen araçlara ait yaklaşma hızlarının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı .....	62
<b>4.10.</b> 30 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı .....	63
<b>4.11.</b> 50 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı .....	64
<b>4.12.</b> 70 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı .....	64
<b>4.13.</b> 90 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı .....	65
<b>4.14.</b> Farklı hız sınırlarına göre yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı .....	65

# 1. GİRİŞ

Kavşaklar, farklı istikametlerdeki yolların birbiriyle kesiştiği, farklı yönlerden gelen araçların emniyetle birbirlerinin güzergâhlarından geçtiği veya yön değiştirdiği kesişim noktaları olarak tanımlanmaktadır [1].

Karayolu sistemi içerisinde kavşaklar en karmaşık bölgeleri oluşturmaktadır, bu karmaşık bölgelerde araç ve yaya hareketlerini kontrol altına almak için sinyalizasyon sistemlerinden yararlanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin tasarım temeli; güvenli ve verimli bir faz planının oluşturulmasına, araçlar ve yayalar için gerekli olan sinyal sürelerinin belirlenmesine dayanmaktadır [2]. Araçlar için gereken sinyal sürelerinin belirlenmesi sırasında sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı ışık süresi oldukça önemlidir.

Değişim aralığı (sarı) ve kavşak temizleme aralığı (tüm yönlere kırmızı) sinyalize kavşakların güvenliği ve performansı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Sinyal yeşilden sarıya döndüğünde kavşağa yaklaşan sürücü, kavşağı geçmek ya da durmak konusunda karar vermesi gereken bir bölgede kalır. Bu bölge ikilem bölgesi olarak adlandırılmaktadır [2]. İkilem bölgesinin uzunluğu; hız, durma çizgisine olan uzaklık, aracın ve yolun durumu, sürücünün özellikleri gibi birçok değişkenden etkilenmektedir.

İkilem bölgesinin varlığı sinyalize kavşaklarda güvenlik açısından tehlike oluşturmaktadır. Sinyalize kavşaklarda ani durmalardan kaynaklanan arkadan çarpışmalı kazalara, dik açılı kazalara veya kırmızı ışık ihlallerine sebep olabilmektedir. Bu nedenle ikilem bölgesinin ortadan kaldırılması veya etkisinin en aza indirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu amaçla ikilem bölgesini anlamak, ikilem bölgesinin etkileyen faktörleri araştırmak ve sinyalize kavşaklardaki sürücü davranışını incelemek kavşağın güvenliği üzerinde etkili olmaktadır.

## 1.1. Problemin Tanımı

Kavşaklar, iki veya daha fazla yol yaklaşımının kesiştiği potansiyel kaza alanlarıdır. Sinyalize bir kavşağa yaklaşan sürücü sarı sinyal ile karşılaştığında güvenli bir şekilde durmak ya da geçmek konusunda bir kararsızlık içerisinde kalır. Bu kararsızlık içeren

süreç kavşaklarda ikilem bölgelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sarı aralık süresinin yetersiz olmasına atfedilen Tip I ikilem bölgesinin uzunluğu ve konumu; sarı aralığın süresi, yavaşlama ve hızlanma ivmesi, aracın hızı ve uzunluğu, kavşağın genişliği gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Sarı aralık süresinin yeterince uzun olduğu sinyalize kavşaklarda ise sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan sürücüler, kavşakta durmak ya da geçmek konusunda kararsız kaldıkları bir bölgeye yakalanmaktadır. Tip II ikilem bölgesi olarak adlandırılan bu bölge sürücüler için seçim yapmaları gereken bir alandır.

Araçların yaklaşma hızı, sürücülerin davranış eğilimleri, araçların özellikleri ve kavşak geometrisi ve sarı ışık süresindeki farklılıklar nedeniyle ikilem bölgesinin dinamik özelliklerinin yansıtılması zordur. İkilem bölgesinin özelliklerinin ve etkileyen faktörlerin doğru anlaşılabilmesi kavşaklarda güvenlik problemlerine ve dolayısıyla kazalara yol açmaktadır. İkilem bölgesinin oluşturduğu güvenlik problemlerini en aza indirebilmek için yüksek hızlı kavşaklarda sarı ışığın başlangıcından önce araçları ikilem bölgesinden çıkarmak amacıyla koruma stratejileri oluşturulmalıdır. Bu nedenle ikilem bölgesinin karakterize edilmesi önem taşımaktadır.

## **1.2. Amaç**

Tez çalışmasının amacı; ilk olarak Tip I ikilem bölgesinin uzunluğunu ve ilgili bazı faktörlerin etkisini ortaya koymaktır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçların hızı, maksimum yavaşlama ivmesi, sürücünün algılama-tepki süresi, kavşağı trafikten temizleme süresi (sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı ışık sürelerinin toplamı), kavşak genişliği (ortalama araç uzunluğu dâhil) incelenmiştir.

Çalışmanın bir diğer amacı; yüksek hızlı bir koridor üzerinde seçilen sinyalize bir kavşakta Tip II ikilem bölgesinin sınırları ve uzunluğunu belirlemek ve bu amaca ulaşmak için sürücü davranışları gözlemlemektir. Seçilen kavşakta sarı sinyal başlangıcında araçların hızı, konumu ve sürücünün kararı incelenerek ikilem bölgesinin dinamik dağılımı tespit edilmiştir.

### **1.3. Kapsam**

Çalışma kapsamında; Tip I ikilem bölgesini etkileyen faktörlerin etkisini bulabilmek amacıyla analizler yapılmıştır. İkilem bölgesi hesaplarında kullanılan hız, kavşağın temizlenme süresi, yavaşlama ivmesi, sürücünün algılama-tepki süresi, kavşak genişliği ve ortalama araç uzunluğunun toplamı gibi değişkenler için farklı değerler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Her bir değişkenin ikilem bölgesinin uzunluğu üzerindeki etkileri 648 farklı trafik durumu göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Tip II İkilem Bölgesi için yapılan analizlerde veriler Kocaeli il sınırları içerisinde yer alan D-100 karayolu üzerindeki yüksek hızlı bir koridorda bulunan Kocaeli Orduevi Kavşağı'ndan alınmıştır. Kocaeli Ulaşım Daire Başkanlığı bünyesinde bulunan Trafik Yönetim Merkezi'nin kontrolündeki PTZ kameraları tarafından kaydedilen videolardan elde edilen veriler incelenmiştir. Kavşağa yaklaşırken sarı ışık ile karşılaşan araçların hızı, durma çizgisine uzaklığı ve sürücülerin dur/geç kararları not edilmiştir. Toplam 2.172 sürücünün kavşaktaki sürüş davranışı kaydedilmiştir. Sahadan elde edilen veriler SPSS yazılımı yardımıyla bir logit modele dönüştürülerek sürücülerin durma olasılıkları tahmin edilmiştir. 30 km/sa, 50 km/sa, 70 km/sa ve 90 km/sa hızları için sürücülerin %10 ve %90 durma olasılığına denk gelen değerler ikilem bölgesinin sınır değerleri olarak belirlenmiştir. Hız ve mesafe değişkeninin ikilem bölgesinin konumu ve uzunluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### **1.4. Tez organizasyonu**

Tez çalışması kapsamında;

Bölüm 1 içerisinde teze konu olan problemin tanımının, tezin amacının ve kapsamının yer aldığı genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 2 içerisinde ikilem bölgesi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalara yer verilen literatür taraması bulunmaktadır. Bu bölümde, yapılan çalışmalarda dikkate alınan temel kavramlar ve analiz yöntemleri incelenmiştir.

Bölüm 3 içerisinde Tip I ikilem bölgesi tanıtılmış ve bölgeyi etkileyen değişkenler açıklanmıştır. Değişkenlere atanan değerler ile farklı trafik durumlarına göre analizler gerçekleştirilmiştir. İkilem bölgesinin uzunluğu ve sınır değerleri incelenmiştir.

Bölüm 4 içerisinde Tip II ikilem bölgesi tanıtılmıştır. Trafikten alınan görüntüler kullanılarak değişkenlere ait değerler elde edilmiştir. Verilerin SPSS yazılımı ile

analizi yapılarak sürücülerin kavşakta verecekleri kararı tahmin etmeye yarayan bir 'logit model' geliştirilmiş ve gözlem yapılan kavşak için ikilem bölgesinin uzunluğu ve sınır değerleri incelenmiştir.

Bölüm 5 içerisinde çalışmaların tamamlanmasının ardından elde edilen sonuçlara ve sonuçlar doğrultusunda gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.





## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Kavşaklarda sinyal süreleri belirlenirken değişim ve kavşağın temizlenme sürelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Değişim aralığı yani sarı aralık, kavşağa yaklaşmakta olan araçların mevcut yaklaşımda tahsis edilen geçiş hakkında bir değişiklik olduğu konusunda uyarıda bulunur. Değişim aralığı, yeşil sinyalden sarı sinyale geçildiğinde durma çizgisinden güvenli bir durma mesafesi uzaklıkta olan aracın hızını değiştirmeden devam edip kavşağa yasal olarak sarı renkte girmesine izin vermektedir. Aracın ön tekerleri durma çizgisini geçtiğinde araç kavşağa girmiş olarak değerlendirilir. Temizleme süresi yani tüm yönlere yanan kırmızı sinyal süresi; sarı sinyalde kavşağa giren aracın, çatışan yönlere yeşil verilmeden önce kavşağı terk etmesi için tüm yönlerde trafiğin kesildiği süredir. Burada kritik olan bu sürede aracın arka tamponunun yaya geçidi çizgisini geçebilmesidir [2].

Yüksek hızlı kavşaklarda sinyal yeşilden sarıya döndüğü sırada kavşağa yaklaşmakta olan sürücüler kavşaktan geçmek ya da durma çizgisinden önce güvenli bir duruş yapmak için bir karar vermek durumundadır. Sürücülerin karar vermesi gereken bu alan ikilem bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Literatürde Tip I ve Tip II olmak üzere iki tür ikilem bölgesi vardır. Tip I İkilem Bölgesi, sarı ışık başlangıcında kavşağa yaklaşan sürücülerin güvenli bir şekilde kavşaktan geçemeyeceği veya durma çizgisinden önce sorunsuz bir şekilde duramayacağı alan olarak tanımlanmaktadır. Tip II ikilem bölgesi ise sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan sürücünün geçmek ya da durmak konusunda kararsız kaldığı alan olarak tanımlanmaktadır.

Tip I ikilem bölgesi ilk olarak Gazis vd. (1960) [3] tarafından ortaya atılmıştır. Yaptıkları gözlemlere ve kendi deneyimlerine dayanarak sinyalizasyon kavşaklarda yeşil sinyal sarı sinyale döndüğünde sürücülerin karar verme aşamasında bir sorunun varlığını tespit etmişlerdir. Bu sorun ani durma veya kırmızı sinyal boyunca kavşağı geçme kararını içeren bir ikilem oluşturmaktadır. Kavşaklardaki genel güvenlik açısından bu tür ikilem bölgelerinden kaçınmak gerekmektedir. Yapılan çalışma ile bir sürücünün aracının özelliklerinin, kavşak geometrisinin ve trafik yasalarının tümünün birbiriyle uyumlu olması koşuluyla bir trafik sinyal sisteminin kurulmasının mümkün

olup olmadığını araştırılmıştır. Sabit bir  $V_0$  hızıyla hareket eden aracın sarı ışık başladığında kavşaktan  $X$  mesafesinde olduğu durum dikkate alınmıştır. Bu durumda sürücü iki alternatifle karşı karşıya kalmaktadır. Kavşağa girmeden önce ya yavaşlayıp aracı güvenle durdurmalıdır ya da gerektiğinde hızlanarak kavşaktan geçmeli ve sinyal kırmızıya dönmeden geçişini tamamlamalıdır. Bu durumlarda hızlanmanın ve yavaşlamanın bir anda başladığı belirtilmiştir.

Aracın kavşaktan önce rahat ve güvenli bir şekilde durdurulabileceği bir maksimum yavaşlamanın varlığı kabul edilirse bir “kritik mesafe” tanımlanmıştır:

$$X_c = V_0 \cdot \tau + V_0^2 / 2\alpha_2 \quad (2.1)$$

Burada;

$V_0$ : Aracın yaklaşım hızı,

$\tau$ : Yavaşlama süresi,

$\alpha_2$ : Yavaşlama ivmesi

olarak ifade edilmektedir.

Aracın sarı ışık başlangıcında kavşaktan alabileceği ve yine sarı ışık sırasında hızlanma olmaksızın kavşağı temizleyebileceği bir “maksimum mesafe” tanımlanmıştır:

$$X_0 = V_0 \cdot \tau - (w + L) \quad (2.2)$$

Burada;

$w$ : Kavşağın genişliği,

$L$ : Aracın uzunluğu,

$\tau$ : Hızlanma süresi,

$\alpha_1$ : Hızlanma ivmesi,

$\tau$ : Sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı ışık sürelerinin toplamı

olarak ifade edilmektedir.

$X > X_c$  ise araç kavşaktan önce durdurulabilir, ancak  $X < X_c$  ise rahatsız edici, emniyetsiz veya durdurulması imkânsız olacaktır. Bu kritik mesafe sarı aralık ve tüm yönlere yanan kırmızı ışık sürelerinin toplamından ( $\tau$ ) bağımsızdır ve yalnızca sürücü-aracın özelliklerine bağlıdır.

Eğer  $X_0 > X_c$  ise  $X_c$  kritik mesafesini geçtikten sonra sürücü, sinyal kırmızıya dönmeden önce kavşağı temizleyebilir. Eğer sarı ışık  $X_0 < X < X_c$  anında başlarsa sürücü kendisini kararsız bir konumda bulacaktır. Güvenli bir şekilde duramadığı için kavşaktan geçmeye çalışması gerekir. Bunu da hızlanarak başarabilir. Hız sınırını ihlal etmeden ne güvenli bir şekilde durdurabilir ne de sinyal kırmızıya dönmeden kavşağı geçebilir. Sarı aralık süresinin olması gerekenden daha kısa ya da uzun olması sürücülerin bu fazı görmezden gelmesine ya da kırmızı ihlaline teşvik etmektedir. Yanlış tasarlanmış bir sinyal döngüsü kavşak güvenliğini ve verimliliğini tehlikeye düşürebilmektedir. İyi tasarlanmış ve trafik yasalarıyla uyumlu bir sinyal sistemi daha güvenli ve verimli trafik koşullarını teşvik etmektedir.

Saito vd. (1990) [4] sürücü davranışına ve sabit geçiş aralıklarına ilişkin analizler yapmış olup Tip I İkilem Bölgesi ve seçenek bölgesinin özellikleri incelemiştir. Sürücü davranışı üzerindeki etkisini incelemek üzere 3 gün boyunca sarı aralıklar 3, 4 ve 5 saniyeye ayarlanarak bir video kaydı yapılmıştır. Günde yaklaşık 150 sinyal döngüsü kaydedilerek veriler toplanmıştır. Veriler analiz edilirken sarı ışık başlangıcında kavşaktan son geçen araç ve kavşakta ilk duran aracın davranışı dikkate alınmıştır. Analiz sırasında sarı ışık başlangıcında aracın konumu ve hızı, yavaşlama ivmesi, fren tepki süresi kaydedilmiş ve durma olasılığı ile aralarındaki ilişki incelenmiştir. Analiz bulgularına göre ilk duran ve son geçen araçlar içinde sarı aralığın uzunluğu arasındaki fark kesin olmadığı ancak sarı aralık uzunluğu kısaldıkça her iki aracın pozisyonlarının durma çizgisinden yukarı yönde kayma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Durmak için gereken yavaşlama ivmesinde, fren tepki süresinde ve ortalama yavaşlama ivmesinde, sarı aralık uzunluğuna göre farkın kesin olmadığı görülmüştür. Sarı sinyal süresi daha kısa olduğunda kırmızı ışık ihlali yapan sürücülerin oranının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Durmak için gereken yavaşlama ivmesi arttıkça durma olasılığının azaldığı görülmüştür. Durma çizgisine olan uzaklık arttıkça araçların durma olasılığının da arttığı gözlemlenmiştir. Sarı aralık daha uzun olduğunda hızlanarak geçen araçların oranı daha düşük ve ani yavaşlama yapan araçların oranının biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Seçenek bölgesindeki araç oranı daha yüksek, ikilem bölgesindeki araç oranı ise daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. İkilem bölgesini ortadan kaldırmak için sarı aralık uzatıldığında seçenek bölgesi uzadığı ve seçenek bölgesini ortadan kaldırmak için sarı aralık kısaltıldığında ikilem bölgesinin

uzadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle sarı aralığın uzunluğunu değişken bir değer olarak kullanmak gerektiği önerilmiştir.

Tüm yönlere yanan kırmızı aralık incelendiğinde ise sürücülerin sarı aralık bitmeden durma çizgisini geçebilecekleri, ancak tüm yönlere kırmızı aralık bitmeden önce kavşağı temizleyemeyecekleri bir bölge oluşmaktadır. Bu bölge Çatışma Bölgesi olarak adlandırılmıştır. Ayrıca sürücülerin sarı aralık bitmeden önce durma çizgisine ulaşamadığı, ancak tüm yönlere kırmızı aralık bitmeden önce kavşağı temizleyebildiği bir bölge oluşmaktadır. Bu bölge ise Kaçış Bölgesi olarak tanımlanmıştır. Kaçış Bölgesi ortadan kaldırmak için tüm yönlere kırmızı aralık azaltılırsa Çatışma Bölgesi genişlediği, aksi durumda Çatışma Bölgesini ortadan kaldırmak amacıyla tüm yönlere kırmızı aralık uzatılırsa da Kaçış Bölgesi genişlediği tespit edilmiştir. Değişim ve temizleme aralıklarının sabit değerler olarak uygulanması durumunda ikilem, seçenek, kaçış ve çatışma bölgelerinin varlığını ortadan kaldırmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle temizleme aralıklarının değişken değerler alması gerektiği önerilmiştir.

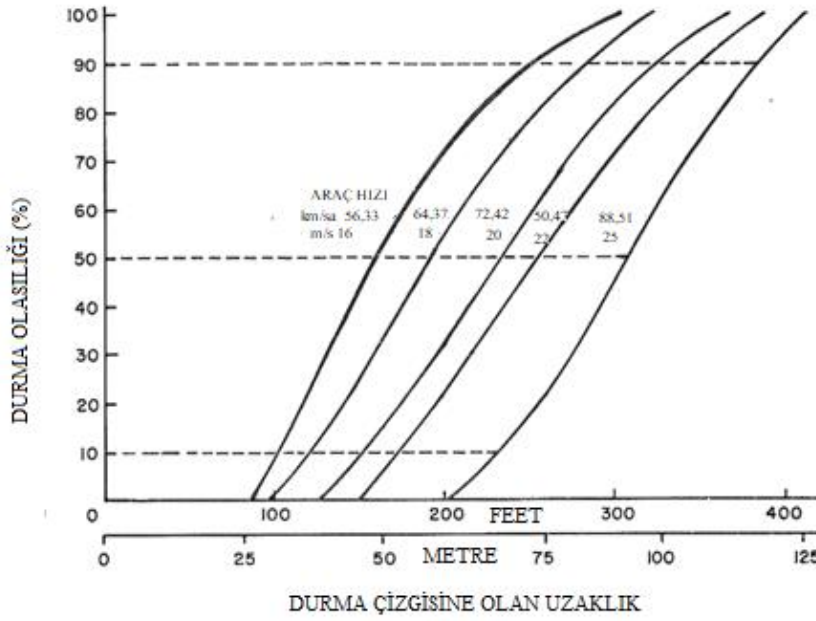
Kanada yapılan bir çalışmada (2018) [5] Winnipeg' de tüm sarı sürelerin 4 saniye olduğu belirtilmiş ve değişken hız değerlerine göre ikilem bölgelerindeki değişim incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda sraç uzunluğu ve kavşak genişliği yapılan hesaplara dâhil edilmemiştir. 80 km/sa (73 ft/s) için yapılan hesaplarda belirtilen yavaşlama ivmesi ve reaksiyon süresine göre aracın 7,3 saniyede duracağı hesaplanmış olup ortalama hız 11,13 m/s ile çarpılarak aracın durana kadar aldığı mesafe 81,38 m bulunmuştur. Ardından reaksiyon süresi olan 1 saniyede aracın alacağı yol olan 22,43 m eklenerek 103,32 m sonucuna ulaşılmıştır. Bu değer kavşağa yaklaşan sürücünün sarı ışıkla karşılaştığında güvenli bir şekilde durması için gereken minimum mesafedir. 80 km/sa hıza sahip aracın 4 saniyelik sarı ışık süresi boyunca 89 m seyahat edebileceği hesaplanmıştır. Bu değer ise kavşağa yaklaşan sürücünün sarı ışıkla karşılaştığında kavşağı güvenli bir şekilde geçebilmesi için gereken maksimum mesafedir. Bu durma ve geçme mesafesi arasındaki 14,33 m'lik fark araçların duramayacağı ve geçemeyeceği bir ikilem bölgesi oluşurmaktadır. Benzer şekilde 70, 60 ve 50 km/sa'lik hızlar için aynı işlemler tekrarlanmıştır. 70 km/sa için ikilem bölgesi uzunluğu 3,66 m olarak tespit edilmiştir. Bu hız değerinde ikilem bölgesinin uzunluğu 80 km/sa'lik hıza göre daha kısadır. 60 km/sa ve 50 km/sa için yapılan hesaplarda ikilem bölgesine rastlanmazken seçenek bölgesi söz konusu olmuştur. 60 km/sa için seçenek bölgesinin uzunluğu 4,57 m, 50 km/sa için seçenek bölgesinin

uzunluğu ise 7,01 m olarak tespit edilmiştir. 50 km/sa için seçenek bölgesinin uzunluğunun 60 km/sa' e göre daha uzun olduğu grlmştir. Bu alışma sonucunda araçların hızı arttıa ikilem bölgesi uzunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca ikilem bölgesine yakalanan araçların kabul edilen değerden daha sert fren yapmaları gerektiğine ve yapamayan araçların ise kırmızı ışık ihlali gerçekleştireceği tahmin edilmiştir.

Akgüngör ve Mercan (2021) [6] Tip I ikilem bölgesi üzerine yaptıkları çalışmada, ikilem bölgesinin uzunluğunu etkileyen değişkenleri ve bu değişkenler ile ikilem bölgesi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sarı ışık başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçların hızı, yavaşlama ivmesi, sürücülerin algılama-tepki süresi, kavşağın temizlenme süresi (sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı ışık sürelerinin toplamı) ve toplam kavşak genişliği ile araç uzunluğu olmak üzere 5 faktör değerlendirilmiş ve bu değerlerin kombinasyonları kullanılarak 648 farklı trafik durumunu incelemişlerdir. Analizler sırasında Denklem (2.1) ve Denklem (2.2)'yi kullanarak Tip I ikilem bölgesinin uzunluğuna ulaşmışlardır. Çalışmanın sonucunda; kavşak temizlenme süresi ve yavaşlama ivmesindeki artışın ikilem bölgesinin uzunluğunu azalttığı tespit edilmiştir. Hız, algılama-tepki süresi ve kavşak genişliği arttıa ise ikilem bölgesi uzunluğunun arttığı grlmştir. Ayrıca kavşak temizlenme süresi artırıldığında Tip I ikilem bölgesinin ortadan kalktığı fakat artırılmaya devam ettiğinde seçenek bölgesinin oluştuğunu göstermişlerdir.

İkilem bölgesinin diğer türü olan Tip II ikilem bölgesi ilk olarak 1974'te ITE'nin güney kesimindeki bir komite tarafından bir raporda sunulmuştur [7]. Sürücünün sarı sinyalle karşılaştığında durmak ya da gitmek için kararsız olduğu ve bu karar alma sürecindeki karmaşıklıklara atfedilen bir alandır. Bu alana kararsız bölge de denir.

Zegeer ve Deen (1978) [8] yüksek hızlı kavşaklarda sarı ışıkla bağlantılı olarak meydana gelen ikilem bölgesinin sınırlarını belirlemek, etkisini azaltmak ve bu amaçla yeşil sürenin uzatılmasının mevcut koşullara etkisi üzerine çalışmışlardır. Verilerin elde edilmesi için 9 adet kavşakta gözlem yapmışlardır. Kavşaklarda sarı faz boyunca toplam 2.100 sürücü tepkisi kaydedilmiştir. Araçların hızları, tipleri, sarı ışık boyunca kavşakta durma veya kavşağı geçme kararları ile sarı ışık başlangıcında durma çizgisinden uzaklıkları not edilmiştir. Araçların kavşaktan uzaklığına bağlı olarak durma olasılıkları 5 farklı hıza bağlı olarak Şekil 2.1'de belirlenmiştir. İkilem bölgesi sınırları araçların %90 ile %10'unun durduğu mesafe olarak belirlenmiştir.



