

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DAKİ IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOYGUN AKIM DEĞERİNİ
ETKİLEYEN GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Süleyman DÜNDAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

ARALIK 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DAKİ IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOYGUN AKIM DEĞERİNİ
ETKİLEYEN GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Süleyman DÜNDAR
(501102402)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT

ARALIK 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501102402 numaralı Doktora Öğrencisi Süleyman DÜNDAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İSTANBUL'DAKİ IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOYGUN AKIM DEĞERİNİ ETKİLEYEN GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT
Pamukkale Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Teslim Tarihi : 9 Kasım 2018
Savunma Tarihi : 21 Aralık 2018





Eşime ve çocuklarıma,



ÖNSÖZ

Trafik, büyük ve hatta orta ölçekli şehirlerde, artan nüfus ve taşıt sayısı ile birlikte kent merkezlerini kullanan bütün ulaşım paydaşlarını etkilemektedir. Özellikle yol ağlarının geliştirilmesi ya da yeni yol ağlarının inşa edilmesini engelleyen kısıtlı alanların varlığı ve bu alanların arttırılması için gerekli olan kamulaştırma bedellerinin yüksek oluşu, yerel yönetimlerin çalışmalarını olumsuz etkilemektedir.

Ülkemizin en kalabalık nüfusuna sahip şehri olan İstanbul, trafik tıkanıklığının en çok yaşandığı şehirdir. Tıkanma en çok eş düzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Farklı yönlerden gelen taşıtlar ışıklı sistemler sayesinde sırasıyla kavşağı kullanmaktadır. Kavşak kollarındaki yeşil sürelerin doğru hesaplanması, kavşakta gereksiz taşıt beklemelerinin önüne geçmesi için gereklidir.

Ülkemizdeki trafik ışığı hesaplamalarında çoğunlukla, ABD’de Ulaştırma Araştırma Kurumu’nun (Transportation Research Board) yayınladığı Karayolu Kapasite El Kitabı’ndaki (Highway Capacity Manual) bağıntılar ve katsayılar kullanılmaktadır. İlk olarak ABD’de 1950 yılında basılan bu yayın, daha sonraları bir çok kere güncellenmiştir. Bunun nedeni, taşıt, yol ve kontrol sisteminde teknolojik gelişmeler arttıkça bu yenilemelerin kaçınılmaz olmasıdır.

Gelişmiş ülkelerde bu alanda bir çok çalışma bulunmasına karşın, ülkemizde sınırlı sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu kapsamda, İstanbul’daki ışıklı kavşaklarda doymuş akım değerini etkileyen değişkenlerin belirlenmesi ile ilgili bir çalışmanın tez konusu olması amaçlanmıştır. Yerel veriler kullanılarak, söz konusu çalışmanın yapılması ülkemize özgü bir çalışma olacağından, ülkemize özgü bir el kitabının hazırlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim süresince beni destekleyen, teşvik eden ve yol gösteren bir çok kurum ve kişiler bulunmaktadır. Öncelikle, üzerimde çok emeği bulunan Yüksek Lisans ve Doktora Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT’e çok teşekkür ederim.

Ayrıca, Tez İzleme Komitesi üyesi Sayın Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU’na ve Sayın Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT’a destek ve teşvikleri için teşekkür ederim..

2001 yılından beri öğrencisi olduğum İTÜ İnşaat Fakültesi’nin ve Ulaştırma Anabilim Dalı’nın eski ve yeni bütün hocalarına teşekkür ederim. Ayrıca, üzerimde bir şekilde emeği olan herkese minnet ve şükranlarımı arz ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen ve bana güvenen aile fertlerime ayrı ayrı çok teşekkür ederim.

En önemli teşekkürü ise, akademik çalışmamdan dolayı çoğu zaman ihmal ettiğim değerli eşim Şule’ye, oğlum İbrahim Asaf’a, kızlarım Fatma Zehra’ya ve Saliha Sena’ya ederim.

Kasım 2018

Süleyman DÜNDAR
(İnşaat Yük. Müh.)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu.....	2
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezde Kullanılan Yöntem.....	3
2. TRAFİK AKIMI VE IŞIKLI KAVŞAK SİSTEMLERİ	5
2.1 Işıklı Kavşak Tipleri	5
2.1.1 Sabit zamanlı denetim sistemi.....	6
2.1.2 Yarı uyarmalı trafik denetim sistemi	6
2.1.3 Tam uyarmalı trafik denetim sistemi	7
2.2 Işıklı Kavşaklarda Akım Özellikleri.....	7
2.2.1 Tepki süresi	7
2.2.2 Başlangıç zaman kaybı ve etkin yeşil süre değeri.....	8
2.2.3 Zaman cinsinden doymuş aralık değeri	12
2.2.4 Doymuş akım değeri	16
2.2.5 Eşdeğer birim otomobil değeri.....	19
2.3 Kapasite ve Hizmet Düzeyi	20
2.3.1 Kapasite ve doymuş akım derecesi	20
2.3.2 Hizmet düzeyi	21
2.3.3 Kapasite ve hizmet düzeyini etkileyen değişkenler	22
2.3.3.1 Temel koşullar	23
2.3.3.2 Yol koşulları	23
2.3.3.3 Trafik koşulları	24
2.3.3.4 Kontrol koşulları	24
3. DOYMUŞ AKIM DEĞERİNİN BELİRLENMESİ.....	25
3.1 Doymuş Akım Değerini Hesaplama Yöntemleri	25
3.1.1 Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (TRRL) yöntemi.....	25
3.1.2 Regresyon çözümlemesi yöntemi	26
3.1.3 Zaman cinsinden doymuş aralık yöntemi	27
3.2 Doymuş Akım Değeri İçin Veri Toplama Yöntemleri.....	28
3.2.1 Hava fotoğrafı yöntemi	28
3.2.2 Teyp kaydı yöntemi.....	29
3.2.3 Video kaydı yöntemi	29
3.3 Doymuş Akım Değerini Etkileyen Geometrik Değişkenler	30

3.3.1	Şerit sayısı etkisi.....	34
3.3.2	Şerit genişliği etkisi.....	35
3.3.3	Eğim etkisi.....	40
3.3.4	Sola dönüş etkisi.....	43
3.3.5	Sağa dönüş etkisi.....	45
4.	ARAZİ VERİLERİNİN ÖLÇÜLMESİ	49
4.1	Kavşak Seçimin Yapılması.....	49
4.2	Veri Toplama Yöntemi	50
4.3	Arazi Çalışmasında Ölçülen Veriler	50
4.3.1	Kavşak geometrisi verileri	50
4.3.2	Taşıt verileri	57
5.	ARAZİ VERİLERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ	61
5.1	Zaman Cinsinden Doygun Aralığın Belirlenmesi	61
5.1.1	Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygum aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri	62
5.1.2	Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygum aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri	68
5.1.3	Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için zaman cinsinden doygum aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri	73
5.2	Kavşak Kolundaki Şerit Konumunun Zaman Cinsinden Doygun Aralığa Etkisinin İncelenmesi	77
5.3	Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi	79
5.3.1	Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doygum akım değeri.....	79
5.3.2	Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için doygum akım değeri	82
5.3.3	Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için doygum akım değeri.....	85
6.	DOYGUN AKIM DEĞERİNİN MODELLENMESİ	87
6.1	Temel Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi.....	88
6.2	Şerit Sayısı Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi	93
6.3	Şerit Genişliği Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi	95
6.4	Eğim Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi	97
6.5	Sola Dönüş Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi	99
7.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	103
	KAYNAKLAR.....	107
	EKLER.....	113
	ÖZGEÇMİŞ.....	127

KISALTMALAR

ANOVA	: Varyans çözümlemesi (Analysis of Variance)
AT	: Ağır taşıt oranı
bo	: Birim otomobil
c	: Devre süresi
E_{Sol}	: Sola dönen taşıtların doğru giden taşıtlara göre birim eşdeğeri
f (F_{adj})	: Değişkenlere ait düzeltme fonksiyonu
F_{adj}	: Tekil olarak düzeltme çarpanı
FHWA	: Federal Karayolu Kurumu (Federal Highway Administration)
f_{AT}	: Ağır taşıt düzeltme çarpanı
f_B	: Bölge tipi düzeltme çarpanı
f_E	: Eğim düzeltme çarpanı
f_N	: Şerit sayısı düzeltme çarpanı
f_O	: Otobüs durağı düzeltme çarpanı
f_P	: Parklanma düzeltme çarpanı
f_{Sağ}	: Sağa dönüş düzeltme çarpanı
f_{SağYB}	: Sağa dönüşte yaya ve bisiklet etkisi düzeltme çarpanı
f_{Sol}	: Sola dönüş düzeltme çarpanı
f_{SolYB}	: Sola dönüşte yaya ve bisiklet etkisi düzeltme çarpanı
f_{ŞG}	: Şerit genişliği düzeltme çarpanı
f_{ŞK}	: Şerit kullanımı düzeltme çarpanı
f_{TK}	: Taşıt tipi düzeltme çarpanı
f₁, f₂	: Değişkenler içindeki en baskın iki değişken
G	: Şerit genişliği
g	: Yeşil süre
g_e	: Etkin yeşil süre
h_{ij}	: i'nci devrede kuyruktaki j'nci taşıtın zaman cinsinden aralık değeri
h_s	: Zaman cinsinden doymuş aralık değeri
HBS	: Alman Kapasite Kitabı (Germany Capacity Manual)
HCM	: Karayolu Kapasite El Kitabı (Highway Capacity Manual)
HS	: Hız sınırı
I	: Ardışık iki fazın yeşiller arasındaki süre
ITE	: Kanada Kapasite Kitabı (Canadian Capacity Guide)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
K	: Kamyon
L	: Zaman kaybı
M	: Minibüs
m	: Metre
MİA	: Merkezi iş alanı
N	: Şerit sayısı
No'lu	: Numara
n	: Taşıt sayısı
n_i	: i'nci devrede kuyruktaki taşıt sayısı
O	: Otobüs

PCU	: Passenger Car Unit (Birim otomobil)
Q	: Kapasite
q	: Akım değeri
R	: Dönüş yarıçapı
S	: Doygun akım değeri
s	: Eğim
sa	: Saat
Sn.	: Saniye
S_T	: Temel doygun akım değeri (bo/sa/şrt)
Şrt	: Şerit
T	: Taksi
t_i	: i'ninci taşıt için başlangıç zaman kaybı
TRB	: Ulaştırma Araştırmaları Kurumu (Transportation Research Board)
TRRL	: Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (Transport and Road Research Laboratory)
u	: Yeşil süre oranı
vb.	: Ve diğerleri
y	: Akım oranı
x	: Doygunluk derecesi
λ₁	: Başlangıç zaman kaybı
λ₂	: Bitiş zaman kazancı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çeşitli çalışmalarda, taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri (Jumsan ve diğ., 2005).	14
Çizelge 2.2 : Gelişmiş ülkelerde doymun akım değeri ile ilgili yapılan çalışmalar (Stanić ve diğ., 2011).	17
Çizelge 2.3 : Gelişmekte olan ülkelerinde doymun akım değeri ile ilgili yapılan çalışmalar (Turner ve Harahap, 1993; Stanić ve diğ., 2011).	18
Çizelge 2.4 : Hizmet düzeyi ve kontrol gecikmeleri (TRB, 2010).	22
Çizelge 3.1 : Doymun akım için kullanılan düzeltme çarpanları (Tsao ve Chu, 1995).	31
Çizelge 3.2 : Şerit sayısı için düzeltme çarpanı katsayıları (Zhang ve diğ., 2010). ..	35
Çizelge 3.3 : Şerit sayısı için düzeltme çarpanı değerleri (Alam ve diğ., 2011).	35
Çizelge 3.4 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanı (Akçelik, 1981).	37
Çizelge 3.5 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanları (ITE, 2008).	38
Çizelge 3.6 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanları (TRB, 2010).	39
Çizelge 3.7 : Şerit genişliği düzeltme çarpanları (Zhang ve diğ., 2010).	39
Çizelge 3.8 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanı (Lemke, 2015).	40
Çizelge 3.9 : Eğim düzeltme çarpanı (HBS, 2001).	41
Çizelge 3.10 : Sola dönüş düzeltme çarpanı (HBS, 2001).	44
Çizelge 3.11 : Sağa dönüş düzeltme çarpanı.	47
Çizelge 4.1 : Çalışma yapılan kavşak ve yaya geçitlerin ilçelere göre dağılımı.	52
Çizelge 4.2 : Doğru giden akımlar için incelenen kavşaklar.	53
Çizelge 4.3 : Sola dönen taşıtlar için çalışma yapılan şeritler.	54
Çizelge 4.4 : İncelenen şeritlerdeki gözlenen devre ve taşıt verileri.	58
Çizelge 5.1 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doymun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri.	64
Çizelge 5.2 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doymun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri.	69
Çizelge 5.3 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden doymun aralık değerleri.	74
Çizelge 5.4 : Şerit konumunun zaman cinsinden doymun aralığı etkisinin incelenmesi.	78
Çizelge 5.5 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doymun akım değerleri.	80
Çizelge 5.6 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için doymun akım değerleri. ..	84
Çizelge 5.7 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akım için doymun akım değerleri.	86
Çizelge 6.1 : Temel koşullara sahip kavşaklarda hesaplanan temel doymun akım değerleri.	90
Çizelge 6.2 : Temel koşullara sahip kavşak kollarında temel doymun akım bölgesine ait taşıt sıraları.	91
Çizelge 6.3 : Eğim düzeltme çarpanı katsayıları.	99

Çizelge 6.4 : Sola dönen akımlar için şerit genişliği düzeltme çarpanının kullanılması.....	100
Çizelge A.1 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için iki şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.....	114
Çizelge A.2 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için üç şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.....	116
Çizelge A.3 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için dört şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.....	118
Çizelge A.4 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.....	119
Çizelge A.5 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için incelenen kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.....	121
Çizelge B.1 : 007 No.lu şeritte 1. taşıttan itibaren yapılan ANOVA testi çıktısı ($F_{hesap} > F_{kritik}$).....	123
Çizelge B.2 : 007 No.lu şeritte 2. taşıttan itibaren yapılan ANOVA testi çıktısı ($F_{hesap} > F_{kritik}$).....	124
Çizelge B.3 : 007 No.lu şeritte 1. taşıttan itibaren yapılan ANOVA testi çıktısı ($F_{hesap} < F_{kritik}$).....	125

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Doygun akım değerinin görünümü (Kimber ve diğ., 1986).	9
Şekil 2.2 : Kavşağa giren taşıtların zaman cinsinden aralıkları.	11
Şekil 3.1 : Doygun akım değeri-zaman ilişkisi (TRRL, 1963).	26
Şekil 3.2 : Yeşil sürenin başlangıç, orta ve bitiş aralıklarına ayrılması (Branston ve Van Zuylen, 1978).	27
Şekil 3.3 : Arazi ekipmanın yerleştirilmesi (Greenshields ve diğ., 1947).	29
Şekil 4.1 : Çalışma yapılan kavşakları gösteren hava fotoğrafı.	51
Şekil 4.2 : Eğimsiz kesimlerdeki şerit genişliklerine ait histogram.	54
Şekil 4.3 : İncelenen sola dönen şeritlerdeki şerit genişliklerine ait histogram.	55
Şekil 4.4 : Eğimli kesimlerde incelenen şerit eğimlerin histogramı.	56
Şekil 4.5 : Sola dönen akımların dönüş yarıçaplarına ait histogram.	56
Şekil 5.1 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden aralık değerleri histogramı.	66
Şekil 5.2 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygun aralığın başlangıç taşıtına ait histogram.	66
Şekil 5.3 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için başlangıç zaman kaybı histogramı.	67
Şekil 5.4 : Doğru giden eğimsiz kavşaklarda zaman cinsinden doygun aralık değeri en küçük ve en büyük olan kavşak kolları.	68
Şekil 5.5 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden aralık değerleri.	70
Şekil 5.6 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygun aralığın başladığı taşıtlara ait histogram.	71
Şekil 5.7 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için hesaplanan başlangıç zaman kaybına ilişkin histogram.	72
Şekil 5.8 : Eğimli şeritlerde zaman cinsinden doygun aralık değeri en küçük ve en büyük olan şeritlerde gözlenen taşıtlar.	73
Şekil 5.9 : Sola dönüş akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden aralık değerlerine ait histogram.	75
Şekil 5.10: Sola dönen akımlar için zaman cinsinden doygun aralığın başladığı taşıtlara ait frekans.	75
Şekil 5.11 : Sola dönen akımlar için incelenen şeritlerin başlangıç zaman kaybına ait histogram.	76
Şekil 5.12 : Sola dönen şeritlerde zaman cinsinden doygun aralık değeri en küçük ve en büyük olan şeritlerde gözlenen taşıtlar.	77
Şekil 5.13 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doygun akım değerlerine ait histogram.	82
Şekil 5.14 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için hesaplanan doygun akım değerlerine ait histogram.	85
Şekil 5.15 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için doygun akım değerleri.	86

Şekil 6.1 :	Kavşak kolunun eğimi ile temel doygun akım değeri arasındaki ilişki....	88
Şekil 6.2 :	Temel koşulları sağlayan kavşaklarda hesaplanan temel doygun akım değerleri.	92
Şekil 6.3 :	Temel koşullara sahip kavşaklarda bulunan zaman cinsinden aralık değeri ile diğer çalışmaların karşılaştırılması (Bu tez çalışması).	93
Şekil 6.4 :	Şerit grubundaki şerit sayısı ile doygun akım arasındaki ilişki.	94
Şekil 6.5 :	Şerit genişliği ile doygun akım arasındaki ilişki.	95
Şekil 6.6 :	Doygun akım değeri ile eğim arasındaki ilişki.	98
Şekil 6.7 :	Sola dönüş yarıçapı ile doygun akım değeri arasındaki ilişki.	101



İSTANBUL'DAKİ IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOYGUN AKIM DEĞERİNİ ETKİLEYEN GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Otomobil, statünün, zenginliğin, gücün, özgürlüğün, kendine güvenin simgesi olarak görülen ve yaygın olarak kullanılan bir ulaşım türüdür. Son yıllarda ülkemizdeki kişi başına yıllık gelirin artmasına bağlı olarak, otomobil sahipliğinde artış olmuştur. Bunun sonucu olarak, kent içi trafiğinde özellikle kavşaklarda uzun taşıt kuyrukları oluşmaktadır. Bu durum, yakıt tüketimi, zaman kaybı, sera gazı salınımının artması gibi değişik bir çok çevresel sorunlara neden olmaktadır.

Söz konusu olumsuz sonuçları en aza indirmek için geliştirilen trafik ışıkları, farklı yönlerden kavşağa gelen akım kolları için gerçek yeşil sürelerin belirlenmesi çok önemlidir. Çünkü, bir kavşak koluna gerek duyulan yeşil süreden daha uzun sürenin verilmesi sonucunda, diğer kavşak kollarında daha uzun kuyruklanmaların oluşması ve kavşağın etkin olarak kullanılması engellenmektedir. Yeşil sürenin hesaplanması için doygun akım değerinin bilinmesi çok önemlidir.

Doygun akım değerinin hesaplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ülkemizde, Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) tarafından geliştirilen yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, doygun akım değeri için biri gözlemsel, diğeri çözümlemeli (analitik) olmak üzere iki hesaplama şekli bulunmaktadır. Çözümlemeli yöntem ile doygun akım değerini hesaplamak için 12 farklı değişken katsayısı çarpanının içinde olduğu matematiksel bir denklem kullanılmaktadır. Gözlemsel yöntemde ise arazide taşıtlar arasındaki zaman cinsinden doygun aralığın belirlendiği ve bu değer 3.600'e bölünmesiyle doygun akım değeri hesaplanmaktadır. Taşıtlar arasındaki zaman cinsinden doygun aralık değerini, trafik, geometrik ve ışık kontrol değişkenleri olmak üzere üç farklı değişken grubundaki etkenler etkilemektedir.

Karayolu Kapasite El Kitabı'nda (TRB, 2010), sürücü davranışları ülkeden ülkeye değiştiğinden dolayı, yerel taşıt verileri kullanılarak doygun akım değerinin hesaplanması önerilmiştir. Tez çalışmasında, doygun akım değerini etkileyen değişkenlerin fazlalığı nedeniyle, İstanbul'daki ışıklı kavşaklarda doygun akım değerini etkileyen geometrik değişkenler incelenmiştir. Temel doygun akım değerinin yanı sıra söz konusu değişken ile şerit grubundaki şerit sayısı, şerit genişliği, şeridin boyuna eğimi, sola dönüş ve sağa dönüş ilişkisi belirlenmiştir. Bu değişkenlerden sağa dönüş değişkeni için uygun kavşak bulunamadığından, söz konusu değişken incelenememiştir.

İstanbul İli genelinde toplam 2.209 ışıklı kavşak ve yaya geçidi bulunmaktadır. Bu tez çalışması için örneklem sayısı olarak, mevcut kavşakların en az %5'inde arazi

çalışması hedeflenmiştir. İncelenen 100 kavşak ve yaya geçidinde 209 şeritte toplam 86.903 taşıtın zaman cinsinden aralık değerleri ölçülmüştür.

Saha verisi için, İstanbul İli genelinde havanın yağışsız, yol yüzeyinin kuru ve görüşün açık olduğu günlerde 05/05/2014 ile 27/12/2016 tarihleri arasında arazide her şerit için en az 30 devre boyunca ve kuyrukta en az 7 taşıtın olduğu devrelerde yeşil ışığın yanmasıyla birlikte kavşağa giren taşıtların arka tamponları referans alınarak, dur çizgisini geçerken taşıtlar arasındaki zaman sürelerinin verisi toplanmıştır. Ayrıca, taşıtların hangi sınıftan olduğunun verisi de kaydedilmiştir. Bu çalışmada, otobüs, kamyon gibi büyük taşıtların olduğu ağır taşıt sınıfı ile otomobil, minibüs, kamyonet gibi hafif taşıtların olduğu taşıt sınıfı olmak üzere iki taşıt sınıfı kabulü yapılmıştır. Ağır taşıtların dur çizgisini geçtiği süreyi birim otomobil (bo) cinsine dönüştürmek için kaydedilen süre 2 sayısına bölünmüştür.

İncelenen kavşak kolundaki şeritte, dur çizgisinin ilerisinde trafik tıkanıklığı olmadığı sabah ve akşam zirve saatlerinde (07:00 ile 09:00 ve 17:00 ile 19:00) taşıtların birbirini izlediği süreler incelenmiştir. Veri toplama sırasında şerit değiştiren, yaya nedeniyle ya da başka bir sebepten dolayı taşıtların hareketi engellenmişse, o devrenin verileri çözümlemede kullanılmamıştır. Ayrıca, aynı kavşak kolunun farklı şeritlerindeki taşıtların zaman cinsinden doymun aralık değeri ANOVA testine göre birbirinden farklı çıkması durumunda, bahse konu şeritlerde en az 15 devre ilave taşıt verisi toplanmıştır.

Geometrik değişkenlerin doymun akım üzerindeki etkisini belirlemek için ilk önce temel koşullarda temel doymun akım değeri hesaplanmıştır. Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010), şerit genişliğinin 3,60 m, şeridin eğimsiz olduğu, kavşakta parklanma ve otobüs durağının olmadığı, kavşağın merkezi iş alanı dışında olduğu, dönen taşıtların olmadığı durumları temel koşullar olarak tanımlamaktadır. İstanbul'da kent içi en çok kullanılan şerit genişliği 3,50 m olduğundan, bu genişlik temel genişlik olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda yapılan arazi çalışması sonucunda, temel koşulları sağlayan 49 şeritte temel doymun akım değerinin 1.773-2.045 bo/sa/şrt arasında değiştiği görülmüş olup, ortalama değer 1.890 bo/sa/şrt olarak bulunmuştur.

Temel doymun akım değeri belirlendikten sonra, her bir değişken için ilgili değişkenin değiştiği fakat diğer değişkenlerin değişmediği şeritlerdeki doymun akım değerleri kullanılarak, söz konusu değişken ile doymun akım değeri arasında bir model oluşturulması hedeflenmiştir. İlk olarak, şerit grubundaki şerit sayısı ile ilgili şeritlerdeki doymun akım değeri arasında nasıl bir ilişki olduğuna yönelik regresyon çözümlemesi yapılmıştır. Çözümleme sonucunda, iki değişken arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Bu çalışmada çıkan sonuç ile Karayolu Kapasite El Kitabı'nda (TRB, 2010) belirtilen ilişki aynı olmuştur.

Şerit genişliğinin doymun akım değerine etkisi ile ilgili yaygın kullanılan çalışmalardan biri Webster ve Cobbe (1966) tarafından geliştirilen bağıntı olmakta olup, doymun akım değeri şerit genişliğinin bir fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında şerit genişliğinin doymun akım değerine etkisi ile ilgili olarak, şerit genişliği (ŞG) 2,80-3,50 m arasında değişen 128 şeritteki taşıt verileri kullanılmış ve regresyon çözümlemesi sonucunda Denklem 1'de verilen bir model geliştirilmiştir.

$$f_{\text{ŞG}} = \text{ŞG} \times \left(\frac{7 - \text{ŞG}}{5,28} \right) - 1,32 \quad (1)$$

Doygun akım değerinin etkilendiği geometrik değişkenlerden biri de şeridin eğimidir. Eğimin artı yönde artması ya da eksi yönde azalması, doygun akım değerine etkisi farklı olmaktadır. Eğim pozitif olarak artıyorsa doygun akım değeri azalır, negatif yönde azalıyorsa doygun akım değeri artmaktadır. Bu alışma kapsamında toplam 91 şeridin eğimleri ile bu şeritlerdeki doygun akım değerleri arasında regresyon özömlemesi yapılmıştır. özömleme sonucunda üç ayrı eğim bölgesi için eğim düzeltme çarpanı hesaplanmıştır. -%9 ile -%2 arasındaki eğimler için eğim düzeltme çarpanı 1,054, -%2 ile +%2 arasındaki eğimler için 1,000 ve +%2 ile +%9 arasındaki eğimler için ise 0,973 olarak bulunmuştur.

Tez kapsamında, sola dönüşlerin doygun akım değerine etkisine yönelik arazi çalışması da yapılmıştır. Bu amaçla sola dönüş akımı için arazide şerit genişliği 2,60-3,50 m ve dönüş yarıçapları ise 5-36 m arasında değişen 25 sola dönüş şeridinde gözlem yapılmıştır. Burada iki farklı bağımsız değişken olduğundan iki farklı aşamada özömleme yapılmıştır. Daha önce şerit genişliği için bulunan model kullanılarak, doygun akım değeri güncellenmiş ve güncellenen doygun akım değeri ile sola dönüş yarıçapı (R) arasında regresyon özömlemesi yapılmıştır. İki değişken arasındaki ilişki Denklem 2’de verilmiştir.

$$f_{sol} = 0,80 + \frac{R}{257} \quad (2)$$

Doygun akım değerini etkileyen değişkenlerden sonuncusu sağa dönüş etkisi ile ilgilidir. Ancak İstanbul’da, sağa dönüş yardımcı şeridinin olduğu ve bu şeritte beşten fazla taşıtın kuyruklandığı bir kavşak bulunamamıştır. Kavşaklarda sağa dönüş yardımcı şeridinin olması durumunda ise uygulamada genellikle sürekli yeşil ışık yanan sağa dönüş lambası bulunmaktadır. Ayrıca yardımcı sağa dönüş şerit boylarının uzun olması durumunda İstanbul’da doğru giden taşıtların da bu şeritleri kullanması söz konusu olduğundan, bu şeritlerin boyları kısa tutulmaktadır. Sonuç olarak, sağa dönüş çarpanı bu tez çalışması kapsamında incelenememiştir.



INVESTIGATION OF GEOMETRIC FACTORS INFLUENCING SATURATION FLOW RATE AT SIGNALIZED INTERSECTIONS IN ISTANBUL

SUMMARY

Travelling with car is a commonly used transportation type and it is sign of status, wealth, power, freedom, property, self-confidence, etc. In recent years, there has been an increase in number of automobile owners due to the increase in annual income per capita in our country. Thus, long queues of vehicles are formed especially at junctions in urban traffic. This situation triggers various environmental problems such as fuel consumption, time loss, and greenhouse gas emissions.

To minimize consequences of the mentioned problems, signalized systems have been developed and also determining actual green time duration for the current arms from different directions to the junction is very important in the signalized systems. When green period time for a junction arm is more than others, this causes longer queues in other junction arms that interfere with effective use of the junction. Therefore, It is very important to know accurate saturation flow rate in order to properly calculate green time.

Several methods have been developed for calculating the saturation flow rate. In our country, the methodology developed by the Highway Capacity Manual (TRB, 2010) is widely used. In this method, there are two methods of calculation, one is observational and the other is analytical. The analytical method make use of a mathematical model that consists of 12 different variable coefficients to calculate the saturation flow rate for the analytical method. The observational method use the time between the consecutive vehicles in saturated headway and the value is determined by dividing obtained time by 3.600. The time interval between the consecutive vehicles is affected by three different variables: traffic, geometric and light control.

According to Highway Capacity Manual (TRB, 2010), it is proposed to calculate the saturated current value by using local vehicle data because driver behavior varies from country to country. In this thesis study, due to the high number of variables affecting the saturation flow rate, the geometric variables that affect the saturation flow rate at signalized intersections of Istanbul are studied. In addition to basic saturation flow rate, number of lanes in lane group, lane width, lane grade, left turn and right turn adjustment factors are identified. The right turn adjustment factor is not studied since there is no suitable signalized intersections for right turn.

The total number of signalized intersections and pedestrian ways in Istanbul is 2,209. In this thesis, the target sample size is at least 5% of existing intersections. 86.903 headways of the vehicle are calculated for 209 lanes at 100 signalized intersections. The number of intersections examined was greater than the number of intersections targeted.

The field data were collected on between 05/05/2014 and 27/12/2016, when the weather wasn't rainy, the ground was dry and sight distance was clear. There is a minimum of 30 phase for each lane in the field when at least 7 vehicles in the queue. With reference to the rear bumpers of vehicles entering the intersection, data of the time periods between the consecutive vehicles were collected as they crossed the stop line. Also, class of vehicles were recorded. In this study, buses and trucks are considered in heavy vehicles class and automobiles, minibuses and vans are classed as light vehicles. Also, passenger car unit (PCU) value for heavy vehicles was used 2,00.

The time between consecutive vehicles were examined at signalized intersection lanes when there were no traffic jam on the downstream flow direction during weekday peak periods (07:00 to 09:00 and 17:00 to 19:00). During data collection phase following cases were excluded and not used in analysis : if the movement of the vehicles was blocked due to the pedestrian effect or for some other reason. Furthermore, if the average saturated headway of the vehicles in the different lanes of the same junction arm differs from each other according to the ANOVA test, at least 15 more cycles of vehicle data are collected in these lanes.

To determine the impact of geometric factors on the saturation flow rate, the basic saturation flow rate was calculated first in basic conditions. In the Highway Capacity Manual (TRB, 2010), the basic saturation flow rate conditions respected as traffic lane that is 3,60 m wide, a flat grade, no parking, no buses that stop at the intersection, no central business area and no turning vehicles exists. The default value for a lane width is determined 3.5 m instead of 3.6 m due to its common usage in Istanbul. The basic saturation flow rate was observed between 1,800 pcuphpl and 2,045 pcuphpl, and the the average rate is 1,890 pcuphpl at the 49 lanes.

After determining the basic saturation flow rate, it is aimed to develop a model between the factor and the saturation flow rate by using the saturation flow rate where the others factors are same. First, a regression analysis was performed to determine influence of the number of through lane groups on saturation flow rate. The results of this work indicates that there was no significant relationship between the two variables. The result of this study indicates exactly same relationship stated in the Highway Capacity Manual (TRB, 2010).

One of the commonly used model about impact of lane width on the saturation flow rate is the model developed by Webster and Cobbe (1966), and in this model, the saturation flow rate is defined as a function of lane width. In this thesis work, with the impact of lane width on saturation flow rate, field data on 128 lanes that contains various lane width between 2.80-3.50 m were used and as a result of regression analysis a model given in Equation 1 is developed.

$$f_{sG} = sG \times \left(\frac{7 - sG}{5,28} \right) - 1,32 \quad (1)$$

One of the geometric factors that affect the saturation flow rate is the lane grade. The increase or decrease in lane grade causes different impacts on the saturation flow rate. If the lane grade increases positively, the saturation flow rate decreases and if it decreases in negative direction, the saturation flow rate increases. In this study, the regression analysis is performed between the grades of 91 lanes and the saturation flow rate in these lanes. As a result of regression analysis, adjustment factor for lane grade is calculated for three different grade zones. The adjustment factor for lane grade

is respectively obtained as 1,054; 1,000 and 0,973 for lane grade between -%9 and -%2, -%2 and +%2 and +%2 ile +%9.

Moreover, a field study is conducted to determine the effect of left turns in the lane groups on the saturation flow rate. To accomplish this purpose, an observation was conducted in 25 left turn lanes that have between 2,60-3,50 m width and 5-36 m turning radius. Due to two independent variables, two different stages are analyzed. The saturation flow rate is updated according to the model previously found model of lane width and the regression analysis is performed between the updated saturation flow rate and the left turning radius (R). The relationship between the two variables is given in Equation 2.

$$f_{sol} = 0,80 + \frac{R}{257} \quad (2)$$

One of the last factors that affect saturation flow rate is effect of right turn. However, there is not an example of intersection that has a right turn lane to queue more than 5 vehicles in Istanbul. In the case of a right turn lane at the intersections, which is not very common. In general, there exists a right-hand turn lamp, and in these lanes the lamp is always green. Also, lengths of short lanes are kept short to prevent use of these lanes by drivers on straight lanes in Istanbul . As a result, adjustment factor for right-turns is not studied in this thesis study.



1. GİRİŞ

Farklı yönden gelen trafik akımlarının kesiştiği yerler olan kavşaklar, karayolu ağının en önemli kesişimlerinden biri olup, kent içi yolların kapasitesini sınırlandıran noktalardır. Farklı yönden gelen akımlar, aynı alanı kullanmak zorunda kaldıklarından dolayı akımlar çatışmakta; bu durum, kavşaklarda gecikmelere ve güvenlik sorunlarına neden olmaktadır. Söz konusu olumsuzluklar, trafik ışık sistemi kullanılarak azaltılabilmektedir.

Son yıllarda Türkiye’de ekonomi alanındaki büyümenin ivme kazanması, buna paralel olarak gelir düzeyindeki artışın hayat standartlarına etkisi, kişi başına düşen yıllık gelirin yaklaşık 2.000 \$’dan 11.000 \$’a çıkmasıyla birlikte taşıt sahipliğindeki değişim, trafik hacminin artmasına neden olmuş; bu durum ortalama yolculuk sürelerini arttırmıştır. Özellikle İstanbul’daki nüfusun hızla artması bütün bu gelişmelerle birlikte mevcut olan trafik sorunlarını daha da karmaşık hale getirmiştir.

Işıklı kavşakların kapasite hesaplamaları için en doğru yöntemin kullanılması, yol tasarımı ve etkili trafik yönetimi için son derece gereklidir. Bir ışıklı kavşağın tasarımı ve işletmesi, kavşağın kapasitesine bağlıdır. Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010), Kanada Kapasite El Kitabı (ITE, 2008), Avustralya Yol Araştırma Kurumu (Akçelik, 1981) ışıklı kavşakların işletme özellikleri ve kapasite hesaplamaları için başvuru alan en yaygın kaynaklardır. Bu kaynaklarda, ışıklı kavşakların kapasite hesaplamalarında doymuş akım değeri (saturation flow rate) önemli bir yer tutmakta olup, doymuş akım değerini etkileyen bazı değişkenlerde farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin; Karayolu Kapasite El Kitabı’na (TRB, 2010) göre, doymuş akım değerini etkileyen değişkenler, trafik, geometrik ve kontrol koşulları olmak üzere üç temel grupta incelenmektedir.

Ülkelerdeki yol ve ulaşım olanaklarının, kültürel değerlerin ve sürücü davranışlarının değişken olmasından dolayı, bu alanda yapılan çalışmalarda sonuçların birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Özellikle, doymuş akım değerinin belirlenmesinde sürücü davranışları en önemli etken olmaktadır. Farklı ülkelerdeki sürücü davranışları, birbirinden genel anlamda bağımsız olmamakla birlikte değişkenlik göstermektedir.

Bu çalışmada, arazi çalışması yapılarak ışıklı kavşaklarda taşıt geçişleri ile ilgili veri toplanması sonucunda, o bölgeye ait doymun akım değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan doymun akım değeri, doğrudan arazi çalışması sonucu hesaplandığından kavşakların gerçek doymun akım değerini yansıtmaktadır.

1.1 Tezin Konusu

Işıklı kavşaklar, kent içi yol ağının darboğazını oluşturan en önemli eşdüzey kesişim noktalarıdır. Işıklı kavşağın birbirinden ayrı kollarında farklı akım değerleri olduğundan, kavşak kollarına geçiş hakkı ile ilgili doğru yeşil sürelerin hesaplanması, kavşak kapasitesinin en doğru şekilde kullanılması istenilen durumdur. Yeşil sürelerin hesaplanması, o akım grubundaki doymun akım değerine bağlıdır. Bu nedenle, doymun akım değeri mevcut kavşağın yeniden tasarlanması ve yeni ışıklı kavşak inşasında önemlidir.

Bu tez çalışmasında, İstanbul’da ışıklı kavşaklardaki doymun akım değeri hesaplanmış; doymun akım değerini etkileyen geometrik etkenler, ayrı ayrı arazi çalışmasıyla incelenmiş ve bu etkenlerin doymun akıma etkilerine yönelik bağıntılar geliştirilmiş ve bu alanda yapılmış uluslararası çalışmalarla kıyaslanmıştır. Ayrıca, doymun akım değerini etkileyen her bir geometrik değişkene ait düzeltme katsayıları belirlenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Işıklı kavşakların işletimi ve performansı, yolun ve yol kullanıcıların davranışsal özelliklerine bağlıdır. Yol ve yol kullanıcıların özelliklerinde bölgeler arasında önemli farklar bulunabilir. Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) ışıklı kavşakların plan ve tasarımında genel kurallar sunmasına karşın, tasarımla ilgili önerilen sayısal temel değerler ve denklemlerin uygulanabilirliği çoğu zaman mümkün olmayabiliyor. Bu durumda, yerel koşullara bağlı olarak temel bağıntıların geliştirilmesi zorunludur.

Bu çalışmayla İstanbul’daki temel doymun akım değerinin belirlenmesi ve doymun akım değerini etkileyen geometrik değişkenler ile doymun akım değeri arasındaki ilişkilerin yerel koşullara bağlı olarak ortaya konulması amaçlanmaktadır. Temel doymun akım değeri ve geometrik düzeltme katsayıları, İstanbul’a ait yerel veriler kullanılarak bulunmuştur. Türkiye’deki trafik ışığı hesaplarında bu bağıntıların

kullanılması, ışık sürelerinin ve kavşak kapasitelerinin doğru hesaplanması açısından önemli veriler sağlamaktadır.

Ülkemizde, temel doymun akım değeri ve doymun akım değeri etkileyen değişkenlerin araştırılmasına yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu alanda böyle bir çalışma yapmamızdaki amaç ülkemizde, bu alanda yapılacak çalışmalara katkıda bulunmaktır.

1.3 Tezde Kullanılan Yöntem

İlk olarak, temel koşullar için temel doymun akım değeri belirlenmiştir. Bunun için İstanbul'daki mevcut ışıklı kavşakların geometrik özellikleri incelenmiş; şerit sayısı, şerit genişlikleri, sağa/sola dönüşler saptanarak sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma yapıldıktan sonra, temel koşullar için ölçütler belirlenmiştir. Söz konusu ölçütlere göre, temel koşullara uyan ışıklı kavşakların sayıları ve yerleri belirlenmiştir.

Temel koşullara sahip kavşak kollarında, trafik durumuna göre, her akım grubundaki bütün şeritlerde zirve saat içinde bir, bir buçuk saat arasında değişen aralıklarda kuyruktaki taşıtlar için zaman cinsinden aralıklar ölçülmüştür. Ölçülen bu zaman cinsinden aralıklar kullanılarak zaman cinsinden doymun aralık değerleri belirlenmiş, bir sonraki aşamada da zaman cinsinden doymun aralık değerlerinden doymun akım değerleri hesaplanmıştır. Temel doymun akım değeri hesaplandıktan sonra; şerit genişliği, eğim, sola ve sağa dönüş gibi geometrik değişkenlerin doymun akım değerine etkisi incelenmiştir.

Geometrik değişkenler ile doymun akım değeri arasındaki ilişkinin doğru çözümlenmesi için her bir değişken mümkün olduğunca ayrı ayrı incelenmiştir. Böylece, her değişkenin ayrı ayrı incelenmesi, hem öngörülerde hatayı en aza indirmiş hem de çalışmayı kolaylaştırmıştır.

Sonuç olarak, her bir değişkene, ayrı bir doymun akım değeri için bir model geliştirilmiş ve söz konusu değişken ile ilgili düzeltme katsayısı belirlenmiştir.



2. TRAFİK AKIMI VE IŞIKLI KAVŞAK SİSTEMLERİ

Kavşaklar, kent içi yol ağında ortak kullanım özelliği olan ana noktalardır. Farklı doğrultudan gelen kullanıcılar, aynı alanı kullanmak zorunda olduklarından, kavşak noktalarında güvenlik sorunları ve taşıtların hareketlerinde gecikmeler meydana gelmektedir. Kavşaklardaki bu olumsuz durumlar, ışıklı sistem ile giderilebilmektedir.

Işıklı sistem, bisiklet sürücüleri ve yayalar gibi savunmasız yol kullanıcıları dâhil bütün kullanıcılar için kavşağın güvenliğini arttırmaktadır. Yeterli trafik denetim düzeni, trafik ışıklarının görünürlüğünün iyi olması ve uygun kavşak geometrisi gibi düzenlemeler kavşaklarda olası tehlikeli durumların oluşmasını önlemektedir. Kavşaklardaki trafik kazalarının neredeyse tamamına yakınına sürücü davranışları neden olmaktadır. Doğru bir yol, kavşak ve trafik denetim çalışması ciddi kazalarla sonuçlanan durumları en aza indirebilmektedir (Zhang ve diğ., 2010).

Işıklı sistemlerin başlıca faydaları şu şekilde sıralanabilir (Susilo ve Solihin, 2011):

- Kavşak kollarındaki akımların düzenlenmesi.
- Trafik tıkanıklığının önlenmesi.
- Kavşak kapasitesinin artırılması.
- Kaza sıklığının azaltılması.
- Sürücü güvenliğinin artırılması.
- Yan yoldan ana yola girişlerin kolaylaştırılması.

2.1 Işıklı Kavşak Tipleri

Işıklı kavşakların denetimi; sabit zamanlı, trafik uyarmalı ve bu ikisinin bir arada olduğu sistemlerden meydana gelmektedir. Sabit zamanlı sistemler, kavşağa farklı yönden gelen akımlara ait sürelerin önceden belli olduğu sistemlerdir. Trafik uyarmalı denetim sistemleri ise kavşak kollarındaki yeşil sürelerin, trafik hacimlerine bağlı olarak algılayıcılar yardımıyla belirlendiği ve sürekli değiştirildiği sistemlerdir.

2.1.1 Sabit zamanlı denetim sistemi

Trafik hacimlerinin gün ya da hafta içerisinde benzer özellik taşıdığı ya da ışıklı kavşakların birbirine çok yakın yerde konumlandırıldığı kavşaklarda daha çok tercih edilen bir sistemdir. Bu özelliklere sahip kavşaklar, daha çok şehir merkezlerinde bulunmaktadır. Ayrıca, bu sistem üç ya da daha az fazla kavşaklarda tercih edilmektedir.

Sabit zamanlı denetim sisteminin bir çok üstünlüğü bulunmaktadır. Örneğin, sabit zamanlı denetim sistemi ile denetlenen bir kavşağın bitişindeki başka bir sabit zamanlı denetim sistemi ile denetlenen kavşak ile birlikte bu sistemin etkin kullanımı mümkündür. Çünkü iki ardışık kavşağın yeşil fazının başlangıç ve bitiş süreleri bellidir. Ayrıca, bu sistemin trafik algılayıcılarına gereksinimi olmadığından, kurulum ve bakım giderleri düşüktür. Bu sistemin eksiklikleri ise trafikte kısa süren dalgalanmalar olması durumunda trafik talebine yanıt verememesidir. Ayrıca, düşük trafik hacmi olması durumunda da taşıt ve yayaların çok beklemesine sebep olmaktadır (FHWA, 2008).

Trafik akımları farklı günlerde (iş günü, hafta sonu, tatil günleri vb.) ve günün değişik saatlerinde farklı özellik gösterebilir. Bu farklı özelliklere uygun, farklı birkaç program otomatik olarak uygulanır ve trafik akımlarının uyumlu şekilde düzenlenmesi sağlanır. Sabit planlı (fixed time control), günün saatlerine göre kontrol (time of day control) ve çok planlı kontrol (multi-plan control) olmak üzere üç farklı kontrol tekniği bulunmaktadır (Öztürk, 2004).

2.1.2 Yarı uyarmalı trafik denetim sistemi

Yarı uyarmalı trafik denetim sistemi ana yol ve yan yolun kesiştiği kavşaklarda kullanılmaktadır. Bu sistemde, yalnızca yan yolda trafik hacmini belirlemek için algılayıcı kullanılmaktadır. Kavşağın kontrolü ana yoldaki akıma göre programlanmış olup, ana yoldaki kollara sürekli yeşil yanmaktadır. Yan yoldaki algılayıcı uyarı verince, ana yoldaki akım kesilip, kısa süreliğine yan yola yeşil ışık yanmaktadır.

Yarı uyarmalı denetim sisteminin bir çok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu sistemin en önemli özelliği eşgüdümlü sistemde etkin olarak kullanılmasıdır. Sabit zamanlı denetim sistemine göre, ana yolda oluşan kazalardan dolayı ortaya çıkacak gecikmeleri azaltmaktadır.

Yarı uyarmalı denetim sisteminin eksikleri de bulunmaktadır. Eğer en büyük yeşil süre ve geçiş süreleri miktarları doğru planlanmazsa, bir ya da daha fazla sayıdaki yan yolda trafik akımının sürekli olması durumunda, ana yolda aşırı gecikmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Başka bir eksiklik de yan yolda kullanılan algılayıcıların kurulumu ve bakım giderlerinin yüksek olmasıdır (FHWA, 2008).

2.1.3 Tam uyarmalı trafik denetim sistemi

Kavşak kollarının tamamında bulunan algılayıcı yardımıyla kontrol edilen kavşak sistemleridir. Gün içerisinde bir kavşağın bütün kollarına gelen akımın çok değişkenlik gösterdiği kavşaklarda uygulanan en iyi sistemdir. Kavşak kollarının her birinde belli aralıklarla sayım yapan algılayıcılar, trafik yoğunluğuna göre kollara verilecek yeşil süre ve kavşağa giriş sırasını belirlemektedir (Öztürk, 2004).

Diğer denetim sistemleri gibi, tam uyarmalı trafik kontrol sisteminin bir çok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu sistemde, yeşil süreler gerçek trafik değerlerine göre belirlendiğinden, toplam gecikmeler en aza inmektedir. Ayrıca, eğer bir kavşak kolunda akım yoksa, o faza geçiş hakkı verilmez ve bu durumda söz konusu faz için kullanılmayan sürenin diğer fazlara aktarılması sağlanır.

Tam uyarmalı trafik denetim sisteminin en büyük eksikliği ise kurulum ve bakım maliyetinin diğer sistemlere göre en yüksek olmasıdır (FHWA, 2008).

2.2 Işıklı Kavşaklarda Akım Özellikleri

Işıklı kavşaklarda taşıtların kavşağa girerken birbirlerini izleme süresi, kavşak kapasitesinin belirlemesinde en önemli etkidir. Işıklı kavşağın bir kolundaki doymuş akım değeri, o kavşağa giren taşıtların birbirlerini izlediği süreye bağlıdır.

Taşıtların birbirlerini izlediği ortalama süre ve bu süreye bağlı olarak da hesaplanan doymuş akım değeri, ışıklı kavşakların kapasite ve ışık sürelerinin hesaplamalarında kullanılmaktadır. Kavşaklarda kapasite hesabının yapılabilmesi için, doymuş akım değeri yanında, yeşiller arası sürenin diğer bir söyleyişle ışıktaki kayıp sürenin ne kadar olduğu önem taşımaktadır.

2.2.1 Tepki süresi

Bir ışıklı kavşak kolunda kırmızı ışıktaki kavşağa girmek için sırasını bekleyen taşıtların, kavşağa giriş hakkı kendilerine geldiğinde, ışık değişimine verdiği tepki süresi ve ne

kadar hızlı ivmelendikleri ulaşım mühendisleri açısından önemlidir. Sırada bekleyen ilk taşıtın sürücüsü, ışık değişimine tepki vermeye başlayarak harekete geçer ve diğer taşıtlar sırasıyla harekete geçerek dalgalanma hareketi şeklinde bir hareket oluştururlar. Bu hareketlenme, kuyrukta bulunan son taşıtın dur çizgisini geçmesine kadar sürer. Buradaki dalgalanma hareketinin süresi, kuyrukta bulunan taşıt sürücülerinin tepki sürelerine bağlıdır. Söz konusu süre, harekete geçen taşıt sürücülerinin ayrı ayrı tepki süresine, taşıtların ivmelenme büyüklüğüne, taşıtların hızına ve taşıtlar arasındaki uzaklık cinsinden zamana bağlıdır (Greenshields ve diğ., 1947).

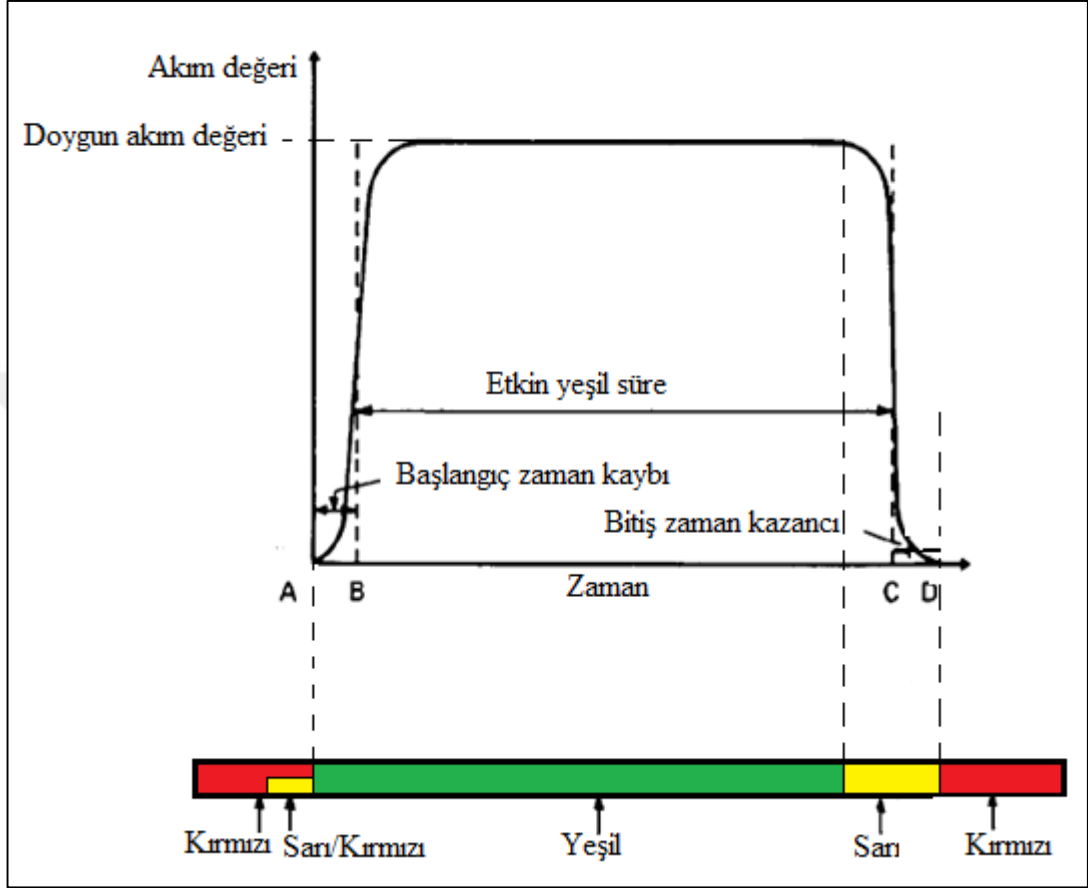
Bir taşıtın harekete geçmesi için gerekli olan süre, sürücünün verdiği tepki süresi ile belirlenmektedir. Sürücünün ayağını frenlerden çekme ve gaza basma süreleri konusu birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Greenshields ve diğ. (1947) iki çeşit tepki süresi olduğunu belirtmişlerdir. Birincisi, ilk sırada bekleyen taşıt sürücülerinin ışık değişimine verdiği tepkidir. İkincisi ise kavşağa giren taşıtların ilerlerken birbirlerine verdiği tepkidir. Bu alanda yapılmış ilk çalışmalardan biri olan bu çalışma, New York ve New Haven şehirlerinde yapılmış olup, ortalama tepki süresi 0,63-2,86 Sn. arasında değişen aralıkta bulunmuştur. Aynı çalışmada kavşağa giren ardışık taşıtlar arasındaki tepki süresi de 1,09-2,86 Sn. arasında bulunmuş ve ortalama 1,25 Sn. olarak hesaplanmıştır.

2.2.2 Başlangıç zaman kaybı ve etkin yeşil süre değeri

Işıklı bir kavşakta kavşağa gelen taşıtların geçişine kırmızı ışıktaki izin verilmediğinden, taşıtlar dur çizgisinin gerisinde birikmeye başlar ve bu taşıtlar kuyruk oluşturur. Yeşil ışık yandığında taşıtlar hızla kavşağa girer ve kuyruk boşalmaya başlar. Kırmızı ışıktaki taşıt geçişi olmadığından akım değeri sıfır olmakta, yeşil ışığa geçildiğindeyse akım değeri sıfırdan başlayarak belli bir değere ulaşmakta ve o değerde sürmektedir. Taşıt geçişinin sürdüğü süreye etkin yeşil süre, akım değerinin sıfır olduğu yani hiç taşıt geçişinin olmadığı süreye de etkin kırmızı süre denilmektedir.

Işıklı bir kavşak kolundaki akımın şematik gösterimi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Şekilde gösterilen temel model, geçmişten günümüze kadar yapılan bütün çalışmalarda kullanılan geleneksel bir modeldir (Clayton, 1941; Wardrop, 1952; Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966; Miller, 1968a; Miller 1968b; Akçelik, 1981).

Aşağıdaki şekile göre, akım değeri yeşil fazın başlangıcından itibaren artarak birkaç saniye sonra zirve değerine ulaşmaktadır. Bu değer in etkin yeşil süre boyunca aynı kaldığı kabul edilmekte ve sarı ışığın yanması ya da kuyruktaki taşıt sayısının bitmesi ile birlikte akım değeri azalarak, kırmızı ışıkt a sıfır olmaktadır.



Şekil 2.1 : Doygun akım değerinin görünümü (Kimber ve diğ., 1986).

Etkin yeşil süre, yeşil süreden başlangıç zaman kaybının çıkarılması ve bitiş zaman kazancının eklenmesi ile aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$g_e = g - \lambda_1 + \lambda_2 \quad (2.1)$$

g_e : Etkin yeşil süre (Sn.).

g : Yeşil süre (Sn.).

λ_1 : Başlangıç zaman kaybı (Sn.).

λ_2 : Bitiş zaman kazancı (Sn.).

Kayıp zaman ise ardışık iki fazın yeşil zamanları arasındaki süreye denir. Kayıp zaman için aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir (Branston ve Van Zuylen, 1978).

$$L = I + \lambda_1 - \lambda_2 \quad (2.2)$$

L : Zaman kaybı (Sn.).

I : Ardışık iki fazın yeşilleri arasındaki süre (Sn.).

Yeşiller arası süre, faz bitiminde kavşak içinde bulunan taşıtların kavşağı boşaltmasına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu süre kavşağın genişliğine ve taşıtların hızlarına bağlıdır. Yeşiller arası süre 4-8 Sn. arasında değişmektedir (Akçelik, 1989).

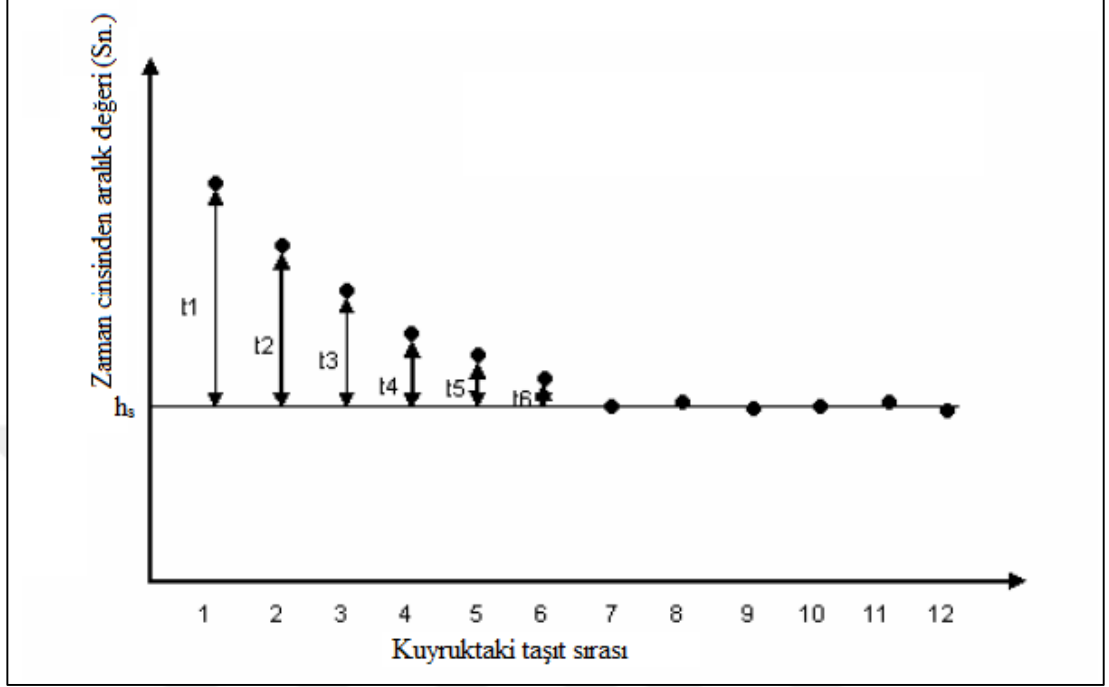
Kayıp zamanın doğru hesaplanması için ise başlangıç zaman kaybının ve bitiş zaman kazancının doğru hesaplanması gerekmektedir. Sürücülerin yeşil ışığa verdiği tepki ile taşıtın harekete geçerek istediği hıza ulaşmak için kaybettiği sürelerin toplamına başlangıç zaman kaybı denilmektedir (Minh ve Sano, 2003). Başlangıç zaman kaybı, bitiş zaman kazancına eşit olursa; bir fazdaki kayıp zaman, yeşiller arasındaki süreye eşit olmaktadır.

Kuyruktaki ilk taşıtın sürücüsü yeşil ışığın yanmasını bekler ve yandığı an harekete geçer. Taşıtın arka tamponu temel alındığında, kuyruktaki ilk taşıtın dur çizgisini geçmesi için gerekli olan süre, yeşil ışığın yandığı zaman ile taşıtın arka tamponun dur çizgisini geçtiği an arasındaki süredir.

Kuyruktaki ilk taşıt sürücüsünün kavşağa girmesi için gerekli olan süre, yeşil ışık yandığında gösterdiği tepkiden kaynaklanan gecikmeyle birlikte dur çizgisini geçmesi için katettiği mesafe daha büyük olduğundan diğer taşıtlara göre bu süre daha yüksek olmaktadır. Kuyruktaki ikinci taşıtın arka tamponunun dur çizgisini geçtiği zaman ile birinci taşıtın arka tamponun dur çizgisini geçtiği zaman arasındaki süre, ikinci aracın zaman cinsinden aralığı olup, birinci taşıtın zaman cinsinden aralığından daha kısa olmaktadır. Çünkü, birinci taşıt harekete geçtiğinde ikinci taşıt da harekete geçmektedir.

Kuyrukta bulunan diğer sürücüler de aynı yolu izleyip kavşağa girerler. Başlangıç tepkisi ve ivmelenmenin etkisinin belli bir taşıt geçişinden sonra taşıtların birbirini izleme aralığına etkisi olmamaktadır. Başlangıç tepkisi ve ivmelenme etkisinin olmadığı taşıtların zaman cinsinden aralık değerine, zaman cinsinden doygun aralık değeri (h_s) denilmekte olup, birimi Sn. dir. Şekil 2.2, yeşil ışık yandıktan sonra kavşağa giren taşıtların zaman cinsinden aralık değerlerini göstermektedir. Başlangıç zaman kaybı olan her taşıtın zaman cinsinden aralık değerinden, zaman cinsinden doygun

aralık değeri çıkartılarak, ilgili taşıt için zaman kaybı hesaplanır. Bu örnekte, başlangıç zaman kaybı kuyruktaki ilk altı taşıtta gözlenmiş olup, t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 ve t_6 'nın toplamına başlangıç zaman kaybı (S_n) denilmektedir (Bester ve Varndell, 2002).



Şekil 2.2 : Kavşağa giren taşıtların zaman cinsinden aralıkları.

Taşıtların kavşağa girerken birbirlerini izleme süreleri ile ilgili olarak farklı çalışmalar mevcut olup, bu alanda yapılmış en eski çalışmalardan biri Greenshields ve diğ. (1947) tarafından yapılan çalışma olup, çalışmada başlangıç zaman kaybının 3,7 Sn. olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, bir yaklaşım kolunda, kuyrukta n sayıda taşıt olduğunda, o yaklaşım kolundaki tüm taşıtların kavşağa girmesi için geçen sürenin hesaplanması için aşağıdaki denklem geliştirilmiştir:

$$T = 3,7 + 2,1 \times n \quad (2.3)$$

Kunzman (1978), Denklem 2.3'ü güncellerek, tüm taşıtların kavşağı geçmesi için gerekli olan en kısa yeşil süre için Denklem 2.4'ü önermiştir.

$$T = 1,1 + 2,1 \times n \quad (2.4)$$

Aynı çalışmada ise başlangıç zaman kaybı değeri 1,1 Sn. olarak hesaplanmıştır.

n : Kuyruktaki taşıt sayısı.

T : Kuyruktaki n adet taşıtın kavşağa girmesi için o kavşak koluna verilmesi gereken en kısa yeşil süre (S_n).

Kimber ve Semmens (1982) yaptığı çalışmada başlangıç zaman kaybını 2 Sn. olarak hesaplamıştır.

Kimber ve diğ. (1986) tarafından 64 farklı noktada yapılan başka bir çalışmada ise, başlangıç zaman kaybı 1,35 Sn., bitiş zaman kazancı da 0,13 Sn. olarak bulunmuştur.

Bonneson (1992) tarafından ve farklı yollarda doğru giden beş ve dönen 17 şeritte toplam 38.007 taşıt geçişinin zaman cinsinden aralık değerinin incelendiği çalışmada, sola dönüş akım grubunda faz başına başlangıç zaman kaybı 2,19-2,96 Sn. ve doğru giden akım grubunda ise 1,98-2,44 Sn. arasında olduğu belirtilmiştir.

Al-Ghamdi (1999) iki ve üç şeritli sekiz ışıklı kavşak kolunda yaptığı çalışmada, başlangıç zaman kaybını iki şeritli kavşak kolu için 4,2 Sn., üç şeritli kavşak kolu için 2,99 Sn. olarak bulmuştur. Bununla birlikte, başlangıç zaman kaybının diğer çalışmalarla kıyaslandığında daha yüksek olmasının, zaman cinsinden doymuş aralık değerinin küçük olmasından kaynaklandığını söylemiştir.

Joseph ve Chang (2005) 11 ayrı kavşakta 3.800'den fazla taşıtın geçişini incelemiş ve geçişlerin 3.600'unu veri olarak kullanarak, başlangıç zaman kaybının 2,07-2,46 Sn. arasında değiştiğini belirtmiştir.

Karayolu Kapasite El Kitabı'na (TRB, 2000) göre, başlangıç zaman kaybının 4. taşıtın geçişine kadar sürdüğü, 5. taşıtın geçişinden sonra taşıtların zaman cinsinden aralık değerlerinin sabit kaldığı belirtilmiş ve bu değer 1,0-2,0 Sn. arasında değişmektedir.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) ise başlangıç zaman kaybı 2 Sn. olarak belirtmiştir.

Stanić ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmalarda, başlangıç zaman kaybının 0,7-1,0 Sn. arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Yine aynı çalışmada, kavşağa giren ilk dört taşıtın zaman cinsinden birbirlerini izlediği ortalama sürenin, diğer taşıtlarinkinden %10-15 kadar daha büyük olduğu belirlenmiştir.

2.2.3 Zaman cinsinden doymuş aralık değeri

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, kuyruktaki ilk taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri, sürücü tepkileri ve taşıt ivmelenmelerinden dolayı yüksek olmaktadır. Bölüm 2.2.2'de de bahsedildiği üzere, belli bir süre geçtikten sonra sürücülerin tepki sürelerinin ve taşıt ivmelenmelerinin etkisi kalmamakta ve bu sabit süreye ise zaman cinsinden doymuş aralık değeri denilmektedir.

Zaman cinsinden doygun aralık değeri ile ilgili olarak farklı ülkelerde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere bu alandaki ilk çalışma olan Greenshields ve diğ. (1947) tarafından yapılan çalışmada, zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,1 Sn. olarak bulunmuştur.

Carstens (1971) 2.093 devreyi incelemesi sonucunda, zaman cinsinden doygun aralığın 5. taşıttan başladığını belirterek, otomobiller için 2,29 Sn., kamyonlar için 3,74 Sn., sağa dönen otomobiller için 2,76 Sn. ve sağa dönen kamyonlar için 4,15 Sn. olarak hesaplamıştır.