**Şekil 2.1.** Araçların durma çizgisine bağlı olarak durma olasılıkları (Zegeer and Deen, 1978 [8])

Tip II ikilem bölgesinin sınırlarının önceden belirlenmesiyle sinyal sürelerinin optimize edilmesi mümkün olabileceğini ve böylece sinyalize kavşaklarda sürücü ikilemi nedeniyle meydana gelen kazaları önemli ölçüde azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

Pawar vd. (2020) [9], sinyalize kavşaklardaki Tip II ikilem bölgesinin konumunu ve uzunluğunu tespit etmek üzere bir model geliştirmişlerdir. Yaklaşma hızı, araç tipi gibi parametrelerin ikilem bölgesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada ikilem bölgesinin uzunluğunu incelemişlerdir. Veriler için 3 şeride sahip 3 kollu ve 4 kollu olmak üzere 3 adet kavşaktan 450 dakika boyunca kayıt alınmıştır. Videolardan araçların sarı ışık başlangıcındaki yaklaşma hızı ve durma çizgisine uzaklığı, araç tipi, takip edilen şerit ve sürücülerin kararları elde edilmiştir. Bu çalışmada da sadece doğru giden araçlar dikkate alınmıştır. Yapılan gözlemlerde durma çizgisine mesafe 20 m'den kısa olduğunda yaklaşma hızı fark etmeksizin sürücülerin kavşaktan geçme eğiliminde olduğu, durma çizgisine mesafenin 50 m'den fazla olduğunda ise sürücülerin durmaya eğilimli olduğu görülmüştür. Sarı aralıkta sürücülerin durma olasılığını tahmin etmek için logit modeller kullanılmıştır. Buradan %10 ve %90 durma değerlerine denk gelen ikilem bölgesi sınırları belirlenmiştir. Sarı aralıkta

kavşağa yaklaşan bir aracın belli bir hız ve mesafe değeri için durma olasılığı Denklem (2.3)'te verilmiştir:

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-U_i}} \quad (2.3)$$

Denklemde yer alan  $U$  fayda fonksiyonu olup istatistiksel analizler sonucunda elde edilmiştir.

$$U_i = 0.626 + 0.223(S_k) - 0.096 (D) \quad (2.4)$$

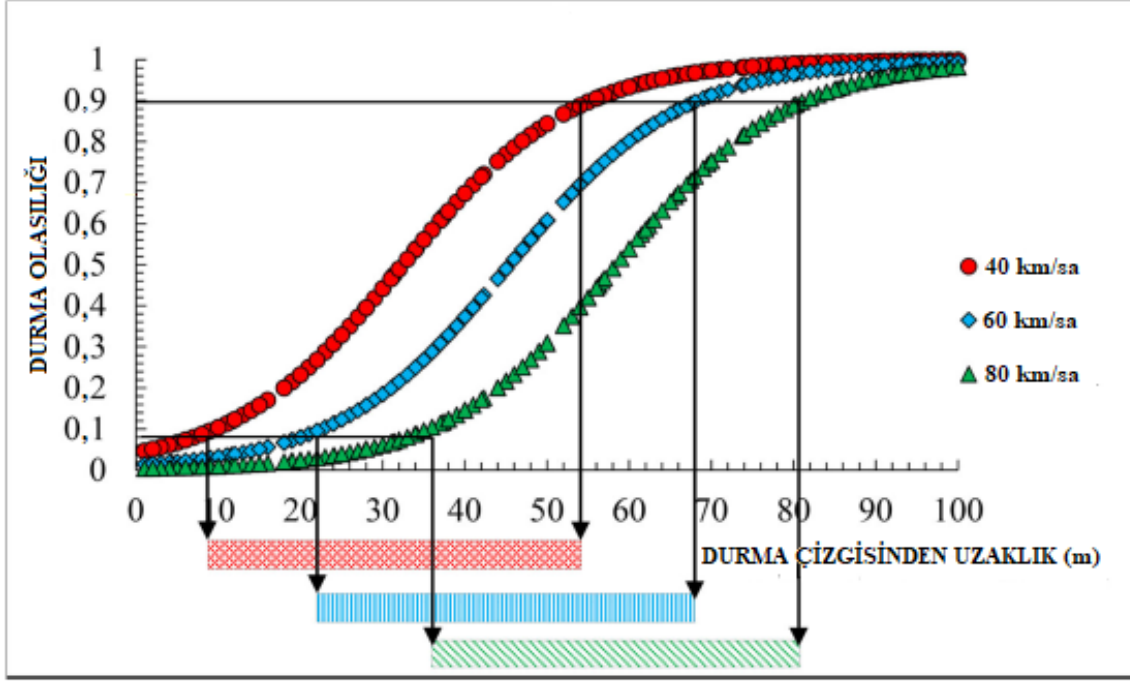
Burada;

$S_k$ : Hız (km/sa)

$D$ : Durma çizgisine olan mesafe (m)

olarak ifade edilmektedir.

İstatistiksel analizler sonucunda yaklaşan araçların hızının ve durma çizgisine olan mesafesinin durma kararı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Hız değişkeninin pozitif bir değere sahip olması sürücülerin daha yüksek hızlarda hareket ederken kavşaktan geçme olasılıklarının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Mesafe değişkeninin ise negatif bir değere sahip olması ise durma hattına olan mesafe büyüdükçe sürücülerin durma olasılığının daha yüksek olacağını göstermektedir. Gözlemlenen her hız değeri için durma olasılığını analiz etmek zor olduğundan 40 km/h, 60 km/h ve 80 km/h değerleri için durma olasılıkları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Farklı hız değerlerine göre durma olasılıkları (Pawar vd., 2020 [9])

Şekil 2.2’de verilen ikilem bölgesi sınırları geliştirilen modelle doğrudan hesaplanabilmektedir. Bir kavşağın ikilem bölgesi iç sınır çizgisi (durma hattına yakın sınır) Denklem (2.5) ile hesaplanmaktadır:

$$P_k(i) = 0.1 = \frac{1}{1 + e^{-U_i}} \quad (2.5)$$

İkilem bölgesinin dış sınırı ise (durma hattına uzak olan sınır) aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$P_k(i) = 0.9 = \frac{1}{1 + e^{-U_i}} \quad (2.6)$$

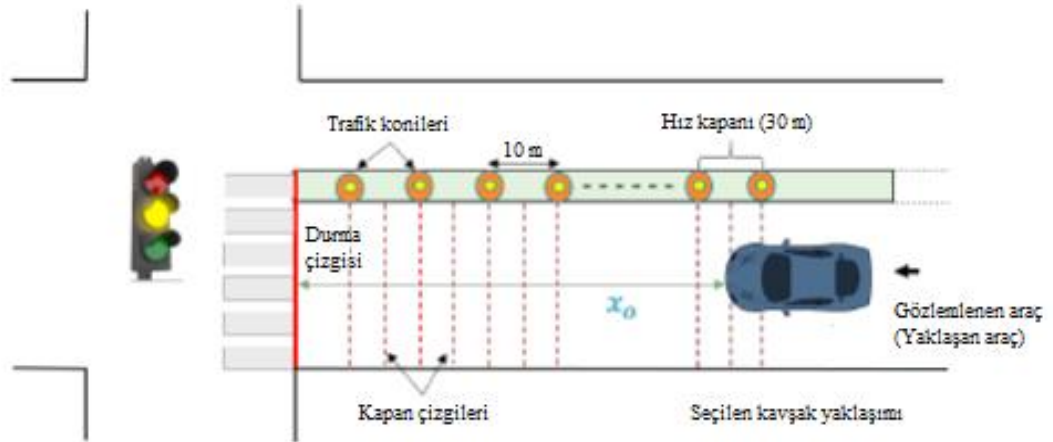
Şekil 2.2.’de görüldüğü üzere ikilem bölgesinin uzunluğu hıza bağlı olarak çok fazla değişmemektedir ancak ikilem bölgesinin konumu hızın artmasıyla birlikte kavşaktan daha uzağa kaymaktadır.

Şeritlerin ikilem bölgesi sınırları üzerindeki etkisine bakıldığında refüje yakın şerit (şerit 1) için ikilem bölgesi sınır değerleri diğer şeride (şerit 2) göre kavşaktan daha uzaktadır. Ancak ikilem bölgesi uzunlukları eşit ve 44 m’dir. Belirli bir mesafeye göre durma olasılıkları Şerit 2’deki sürücüler için Şerit 1’deki sürücülere göre daha yüksektir. Sürücülerin dur kararı araç tipine göre de değişiklik göstermektedir. Çünkü durma mesafesi ve manevra kabiliyeti araç tipi değişkenlerinden etkilenmektedir.



Belirli bir mesafe ve hız değeri için araç boyutu arttıkça ikilem bölgesi kavşaktan uzaklaşmaktadır. Bu nedenle belirli bir mesafe ve hız değeri için kamyonun durma olasılığının otomobile göre daha az olduğu görülmektedir. Yapılan modellemeyle birlikte elde edilen tahmin sonuçları, ikilem bölgesine yakalanan araçların sıklığını azaltarak kavşaklardaki güvenliği arttırmak amacıyla kullanılabilceği belirtilmiştir.

Pathivada ve Perumal (2017) [10] karma trafik koşulları altında ikilem bölgesi sürücü davranışını incelemişler ve Tip II ikilem bölgesinin tahminine ilişkin bir modelleme yapmışlardır. Gözlem yapılmak üzere Hindistan'ın Mumbai şehrinde 2 adet kavşak seçilmiştir. Her yaklaşım için 4 saat boyunca zirve saat dışındaki vakitlerde video kaydı yapılmıştır. Seçilen kavşak yaklaşımında verilerin toplanması Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Kavşağa yaklaşmakta olan araçlar arasından gözlemlenen aracın hızı, 30 m'lik referans uzunluğunu geçmek için harcadığı süre olarak hesaplanmıştır. Bu hız kavşağın 100 m gerisinde ölçülmüş ve yaklaşma hızı olarak adlandırılmıştır.



**Şekil 2.3.** Seçilen kavşak yaklaşımında verilerin toplanması ve kaydedilmesi (Pathivada ve Perumal, (2017) [10])

Video kayıtlarından alınan veriler; sinyal özellikleri ve kavşak geometrisini, aracın durma çizgisine uzaklığını, yaklaşma hızını, türünü ve sürücünün tepkisini içermektedir. Sarı sinyal başlangıcındaki 398 sürücü tepkisi incelenmiştir. İlk olarak yapılan incelemelerde durma çizgisine mesafesi 30 m'den az olan araç sürücülerinin çoğu geçmeye karar verirken bu mesafe 100 m'nin üzerinde olduğunda sürücülerin çoğu durmaya karar vermiştir. 100 m'den fazla mesafeler için sürücülerin 'geç' tepkileri kırmızı ışıkta devam eden sürücülere atfedilmiştir. Sarı sinyalle karşılaşan sürücülerin 'dur' ve 'geç' olmak üzere iki seçeneği olduğundan ikili lojistik regresyon

modeli, sürücülerin davranışını çeşitli değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edebilmektedir. Sürücülerin durma ya da geçme olasılığı fayda fonksiyonuna dayanmaktadır. Video verilerinden alınan değerlerin SPSS yazılımıyla istatistiksel analizi sonucunda durma olasılığını etkileyen faktörlerin etkisini ortaya koyan fayda fonksiyonu elde edilmiştir. Fayda fonksiyonu kullanılarak sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan sürücülerin durma olasılığını tahmin eden bir logit model önerilmiştir. Sarı sinyalin başlangıcında sürücünün karar sürecini etkileyen kategorik ve sürekli değişkenlerin tüm olası kombinasyonları incelenerek model değişkenlerinin son kombinasyonu olan Denklem (2.7) oluşturulmuştur.

$$U_i = 3.226 + 0.054 \cdot D - 0.055 \cdot S - 1.237 \cdot YT + 0.960 \cdot \text{Otomobil} + 0.933 \cdot \text{Kamyon} + 1.157 \cdot \text{YolcuTaşıtları} \quad (2.7)$$

Burada;

D: Durma çizgisine uzaklık (m)

S: Aracın hızı (km/sa)

YT: Sarı ışığın süresi (s)

olarak ifade edilmektedir.

Modele göre sürücülerin kavşakta durma olasılığını tahmin etmek için Denklem (2.8) önerilmiştir.

$$P_i(\text{Dur}) = \frac{1}{1 + e^{-(3.226 + 0.054 \cdot D - 0.055 \cdot S - 1.237 \cdot YT + 0.960 \cdot \text{Otomobil} + 0.933 \cdot \text{Kamyon} + 1.157 \cdot \text{YolcuTaşıtları})}} \quad (2.8)$$

Denklemden yer alan hız ve sarı aralık değişkenlerine ait katsayının negatif olması, söz konusu aracın hızının artması ve sarı sürenin artmasıyla durma olasılığının azaldığını gösterirken, uzaklık değişkenine ait katsayının pozitif olması sarı sinyal başlangıcında durma çizgisine olan mesafenin artmasıyla durma olasılığının arttığını göstermektedir. Model oluşturulurken referans araç iki tekerlekli motorlu taşıt olarak alınmıştır. Durma olasılığının araç tipinden etkilendiği görülmektedir. Üç tekerlekli motorlu taşıtların durma olasılığının otobüs ve kamyona kıyasla daha yüksektir. Kavşak geometrisi, sinyal özellikleri, sürücünün yaşı ve cinsiyeti, telefon kullanımı gibi faktörlerin sürücü davranışı üzerindeki etkisi incelenerek kavşakların güvenliği sağlamak için

mühendislik önlemleri alınabileceği ve bu temelle daha fazla ikilem bölgesi sınırı oluşturulabileceği görülmüştür.

Yang vd. (2014) [11] Çin’de yaptığı bir çalışmada sinyalizasyon kavşakta ikilem bölgesi ve sarı aralıkta sürücü davranışını incelemiştir. Kavşağa yaklaşan aracın sarı ışık başlangıcında durma çizgisine uzaklığı, hızı ve sinyal geri sayım cihazının kurulumuna bağlı sürücü davranışı lojistik regresyon ve bulanık karar ağacı yöntemiyle modellenmiştir. Benzer sinyal kontrol sistemlerine, trafik akım koşullarına ve geometrik özelliklere sahip iki kavşakta gözlem yapılmıştır. Kavşaklardan birinde geri sayım cihazı mevcutken diğerinde geri sayım cihazı bulunmamaktadır. Yapılan gözlemlere göre geri sayım cihazı bulunup bulunmaması fark etmeksizin durma çizgisine mesafe 10 m’den az ise sürücüler kavşağı geçmeyi seçmiştir. Durma çizgisine mesafe 30 m’den fazla ise özellikle geri sayım cihazı bulunmayan kavşaklarda durmayı seçen sürücülerin oranı artmıştır. Öte yandan mesafenin artmasıyla birlikte geri sayım cihazı ile kavşaktan geçmeyi seçen sürücü sayısında artış gözlenmiştir.

Sürücülerin kavşakta dur/geç davranışının tahmini için bu veriler kullanılarak ikili lojistik regresyon modeli oluşturulmuştur. Video kayıtlarından elde edilen verilerin istatistiksel analizleri sonucunda Denklem (2.9) regresyon eşitliği elde edilmiştir.

$$\text{Logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -1,552 + 0,151d + -0,050v - 0,082td \quad (2.9)$$

Burada;

d: Sarı sinyal başlangıcında durma çizgisine olan uzaklığı

V: Aracın hızı

t: Geri sayım cihazının varlığını ( t = 0 ise geri sayım cihazı yok, t = 1 ise geri sayım aracı var.)

olarak ifade edilmiştir.

Modelin değişkenleri, araçların sarı sinyal başlangıcında durma çizgisine olan uzaklığı, hızı ve geri sayım cihazının bulunup bulunmamasından oluşmaktadır. Aracın sarı aralıkta durma olasılığı ise kavşakta geri sayım cihazı bulunup bulunmamasına bağlı olarak Denklem (2.10) ve Denklem (2.11) ile gösterilmiştir:

Geri sayım cihazı bulunan:

$$P(y = 1) = \frac{e^{-1,152+0,151d-0,050v}}{1+e^{-1,152+0,151d-0,050v}} \quad (2.10)$$

Geri sayım cihazı bulunmayan:

$$P(y = 1) = \frac{e^{-1,152+0,069d-0,050v}}{1+e^{-1,152+0,069d-0,050v}} \quad (2.11)$$

Yapılan analizler sonucu aynı hız ve mesafe değerleri için sürücülerin durma olasılığının geri sayım cihazı bulunmayan kavşaklarda, geri sayım cihazı bulunan kavşaklara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Chang vd. (1985) [12] yaptıkları çalışmada değişim aralığının zamanlamasını oluşturan değişkenleri incelemeyi ve bu değişkenlerin sürücü tepkileri üzerindeki etkisini anlamayı amaçlamışlardır. Gazis vd. tarafından oluşturulan model kullanılarak Denklem (2.12)'de görüldüğü üzere değişim aralığı denklemi geliştirilmiştir.

$$Y + AR = t + (v/2d) + [(l + w)/v] \quad (2.12)$$

Burada:

Y + AR: Değişim aralığının süresi (sarı + tüm yönlere kırmızı süre), s

t: Sürücünün algılama – tepki süresi, s

v: yaklaşma hızı, ft/s

d: yavaşlama oranı, ft/s<sup>2</sup>

w: kavşak genişliği, ft

l: araç uzunluğu, ft

olarak ifade edilmiştir.

Verilerin elde edilmesi için 7 adet farklı özellikteki kavşaktan video kamera kaydı alınarak gözlem yapılmıştır. Kamera kayıtlarından sürücülerin sarı aralıktaki tepkileri, araç hızları ve durma çizgisine olan mesafeleri tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda, sarı aralık esnasında araçların %57'sinin kavşağa girdiği görülmüştür. Bu araçların 2/3'si kavşağı sarı aralık boyunca, kalanı ise tüm yönlere kırmızı aralık boyunca temizlemiştir. Sarı aralıkta kavşağa giren ve kırmızı aralıkta kavşağı temizleyen araç oranının yüksek olduğu kavşaklarda, kavşak genişliğinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tüm yönlere yanan kırmızı ışık esnasından kavşağa giren araçların oranı %7 olarak belirlenmiştir. Bu oranın yüksek olduğu kavşaklarda sinyalizasyonun uzun döngü süresine sahip olduğu görülmüştür. Tüm yönlere yanan kırmızı ışık

esnasında kavşağa giren ve kavşağı temizleyen araçların oranını azaltmak için bazı önerilerde bulunulmuştur. Bunlardan ilki, geniş kavşak için yeterli tüm kırmızı süresinin kullanılmasıdır. İkincisi ise uzun döngü süresinde iyileştirmeler yapılmasıdır. Sürücülerin dur veya geç kararı; yaklaşma hızı, sarı ışık başlangıcında durma çizgisine olan uzaklık ve durma çizgisine ulaşmak için gereken süreden etkilenmektedir. Bu değişkenlere bağlı olarak sürücünün dur veya geç kararı, lojistik regresyon kullanılarak Denklem (2.13)'teki şekliyle modellenmiştir.

$$\text{Durma olasılığı} = 1 / (1 + e^{2.083 - 2.755 \left( \frac{DONSETY}{100} \right) + (0.071 * ASPEED)}) \quad (2.13)$$

Burada,

*DONSETY*: Sarı sinyal başlangıcında aracın durma çizgisine olan mesafesi, ft

*ASPEED* : Aracın yaklaşım hızı, ft/s

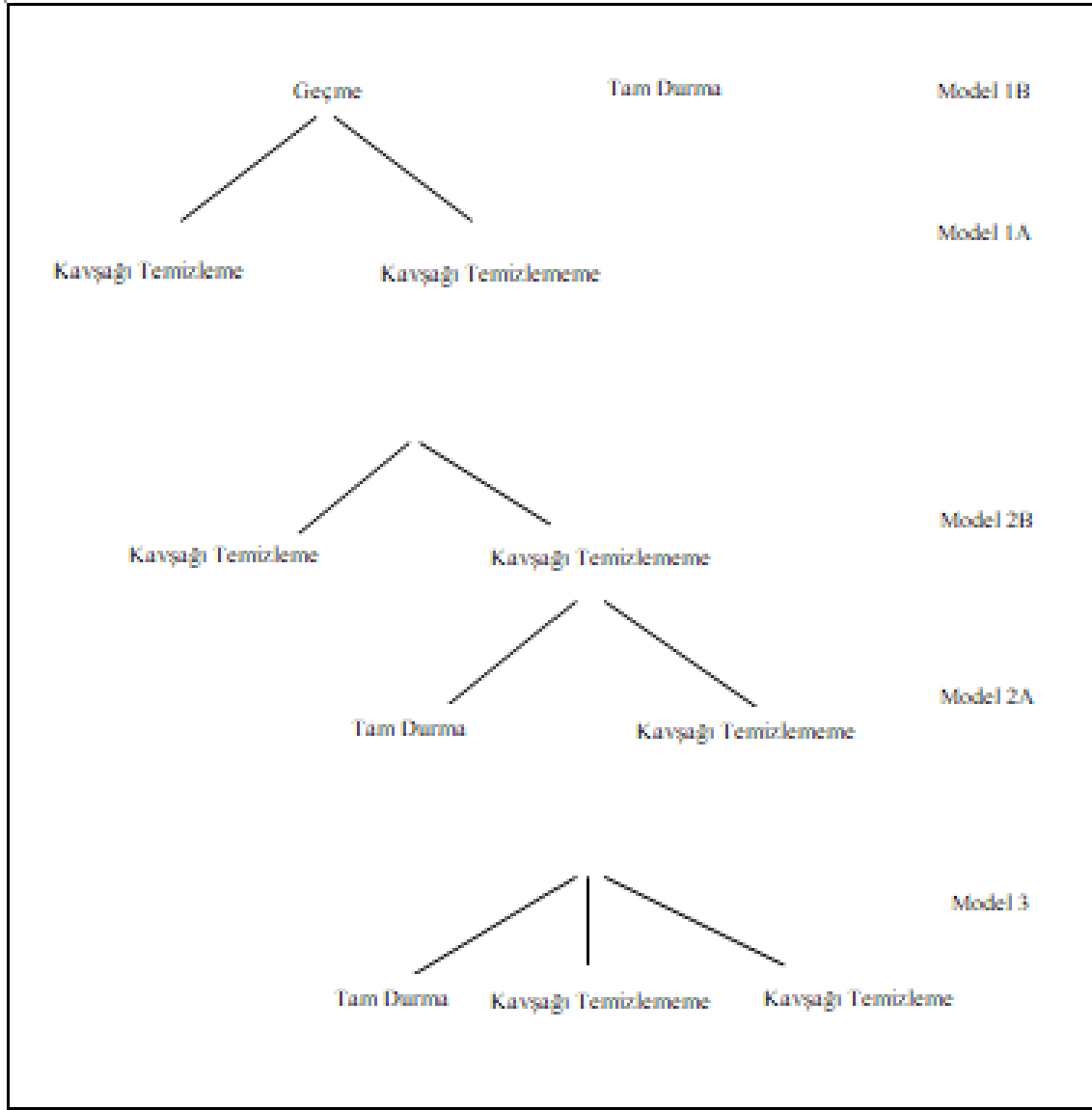
olarak ifade edilmektedir.

Sürücülerin dur veya geç kararını etkileyen faktörlerden biri de eğim olarak belirlenmiştir. Yükselmeler pozitif, düşmeler negatif işaretle ifade edilmektedir. Eğimin düştüğü kavşaklarda aynı yaklaşma hızı ve durma çizgisine mesafe dikkate alındığında sürücülerin çoğunun kavşaktan geçmeye karar vermesi beklenmektedir. Eğimin etkisi logit model ile ifade edilmiştir. Oluşturulan model; eğim arttıkça durma olasılığının artacağını, eğim azaldıkça durma olasılığının azalacağını göstermektedir.

Sürücülerin dur veya geç kararını etkileyen bir diğer faktör de kavşak genişliği olarak belirlenmiştir. Aynı hız, durma çizgisine uzaklık ve eğime sahip kavşaklar dikkate alındığında dar kavşaklarda daha fazla sürücünün kavşaktan geçme eğiliminde olması beklenmektedir. Kavşak genişliğinin etkisi logit model ile ifade edildiğinde kavşak genişliği arttıkça durma olasılığının da arttığı, kavşak genişliği azaldıkça durma olasılığının da azaldığı görülmüştür.

Nassiri (2001) [13] ikilem bölgesindeki sürücü davranışı, aracın hızı, sarı ışık süresi, durma çizgisine olan mesafe gibi faktörlerin durma olasılığına etkisini incelemiştir. Tahran'da 9 adet ön zamanlı sinyalize kavşakta toplamda 968 adet sürücü davranışı gözlemlenmiştir. Yapılan kamera kayıtlarından araç hızları, sarı ışık başlangıcında durma çizgisinde uzaklıkları, sarı ışık başlangıcında doğru giden araç sayısı, trafik hacmi, kavşak genişliği ve şerit sayısı elde edilmiştir. 2 kavşağın verisi gece, 7

kavşağın verisi gündüz toplanmıştır. Sürücülerin durma olasılıklarını tahmin etmek için bir logit model geliştirilmiştir. Oluşturulan logit model, “tam durma”, “kavşağın temizlenmesi” ve “kavşağın temizlenmemesi” seçimlerini tahmin etmektedir. Şekil 2.4’te, çalışmada kullanılan iç içe geçmiş logit modelin yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** İç içe geçmiş logit modellerin yapısı (Nassiri (2001) [13])

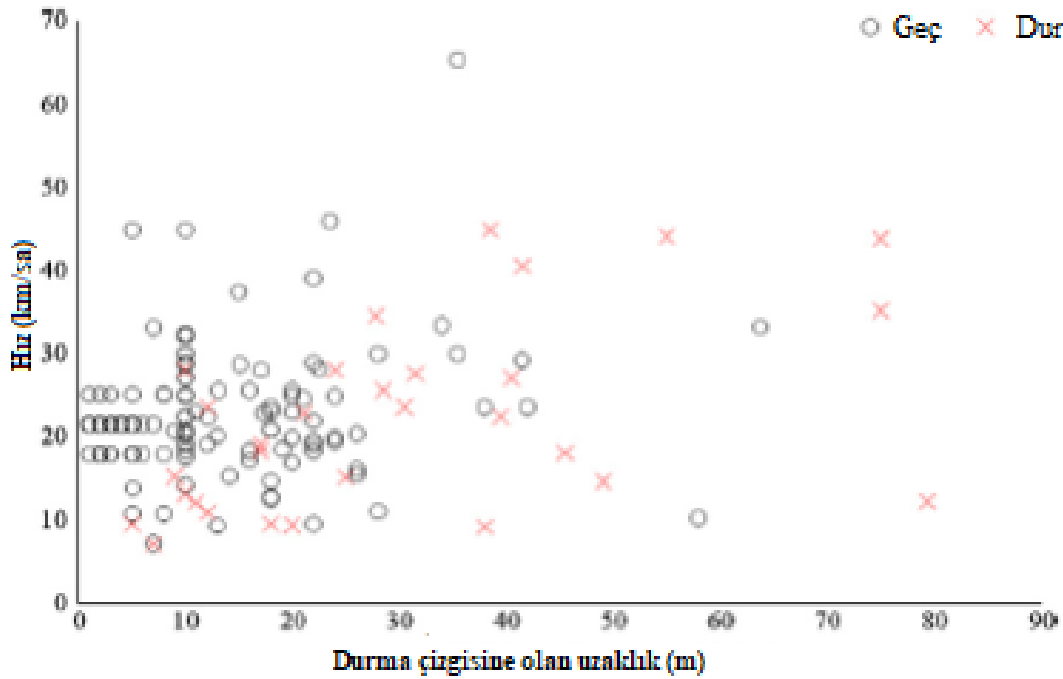
Model 1A’da kavşağı temizlenmeye karşı kavşağı temizlenmeme durumu araştırılmıştır. Sonuçlara göre sarı sinyal başlangıcında yaklaşma hızı arttıkça kavşağı temizlenme olasılığı da artmıştır. Diğer taraftan, durma çizgisine olan uzaklık arttıkça kavşağı temizleme olasılığı azalmıştır. Karşıt trafik hacmi arttıkça kavşağın temizlenme olasılığı azalmıştır. Bunun nedeninin büyük olasılıkla zıt yönlerden gelen araçlarla karşılaşma olasılığının artması olduğu tahmin edilmiştir. Model 1B’de devam eden araçlara karşı duran araçlar incelenmiştir. Sonuçlara göre gözlemlenen aracın