Kunzman (1978) da zaman cinsinden doygun aralığın 6. taşıttan başladığını belirtmiştir.

Kimber ve Semmens (1982) tarafından yapılan çalışmada ise zaman cinsinden doygun aralığın doğru giden taşıtlar için 2,0 Sn., dönen taşıtlar için ise 2,3 Sn. olduğu belirtilmiştir.

Bonneson (1992) tarafından yapılan çalışmada, zaman cinsinden doygun aralığın 8. taşıttan başladığı belirtilmiştir.

Tsao ve Chu (1995) ağır taşıtların doğru ve sola dönen şeritlerdeki trafik akımına etkisini inceledikleri çalışmalarında, 1.320 otomobil ve 722 ağır taşıt olmak üzere toplam 2.042 taşıttın zaman cinsinden aralık değerini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda, doğru giden taşıtların zaman cinsinden doygun aralık değerinin 1,46 Sn., sola dönen taşıtların ise 1,64 Sn. olduğunu hesaplamışlardır. Söz konusu zaman cinsinden doygun aralık değerleri, Karayolu Kapasite El Kitabı'ndaki (TRB, 1985) değerler ile kıyaslanmış ve bulunan bu değerlerin daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Bu durumun sürücülerin davranışlarından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Al-Ghamdi (1999) yaptığı çalışmada, zaman cinsinden doygun aralık değerinin 6. taşıttan başladığını belirtmiş ve iki şeritli yollarda zaman cinsinden doygun aralık değerini 1,57 Sn., üç şeritlilerde ise 1,64 Sn. olarak bulmuştur.

Jumsan ve diğ. (2005) ışıklı kavşaklarda taşıtların kavşağa girişlerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, zaman cinsinden doygun aralığı 2,66 Sn. bulmuşlardır. Joseph ve Chang (2005), Karayolu Kapasite El Kitabı'ndan (TRB, 2010) farklı olarak, zaman cinsinden doygun aralık değerinin başlangıç noktasının sabit bir değer olmadığı ve söz konusu noktanın 3. ile 7. taşıtlar arasında değiştiğini söylemişlerdir.

Farklı araştırmacılar tarafından değişik tarih ve şehirlerde zaman cinsinden doygun aralık değeri ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları, Çizelge 2.1’de verilmektedir (Jumsan ve diğ., 2005).

Çizelge 2.1 : Çeşitli çalışmalarda, taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri (Jumsan ve diğ., 2005).

Kuyruk Sıra No	Greenshields ve diğ. (1947)	Gerlough ve Wagner (1967)	Lee ve Chen (1986)	Al-Ghamdi (1999)	Lee ve Do (2002)
1.taşıit	3,8	3,85	3,86	3,23	2,74
2.taşıit	3,1	2,81	2,56	2,41	2,32
3.taşıit	2,7	2,51	2,35	2,29	2,20
4.taşıit	2,4	2,47	2,22	2,10	2,13
5.taşıit	2,2	2,37	2,16	2,02	2,02
6.taşıit	2,1	2,36	2,03	1,84	1,92
7.taşıit		2,40	1,97	1,72	1,89
8.taşıit		2,31	1,94	1,64	1,87
9.taşıit		2,24	1,94	1,53	1,84
10.taşıit		2,34	1,78	1,68	1,80
11.taşıit		2,29	1,64	1,58	1,76
12.taşıit		2,26	1,76	1,31	1,74
13.taşıit		2,19		1,13	1,74
14.taşıit		2,34		1,19	1,71
15.taşıit		2,38			1,72
16.taşıit		2,22			
17.taşıit		2,26			
18. taşıit		2,32			
19. taşıit		2,31			
20. taşıit		2,28			

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü üzere, her çalışma için ilk taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri en büyük olmakta ve kuyruğun sonuna doğru gidildikçe bu değer

giderek azalmaktadır. Ayrıca, geçmişten günümüze yaklaştıkça kuyruktaki ilk taşıtların zaman cinsinden aralık değeri de giderek küçülmektedir.

Joseph ve Chang (2005), 11 ayrı kavşakta toplam 3.800 taşıtın geçişinin gözlemledikleri çalışmada, ortalama zaman cinsinden doygun aralığı 1,73 Sn. olarak hesaplamışlardır.

Shao ve diğ. (2011), 13 ışıklı kavşakta yaptıkları çalışmada zaman cinsinden doygun aralığı 2,03 Sn. olarak hesaplamışlardır.

Çin'in başkenti Pekin'de 11 ışıklı kavşakta doygun akım değerini belirlemek için zirve saatte video kamera çekimleriyle 1.023 aracın geçiş verileri toplanmış ve yapılan çözümleme sonucunda zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,18 Sn. olduğu belirtilmiştir (Shao ve Liu, 2012).

Türkiye'de ışıklı kavşaklarla ilgili ilk çalışmalardan biri, Özdirim (1972) tarafından ışıklı kavşaklarda ışık sürelerinin denkleminin elde edilmesi çalışmasıdır. Başka bir çalışma da Akova'nın (1979) İstanbul'da zaman cinsinden doygun aralık değerinin belirlenmesi amacıyla 11 ışıklı kavşağın incelendiği çalışmadır. Bu çalışmada, zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,50 Sn. olarak bulunmuştur.

İstanbul İli dışında da çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri de Çalışkanelli (2010) tarafından Denizli'de yapılan çalışma olup, bu çalışmada zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,43 Sn. olarak belirlenmiştir.

Tokat, Karabük ve Yalova illerinde, zaman cinsinden doygun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerlerinin belirlenmesi için yapılan arazi çalışmalarında zaman cinsinden doygun aralık değerinin 1,97-2,33 Sn. arasında değiştiği belirlenmiştir (Polat ve diğ., 2015).

Çetin (2015), ülkemizde trafik akımının yol ve işaretlemelerle yeterince yönlendirilmediğinden, Karayolu Kapasite El Kitabı'nın (TRB, 2010) kullandığı yöntemin kullanılarak doygun akım değerinin bulunmasının zor olduğunu belirterek, geliştirdiği yöntemde kavşağa giren taşıtların hızının bilinmesi durumunda doygun akım değerine çok yakın sonuçlar bulunduğunu belirtmiştir.

Yukarıdaki araştırmacıların sonuçlarından da anlaşılabacağı üzere, çeşitli nedenlerden dolayı kuyruğu boşaltan taşıtların birbirlerini izlediği sürelerin farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca, hemen hemen bütün çalışmalarda zaman cinsinden doygun

aralık değeri farklı taşıtlardan başlamaktadır. Zaman cinsinden doygun aralık değeri sabit olmadığından, bulunan doygun akım değerleri de birbirinden farklı olmaktadır. Bu nedenle, doygun akım değerinin doğru hesaplanması için sürücü davranışları ve başka nedenlerden dolayı bölge koşullarına bağlı olarak yerel verilerin kullanılarak belirlenmesi çok önemli olmaktadır.

2.2.4 Doygun akım değeri

Kavşağa giren taşıtlar arasındaki ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerinin 3.600'e bölünmesi ile doygun akım değeri hesaplanmaktadır. Doygun akım değeri: “geçerli koşullarda ışıklı bir kavşakta bir yaklaşım kolunda zaman kaybı olmadığı, kuyrukta yeterli sayıda taşıt olduğu ve akım koluna kesintisiz geçiş hakkı verildiği varsayılarak, bu akım kolundan kavşağa giren taşıt sayısının şerit başına saatlik değeridir” şeklinde tanımlanmaktadır (TRB, 2010).

Doygun akım değeri, Denklem 2.5'teki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S = \frac{3.600}{h_s} \quad (2.5)$$

S : Doygun akım değeri (tst/sa/şrt).

h_s : Zaman cinsinden doygun aralık değeri (Sn.).

Şekil 2.1'de akım değeri yeşil fazın başlangıcından itibaren artarak birkaç saniye sonra zirve değerine ulaşmaktadır. Bu değer in etkin yeşil süre boyunca aynı kaldığı kabul edilmekte ve sarı ışığın yanması ya da kuyrukta taşıt sayısının bitmesi ile birlikte akım değeri azalarak, kırmızı ışıkta sıfır olmaktadır. Gerçek akım eğrisi altındaki alan gerçek akım değerini; yüksekliği de doygun akım değerini göstermektedir.

Yeşil ışığın yanmasıyla birlikte taşıtların harekete geçerek istedikleri hıza ulaşmaları için geçen zamanda, akım değeri düşük olmaktadır. Çünkü, bu zaman diliminde taşıtların hızlanmaları hala sürmektedir. Benzer şekilde, yeşil ışığın sonlanarak sarı ışığın yanması ile birlikte de akım değeri düşmektedir. Ayrıca, sarı ışık yandığında bazı taşıtlar dur çizgisini geçerken, bazıları da durduğundan bitiş zaman kazancı iki durum için birbirinden farklı olmaktadır. Çizelge 2.2'de, gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmaların sonuçları verilmektedir (Stanić ve diğ., 2011).

Çizelge 2.2 : Gelişmiş ülkelerde doymun akım değeri ile ilgili yapılan çalışmalar (Stanić ve diğ., 2011).

Araştırmacı	Ülke Adı	Araştırma Yılı	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/ışrt)
Webster ve Cobbe	İngiltere	1963-1966	1.675-1.850
TRB	ABD	1965	1.500-2.000
Davies	İngiltere	1966	1.325
Azmus	-	1970	1.585-1.600
Miller	Avustralya	1968	1.710
Depola	Sırbistan	1971-1975	1.140-1.698
Kapeli	-	1975	1.714
Reilly ve diğ.	ABD	1975	900-1.750
Branston, Van Zuylen	-	1978	1.750
Teply	Kanada	1978	1.150-1.750
Branston	İngiltere	1979	1.757-1.767
TRB	ABD	1980	1.800
Akçelik	Avustralya	1980-1990	1.270-1.850
Kremenec, Pecerski	-	1981	1.338-1.890
Kimber, Semmens	İngiltere	1981	1.741-2.184
Vini, Pretty	Kanada	1982	1800
RIST	Almanya	1982	1.800-2.000
Sibata, Jamamoto	-	1984	2.200
TRB	ABD	1985	1800
Kimber, Semmens	İngiltere	1986	1.573-2.293
HEL	Yunanistan	1990	1.972
Stanić	Sırbistan	1991	1.600-2.120
TRB	ABD	1994	1.900
Kehittamiskeskus	Finlandiya	1996	1.750
TRB	ABD	2000	1.900
DANCAP	Danimarka	2002	2.000
Celar	Sırbistan	2008	1.765-2.150
TRB	ABD	2010	1.900
HBS	Almanya	2015	2.000

Doğru giden şerit için doymun akım değeri ile ilgili gelişmekte olan ülkelerde yapılmış çalışmaların sonuçları Çizelge 2.3'te verilmiştir (Turner ve Harahap, 1993; Stanić ve diğ., 2011).

Çizelge 2.3 : Gelişmekte olan ülkelerinde doymun akım değeri ile ilgili yapılan çalışmalar (Turner ve Harahap, 1993; Stanić ve diğ., 2011).

Araştırmacı	Ülke Adı	Araştırma Yılı	Doymun Akım Değeri (tst/sa/şrt)
Shoukry, Huzayyin	Mısır	1986	1.617
Hussain	Malezya	1990	1.945
Coeymans, Meely	Şili	Yayınlanmadı	1.603
Bhattacharya ve diğ.	Hindistan	1982	1.232
De Anrade	Brezilya	1988	1.660

Çizelge 2.3'te görüldüğü üzere gelişmekte olan ülkelerde doymun akım değerinin, gelişmiş ülkelerdeki doymun akım değerine göre daha düşük olmasının nedenlerinin başında, trafik denetiminin yetersiz oluşu, kavşak geometrisindeki hatalar, yatay ve düşey işaretlemedeki eksiklikler ve bireysel etkiler gelmektedir (Stanić ve diğ., 2011).

Florida Ulaşım Kurumu (The Florida Department of Transportation) tarafından ABD'nin beş ayrı eyaletinde bölgesel farklılıkların doymun akım değerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, ortalama doymun akım değeri 1.835 tst/sa/şrt olarak bulunmuştur (McMahon ve diğ., 1997).

Güney Afrika'da doymun değerini belirlemek için yapılan çalışmada, regresyon yöntemi kullanılarak doymun akım değeri için, hız sınırı 80 km/sa olan kavşaklarda 2.246 tst/sa/şrt ve hız sınırı 60 km/sa olan şehir içi kavşaklarda ise 2.076 tst/sa/şrt önerilmiştir (Bester ve Meyers, 2007).

Zhang ve Chen (2009) tam donanımlı video kamera ile veri toplayarak, Çin'in doğusunda yer alan orta büyüklükteki Nanjing'te dokuz ışıklı kavşakta doymun akım değerinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmada doymun akım değeri 2.121 tst/sa/şrt bulunmuş ve bu değer Karayolu Kapasite El Kitabı'nın (TRB, 2010) önerdiği 1.900 tst/sa/şrt değerinden büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Sun ve diğ. (2013), Çin'in Shanghai şehrinde yaptıkları çalışmada yağmurlu günde sola dönüşler için bulunan doymun akım değeri ile başlangıç zaman kaybı değerinin,

güneşli günde hesaplanan değerlere göre sırasıyla %3-7 ve %21-31 değişen aralıklarda daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Çin'in başkenti Pekin'de farklı şeritlerdeki doymuş akım değerini belirlemek amacıyla 36 ışıklı kavşakta arazi çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre, doğru giden eğimsiz şeritler için doymuş akım değeri 1.535 tş/sa/şrt olarak hesaplanmıştır (Shang ve diğ., 2014).

2.2.5 Eşdeğer birim otomobil değeri

Trafikteki taşıt dağılımının kapasiteye etkisinin belirlenmesi için eşdeğer birim otomobil değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Günümüze değin birçok araştırmacı ışıklı kavşaklarda trafik koşullarının iyileştirilmesi için doymuş akım değeri ve başlangıç zaman kaybı konusunda birçok çalışma yapmıştır. Çalışmaların tamamına yakınında eşdeğer birim otomobil değeri en önemli bileşen olmuş ve bütün hesaplama ve çözümlemelerde kullanılmıştır (Minh ve Sano, 2003).

Taşıt tipleri ve dağılımlarının kavşak kapasitesine olan etkisini incelemek için, eşdeğer birim otomobil değerinin hesaplanması gereklidir. Çünkü bu sayede trafik akımı içinde farklı taşıt gruplarının ortak olarak ifade edilmesi mümkün olmaktadır.

Kimber ve diğ. (1986) tarafından yapılan çalışmada, kavşak geometrisinin özellikleri ile çevresel özelliklerinin taşıt dağılımını etkilemediği belirtilmiş ve farklı taşıt grupları için aşağıdaki eşdeğer birim otomobil değerleri hesaplanmıştır.

Orta sınıf ticari taşıt : 1,5

Ağır sınıf ticari taşıt : 2,3

Otobüs : 2,0

Shao ve diğ. (2011), farklı trafik akım yönleri için eşdeğer birim otomobil değerlerinin birbirinden farklı olduğunu belirtmişler ve doğru giden, sola dönen ve sağa dönen farklı taşıt grupları için farklı değerler bulmuşlardır. Doğru giden akımlar için, sola dönen akımlar için ve sağa dönen akımlar için sırasıyla 1,77, 1,82 ve 2,01 eşdeğer birim otomobil değerleri önerilmiştir. Aynı çalışmada, hafif ticari taşıtlar için ise sırasıyla 1,25, 1,33 ve 1,43 değerleri hesaplanmıştır.

2.3 Kapasite ve Hizmet Düzeyi

2.3.1 Kapasite ve doymun akım derecesi

Işıklı kavşaklarda taşıt sürücöleri için sağlanan hizmet kalitesi, sürücölerin kavşakı geçerken kaybettiğı zamana bağılı olarak belirlenmektedir. Işıklı kavşakların kapasitesi, mevcut kavşakların iyileştirilmesi ve kavşak tasarımı için en önemli bileşendir. Kavşakın performans değerdirmesinin temelini doymun akım değeri oluşturmaktadır (Rahman ve diğ., 2005).

Işıklı kavşakta bir şerit grubunun kapasitesi, etkin yeşil süresinin devre süresine bölünüp o şerit grubunun doymun akım değeri ile çarpılmasıyla belirlenmiştir (Akçelik, 1989).

$$Q = S \times \left(\frac{g_e}{c}\right) \quad (2.6)$$

Q : Kapasite (tş/sa).

S : Doymun akım değeri (tş/sa/şrt).

g_e : Etkin yeşil süre (Sn.).

c : Devre süresi (Sn.).

Ayrıca, bağıntıdaki etkin yeşil sürenin devre süresi oranına, o şerit grubu için yeşil süre oranı (u) denilmektedir.

$$u = \frac{g_e}{c} \quad (2.7)$$

Bir şerit grubu için önemli değışkenlerden biri de akım oranıdır. Akım oranı (y), bir şerit grubundaki akım değerin o akım grubunun doymun akım değeri ile belirlenmekte olup, birimsizdir.

$$y = \frac{q}{s} \quad (2.8)$$

Bir şerit grubunun akım değeri kapasite oranı, o şerit grubundaki akım değerin kapasiteye bölünmesine doymunluk derecesi (x) denir. Başka bir deyişle; bir şerit grubunun doymun akım derecesi, akım oranının yeşil süre oranına bölünmesine denir.

$$x = \frac{q}{Q} = \frac{q \times c}{s \times g_e} = \frac{y}{u} \quad (2.9)$$

Akım oranı “trafik talebini” temsil eden sabit bir değişken ve benzer şekilde yeşil süre oranı da “trafik arzını” gösteren kontrol değişkeni olarak düşünülebilir. Uygulamada akım değeri kapasite oranı 1,0'den küçük olmalıdır. Çünkü, kavşağa gelen akım değeri kapasiteye yaklaştığında, trafikte aşırı gecikmeler, dur kalklar ve uzun kuyruklar oluşmaktadır. Akım değeri kapasite oranının 0,8-0,9 arasında olması, kavşağın işletmesi için istenilen aralık olarak düşünülmektedir (Akçelik, 1981). Webster ve Cobbe (1966) ise, bir kavşağın işletmesi açısından en uygun değer için, Akım değeri kapasite oranının 0,90 olduğunu belirtmişlerdir.

2.3.2 Hizmet düzeyi

Hizmet düzeyi, bir ulaşım tesisinin ya da hizmetin kullanıcı açısından değerlendirilmesidir. Başka bir ifade ile hizmet düzeyi, bir performans ölçütünün nicel bir büyüklüğü ya da hizmetin kalitesini temsil eden bir kavramdır. Hizmet düzeyi, hem yolculuk yapanın ulaşım sistemine bakışını hem de sistemi işletenlere faydasını gösteren bir ya da birden fazla performans ölçütü ile tanımlanmaktadır. Hizmet düzeyi, kullanıcı memnuniyetini, A ile F arasında değişen altı sınıfta sunmaktadır. Bu sınıflar arasında en iyi derece A hizmet düzeyi ile, en kötü derece ise F hizmet düzeyi ile ifade edilmektedir.

Kullanıcıların hizmet düzeyine bakışını etkileyen çeşitli etmenler aşağıda verilmiştir (TRB, 2010).

- Yolculuk süresi ve yolculuk hızı.
- Dur/kalk sayısı.
- Yolculuk süresinin güvenilirliği.
- Manevra yeteneği (örneğin; kolay şerit değiştirmek, öndeki taşıtları izlerken geçen süre).
- Konfor (örneğin; yaya ve bisiklet ulaşımın trafikle etkileşimi).
- Kolaylık (örneğin; geçki yönlendiricilerin kolaylığı, kesintisiz hizmetin sıklığı).
- Güvenlik (gerçek ya da algılanan).
- Kullanıcı maliyeti.
- Tesis ve hizmetin uygunluğu.
- Tesislerin estetiği.

- Bilgilendirmenin uygunluğu (örneğin; karayolundaki işaretlemeler, ulaşım geçki ve zaman çizelgesi bilgileri).

Işıklı kavşaklarda hizmet düzeyinin belirlenmesi, kontrol gecikmesine göre yapılmaktadır. Hizmet düzeyi kavşağın tamamı için belirlendiği gibi, her bir yaklaşım kolu ve şerit grubu için de belirlenebilmektedir. Kontrol gecikmesi, yalnızca kavşağın tamamı için ya da yaklaşım kolu için kullanılmaktadır. Şerit grubunun hizmet düzeyinin belirlenmesi için ise kontrol gecikmesi ve akım değeri kapasite oranı kullanılmaktadır.

A hizmet düzeyi, kontrol gecikmesi, taşıt başına 10 Sn. ya da daha az olan ve trafik akım değerinin kapasiteye oranı 1'den büyük olmayan kavşaklardaki işletme koşullarını belirtmektedir. F hizmet düzeyi, en kötü hizmet düzeyi olup, taşıt başına kontrol gecikmesinin 80 Sn.den büyük olduğu ya da trafik akım değerinin kapasiteye oranının 1,0'dan büyük olduğu işletmeleri göstermektedir. Aşağıda Çizelge 2.4'te bu düzeyler verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Hizmet düzeyi ve kontrol gecikmeleri (TRB, 2010).

Kontrol gecikmesi (Sn./tş)	Trafik akım değerinin kapasiteye oranına göre hizmet düzeyi	
	$\leq 1,0$	$> 1,0$
≤ 10	A	F
$> 10-20$	B	F
$> 20-35$	C	F
$> 35-55$	D	F
$> 55-80$	E	F
> 80	F	F

2.3.3 Kapasite ve hizmet düzeyini etkileyen değişkenler

Bir ulaşım sisteminin kapasitesi, varsayılan yol, çevre, trafik ve yol koşullarında bir yolun ya da bir şeridin bir kesitinden saatte geçen en büyük taşıt ya da insan sayısına denilmektedir. Taşıt kapasitesi ile insan kapasitesi için kullanılan tanım aynı olmakla birlikte, farklı durumlar için kullanılmaktadır. Taşıt kapasitesinde, belirlenen noktanın gerisinde ve ilerisinde taşıt etkileşiminin yani tıkanıklığın olmadığı durum varsayılmaktadır. İnsan kapasitesi ise toplu taşıma hizmetlerini, yüksek doluluk oranı

olan taşıt şeritlerini ve yaya tesislerini değerlendirmek için kullanılmaktadır (TRB, 2010).

Kapasite çözümlmeleri birim trafik, yol ve kontrol koşullarında yolun bileşenlerini inceler. Bu koşullar yolun kapasitesini belirlemektedir. Bu yüzden, farklı koşullara sahip bileşenlerin farklı kapasiteleri vardır.

2.3.3.1 Temel koşullar

Temel koşullar, havanın yağışsız ve yol yüzeyinin kuru olması, geçkide herhangi bir kaza olmaması, yolda herhangi bir çalışma olmaması ve işletmeyi etkileyecek şekilde yolda bozulmaların olmaması vb. şartların olduğu durumlardır. Kullanıcı açısından da kullanıcının ulaşım sistemini tanıdığı ve trafik akımından şikayetin olmadığı durum şeklinde betimlenmektedir Aynı şekilde temel koşullar aşağıdaki şartları da sağlamalıdır (TRB, 2010):

- Trafikte kamyonlar ve otobüsler gibi ağır taşıtların olmaması.
- Trafikte bulunan taşıt kullanıcılarının sisteme alışık olması.
- Şerit genişliğinin en az 3,60 m ve banket genişliğinin 3,30 m olması.

Yapılan kapasite çözümlmelerinin çoğunda, geçerli koşullar temel koşullardan farklıdır. Kapasite ve hizmet düzeyinin belirlenmesi, bu şartlara göre düzeltilmelidir. Geçerli koşullar genellikle yol, trafik ve kontrol koşulları olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

2.3.3.2 Yol koşulları

Yol koşulları geometrik ve diğer yol bileşenlerini kapsamaktadır. Bazı durumlarda yol koşulları sistemin kapasitesini etkilerken; bazı durumlarda ise hız gibi performans ölçütünü etkileyebilmekte ancak, yol kapasitesi ya da en büyük akım değerini etkilememektedir. Yol koşullarını etkileyen değişkenler aşağıda verilmektedir (TRB, 2010):

- Şerit sayısı.
- Şerit genişlikleri.
- Banket genişlikleri.
- Tasarım hızı.
- Yatay ve düşey dönemeçlerin yarıçapları.
- Kavşaklarda dönüş akımı için sola ve sağa dönüş ceplerinin uzunluğu.

Karayolundaki yatay ve düşey dönemeçler, tasarım hızına ve yolun inşa edildiği arazinin topoğrafyasına bağlıdır. Genellikle, arazinin engebese arttıkça yolun kapasite ve hizmet düzeyi azalmaktadır. Bu durum, özellikle iki şeritli yollarda, hızı düşük olan taşıtlardan dolayı hızı yüksek olan taşıtların trafikteki manevra yapma yeteneğini azaltmakta ve öndeki taşıtı sollama olanağını sınırlamaktadır.

2.3.3.3 Trafik koşulları

Trafikte yer alan taşıtların sayısı, tipi ve şeritler arasındaki dağılımı, kapasite ve hizmet düzeyini etkileyen trafik koşulları arasında yer almaktadır. Ağır taşıtların trafik akımında bulunması, sistemin hizmet ettiği taşıt sayısını etkilemektedir. Başka bir deyişle ağır taşıtlar, otomobillere göre trafikte fiziksel olarak daha fazla yer kaplamaktadır. Yola değen tekerlek sayısı dörtten büyük olan taşıtlar, ağır taşıt sınıfı olarak kabul edilmektedir (TRB, 2010). Ayrıca, ağır taşıtların otomobillere göre ivmelenme, yavaşlama ve istediği hızı ulaşma gibi hareket yetenekleri daha düşüktür.

2.3.3.4 Kontrol koşulları

Zaman ile düzenlenen sistemler olan ışıklı kavşaklardaki kapasite, kavşağın işletmesine, hizmet düzeyine ve akımların yönlendirilmesine bağlı olmaktadır. Kavşaklardaki en önemli kontrol şekli trafik ışıklarıdır. Kavşaklarda kullanılan kontrol şekli, fazı, belirlenen yeşil süreler ve diğer kontrol sistemleriyle etkileşim işletmeleri etkilemektedir.

Trafik ışıkları dışında DUR ve YOL VER işaretleri de kapasiteyi etkilemektedir. Bir trafik ışığı, farklı yönden kavşağa gelen taşıtların kavşağa giriş sırasını düzenlerken; DUR ve YOL VER işaretleri ile kontrol edilen bir kavşakta ana yoldan gelene öncelik hakkı tanınmaktadır. Bu iki durumda kapasite ve hizmet düzeyi birbirinden farklıdır.

Bu iki kontrol sistemi dışında, bazı düzenlemeler de kapasite ve hizmet düzeyini etkilemektedir. Dönemeçlerde parklanmaların sınırlandırılması, uygun şerit sayısının artırılması kapasiteyi olumlu etkilemektedir. Benzer şekilde, kavşaklarda dönüş akımlarının kısıtlanması da kapasiteyi arttırmaktadır (TRB, 2010).

3. DOYGUN AKIM DEĞERİNİN BELİRLENMESİ

Kavşağın kapasitesi ve kavşaktaki ıfık sürelerinin hesaplanması için gerekli olan en temel değişken doygun akım değeridir. Trafik ıfıkları ile kontrol edilen kavşaklarda, doygun akım değerinin doğru hesaplanması kavşaklardaki gecikmeleri azaltır.

3.1 Doygun Akım Değerini Hesaplama Yöntemleri

Doygun akım değerinin hesaplanması konusunda çeşitli araştırmacılar tarafından üç yöntem geliştirilmiştir. Yöntemlerin tamamında, etkin yeşil süre boyunca doygun akım değerinin değişmediği kabul edilmektedir. Bu yöntemler:

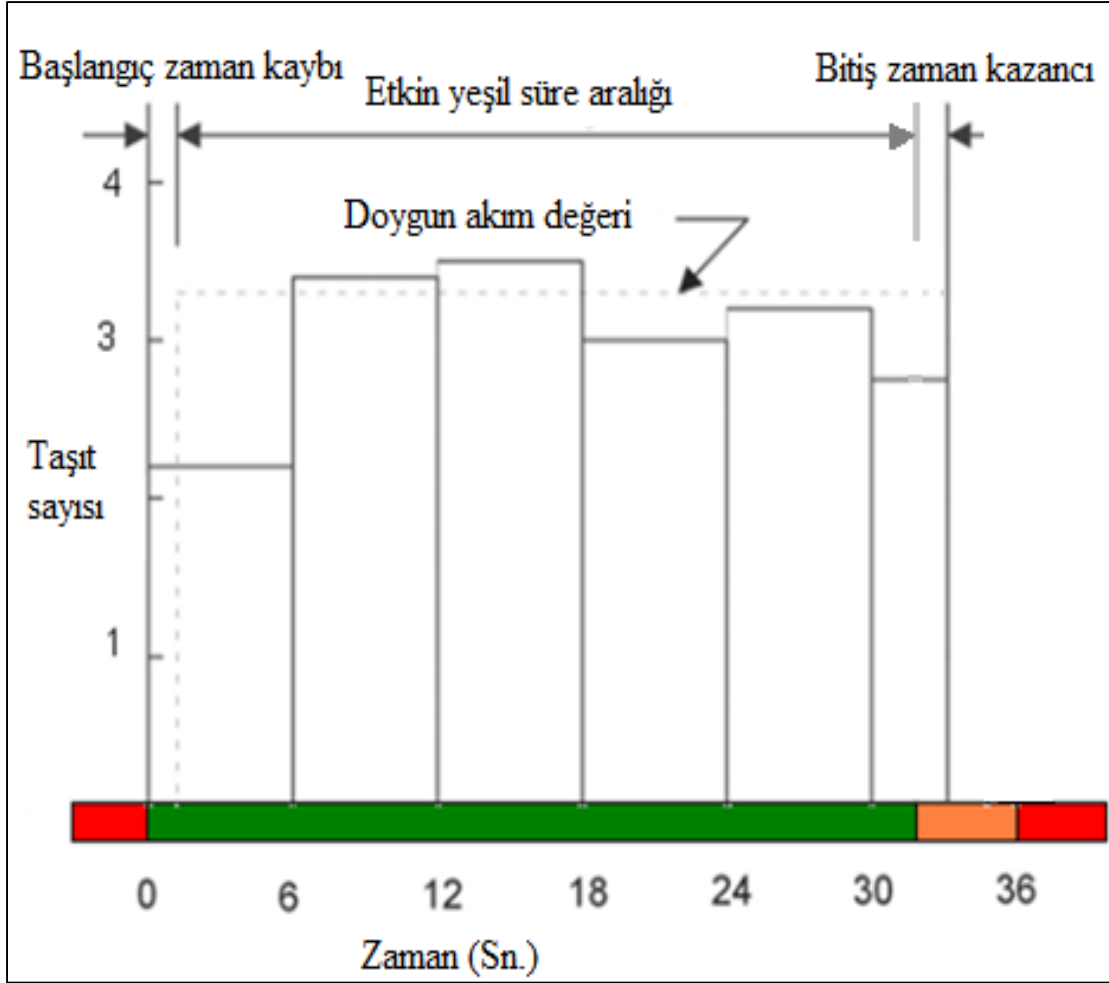
- a. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (TRRL) yöntemi
- b. Regresyon çözümlemesi yöntemi
- c. Zaman cinsinden aralık yöntemi

3.1.1 Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (TRRL) yöntemi

Bu yöntemde dur çizgisinde bekleyen taşıtlara, kavşağa girme hakkı verildiği anda söz konusu taşıtlar kavşağa girerler. Kısa aralıklarla (5-6 Sn.), taşıtların kavşağa girişleri gözlemlenerek, her bir aralığa denk gelen taşıtların sayısı kaydedilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, zaman kaybının söz konusu olduğu başlangıç ve bitiş aralıklarındaki taşıt sayısı, doygun akım değeri belirlenirken dikkate alınmamaktadır. Bu yöntemde, etkin yeşil süredeki taşıt sayısının, bu aralığın süre uzunluğuna bölünmesiyle doygun akım değeri bulunmaktadır (TRRL, 1963).

Bulunan doygun akım değerinin birimi, birim zamanda şerit başına kavşağa giren taşıt sayısıdır. Bu yöntemin en büyük eksikliği, trafik içindeki taşıt tiplerinin doygun akım değeri hesabı yapılırken göz önünde bulundurulmamasıdır.

TRRL yönteminde, başlangıç ve bitiş aralığındaki akımlar, doygun akım değeri ile kıyaslanmak suretiyle, başlangıç zaman kaybı ve bitiş zaman kazancı bulunmaktadır (Branston ve Gipps, 1980).