önündeki araç sayısı arttıkça durma eğilimi artmıştır. Ayrıca kırmızı fazın uzunluğunun artmasıyla kavşağın temizlenmesinde artış meydana gelmiştir. Şerit sayısı arttıkça ise kavşağın temizlenme olasılığı artmıştır. Bu durumun, sürücülerin şerit değiştirme ve kavşaktan geçme olasılığından kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Model, sürücülerin gün ışığı ve alacakaranlıkta geceye kıyasla kavşağın temizlenmesinde daha istekli olduklarını göstermiştir. Pik saatlerde ise sürücülerin mümkün olduğunca çabuk şekilde işe veya eve gitme arzusunda olduğu görülmüştür. Model 2A’da durmaya karşı kavşağın temizlenmeme durumu incelenmiştir. Sonuçlara göre durma çizgisine olan uzaklık, sarı sinyalin başlangıcında gözlemlenen aracın önündeki araç sayısı ve karşı yönden gelen araç sayısı arttıkça da durma olasılığı artmıştır. Model 2B’de kavşağın temizlenmesine karşı kavşağın temizlenmeme durumu incelenmiştir. Sarı aralık süresinin artışı kavşağın temizlenme olasılığının artmasına neden olmuştur. Karşı yönden gelen araçların sayısının artması duran ya da kavşağı temizleyemeyen araçların sayısında artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca 4 kollu bir kavşakta durma olasılığının 3 kollu bir kavşağa göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Model 3’te kavşağın temizlenme, kavşağın temizlenmeme ve durma durumları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Model 1 sürücü davranışını modellemek için uygun görülmüştür. Sarı aralığın uzunluğu ve aracın hızı arttığında kavşağı boşaltan sürücü sayısı artmıştır. Öte yandan durma çizgisine olan uzaklık arttıkça kavşağın temizlenme olasılığı azalmıştır. Model 1B ‘de incelenen aracın önündeki sayısının artması kavşağın temizlenme olasılığını azaltmıştır ve durma eğilimini artırmıştır. Sürücülerin gün ışığında kavşağı boşaltmaya daha fazla eğilimli oldukları görülmüştür. Kavşak tipinin, ana yöndeki trafik hacminin tali yöndekine oranının, yeşil fazın uzunluğunun, yeşil fazın uzunluğunun devre uzunluğuna oranının, kırmızı fazın uzunluğunun devre uzunluğuna oranının; kavşağın boşaltılması ya da dur çizgisinin önünde durulması kararı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Long vd. (2012) [14] geri sayım cihazının, sarı sinyalin başlamasının ardından sürücüler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Verilerin elde edilmesi için Şangay’da ana arter üzerinde benzer özelliklere sahip 4 adet kavşak seçilmiştir. Bu kavşaklardan ikisinde geri sayım cihazı mevcutken, ikisinde geri sayım cihazı bulunmamaktadır. Tüm kavşaklarda sarı ışık süresi 3 saniyedir. Kaydedilen videodan veriler çıkarılırken sadece doğru giden araçlar dikkate alınmıştır. Araç takibinin etkisinden kaçınmak için

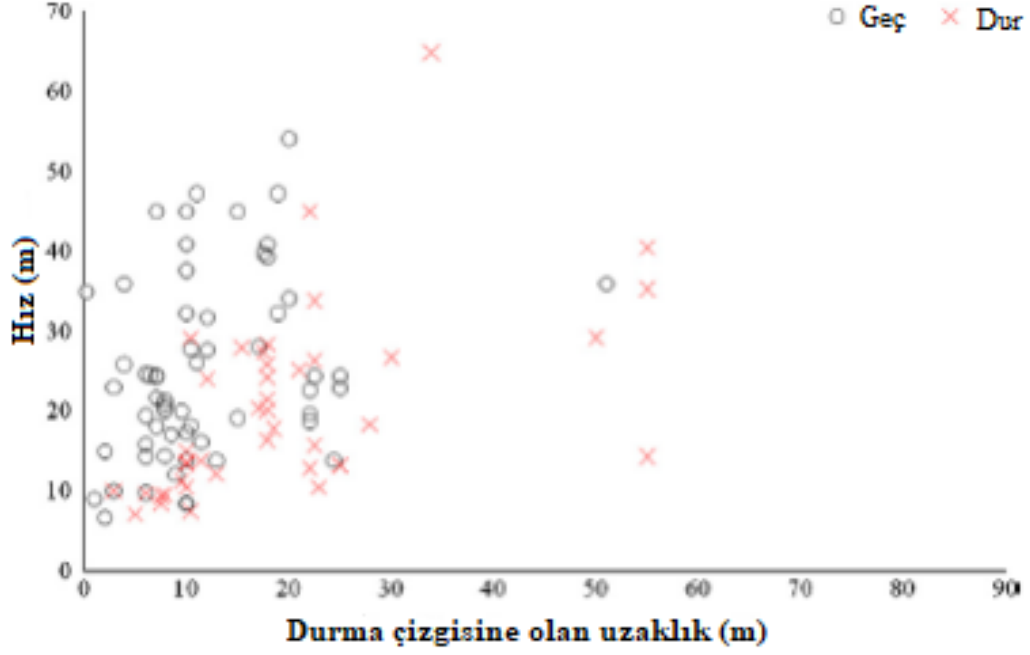
sarı ışık sırasında kavşağa yaklaşan ilk otomobil üzerinden gözlem yapılmıştır. Video düzenleme programı kullanılarak toplamda 273 araç verisine ulaşılmıştır. Aracın tipi, durma çizgisine olan uzaklığı, sarı sinyal başlangıcında yaklaşma hızı, sürücünün dur/geç kararı, sarı ve kırmızı sinyallerin başlangıç değerleri kaydedilmiştir.

Sarı sinyal başlangıcında sürücülerin durma çizgisine olan uzaklık ve hız verilerine göre oluşturulan Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da; geri sayım cihazı bulunan kavşaklarda iki sürücü karar grubu için verilerin, geri sayım cihazı bulunmayan kavşaklardaki veri noktalarından daha açık ve dağınık olduğunu görülmektedir. Geri sayım cihazı olmadan sürücüler bir sonraki aşamanın başlangıcını tahmin etmek konusunda şüpheli oldukları için kararları daha fazla rastlantısallık içermektedir.



Şekil 2.5. Geri sayım cihazı bulunan kavşak için hız ve durma çizgisine uzaklığa bağlı olarak sürücülerin kararları (Long vd., (2012) [14])





**Şekil 2.6.** Geri sayım cihazı bulunmayan kavşak için hız ve durma çizgisine uzaklığa bağlı olarak sürücülerin kararları (Long vd., (2012) [14])

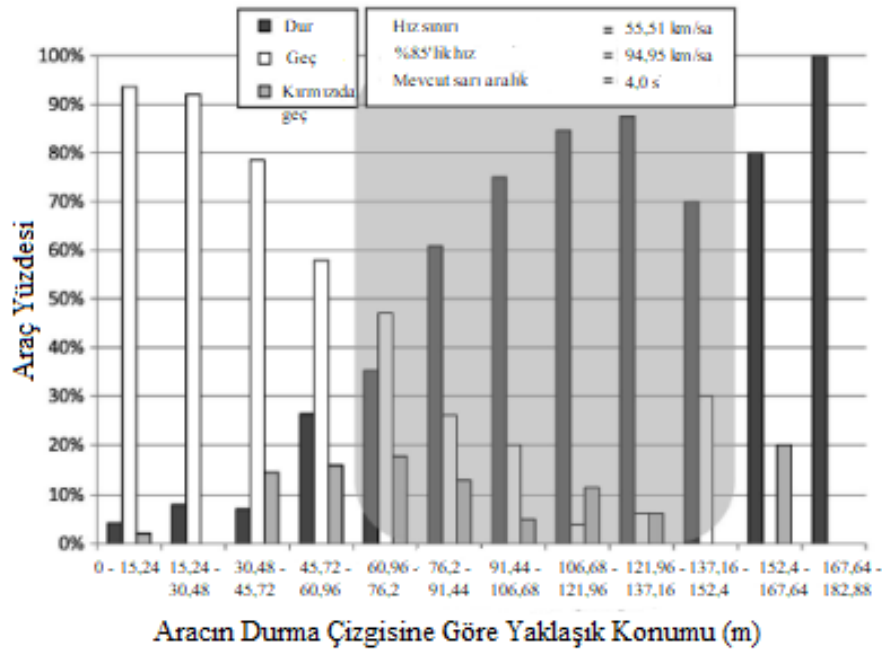
Gerisayım cihazı bulunan kavşaklarda dur kararı veren sürücüler için durma çizgisine olan ortalama uzaklık, gerisayım cihazı bulunmayan kavşaklardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Geç kararı veren sürücüler için önemli bir fark tespit edilmemiştir. Bu tespit; gerisayım cihazının, sürücülerini durma çizgisinden farklı uzaklıklarda farklı kararlar almak noktasında etkileyebileceğini göstermektedir. Sürücülerin sarı aralık başlangıcındaki tepkisine dayalı olarak sürücülerin gerisayım cihazı bulunan ve bulunmayan kavşaklardaki kararları arasındaki fark ikili lojistik regresyon modeli ile incelenmiştir. Gerisayım cihazı bulunan ve bulunmayan kavşaklarda sürücünün durma olasılığı Denklem (2.14) ile karşılaştırılmıştır:

$$\frac{\text{Odds Ratio}_{c=1}}{\text{Odds Ratio}_{c=0}} = \frac{\left(\frac{P_{Y=1}}{1-P_{Y=1}}\right)_{c=1}}{\left(\frac{P_{Y=1}}{1-P_{Y=1}}\right)_{c=0}} = e^{-(1,266)} = 0,282 \quad (2.14)$$

Denklem (2.14), gerisayım cihazı bulunan kavşakta durma olasılığının, aynı konum ve hız verileri ile gerisayım cihazı bulunmayan kavşaktakinden 0,282 katı olduğu görülmüştür. Gerisayım cihazı ile sürücülerin sarı sinyal başlangıcında sonra durma çizgisini geçme olasılığının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Hurwitz vd. (2011) [15] sürücünün karar verme davranışı ve bu davranışın karmaşıklığına atfedilen Tip II ikileme bölgesinin sınırları karakterize etmek üzerine

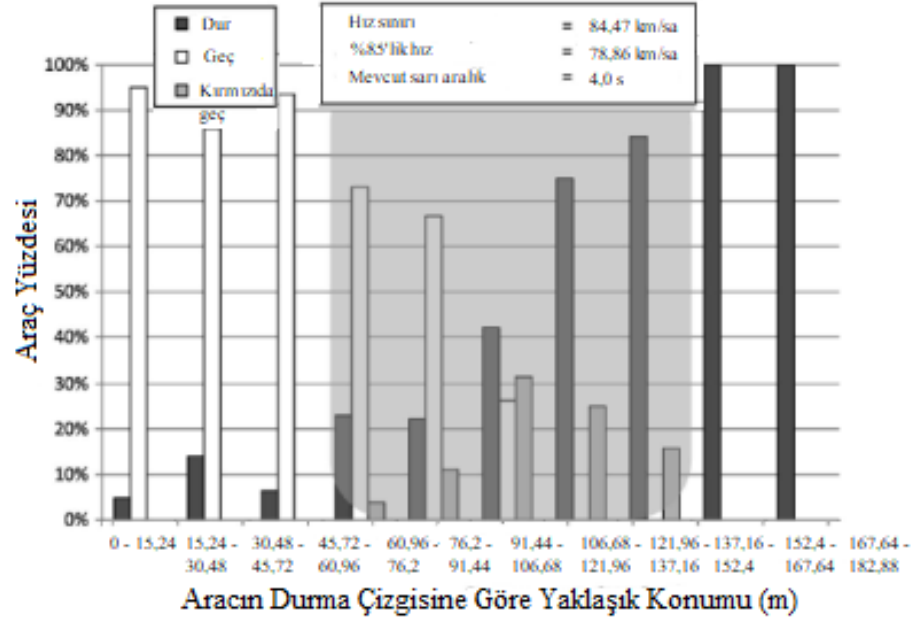
çalışmışlardır. Yüksek hızlı sinyalizasyon kavşaklarında sarı sinyal ile karşılaşan sürücü davranışlarından oluşan bir veri tabanı oluşturmayı amaçlamışlardır. Var olan ikilem bölgesi tanımlarını yeniden incelemek için sürücülerin değişim ve kavşağın temizlenme aralıklarıyla ilişkisine dair saha verilerine ihtiyaç duymuşlardır. Bunun için birbirinden farklı karakteristik özelliklere sahip 10 adet sinyalizasyon kavşağında gözlem yapmışlardır. Video kamerayla toplanan veriler işlenirken araçların sarı ışık başlangıcındaki hızının ve konumunun yanı sıra; aracın bulunduğu şerit, şeritteki konumu, tipi ve sürücünün dur/geç kararları kaydedilmiştir. Tip II ikilem bölgesinin sınırlarının tanımlanmasına uygun bir hız seçmek için ortalama hız, sınır hız, %85'lik ve %95'lik hız değerleri değerlendirilmiştir. Bu hız değerlerine birbirinden farklı ikilem bölgesi sınırları elde edilmiştir. Bu sınırlar durma çizgisine 2,5 ve 5,5 saniyeye denk gelen mesafeler olarak belirlenmiştir. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda ikilem bölgesinin hesaplanması için %85'lik hızın kullanılması daha uygun bulunmuştur. Her kavşak yaklaşımı için araçların sarı sinyal başlangıcındaki konumu ve sürücünün kararını gösteren bir model oluşturmak amacıyla veriler Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'deki gibi ifade edilmiştir.



**Şekil 2.7.** Sarı sinyalin başlangıcında araçların göreceli konumu ve sürücünün kararı, Güzergah 7 - güneye giden yaklaşım (Hurwitz vd., (2011) [15])

Şekil 2.7'de görüldüğü üzere araç durma çizgisine ne kadar yakınsa kavşağa girme olasılığı o kadar yüksektir. 94,95 km/sa'lik %85'lik hız için tahmin edilen ikilem

bölgesi 65,84 m ile 145,1 m (2,5 s ile 5,5 s) arasındadır. Bu bölge artan kırmızı ihlali ile ilişkilendirilmiştir. 152,4 m ile 167,64 m arasında kırmızıda geçme eğilimi vardır. 30,48 m ile 60,96 m için kırmızı ihlali görülse de bu bölge ikilem bölgesine yakalanmamıştır. Mevcut değişim aralığı 4 saniyedir. Ancak ITE denklemine göre sarı sinyal süresi 5,4 saniye önerilmektedir.



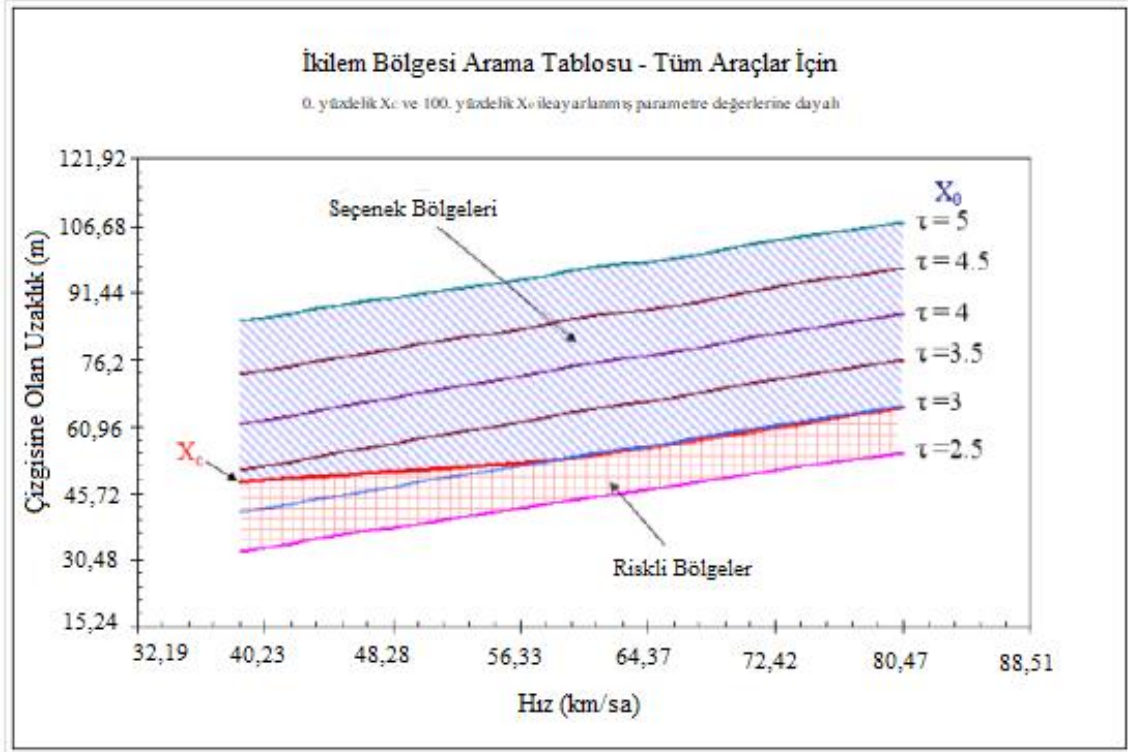
**Şekil 2.8.** Sarı sinyalin başlangıcında araçların göreceli konumu ve sürücünün kararı, Güzergah 62 - batıya giden yaklaşım (Hurwitz vd., (2011) [15])

Farklı bir yaklaşım için de araç durma çizgisine ne kadar yakınsa kavşağa girme olasılığı o kadar yüksektir. 49 mil/sa'lik %85'lik hız için tahmin edilen ikilem bölgesi 54,86 m ile 120,4 m arasındadır. Ayrıca bu bölge artan bir kırmızı ihlalini göstermektedir. Mevcut değişim aralığı 4s iken ITE denklemini yaklaşık 4,48s sarı sinyal süresi önermektedir.

Araç dağılımlarının farklı kararsızlık bölgesi tanımlarına göre karşılaştırması yapılmıştır. Kararsızlık bölgesinin sınırları; ikilem bölgesinin yukarısında, içinde ve aşağısında incelenmiştir. Bu bölgelerde araç dağılımları için durma süresi (2,5 s - 5,5 s) ve durma kararı (%10-%90) olarak incelendiğinde önemli istatistiksel farklar olup olmadığını görmek amacıyla ki-kare testi yapılmıştır. Zamana dayalı ikilem bölgesi (durma süresi) ve mesafeye dayalı ikilem bölgesi (durma kararı) arasında istatistiksel olarak farklı bir araç dağılımı görülmüştür. Durma süresi, ikilem bölgesinin altındaki araç dağılımında bir değişimi tanımlarken; durma kararı, ikilem bölgesi içindeki ve

ikilem bölgesinin üstündeki bir değişimi tanımlamaktadır. Durma kararı tanımı, durma süresi tanımından daha fazla aracın sarı ışıkta kavşaktan geğmesine neden olmaktadır. İki tanım için de sürücülerin kırmızıda geçme eğilimleri arasında önemli bir fark görülmemiştir. Veri alınan kavşaklardaki sarı aralık süresinin uzatılmasının, sürücülerin karar verme sürecine fayda sağlayarak kavşak güvenliğini arttıracadığını kanıtlanmıştır. Durma süresi ve durma kararı tanımlarına göre sürücü davranışlarının ve araç dağılımlarının farklılıkları görülmüştür. Yazarlara göre yaklaşan araçlar için hız bilgisinden daha azı mevcutsa durma kararı tanımının kullanılması daha açıklayıcı bulunmuştur.

Wei (2008) [16] kazalara neden olan ikilem bölgesinin konumunu ve uzunluğunu; hız ve sarı süreye bağlı olarak incelemiştir. İkilem bölgesinin tanınması, ikilem bölgesinin uzunluğunu ve konumunu doğru bir şekilde ele alan modelin geliştirilmesi, ikilem bölgesi tahmin çizelgelerinin oluşturulması ve ikilem bölgesi koruması için döngü düzeninin oluşturulmasına yardımcı olmak çalışmanın ana hedefleridir. Gözlem yapılmak üzere Ohio'da bir sinyalize kavşak seçilmiştir. Verilerin alınması için her döngüde sarı ve kırmızı ışıkta doğru giden araçlar hedeflenmiştir. Duran araçlar için her şeritte ilk duran araç dikkate alınmıştır. Toplam 679 araç kaydedilmiştir. Araçların kategorileri ve trafik sinyal sisteminin özellikleri de dikkate alınmıştır. Kaydedilen video analiz edilerek araçların hız, mesafe ve hızlanma/yavaşlama profillerinden oluşan bir veri seti elde edilmiştir. Teorik olarak hesaplanan ve  $X_c$  ve  $X_o$ , gözlemlenenle kalibre edilmiştir. Kalibre edilen faktörlere dayanarak bir ikilem bölgesi arama çizelgesi olan şekil 2.9 oluşturulmuştur. Bu çizelge, belirli bir hız ve belirli bir sarı aralık süresi için Risk Bölgesi ve Seçenek Bölgesi oluşup oluşmadığını, bölgenin konumunun ve uzunluğunun belirlenmesini sağlamaktadır.



**Şekil 2.9.** Tüm araçlar için Tip II ikilem bölgesi arama çizelgesi (Wei, (2008) [16])

Oluşturulan ikilem bölgesi arama çizelgesine bakıldığında sarı aralık süresi arttıkça seçenek bölgesinin uzunluğu artarken, risk bölgesinin uzunluğu azalmaktadır. Daha yüksek hızlara sahip araçların dur kararı verebilmesi için daha fazla algılama-tepki süresine ve durmak için daha yüksek bir yavaşlama ivmesine ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Diğer yandan daha düşük hızlara sahip araçların geç kararı verebilmesi için daha fazla algılama-tepki süresine ve kavşağı geçmek için daha yüksek hızlanma ivmesine ihtiyaç duymaktadır.

Wei vd. (2009) [17] ikilem bölgesi tiplerinin oluşmasında katkıda bulunan sürüş davranışıyla ilgili faktörleri incelemiştir. Saha gözlemlerine bakıldığında, bir sürücü sarı sinyal ile karşılaştığında sarı aralık boyunca kavşağı temizleyip temizleyemeyeceğini düşünmemektedir. Aslında düşündüğü, kırmızı ışık yanmadan önce durma çizgisini geçip geçemeyeceğidir. Bu nedenle yaptıkları çalışmada  $X_0$  (maksimum temizleme mesafesi) hesaplanırken  $w$  (kavşak genişliği) ve  $L$  (araç uzunluğu) hesaba katılmamıştır. Sarı aralığın araçları kavşaktan geçirmekten ziyade durma çizgisine götürmek için olduğu varsayılmıştır.

GMH modeli [3] bu amaçla geliştirilerek Denklem (2.15) ve Denklem (2.16) kullanılmıştır:

$$X_c = V_0 \delta_{dur} + \frac{V_0^2}{2\alpha_{dur}} \quad (2.15)$$

$$X_0 = V_0 \tau + \frac{1}{2} \alpha_{geç} (\tau - \delta_{geç})^2 \quad (2.16)$$

Burada;

$X_c$ : Minimum durma mesafesi (ft)

$X_0$ : Maksimum geçiş mesafesi (ft)

$V_0$ : Aracın yaklaşma hızı (ft/s)

$\delta_{dur}$ : Güvenli duruş için sürücünün minimum algılama – tepki süresi (s)

$\alpha_{dur}$ : Güvenli duruş için aracın maksimum yavaşlama oranı (ft/s<sup>2</sup>)

$\delta_{geç}$ : Güvenli geçiş için sürücünün minimum algılama – tepki süresi (s)

$\alpha_{geç}$ : Güvenli geçiş için aracın maksimum hızlanma oranı (ft/s<sup>2</sup>)

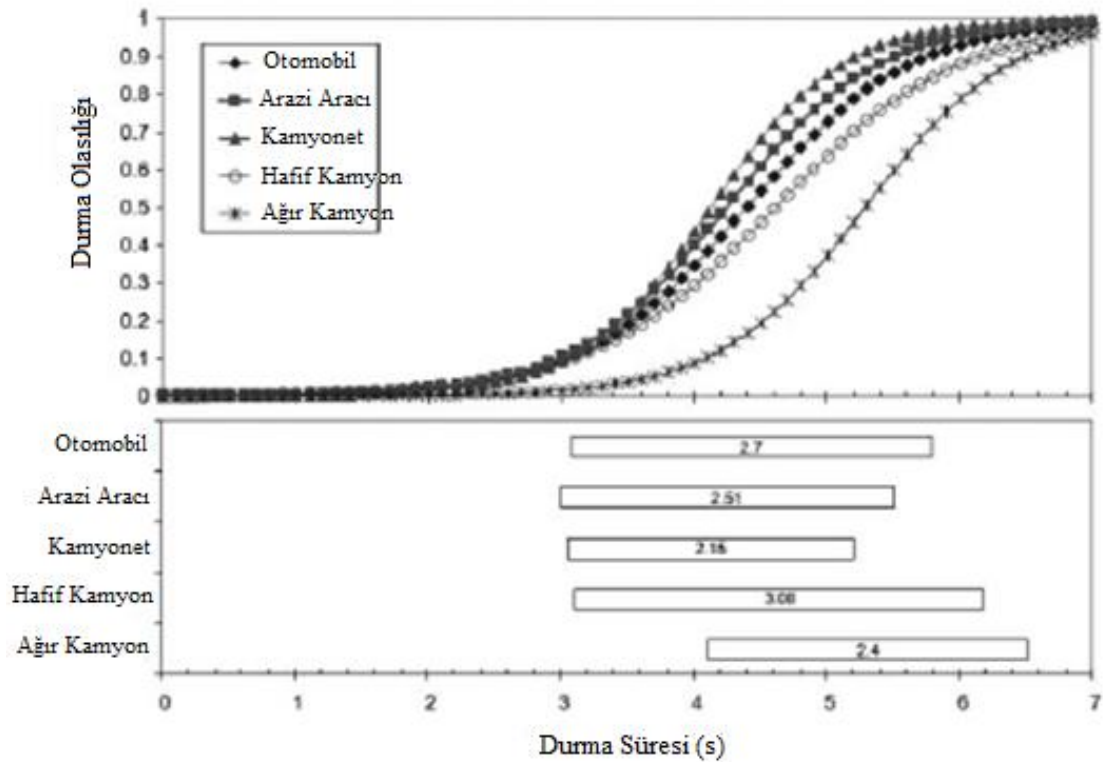
$\tau$ : Sarı ışık süresi (s)

olarak ifade edilmiştir.

$X_c > X_0$  ise tip I ikilem bölgesi mevcut olup ikilem bölgesi uzunluğu Denklem (2.15) ile Denklem (2.16)'nın farkından bulunmaktadır.  $X_0 > X_c$  ise seçenek bölgesi mevcuttur ve seçenek bölgesinin uzunluğuna Denklem (2.16) ile Denklem (2.15)'in farkından ulaşılmaktadır.