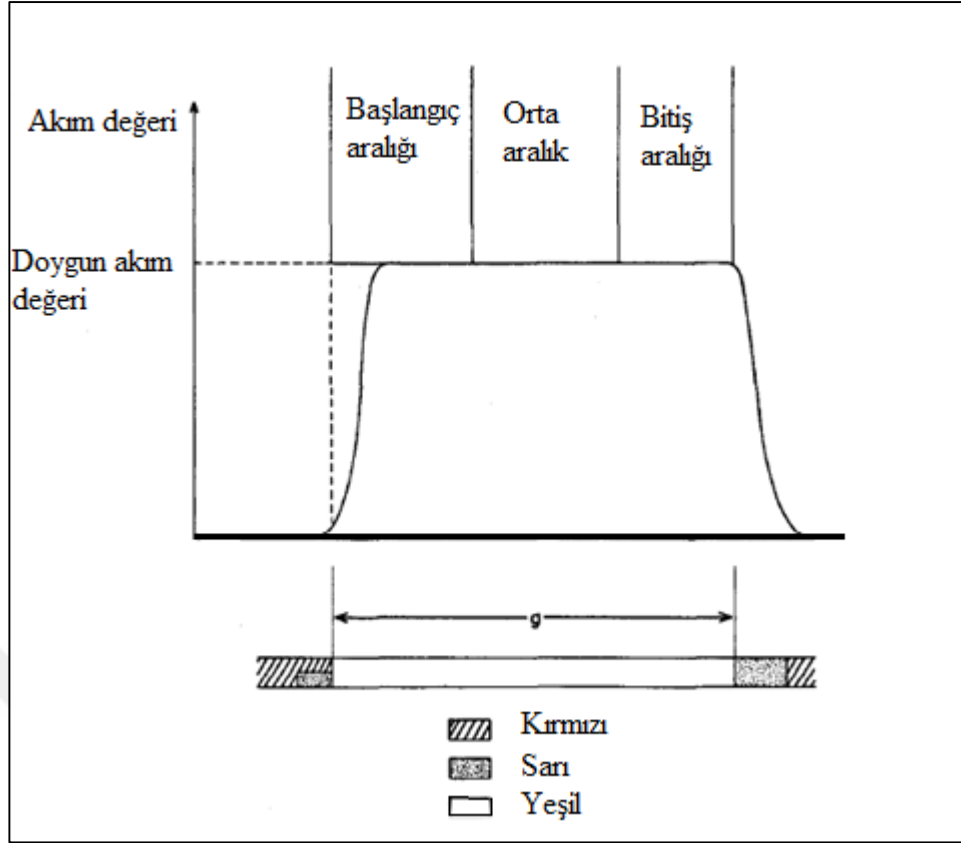
Şekil 3.1 : Doygun akım değeri-zaman ilişkisi (TRRL, 1963).

3.1.2 Regresyon çözümlemesi yöntemi

Bu yöntemde yeşil süre, başlangıç, orta ve bitiş aralık olmak üzere ardışık üç ayrı zamana ayrılmaktadır. Başlangıç aralığı, Şekil 3.2’de görüldüğü üzere yeşil ışığın yanması ile başlar, akımın doymuş akıma ulaştığı zaman biter. Orta aralık, doymuş akımla başlar, bitiş konusunda iki farklı uygulama vardır. Orta aralığın bitiminde başlayan bitiş aralığı, sarı ışığın yanmasıyla ya da kuyruğun erimesiyle sonlanır.

Orta aralıktan bitiş aralığına geçiş:

1. Başlangıç ve orta aralığın bitiş noktasının belli bir taşıtın geçişine denk gelmesi,
2. Söz konusu aralığın ardışık iki taşıtın geçişinin tam ortasına gelmesi,



Şekil 3.2: Yeşil sürenin başlangıç, orta ve bitiş aralıklarına ayrılması (Branston ve Van Zuylen, 1978).

durumlarında farklılık gösterir. Birinci seçime eş zamanlı, ikincisine eş zamanlı olmayan hesap yöntemi denilmektedir (Branston ve Van Zuylen, 1978).

3.1.3 Zaman cinsinden doymun aralık yöntemi

Daha önceki bölümlerde de söz edildiği gibi doymun akım değeri, yeşil ışık yandıktan sonra kuyrukta bekleyen taşıtların kavşağa girerken birbirlerini izlediği ortalama süreye göre hesaplanmaktadır. Yeşil ışık yandığında, kuyruktaki ilk taşıtın sürücüsü ışığa gösterdiği algılama ve tepki olarak ayağını frenlerden çekene kadar geçen süreler tepki süresi denilmektedir. Zaman kaybı olan ilk birkaç taşıt hariç tutularak, geri kalan taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile doymun akım değeri hesaplanmaktadır (TRB, 1997).

$$S = \frac{3.600}{h_s} \quad (3.1)$$

$$h_s = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=5}^{n_i} h_{ij}}{\sum_{i=1}^m (n_i - 4)} \quad (3.2)$$

Burada:

S : Doygun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

h_s : Zaman cinsinden doygun aralık değeri (Sn.).

h_{ij} : i'nci devrede kuyruktaki j'nci aracın zaman cinsinden aralığı.

n_i : i'nci devrede kuyruktaki taşıt sayısı.

m : Gözlemlenen devre sayısı.

3.2 Doygun Akım Değeri İçin Veri Toplama Yöntemleri

Işıklı kavşaklarda doygun akım değerinin hesaplanması için arazidan gerekli verilerin toplanması çeşitli şekillerde olmaktadır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen ve kullanılan bu yöntemlerin bir kısmı insan gücüne bir kısmı da teknolojiye dayanmaktadır. Bütün bu tekniklerin birbirilerine göre üstünlükleri olduğu kadar zayıflıkları da vardır. Herhangi bir araştırmada, yöntemlerden birine karar vermek için yapılacak çalışmanın türü, yöntemin insan gücüne uygunluğu, çözümleme kolaylığı ve maliyet gibi etkenler önemlidir. Bu bölümde, ver toplamak için kullanılan en eski yöntemlerden ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden sırasıyla hava fotoğrafı yöntemi, teyp kaydı yöntemi ve video kaydı yöntemlerinden kısaca bahsedilecektir.

3.2.1 Hava fotoğrafı yöntemi

Bu yöntem, en eski yöntemlerden biri olup, taşıtların kavşağa girişleri için kısa aralıklarla fotoğraflarının (time-motion pictures) çekilmesi temeline dayanmaktadır. Bu teknikte, saniyede kaç fotoğraf çekildiği ve bir taşıtın kaç fotoğrafta görüldüğü sayılmak suretiyle taşıtın kaç saniyede kavşağa girdiği hesaplanmaktadır. Greenshields ve diğ. (1947), bu yöntemin kolay ve doğru neticeler verdiğini söylemişlerdir. Işıklı kavşağının tamamının görülmesi için kamera yüksek binaların tepesine Şekil 3.3'te görüldüğü şekilde yerleştirilmektedir.



Şekil 3.3 : Arazi ekipmanının yerleştirilmesi (Greenshields ve diğ., 1947).

3.2.2 Teyp kaydı yöntemi

Bu yöntem, kolaylığı ve doğruya yakın sonuçlar vermesi nedeniyle bir çok araştırmacı tarafından uygulanmıştır. Akova (1979) çalışmasında, arazidan veri toplamak için teyp tekniğini kullanmıştır. Geç işareti ile birlikte teyp çalıştırılır ve kavşağa giren taşıtlar kaydedilir. Ses kaydı sırasında zaman kaybı olmaması için taşıt sınıflandırılmasında, kamyon için K, otobüs için O, minibüs için M, taksi için T harfleri kullanılabilir.

Bu yöntemin en önemli eksikliği, bir gözlemci ile yalnızca bir şerit için veri toplanabiliyor olmasıdır. Diğer bir eksikliği de, veriler gözlemci yardımıyla el yordamıyla toplandığı için gözlemcinin faz geçişlerine ve taşıt geçişlerine olan tepkileridir.

3.2.3 Video kaydı yöntemi

Bu yöntem, kavşaktaki taşıt hareketlerinin videoya alınması temeline dayanmaktadır. Bu yöntem, kavşak kolundaki taşıtların sayısı ve taşıtlar arasındaki ortalama sürelerin doğru hesaplanması için kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntem, hata riskinin azalması ve verileri kontrol etme olanağı vermesinin yanında, yaya ya da başka bir

sebepten dolayı kuyruk dağılması sırasındaki olağan dışı durumları görme olanağını sunmaktadır. Kuyruk dağılması sırasında söz konusu olağan dışı durumlar olursa, verilerin değerlendirmeye alınmaması daha kolay olmaktadır.

Zhang ve Chen (2009), ışıklı kavşaklarda doymun akım çalışmasında veri için video kaydı yöntemini kullandıklarını ve bu yolla arazidan toplanan verilerin daha güvenilir olduğu söylemişlerdir.

Video kaydı yönteminin diğer yöntemlerden üstünlüğü, görüntülerin yeniden incelenme olanağının bulunmasıdır. Böylelikle herhangi bir olağan dışı durumun ya da hatanın tespit edilmesi son derece kolaydır.

3.3 Doymun Akım Değerini Etkileyen Geometrik Değişkenler

Doymun akım değerinin belirlenmesi ile ilgili geçmişten günümüze değin bir çok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda bulunan doymun akım değerleri 1.200–2.500 tş/sa/şrt arasında değişmektedir. Bu değerlerin birbirinden farklı olmasına neden olan bir çok etken bulunmakla birlikte, yerel koşulların farklı olması en önemli etkenlerden biridir.

Kavşaktaki trafik ve yol koşulları dikkate alınarak, temel koşulların olmadığı kavşak kollarında, temel doymun akım değeri bazı düzeltme katsayıları ile çarpılarak her bir şerit grubu için doymun akım değeri hesaplanmaktadır. Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) ışıklı bir kavşak kolunun bir şeridindeki doymun akım değeri için aşağıdaki bağıntıyı önermektedir:

$$S = S_0 \times f_{\text{şG}} \times f_{\text{AT}} \times f_E \times f_P \times f_B \times f_O \times f_{\text{şK}} \times f_{\text{Sağ}} \times f_{\text{Sol}} \times f_{\text{SolYB}} \times f_{\text{SağYB}} \quad (3.3)$$

S : İlgili şerit grubu için doymun akım değeri (tş/sa/şrt).

S₀ : Şerit başına temel doymun akım değeri (bo/sa/şrt)

f_{şG} : Şerit genişliği düzeltme çarpanı.

f_{AT} : Ağır taşıt düzeltme çarpanı.

f_E : Eğim düzeltme çarpanı.

f_P : Parklanma düzeltme çarpanı.

f_B : Bölge tipi düzeltme çarpanı.

f_O : Otobüs durağı düzeltme çarpanı.

f_{şK} : Şerit kullanımı düzeltme çarpanı.

$f_{Sağ}$: Sağa dönüş düzeltme çarpanı.

f_{Sol} : Sola dönüş düzeltme çarpanı.

f_{SolYB} : Sola dönüşte yaya ve bisiklet etkisi düzeltme çarpanı.

$f_{SağYB}$: Sağa dönüşte yaya ve bisiklet etkisi düzeltme çarpanı.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) dışında, İngiltere’de Webster ve Cobbe (1966), İsveç’te Bang (1978), Avustralya’da Akçelik (1981), Japonya Kapasite Kitabı (JRA, 1984), Tayvan Kapasite Kitabı (IT, 1990) ve Kanada’da Teply ve Jones (1991) tarafından farklı ülkelerde geliştirilen çeşitli denklemler mevcuttur. Geliştirilen denklemlerde, doymun akım değerini etkileyen değişkenlerin birbirinden farklı olduğu Çizelge 3.1’de görülmektedir (Tsao ve Chu, 1995).

Çizelge 3.1 : Doymun akım için kullanılan düzeltme çarpanları (Tsao ve Chu, 1995).

Düzeltilme Çarpanı	ABD	İngiltere	Avustralya	İsveç	Japonya	Kanada	Tayvan
Yol genişliği		Var					
Şerit genişliği	Var		Var	Var	Var	Var	Var
Eğim	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Ağır taşıt	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Sağa dönüş	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Sola dönüş	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Otobüs durağı	Var						Var
Yaya	Var	Var				Var	Var
Parklanma	Var	Var				Var	Var
Bölge konumu	Var	Var					Var
Zirve saat	Var						
İklim						Var	
Aydınlatma						Var	
Bisiklet	Var						

Aşağıda verilen şartları sağlayan şeritlerde hesaplanan doygun akım değerine, temel doygun akım değeri denilmektedir (TRB, 2010):

- Şerit genişliği 3,60 m.
- Eğimin olmaması.
- Yaklaşım kolunda parklanma bulunmaması.
- Trafikte yalnızca otomobillerin bulunması.
- Kavşağın merkezi iş alanı dışında bulunması.
- Trafik akımını engelleyici yaya ve bisiklet hareketinin olmaması.

Avustralya’da Akçelik (1981) tarafından yapılan çalışmada, doygun akım değeri için Denklem (3.4)’te verilen bağıntı geliştirilmiştir:

$$S = \frac{f_{SG} \times f_E}{f_{TK}} \times S_0 \quad (3.4)$$

S : Şerit başına doygun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

S_0 : Şerit başına temel doygun değerini (bo/sa/şrt).

f_{SG} : Şerit genişliği düzeltme çarpanı.

f_E : Eğim düzeltme çarpanını.

f_{TK} : Taşıt tipi düzeltme çarpanı.

Kanada Kapasite Kitabı (ITE, 2008), temel koşulların olmadığı kavşak kollarındaki doygun akım değeri için aşağıdaki bağıntıyı kullanmaktadır:

$$S = S_0 \times f(F_{adj}) \quad (3.5)$$

S : Düzeltilmiş doygun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

S_0 : Temel doygun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

$f(F_{adj})$: Değişkenlere ait düzeltme fonksiyonu.

F_{adj} : Tekil olarak düzeltme çarpanı.

Bu denklemde düzeltme fonksiyonu, değişkenlerin basit çarpanlardan oluşurken, bazen de yerel koşulları yansıtan bir çok etkenin birleşimini gösteren tek bir değişken olmaktadır. Bazı durumlarda ise, bu etkenler içinde en baskın olan değişken kullanıldığı gibi, bu değişkenlerin kombinasyonu olan tek bir türetilmiş değişken de kullanılabilir. Bu denkleme benzer bir çalışma da Almanya Karayolları Kapasite El Kitabı’nda (Lemke, 2015) önerilmiş olup, doygun akım değerini

etkileyen bir çok değişken içinden baskın iki değişken kullanılarak doymun akım değeri hesaplamaktadır:

$$S = f_1 \times f_2 \times S_0 \quad (3.6)$$

S : Doymun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

S_0 : Temel doymun akım değeri (bo/sa/şrt).

f_1, f_2 : Değişkenler içindeki en baskın iki değişken.

Denklem 3.6'da sözü edilen baskın değişkenler; şerit genişliği, ağır taşıt oranı, dönüş yarıçapı, eğim, yaya trafiği ve hava koşulları değişkenleri arasından seçilmektedir.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 1950) yayınladığı ilk çalışmasında, temel doymun akım değeri için 1.500 bo/sa/şrt değerini önermiş olup, 1965 yılında bu değeri 1.800 bo/sa/şrt olarak revize etmiştir (TRB, 1965). Temel doymun akım değeri 1997 yılında tekrar güncellenmiş ve 1.900 bo/sa/şrt olarak belirlemiştir. O tarihten bu yana, söz konusu değer aynı kalmıştır (TRB, 1997).

Denklem 3.3'ten de görüleceği üzere, doymun akım değerini etkileyen çok sayıda etken bulunmaktadır. Bu etkenlerin sürücü davranışları üzerindeki etkisini incelemek üzere pek çok araştırmacı tarafından çalışma yapılmıştır. Her ülkede, hatta her şehirde şerit kullanımı, şerit kapasitesi, uzunluk cinsinden aralık ve sürücü davranışı gibi durumlar değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, birçok ülkede farklı araştırmacılar tarafından o ülkeye ait doymun akım değeri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bütün çalışmalarda elde edilen sonuçlar birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durum, zaman cinsinden aralık değerlerinin ülkeden ülkeye farklı olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır (Çetin ve Murat, 2013).

Işıklı kavşaklar, çoğunlukla taşıt gecikmelerinin ve trafik sıkışıklığının olduğu noktalardır. Bu yüzden, kavşak tasarımı sırasında trafik hacmine dayanan ışık sürelerinin planlaması önemli bir konudur. Bu yüzden, her bir şerit grubu için doymun akım değerinin belirlenmesi, kavşak kapasite çözümlemelerinin temelini oluşturur.

Bir yerde doymun akım değerini etkileyen değişkenler birden fazla ise, değişkenlerin karmaşık etkisi söz konusu olur. Örneğin; sağa dönen taşıtların yaya trafiği ile etkileşimi yüksek olan bir kavşak kolu varsa, bu durumda doymun akım değeri için yalnızca dönüş yarıçapının etkisi incelenmez, aynı zamanda yaya hareketliliğinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ters durum söz konusu ise, yani yaya trafiği değeri küçükse burada da yalnızca dönüş yarıçapının etkisi için düzeltme

yapılır, yaya hareketliliği önemsenmeyecek düzeyde ise yalnızca yarıçapın etkisi için düzeltme çarpanı kullanılır (Teply ve diğ., 1985).

Geometrik değişkenlerin doygun akım değerine etkisi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar içinde bilinen en önemli çalışma İngiltere’de Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılmış çalışmadır. Bu çalışmada, doygun akım değeri ile şerit genişliği arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Bu bölümde şerit sayısı, şerit genişliği, eğim, sola dönüş ve sağa dönüş değişkenin doygun akıma etkileri ile ilgili çalışmalardan sırasıyla bahsedilmektedir.

3.3.1 Şerit sayısı etkisi

Trafik talebinin yüksek olduğu ışıklı kavşaklarda, şerit sayısının fazlalığı, taşıt gecikmelerini ve kuyruk uzunluğunun azalmasını sağlar. Şerit grubundaki şerit sayısının doygun akım değerine etkisine yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır.

McMahon ve diğ. (1997), şerit grubundaki şerit sayısının doygun akım değerini nasıl etkilediğine dair ABD’de yaptıkları çalışmada, şerit sayısının artmasıyla birlikte doygun akım değerinin de arttığını belirtmişlerdir. Söz konusu çalışmada, tek şerit, iki şerit, üç şerit ve daha fazla sayıda şerit için sırasıyla doygun akım değeri 1.670 tş/sa/şrt, 1.790 tş/sa/şrt ve 1.910 tş/sa/şrt hesaplanmıştır.

Karayolu Kapasite El Kitabı’nda (TRB, 2010) şerit grubundaki şerit sayısının şerit başına doygun akım değerini değiştirmedeği belirtilmektedir.

Zhang ve diğ. (2010)’in Pekin’de 11 farklı kavşakta yaptıkları çalışmada, şerit grubundaki şerit sayısı ile (N) zaman cinsinden doygun aralık değeri arasındaki ilişki için Denklem 3.7’de verilen bağıntıyı önermişlerdir:

$$h_s = -0,0258 \times N^2 + 0,0669 \times N + 2,017 \quad (3.7)$$

Yine aynı çalışmada, şerit grubundaki şerit sayısı için hesaplanan düzeltme katsayıları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelgeye göre, şerit grubundaki şerit sayısının artması doygun akım değerini arttırmaktadır.

Çizelge 3.2 : Şerit sayısı için düzeltme çarpanı katsayıları (Zhang ve diğ., 2010).

Akım Grubundaki Şerit Sayısı (N)	Düzeltilme Çarpanı (f _N)
4	1,07
3	1,02
2	1,01
1	1

Suudi Arabistan'ın Mekke şehrindeki ışıklı kavşaklarda şerit başına doymuş akım değeri ile kapasiteyi etkileyen değişkenlerin incelendiği çalışmada belirlenen şerit sayısı düzeltme çarpanı katsayıları Çizelge 3.3'te verilmiştir (Alam ve diğ., 2011).

Çizelge 3.3 : Şerit sayısı için düzeltme çarpanı değerleri (Alam ve diğ., 2011).

Akım Grubundaki Şerit Sayısı (N)	1	2	3
Düzeltilme Çarpanı (f _N)	0,86	0,93	0,95

Bester ve Meyers (2007)'in Güney Afrika'da doymuş akım değeri ile ilgili yaptıkları çalışmada, şerit grubundaki şerit başına doymuş akım değerinde 288 tş/sa/şrt kadar artış gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Tektaş Ulaşım Enstitüsü (Texas Transportation Institute) tarafından tamamlanan bir çalışmada; iki şeritli doğru giden bir yaklaşım kolundaki doymuş akım değerinin, bir şeritli yaklaşım kolundakine göre 130 tş/sa/şrt daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır (Bonneson ve diğ., 2005).

3.3.2 Şerit genişliği etkisi

Geometrik koşullar arasında şerit genişliğinin, ışıklı kavşakların kapasitesi üzerinde önemli etkisi vardır. Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, kavşak geometrisi ile doymuş akım değeri arasında bilinen ilk çalışmalardan biri Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, doymuş akım değeri şerit genişliğinin doğrusal bir fonksiyonudur. Kavşakta parklanma ve dönüş trafiğinin olmadığı durumda;

$$S = 525 \times G \quad (3.8)$$

Bağıntısı verilmektedir. Bu bağıntı 5,18 (17 feet) m'den büyük yol genişliği için geçerlidir.

S : Doygun akım değeri (tş/sa/şrt).

G : Şerit genişliği (m).

Branston (1979) zirve saat ve aydınlık/karanlıkta yapılan doyun akım değeri için üç ayrı denklem önermiştir:

- Zirve saat dışında doyun akım değeri ile şerit genişliği arasında;

$$S = 885 + 222 \times G \quad (3.9)$$

- Gündüz zirve saat için doyun akım değeri ile şerit genişliği arasında;

$$S = 1.045 + 222 \times G \quad (3.10)$$

- Karanlıkta zirve saat için şerit genişliği ile doyun akım değeri arasında;

$$S = 960 + 222 \times G \quad (3.11)$$

İlişkisi bulunmaktadır.

S: Doygun akım değeri (tş/sa/şrt).

G: Şerit genişliği (m).

Agent ve Crabtree (1983) şerit genişliğinin 3,0 m'den fazla olduğu durumlarda doyun akım değerinin değişmediğini belirtmiş, şerit genişliğinin 2,7-3,0 m olması durumunda ise doyun akım değerinin %5 daha az olacağını önermişlerdir.

Zegeer (1986) ışıklı kavşak kollarındaki doyun akım değeri ile şerit genişliği arasındaki ilişkiyi çözümlemek amacıyla, şerit genişliği 2,6-4,7 m arasında olan kavşaklarda çalışma yapmıştır. Temel şerit genişliğine göre (3,60 m) daha dar olan şeritlerde, doyun akım değerinde %2-5 arasında azalma, geniş olan şeritlerde de %5'lik artış olduğunu belirlemiştir.

Akçelik (1981) Avustralya'da yaptığı çalışmada, şerit genişliği ile doyun akım ilişkisi için üç farklı duruma göre Çizelge 3.4'teki düzetme katsayılarını kullanmaktadır. Eğer şerit genişliği değişkense, doyun akım değerinin belirlenmesi için dur çizgisinden 30

m'lik uzaklıktaki yolun en dar kısmındaki genişliğinin temel alınması gerektiğini belirtmektedir.

Çizelge 3.4 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanı (Akçelik, 1981).

Şerit Genişliği (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_{SG})
$2,4 \leq G < 3,0$	$0,55 + 0,14 \times G$
$3,0 \leq G \leq 3,7$	1,0
$3,7 < G \leq 4,6$	$0,83 + 0,05 \times G$

İngiltere’de Kimber ve diğ. (1986) tarafından yapılan çalışmada, şerit genişliği ile doymuş akım değeri arasındaki ilişki için, şerit genişliğindeki her bir metrelik artışa karşılık doymuş akım değerinde 100 tş/sa artış meydana geldiği belirtilmiştir.

Doymuş akım değeri ile şerit genişliği ilişkisinin incelenmesi amacıyla Endonezya’da 57 farklı durum için 100 devre incelenmiş ve aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir. Geliştirilen bağıntıda, Webster ve Cobbe’nin (1966) şerit genişliğinin doymuş akım değerine etkisi ile ilgili bağıntıya yakın bir sonucun ortaya konulduğu belirtilmiştir (Turner ve Harahap, 1993).

$$S = 524,6 \times G \quad (3.12)$$

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2000), temel durum için şerit genişliğini 12 feet (3,66 m) kabul etmektedir. Doymuş akım değeri ile şerit genişliği arasındaki ilişki için düzeltme çarpanı olarak;

$$f_{SG} = 1 + \frac{G - 3,66}{9} \quad (3.13)$$

bağıntısını kullanmaktadır.

Potts ve diğ. (2007) tarafından kent içi ve kent dışı ışıklı kavşaklarda şerit genişliğinin doymuş akım değerine etkisinin incelendiği çalışmada, şerit genişliğinin çok önemli etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Buna göre, şerit genişliğinin 2,91 m olduğu yollarda doymuş akım değeri 1.815-1.830 tş/sa/şrt, 3,3-3,6 m’de 1.898 tş/sa/şrt ve 4,0 m’den fazla olduğu kavşaklarda ise 1.913 tş/sa/şrt olarak hesaplanmıştır.

Kanada Kapasite Kitabı'na (ITE, 2008) göre, şerit genişliği 3,0 m ile 4,4 m arasında ise şerit genişliği için doymuş akım değerinde düzeltme katsayısına gerek yoktur. Aynı çalışmada, ışıklı kavşağın yaklaşım kolunun genişliği değişkense ve yaklaşım kolunun iki şerit olarak kullanılması mümkün değilse, dur çizgisinden 30 m'ye kadar olan uzaklığındaki en küçük genişliği o yaklaşım kolunun genişliği kabul edilmektedir. Farklı şerit genişlikleri için Çizelge 3.5'teki düzeltme katsayıları kullanılmaktadır. Şerit genişliği 6-7 m arasında olduğunda, uygulamada iki şerit olarak kullanılıyorsa şerit genişliği için düzeltme çarpanı 2 olmaktadır. Genellikle yaklaşım kolunun 6 m'den geniş olması durumunda, yaklaşım kolu iki şerit olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.5 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanları (ITE, 2008).

Şerit Genişliği (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_{SG})
$G \leq 3,00$	$0,5 \times G - 0,5$
$3,00 < G \leq 4,40$	1,0
$4,40 < G \leq 6,00$	$0,385 \times G - 0,695$
$6,00 < G \leq 7,00$ *	$0,385 \times G - 0,695$
$6,00 < G \leq 7,00$ **	2

*: Yaklaşım kolunun bir şerit olarak kullanılması durumunda.

** : Yaklaşım kolunun iki şerit olarak kullanılması durumunda.

Sabit zamanlı kavşaklarda kapasitenin ve karma trafikteki trafik akımı öngörüsünde kullanılan denklemin incelenmesi amacıyla Pakistan'ın en büyük şehri olan Karachi'de video kaydı yöntemi kullanılarak arazi çalışması yapılmıştır. Karachi'nin en önemli ulaşım aksı olan Shakra-e-Faisal on üç adet ve M.A. Jinnah beş adet olmak üzere toplam on sekiz ışıklı kavşakta doymuş akım değeri ile yaklaşım kolu genişliği arasındaki ilişki için bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir. Shakra-e-Faisal yolundaki yaklaşım kollarının genişlikleri 6,40-16,00 m, M.A. Jinnah yolunda ise 9,00-15,60m arasında değişmektedir (Iqbal, 2009).

- Shakra-e-Faisal yolu için;

$$S = 1.637 + 538 \times G \quad (3.14)$$

- M.A Jinnah yolu için;

$$S = 4.314 + 350,8 \times G \quad (3.15)$$

- İki yol için genelleştirilmiş denklem ise;

$$S = 1.995,5 + 516 \times G \quad (3.16)$$

S : Doygun akım değeri (tş/sa/yol).

G : Yaklaşım kolu genişliği (m).

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) farklı şerit genişlikleri için Çizelge 3.6'da verilen üç farklı düzeltme katsayısını önermektedir.

Çizelge 3.6 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanları (TRB, 2010).

Şerit Genişliği (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_{SG})
$2,40 \leq G \leq 3,00$	0,96
$3,00 < G \leq 4,00$	1,00
$4,00 < G \leq 4,80$	1,04

Zhang ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada zaman cinsinden aralık yöntemi kullanılarak, şerit genişliğinin doymuş akım değerine etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda doymuş akım değeri ile şerit genişliği arasında güçlü bir doğrusal ilişki olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, zaman cinsinden doymuş aralık değeri ile şerit genişliği arasındaki ilişki için Denklem 3.17'deki bağıntı verilmiştir. Yine aynı çalışmada, şerit genişliği için düzeltme çarpanları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

$$h_s = -0,4391 \times G + 3,609 \quad (3.17)$$

h_s : Zaman cinsinden doymuş aralık değeri (Sn.).

Çizelge 3.7 : Şerit genişliği düzeltme çarpanları (Zhang ve diğ., 2010).

Ortalama Şerit Genişliği (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_{SG})
3,50	1,00
3,25	0,95
3,00	0,90
2,85	0,87
2,65	0,85

Dünyanın en kalabalık nüfusuna sahip Çin’de, ışıklı kavşaklarda doymun akım değerinin belirlenmesi ve doymun akım değerini etkileyen değişkenlerin araştırılması amacıyla, 18 şehirde video kamera ile veri toplanmış ve şerit genişliği çarpanı için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir (Shao ve diğ., 2011).

$$f_{SG} = 1 + \frac{G - 3,5}{6,56} \quad (3.18)$$

Almanya Karayolları Kapasite El kitabı (Lemke, 2015), temel koşulların olmadığı şerit genişlikleri için aşağıda Çizelge 3.8’de verilen düzeltme çarpanlarını kullanmaktadır:

Çizelge 3.8 : Şerit genişliği için düzeltme çarpanı (Lemke, 2015).

Şerit Genişliği (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_{SG})
2,60	0,85
2,75	0,90
$\geq 3,00$	1,00

Sonuç olarak, şerit genişliği ile doymun akım değeri arasındaki ilişki konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, şerit genişliği ile doymun akım arasında evrensel bir bağıntı olmadığı ortaya çıkmaktadır.

3.3.3 Eğim etkisi

Kavşak kolundaki boyuna eğimin büyüklüğünün doymun akım değerine önemli etkisi vardır. Artı eğimlerdeki (yokuş yukarı) artış, taşıtların hızlanmasını olumsuz yönünde etkilediğinden kapasiteyi azaltmaktadır. Aynı şekilde, tersi yönündeki akımlarda da kapasite artmaktadır.

Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılan çalışmada, artı eğimde %1’lik artış doymun akım değerinde %3’lük bir azalma ve eksi eğimde %1’lik artışın doymun akım değerinde %3’lük artışa neden olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçların, artı eğimin %10’dan küçük, eksi eğimin de %4’ten büyük olduğu durumlar için geçerli olduğu vurgulanmıştır.

Akçelik (1981), doymun akım değeri ile eğim (s) arasındaki ilişki için, Denklem 3.19’da verilen bağıntıyı önermiştir.

$$f_E = 1 - \frac{s}{2} \quad (3.19)$$

Reilly ve Pfefer (1982) ise eğimdeki %1’lik değişimin, doygun akımda % 0,5’lik artma ya da azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir.

Kimber ve diğ. (1986) tarafından, Webster ve Cobbe (1966) tarafından bulunan modellerin güncellenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, artı eğimler için doygun akım değerinin azaldığı, fakat eksi eğim ile doygun akım değeri arasında gözle görülür bir ilişki olmadığı belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada, yukarı eğimde sağ şerit için :

$$S = 1.942 - 3600 \times s \quad (3.20)$$

yukarı eğimlerde sol şerit için:

$$S = 2.087 - 5100 \times s \quad (3.21)$$

bağıntıları geliştirilmiştir. Burada s, kavşak kolunun eğimini göstermektedir.

Almanya’da ışıklı kavşak hesaplamalarında kavşak kollarındaki eğim için Çizelge 3.9’da verilen düzeltme çarpanları kullanılmaktadır (HBS, 2001):

Çizelge 3.9 : Eğim düzeltme çarpanı (HBS, 2001).

Kavşak Kolunun Eğimi (s)	Düzeltilme Çarpanı (f _E)
+ %5	0,85
+ %3	0,90
%0	1,00
- %3	1,10
- %5	1,15

Bester ve Meyers (2007), Güney Afrika’nın Stellenbosch bölgesindeki ışıklı kavşaklarda doygun akımın belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Arazidaki veriler, çoklu regresyon yöntemi kullanarak incelenmiş ve Güney Afrika için şerit başına aşağıdaki denklem geliştirilmiştir:

$$S = 990 + 288 \times N + 8,5 \times HS - 2680 \times s \quad (3.22)$$

S: Doygun akım değeri (tş/ta/şrt).

HS: Hız sınırı (km/sa).

N: Şerit sayısı.

s: Eğim.