Tip II ikilem bölgesi, sürücülerin durma olasılığını etkileyen birden çok faktörün bir fonksiyonu olarak modellenmektedir. Bunun için ikili lojistik regresyon modeli uygun bulunmuştur. Tip II ikilem bölgesinin tanımına göre ikilem bölgesinin aşağı sınırı sürücülerin %10'unun durmayı seçtiği, ikilem bölgesinin yukarı sınırı ise sürücülerin %90'ının durmayı seçtiği sınırlardır. Gözlem yapmak için Ohio'da bir kavşak seçilmiş ve veriler video kamera kaydıyla toplanmıştır. Her sarı aralık boyunca kırmızı da dâhil geçen tüm araçlar ve ilk duran araçlar hedeflenmiştir. Video kaydı boyunca 466 adet sarı ışıkta doğru giden, 197 adet ilk duran ve 16 adet kırmızı ışıkta geçen araç tespit edilmiştir. Gözlemlenen minimum durma mesafesi  $X'_c$  ve maksimum geçiş mesafesi  $X'_0$  profilleri, çeşitli hızlarda regresyon analizi yapılarak belirlenebilmektedir. Hesaplanan ve gözlemlenen  $X_c$  ve  $X_0$  değerleri incelenmiştir. Hesaplanan  $X_c$  ile gözlemlenen  $X'_c$  70,81 km/sa'te kesişmiştir. Bu da sürücülerin durma konusunda 70,81 km/sa'ten daha düşük hızlarda daha az muhafazakâr, 70,81 km/sa'ten daha yüksek hızlarda daha fazla muhafazakâr duruş sergilediklerini göstermektedir. Hesaplanan  $X_0$  ve gözlemlenen  $X'_0$  değeri 46,67 km/sa'te kesişmiştir. Bu da

sürücülerin 46,67 km/sa'ten daha yüksek hızlarda varsayılandan daha az agresif olduğunu göstermektedir. Ayrıca kırmızıda geçen araçların çoğu gözlemlenen X'0'ın ötesinde olduğu görünmektedir. Bu da bu araçların sarı sinyal sırasında geçemedikleri için kırmızı da geçtiği anlamına gelmektedir. Ayrıca gözlemlenen seçenek bölgesi içinde bulunan kırmızıda geçen araçların bu davranışları sürücünün tereddüt etmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Tip II ikilem bölgesini incelerken araç tipinin sürücülerin durma kararı üzerinde önemli bir etkisi olduğu keşfedilmiştir. Araç tipi (kategorik bir değişken olarak) ve durma çizgisine ulaşmak için gereken süre, lojistik regresyon modellemesinde bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Ağır ve hafif kamyon sürücülerinin, diğer araçların sürücülerine göre geçiş kararı verme olasılığının daha yüksek olduğu görülmüştür. Otomobillerin, arazi araçlarının, minibüslerin ve hafif kamyonlar için Tip II ikilem bölgesi aşağı akış sınırlarının benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca hafif kamyonlar en fazla Tip II ikilem bölgesi uzunluğuna ve ağır kamyonlar en uzak Tip II ikilem bölgesi yukarı akış sınırına sahip olduğu tespit edilmiştir. Araç tiplerine göre Tip II İkilem Bölgesi sınırları ve uzunluğu aşağıdaki Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Tip II ikilem bölgesinin uzunluğu ve sınırları (Wei vd., (2009) [17])

Tüm araçların durma olasılığı Denklem (2.17)' de modellenmiştir:

$$P_i(\text{Dur}) = \frac{1}{1 + e^{-(-6.948 + 1.557 \cdot TTS)}} \quad (2.17)$$

Burada;

TTS: Durma süresi (s)

olarak ifade edilmektedir.

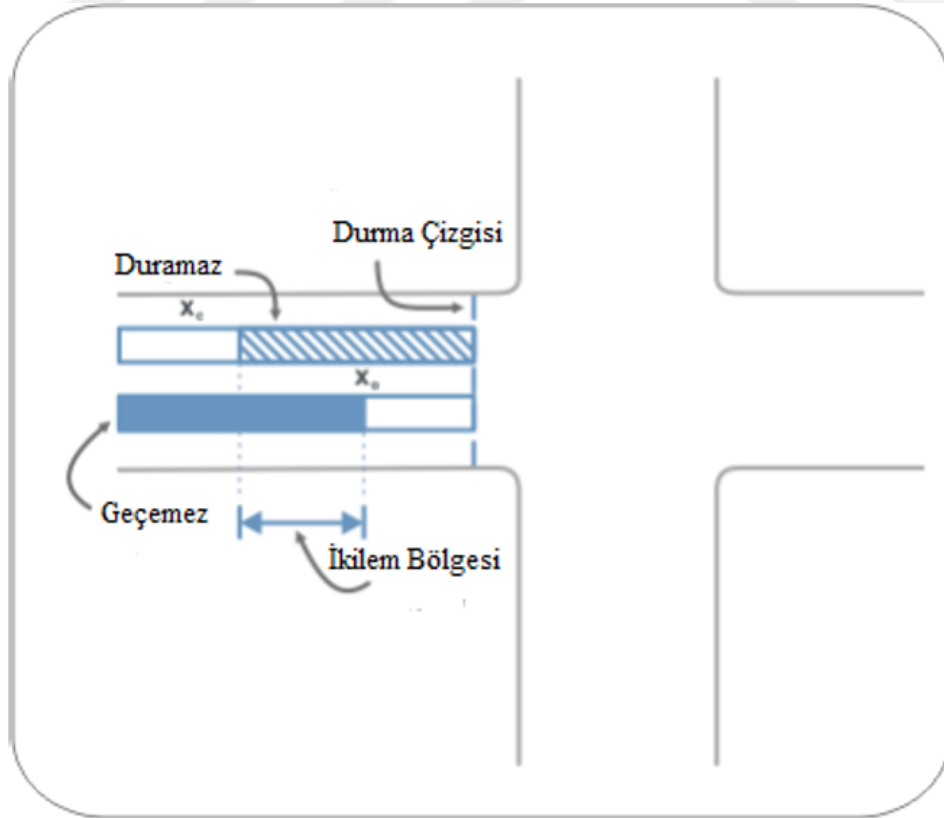
Tüm araçların durma olasılığına göre Tip II ikilem bölgesinin sınırları 3.05 s ve 5.87 s olarak belirlenmiştir. Tip I ve Tip II ikilem bölgesi karşılaştırılmıştır. 80,47 km/sa'in altındaki tüm hızlarda Tip I ikilem bölgesinin bu yaklaşımda ortadan kalktığı ve sürücüler için seçenek bölgesinin var olduğu tespit edilmiştir. Seçenek bölgesi içinde bulunan araçların kavşaktan geçmeye tercih ettiği görülmüştür. Ayrıca minimum geçiş mesafesinden ( $X_0$ ) daha uzakta bulunan çoğu aracın sarı aralıkta durma çizgisini geçebildiği gözlemlenmiştir. Bu da hesaplanan  $X_0$  değerinin gerçeğe kıyasla oldukça kısa olduğunu göstermiştir. Bu durumun  $X_0$  hesaplanırken kavşak genişliği ve araç uzunluğunun dâhil edilmesi nedeniyle olduğu tahmin edilmiştir. Bu da  $X_0$  formülünün mevcut uygulamasının gerçekteki sürüş davranışını tam olarak yansıtamadığını göstermiştir.  $X_0$  hesabında, kavşak genişliği (w) ve araç uzunluğunun (L) çıkarılmasıyla daha tutarlı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmüştür.

Walia vd. (2016) [18] Delhi'de yaptıkları çalışmada Tip I ikilem bölgesinin uzunluğunu ve Tip II ikilem bölgesinin sınırlarıyla birlikte uzunluğunu belirlemek üzerine çalışmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda 101 adedi otomobil, 23 adedi iki tekerlekli, 30 adedi üç tekerlekli, 22 adedi büyük otomobil ve 7 adedi otobüs olmak üzere 183 aracın verisine ulaşılmıştır. Kaydedilen döngü sayısı 40'tır ve sarı süre 5 s'dir. Tip I ikilem bölgesi için GMH modeli [3] kullanılarak tüm araçlar için yapılan hesaplar sonucunda  $X_c - X_0$  ikilem bölgesi değerinin negatif çıktığı görülmüştür (-0.79 m). Otomobiller için ise bu değer pozitif bulunmuştur (12,18 m). Burada tüm araçlar için ikilem bölgesi söz konusu değilken otomobiller için ikilem bölgesi oluşumu söz konusu olmuştur. Tip II ikilem bölgesinin belirlenmesi için ise araçların durma çizgisine olan süresi kümülatif sıklık eğrisiyle gösterilmiştir. %10 ve %90 değerlerine denk gelen süreler ikilem bölgesi sınırlarını vermiştir. Sınırlar, 3.68 s ve 5.16 s olarak belirlenmiş olup bu değerler arasında kalan bölge Tip II ikilem bölgesidir. Tip II tüm



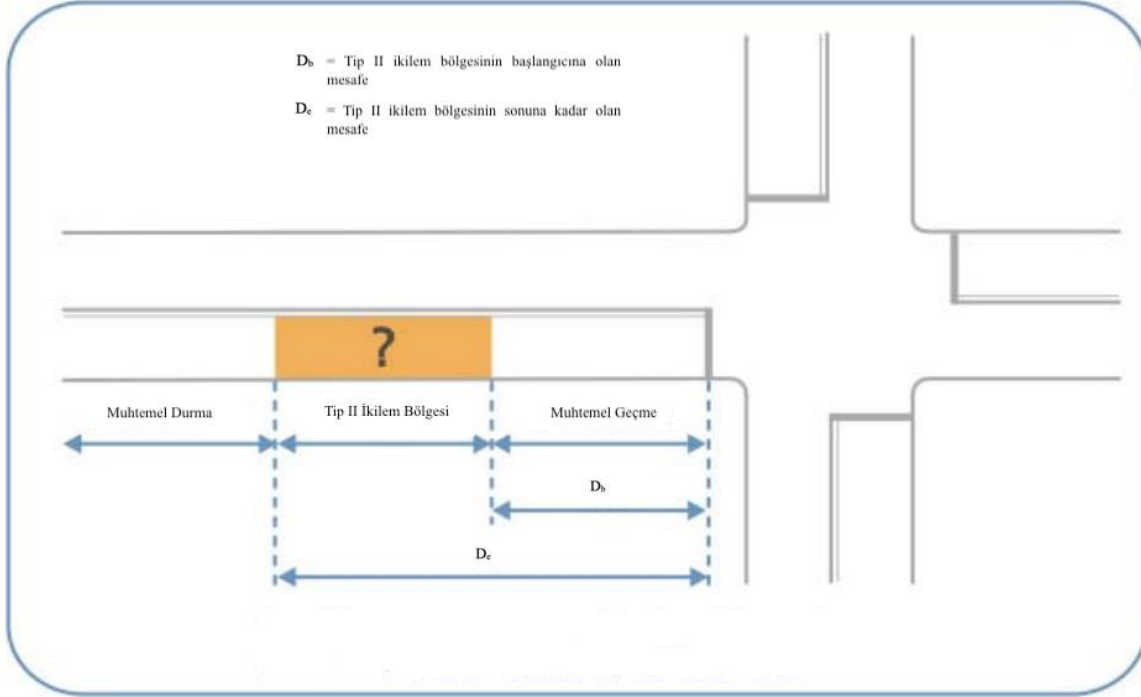
araçlar için hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda ikilem bölgesinin sadece yüksek hızlı kavşaklarda oluştuğu ve düşük hızlı kavşaklarda ikilem bölgesi hakkında endişe duyulmaması gerektiği ifade edilmiştir.

Urbanik ve Koonce (2007) [19] ikilem bölgesiyle ilgili temel sorunun terminolojiyi tanımlamada meydana gelen eksikliklerden kaynaklandığını iddia etmiştir. Amerika’da sarı sinyalle ilgili yasalar ülke genelinde farklılık gösterdiği için yaptıkları çalışmada izin veren sarı yasa esas alınmıştır. İzin veren sarı yasa, bir aracın sarı aralığın tamamı boyunca kavşağa girmesi ve sarı aralıkta kavşağa girdiği sürece kırmızı gösterge sırasında kavşakta bulunması durumu olarak tanımlanmaktadır. Kısıtlayıcı sarı yasa ise sarı aralık boyunca araçların kavşağa giremediği veya kırmızıda kavşakta bulunamadığı bir durum olarak tanımlanır. Çalışmalarında değişim aralığının ve kavşağın temizlenme aralığının, yaklaşan aracın mevcut hızında kavşağı terk etmesi için yeterli süre sağladığını varsayımlardır. Yeterli sarı ve her yöne kırmızı ışık süresinin sağlanamaması Tip I ikilem bölgesinin oluşmasına neden olmaktadır. Gazis tarafından formüle edilen ve Şekil 2.11’de Tip I ikilem bölgesi, sarı aralığın bir aracın güvenli bir şekilde kavşakta durması veya kavşaktan geçmesi için yeterli olmadığı durumlarda oluşmaktadır.



Şekil 2.11. Tip I ikilem bölgesinin gösterimi (Urbanik ve Koonce, (2007) [19])

Sürücü davranışlarında ve performanslarındaki değişiklikler ise Şekil 2.12’de gösterilen Tip II ikilem bölgesinin oluşmasına yol açmaktadır. Sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşan sürücüler durma yetenekleri konusunda kararsız olma eğilimindedir. Tip II ikilem bölgesi, sürücü kararının olasılıklı doğasını yansıtan “kararsızlık bölgesi” olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.12. Tip II ikilem bölgesinin gösterimi (Urbanik ve Koonce, (2007) [19])

Trafik güvenliği için iki tip ikilem bölgesini anlamak oldukça önemlidir. Tip I ikilem bölgesi uygun değişim ve temizleme aralığı ile değerlendirilirken Tip II ikilem bölgesi ise algılama sistemlerinin ve kontrolör zamanlama parametrelerinin uygun seçilmesi ile değerlendirilmektedir.

### 3. TİP I İKİLEM BÖLGESİ

Kavşaklar, iki veya daha fazla yolun birleştiği veya ayrıldığı ortak alanlar olup karayolunun önemli parçalarındandır. Kavşaklar, ana ve tali yollardaki birbirleriyle kesişen trafik hareketlerinin sürekliliğinin sağlanması, hızın sınırlandırılması, güvenliğin artırılması, gecikmelerin ve taşıtların işletme maliyetlerinin azaltılması amaçlarıyla arazi ve trafik koşulları göz önünde bulundurularak tasarlanmaktadır. Tasarımdaki temel ilkeler; kavşağın güvenli, estetik, ekonomik ve hedeflenen hizmet seviyesine uygun olmasına dayanmaktadır. Kavşak tasarımını etkileyen birden çok faktör bulunmaktadır. Sürücü ve yaya davranışlarından oluşan insan faktörü, taşıt faktörü, fiziksel faktörler, ekonomik faktörler ve sosyal faktörler kavşak tasarımı etkileyen unsurlar arasındadır [20].

Kavşaklar, iki veya daha fazla trafik yaklaşımının kesiştiği ve bu nedenle kaza potansiyelinin yüksek olduğu alanlar olduğundan araç ve yaya trafiğinin dâhil olduğu bu karmaşık noktalarda emniyetli manevra hareketi sağlamak amacıyla sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Sinyalizasyon, belirli bir yöne geçiş hakkı atayarak çakışma (kesişme, birleşme, ayrılma) nokta sayısını daha az seviyeye indiren bir sistemdir [21]. Sinyal sistemlerinin tasarımının temelleri, kavşağın güvenli ve verimli çalışmasını sağlayacak faz planının oluşturulması ve optimum sürelerin belirlenmesine dayanmaktadır. Sinyalizasyon kurulumu kavşaklarda meydana gelen kazalar ve bu kazaların önlenmesine yönelik alınan tedbirlerin yeterli olmaması (hız sınırı, geçiş yasağı vb.) durumunda gerçekleştirilmektedir. Ancak sürücü davranışı, hız, sürücünün algılama-tepki süresi, sarı aralık süresi, kavşağın geometrik özellikleri gibi çeşitli nedenlerden dolayı kazalar meydana gelmektedir.

Yüksek hızlı kavşaklarda trafik sinyali yeşilden sarıya döndüğü sırada kavşağa yaklaşmakta olan sürücüler olası bir dik açılı çarpışmayı ve ani durmalar sonucu meydana gelen arkadan çarpışmaları önlemek için kavşakta dur ya da geç kararı vermeleri gereken bir bölgeye yakalanırlar. Bu bölge ikilem bölgesi olarak adlandırılmaktadır. İlk olarak Gazis vd. tarafından ortaya atılan bu kavram literatürde “Tip I İkilem Bölgesi” olarak yer almaktadır. Gazis vd. yaptıkları çalışmalarda sinyal

yeşilden sarıya döndüğünde kavşağa yaklaşmakta olan araç sürücülerinin dur veya geç kararını verme sürecinde bir sorun ile karşılaştıklarını tespit etmişlerdir. Bu süreç arkadan çarpışmalara ve dik açılı çarpışmalara neden olacak güvenlik açısından istenmeyen durumlara yol açacağı için kaçınılması gerekmektedir. Tip I ikilem bölgesinin oluşma nedeni sinyal zamanlamasının uygun olarak tasarlanmamasından kaynaklanmaktadır. Yetersiz değişim ve kavşak temizlenme aralığı süreleri Tip I ikilem bölgesi oluşumundaki temel faktörlerdir. Bu nedenle uygun zamanlama ile tasarlanan kavşaklarda Tip I ikilem bölgesi ortadan kaldırılabilir.

Sabit bir  $V_0$  hızıyla hareket eden aracın sarı aralık başladığında kavşaktan  $X$  mesafesinde olduğu durumda sürücü iki alternatifle karşı karşıya kalmaktadır. Kavşağa girmeden önce ya yavaşlayıp aracı durdurmalıdır ya da gerektiğinde hızlanarak kavşaktan geçmeli ve sinyal kırmızıya dönmeden geçişini tamamlamalıdır. Gazis vd. Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'de yer alan  $X_c$  ve  $X_0$  değerlerini türetmiştir.

$$X_c = V_0 \cdot t_r + \frac{V_0^2}{2d_{max}} \quad (3.1)$$

$$X_0 = V_0 \tau - (w + L) + \frac{1}{2} a_{max} (\tau - t_r)^2 \quad (3.2)$$

Burada;

$X_c$ : Minimum durma mesafesi (m),

$V_0$ : Sarı ışık başlangıcında aracın hızı (m/s),

$t_r$ : Sürücünün algılama – tepki süresi (s),

$d_{max}$ : Aracın maksimum yavaşlama hızı (  $m/s^2$ ),

$X_0$ : Güvenli geçiş için maksimum mesafe (m),

$\tau$ : Sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı aralık sürelerinin toplamı (s),

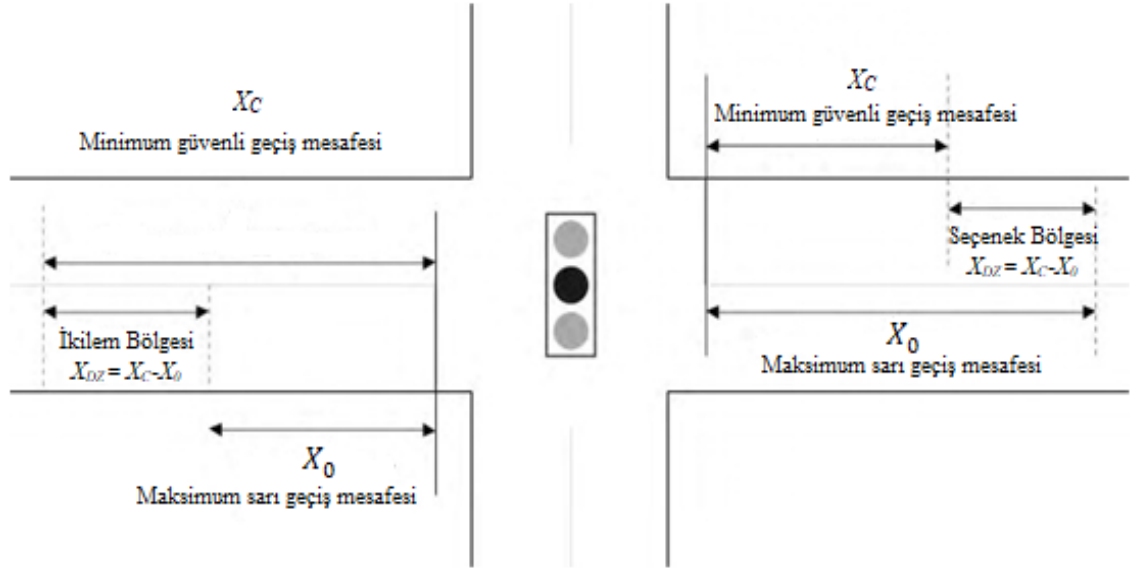
$w$ : Kavşak genişliği (m),

$L$ : Ortalama araç uzunluğu (m),

$a$ : Aracın maksimum hızlanma hızı (  $m/s^2$ ).

Eğer sürücü sarı sinyalle karşılaştığında aracın hızını koruyarak hızlanmadan kavşağa yaklaşıyorsa eşitlik Denklem (3.3)'eki gibi ifade edilebilir.

$$X_0 = V_0 \tau - (w + L) \quad (3.3)$$



**Şekil 3.1. İkilem Bölgeleri**

Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi  $X_C > X_0$  ise sürücü Tip I ikilem bölgesinde yer almaktadır. Bu durumda sürücü sarı ışık başlangıcında ne kolaylıkla durabilir ne de sinyal kırmızıya dönmeden kavşağı güvenli bir şekilde geçebilir. Sürücünün güvenli şekilde kavşağı temizleyebilmesi için hızını artırması gerekmektedir. Bu durum ise hız sınırı ihlaline neden olmaktadır.  $X_0 > X_C$  olması durumunda ise maksimum geçiş mesafesi minimum durma mesafesinden büyük olduğu için sürücü güvenli bir şekilde durabilmekte ya da kavşaktan geçebilmektedir. Bu bölge “seçenek bölgesi” olarak adlandırılmaktadır [3].

Sürücü davranışını ve ikilem bölgesinin uzunluğunu etkileyen faktörler arasında aracın hızı, kavşağa olan uzaklığı, sürücünün algılama-tepki süresi, sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı aralık sürelerinin uzunluğu, aracın boyu ve kavşağın genişliği yer almaktadır. İkilem bölgesini etkileyen bu faktörler kavşağın güvenliği ve performansı açısından oldukça önemlidir.

### **3.1. Tip I İkilem Bölgesi’ni Etkileyen Parametreler**

Trafik, doğası gereği belirsizlikler içeren stokastik bir süreçtir. Bu nedenle sürücülerin davranışlarını etkileyen birden çok etken mevcuttur. Sürücüler sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşırken farklı tepkiler verebilmektedir. Sürücü tarafından karar verilmesi gereken bu süreç; sürücünün trafikteki davranış eğilimlerine, trafiğin koşullarına, aracın ve kavşağın özelliklerine göre değişkenlik gösterebilir. Özellikle sürücü davranışı, karar verme sürecinde ve dolayısıyla kavşak güvenliğinde önemli bir

faktördür. Bazı sürücüler trafikte agresif davranışlar sergileme eğilimindeyken bazı sürücüler daha muhafazakâr davranışlar sergilemektedir. Bu nedenle ikilem bölgesinin uzunluğu, durma çizgisine olan uzaklığı ve türü; sürücü davranışlarına göre değişebilmektedir.

Algılama-tepki süresi ve hızlanma/yavaşlama ivmeleri sürücünün trafikteki sürüş performansını etkileyen faktörlerdir. Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü (ITE) tarafından önerilen algılama-tepki süresi 1 s ve yavaşlama ve hızlanma ivmesi sırasıyla; 3,05 m/s<sup>2</sup> ve 0 m/s<sup>2</sup>'dir [22]. Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği (AASHTO) tarafından önerilen algılama-tepki süresi 1,5 s ve yavaşlama ve hızlanma ivmeleri sırasıyla; 3,41 m/s<sup>2</sup> ve 0 m/s<sup>2</sup>'dir [23]. Yapılan çalışmalarda algılama-tepki süresi ve hızlanma/yavaşlama ivmeleri genellikle sabit kabul edilmektedir.

Aracın hızı, durma çizgisine olan uzaklığı, kavşak genişliği, sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı aralığın süresi; sürücü davranışını etkileyen diğer faktörler arasında yer almaktadır. Sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı aralıkların yeterli sürelerde tasarlanması Tip I ikilem bölgesinin ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır [1,19,24].

Değişim ve kavşağın temizlenme aralığı, yeşil sinyalden kırmızı sinyale geçişi gösteren sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı göstergelerdir. Değişim aralığının uzunluğunu hesaplanmak için ITE tarafından önerilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$y = t + \frac{1.47S_{85}}{2a+(64.4*0.01G)} \quad (3.4)$$

Burada;

y: Sarı aralığın uzunluğu, s

t: Sürücünün tepki süresi, s

S<sub>85</sub>: Yaklaşan araçlar için %85'lik hız ya da limit hız, mil/h

a: Aracın yavaşlama oranı, ft/s<sup>2</sup>

G: Yaklaşımın eğimi, %

64.4: Yerçekimine bağlı hızlanma oranının iki katı (32.2\*2), ft/s<sup>2</sup>

olarak ifade edilmektedir.

Denklemdaki yavaşlama ivmesi için 10 ft/s<sup>2</sup> (3,05 m/s<sup>2</sup>) ve sürücü tepki süresi için 1 s yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temizleme aralığının uzunluğunu hesaplamak için ITE tarafından bazı koşullu durumlara göre denklemler önerilmiştir. Bu denklemler aşağıda verilmiştir:

Yaya trafiğinin olmadığı durumlar için:

$$ar = \frac{w+L}{1.47 S_{15}} \quad (3.5)$$

Yoğun yaya trafiğinin olduğu durum için:

$$ar = \frac{P+L}{1.47 S_{15}} \quad (3.6)$$

Az yaya trafiğinin olduğu durum için:

$$ar = \max \left[ \left( \frac{w+L}{1.47 S_{15}} \right), \left( \frac{P}{1.47 S_{15}} \right) \right] \quad (3.7)$$

Burada:

ar: Tüm yönlere yanan kırmızı aralığın uzunluğu, s

w: Kalkış durma çizgisinden en uzak çakışan trafik şeridinin uzak tarafına olan mesafe, ft

P: Kalkış durma çizgisinden en uzak çakışan yaya geçidinin uzak tarafına olan mesafe, ft

L: Standart araç uzunluğu, genellikle 18-20 ft

S<sub>15</sub>: Yaklaşan araçların %15'lik hızı ya da hız limiti, mi/h

Kavşaklarda belirlenen değişim ve temizlenme aralığının yetersiz olduğu veya yanlış hesaplandığı durumlarda, sarı sinyal başlangıcında güvenli bir şekilde duramayan sürücünün kavşağı geçmesi ve çakışan akışlardan çıkmasına izin vermek için yeterli olmadığına ikilem bölgesi meydana gelmektedir. Bu durum ciddi kazalara sebep olabilmektedir. Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında değişim ve temizleme aralığı olarak tanımlanan sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı ışık sürelerinin toplamı, kavşak temizlenme süresi (t<sub>c</sub>) olarak ifade edilecektir.

Algılama-tepki süresi, hızlanma/yavaşlama oranı, sarı ve tüm kırmızı aralıkların süresi, aracın hızı, aracın durma çizgisine olan uzaklığı, aracın boyu ve kavşağın

genişliğinin yanı sıra araç tipi, hava koşulları, yolun fiziksel özellikleri, sürücünün deneyimi, sinyal kontrol sisteminin tipi gibi diğer faktörler de sürücünün davranışını etkileyebilmektedir.

### 3.2. Tip I İkilem Bölgesi'nin Analizi

Kavşaklardaki araç ve yaya trafiğinin güvenli bir şekilde kontrol edilebilmesi için sinyalizasyon sistemlerinin varlığı oldukça önemlidir. Yüksek hızlı sinyalize kavşaklarda sinyalizasyon tasarımındaki eksiklikler ya da hatalar ciddi kazalara neden olmaktadır. İkilem bölgesinin konumunu ve uzunluğunu etkileyen faktörlerden Bölüm 2'de bahsedilmiştir. Bu çalışmada ikilem bölgesini etkileyen faktörlerin etkisini bulabilmek amacıyla Denklem (3.1) ve Denklem (3.3) kullanılarak analizler yapılmıştır. Çalışmada  $V_0$  hızları 50 km/sa (13,89 m/s) ile 100 km/sa (27,78 m/s) arasında 10 km/sa artırılarak değiştirilmiştir. Sarı ve tüm yönlere yanan kırmızı aralık süresi, Caddeler ve Otoyollar için Uniform Trafik Kontrol Cihazları Kılavuzu (MUTCD) [25] tarafından tavsiye edilen süreler göz önüne alınarak 3 ile 6 saniye arasında değiştirilmiştir. Sürücünün algılama-tepki süresi yaş, cinsiyet ve çevresel koşullara göre değişkenlik gösterebilmektedir. Algılama-tepki süresi ITE tarafında 1,0 saniye önerilirken AASHTO tarafından 1,5 saniye olarak önerilmektedir [22,23]. Bu çalışmada algılama-tepki süresi 1 ile 2 saniye arasında 0,5 artırılarak değiştirilmiştir. İkilem bölgesinin sınırlarını belirlemede aracın maksimum yavaşlama ivmesi de önemli bir faktördür. Araçların hızlarına ve fiziksel özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Maksimum yavaşlama ivmesinin değeri ITE tarafından  $3,05 \text{ m/s}^2$  ve AASHTO tarafından  $3,41 \text{ m/s}^2$  önerilerek sabit kabul edilmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada maksimum yavaşlama ivmesi  $2 \text{ m/s}^2$ ,  $3 \text{ m/s}^2$  ve  $4 \text{ m/s}^2$  olarak kullanılmıştır. İkilem bölgesini etkileyen bir diğer faktör ise kavşak genişliğidir. Bu çalışmada kavşak genişliğinin ikilem bölgesine etkisini görebilmek amacıyla ortalama araç boyunun da (6 m) dâhil edildiği kavşak genişliğinin (W) değeri 15 m, 25 m ve 35 m olduğu durumlar analiz için kullanılmıştır.

Buna göre; belirlenen değerler Denklem (3.1) ve Denklem (3.3) kullanılarak Excel tablolama programı yardımıyla  $6 \times 4 \times 3 \times 3 \times 3$  olmak üzere 648 adet farklı trafik durumu göz önüne alınmış ve aralarındaki etkileşimler incelenmiştir. İncelenen değişkenler ve değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



**Çizelge 3.1.** İkilem bölgesi hesaplarında kullanılan değişkenler ve değerleri

<b>TİP I İKİLEM BÖLGESİ</b>					
<b>Hız (km/sa), V<sub>0</sub></b>	<b>Hız (m/s), V<sub>0</sub></b>	<b>Kavşak Temizlenme Süresi (s), t<sub>c</sub></b>	<b>Yavaşlama İvmesi (m/s<sup>2</sup>), a</b>	<b>Reaksiyon Süresi (s), t<sub>r</sub></b>	<b>Kavşak + Araç Uzunluğu (m), W</b>
50	13,89	3	2	1	15
60	16,668	4	3	1,5	25
70	19,446	5	4	2	35
80	22,224	6			
90	25,002				
100	27,78				

Denklem (3.1) ve Denklem (3.3) kullanılarak yapılan hesaplamalar sırasında bazı parametreler sabit tutularak diğer parametrelerin ikilem bölgesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 Tip I ikilem bölgesi ile hız ve kavşak temizlenme süresi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

**Çizelge 3.2.** W=15 m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2 \text{ m/s}^2$  ve  $t_r=1 \text{ s}$ )

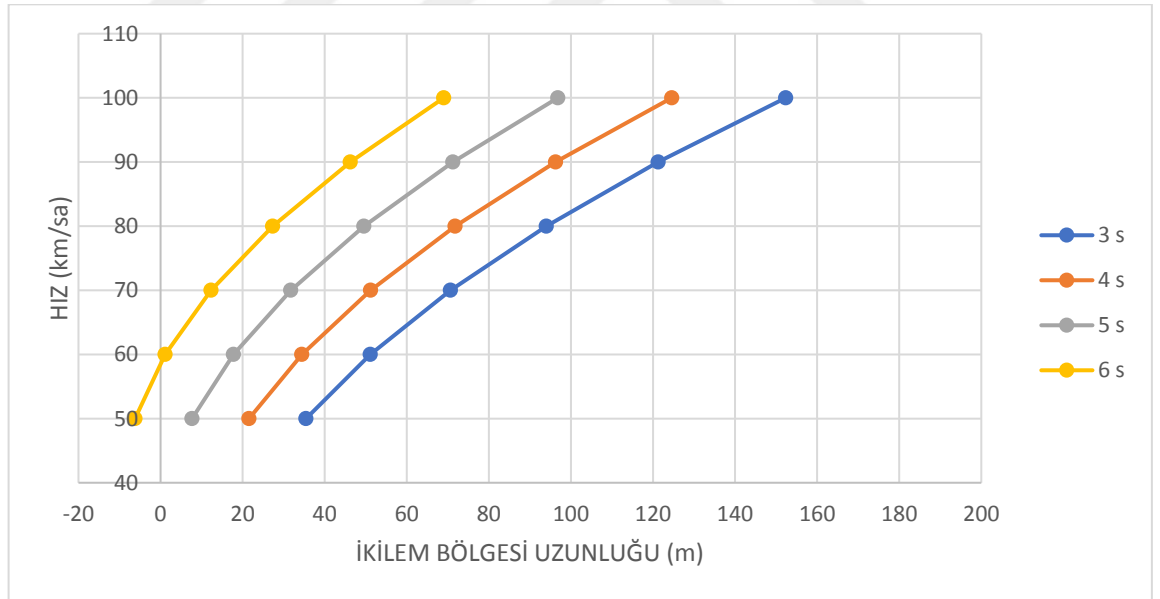
W=15	KAVŞAK TEMİZLENME SÜRESİ, $t_c$											
a=2 , $t_r=1$	3 s			4 s			5 s			6 s		
HIZ (km/sa)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)
50	62,12	26,67	35,45	62,12	40,56	21,56	62,12	54,45	7,67	62,12	68,34	-6,22
60	86,12	35,00	51,12	86,12	51,67	34,45	86,12	68,34	17,78	86,12	85,01	1,12
70	113,98	43,34	70,64	113,98	62,78	51,20	113,98	82,23	31,75	113,98	101,68	12,31
80	145,70	51,67	94,03	145,70	73,90	71,80	145,70	96,12	49,58	145,70	118,34	27,36
90	181,28	60,01	121,27	181,28	85,01	96,27	181,28	110,01	71,27	181,28	135,01	46,27
100	220,71	68,34	152,37	220,71	96,12	124,59	220,71	123,90	96,81	220,71	151,68	69,03

**Çizelge 3.3.** W=35 m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2 \text{ m/s}^2$  ve  $t_r=1 \text{ s}$ )

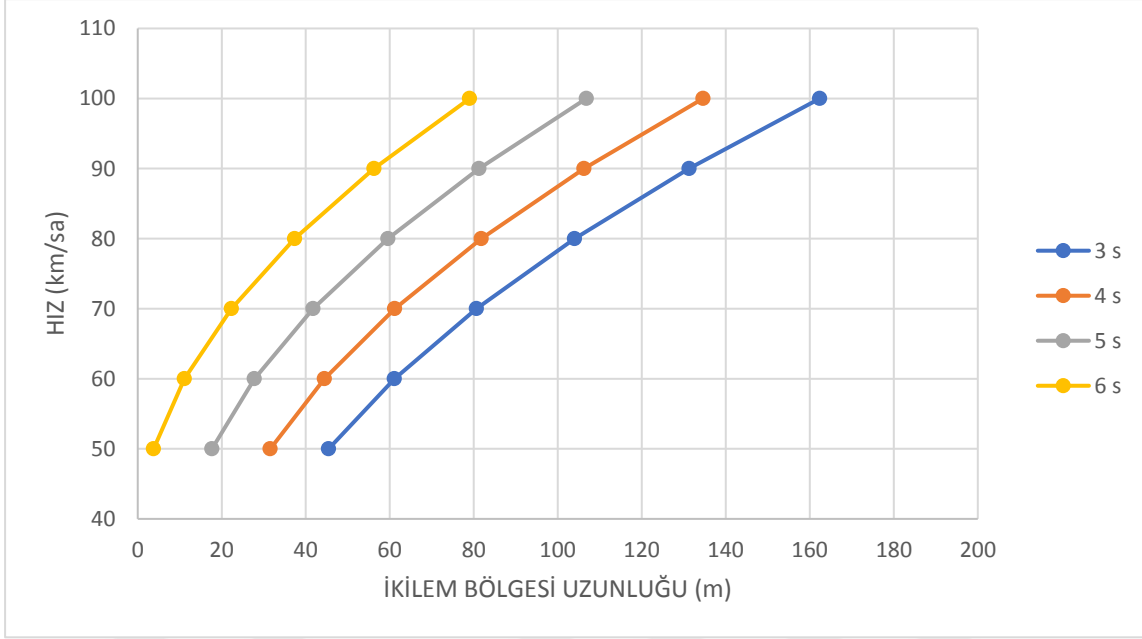
W=35	KAVŞAK TEMİZLENME SÜRESİ, $t_c$											
a=2 , $t_r=1$	3 s			4 s			5 s			6 s		
HIZ (km/sa)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)
50	62,12	6,67	55,45	62,12	20,56	41,56	62,12	34,45	27,67	62,12	48,34	13,78
60	86,12	15,00	71,12	86,12	31,67	54,45	86,12	48,34	37,78	86,12	65,01	21,12
70	113,98	23,34	90,64	113,98	42,78	71,20	113,98	62,23	51,75	113,98	81,68	32,31
80	145,70	31,67	114,03	145,70	53,90	91,80	145,70	76,12	69,58	145,70	98,34	47,36
90	181,28	40,01	141,27	181,28	65,01	116,27	181,28	90,01	91,27	181,28	115,01	66,27
100	220,71	48,34	172,37	220,71	76,12	144,59	220,71	103,90	116,81	220,71	131,68	89,03

Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3'te görüldüğü üzere hız arttıkça Tip I ikilem bölgesinin uzunluğunun arttığı görülmektedir. Ayrıca hızın artması, minimum duruş ( $X_c$ ) ve maksimum geçiş ( $X_0$ ) mesafelerini artırması nedeniyle ikilem bölgesi sınırlarının kavşaktan yukarı yönde kaydığı tespit edilmiştir. Yani ikilem bölgesi sınırları durma çizgisinden uzaklaşmaktadır.

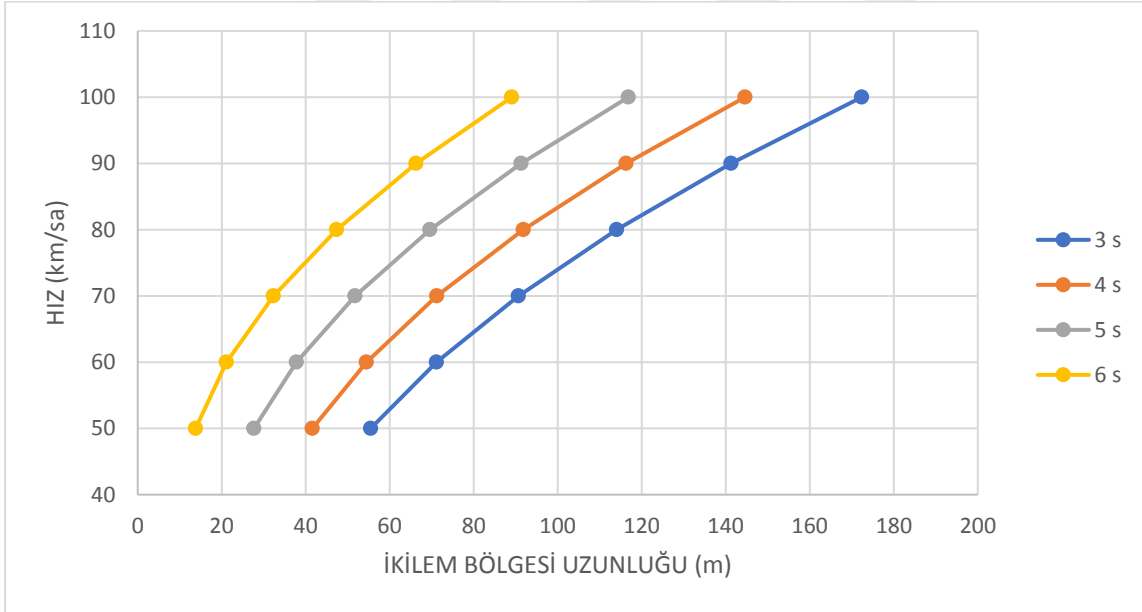
Kavşak temizlenme süresi arttıkça ikilem bölgesi uzunluğunun azaldığı görülmektedir. Kavşak temizlenme süresinin artmasıyla birlikte ikilem bölgesinin iç sınırının kavşaktan yukarı yönde kaydığı tespit edilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.2.'de 50 km/sa hız ve 6 saniye kavşak temizlenme süresi için ikilem bölgesi uzunluğunun negatif (-6,22 m) bulunmuştur. Bu durum, kavşak temizlenme süresindeki artışın Tip I ikilem bölgesini ortadan kaldırırken “seçenek bölgesi”nin oluşturduğunu göstermektedir. Aynı zamandan diğer parametreler sabit tutulduğunda kavşak genişliğinin artması Tip I ikilem bölgesinin uzunluğunda artışa neden olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.2.** W=15 m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2 \text{ m/s}^2$  ve  $t_r=1 \text{ s}$ )



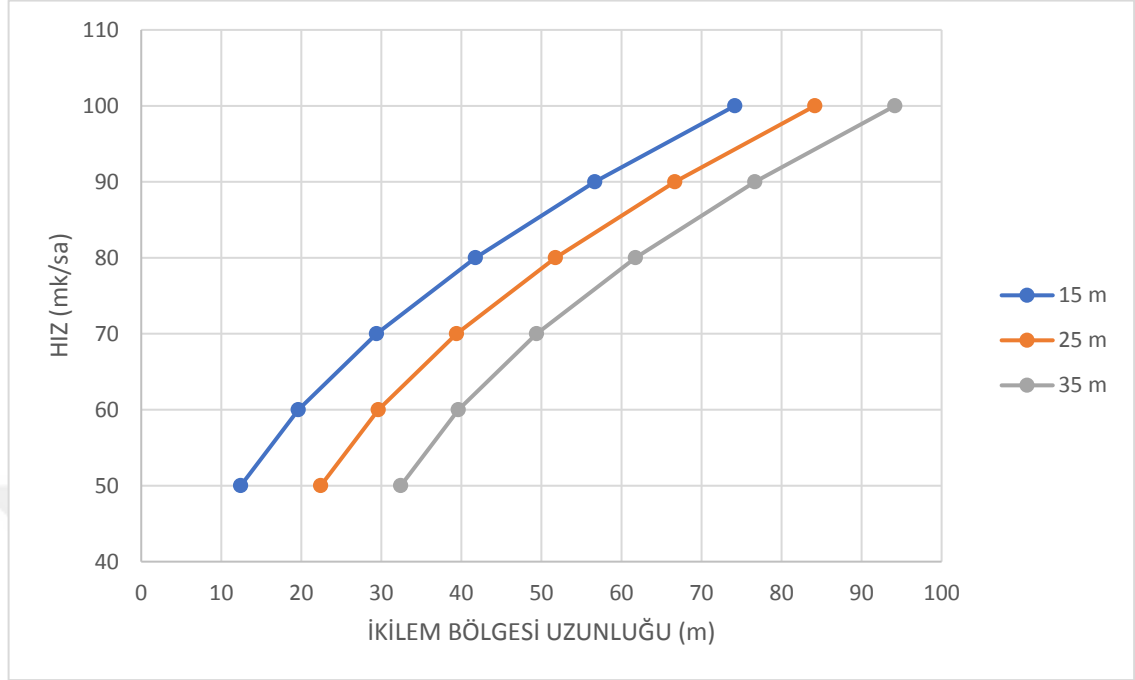
**Şekil 3.3.**  $W=25$  m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2$  m/s<sup>2</sup> ve  $t_r=1$  s)



**Şekil 3.4.**  $W=35$  m için hız ve kavşak temizlenme süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2$  m/s<sup>2</sup> ve  $t_r=1$  s)

Şekil 3.2., 3.3. ve 3.4'te görüldüğü gibi yavaşlama ivmesi, sürücünün algılama-tepki süresi, kavşak temizlenme süresi sabit tutulduğunda kavşak genişliğinin artması ikilem bölgesinin uzunluğunu artırmaktadır. Ayrıca kavşak genişliğindeki maksimum geçiş mesafesini ( $X_0$ ) azalttığı için artış ikilem bölgesinin iç sınırının aşağı yönde kaymasına

neden olmaktadır. Yani ikilem bölgesi iç sınırının durma çizgisine yaklaştığı görülmektedir.



**Şekil 3.5.** Hız ve kavşak genişliği ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c= 4$  s,  $a=3$   $m/s^2$  ve  $t_r=1,5$  s)

Aynı kavşak temizlenme süresi, yavaşlama ivmesi ve algılama-tepki süresi değerlerine göre 15 m kavşak genişliğinde 50 km/sa için ikilem bölgesinin uzunluğu yaklaşık 10 m iken, 35 m kavşak genişliğinde aynı hız değeri için ikilem bölgesinin uzunluğu yaklaşık 30 m'dir. Kavşak genişliği (W) değişkenindeki artış, maksimum güvenli geçiş mesafesini ( $X_0$ ) doğrudan azaltacağı için Tip I ikilem bölgesinin uzunluğunu artırmaktadır.

**Çizelge 3.4.**  $t_r=1$  s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$  s ve  $W=25$  m)

$t_c=3, t_r=1$	YAVAŞLAMA İVMESİ, a								
	W=25	2 m/s <sup>2</sup>			3 m/s <sup>2</sup>			4 m/s <sup>2</sup>	
HIZ (km/sa)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)
50	62,12	16,67	45,45	46,05	16,67	29,38	38,01	16,67	21,34
60	86,12	25,00	61,12	62,97	25,00	37,97	51,40	25,00	26,39
70	113,98	33,34	80,64	82,47	33,34	49,13	66,71	33,34	33,38
80	145,70	41,67	104,03	104,54	41,67	62,87	83,96	41,67	42,29
90	181,28	50,01	131,27	129,19	50,01	79,18	103,14	50,01	53,13
100	220,71	58,34	162,37	156,40	58,34	98,06	124,25	58,34	65,91

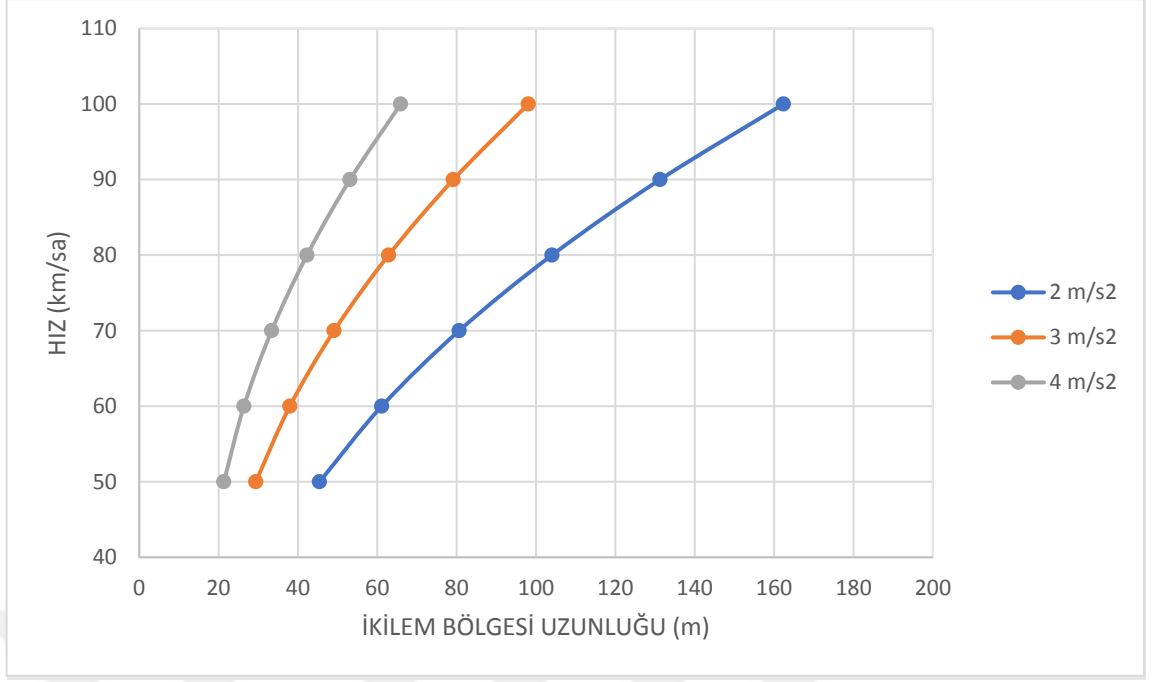
**Çizelge 3.5.**  $t_r=1,5$  s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$  s ve  $W=25$  m)

$t_c=3, t_r=1,5$	YAVAŞLAMA İVMESİ, a								
	W=25	2 m/s <sup>2</sup>			3 m/s <sup>2</sup>			4 m/s <sup>2</sup>	
HIZ (km/sa)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)
50	69,07	16,67	52,40	52,99	16,67	36,32	44,95	16,67	28,28
60	94,46	25,00	69,45	71,31	25,00	46,30	59,73	25,00	34,73
70	123,71	33,34	90,37	92,19	33,34	58,86	76,44	33,34	43,10
80	156,81	41,67	115,14	115,65	41,67	73,98	95,07	41,67	53,40
90	193,78	50,01	143,77	141,69	50,01	91,68	115,64	50,01	65,63
100	234,60	58,34	176,26	170,29	58,34	111,95	138,14	58,34	79,80

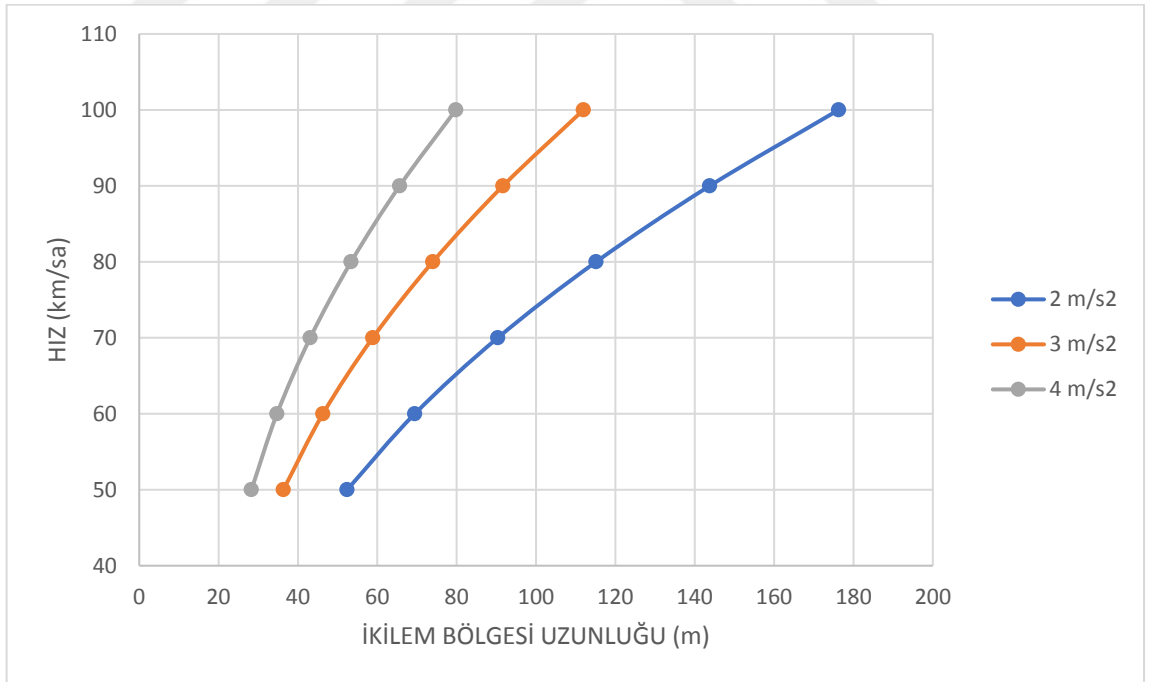
**Çizelge 3.6.**  $t_r=2$  s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$  s ve  $W=25$  m)

$t_c=3, t_r=2$	YAVAŞLAMA İVMESİ, a								
	W=25	2 m/s <sup>2</sup>			3 m/s <sup>2</sup>			4 m/s <sup>2</sup>	
HIZ (km/sa)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)	X <sub>c</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)	DZ (m)
50	76,01	16,67	59,34	59,94	16,67	43,27	51,90	16,67	35,23
60	102,79	25,00	77,79	79,64	25,00	54,64	68,06	25,00	43,06
70	133,43	33,34	100,09	101,92	33,34	68,58	86,16	33,34	52,82
80	167,92	41,67	126,25	126,77	41,67	85,09	106,19	41,67	64,51
90	206,28	50,01	156,27	154,19	50,01	104,18	128,14	50,01	78,14
100	248,49	58,34	190,15	184,18	58,34	125,84	152,03	58,34	93,69

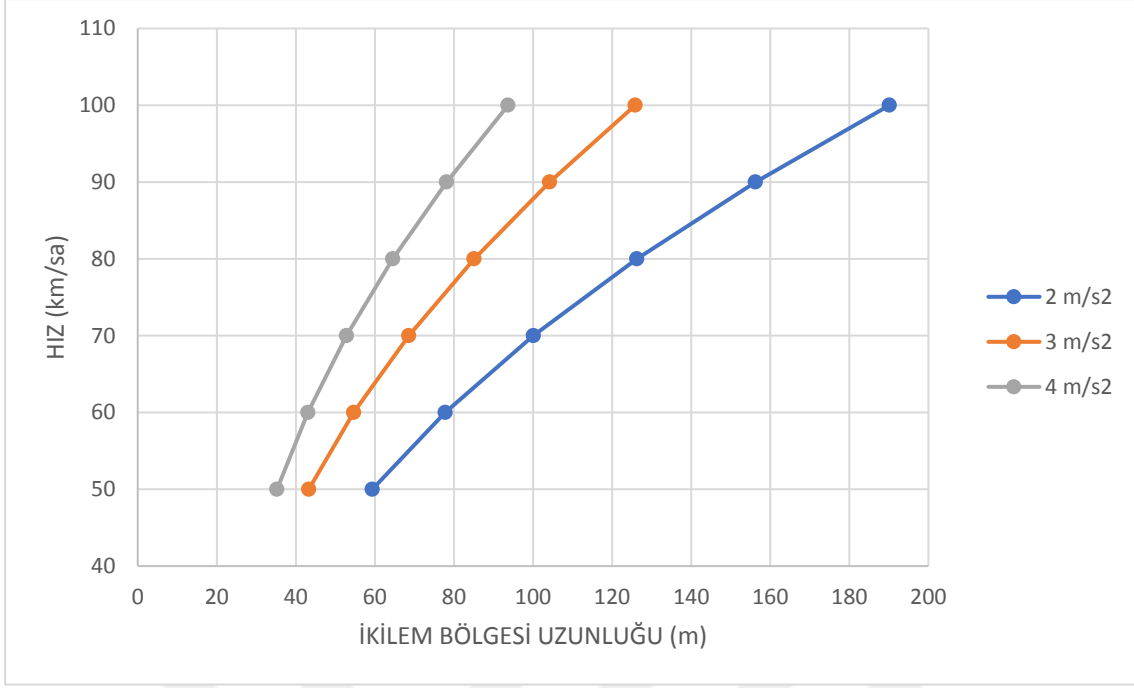
Çizelge 3.4., Çizelge 3.5. ve Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi aynı kavşak temizlenme süresi ve kavşak genişliği altından hız arttıkça ikilem bölgesinin uzunluğunun arttığı, yavaşlama ivmesi arttıkça ikilem bölgesi uzunluğunun azaldığı görülmektedir. Ayrıca yavaşlama ivmesindeki artış, minimum durma mesafesini (X<sub>c</sub>) azalttığı için ikilem bölgesi dış sınırının durma çizgisine yaklaşmasına sebep olmaktadır. Yani ikilem bölgesi dış sınırının aşağı yönde kaydığı görülmektedir.