Aynı çalışmada yukarıdaki matematiksel modelde temel doymun akım değeri 1.900 bo/sa/şrt ve temel koşullar olarak şerit sayısı iki, hız sınırı 80 km/sa ve eğim sıfır değeri kullanıldığında, eğim düzeltme çarpanı için aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$f_E = 1 - \frac{s}{0,71} \quad (3.23)$$

Kanada Kapasite Kitabı'nda (ITE, 2008), ışıklı bir kavşak kolunda eğim gözle görülür ($-\%2 \leq s \leq +\%2$) değilse, eğim için doymun akım değerinde düzeltmeye gerek olmadığı, fakat kış aylarında eğim etkisinin çok önemli olduğu vurgusu yapılmaktadır. Aynı çalışmada, eğimin $\pm\%2$ 'den farklı olması durumunda aşağıdaki bağıntı önerilmektedir:

$$f_E = 1 - (s + AT) \quad (3.24)$$

Burada, AT akım içindeki ağır taşıt oranını göstermektedir. Aynı çalışmada, kavşak kolundaki eğimin eksi olması durumunda ağır taşıt oranı etkisinin genellikle gözardı edildiği belirtilmiştir. Eksi eğimlerde, eğim için düzeltme çarpanı 1'den büyük olmaktadır, fakat düzeltme çarpanının, en fazla 1,1 ile sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010), eğim ile doymun akım değeri arasındaki ilişki için Akçelik (1981) tarafından kullanılan bağıntının aynısını kullanmaktadır. Kullanılan bağıntı $-\%6$ ile $+\%10$ arasındaki eğimler için geçerlidir.

Shao ve diğ. (2011)'in Çin'deki ışıklı kavşaklarda temel doymun akım ve doymun akımı etkileyen değişkenlere ait çalışmalarında, kavşak kolundaki eğimin doymun akım değerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, eğimli ışıklı kavşak kolları için aşağıdaki düzeltme katsayısı belirlenmiştir:

$$f_E = 1 - s \quad (3.25)$$

$$- \%8,0 \leq s \leq + \%8,0$$

Doygun akım değeri ile kavşak geometrisi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Hindistan'ın Bangalore şehrinde 15 ışıklı kavşakta yapılan çalışmada, doymun akım değeri ile kavşak kolunun eğimi ilişkisi için aşağıda verilen denklem önerilmiştir (Savitha ve diğ., 2017):

$$f_E = 1 - 1,3 \times s \quad (3.26)$$

3.3.4 Sola dönüş etkisi

Bir kavşakta sola dönen taşıtlar, kavisli bir yol izledikleri için hızdaki azalmadan dolayı, söz konusu taşıtların öndekini izleme süresi doğru gidenlere göre daha büyük olmaktadır. Bu nedenle, sola dönen taşıtların doymun akım değeri, doğru giden taşıtların doymun akım değerine göre daha azdır (Webster ve Cobbe, 1966).

Sola dönüş şeridi olan kavşaklarda, sola dönüş şeridi tek ise:

$$S = \frac{1.800}{1 + \frac{5}{R}} \quad (3.27)$$

Sola dönüş şeridi olan kavşaklarda, sola dönüş şeridi çift ise:

$$S = \frac{3.000}{1 + \frac{5}{R}} \quad (3.28)$$

Bağıntıları kullanılmaktadır.

S: Doymun akım değeri (tst/sa/şrt).

R: Dönüş yarıçapı (m).

Ellson (1969) tarafından arazide yapılan gözlem ve çalışmalara göre, sola dönüşlerde doymun akım değeri için Denklem 3.29'da verilen bağıntı geliştirilmiştir.

$$S = \frac{1.850}{1 + \frac{100}{R^3}} \quad (3.29)$$

S: Doymun akım değeri (tst/sa/şrt).

R: Dönüş yarıçapı (m).

Karayolları Kapasite El Kitabı'nın farklı yıllardaki basımlarında, sola dönüş için farklı bağıntılar geliştirilmiştir. Karayolları Kapasite El Kitabı (TRB, 1985), korumalı fazda sola dönen akım grubunun doygun akım değerinin, doğru giden akım grubundakinin %95'i kadar olduğunu söylemiştir. Aynı çalışmada, korumalı fazda sola dönen iki şerit söz konusu ise sola dönen şeritlerdeki doygun akım değeri doğru giden şeritlerdekine göre %8 daha az olmuştur.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2000) doygun akım değeri ile sola dönüş arasındaki ilişki için:

Yardımcı sola dönüş şeridi var ise;

$$f_{Sol} = 0,95 \quad (3.30)$$

Yardımcı sola dönüş şeridi yoksa;

$$f_{Sol} = \frac{1}{1 + 0,05 \times P_{Sol}} \quad (3.31)$$

sola dönüş düzeltme çarpanını kullanmaktadır.

f_{Sol} : Sola dönüş düzeltme çarpanı.

P_{Sol} : Sola dönenlerin akım içindeki oranı.

Almanya'da ışıklı kavşak hesaplamalarında sola dönüş akımları için Çizelge 3.10'da verilen düzeltme çarpanları kullanılmaktadır (HBS, 2001):

Çizelge 3.10 : Sola dönüş düzeltme çarpanı (HBS, 2001).

Dönüş Yarıçapı (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_{Sol})
≤ 10	0,85
$10 < R \leq 15$	0,90
> 15	1,00

Sola dönüş şeridi ve korumalı faz olan dönüşlerde, dönüş yarıçapının etkisi bazı çalışmalarda göz ardı edilmektedir. Çünkü sola dönüş yapan taşıtlar, önündeki birkaç taşıtın dönüşünü gördüklerinden taşıtlar birbirlerini yakın izlemektedir. Bu yüzden sola dönüş şeridindeki doygun akım değeri, doğru giden şerittekine göre daha yüksek

olabilmektedir. Özellikle sola dönüşte, yeşil ışığın kısa olduğu kavşaklarda bu durum daha sık yaşanmaktadır. Örneğin; Kanada Kapasite Kitabı (ITE, 2008) sola dönüşte sürekli kuyruk söz konusu olduğunda, sola dönüş doygun akım değerinin doğru giden şerittekinin 1,05 katı kadar olduğunu belirtmiştir.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) ise, sola dönüş yolunun geometrisinin doygun akım değerine etkisine ilişkin, daha önceki bağıntılarından farklı bir denklem önermiştir:

$$f_{Sol} = \frac{1}{E_{Sol}} \quad (3.32)$$

f_{Sol} : Sola dönüş düzeltme çarpanı.

E_{Sol} : Sola dönen taşıtların doğru giden taşıtlara göre birim eşdeğeri ($E_{Sol}=1,05$).

Shao ve diğ. (2011), kavşaklarda sola dönen taşıtların hareketine, sola dönüş şeridinin genişliği ile birlikte dönüş yarıçapının da etkisi olduğunu belirterek, sola dönüşler için aşağıda verilen doygun akım değeri modelini geliştirmişlerdir:

$$S = 815,4 + 136,2 \times G + 11,3 \times R \quad (3.33)$$

Burada, G şerit genişliği olup $2,7 \text{ m} \leq G \leq 4,0 \text{ m}$, R ise sola dönüş yarıçapı olup $20 \text{ m} \leq R \leq 48 \text{ m}$ değerleri için geçerlidir.

3.3.5 Sağa dönüş etkisi

Temel koşulların olmadığı durumlarda, sağa dönen akımlar için sağa dönüş düzeltme çarpanı hesaplanmaktadır. Söz konusu düzeltme çarpanı, genellikle sağa dönüş cebi olan ya da hem doğru giden hem de sağa dönen karma akımı olan şeritlerde uygulanmaktadır. Uygulamada, sağa dönüşler için ışıklı sistem kullanılmamaktadır. Bunun yerine, sağa dönüşler için sürekli yanıp sönen ışık kullanılmaktadır. Söz konusu şeritlerdeki doygun akım değeri için sağa dönüş düzeltme çarpanı hesaplanmamaktadır.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 1985), korumalı fazda sağa dönen akım grubunun doygun akım değerinin, doğru giden akım grubundakinin %85'i kadar olduğunu söylemiştir. Aynı çalışmada, korumalı fazda sağa dönen şerit sayısı çiftse, bu şeritler

için doymun akım değerinin, doğru giden şeritlere göre %25 daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2000), yardımcı sağa dönüş şeridinin olması ya da olmaması durumuna göre üç farklı bağıntı önermektedir.

Yardımcı sağa dönüş şeridi olması durumunda:

$$f_{\text{Sağ}} = 0,85 \quad (3.34)$$

$f_{\text{Sağ}}$: Sağa dönüş düzeltme çarpanı.

Doğru giden ve/veya sola dönen şeritten sağa dönüşler yapılıyorsa ve şerit grubunda tek şerit var ise:

$$f_{\text{Sağ}} = 1,0 - 0,135 \times P_{\text{Sağ}} \quad (3.35)$$

Şerit grubunda birden fazla şerit var ise:

$$f_{\text{Sağ}} = 1,0 - 0,150 \times P_{\text{Sağ}} \quad (3.36)$$

bağıntıları kullanılmaktadır.

f_{Sol} : Sağa dönüş düzeltme çarpanı.

$P_{\text{Sağ}}$: Sağa dönenlerin akım içindeki oranı.

Satish ve Sikdar (1993) yaptığı çalışmada, sağa dönen şerit için doymun akım değerin, dönüş yarıçapına ve dönüş şeridinin genişliğine bağlı olduğunu belirterek, doymun akım değeri için aşağıdaki bağıntıyı geliştirmişlerdir:

$$S = 1.895 + 250 \times G - 31735,7/R \quad (3.37)$$

S: Doymun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

G: Dönüş şeridinin genişliği (m).

R: Dönüş yarıçapı (m).

Kanada Kapasite Kitabı (ITE, 2008), ışıklı bir kavşak kolunda sağa dönüşteki doymun akım değerin hesaplanmasında, dönüş yarıçapına bağlı olarak Çizelge 3.11’de verilen denklemi kullanmaktadır.

Çizelge 3.11: Sağa dönüş düzeltme çarpanı.

Dönüş Yarıçapı (m)	Düzeltilme Çarpanı (f_R)
$R < 15$	$0,5 + \frac{R}{30}$
$R \geq 15$	1

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) ise, sağa dönüş yolunun geometrisinin doymun akım değerine etkisine ilişkin daha önceki bağıntılarından farklı bir denklem önermiştir:

$$f_{\text{Sağ}} = \frac{1}{E_{\text{Sağ}}} \quad (3.38)$$

f_{Sol} : Sağa dönüş düzeltme çarpanı.

$E_{\text{Sağ}}$: Sağa dönen taşıtların doğru giden taşıtların birim eşdeğeridir ($E_{\text{Sağ}}=1,18$).

Çinde sağa dönüş akımlar için genellikle ışıklı sistem kullanılmamaktadır. Bunun yerine sağa dönüş cebi kullanılmaktadır. Söz konusu cebin uzunluğunun uygun olması gerekmektedir. Örneğin, dönüş cebi uzunluğu kısa olması ve sağa dönen taşıt sayısı fazla olduğunda, doğru giden taşıtlar az etkilenmekte ama sağa dönen taşıtlar fazla ekilenmektedir (Shang ve diğ., 2012).

Savitha ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, sağa dönüş düzeltme çarpanı için Denklem 3.39’da verilen bağıntıyı önermişlerdir:

$$f_{\text{Sağ}} = 1 + \frac{4 \times R}{1000} \quad (3.39)$$

S: Doymun akım değeri (tş/t/sa/şrt).

R: Dönüş yarıçapı (m).

Özetle, kavşak koluna ait geometrik değişkenlerin doymun akıma etkisine ilişkin bir çok farklı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, geometrik değişkenlerin doymun akım üzerinde etkisi olduğu ve etki büyüklüğünün birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan yola çıkarak, doymun akım değerini etkileyen değişkenlerin büyüklüğü ve ilişki düzeyinin birbirinden farklı olduğu anlaşılmaktadır.



4. ARAZİ VERİLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Araziden verilerin toplanması, tez çalışmasının en önemli aşamalarından biridir. Arazide iki çeşit veri toplanmıştır. Birinci veri, çalışma yapılan kavşaklara ait geometrik bilgileri içermektedir. İkinci veri ise kavşağa giren taşıtlara ait bilgilerden oluşmaktadır. Ölçümlerin tamamı İstanbul'daki ışıklı kavşaklarda yapılmıştır.

İstanbul'da 2.209 adet ışıklı kavşak ve yaya geçidi bulunmaktadır (Tuncer, 2017). Arazi çalışmasında 100 ışıklı kavşak ve yaya geçidinde, 209 farklı şeritte taşıtların zaman cinsinden aralık değeri verileri 05/05/2014 ile 27/12/2016 tarihleri arasında toplanmıştır. Bu veriler, eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için, eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için ve eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için olmak üzere üç farklı grupta toplanmıştır. Sağa dönen akımlar için uygun kavşak bulunamadığından arazi çalışması yapılamamıştır. Çalışma yapılan kavşak sayısı, İstanbul'daki mevcut ışıklı kavşak sayısının yaklaşık %5'ine karşılık gelmektedir.

4.1 Kavşak Seçimin Yapılması

İstanbul'daki ışıklı kavşaklarda doymuş akım değerini etkileyen geometrik değişkenlerin etkisini doğru belirlemek amacıyla her bir değişken için, o değişkenin sayısal değerinin değiştiği fakat diğer değişkenlerin sayısal değerlerinin sabit kaldığı (değişmediği) ışıklı kavşaklar seçilmiştir. Arazi çalışması yapılmadan önce, kavşak seçimi için kullanılan ölçütler şunlardır:

- Kavşakta yeşil ışıkta geçen taşıtların hızını azaltacak akım aşağı yönde bir tıkanıklık olmamalıdır.
- Kavşak kolundaki kuyruk uzunluğu için en az 7 taşıt bulunmalıdır.
- Trafik ışığından 75 m akım yukarı ve 75 m akım aşağı kesimlerde otobüs durağı olmamalıdır.
- Yol kenarı (üstü) taşıt parklanması olmamalıdır.
- Kavşak, Merkezi İş Alanı (MİA) dışında olmalıdır.

Yukarıdaki ölçütleri sağlayan ve Şekil 4.1’de görülen ışıklı kavşaklarda, hava koşullarının elverişli, yol yüzeyinin kuru olduğu, hafta içi sabah ve akşam zirve saatlerinde kronometre yardımıyla kırmızı ışık boyunca kuyrukta bekleyen ve yeşil ışığın yanmasıyla kavşağa giren taşıtların birbirini izledikleri süreler, başka bir deyişle taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri toplanmıştır.

4.2 Veri Toplama Yöntemi

Seçilen ışıklı kavşaklarda veri toplamak için basit ve etkin bir teknik kullanılmıştır. Söz konusu tekniğe göre sayım yapılacak şeritte, kuyrukta yeterli sayıda taşıt olduğunda ve kavşağın ilerisinde trafiği engelleyecek herhangi bir tıkanıklık olmadığında; yeşil ışık yandığında kronometre programı kullanılmış ve her taşıtın arka tamponu dur çizgisini geçtiğinde kronometreye basılarak, taşıtların kavşağa girmesi için gerekli olan süreler belirlenmiştir. Yeşil ışık yandıktan sonra kuyruğa eklenen taşıtlar, değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Arazide taşıtların kavşağa girmelerini engelleyici herhangi bir unsur (yaya, taşıt vb.) varsa, o devre için toplanan veriler hesaplama için kullanılmamıştır.

4.3 Arazi Çalışmasında Ölçülen Veriler

Kavşak geometrisine ve taşıt geçişlerine ait veriler olmak üzere araziden toplanan veriler iki başlık altında toplanmıştır. Kavşak geometrisi ile ilgili olan veriler, kavşağın tipi, kavşak kolundaki şerit sayısı, şerit genişliği, kavşak kolunun eğimidir. Taşıtlarla ilgili veriler ise kavşağa giren taşıt sayısı, taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri ve taşıt sınıfı verileridir.

4.3.1 Kavşak geometrisi verileri

Taşıtlar için kavşak kolunda dört şerit, üç şerit ve iki şerit bulunan farklı kavşaklarda taşıt hareketleri incelenmiştir. Çalışmada incelenen kavşaklar arasında 4 kollu ve 3 kollu kavşaklar ile yaya geçişleri olmak üzere üç farklı kavşakta arazi çalışması yapılmıştır.

İncelenen kavşak tipi ve yerlerinin İstanbul’daki ilçelere göre dağılımı Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelgeye göre, İstanbul’da bulunan 39 ilçenin 22’sinde (%56,41) arazi çalışması yapılmıştır. Aynı şekilde en fazla ve en az çalışma %13 ve %1 oranlarıyla sırasıyla Fatih ve Sultangazi ile Ataşehir ilçelerinde yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Çalışma yapılan kavşakları gösteren hava fotoğrafı.

Çizelge 4.1 : Çalışma yapılan kavşak ve yaya geçitlerin ilçelere göre dağılımı.

İlçe Adı	İncelenen Kavşaklar			Toplam
	4 Kollu	3 Kollu	Yaya Geçidi	
Ataşehir	-	1	-	1
Bahçelievler	-	-	2	2
Başakşehir	1	1	-	2
Bayrampaşa	2	-	-	2
Beşiktaş	6	2	-	8
Beykoz	1	1	-	2
Beyoğlu	-	3	1	4
Eyüp	1	6	3	10
Fatih	-	8	5	13
Güngören	-	2	1	3
Kadıköy	1	1	2	4
Kağıthane	-	-	2	2
Kartal	-	5	-	5
Küçükçekmece	-	-	3	3
Maltepe	-	6	-	6
Pendik	-	4	-	4
Sarıyer	-	1	3	4
Sultangazi	-	-	1	1
Şişli	-	3	3	6
Ümraniye	1	3	1	5
Üsküdar	-	6	2	8
Zeytinburnu	1	4	-	5
Toplam	14	57	29	100

Bölüm 4.1’de belirlenen ölçütleri sağlayan eğimsiz ve eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için veri toplanan kavşakların sayısı Çizelge 4.2’de verilmiştir. Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için iki şeritli beş kavşağın ve üç şeritli altı kavşağın iki kolunda da veri toplanmıştır.

Çizelge 4.2 : Doğru giden akımlar için incelenen kavşaklar.

	İncelenen Koldaki Şerit Sayısı	Kavşak Sayısı	İncelenen Şerit Sayısı				
			1	2	3	4	Toplam
Eğimsiz Kesim	İki şeritli	36	25	17	-	-	59
	Üç şeritli	25	1	25	7	-	72
	Dört şeritli	4	0	1	3	0	11
	Toplam	65	26	86	30	0	142
Eğimli Kesim	Bir şeritli	1	1	-	-	-	1
	İki şeritli	13	15	1	-	-	17
	Üç şeritli	8	0	12	0	-	24
	Toplam	22	16	26	0	0	42

Kavşak kolunda hem doğru giden hem de sağa dönen taşıtların bulunduğu şeritler söz konusu olduğunda, bu şeritlerde taşıt incelemesi yapılmamıştır. Gözlenen iki şeritli kavşak kollarının 25 adetinde yalnızca sol şeritte veri toplanmıştır. Üç şeritli kavşak kollarının bir tanesinde, sağa dönüş şeridinin yanı sıra orta şeritten de sağa dönüşler olduğundan, bu kavşak kolunda yalnızca sol şeritte arazi çalışması yapılmıştır. Bu kavşak kolunun dışındaki diğer bütün üç şeritli kavşak kollarında en az iki şeritte arazi çalışması yapılmıştır. Dört şeritli kavşak kollarının tamamında en sağ şeritte sağa dönen akım olmamasına karşın, bu şeritlerin yoğun olarak minibüs ve taksiler tarafından kullanılması ve taşıtların da sıkı sık durmalarından dolayı, bu şeritlerde veri toplanamamıştır.

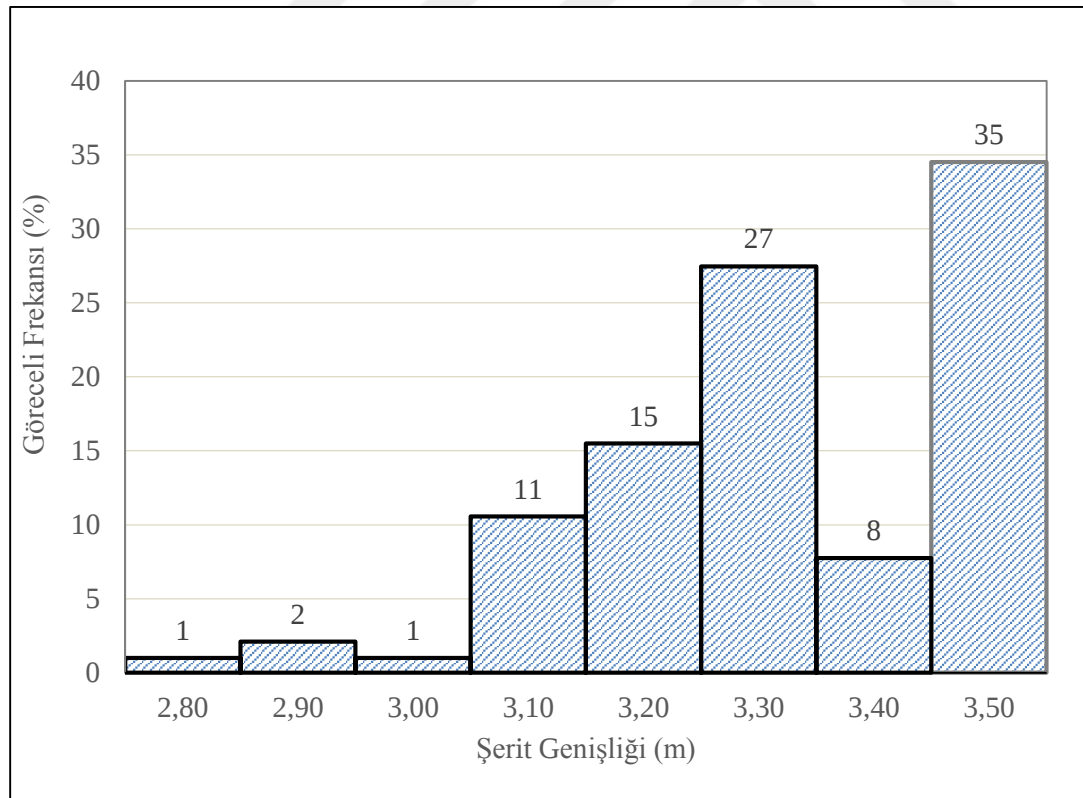
Doğru giden kavşak kolları dışında, ışıklı kavşaklarda sola dönüş şeritlerinin gözlemlendiği kavşaklar Çizelge 4.3’te verilmiştir. Sola dönüşlerde iki çeşit akım

vardır. Bunlardan birincisinde, ana yoldan yan yola (yardımcı sola dönüş şeridinden) dönen taşıtlara ait akımdır. İkincisi ise, yan yoldan gelen ve ana yola dönen taşıtların yaptığı harekettir.

Çizelge 4.3 : Sola dönen taşıtlar için çalışma yapılan şeritler.

Sola Dönüş Şekli	İncelenen Kavşak Sayısı
Ana yoldan yan yola dönüş	17
Yan yoldan ana yola dönüş	8

Bu çalışmada kavşak kolundaki şeritlerin genişliği ve kavşak kolunun eğimi ile ilgili arazi ölçümü de yapılmıştır. Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerin genişlikleri 2,80-3,50 m arasında değişmekteyken, eğimli kesimlerde ise bu değer tüm şeritlerde 3,50 m'dir. Sola dönüş şeritlerinde de benzer olarak, şerit genişliği 2,60-3,50 m arasında değişmektedir. Eğimsiz ve eğimli kesimlerdeki şerit genişliğine ait histogramlar sırasıyla Şekil 4.2'de ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

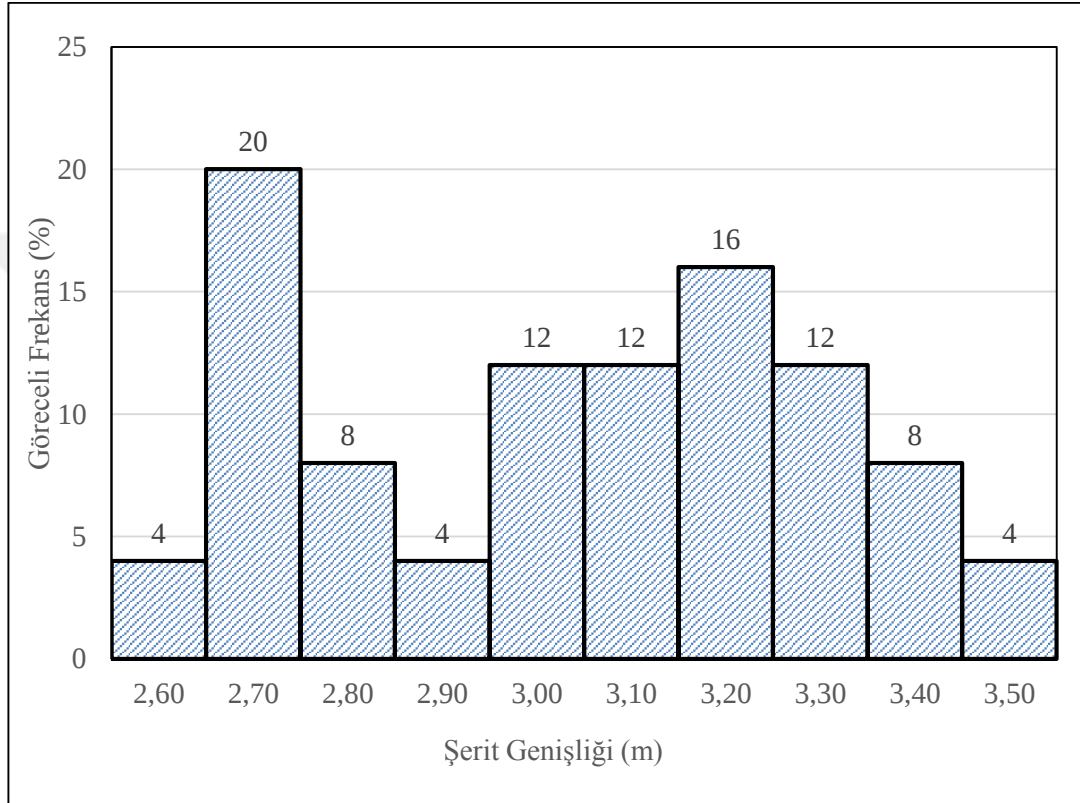


Şekil 4.2 : Eğimsiz kesimlerdeki şerit genişliklerine ait histogram.

Şekil 4.2'ye göre, eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için sekiz ayrı şerit genişliği grubu için arazi çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda söz konusu şerit genişlikleri için

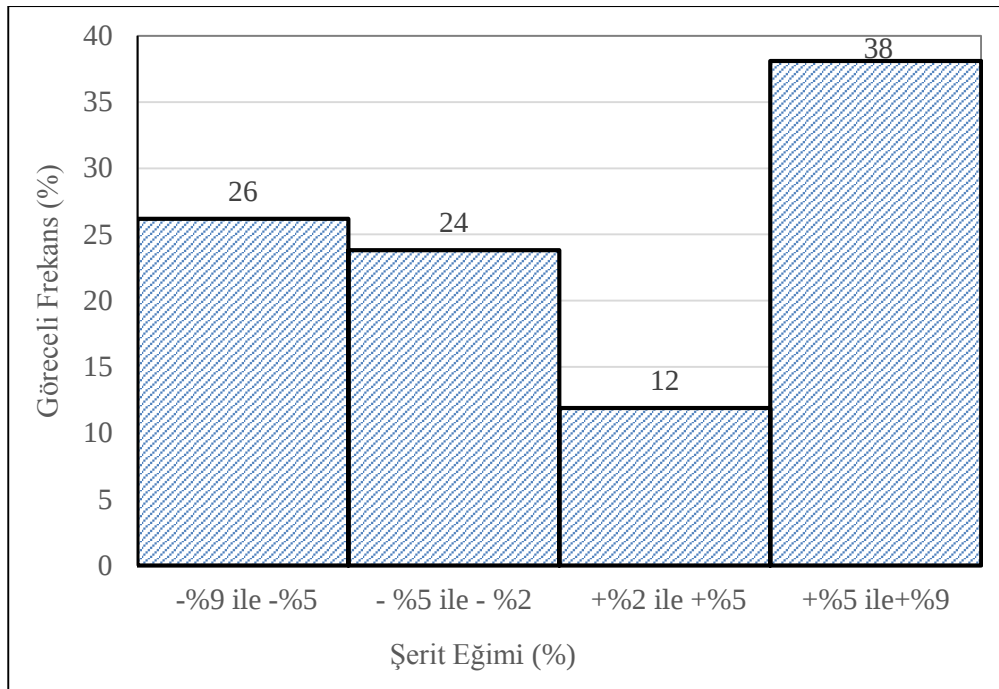
toplamda 142 şeritte taşıtların zaman cinsinden aralık değeri verileri toplanmıştır. En çok incelenen şerit genişliği %35 ile 3,50 m genişliğindeki şeritlerdir. İkinci en çok incelenen şerit genişliği ise %27 ile 3,30 m olan şerit grubu olup, en az incelenen şerit genişliği grubu ise %1 ile 2,80 m ve 3,00 m genişliğindeki şerit grupları olmuştur.

Şekil 4.3'e göre, sola dönen akımlar arasında en çok incelenen şerit genişliği, %20 ile genişliği 2,70 m olan şerit grubu olup, en az incelenen şerit genişliği grubu ise %4 ile genişliği 2,60 m, 2,90 m ve 3,50 m olan şerit gruplarıdır.



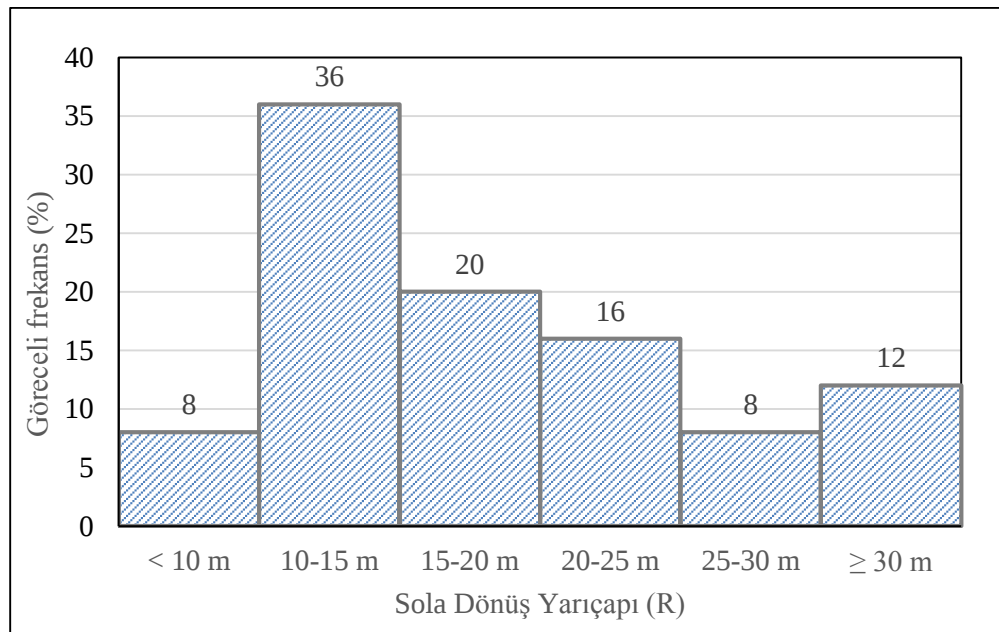
Şekil 4.3 : İncelenen sola dönen şeritlerdeki şerit genişliklerine ait histogram.

Geometrik değişkenlerden, verisi toplanan ikinci değişken ise şeritlerin boyuna eğimidir. Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için çalışma yapılan şeritlerin eğim aralıklarına ait histogram Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekile göre, eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için veri toplanan şeritlerin %38'inde eğim +%5 ile +%9 arasında değişmekte olup, %26'sında ise eğim -%9 ile -%5 arasındadır. Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar ile eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlarda tüm şeritlerin eğimi +%2 ile -%2 arasındadır.



Şekil 4.4 : Eğimli kesimlerde incelenen şerit eğimlerin histogramı.

Son olarak, eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için, çalışma yapılan kavşaklarda solan dönen şeritlerin dönüş yarıçapları ile ilgili arazi değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Buna göre, en küçük yarıçap değeri 5 m, en büyük yarıçap değeri ise 36 m'dir. İncelenen sola dönüş akımların %36'sının yarıçapı 10-15 m arasında olup, en çok incelenen sola dönüş yarıçap aralığıdır.



Şekil 4.5 : Sola dönen akımların dönüş yarıçaplarına ait histogram.

Özetle, arazide incelenen bütün kavşakların geometrik değerleri ile ilgili arazi ölçümleri tamamlanmıştır. Bir sonraki bölümde taşıt verileri ile ilgili bilgiler verilecektir.

4.3.2 Taşıt verileri

Bir önceki bölümde çalışma yapılan kavşakların geometrisi ile ilgili veriler sunulmuştur. Bu bölümde ise, incelenen ışıklı kavşak ve yaya geçitlerinde kırmızı ışıkta kuyruk oluşturan taşıtların kavşağa giriş süreleri kaydedilmiştir. Bu sürelerin belirlenmesi için izlenen yöntem şu şekilde özetlenebilir: Yeşil ışığın yanması ile kronometre çalıştırılmış, ilk taşıtın arka tamponu dur çizgisini geçtiği zaman arasındaki süre bu taşıtın zaman cinsinden aralık değeri, ikinci taşıt için ise ilk taşıtın arka tamponunun dur çizgisini geçtiği zaman ile ikinci taşıtın arka tamponunun dur çizgisini geçtiği zaman arasındaki süre bu taşıtın zaman cinsinden aralık değeri olarak belirlenmiştir. Kuyrukta bulunan diğer taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri de benzer şekilde ölçülmüştür. Burada yalnızca, ilk taşıtın zaman cinsinden aralık değeri gözlemlenirken süre için referans alınan yer farklıdır. Diğer taşıtların ise arka tamponları referans alınmıştır. Bunun yanı sıra, taşıtın hangi sınıfa ait olduğu ve kuyruk uzunluğuna ait veriler de toplanmıştır.