Şekil 3.6.  $t_r=1$  s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$  s ve  $W=25$  m)

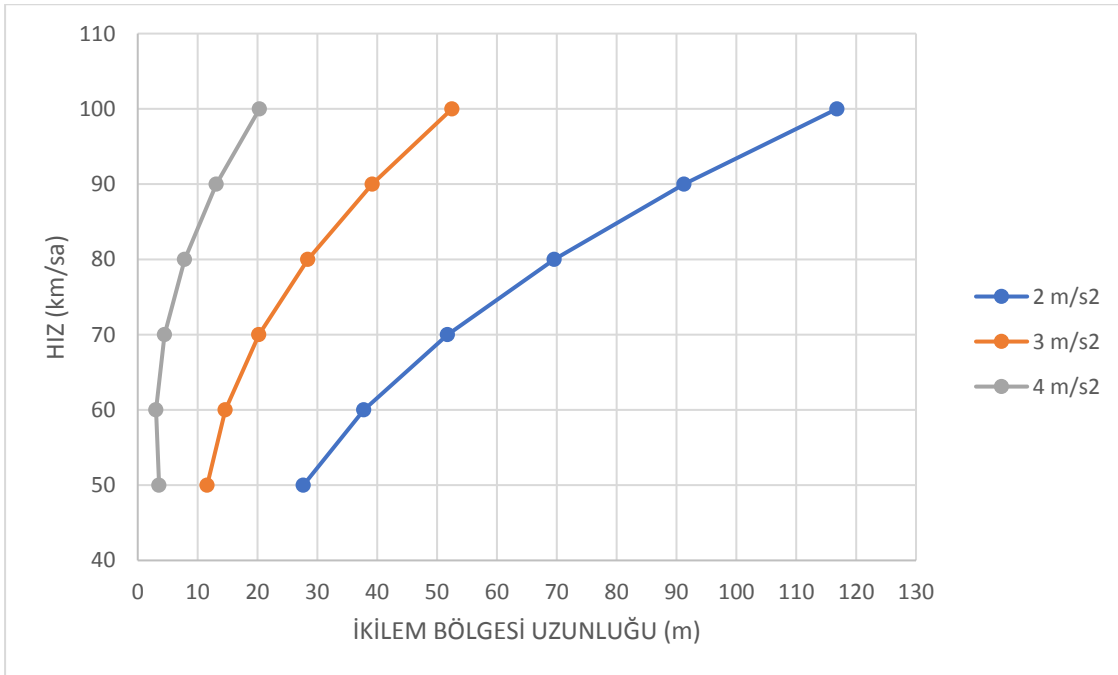


Şekil 3.7.  $t_r=1,5$  s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$  s ve  $W=25$  m)



**Şekil 3.8.**  $t_r=2$  s için hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=3$  s ve  $W=25$  m)

Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilen aynı kavşak temizlenme süresine, kavşak genişliğine ve hız değerlerine sahip grafiklerde sürücünün algılama- tepki süresindeki artış ikilem bölgesinin kılmasına neden olmaktadır.



**Şekil 3.9.** Hız ve yavaşlama ivmesi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $t_c=6$  s,  $t_r=2$  s,  $W=35$  m)



Şekil 3.9.'da çizilen grafiğe göre aynı kavşak temizlenme süresinin, sürücünün algılama-tepki süresinin ve kavşak genişliğinin geçerli olduğu koşullarda yavaşlama ivmesi  $4 \text{ m/s}^2$  olduğu durumda yavaşlama ivmesinin  $2 \text{ m/s}^2$  olduğu duruma göre grafikte yer alan eğrilerin dikleştiği dikkat çekmiştir. Yavaşlama ivmesi arttıkça hız değerlerindeki artışın ikilem bölgesinin uzunluğu üzerindeki etkisinin azaldığı tespit edilmiştir.



**Çizelge 3.7.**  $V_0=90$  km/sa için algılama-tepki süresi ve temizlenme süresi arasındaki ilişki ( $a=3$  m/s<sup>2</sup>,  $t_c=3$  s ve  $W=35$  m)

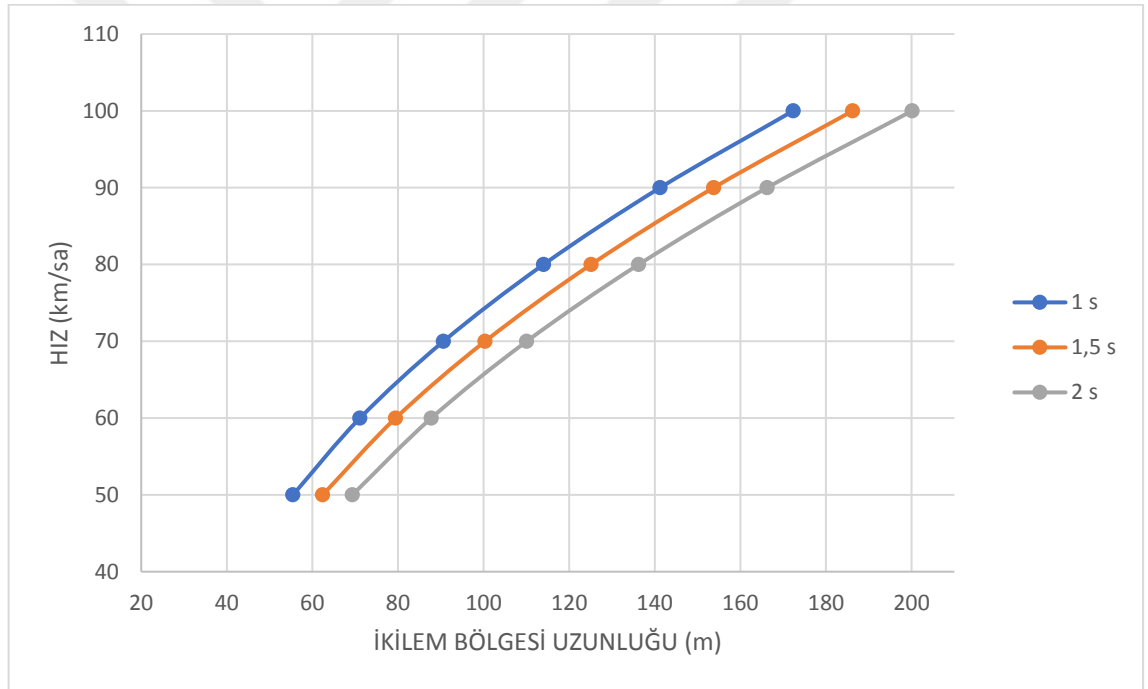
KAVŞAK TEMİZLENME SÜRESİ, $t_c$	ALGILAMA - TEPKİ SÜRESİ, $t_r$								
	1 s			1,5 s			2 s		
	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)
3	62,97	15,00	47,97	71,31	15,00	56,30	79,64	15,00	64,64
4	62,97	31,67	31,30	71,31	31,67	39,63	79,64	31,67	47,97
5	62,97	48,34	14,63	71,31	48,34	22,97	79,64	48,34	31,30
6	62,97	65,01	-2,04	71,31	65,01	6,30	79,64	65,01	14,63

**Çizelge 3.8.**  $V_0=60$  km/sa için algılama-tepki süresi ve temizlenme süresi arasındaki ilişki ( $a=3$  m/s<sup>2</sup>,  $t_c=3$  s ve  $W=35$  m)

KAVŞAK TEMİZLENME SÜRESİ, $t_c$	ALGILAMA - TEPKİ SÜRESİ, $t_r$								
	1 s			1,5 s			2 s		
	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)	$X_c$ (m)	$X_0$ (m)	DZ (m)
3	129,2	40,0	89,2	141,7	40,0	101,7	154,2	40,0	114,2
4	129,2	65,0	64,2	141,7	65,0	76,7	154,2	65,0	89,2
5	129,2	90,0	39,2	141,7	90,0	51,7	154,2	90,0	64,2
6	129,2	115,0	14,2	141,7	115,0	26,7	154,2	115,0	39,2

Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8, ikilem bölgesinin uzunluğunda etkili olan kavşak temizlenme süresi ile algılama-tepki süresi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere, Tip I ikilem bölgesinin uzunluğu kavşak temizleme süresinin artmasıyla azalmaktadır. Diğer yandan, algılama-tepki süresinin artmasıyla ikilem bölgesinin uzunluğu artmaktadır. Ayrıca sürücünün algılama-tepki süresindeki artış, minimum duruş mesafesini artırdığı için Tip I ikilem bölgesi dış sınırının durma çizgisinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Yani ikilem bölgesinin dış sınırı kavşaktan yukarı yönde kaymaktadır.

Çizelge 3.8’de bulunan değerlerin Çizelge 3.7’deki değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Çizelge 3.7’deki değerler incelediğinde kavşak temizlenme süresindeki artış ile birlikte Tip I ikilem bölgesinin seçenek bölgesine dönüştüğü görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.10’da algılama-tepki süresinin etkisi grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 3.10.** Hız ve algılama-tepki süresi ile ikilem bölgesi arasındaki ilişki ( $a=2 \text{ m/s}^2$ ,  $t_c=3 \text{ s}$  ve  $W=35 \text{ m}$ )

Şekil 3.10’deki gibi sabit yavaşlama ivmesi, kavşak temizlenme süresi ve kavşak genişliği değerlerine göre sürücünün algılama-tepki süresindeki artış Tip I ikilem bölgesi uzunluğunu artırmaktadır. Her bir algılama-tepki süresi için çizilen eğriler benzer olmakla birlikte aynı hız ile kavşağa yaklaşmakta olan iki sürücünden algılama-tepki süresi yüksek olanın yakalanma olasılığı düşük olana göre ikilem bölgesinin uzunluğu arttığı için daha fazladır.

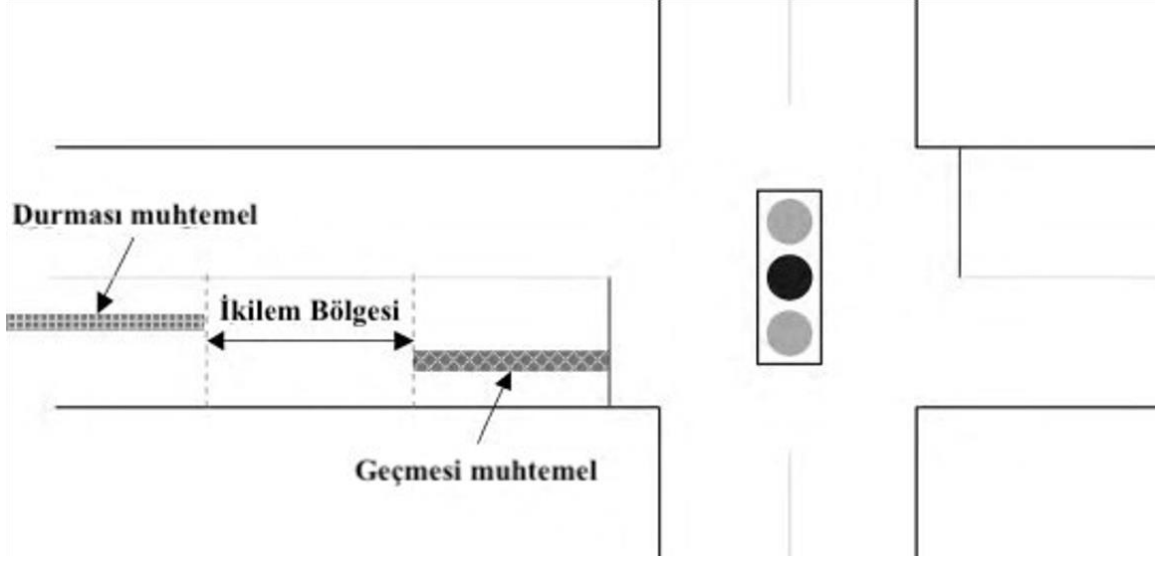
## 4. TİP II İKİLEM BÖLGESİ

Kavşaklar yol ağlarında trafik kazalarının sıklıkla yaşandığı kritik alanlardır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Trafik Kazaları İstatistikleri'ne göre 2021 yılında ülkemizde 1.186.353 kaza meydana gelmiştir. Bu kazaların 998.390 adedi maddi hasarlıyken 187.963 adedi yaralanma ve ölümlü sonuçlanmıştır. Ayrıca yıl boyunca meydana gelen kazaların 147.733 adedinin kavşaklarda gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir [26].

Trafik kazaları insan hayatı ve ekonomi açısından oldukça büyük kayıplar yaratmaktadır. Bu nedenle kazaların yaşandığı kritik alanlardan biri olan sinyalize kavşakların güvenli ve verimli bir şekilde tasarlanması önemlidir. Sinyalize kavşaklarda yaşanan kazaları en aza indirmek için yapılan çalışmalar öncelikle kazaların nedenlerini tanımlamayı amaçlamaktadır.

Sinyalize kavşaklarda sinyal yeşilden sarıya döndüğünde kavşağa yaklaşan sürücüler kavşaktan geçmek ya da dur çizgisinden önce durmak konusunda kararsız kaldıkları bir bölgeye yakalanırlar. Bu bölge Tip II İkilem Bölgesi olarak tanımlanmaktadır. İkilem bölgesinin diğer bir türü olan Tip II İkilem Bölgesi ilk olarak 1974'te ITE'nin bir komitesi tarafından sunulan bir raporda tanımlanmıştır. Sürücülerin kavşağa yaklaştığı sırada sarı sinyalle karşılaştığında durmak ya da geçmek konusunda kararsız olduğu ve bu karar alma sürecindeki karmaşıklıklara atfedilen bir alandır. Bu alan "Kararsız Bölge" olarak da adlandırılmaktadır.

İkilem bölgesinin uzunluğu mesafe ve zaman cinsinden ifade edilmektedir. Zegeer vd. yaptığı çalışmalarda ikilem bölgesinin uzunluğunu dur çizgisine olan mesafe olarak tanımlarken Chang vd. zaman cinsinden tanımlamışlardır.



**Şekil 4.1.** Tip II İkilem bölgesi

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sürücü, sinyal yeşilden sarıya döndüğünde kavşakta durması ya da kavşaktan geçmesi muhtemel olan alanların arasında bir noktada ise karar vermesi gereken bir ikilem bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölge Tip II ikilem bölgesi olarak adlandırılır.

#### **4.1. Verilerin Toplanması**

Bu çalışma kapsamında veriler Kocaeli il sınırları içerisinde yer alan D-100 karayolu üzerindeki yüksek hızlı bir koridorda bulunan Orduevi Kavşağı’ndan alınmıştır. Veriler, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı bünyesinde bulunan Trafik Yönetim Merkezi’nin kontrolündeki PTZ kameraları tarafından kaydedilen videolardan elde edilmiştir. PTZ’ler; pan, tilt, zoom özelliklerine sahip, kamera açısı dijital olarak kontrol edilerek değiştirilebilen kameralardır. Gözlemlenen kavşağa ait video kayıtlarını gerçekleştiren PTZ, kavşaktan yaklaşık 400 m geride olup 15 m yüksekliktedir. Gözlem yapılan kavşağa ait görüntüler Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2. Kocaeli Orduevi Kavşağı - 1

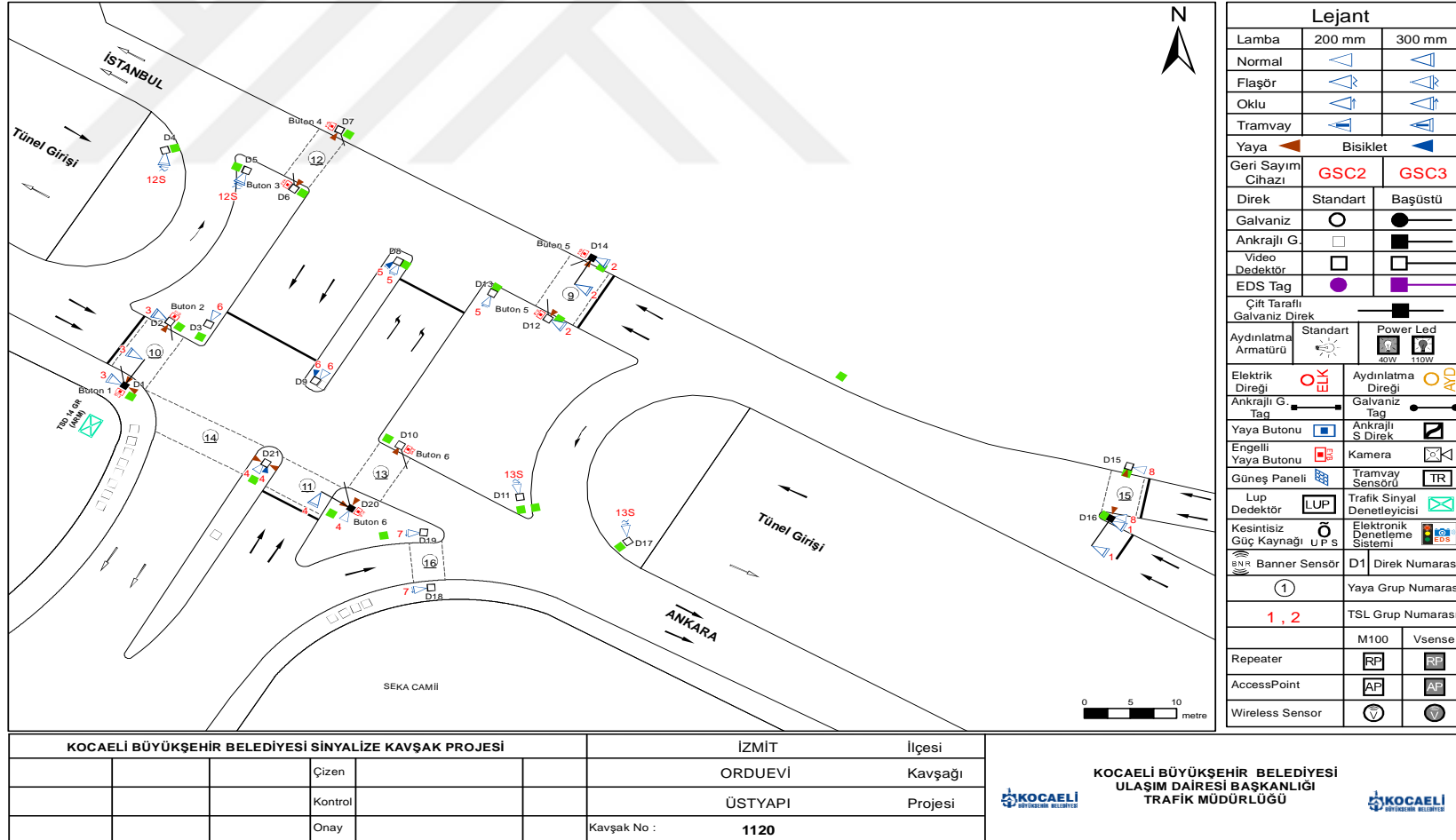


Şekil 4.3. Kocaeli Orduevi Kavşağı - 2

Seçilen sinyalizasyon kavşak 3 kolludur ve her bir yaklaşımda 2 şerit bulunmaktadır. Şeritlerin her biri 3,5 m genişliğindedir. Kavşağın İstanbul - Ankara istikametindeki yaklaşım kolu üzerinde gözlem yapılmıştır. Trafik hacmi yaklaşık 900 araç/sa'tir. Kavşak, sinyal sürelerinin gerçek zamanlı olarak uygulandığı bir çalışma sistemi olan adaptif trafik kontrol sistemi (akıllı kavşak) ile yönetilmektedir. Kavşağın sinyal planı ve üst yapı projesi Çizelge 4.1 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Kocaeli Orduevi Kavşağı sinyal planı (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı Trafik Müdürlüğü)

Flas Planı			
<b>Y1 - Sabah Zirve</b>			
MIN - TS 87		MAX - TS: 133	
Faz	Eksi	Ort.	Artı
1-Istanbul ve Izmit Geliş	10	25	11
2-Izmit Geliş Düz ve Sol	5	15	10
3-Yaya Fazı	0	5	0
4-Seka Geliş	5	15	5
5-Istanbul Geliş	0	5	0
<b>Y1 - Gün İçi</b>			
MIN - TS 83		MAX - TS: 128	
Faz	Eksi	Ort.	Artı
1-Istanbul ve Izmit Geliş	10	20	10
2-Izmit Geliş Düz ve Sol	5	16	5
3-Yaya Fazı	0	5	0
4-Seka Geliş	8	18	7
5-Istanbul Geliş	0	5	0
<b>Y1 - Akşam Zirve</b>			
MIN - TS 87		MAX - TS: 127	
Faz	Eksi	Ort.	Artı
1-Istanbul ve Izmit Geliş	8	18	7
2-Izmit Geliş Düz ve Sol	5	15	7
3-Yaya Fazı	0	5	0
4-Seka Geliş	5	15	8
5-Istanbul Geliş	0	10	0
<b>Y2 - Gün İçi</b>			
MIN - TS 85		MAX - TS: 132	
Faz	Eksi	Ort.	Artı
1-Istanbul ve Izmit Geliş	7	17	8
2-Izmit Geliş Düz ve Sol	5	18	12
3-Yaya Fazı	0	8	0
4-Seka Geliş	8	17	7
5-Istanbul Geliş	0	5	0
<b>Y2 - Sabah Zirve</b>			
MIN - TS 87		MAX - TS: 134	
Faz	Eksi	Ort.	Artı
1-Istanbul ve Izmit Geliş	10	21	10
2-Izmit Geliş Düz ve Sol	5	18	12
3-Yaya Fazı	0	8	0
4-Seka Geliş	5	15	5
5-Istanbul Geliş	0	5	0



Şekil 4.4. Kocaeli Orduevi Kavşakı üst yapı projesi (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı Trafik Müdürlüğü)



Video kayıtları kavşağın dur çizgisinden önceki 180 m uzunluktaki yaklaşımı kapsamaktadır. Görüntülerin alındığı PTZ kamerası yaklaşık 400 m gerideyken kayıtlar yakınlaştırılarak yapılmıştır. Görüntüler 16 Mart – 29 Mart 2021 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Toplam kayıt süresi yaklaşık 93 saattir. Görüş netliğinin azalmaması amacıyla gün ışığında ve yağışsız hava koşullarında yapılan kayıtlar değerlendirilmiştir. Kaydedilen veriler video düzenleme programı Shotcut kullanılarak işlenmiştir. Görüntüler programda üzerine ızgaralar eklenerek analiz edilmiştir. Yol boyunca yer alan aydınlatma direkleri referans noktaları olarak alınarak analiz sırasında Şekil 4.5'te gösterildiği gibi araçların konumu belirlemek için kullanılmıştır.