Dur çizgisi olan kavşak kollarının yanı sıra dur çizgisi olmayan kavşak kollarında da gözlem yapılmıştır. Bu durumda, ilk taşıtların kavşağa girmeleri için gerekli olan uzunluk, dur çizgisinin olup olmamasına bağlı olarak değişmektedir. Söz konusu farkın etkisini en aza indirmek için dur çizgisi sınırı olarak, trafik ışığı direği temel alınmıştır. Arazideki ölçümlere göre, kavşak kollarındaki dur çizgisi ile trafik ışığı direği arasındaki uzunluk 1-5 m arasında değişmektedir.

İncelenen kavşak kolları arasında iki, üç ve dört şeritli kavşak kolları bulunmaktadır. Taşıtların zaman cinsinden aralık değeri verileri kavşak kolundaki şerit sayısına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Her kavşağın, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından verilen bir numarası bulunmaktadır. Kavşaklardaki arazi çalışmaları, eğimsiz doğru giden, eğimli doğru giden ve sola dönen akımlar olmak üzere üç ayrı grupta incelenmiştir. Her bir grup da, şerit grubundaki şerit sayısına göre sıralanmıştır. Şerit grubundaki şeritler ise İBB tarafından verilen kavşak numarası küçükten büyüğe doğru sıralanarak verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, Ekler bölümünde görüldüğü üzere, toplam incelenen 209 şerit için 001'den başlayarak 209'a kadar söz konusu sıralamadaki sayılara denk gelecek şekilde her bir şeride bir numara verilmiştir. Metin içerisindeki şerit numaralandırmaları parantez içinde verilmiştir.

Ayrıca, bu çalışmada taşıtlar iki sınıfa ayrılmıştır. Eşdeğer birim otomobil değeri kamyon, otobüs gibi büyük taşıtlar için 2,0 kabul edilmiştir. Otomobil, minibüs, kamyonet vb. taşıt sınıfı ise otomobil sınıfı olarak değerlendirilmiştir.

İncelenen tüm şeritlerde gözlenen devre ve taşıt sayıları ile ilgili tüm veriler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : İncelenen şeritlerdeki gözlenen devre ve taşıt verileri.

Kavşak Kolu	İncelenen Şerit		Gözlenen	
	Yeri	Sayısı	Toplam Devre Sayısı	Toplam Taşıt Sayısı
Eğimsiz Kesimler	2 şeritli	Sol	42	1.481
		Sağ	17	573
	3 şeritli	Sol	33	1.075
		Orta	32	1.064
		Sağ	7	213
	4 şeritli	Sol	4	126
		Sol Orta	4	120
		Sağ Orta	3	90
		Sağ	0	0
	1 şeritli	Sol	1	30
Eğimli Kesimler	2 şeritli	Sol	16	541
		Sağ	1	32
	3 şeritli	Sol	12	274
		Orta	12	225
		Sağ	0	0
Sola Dönüş	Ana Yoldan Yan Yola	17	583	5.727
	Yan Yoldan Ana Yola	8	273	2.964

Çizelge 4.4'e göre eğimsiz iki şeritli 42 kavşak kolunun 25'inin sağ şeridinde karma akım söz konusu olduğundan yalnızca sol şeritte arazi çalışması yapılmıştır. İki şeritli 17 kavşak kolunda ise hem sol hem de sağ şeritte taşıt verileri toplanmıştır. Toplam 59 şeritte, 2.054 devre boyunca toplam 25.549 taşıtın zaman cinsinden aralık değerleri incelenmiştir. Her bir şeride ait gözlenen devre ve taşıt verileri Ekler bölümünde Çizelge A.1'de verilmiştir.

Üç şeritli kavşak kollarından 1850 (060 No.lu şerit) No.lu kavşağın güney doğu kolunun yalnızca sol şeridinde gözlem yapılmıştır. Diğer kavşak kollarının en az iki şeridinde taşıtlar gözlemlenmiştir. Kavşak kolunun üç şeridinde de veri toplanan kavşaklar 2222 (111, 112 ve 113 No.lu şeritler), 2242 (114, 115 ve 116 No.lu şeritler), 2254 (117, 118 ve 119 No.lu şeritler), 2262 (177 ve 178 No.lu şeritler), 2278 (123, 124 ve 125 No.lu şeritler), 2348 (126, 127 ve 128 No.lu şeritler) ve 2367 (129, 130 ve 131 No.lu şeritler) No.lu kavşaklar olmuştur. Diğer kavşakların ise sağ şeridinde karma akım söz konusu olduğundan arazi çalışması yapılamamıştır. İncelenen şeritler içinde en çok gözlenen devre sayısı, 3921 (102 No.lu şerit) No.lu kavşağın kuzey doğu kollunun orta şeridinde 47 devre olup, toplamda 514 taşıta ait zaman cinsinden aralık değerleri toplanmıştır. Benzer şekilde, en çok taşıt verisi 790 taşıt ile 2254 (070 No.lu şerit) No.lu kavşağın kuzey kolunun orta şeridinde toplanmıştır. Çizelge 4.4'e göre, 72 şeritte 2.352 devre boyunca 30.546 taşıtın zaman cinsinden aralık değerleri incelenmiştir. Söz konusu şeritlerdeki taşıt verileri Ekler bölümünde Çizelge A.2'de verilmiştir.

Dört şeritli kavşak kolları için yalnızca Fatih İlçesi sınırları içerisinde yer alan Adnan Menderes Bulvarı'nda arazi çalışması yapılmıştır. Söz konusu bulvar üzerinde dört kavşakta veri toplanmıştır. Bu kavşakların hiçbirinde, kavşak kolunun dört şeridinde de çalışma yapılamamıştır. Çünkü en sağdaki şeritlerin genellikle ticari taksi ve minibüsler tarafından yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür. Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere, dört şeritli kavşak kollarının 11 şeridinde 336 devre boyunca toplam 4.197 taşıtın zaman cinsinden aralık değerleri incelenmiştir. Bu şeritlerde gözlenen taşıt sayıları Ekler bölümünde Çizelge A.3'te verilmiştir. Bu kavşaklardan 1192 (132 ve 133) No.lu kavşağın kuzey batı kolunda sağ orta ile sağ şeritleri taksiler ve minibüsler tarafından yoğun olarak kullanıldığından bu şeritlerde çalışma yapılamamıştır.

Eğimli kesimlerde doğru giden akımlardan 1360 (145 ve 146), 1376 (147 ve 148 No.lu şeritler), 3681 (155 ve 156 No.lu şeritler), 1145 (159, 160, 161 ve 162 No.lu şeritler), 1454 (165, 166, 167 ve 168 No.lu şeritler), 2216 (173, 174, 175 ve 176 No.lu şeritler) ve 2270 (179, 180, 181 ve 182 No.lu şeritler) No.lu kavşakların iki kolunda, diğer kavşaklarda ise yalnızca bir kolda taşıt verisi toplanmıştır. Bunun yanında, yalnızca bir şeritli kavşak kolunda bir şeritte; iki şeritli kavşak kolları için 12 kavşak kolunun yalnızca sol şeridinde, bir kavşak kolunun iki şeridinde; üç şeritli kavşak kolları için 12 kavşak kolunda ise iki şeritte arazi çalışması yapılmıştır. Çizelge 4.4'te görüldüğü

üzere eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için 42 şeritte, 1.359 devre boyunca toplam 17.920 taşıt verisi toplanmış ve Ekler bölümünde Çizelge A.4'te verilmiştir.

Son olarak, eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için de arazi çalışması yapılmıştır. Sola dönen akımlar için iki farklı akım durumu söz konusudur. Bu çalışma kapsamında 17 adet ana yoldan yan yola dönen ile sekiz adet yan yoldan ana yola dönen akımlar incelenmiştir. Çizelge 4.4'e göre, toplam 856 devre boyunca toplam 8.691 taşıtın zaman cinsinden aralık değeri verileri toplanmış olup, ilgili taşıt bilgileri Ekler bölümünde Çizelge A.5'te verilmiştir.



5. ARAZİ VERİLERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ

5.1 Zaman Cinsinden Doygun Aralığın Belirlenmesi

Belirlenen 209 farklı şeritte, toplam 86.903 taşıtın zaman cinsinden aralık değerleri kaydedilmiştir. İncelenen her şeritte, en az bir saat ve 30 devre boyunca kavşağa giren taşıtlara ait veriler toplanmıştır.

Literatürde, “zaman cinsinden doygun aralık değerinin bir kavşak kolunun farklı şeritleri için değişmediği” görüşü yaygın olmakla birlikte, bu çalışmada aynı kavşak kolunun iki ya da daha fazla şeridi incelendi ise, bu şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralığın istatistiksel olarak aynı kabul edilip edilmeyeceği ANOVA (Analysis of Variance) testi ile sınanmıştır. Zaman cinsinden doygun aralık değeri farklı çıkması durumunda bu sonucun veri eksikliğinden kaynaklanabileceği düşünülerek, her bir şeritte 15 devre daha ilave gözlem yapılmış olup, çıkan sonucun geçerliliği daha büyük bir örnek sayısı ile yeniden sınanmıştır.

Veri çözümlemesine geçilmeden önce kuyruktaki en son hangi taşıtın alınacağını belirlemek için bir ölçüt belirlenmiştir. Bu ölçüt, kuyruğun en son sırasındaki taşıtın 30 devrede en az 20 kez gözlenmiş olmasıdır. Örneğin 12. taşıtın kuyruktaki son taşıt olması için en az 20 kez gözlenmiş olması gereklidir. Kuyruk 30 devre boyunca daha uzun olup, 13 ve üstü taşıt 20’den az kez gözlenmiş olabilir.

Yukarıdaki ölçüte göre, toplamda 79.868 adet taşıtın verisi çözümleme için kullanılmış olup, gözlenen 7.035 taşıtın verisi çözümlemelerde kullanılmamıştır. Bu değer de arazide veri toplanan toplam taşıtın % 8,09’una denk gelmekte olup, söz konusu değer bu çalışmadaki veri kaybı yüzdesidir.

Araziden toplanan zaman cinsinden aralık değerinin, kuyruktaki kaçınıcı taşıttan sonra doygunluğa eriştiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu belirleme için ANOVA testinden yararlanılmıştır. Eğer kuyruktaki birinci taşıttan sonuncu taşıta kadar tüm taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri aynı olursa, zaman cinsinden doygun aralık değeri kuyruktaki ilk taşıttan başlamaktadır.

ANOVA testi bir hipotez testi olup, bu testteki sıfır hipotezi (H_0) tüm grup ortalamalarının aynı toplumdaki gelmesidir. Bu çalışmada, kuyruktaki her sıradaki taşıtlar bir grup kabul edilerek (1. sıradaki taşıtlar 1. grup, 2. sıradaki taşıtlar 2. grup vb.) bu grupların aynı toplumdaki gelip gelmedikleri başka bir deyişle ortalamalarının istatistiksel olarak eşit olup olmadığı ANOVA testi ile araştırılmıştır.

Zaman cinsinden doymuş aralık değerinin hangi taşıttan sonra başladığının belirlenmesi için öncelikle tüm gruplar bir arada ANOVA testi yapılmıştır. Testte sıfır hipotezinin red edilmesi durumunda, kuyruktaki 1. sırada olan taşıtlar (1. grup) çıkartılarak test yinelenmiştir. H_0 hipotezinin yeniden red edilmesi durumunda kuyruktaki 2. taşıtlar da (2. grup veri) veri setinden çıkartılarak ANOVA testi yinelenmiştir. Bu işlem, H_0 hipotezi kabul edilene kadar sürdürülmüş, H_0 hipotezi kabul edildiğindeki kuyrukta kalan ilk taşıt sırası, zaman cinsinden doymuş aralık değerinin başladığı kuyruk sırası olarak belirlenmiştir. ANOVA testlerinde %5 anlamlılık düzeyi kullanılmıştır.

Araziden elde edilen verilere göre, farklı kavşak kollarındaki zaman cinsinden doymuş aralığın ve başlangıç zaman kaybının birbirinden nicelik olarak farklı olduğu görülmektedir. Hatta aynı kavşak kolundaki şerit grubunda bulunan şeritlere ait zaman cinsinden doymuş aralık değerinin farklı taşıtlardan sonra başladığı gözlemlenmiştir.

Bu bölümde, ışıklı kavşak kollarındaki taşıtlara ait zaman cinsinden aralık ve başlangıç zaman kaybına ait değerler, doğru giden eğimsiz, doğru giden eğimli ve sola dönen akım olmak üzere üç başlık altında ayrı ayrı incelenmiştir. Her bölümde şerit grubundaki şerit sayısına göre de taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri verilmektedir.

5.1.1 Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doymuş aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri

Işıklı kavşaklarda, sürücü davranışları (kırmızı ışık, şerit çizgisi ve dur çizgisine uymamalar, yanlış şerit kullanımı gibi), taşıtların kavşağa girme hızlarını ve taşıtların zaman cinsinden aralık değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Sürücü özelliklerinin ve sürüş alışkanlıklarının bir sonucu olan ve etkin yeşil süreyi de etkileyen tepki süresi, sürücü davranışını gösteren önemli göstergelerden biridir (Çalışkanelli, 2010).

Normal şartlarda, incelenen kavşak kolunda kaç şerit bulunuyorsa, her bir şeritteki veriler için ayrı ayrı arazi çalışması yapılması gerekmektedir. Ancak, çalışma yapılan

kavşak kolundaki şeritlerden birinde karma akım söz konusu ise (bir şeritte hem sağa dönen hem doğru giden akım ya da hem doğru giden hem de sola dönen akım varsa) bu şeritlerde çalışma yapılmamıştır. Bu tez kapsamında, yalnızca tek yöne (doğru ya da sola) giden akım şeritleri incelenmiştir.

Bölüm 2’de de ifade edildiği üzere, zaman cinsinden doygun aralık değerinin kuyruktaki hangi taşıttan sonra başladığı, ülkeden ülkeye, şehirden şehire değiştiği hatta aynı kavşağın farklı kollarında aynı olmadığı belirtilmiştir. Bu alandaki en önemli çalışmaların başında gelen Karayolu Kapasite El Kitabı’nda (TRB, 2010) zaman cinsinden doygun akım değerinin 5. taşıttan başladığı belirtilmiştir. Ancak arazide yapılan çalışmalar, zaman cinsinden doygun akım değerinin başlangıç aralık değerinin değişken olduğunu göstermekte ve aynı zamanda diğer çalışmalardaki gibi doygun akım bölgesinin farklı taşıt konumlarından başladığını doğrulamaktadır.

Bölüm 4.3.2’de eğimsiz ve eğimli kesimlerde doğru giden akımlar ile eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için kavşak kollarında her bir şerit için yapılan çalışmada, arazide ölçülen taşıtların ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Bu bölümde de söz konusu şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralık değerinin kaçınıcı taşıttan başladığı ANOVA testi yardımıyla belirlenmiştir. ANOVA testi ile ilgili örnek birkaç çalışma Ekler bölümünde Ek B’de verilmiştir.

Çizelgeler, sırasıyla kavşak kolunda yalnızca tek (sol) şeriti, iki şeridi, üç şeridi ve dört şeridi olmak üzere incelenen şeritlerin verileri kavşak numarasına göre sıralanmıştır. Bu bölümde, zaman cinsinden doygun aralık değerinin kaçınıcı taşıttan başladığı belirlendikten sonra, başlangıç zaman kaybı olan taşıtların zaman cinsinden aralık değerinden, zaman cinsinden doygun aralık değeri çıkartılarak taşıt başına başlangıç zaman kaybı da hesaplanmıştır. Her bir taşıt için söz konusu kayıp sürelerin toplamı, ilgili şeritteki başlangıç zaman kaybını oluşturmaktadır.

Çizelge 5.1’de eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için arazide toplanan verilerin çözümleme sonuçları verilmiştir. Çizelgede şerit başına zaman cinsinden doygun aralık değeri, doygun akım değerinin kaçınıcı taşıttan başladığı ve başlangıç zaman kaybı değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.1’e göre, eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen iki, üç ve dört şeritli kavşak kollarının 142 şeridinde gözlenen taşıtların zaman cinsinden doygun aralık değerleri 1,74-2,15 Sn. arasında değişmekte olup, ilgili histogram Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri.

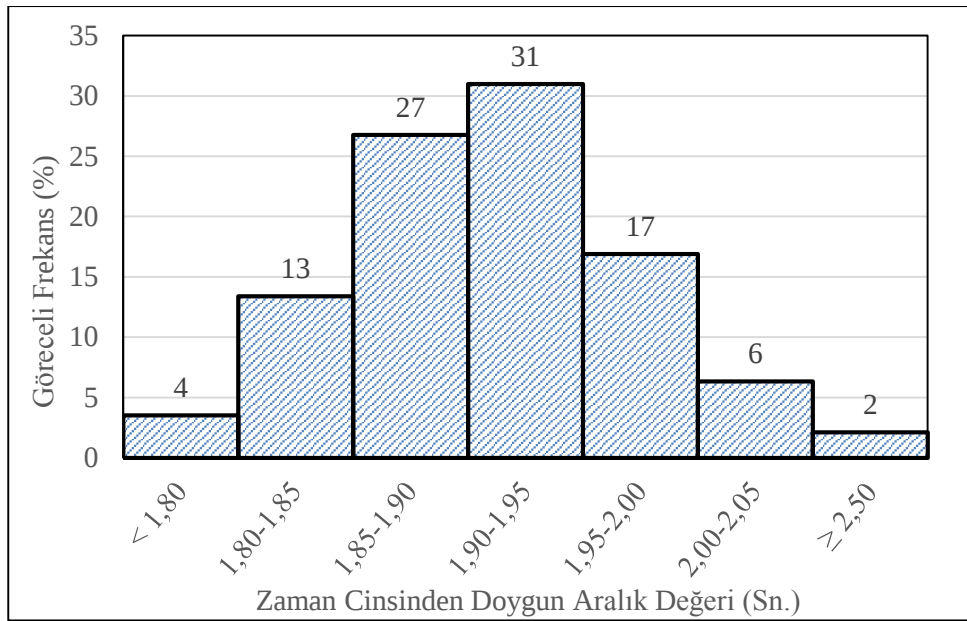
İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım Bölgesi (tş)	λ_1 (Sn.)	İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım Bölgesi (tş)	λ_1 (Sn.)
001	1,91	4-12	1,95	041	1,87	3-8	1,98
002	1,82	5-16	2,43	042	1,87	4-18	2,86
003	1,81	5-11	2,11	043	1,99	2-10	1,02
004	1,95	3-13	1,74	044	1,95	4-15	2,54
005	1,85	4-11	1,89	045	1,98	5-13	2,74
006	1,87	3-8	2,02	046	1,76	4-29	2,30
007	1,94	3-16	1,30	047	1,80	4-19	1,61
008	2,04	4-12	2,20	048	1,92	3-13	1,52
009	1,98	3-10	2,42	049	1,98	3-10	1,45
010	1,87	3-11	1,35	050	1,87	4-10	2,07
011	2,14	3-9	1,47	051	1,94	3-9	2,01
012	1,96	4-10	2,33	052	1,92	2-15	1,12
013	1,94	3-10	1,84	053	1,96	3-10	1,26
014	1,93	4-10	1,70	054	2,03	2-15	1,23
015	1,97	3-10	1,51	055	2,01	3-14	1,98
016	1,92	3-17	1,87	056	2,15	3-10	1,76
017	1,95	4-16	1,86	057	1,97	6-9	2,83
018	1,92	2-14	0,99	058	2,05	2-12	1,01
019	1,96	3-11	1,80	059	2,05	3-9	1,78
020	1,80	3-10	2,20	060	1,84	4-15	2,42
021	1,87	3-10	2,45	061	1,91	5-11	2,79
022	1,87	2-16	1,15	062	1,89	4-10	2,31
023	1,94	3-14	1,83	063	1,97	5-12	2,93
024	1,85	3-12	1,28	064	1,98	2-12	1,05
025	1,94	2-17	1,11	065	1,92	4-20	2,27
026	1,74	5-14	1,74	066	1,93	3-9	2,02
027	1,80	4-16	2,09	067	1,94	3-10	1,62
028	1,81	4-17	2,06	068	1,98	2-10	1,19
029	1,88	4-14	1,97	069	1,83	2-25	0,60
030	1,81	4-10	2,53	070	1,83	3-26	1,35
031	1,91	4-8	2,66	071	1,97	3-11	1,64
032	1,90	4-12	2,10	072	1,91	4-14	2,47
033	1,96	3-9	2,14	073	1,96	2-13	1,34
034	1,95	4-2	2,53	074	1,98	3-10	1,99
035	2,00	4-9	2,36	075	1,83	4-11	2,39
036	2,03	7-13	1,15	076	1,89	4-11	2,61
037	1,92	4-17	2,55	077	1,91	3-25	2,09
038	1,75	5-16	2,78	078	1,91	4-18	2,84
039	1,85	5-16	2,76	079	1,84	3-20	1,13
040	1,89	4-13	2,32	080	1,87	3-14	1,22

Çizelge 5.1 (devam) : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri.

İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım bölgesi (tş)	λ_1 (Sn.)	İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım bölgesi (tş)	λ_1 (Sn.)
081	1,94	5-14	2,90	112	1,90	2-7	1,44
082	1,93	5-11	2,92	113	1,91	4-8	2,24
083	1,91	3-14	1,05	114	1,95	2-15	1,43
084	1,88	3-14	0,75	115	1,95	4-13	2,29
085	1,92	3-13	1,15	116	1,96	3-9	1,84
086	1,84	4-12	1,73	117	1,84	4-16	0,90
087	1,88	4-15	1,98	118	1,90	3-12	0,83
088	1,81	4-12	2,17	119	1,90	4-14	2,23
089	1,88	2-10	0,96	120	1,86	5-14	2,73
090	1,89	3-12	1,53	121	1,88	3-9	2,63
091	1,94	3-13	1,63	122	1,95	3-9	2,46
092	1,89	4-12	2,44	123	1,78	8-19	3,10
093	1,88	3-11	1,62	124	1,87	3-21	2,06
094	1,97	3-9	2,07	125	1,93	3-13	1,56
095	1,95	3-14	1,90	126	1,89	3-15	1,25
096	1,95	3-10	1,78	127	1,93	3-11	2,08
097	1,95	2-14	1,14	128	1,79	6-12	3,29
098	1,89	3-20	2,05	129	1,89	3-11	1,65
099	1,91	3-11	1,18	130	1,90	3-8	2,61
100	1,86	3-10	0,95	131	1,96	3-8	1,54
101	1,92	4-10	1,37	132	1,96	3-9	1,68
102	1,90	4-13	1,17	133	1,93	4-10	2,40
103	1,90	3-22	1,52	134	2,00	3-9	1,78
104	1,91	3-16	2,17	135	1,93	3-15	1,99
105	2,05	3-11	1,76	136	1,97	2-9	1,39
106	2,00	2-11	1,84	137	1,80	5-19	2,37
107	2,05	3-12	2,21	138	1,90	3-16	1,41
108	2,12	3-8	1,81	139	1,87	3-13	1,99
109	1,95	3-10	2,07	140	1,88	2-13	0,40
110	2,01	3-9	1,46	141	1,89	4-12	1,45
111	1,88	2-12	0,97	142	1,86	5-14	2,77

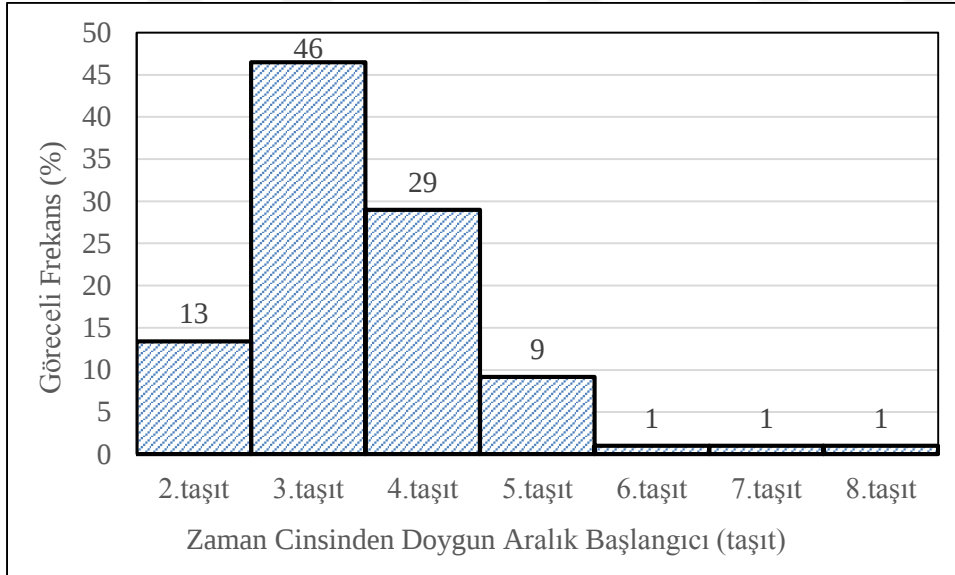
Yukarıdaki çizelgeye göre, en büyük zaman cinsinden doygun aralık değeri 4502 No.lu (056 No.lu şerit) kavşağın kuzey doğu kolunun sol şeridinde, en küçük değer ise 1106 No.lu (026 No.lu şerit) kavşağın doğu kolunun sol şeridinde hesaplanmıştır.

Şekil 5.1'e göre en fazla gözlenen zaman cinsinden doygun aralık değeri %31 ile 1,90-1,95 Sn. arasında olmuştur. İkinci en fazla gözlenen zaman cinsinden doygun aralık değeri %27 ile 1,85-1,90 Sn. arasında gözlemlenmiştir. En az gözlenen zaman cinsinden doygun aralık değeri %2 ile 2,50 Sn.den büyük aralıkta gerçekleşmiştir.



Şekil 5.1 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden aralık değerleri histogramı.

Benzer şekilde, zaman cinsinden doymun aralığının kaçınıcı taşıttan başladığı ile ilgili incelemede, doğru giden eğimsiz kavşak kollarında yapılan çalışmanın sonuçları ile ilgili histogram Şekil 5.2’de verilmiştir. Buna göre, incelenen şeritlerin %46’sında zaman cinsinden doymun aralık 3. taşıttan, %29’unda ise 4.taşıttan başlamıştır.

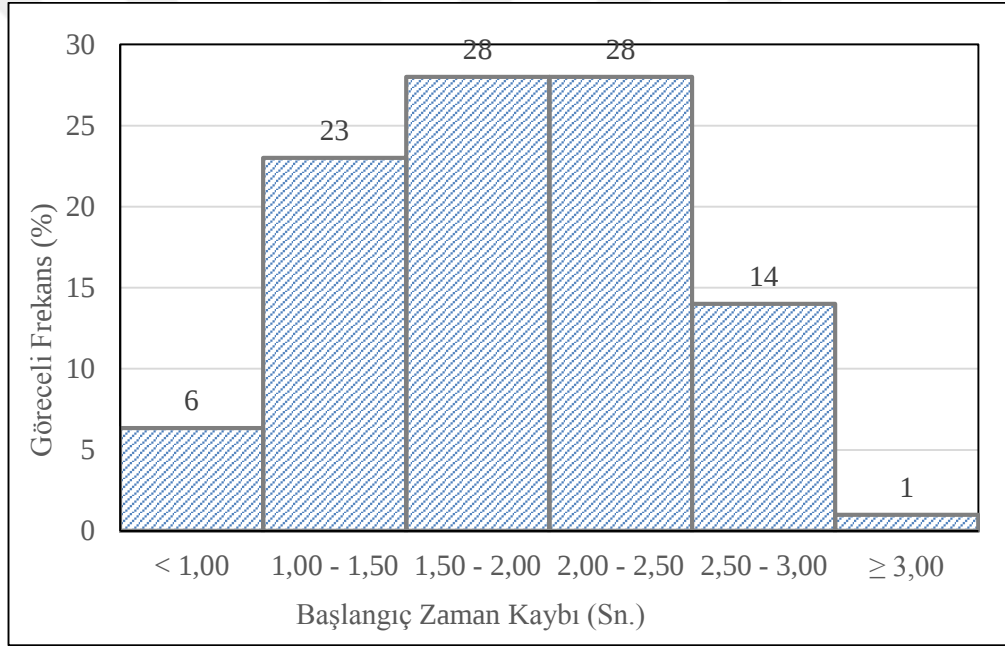


Şekil 5.2 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doymun aralığının başlangıç taşıttına ait histogram.

İki şeritli kavşakların iki şeridinde de gözlem yapılan kavşak kollarında, zaman cinsinden doymun aralık değeri başlangıç bölgesi şerit konumuna göre kıyaslandığında, aynı kavşak kolu için, %35’inde zaman cinsinden doymun aralık değeri aynı taşıt sırasından, %65’inde ise farklı taşıt sırasından başlamıştır. Üç şeritli

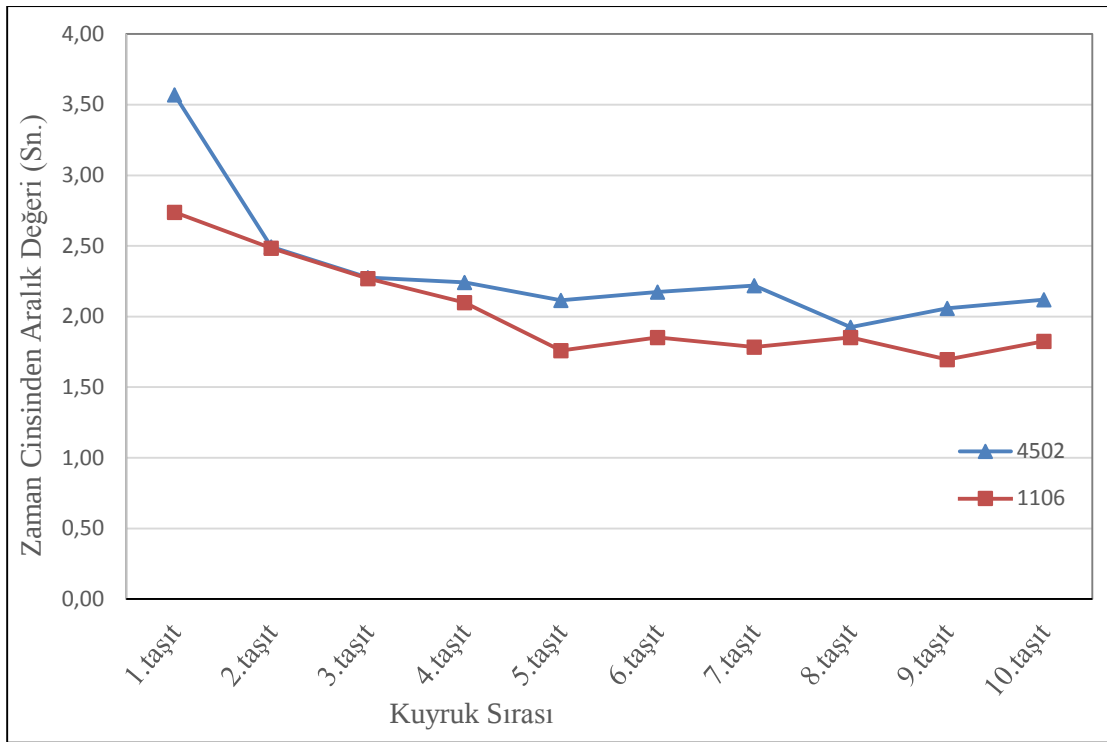
kavşak kolları için zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıç bölgesi şerit konumu açısından incelendiğinde, üç şeritli kavşak kollarının iki iki şeridi gözlenen kavşak kollarının %48’inde zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıcı aynı taşıt sırasından, %52’sinde ise farklı taşıt sırasından başlamıştır. Üç şeridinde de veri toplanan kavşak kollarının %14’ünde ise her üç şeritte de zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıcı aynı taşıttan başlamıştır.

Işıklı kavşaklarda etkin yeşil süreyi etkileyen değişkenlerden biri de başlangıç zaman kaybı değeridir. Eğimsiz kavşaklarda doğru giden akımlar için şerit temelli hesaplanan başlangıç zaman kaybı değeri ile ilgili en küçük değer 0,40 Sn., en büyük değer ise 3,29 Sn. olarak hesaplanmış olup, söz konusu değerlere ait histogram Şekil 5.3’te verilmiştir. Şekile göre başlangıç zaman kaybı değerinin en yüksek olduğu aralık değeri %28 ile 1,50-2,00 Sn. ve 2,00-2,50 Sn. iki farklı aralıkta hesaplanmıştır.



Şekil 5.3: Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için başlangıç zaman kaybı histogramı.

Son olarak, yukarıda da belirtildiği üzere, en küçük zaman cinsinden doygun aralık değeri 1,74 Sn. ve en büyük zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,15 Sn. ile sırasıyla 1106 No.lu (026 No.lu şerit) kavşağın doğu kolunun sol şeridinde ve 4502 No.lu (056 No.lu şerit) kavşağın kuzey doğu kolunun sol şeridinde gözlemlenmiş olup, bahsi geçen şeritlerdeki taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4 : Doğru giden eğimsiz kavşaklarda zaman cinsinden doygun aralık değeri en küçük ve en büyük olan kavşak kolları.

Özetle, eğimsiz kesimde doğru giden akımlar için iki şeritli kavşak kollarının 59 şeridinde, üç şeritli kavşak kollarının 72 şeridinde ve dört şeritli kavşak kollarının 11 şeridinde olmak üzere toplam 142 şeritte taşıtların kavşağa girerken birbirini izlediği zaman cinsinden doygun aralık değerleri, başlangıç zaman kaybı değerleri ve doygun akım değerlerinin kaçınıcı taşıttan başladığı ile ilgili çözümlemeler yapılmıştır.

5.1.2 Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri

Kavşak kollarındaki boyuna eğim, taşıtların duruş mesafesini, kalkış süresini ve zaman cinsinden aralık değerini etkileyen önemli geometrik değişkenlerden biridir. Bu bölümde, eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerdeki gözlenen taşıtlarla ilgili çözümlemeler yer almaktadır.

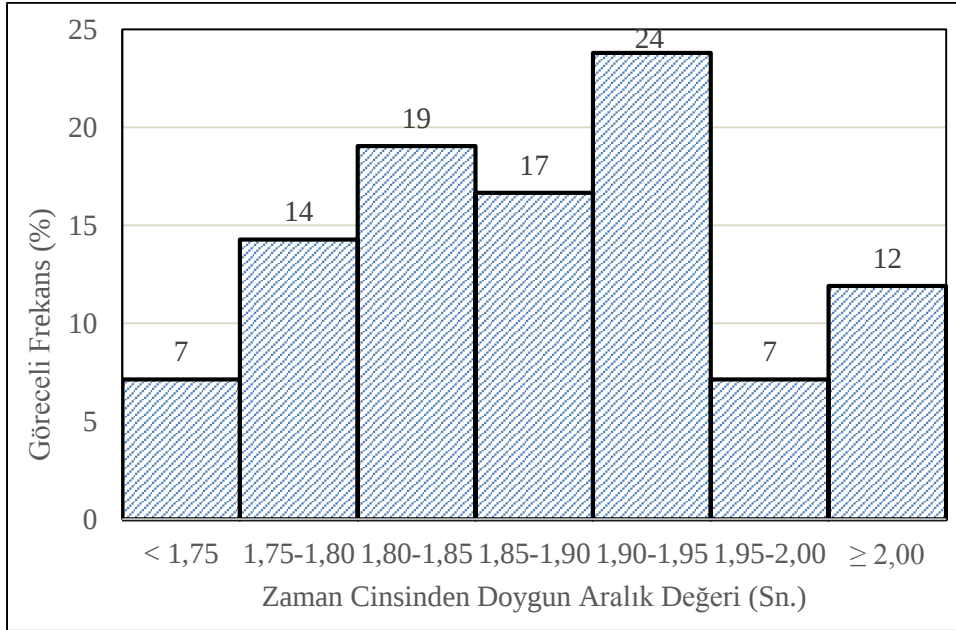
Çizelge 5.2’de eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerde hesaplanan zaman cinsinden doygun aralık değeri, doygun akım değerinin kaçınıcı taşıttan başladığı ve başlangıç zaman kaybı değeri ile ilgili çözümleme sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doygun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri.

İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım Bölgesi (tst)	λ_1 (Sn.)	İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım Bölgesi (tş)	λ_1 (Sn.)
143	1,80	2-15	1,09	164	1,89	5-9	2,42
144	1,98	4-11	2,09	165	1,95	4-22	1,97
145	1,90	3-14	1,23	166	1,95	3-14	2,27
146	1,91	2-17	1,36	167	1,67	4-26	1,65
147	2,01	4-17	2,39	168	1,73	4-25	2,27
148	1,86	3-13	1,97	169	1,82	4-15	2,25
149	1,84	3-12	1,47	170	1,76	5-15	2,78
150	2,06	2-10	1,40	171	1,75	4-13	1,40
151	1,94	4-14	2,61	172	1,82	3-11	1,90
152	1,86	3-14	1,88	173	1,94	3-10	1,20
153	1,84	4-10	2,79	174	1,95	4-9	1,85
154	1,85	4-17	2,39	175	1,77	4-10	1,96
155	2,06	3-10	1,20	176	1,78	4-12	2,17
156	1,88	3-12	1,39	177	1,93	3-11	2,15
157	1,87	3-14	2,19	178	1,77	4-10	2,10
158	2,08	2-9	1,00	179	1,78	3-12	1,86
159	1,76	4-18	2,78	180	1,93	3-9	1,83
160	1,72	4-14	2,43	181	1,77	3-15	2,59
161	1,99	2-12	1,88	182	1,78	3-16	1,51
162	1,99	3-10	2,50	183	1,93	3-15	1,39
163	2,01	3-10	1,83	184	1,77	3-12	1,33

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü üzere toplam 42 eğimli şeritte arazi çalışması yapılmıştır. En küçük zaman cinsinden doygun aralık değeri 1,67 Sn. ile 1454 No.lu (167 No.lu şerit) kavşağın kuzey kolunun sol şeridinde ve en büyük zaman cinsinden doygun aralık değeri ise 2,08 Sn. ile 3842 No.lu (158 No.lu şerit) kavşağın güney batı kolunun tek (sol) şeridinde hesaplanmıştır.

Eğimli şeritlerde hesaplanan zaman cinsinden doygun aralık değerine ait histogram ise Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden aralık değerleri.

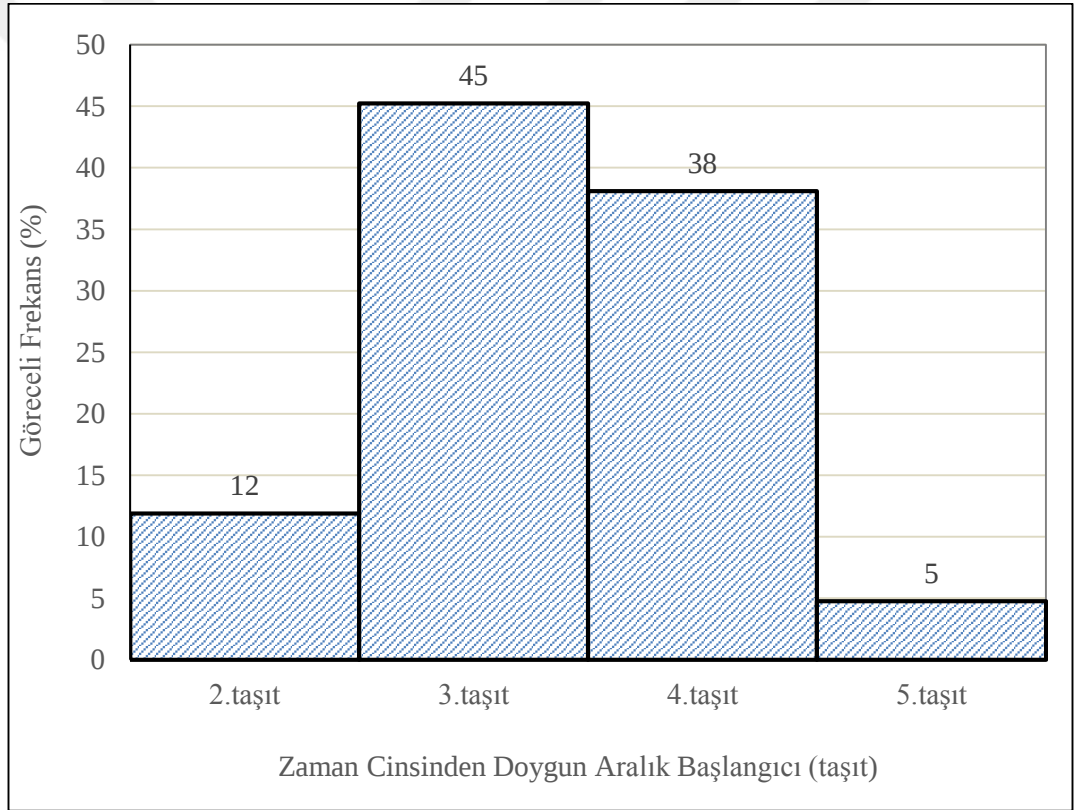
Şekil 5.5'e göre, incelenen şeritlerin %24'ünün zaman cinsinden doygun aralık değeri 1,90-1,95 Sn. olup, en çok gözlenen aralık olmuştur. İkinci en büyük gözlenen zaman cinsinden doygun aralık değeri %19 ile 1,80-1,85 Sn.aralığında gerçekleşmiştir. En az gözlenen zaman cinsinden doygun aralık değeri %7 ile 1,75 Sn.den küçük ile 1,95-2,00 Sn. arasında olan iki farklı aralıklarda aynı sayıda gözlemlenmiştir.

Çalışma yapılan 1360 No.lu (145 ve 146 No.lu şeritler) kavşağın eksi eğimli güney batı ve artı eğimli kuzey doğu, 1376 No.lu (147 ve 148 No.lu şeritler) kavşağın artı eğimli güney batı ve eksi eğimli kuzey doğu, 3681 No.lu (155 ve 156 No.lu şeritler) kavşağın artı eğimli güney ve eksi eğimli kuzey, 1145 No.lu (159, 160, 161 ve 162 No.lu şeritler) kavşağın eksi eğimli güney batı ve artı eğimli kuzey doğu, 1454 No.lu (165, 166, 167 ve 168 No.lu şeritler) kavşağın artı eğimli güney ve eksi eğimli kuzey, 2216 No.lu (173, 174, 175 ve 176 No.lu şeritler) kavşağın artı eğimli güney batı ve eksi eğimli kuzey doğu ve 2270 No.lu (179, 180,181 ve 182 No.lu şeritler) kavşağın

artı eğimli güney ve eksi eğimli kuzey kollarının iki kolunun aynı eğime sahip, fakat zıt yönde trafik akımı söz konusudur.

Çizelge 5.2’de söz konusu kavşakların eksi ve artı eğimli kavşak kollarının tamamında eksi eğimli şeritteki kolda hareket eden taşıtların zaman cinsinden doymun aralık değeri, artı eğimli şeritteki kolda hareket eden taşıtların zaman cinsinden doymun aralık değerini etkilediğinin göstergesi olduğunu kanıtlamaktadır.

Eğimli kesimlerde doğru giden akım için arazi çalışması yapılan şeritlerde incelenen başka bir değişken de zaman cinsinden doymun aralık değerinin kuyruktaki kaçınıcı taşıttan başladığıdır. Çizelge 5.2’ye göre, zaman cinsinden doymun aralık değerinin kavşaktan kavşağa hatta aynı kavşak kolunun şerit konumları için farklı taşıttan başladığı görülmekte olup, ilgili histogram Şekil 5.6’da verilmiştir.

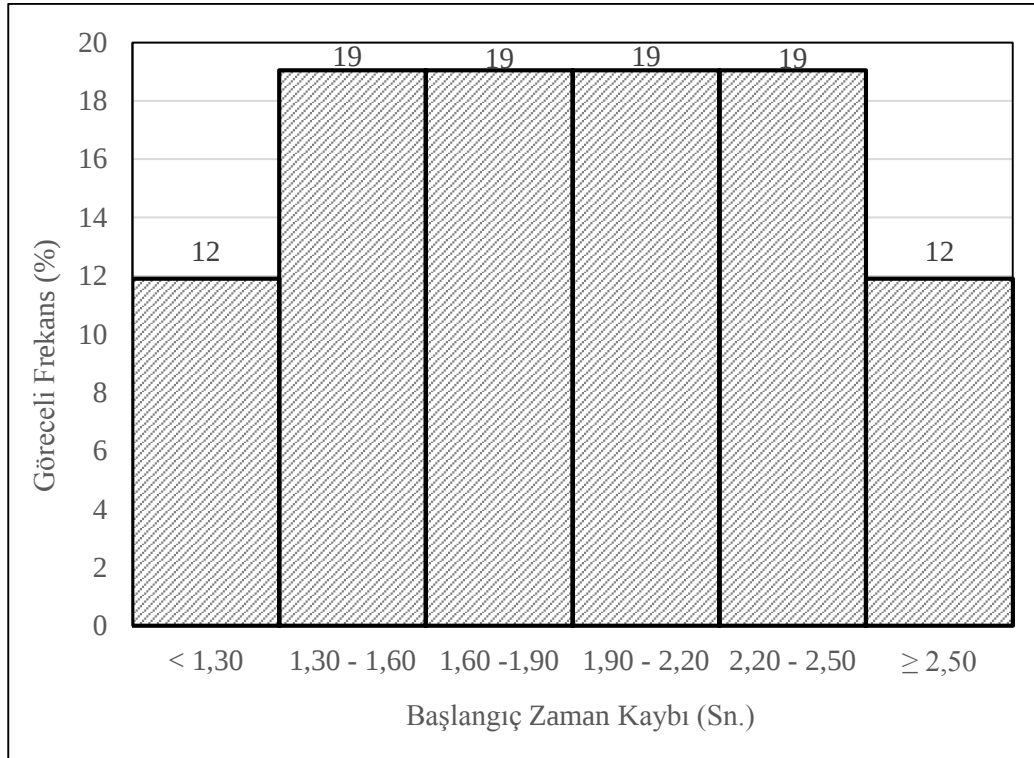


Şekil 5.6 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için zaman cinsinden doymun aralığının başladığı taşıtlara ait histogram.

Yukarıdaki şekile göre, incelenen şeritlerin %45’inde ve %38’inde zaman cinsinden doymun akım aralığı değeri sırasıyla 3. ve 4. taşıtlardan başlamıştır. Geri kalan şeritlerin %12’sinde ve %5’inde zaman cinsinden doymun aralık değeri, benzer şekilde sırasıyla 2. ve 5. taşıt sırasından başlamıştır.

Birden fazla şeritte gözlem yapılan kavşak kollarında, şerit konumuna göre zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıcı karşılaştırıldığında ilgili şeritlerin %46'sında zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıcı aynı taşıttan başlarken, %54'ünde farklı taşıttan başlamıştır.

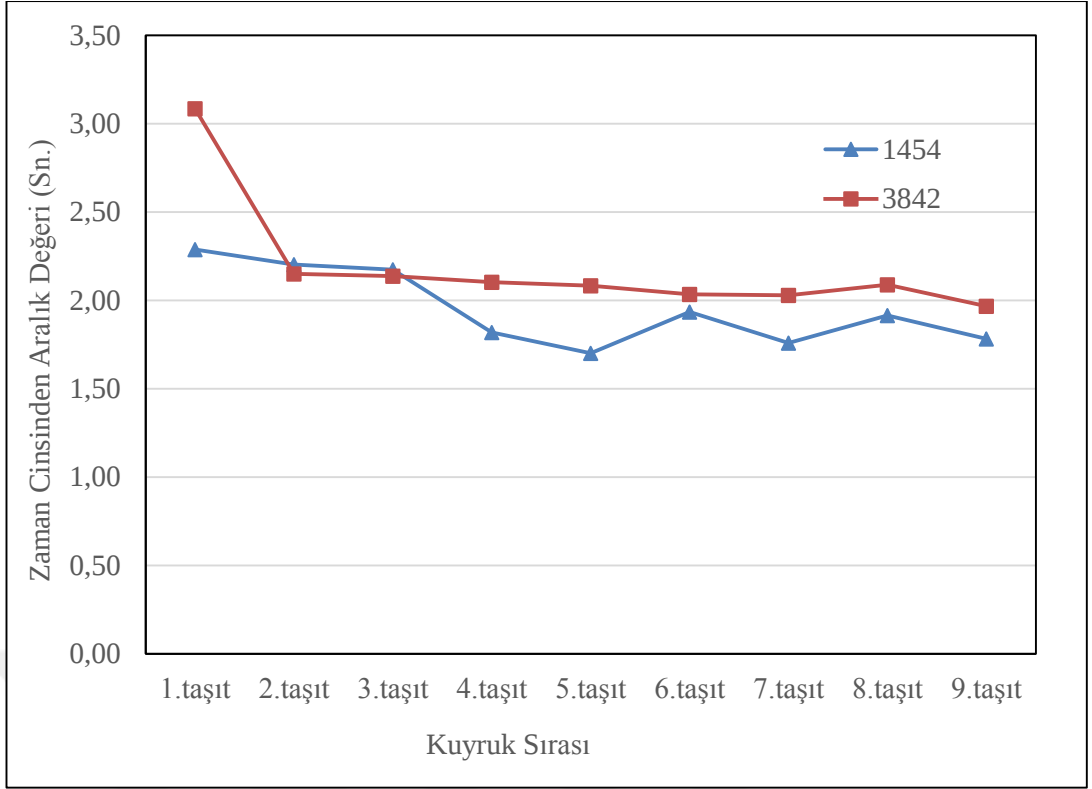
Benzer şekilde incelenen başka bir büyüklük de başlangıç zaman kaybının büyüklüğü ile ilgilidir. Çalışma yapılan şeritlerde hesaplanan başlangıç zaman kaybı 1 Sn. ile 2,79 Sn. arasında değişmekte olup, bahse konu büyüklüğe ait histogram Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için hesaplanan başlangıç zaman kaybına ilişkin histogram.

Yukarıdaki şekile göre incelenen şeritlerin başlangıç zaman kaybı değeri 1,30 Sn.den küçük olanlar ile başlangıç zaman değeri 2,50 Sn.den büyük olanların sayısı eşit ve en küçük oran olup, değeri %12 olarak bulunmuştur. Benzer sonuç, diğer dört farklı başlangıç zaman kaybı aralığı için de eşit ve en büyük değer olmakta olup, %19 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma grubu için yukarıda belirtildiği üzere zaman cinsinden doygun aralık değeri için en küçük ve en büyük değerleri sırasıyla 1454 No.lu kavşağın kuzey kolunun sol şeridi ile 3842 No.lu kavşağın güney batı kolunun tek (sol) şeritlerinde gerçekleşmiş olup, bu şeritlerde gözlenen taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Eğimli şeritlerde zaman cinsinden doymun aralık değeri en küçük ve en büyük olan şeritlerde gözlenen taşıtlar.

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere, zaman cinsinden doymun aralık değeri en küçük olan 1454 (167 No.lu şerit) No.lu kavşağın kuzey kolunun sol şeridinde gözlenen taşıtların kuyruk uzunluğu 9, aynı şekilde en büyük zaman cinsinden doymun aralık değerinin gözleendiği 3842 No.lu (158 No.lu şerit) kavşağın güney batı kolunun tek (sol) şeridinde gözlenen kuyruk uzunluğu 9'dur. Benzer bir sonuç da, 1454 No.lu (167 no.lu şerit) kavşaktaki ilk taşıtların zaman cinsinden aralık değerinin, 3842 No.lu (158 no.lu şerit) kavşaktaki şerittekilerden daha düşük olmasıdır.

5.1.3 Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için zaman cinsinden doymun aralık ve başlangıç zaman kaybı değerleri

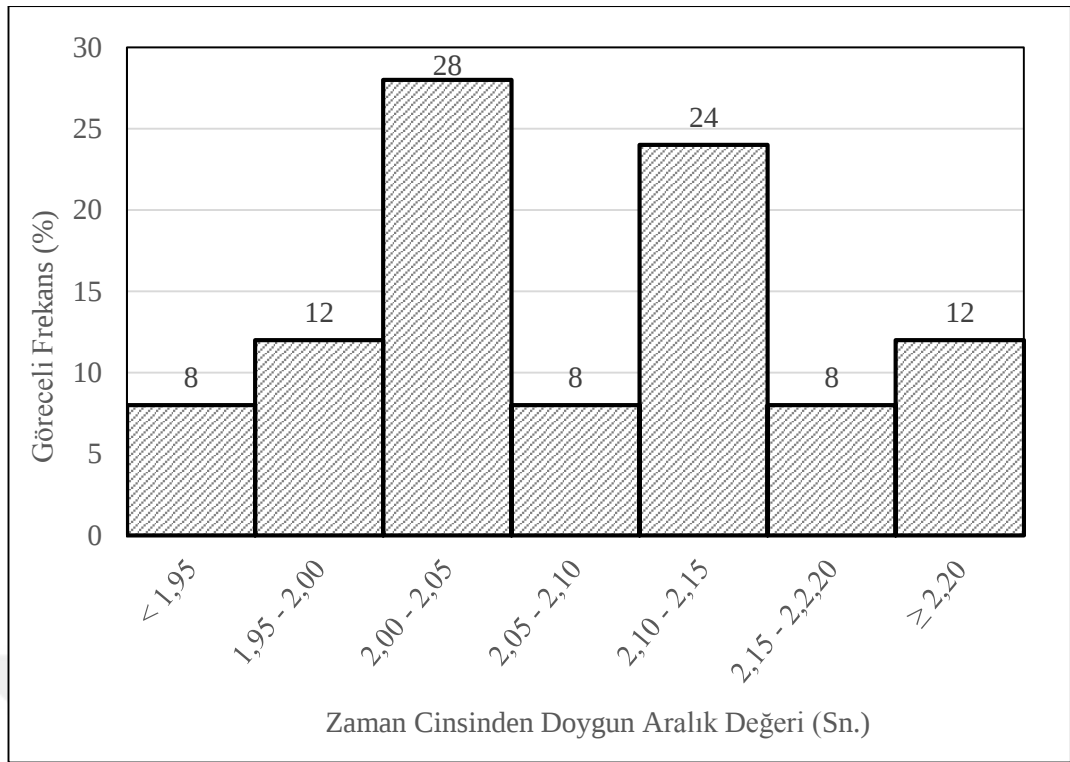
Arazide ışıklı kavşaklarda sola dönen taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri ile ilgili 25 farklı şeritte çalışma yapılmış olup, taşıtlarla ilgili olarak toplanan verilerin çözümleme sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelgeye göre en küçük zaman cinsinden doymun aralık değeri 1,87 Sn. ile 3573 No.lu (203 No.lu şerit) kavşağın kuzey doğu kolunda, en büyük zaman cinsinden doymun aralık değeri ise 3407 No.lu (194 No.lu şerit) kavşağın kuzey kolunda 2,31 Sn. olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden doygun aralık değerleri.

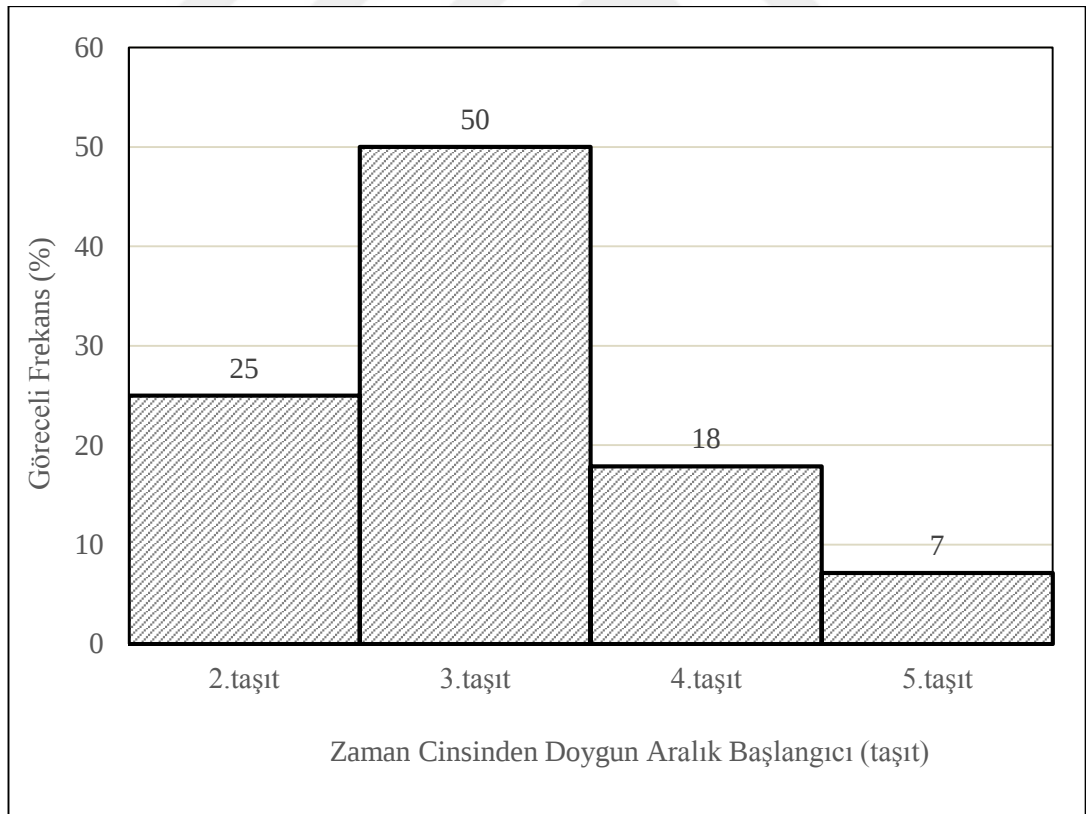
İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım Bölgesi (tışt)	λ_1 (Sn.)	İncelenen Şerit No'su	h_s (Sn.)	Doygun Akım Bölgesi (tışt)	λ_1 (Sn.)
185	1,95	3-11	1,29	198	2,15	5-9	2,14
186	2,12	2-10	1,13	199	2,14	4-11	2,03
187	2,17	3-10	1,52	200	1,98	4-12	1,88
188	2,18	2-7	0,76	201	2,01	3-10	1,72
189	2,21	2-10	1,69	202	2,02	4-6	0,91
190	2,02	2-10	1,52	203	1,87	5-9	1,77
191	2,04	3-9	1,34	204	2,15	3-12	1,51
192	2,27	3-9	1,43	205	2,12	4-10	2,65
193	2,05	4-11	0,90	206	2,04	2-15	1,46
194	2,31	2-7	2,09	207	2,10	3-10	0,75
195	2,04	3-8	1,54	208	2,06	3-10	1,46
196	1,97	2-11	0,51	209	2,04	3-9	1,72
197	1,92	3-17	1,84				

Sola dönüş için tüm şeritlerde hesaplanan zaman cinsinden doygun aralık değerine ait histogram Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekile göre incelenen şeritlerin %28'inin zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,00-2,05 Sn. arasında olup, en çok gözlenen değer aralığı olmuştur. İkinci en büyük frekans aralığı %24 ile zaman cinsinden doygun aralık değeri 2,10-2,15 Sn. arasında bulunmuştur.

Sola dönen akımlar içinde, incelenen şeritlerin zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıç bölgesi, kavşaktan kavşağa değişmekte olup, ilgili şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıç taşıtına ait histogram Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekile göre, sola dönen akımlar için arazide çalışma yapılan şeritlerin %50'sinde zaman cinsinden doygun aralık değeri başlangıcı 3.taşıttan başlamıştır.



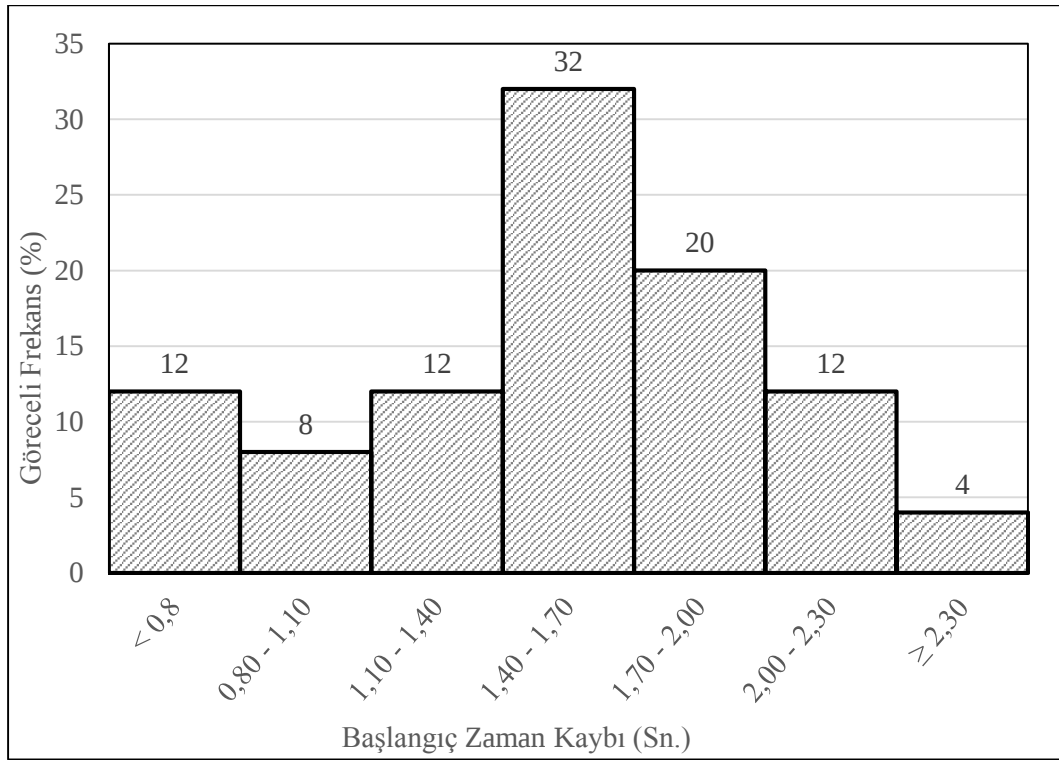
Şekil 5.9 : Sola dönüş akımlar için incelenen şeritlerin zaman cinsinden aralık değerlerine ait histogram.



Şekil 5.10 : Sola dönen akımlar için zaman cinsinden doymun aralığın başladığı taşıtlara ait frekans.

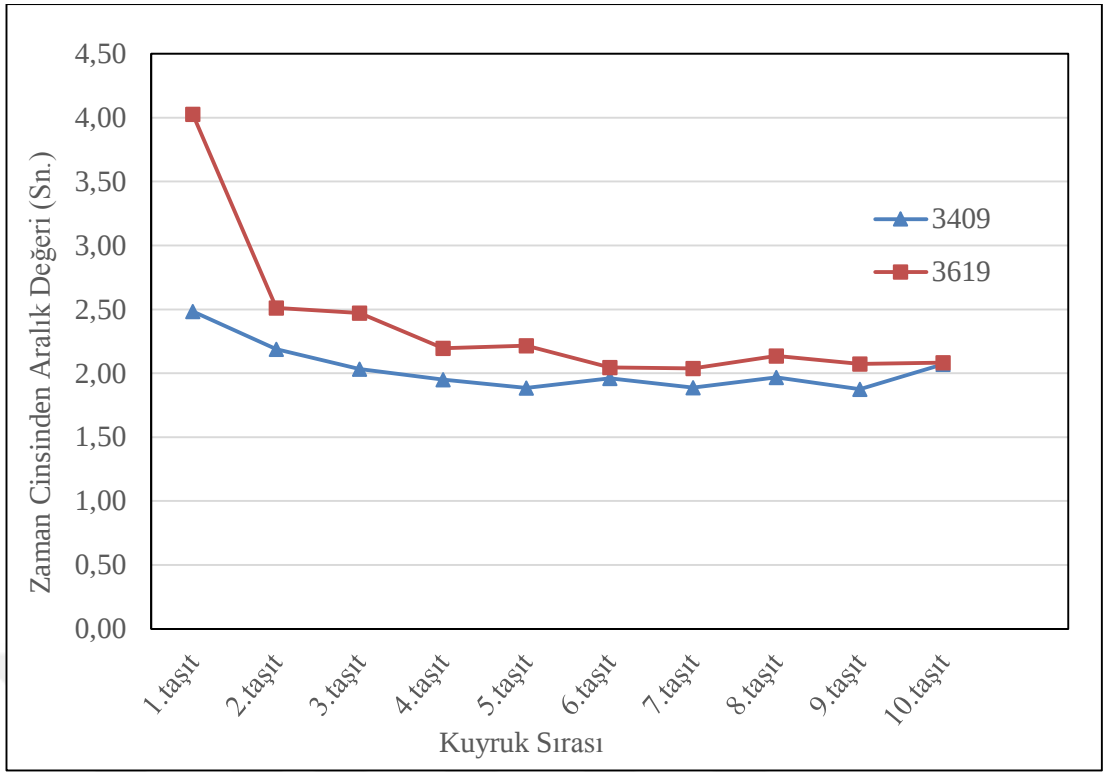
Benzer şekilde, sola dönen taşıtların başlangıç zaman kaybı şeritten şeride farklı olmuştur. Arazide yapılan çalışmalarda hesaplanan en küçük başlangıç zaman kaybı değeri 3409 No.lu (196 No.lu şerit) kavşağın kuzey batı kolunun sola dönüş şeridinde 0,51 Sn., en büyük değer ise 3619 No.lu (205 No.lu şerit) kavşağın kuzey doğu kolunun dönüş şeridinde 2,65 Sn. olarak bulunmuştur.