**Şekil 4.5.** Saha referans noktalarının gösterimi

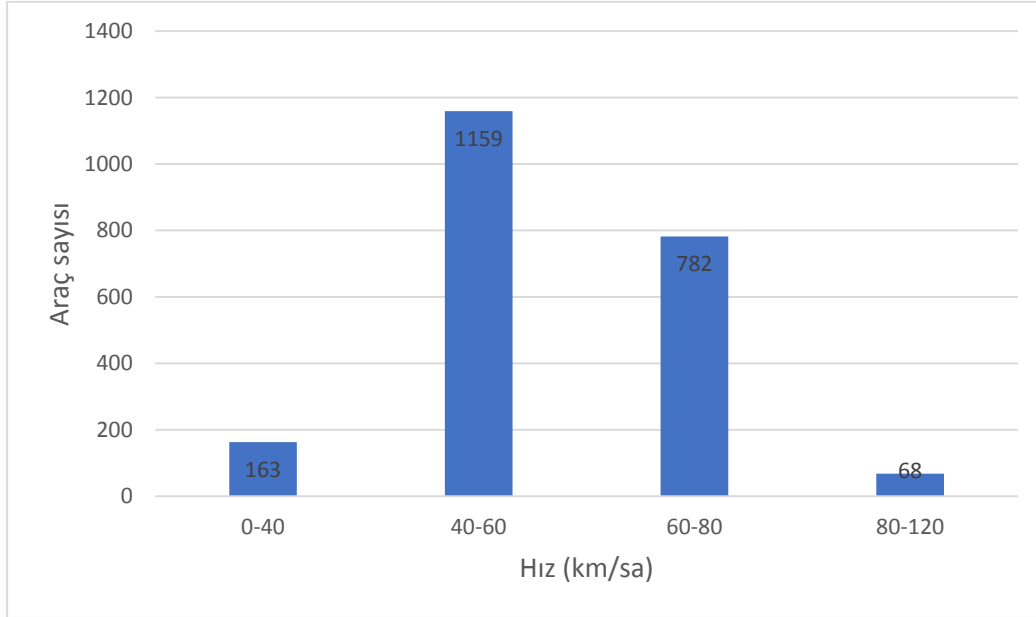
Her bir aydınlatma direğinin arasındaki mesafe 15 m'dir. Videolardan elde edilen parametreler aracın sinyal yeşilden sayıya döndüğü sıradaki yaklaşma hızını, durma çizgisine uzaklığını ve sürücülerin kararını (dur/geç) içermektedir. Kayıtlar incelenirken sadece otomobiller dikkate alınmıştır. Ağır taşıtların ve iki tekerlekli motorlu taşıtların sayısının yetersiz olması nedeniyle veri setine dâhil edilmemiştir. Otobüs ve minibüsler ise gözlem yapılan mesafe içerisindeki durakta yolcu indirip bindirmek için durmaları nedeniyle analizlerde kullanılmamıştır. Benzer şekilde durup ardından tekrar harekete geçen araçlar yaklaşım hızlarını korumadıkları için dikkate alınmamıştır. Kavşaktan sağa ve sola dönen araçlar yavaşlama eğiliminde olduklarından yalnızca doğru giden araçlar dikkate alınmıştır. Aracın trafikteki konumu (takip ettiği

şerit) ile ilgili analiz yapılmamıştır. Sıkışık trafik koşullarında sürücülerin kararları, takip eden araç sürücülerin kararlarını etkileyeceğinden zirve saatler içerisinde yapılan gözlemler analizler sırasında kullanılmamıştır. Sürücülerin sarı ve her yöne kırmızı sinyal yandığı sırada dur çizgisinde durmadan devam ettiği kararlar “geç”, sarı aralıkta dur çizgisinde duran sürücüler ise “dur” şeklinde sınıflandırılmıştır. Sürücü kararları dur ve geç olarak sınıflandırılırken kırmızı ışık ihlali yapan araçlar ayrıca not edilmiştir. Araçların ön tamponunun dur çizgisini geçmesi halinde araç kavşağa giriş yapmış olarak değerlendirilmiştir ve sürücünün kararı “geç” olarak kaydedilmiştir. Video kayıtları, video düzenleme programı Shotcut ile incelenirken her devrenin sarı sinyal başlangıcında durdurularak yaklaşmakta olan araçların dur çizgisinden olan uzaklıkları belirlenmiştir. Araçların yaklaşım hızlarının bulunması için ise belirlenen referans noktaları arasındaki seyahat süreleri hesaplanarak m/s cinsinden hız değerlerine ulaşılmıştır. Ardından bu hız değerleri km/sa’e dönüştürülmüştür. Video kayıtlarındaki kamera açısının değişkenliği nedeniyle referans alınan noktalar değişkenlik göstermiştir. Örneğin; 16 Mart tarihine ait video kayıtları üzerinden gerçekleştirilen analizlerde 75 m uzunluğundaki mesafe, 27 Mart tarihine ait video kayıtları üzerinde yapılan analizde 60 m uzunluğundaki mesafe kullanılmıştır. Oluşturulan veri setinde sinyal yeşilden sarıya döndüğünde toplam 2.172 adet sürücünün tepkileri yer almaktadır. Çizelge 4.2’de video kayıtlarından elde edilen verilerin gösterimi yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Video kayıtların elde edilen verilerin gösterimi

NO	SARI BAŞLANGICINDA	GİRİŞ	ÇIKIŞ	SÜRE	HIZ	HIZ	SÜRÜCÜNÜN KARARI		
	DURMA HATTINDAN MESAFE, m						s	m/s	km/sa
1	156,00	02:42:18	02:46:10	3,52	21,31	76,70	+		
2	190,00	02:43:37	02:47:38	4,01	18,70	67,33	+		
3	65,00	04:12:56	04:18:10	5,14	14,59	52,53	+		
4	70,00	04:14:48	04:22:44	7,56	9,92	35,71	+		
5	102,00	04:16:35	04:24:32	7,57	9,91	35,67	+		
6	110,00	04:18:10	04:25:11	7,01	10,70	38,52	+		
7	133,00	02:12:00	02:17:37	5,37	13,97	50,28	+		
8	25,00	04:03:38	04:08:42	5,04	14,88	53,57	+		
9	125,00	04:11:21	04:16:27	5,06	14,82	53,36	+		
10	25,00	05:37:12	05:41:43	4,31	17,40	62,65		+	
11	85,00	05:40:37	05:45:54	5,17	14,51	52,22	+		
12	155,00	07:34:47	07:39:42	4,55	16,48	59,34	+		
13	30,00	04:09:36	04:15:17	5,41	13,86	49,91			+
14	40,00	05:40:54	05:47:04	6,10	12,30	44,26		+	
15	48,00	05:43:36	05:47:57	4,21	17,81	64,13	+		
16	65,00	05:45:00	05:49:38	4,38	17,12	61,64	+		
17	103,00	05:48:08	05:53:08	5,00	15,00	54,00	+		
18	131,00	05:49:25	05:55:20	5,55	13,51	48,65	+		
19	140,00	05:50:16	05:54:56	4,40	17,05	61,36	+		
20	11,00	07:16:07	07:24:16	8,09	9,27	33,37	+		

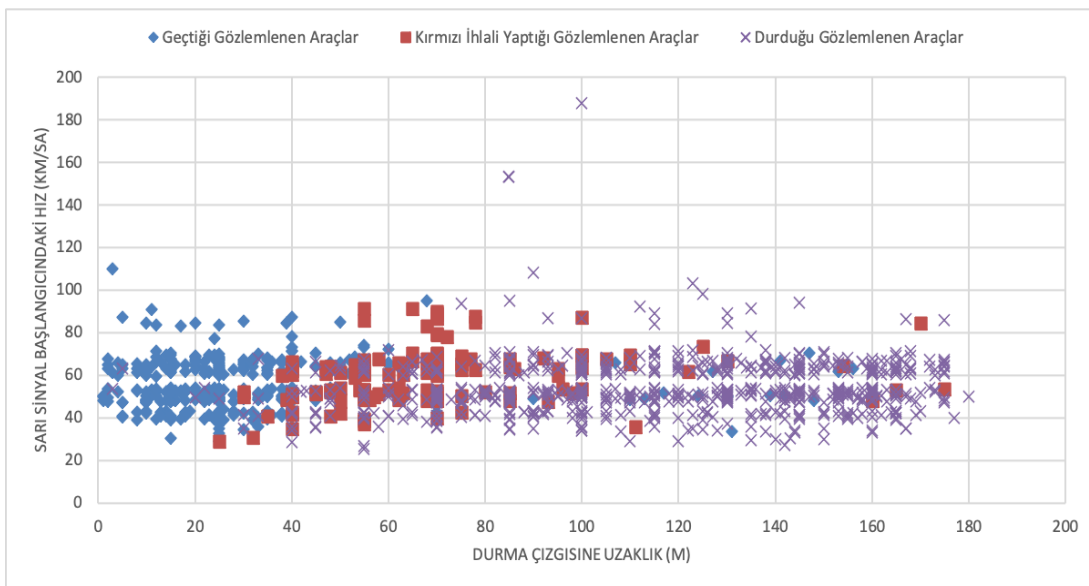
Gözlem yapılan 2.172 aracın verileri Çizelge 4.2.'de gösterildiği şekilde kaydedilmiştir. Sarı ışık başlangıcında kavşağa yaklaşmak olan araçların buldukları hız aralıklarına göre sayıları Şekil 4.6.'da verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Gözlem yapılan araçların hız aralıkları ve sayısı

Sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçların büyük çoğunluğunun hızları 40 km/sa ile 80 km/sa arasında değişmektedir. Ayrıca 1.159 aracın 40- 60 km/sa aralığında olduğu görülmektedir.

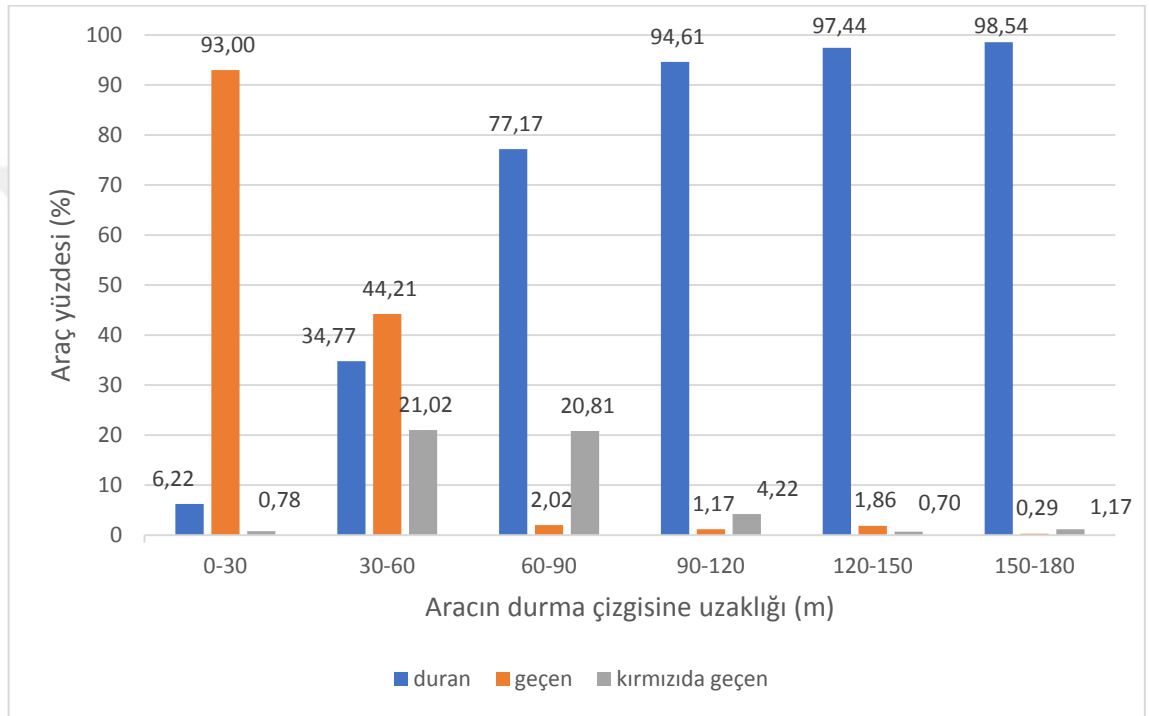
Araçların durma çizgisine uzaklıkları, yaklaşım hızları ve sürücülerin kararlarına bağlı olarak elde edilen dağılım Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.7.** Sarı sinyal başlangıcında durduğu, geçtiği ve kırmızı ışık ihlali yaptığı gözlemlenen araçlar

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere araç hızı fark etmeksizin, sarı sinyal başlangıcında durma çizgisine 40 m’den daha yakın olan araç sürücülerinin durma eğiliminde olduğu ve durma çizgisine 100 m’den daha uzak olan araç sürücülerinin durma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu mesafeler arasında kalan bölgedeki araç sürücülerinin ise kararları değişkenlik göstermektedir.

Sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan sürücülerin kararları, durma çizgisine uzaklıklarına göre Şekil 4.8.’de verilmiştir.



**Şekil 4.8.** Sarı sinyal başlangıcında durduğu, geçtiği ve kırmızı ışık ihlali yaptığı gözlemlenen araçların oranı

Şekil 4.8.’de görüldüğü üzere durma çizgisine 0 - 30 m aralığında sarı sinyal ile karşılaşan sürücülerin %93’ü geçmeyi tercih etmiştir. Durma çizgisine uzaklığı 60 m’den fazla olan sürücülerin durma eğilimlerinin yüksek olduğu görülmektedir. 30 - 60 m aralığında sarı ışıkla karşılaşan sürücülerin kararları ise değişkenlik göstermektedir.

## 4.2. Tip II İkilem Bölgesinin Analizi

İkilem bölgesinin sınır değerleri olasılıksal yaklaşımlar kullanılarak elde edilmektedir. Sarı sinyal başlangıcında aracın dur çizgisine olan uzaklığı, hızı, trafikteki konumu,

tipi ve sürücünün kararı gibi değişkenler analiz edilerek ikilem bölgesinin dinamik dağılımı analiz edilir.

Sinyalize kavşaklarda sarı sinyal başlangıcında durma olasılığını elde edebilmek için regresyon analizi kullanılarak modelleme yapılmaktadır. Regresyon, birbirleriyle ilişkili değişkenler ile çalışırken bağımlı değişkeni, bağımsız değişken ya da değişkenlerin fonksiyonu cinsinden ifade etmektir. Regresyon analizi değişkenlerin arasındaki matematiksel ilişkiyi modellemek amacıyla kullanılan istatistiksel yöntemdir. Bu yöntem ile değişkenler arasındaki bağlantının gücü, niteliği ve birbirleri üzerine etkileri hakkında sonuçlara varılabilmektedir [27]. Regresyon analizindeki değişkenler bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak ifade edilmektedir. Bağımlı değişken, bağımsız değişkene göre değiştiği kabul edilen değişken olarak tanımlanmaktadır. Bağımsız değişken ise bağımlı değişkeni etkileyen değişken olarak kabul edilmektedir [28]. Regresyon analizinde bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki fonksiyonel ilişki

$$Y=f(X) \quad (4.1)$$

şeklindeki eşitliklerle yazılabilir.

Regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi araştırıyorsa tek değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. Ancak bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki araştırılıyor ise çok değişkenli regresyon analizi olarak ifade edilmektedir. Kullanılan değişkenlerin doğasına ve dağılımına göre farklı regresyon analizi türleri uygulanmaktadır. Bu türler bazıları; doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon, lojistik regresyon, ridge regresyon, lasso regresyon ve polinom regresyondur.

Bu çalışmada ikilem bölgesine etki eden faktörlerin değerlendirilmesi ve modelin kurulması için lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. İki kategorili bağımlı değişken olarak ifade edilen sürücünün kavşaktaki kararını en iyi açıklayan bağımsız değişkenlerin ilişkisini açıklamak amaçlanmıştır. Lojistik regresyon analizi, diğer analiz türlerine kıyasla daha kullanışlı olması nedeniyle kategorik verilerin analizinde önemli bir yere sahiptir. Lojistik regresyon analizi, bağımlı değişkenin seçenek sayısına ve ölçek türüne göre üçe ayrılmaktadır. Bağımlı değişken iki seçeneğe sahip kategorili bir değişken ise “İkili Lojistik Regresyon Analizi (Binary Logistic

Regression Analysis)” olarak adlandırılır. Bağımlı değişken ikiden fazla kategorili bir değişken ise “Çok Kategorili Lojistik Regresyon Analizi (Multinomial Logistic Regression Analysis)” denilmektedir. Son olarak bağımlı değişken sıralama ölçeğiyle elde edilmiş ise “Sıralı Lojistik Regresyon Analizi (Ordinal Logistic Regression Analysis)” isimli analiz yöntemi kullanılmaktadır. Lojistik regresyon analizinin tercih edilmesinde başlıca nedenler;

- Bağımlı değişkenin kategorik bir değişken olmasının yanı sıra bağımsız değişkenlerin sürekli ya da kategorik olmasında bir kısıtlamanın söz konusu olmaması,
- Lojistik modele ait parametrelerin kolay yorumlanabilir olması,
- Lojistik modele dayalı analizleri yapabilmek için geliştirilmiş bilgisayar programlarının mevcut olması,
- Lojistik regresyonun negatif olasılıklı tahminlerde bulunmaması. Tüm olasılık değerlerinin pozitif ve 0 ile 1 arasında değişiyor olması
- Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olması gerekli olmadığı ve üstel ya da polinom ilişkisine de olanak sağlaması olarak gösterilebilir [29].

Lojistik regresyon, gözleme tabii tutulan her bir denek için belli sonuçların gerçekleşme olasılığını tahmin etmektedir. Analiz, sürücünün kavşakta durmadan devam ettiği (GEÇ) ya da kavşakta durduğu (DUR) olasılığı doğru tahmin etmeyi sağlayan bir regresyon eşitliği üretir.

Lojistik regresyonda kullanılan Odds oranı, bir durumun gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına bölümü olarak ifade edilmektedir [29]. Yani;

$$Odds = \frac{p(x)}{1-p(x)} \quad (4.2)$$

Burada p(x) durumun gerçekleşme olasılığı, 1- p(x) ise gerçekleşmeme olasılığıdır.

Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen model doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Logit kavramı, odds oranının doğal logaritması olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{Log(odds)} = \text{lojit (P)} = \log = \left(\frac{P}{1-P}\right) \quad (4.3)$$

Lojistik regresyonda Y, bir sonucun ya da diğèrinin gerçèkleşme ihtimalidir.

$$P(Y) = \frac{1}{1+e^{-u}} \quad (4.4)$$

Burada u, doğrusal regresyon eşitliğidir. Denklem (4.5)'teki gibi ifade edilir:

$$u = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te verilen u değeri Denklem (4.4)'te yerine koyulursa söz konusu durumun gerçèkleşme olasılığına dair denklem elde edilir.

$$P(Y) = \frac{1}{1+e^{-(B_0+B_1X_1+B_2X_2+\dots+B_kX_k)}} \quad (4.6)$$

Bu çalışmada aracın hızına ve durma çizgisine uzaklığına bağı olarak ikilem bölgesi analiz edilmiştir. Sürücülerin durma olasılığını belirlemek için logit model geliştirilmiştir. Sarı aralık sırasında %10 ve %90 durmaya denk gelen ikilem bölgesinin sınır değerleri belirlenmiştir. Bu sınır değerler arasında kalan mesafe ise ikilem bölgesinin uzunluğudur.

Sürücülerin kavşakta durma olasılığını tahmin eden model, video kayıtlarından elde edilen değişkenlerin istatistik testleri SPSS yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Analiz sırasında; sarı sinyal ile karşılaştığında kavşaktan geçmeyi seçen sürücülerin kararı "0", kavşakta durmayı seçen sürücülerin kararı ise "1" ile ifade edilmiştir. SPSS analizinin ardından sahada gözlemlenen veriler ile model tarafından tahmin edilen verilerin doğruluğu Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.



**Çizelge 4.3.** Logit modelin tahminleri ve başarısı (Sınıflandırma Çizelgesi)

**Sınıflandırma Tablosu<sup>a</sup>**

Gözlemlenen			Tahmin edilen		
			SÜRÜCÜNÜN KARARI		Doğruluk Yüzdesi
			GEÇ	DUR	
Adım 1	SÜRÜCÜNÜN KARARI	GEÇ	482	121	79,9
		DUR	115	1454	92,7
Genel Yüzde					89,1

a. Kesme değeri, 500

Çizelge 4.3'e göre gözlemlenen durumda 1569 (1454+115) araç kavşakta durmayı seçmiştir. Oluşturulan model ise 1454 aracın durduğunu ve 115 aracın geçtiğini tahmin etmiştir. Modelin özgüllüğü %92,7'dir. Yine gözlemlenen durumda 603 (482+121) araç kavşaktan geçmeyi seçmiştir. Oluşturulan model ise 482 aracın geçtiğini ve 121 aracın durduğunu tahmin etmiştir. Modelin duyarlılığı %79,9'dur. Oluşturulan modelin toplam başarısı ile %89,1'dir.

SPSS analizleri sonucunda elde edilen logit model, parametre tahminleri ve parametrelerin istatistiksel önemini Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Logit modelin parametre tahminleri ve istatistiksel önemi

**Denklemdaki Değişkenler**

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Adım 1 <sup>a</sup>						
UZAKLIK	,061	,003	493,788	1	,000	1,063
HIZ	-,173	,022	59,368	1	,000	,841
Sabit	-,821	,343	5,724	1	,017	,440

a. 1. adımda girilen değişkenler: UZAKLIK, HIZ

Çizelge 4.4'te, modeli oluşturan sabit terim, sabit terime ilişkin standart hata, değişkene ait anlamlılığı sorgulayan Wald istatistiği, Wald istatistiğinin serbestlik derecesi, anlamlılık düzeyi ve üstel lojistik regresyon katsayısı Exp(B) yer almaktadır. Üstel lojistik regresyon katsayısı Odds oranını ifade etmektedir.

Hız değişkeni negatif bir katsayıya sahiptir. Bu da yüksek hızda seyahat eden sürücülerin kavşakta durma olasılığının düşük olduğunu göstermektedir. Yani yüksek hızla hareket eden araçların sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşması durumundan geçme olasılığının daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Buna karşılık, uzaklık katsayısının pozitif olması durma çizgisine olan mesafenin artmasıyla sürücülerin durma olasılığının artacağını ifade etmektedir. Durma çizgisine olan mesafe azaldıkça sürücüler kavşaktan geçme eğilimi göstermektedir.

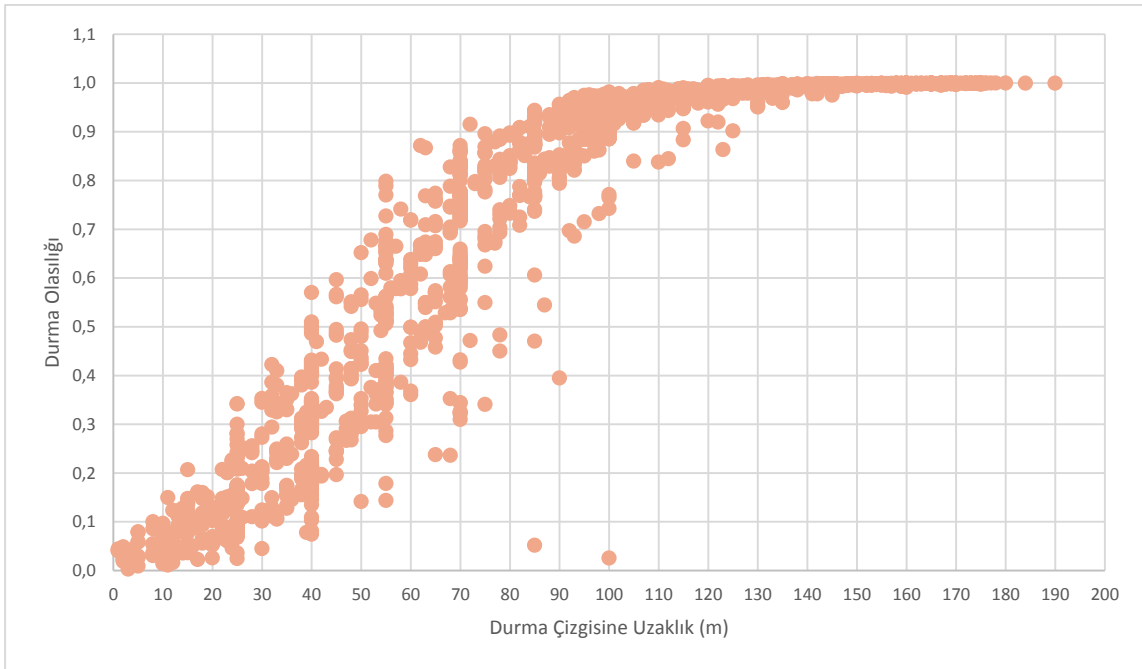
Çizelge 4.4'te yer alan katsayılar kullanılarak Denklem (4.7)'de verilen regresyon eşitliği elde edilmiştir.

$$U_i = -0,812 + 0,061D - 0,173S \quad (4.7)$$

Sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşan araçların hızlarına ve durma çizgisine olan uzaklığına bağlı olarak sürücülerin durma olasılığı Denklem (4.8)'de verilmiştir.

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(-0,812 + 0,061D - 0,173S)}} \quad (4.8)$$

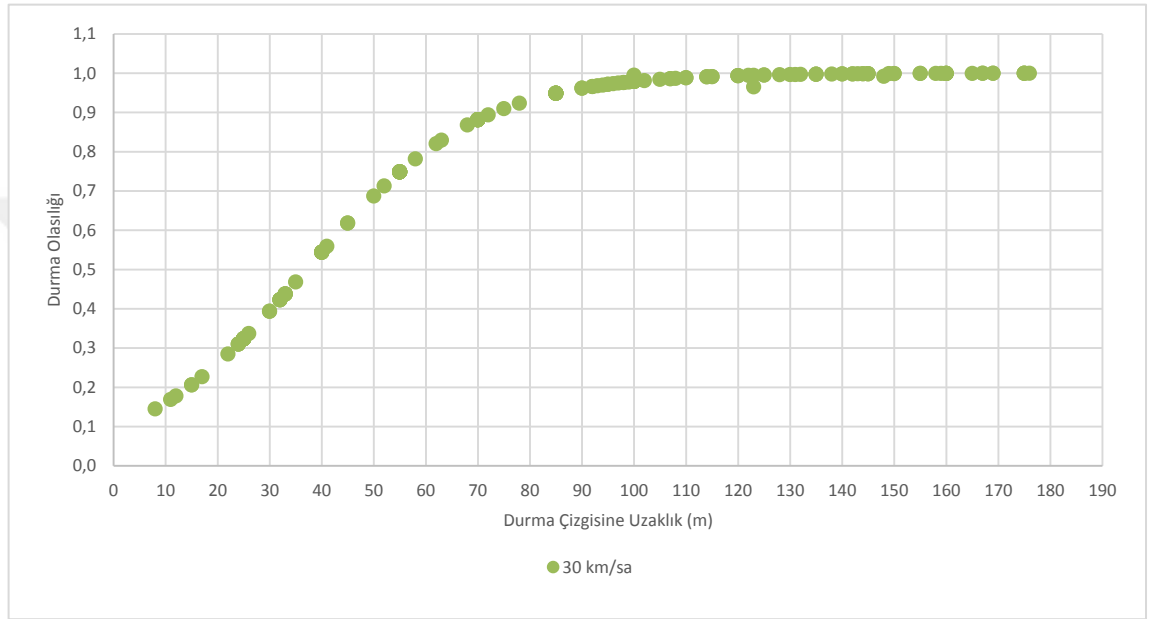
Şekil 4.9'da yaklaşma hızlarının bir fonksiyonu olarak durma olasılıkları gösterilmiştir.



**Şekil 4.9.** Gözlemlenen araçlara ait yaklaşma hızlarının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı

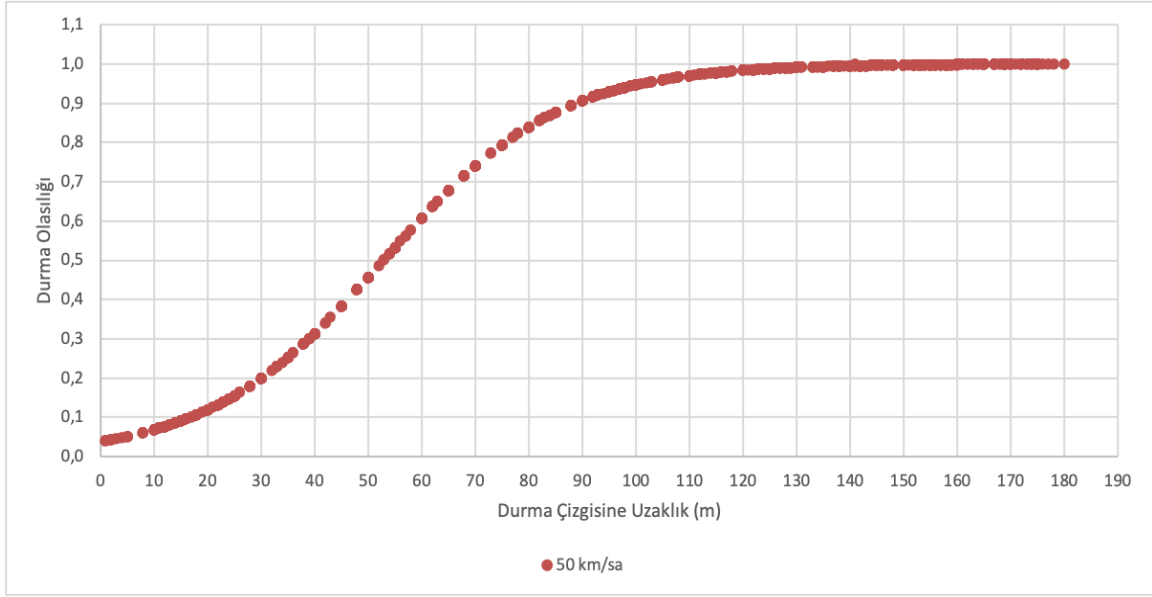
Şekil 4.9’da görüldüğü gibi belirli bir hız değeri için aracın durma çizgisine uzaklığı arttıkça durma olasılığı da artmaktadır. Durma çizgisine olan uzaklığın 100 m ve üzeri olduğu koşullarda neredeyse tüm sürücülerin “dur” kararı verdiği görülmektedir.

Tüm hız değerleri için analiz yapmak ve ikilem bölgeleri arasındaki farkı anlamak zor olduğundan 30 km/sa, 50 km/sa, 70 km/sa ve 90 km/sa hız değerleri için durma olasılıkları çizilmiştir.



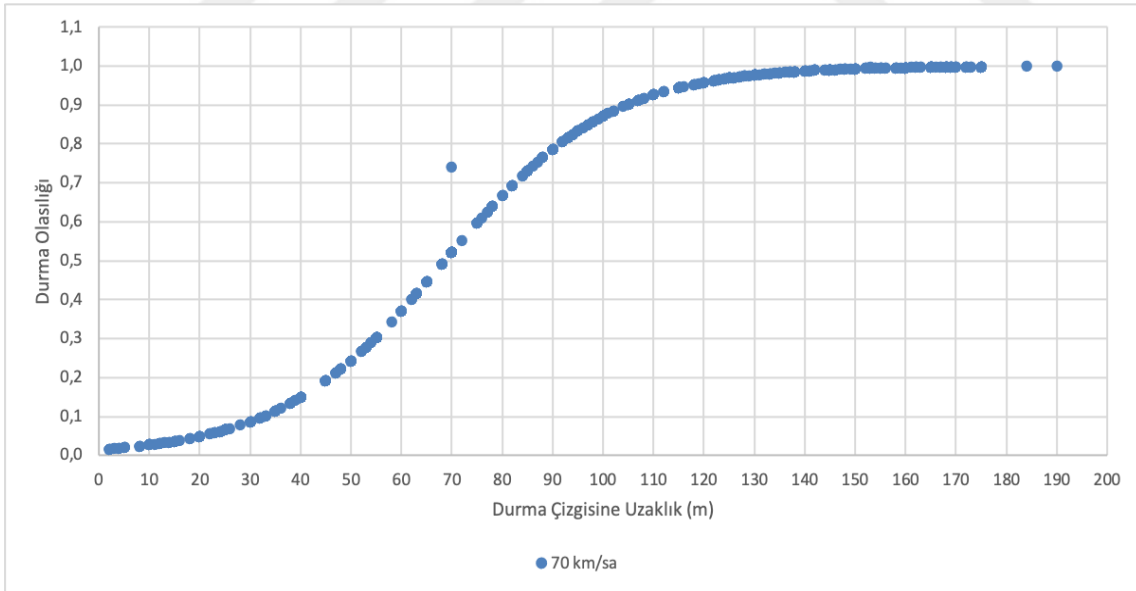
**Şekil 4.10.** 30 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı

Şekil 4.10’da verilen grafiğe göre sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçlardan, mesafesi yaklaşık 10 m veya daha az olanların kavşaktan geçme eğiliminde olduğu görülmektedir.



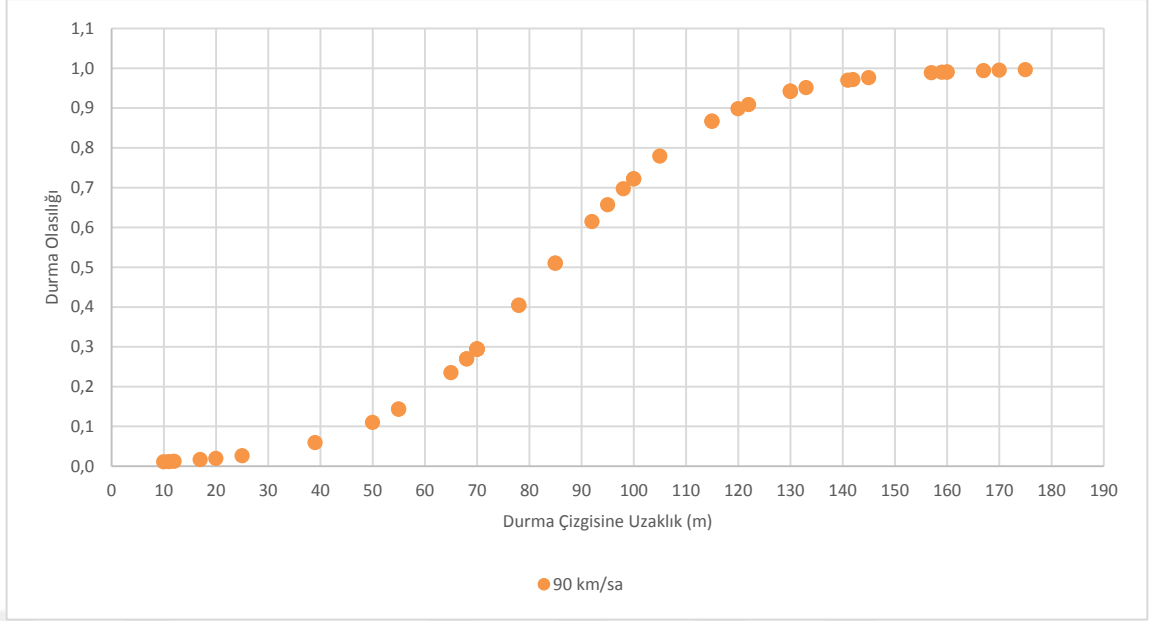
**Şekil 4.11.** 50 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı

Şekil 4.11’de verilen grafik incelendiğinde sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçlar arasında, durma çizgisine yaklaşık 20 m veya daha az olanların kavşaktan geçme eğiliminde olduğu görülmektedir.



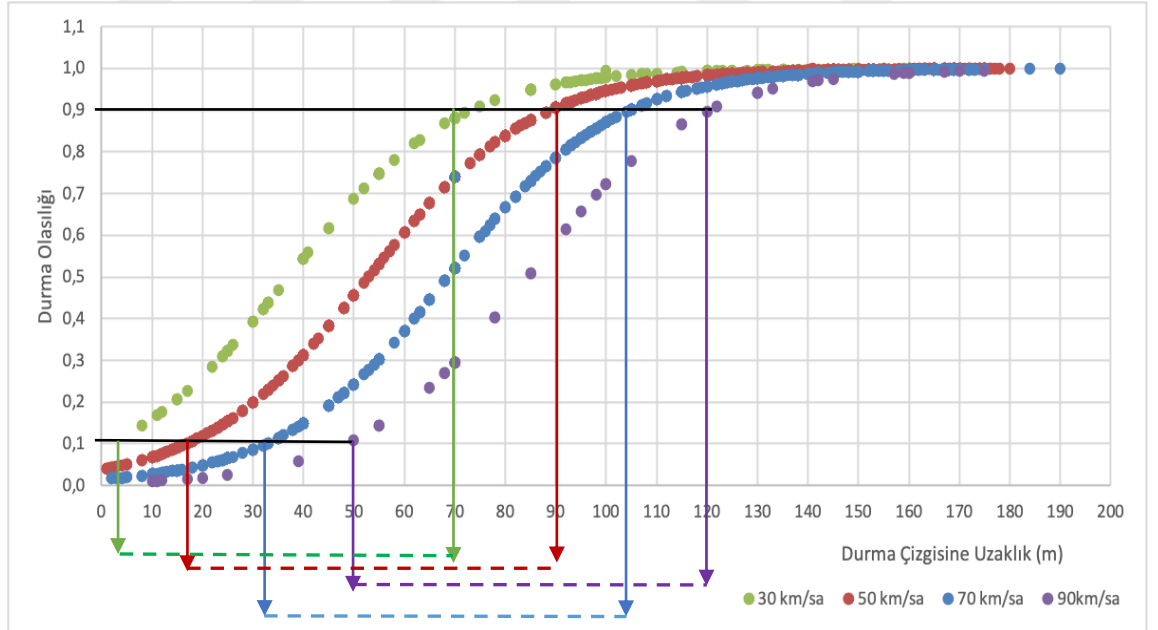
**Şekil 4.12.** 70 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı

Şekil 4.12’de gösterilen grafiğe göre sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçlardan, durma çizgisine mesafesi yaklaşık 30 m veya daha az olanların kavşaktan geçme eğiliminde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.13.** 90 km/sa yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı

Şekil 4.13'te verilen grafikte sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçlar arasında mesafesi yaklaşık 50 m veya daha az olanların kavşaktan geçme eğiliminde olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.14.** Farklı hız sınırlarına göre yaklaşma hızının bir fonksiyonu olarak durma olasılığı

Şekillerde verilen grafiklerin %10 ve %90 durma olasılıklarına denk gelen değerler ikilem bölgesinin sınırlarını ifade etmektedir [7]. 30 km/sa hız için ikilem bölgesinin iç sınırının (durma çizgisine yakın olan sınır) 3 m ve ikilem bölgesinin dış sınırının

(durma çizgisine uzak olan sınır) 70 m olduğu görülmektedir. İç ve dış sınırlar arasında kalan mesafe ise ikilem bölgesinin uzunluğunu vermektedir. 30 km/sa hızla ile sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan araçlar için ikilem bölgesinin uzunluğu 67 m olarak tespit edilmiştir. 50 km/sa hız değeri için ikilem bölgesinin iç sınırı 18 m, dış sınırı 90 m ve ikilem bölgesinin uzunluğu 72 olarak hesaplanmıştır. 70 km/sa hız değeri için ikilem bölgesinin iç sınırı 32 m, dış sınırı 104 m ve ikilem bölgesinin uzunluğu 72 m'dir. Son olarak 90 km/sa hız değeri için ikilem bölgesinin iç sınırı 50 m, dış sınırı 120 m ve ikilem bölgesinin uzunluğu 70 m olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.5.** İkilem bölgesinin sınırları ve uzunluğu

Hız (km/sa)	İkilem Bölgesi Sınırları (m)		İkilem Bölgesinin Uzunluğu (8m)
	10%	90%	
30	3	70	67
50	18	90	72
70	32	104	72
90	50	120	70

Şekil üzerinden elde edilen bu sınırlar doğrudan geliştirilen logit model ile de hesaplanabilmektedir. Örneğin; seçilen bir kavşakta ikilem bölgesinin iç sınırı  $D_i$  (durma çizgisine yakın olan sınır) belirli bir hız değeri için Denklem (4.9)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$P(i) = 0,1 = \frac{1}{1 + e^{-U_i}} \quad (4.9)$$

İkilem bölgesinin dış sınırı  $D_d$  (durma çizgisine uzak olan sınır) ise Denklem (4.10) ile hesaplanmaktadır.

$$P(i) = 0,9 = \frac{1}{1 + e^{-U_i}} \quad (4.10)$$

İkilem bölgesinin dağılımı ve uzunluğu üzerinde en etkili olan parametrelerin aracın yaklaşma hızı ve durma çizgisinden uzaklığı olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4'te verilen negatif hız katsayısı sürücülerin kavşağa yaklaşma hızındaki artışın durma olasılığını düşüreceğini göstermektedir. Mesafe katsayısının pozitif oluşu ise araçların durma çizgisine olan uzaklığı arttıkça durma olasılığının artacağı anlamına gelmektedir.

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi 50 m ve 50 km/sa hız için sürücülerin durma olasılığı %50 iken, aynı uzaklık değerine göre 90 km/sa hız için sürücülerin durma olasılığı yaklaşık %10'dur. Bu örnek; belirli bir mesafe değerine göre aracın hızı arttıkça sürücülerin kavşakta durma olasılığının azaldığını ispat etmektedir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karayolu ağı üzerinde önemli bağlantı noktaları olan sinyalize kavşaklardaki ikilem bölgesi sorunu, trafik güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle kavşaklarda meydana gelen ikilem bölgesi problemlerini azaltmak ve kavşak güvenliğini artırmak amacıyla araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmanın ilk kısmında ikilem bölgesi sorununu, özellikle Tip I ikilem bölgesi kavramını daha iyi anlamak hedeflenmiştir. İkilem bölgesi uzunluğunu etkileyen faktörleri ve bu faktörler arasındaki ilişkiyi araştırılmıştır. İkilem bölgesini etkileyen faktörlerden hızı, reaksiyon süresini, kavşak temizlenme süresini, yavaşlama ivmesini ve kavşak genişliğini ifade eden değişkenlere atanan farklı değerler ile analizler gerçekleştirilerek 648 farklı trafik durumu incelenmiştir.

Çalışma sonucunda, kavşak temizlenme süresinin artmasıyla Tip I ikilem bölgesinin ortadan kalktığı ancak sürücünün güvenli bir şekilde geçme ya da durma kararı verebileceği “seçenek bölgesi”nin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca çalışma, Tip I ikilem bölgesi uzunluğunun; hız, algılama-tepki süresi, yavaşlama ivmesi ve kavşak genişliği (araç uzunluğu dâhil) faktörlerinden etkilendiğini göstermiştir. Hız, reaksiyon süresi ve kavşak genişliği arttıkça Tip I ikilem bölgesi uzunluğunun arttığını, ancak yavaşlama oranı, arttıkça azaldığını göstermiştir.

Çalışmanın Tip II ikilem bölgesini konu alan ikinci kısmında, Kocaeli Orduevi Kavşağı'ndan alınan görüntüler kullanılarak bir veri seti oluşturulmuştur. Sarı sinyal başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan 2.172 adet aracın hızları, durma çizgisine olan uzaklıkları ve sürücülerin kararları kaydedilmiştir. Elde edilen verilerin SPSS yazılımı yardımıyla lojistik regresyon analizi sonucunda sürücülerin sarı sinyal başlangıcında kavşakta durma olasılığını tahmin eden bir logit model oluşturulmuştur. Sürücülerin durma olasılıklarının %10 ve %90 olduğu değerlere ulaşılarak ikilem bölgesinin sınırları ve uzunluğu belirlenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre araçların sarı sinyal başlangıcında yaklaşma hızının ve durma çizgisine uzaklığının; ikilem bölgesinin konumu ve uzunluğu üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Çalışma, sürücünün karar verme süreci ve süreci



etkileyen parametreler arasındaki ilişki hakkındaki önemli bilgiler sunmaktadır. Lojistik regresyon analizi sonucu ulaşılan mesafe değişkenine ait katsayının pozitif olması araçların durma çizgisine olan uzaklığı arttıkça durma olasılığının da artacağını göstermektedir. Hız değişkenine ait katsayının negatif olması ise hız arttıkça sürücülerin kavşakta durma olasılığının azalacağını ifade etmektedir. Ayrıca araçların hızlarının artması ile ikilem bölgesinin uzunluğunda önemli bir değişiklik olmadığı ancak ikilem bölgesi sınırlarının durma çizgisinden yukarı yönde kayarak uzaklaştığı görülmüştür. İkilem bölgesine ait değerler Zegeer ve Deen (1978) tarafından 2100 sürücü verisi ile yapılan çalışmada 72 km/sa yaklaşma hızı için hesaplanan ikilem bölgesi sınırları ve uzunluğu ile benzerlik göstermektedir. İkilem bölgesi iç sınırı 46 m iken dış sınırı 99 m olarak tespit edilmiştir. İkilem bölgesinin uzunluğu ise 53 m'dir. Bu çalışmada ise 70 km/sa için ikilem bölgesi iç ve dış sınırları sırasıyla; 32 m ve 104 m bulunmuştur. İkilem bölgesinin uzunluğu 72 m'dir. Pawar (2020) tarafından yapılan çalışmada ise otomobiller için hesaplanan ikilem bölgesi değerleri ile benzer değerler bulunmuştur. Otomobiller için yapılan analizde ikilem bölgesinin uzunluğunun hızın artışından etkilenmediği, ancak ikilem bölgesi sınırlarının durma çizgisinden yukarı yönde kaydığı tespit edilmiştir. İkilem bölgesinin uzunluğu arasındaki farklılıkların araç tipi ve takip edilen şeritten kaynaklandığı görülmüştür.

Ülkemizde sürücü davranışı ve ikilem bölgesini konu alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Çalışmanın sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda, kavşaklardaki ikilem bölgesi hakkında daha fazla bilgiye sahip olmak ve trafik mühendislerinin kavşak güvenliği açısından sağlayacağı çözümler ile ilgili yol gösterecektir. Ayrıca bölgedeki kırmızı ışık ihlallerinin azaltılması, sürücü kararsızlığını ve ikilem bölgesine yakalanan araçların sıklığını azaltmak amacıyla geliştirilecek uyarı sistemlerinin kurgulanması gibi ileriye dönük çalışmalar için kullanılabilir. Tahmin edilen sonuçlar benzer geometri ve trafik koşullara sahip kavşaklardan alınan daha fazla veri ile kalibre edilerek geliştirilebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı geometri ve trafik koşullarına sahip kavşaklarda daha fazla veri ile ikilem bölgesinin dağılımı incelenebilir. Araç tipi, aracın trafikteki konumu (bulunduğu şerit), sürücünün özellikleri (yaş, cinsiyet), hava ve yol koşulları gibi değişkenler de dâhil edilerek ikilem bölgesinin konumu ve uzunluğu incelenebilecektir. İkilem bölgesinin konumuna ulaşmak amacıyla ikilem

bölgesi arama çizelgeleri geliştirilerek bu bölgeye yakalanan araçların sayısı azaltmak için uygun sinyal döngüsünün tasarlanmasına yardımcı olabilir.

Sinyalizasyon sistemlerinde yeşil ve kırmızı ışık süreleri bildiren geri sayım cihazlarının kullanılması ile birlikte sarı ışık başlangıcında kavşağa yaklaşmakta olan sürücülerin kavşaktan geçmek ya da kavşakta durmak konusunda eğilimleri incelenebilir. Sürücülerin karar verme sürecinin etkileyen sinyal geri sayım cihazlarının ikilem bölgesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Kavşaktan doğru devam eden araçların dışında sağa ya da sola ayrılan araçların, kendisini takip eden araçlar üzerindeki etkisi araştırılarak ikilem bölgesinin sınırları ve uzunluğu üzerindeki etkileri tespit edilebilir.



## KAYNAKÇA

- [1] Vikipedi (2022). Kavşak. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kav%C5%9Fak>.
- [2] Institute of Transportation Engineers (2009). Fundamentals of Signal Timing and Design. Traffic Engineering Handbook (ss. 515-518). USA.
- [3] Gazis, D., Herman, R. ve Maradudin, A. (1960). The Problem of The Amber Signal Light in Traffic Flow. Operation Research 8(1),112-132.
- [4] Saito, T., Ooyama, N. ve Sigeta, K. (1990). Dilemma and option zones, the problem and countermeasures-characteristics of zones, and a new strategy of signal control for minimizing zones. İçinde: The Third International Conference on Road Traffic Control (ss. 137-141), Washington, D.C.: IEEE.
- [5] Wise Up Winnipeg (2018). Short Amber Light Timing. <https://wiseupwinnipeg.com/short-amber-light-timing/>.
- [6] Akgüngör, A. P. ve Mercan, E. Z. (2021). An analysis of Type I dilemma zone at signalised intersecitons. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.2021, 112, 05-16. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.112.1>.
- [7] ITE Technical Committee 18 (Chair: Parsonson Peter), 1974. “Small area detection at intersection approaches”. Traffic Engineering 44(2): 8-17.
- [8] Zegeer, C. ve Deen, R. (1978). Green-extension systems at highspeed intersections. ITE Journal 48(11), 19-24.
- [9] Pawar, D. S., Pathak, D. ve Patil, G. R. (2020). Modeling Dynamic Distribution of Dilemma Zone at Signalized Intersections for Developing World Traffic. Journal of Transportation Safety & Security 14(5),1-19. DOI:10.1080/19439962.2020.1852464.

- [10] Pathivada, B. ve Perumal, V. (2017). Modeling Driver Behavior in Dilemma Zone under Mixed Traffic Conditions. *Transportation Research Procedia* 27, 961-968. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.120>.
- [11] Yang, Z., Tian, X., Wang, W., Zhou, X. ve Liang H. (2014). Research on Driver Behavior in Yellow Interval at Signalized Intersections. *Mathematical Problems in Engineering* 2014(1),1-8. DOI:10.1155/2014/518782.
- [12] Chang, M., Messer, J. C. ve Santiago, A. (1985). Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior. *Transportation Research Board* 1027, 20-30 ISSN: 0361-1981.
- [13] Nassiri, H. (2001). Application of logit modeling to the decision-making process of drivers at the Onset of the yellow signal. *Scientia Iranica* 8(1),54-61.
- [14] Long, K., Liu, Y. ve Han, L. (2013). Impact of countdown timer on driving maneuvers after the yellow onset at signalized intersections: An empirical study in Changsha, China. *Safety Science* 54, 8-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.10.007>
- [15] Hurwitz, D., Knodler, M. ve Nyquist, B. (2011). Evaluation of Driver Behavior in Type II Dilemma Zones at High-Speed Signalized Intersections. *Journal of Transportation Engineering* 137(4),277-286. DOI:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000219
- [16] Wei, H., (2008). Characterize dynamic dilemma zone and minimize its effect at signalized intersections. Ohio Transportation Consortium.
- [17] Wei, H. ve Li, Z. (2009). Observation-Based Study of Intersection Dilemma Zone Natures. *Journal of Transportation Safety & Security* 1(4),282-295. DOI:10.1080/19439960903441141.
- [18] Walia, G., Ali, S. ve Agarval, R. (2016). Formation of Dilemma Zone at Signalised Intersections. *International Journal of Civil Engineering and Concrete Structures* 1(3),189-193 ISSN 2455-7714.

- [19] Urbanik, T. ve Koonce, P. (2007). The Dilemma with Dilemma Zones. ITE District 6<sup>th</sup> Annual Meeting.
- [20] Karayolları Genel Müdürlüğü (2005). Karayolu Tasarım El Kitabı. Ankara.
- [21] Institute of Transportation Engineers (2009). Introduction to Intersection Control. Traffic Engineering Handbook (ss. 445-466). USA.
- [22] ITE (1999). Traffic Engineering Handbook. Prentice Hall Englewood Cliffs. ISBN: 0-953403-32-9
- [23] ASSHTO (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6 th edition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C. ISBN: 978-1-56051-508-1.
- [24] Jianwen, S., Urbanik, T. ve Han, L. (2007). Effectiveness of Alternative Detector Configurations for Option Zone Protection on High-Speed Approaches to Traffic Signal. Transportation Research Record 2035(1),107-103. DOI: <https://doi.org/10.3141/2035-12>
- [25] MUTCD (2009). The Manual on Uniform Traffic Control Devices. (MUTCD) for Streets and Highways, 2009 Edition. US Department of Transportation the Federal Highway Administrator.
- [26] Karayolları Genel Müdürlüğü (2021). 2021 Yılı Karayolları Genel Müdürlüğü Sorumluluğundaki Yol Ağında Meydana Gelen Trafik Kazalarına Ait Özet Bilgiler.  
<https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/trafikkazalariozeti.aspx>  
İndirilme Tarihi: 10.07.2022
- [27] M. B. Baydemir. (2014). Lojistik Regresyon Analizi Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- [28] Gamgam, H. Ve Altunkaynak B. (2015). Regresyon Analizi. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

- [29] Çokluk, Ö. (2010). Lojistik Regresyon Analizi: Kavram ve Uygulama. Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri Dergisi, 10(3), 1357- 1407.
- [30] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı Trafik Müdürlüğü (2021)



# ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı

Yabancı Dil

Eğitim Durumu

Lisans

Mühendisliği (2018)

Yüksek Lisans

Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum

Analiz A.Ş.

Yayımları