Tüm şeritlerdeki başlangıç zaman kaybına ait histogram Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekile göre, sola dönen akımlar için incelenen şeritlerin %32’sinin başlangıç zaman kaybı değeri 1,40-1,70 Sn. arasında olup, en çok gözlemlenen aralık olmuştur. En az gözlenen başlangıç zaman kaybı aralığı 2,30 Sn.den küçük olan aralıkta olmuştur.



Şekil 5.11 : Sola dönen akımlar için incelenen şeritlerin başlangıç zaman kaybına ait histogram.

Son olarak, incelenen büyüklük de, sola dönen akımlar içinde bulunan en küçük ve en büyük zaman cinsinden doygun aralık değerleri olup, bu şeritlerde kavşağa giren taşıtların birbirini izlediği süreler Şekil 5.12’de verilmiştir. Şekile göre, iki kavşakta incelenen şeritlerde ilk taşıtların kavşağa giriş sürelerinin birbirinden farklı olmasına rağmen diğer taşıtların zaman cinsinden aralık değeri birbirine yakın olmuştur. İki kavşak kolunda incelenen kuyruktaki taşıt sayısı ondur.



Şekil 5.12 : Sola dönen şeritlerde zaman cinsinden doygun aralık değeri en küçük ve en büyük olan şeritlerde gözlenen taşıtlar.

5.2 Kavşak Kolundaki Şerit Konumunun Zaman Cinsinden Doygun Aralığa Etkisinin İncelenmesi

Bu bölümde, bir kavşak kolunda birden fazla şeritte gözlem yapılmışsa, bu şeritlerdeki zaman cinsinden doygun akım aralık değerinin aynı olup olmadığı incelenmiştir. Söz konusu şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralık değerinin karşılaştırılması için ANOVA testi kullanılmıştır.

Eğer incelenen şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralık değerinin başlangıç taşıtı birbirinden farklı ise, her iki şerit için zaman cinsinden doygun aralık değeri bölgesi aynı olan taşıttan başlatılarak, karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre, eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için veri toplanan şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralık değerlerinin, ANOVA testi ile karşılaştırılması Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelgede 5.4'te görüldüğü üzere, 17 kavşak kolunun iki şeridinde; üç şeritli 25 kavşak kolunun iki şeridinde, üç şeritli 7 kavşak kolunun üç şeridinde; dört şeritli 1 kavşak kolunun iki şeridinde, dört şeritli 3 kavşak kolunun üç şeridinde toplanan taşıt verileri şerit konumuna göre, %5 anlamlılık düzeyinde ANOVA testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.4 : Şerit konumunun zaman cinsinden doygun aralığa etkisinin incelenmesi.

Karşılaştırılan Şeritler	F		Karşılaştırılan Şeritler	F	
	F _{hesap}	F _{kritik}		F _{hesap}	F _{kritik}
026-027	0,46	3,86	081-082	0,05	3,86
028-029	3,42	3,85	083-084	0,44	3,85
030-031	<u>5,18</u>	<u>3,88</u>	085-086	0,37	3,86
032-033	0,88	3,86	087-088	2,06	3,86
034-035	1,21	3,86	089-090	0,36	3,86
036-037	0,43	3,86	091-092	0,20	3,86
038-039	<u>7,18</u>	<u>3,86</u>	093-094	3,16	3,86
040-041	0,27	3,86	095-096	0,02	3,86
042-043	2,42	3,86	097-098	0,95	3,85
044-045	2,58	3,85	099-100	1,58	3,86
046-047	1,54	3,85	101-102	0,22	3,86
048-049	2,96	3,86	103-104	0,20	3,85
050-051	0,39	3,86	105-106	2,87	3,86
052-053	0,52	3,86	107-108	1,29	3,86
054-055	0,51	3,86	109-110	1,65	3,86
056-057	3,80	3,88	111-112-113	1,34	3,01
058-059	0,46	3,86	114-115-116	0,58	3,01
061-062	0,15	3,86	117-118-119	0,96	3,01
063-064	1,85	3,86	120-121-122	0,47	3,01
065-066	0,03	3,85	123-124-125	1,39	3,01
067-068	0,67	3,86	126-127-128	0,01	3,01
069-070	0,10	3,84	129-130-131	0,56	3,01
071-072	0,10	3,86	132-133	0,20	3,87
073-074	0,41	3,86	134-135-136	0,89	3,01
075-076	1,25	3,86	137-138-139	1,09	3,00
077-078	0,17	3,85	140-141-142	0,49	3,01
079-080	1,03	3,85			

Yukarıda verilen çizelgede görüldüğü üzere toplam 53 farklı kavşak kolunun her birinde birden fazla şeritte taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri karşılaştırılmıştır. İncelenen kavşaklardan 1108 No.lu (028 ve 029 No.lu şeritler) kavşağın batı, 1115 No.lu (030 ve 031 No.lu şeritler) kavşağın güney, 1211 No.lu (034 ve 035 No.lu şeritler) kavşağın güney, 1450 No.lu (038 ve 039 No.lu şeritler) kavşağın kuzey ve 1883 No.lu (044 ve 045 No.lu şeritler) kavşağın güney kollarında sol ve sağ şeritlerdeki 30 devrelik taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Söz konusu kavşak kollarından 1115 (030 ve 031 No.lu şeritler) ve 1450 No.lu (038 ve 039 No.lu şeritler) kavşaklardaki yeni kavşak düzenlemesinden dolayı ilave 15 devrelik veri toplanması yapılamamıştır. 1108 (028 ve 029 No.lu şeritler), 1211 (034 ve 035 No.lu şeritler) ve 1883 No.lu (044 ve 045 No.lu şeritler) kavşaklarda ilave 15 devrelik taşıt verisinden sonra yapılan ANOVA testi ile belirtilen kavşak kollarının sağ ve sol şeritlerin zaman cinsinden doygun aralık değeri aynı çıkmıştır.

ANOVA testi sonucunda aynı kavşak kolundaki şeritler arasında zaman cinsinden doygun aralık değerleri birbirinden farklı çıkan yalnızca iki kavşak kolu olmuştur. Bu kavşak kollarından olan 1450 No.lu (038 ve 039 No.lu şeritler) kavşağın kuzey kolunun sol ve sağ şeritleri ile 1115 No.lu (030 ve 031 No.lu şeritler) kavşağın güney kolunda sol ve sağ şeritlerin hesaplanan $F_{\text{hesaplanan}}$ değeri, F_{kritik} değerinden büyük olup, söz konusu şeritlerin zaman cinsinden doygun aralık değeri aynı çıkmamıştır. Arazi çalışması sürecinde kavşak geometrisinde yapılan değişikliklerden dolayı, bu şeritlerde ilave 15 devre gözlem yapılamamıştır.

5.3 Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi

5.3.1 Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doygun akım değeri

Çalışma yapılan bütün şeritlerdeki zaman cinsinden doygun aralık değeri daha önceki bölümde hesaplanmıştır. Bölüm 2’de açıklandığı gibi, zaman cinsinden doygun aralık yöntemi kullanılarak, her bir şeride ait doygun akım değerleri hesaplanmıştır.

Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen kavşak kollarında hesaplanan doygun akım değeri Çizelge 5.5’te verilmiştir. Çizelgeye göre, iki şeritli 40 kavşak kolunda, üç şeritli 33 kavşak kolunda ve dört şeritli 4 kavşak kolunda olmak üzere toplam 142 şeridin doygun akım değerleri yer almaktadır.

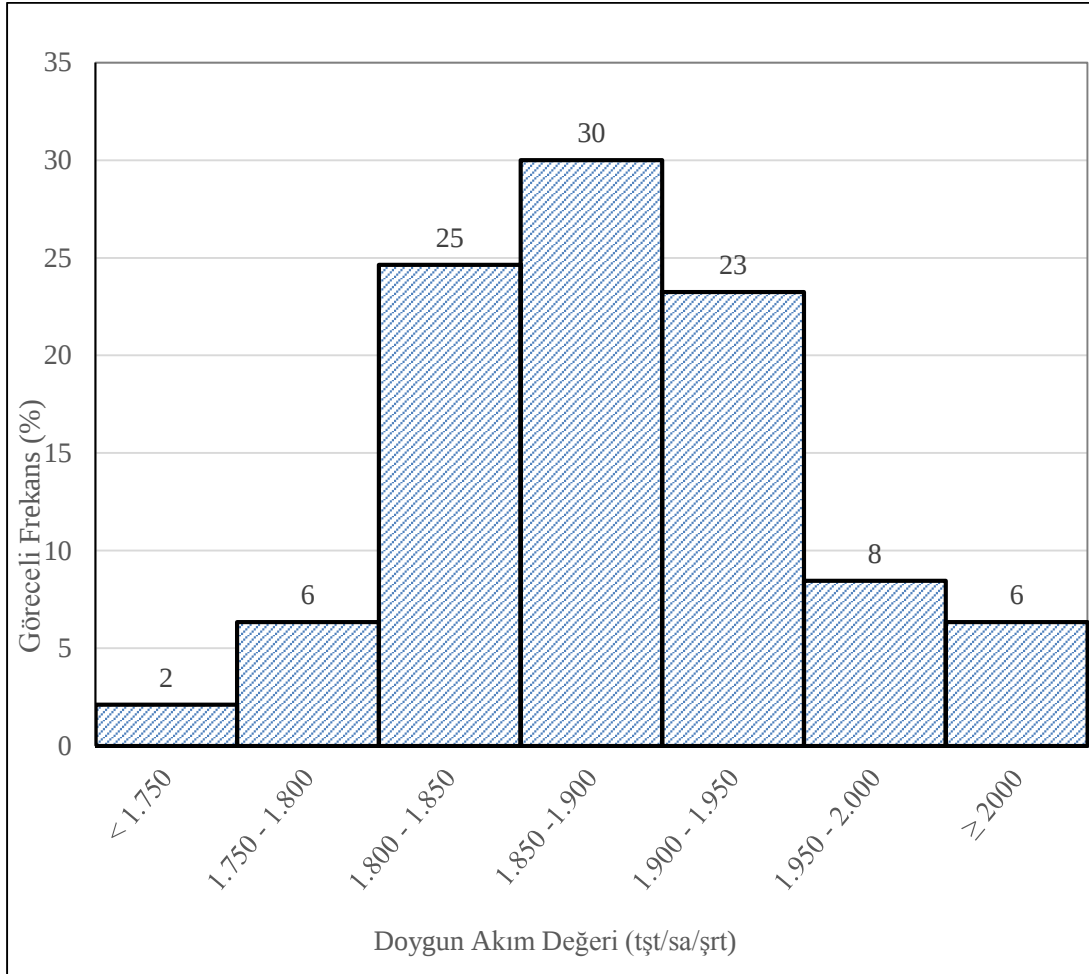
Çizelge 5.5 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doygun akım değerleri.

İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/şrt)	İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/şrt)
001	1.885	036	1.773
002	1.978	037	1.875
003	1.989	038	2.057
004	1.846	039	1.946
005	1.946	040	1.905
006	1.925	041	1.925
007	1.856	042	1.925
008	1.765	043	1.809
009	1.818	044	1.846
010	1.925	045	1.818
011	1.682	046	2.045
012	1.837	047	2.000
013	1.856	048	1.875
014	1.865	049	1.818
015	1.827	050	1.925
016	1.875	051	1.856
017	1.846	052	1.875
018	1.875	053	1.837
019	1.837	054	1.773
020	2.000	055	1.791
021	1.925	056	1.674
022	1.925	057	1.827
023	1.856	058	1.756
024	1.946	059	1.756
025	1.856	060	1.957
026	2.069	061	1.885
027	2.000	062	1.905
028	1.989	063	1.827
029	1.915	064	1.818
030	1.989	065	1.875
031	1.885	066	1.865
032	1.895	067	1.856
033	1.837	068	1.818
034	1.846	069	1.967
035	1.800	070	1.967

Çizelge 5.5 (devam) : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doymun akım değerleri.

İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/şrt)	İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/şrt)
071	1.827	107	1.756
072	1.885	108	1.698
073	1.837	109	1.846
074	1.818	110	1.791
075	1.967	111	1.915
076	1.905	112	1.895
077	1.885	113	1.885
078	1.885	114	1.846
079	1.957	115	1.846
080	1.925	116	1.837
081	1.856	117	1.957
082	1.865	118	1.895
083	1.885	119	1.895
084	1.915	120	1.935
085	1.875	121	1.915
086	1.957	122	1.846
087	1.915	123	2.022
088	1.989	124	1.925
089	1.915	125	1.865
090	1.905	126	1.905
091	1.856	127	1.865
092	1.905	128	2.011
093	1.915	129	1.905
094	1.827	130	1.895
095	1.846	131	1.837
096	1.846	132	1.837
097	1.846	133	1.865
098	1.905	134	1.800
099	1.885	135	1.865
100	1.935	136	1.827
101	1.875	137	2.000
102	1.895	138	1.895
103	1.895	139	1.925
104	1.885	140	1.915
105	1.756	141	1.905
106	1.800	142	1.935

Çizelgeye göre, doymun akım değeri 1.674-2.069 tş/sa/şrt arasında değışmekte olup, söz konusu kavşak kollarına ait histogram Şekil 5.13'te verilmiştir. Buna göre, eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için gözlenen en büyük göreceli frekans değeri %30 ile 1.850-1.900 tş/sa/şrt arasında gerçekleşmiştir. İkinci en çok gözlenen doymun akım değeri aralığı %25 oranı ile 1.800-1.850 tş/sa/şrt arasında gerçekleşmiştir. Doymun akım değerinin en az gözleendiğı aralık ise %2 ile 1.750 tş/sa/şrt'den küçük olan değeri için olmuştur.



Şekil 5.13 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için doymun akım değerlerine ait histogram.

5.3.2 Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için doymun akım değeri

Kavşak kolundaki boyuna eğiminin büyüklüğü, doymun akım değerini etkileyen önemli geometrik değışkenlerden biridir. Bugüne kadar yapılan çeşitli çalışmalarda +%2 eğimden büyük ya da -%2 eğimden küçük eğimlere sahip kavşak kolları, eğimli kavşak kolu olarak nitelendirilmektedir. kjnkmk

Söz konusu eğim ile doymun akım değeri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla, şerit genişliği 3,50 m olan ve diğer değişkenleri aynı olan ve farklı eğimlere sahip kavşaklarda arazi çalışması yapılarak, doymun akım değeri hesaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 29 değişik kavşak kolunda, toplam 42 şeritte hesaplanan doymun akım değerleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Kavşaklarda farklı kavşağın aynı doğrultu üzerinde bulunan, fakat zıt yönde hareket eden artı ve eksi eğimdeki aynı kavşağın iki kolunda da veri toplanmıştır. Aynı kavşağın aynı doğrultu üzerindeki aynı eğime sahip artı ve eksi eğimlerinin karşılaştırılması mümkündür. Aynı kavşağın artı eğime sahip kavşak kolundaki doymun akım değerinin, eksi koldakine göre daha düşük olması beklenir. Örneğin, Çizelge 5.6’ya göre 1145 No.lu (159 No.lu şerit) kavşağın güneybatı yönündeki eksi eğimli sol kolundaki doymun akım değeri 2.045 tş/sa/şrt olarak hesaplanırken, artı eğimli kolunun sol şeridinde (161 No.lu şerit) ise 1.809 tş/sa/şrt olarak bulunmuştur. Diğer iki kavşak kolunun orta şeritlerinde hesaplanan doymun akım değeri kıyaslandığında, eksi eğimli koldaki doymun akım değeri, artı koldaki eğimde hesaplanan doymun akım değerinden büyük olmuştur. Başka bir kavşak olan 2270 No.lu (181 No.lu şerit) kavşağın kuzey yönündeki eksi kolunun sol şeridindeki doymun akım değeri, güney yönündeki kolunun sol şeridinde (179 No.lu şerit) hesaplanan doymun akım değerinden daha yüksek olmuştur.

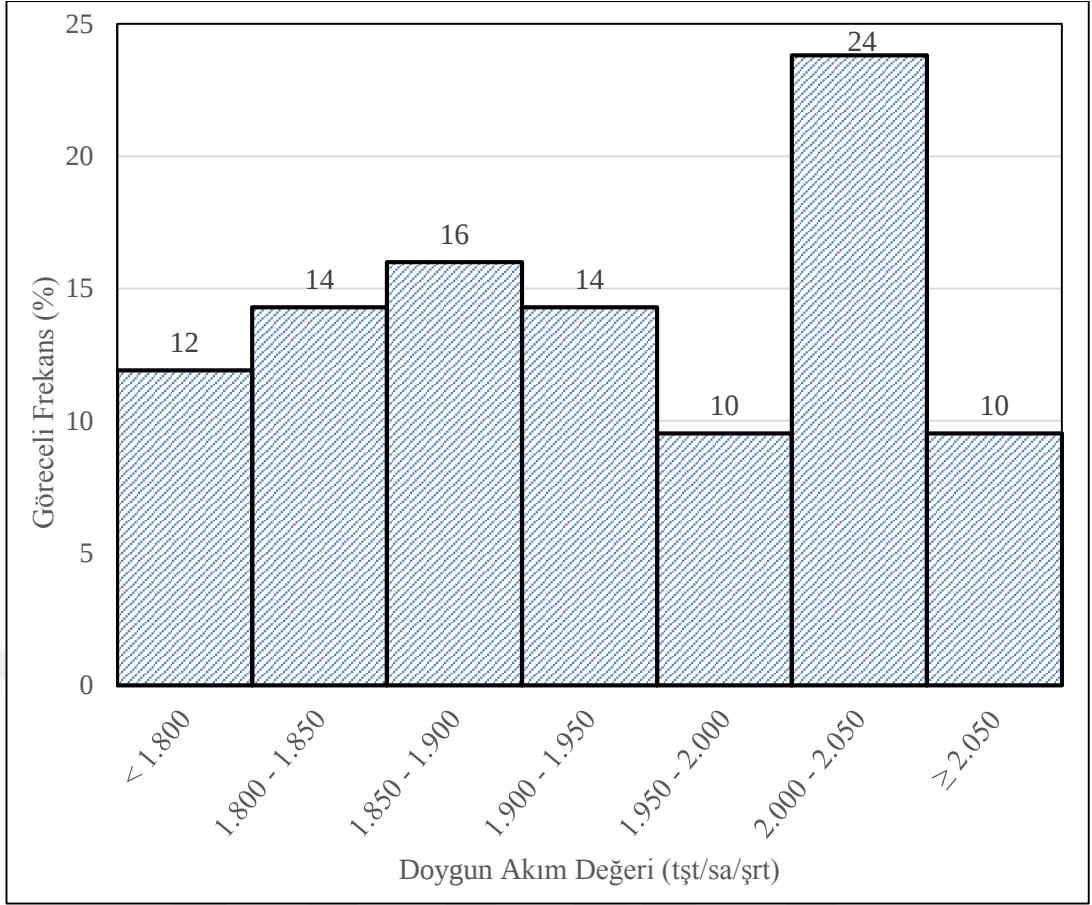
Normal şartlarda, artı eğime sahip kavşak kolunda hesaplanan doymun akım değeri, aynı kavşağın aynı doğrultu üzerinde bulunan eksi eğime sahip kavşak kolundaki eğime göre daha düşük olması beklenir. Araziden toplanan veriler kullanılarak, hesaplanan doymun akım değeri bu sonuçları doğrulamıştır.

Son olarak, eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için arazi çalışmasında incelenen kavşak kollarındaki doymun akım değerine ilişkin histogram Şekil 5.14’te verilmiştir. Şekile göre, incelenen kavşak kollarında hesaplanan en büyük doymun akım aralığı %24 ile 2.000–2.050 tş/sa/şrt aralığında gerçekleşmiştir. İkinci gözlenen en büyük doymun akım aralığı 1.850-1.900 tş/sa/şrt arasında olup, değeri %16 olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, eğim ile ilgili yapılan arazi çalışmalarının sonuçları eğimin doymun akım değeri üzerinde etkisi olduğunu kanıtlamıştır.

Çizelge 5.6 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için doygun akım değerleri.

İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/şrt)	Şeridin Eğimi	İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tışt/sa/şrt)	Şeridin Eğimi
143	2.000	-0,04	164	1.905	0,078
144	1.818	0,06	165	1.846	0,035
145	1.895	-0,025	166	1.846	0,035
146	1.885	0,063	167	2.156	-0,043
147	1.791	0,083	168	2.081	-0,043
148	1.935	-0,09	169	1.978	-0,03
149	1.957	-0,043	170	2.045	-0,03
150	1.748	0,079	171	2.057	-0,085
151	1.856	0,034	172	1.978	-0,085
152	1.935	-0,031	173	1.856	0,056
153	1.957	0,057	174	1.846	0,056
154	1.946	0,081	175	2.034	-0,05
155	1.748	0,082	176	2.022	-0,05
156	1.915	-0,05	177	1.865	0,08
157	1.925	-0,063	178	2.034	0,08
158	1.731	0,09	179	2.022	0,08
159	2.045	-0,045	180	1.865	0,08
160	2.093	-0,045	181	2.034	-0,08
161	1.809	0,045	182	2.022	-0,08
162	1.809	0,045	183	1.865	-0,073
163	1.791	0,078	184	2.034	-0,073



Şekil 5.14 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için hesaplanan doygun akım değerlerine ait histogram.

5.3.3 Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için doygun akım değeri

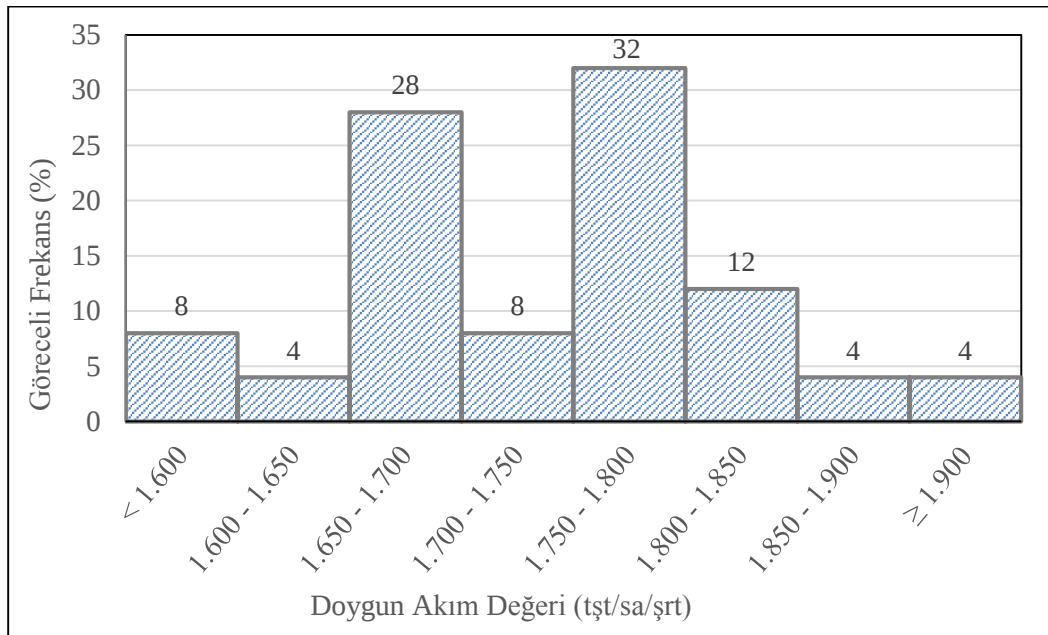
Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için doygun akım değerini belirlemek için, seçilen kavşaklarda saha çalışması sonucunda hesaplanan zaman cinsinden doygun aralık değeri kullanılarak, doygun akım değeri hesaplanmıştır. Çalışma yapılan şeritlerin bir kısmında, sola dönüş cebinden yan yola dönen akım söz konusu iken, geri kalan kısmında da yan yoldan ana yola dönen akımın olduğu şeritlerdir. Bu amaçla, 25 farklı kavşak kolunda hesaplanan doygun akım değerleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çizelgeye göre, incelenen kavşak kollarındaki en büyük doygun akım değeri 3573 (202 No.lu şerit) No.lu kavşağın kuzey batı kolunda 1.925 tş/şrt/sa, en küçük doygun akım değeri ise 3407 (194 No.lu şerit) No.lu kavşağın güney kolunda 1.558 tş/şrt/sa olarak hesaplanmıştır. Kkşj,

Sola dönüş akımları için çalışma yapılan kavşak kollarında hesaplanan doygun akım değeri ile ilgili histogram Şekil 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akım için doymun akım değerleri.

İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Bölgesi (tışt/sa/şrt)	İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Bölgesi (tışt/sa/şrt)
185	1.846	198	1.674
186	1.698	199	1.682
187	1.659	200	1.818
188	1.651	201	1.791
189	1.629	202	1.782
190	1.782	203	1.925
191	1.765	204	1.674
192	1.586	205	1.698
193	1.756	206	1.765
194	1.558	207	1.714
195	1.765	208	1.748
196	1.827	209	1.765
197	1.875		

Şekil 5.15'e göre, doymun akım değerinin gözlemlendiği en büyük aralık %32 ile 1.750-1.800 tışt/sa/şrt arasında gerçekteşmiştir. Benzer şekilde en büyük ikinci gözlenen doymun akım aralığı %28 ile 1.650-1.700 tışt/sa/şrt aralığında gerçekteşmiştir.



Şekil 5.15 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için doymun akım değerleri.

6. DOYGUN AKIM DEĞERİNİN MODELLENMESİ

Bu bölümde, geometrik değişkenlerin doygun akım değerini nasıl etkilediği ile ilgili arazide toplanan verilerin sonuçları kullanılarak, regresyon çözümlemesi yapılmıştır. Regresyon çözümlemesinin amacı, göz önüne alınan bir değişken (bağımlı değişken) ile incelenen diğer değişkenler (bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkiyi gösteren bir denklemi oluşturmaktır.

Regresyon çözümlemesine başlarken öncelikle sebep sonuç ilişkisi kurulacak, iki (ya da fazla sayıda) değişkene karar vermek gerekmektedir. Regresyon çözümlemesi şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Basit doğrusal regresyon çözümlemesi: En çok kullanılan ve en basit çözümleme olup, iki değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilir.
- Çok değişkenli doğrusal regresyon çözümlemesi: İki den fazla değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilir.
- Doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon çözümleme: İki ya da daha fazla değişken arasında doğrusal ilişki olmayan ve bunun yerine şekli önceden belirlenen bir denklemle gösterildiği kabul edilir (Bayazıt ve Oğuz, 2005).

Burada, temel doygun akım değeri, şerit sayısı, eğim, şerit genişliği ve sola dönüş değişkenleri için çözümleme yapılmıştır. İlk önce Bölüm 3.3'te belirtilen özelliklere sahip kavşaklardaki temel doygun akım değeri hesaplanmıştır. Temel doygun akım değeri belirlendikten sonra, her bir değişkenin doygun akım değeri ile ilişkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

Bu kapsamda, kavşak kolundaki şerit sayısı ile doygun akım değeri arasındaki ilişki için şerit genişliğinin 3,50 m ve şerit eğiminin -%2 ile +%2 arasında olduğu kavşak kollarındaki veriler kullanılarak belirlenmiştir.

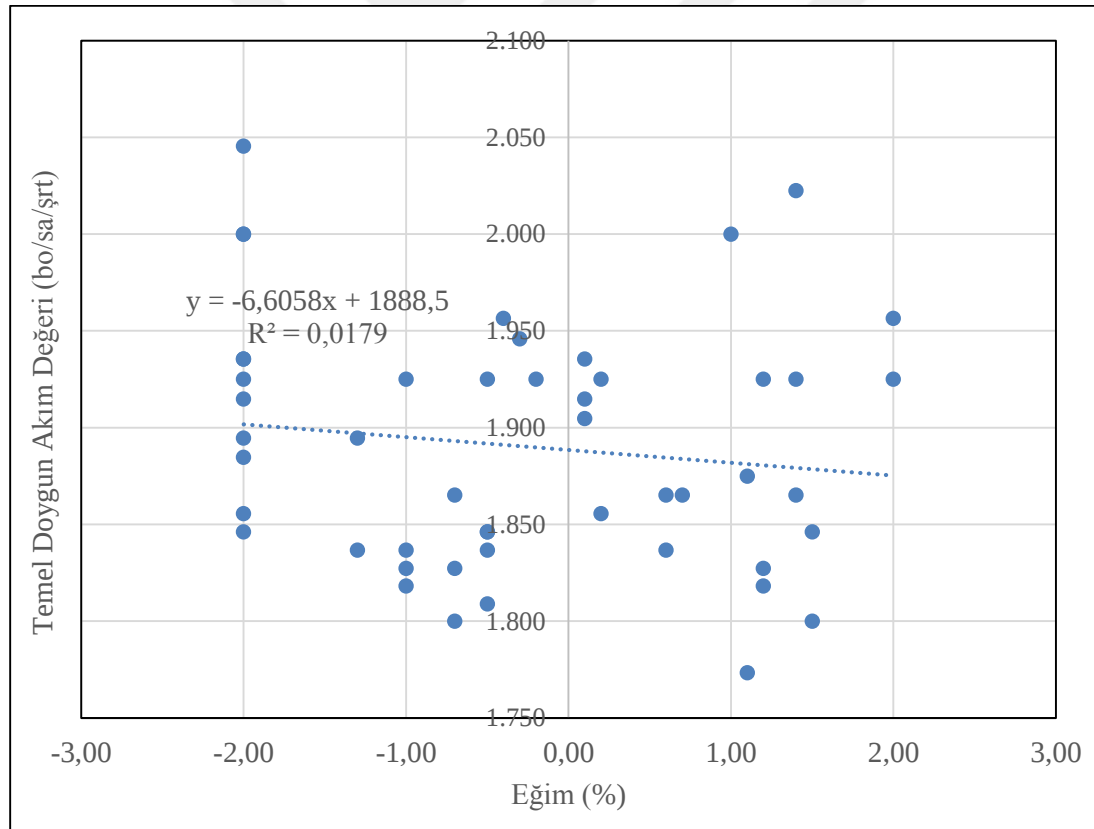
Benzer şekilde, şerit genişliği ile doygun akım değerleri arasındaki ilişki için, şerit genişliğinin değiştiği fakat diğer değişkenlerin aynı olduğu yani kavşak kolunun eğiminin -%2 ile +%2 arasında olduğu kavşaklardaki veriler kullanılarak, şerit genişliği ile doygun akım değeri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Eğim değişkeni için ise, şerit genişliklerinin 3,50 m olduğu ve diğer değişkenlerin aynı olduğu, fakat şerit eğiminin değiştiği kavşak kollarındaki arazi verileri kullanılarak doymun akım değerleri ile eğim arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Son olarak, sola dönüş ile doymun akım değerleri için ise hem şerit genişliğinin hem de sola dönüş yarıçapının değiştiği fakat eğimin değişmediği dönüş şeritlerindeki saha verileri kullanılarak bu ilişki belirlenmiştir

6.1 Temel Doymun Akım Değerinin Belirlenmesi

Literatürde -%2 ile +%2 arasındaki kavşak kolunun boyuna eğiminin temel doymun akım değerine etkisi olmadığından bahsedilmiştir. Bu çalışmada, benzer bir durum olup olmadığını belirlemek amacıyla -%2 ile +%2 arasındaki kavşak kolunun eğiminin, temel doymun akım değerine etkisi ile ilgili regresyon çözümlemesi yapılmış ve söz konusu ilişki Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1 : Kavşak kolunun eğimi ile temel doymun akım değeri arasındaki ilişki.

Şekil 6.1’deki veriler için, yapılan regresyon çözümlemesinde kavşak kolunun eğimi ile temel doymun akım değeri arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde olmuştur.

$$S_T = -6,6058 \times s + 1.888,5 \quad (6.1)$$

$$R^2 \cong 0,02$$

S_T : Temel doymun akım değeri, bo/sa/şrt.

s : Kavşak kolunun eğimi.

Yukarıdaki doğrusal regresyon denkleminde R^2 değerinin yaklaşık sıfır olması, kavşak kolunun eğiminin -%2 ile +%2 olması, temel doymun akım değeri üzerinde bir etkisi olmadığını göstermiştir.

Literatürde de bahsedildiği üzere, kavşak kolunun eğiminin -%2 ile +%2 arasında olması doymun akım değerini etkilemediğinden söz konusu eğim aralığı olan kavşak kolları eğimsiz olarak kabul edilmiştir. Bu tez çalışmasında ortaya çıkan sonuç, literatürdeki bilgiyi doğrulamıştır.

Temel doymun akım değeri, ışıklı kavşaklardaki kapasite hesaplamaları için önemli bir değerdir. Bölüm 5.3.1’de temel doymun akım değerine sahip iki, üç ve dört şeritli kavşaklarda hesaplanan temel doymun akım değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelge 6.1’de, temel koşulları sağlayan 27 ışıklı kavşak kolunun 49 şeridinde temel doymun akım değerleri bulunmaktadır.

Söz konusu şeritlerdeki temel doymun akım değerleri arasında aykırı veri olup olmadığının belirlenmesi için üst ve alt sınırlar hesaplanmış, bu sınırlar dışında kalan değerler aykırı değer olarak kabul edilmiştir (Bayazıt, 1996).

Alt ve üst sınır değerleri için Denklem 6.3 ve Denklem 6.4 kullanılarak bulunmuştur.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (6.2)$$

IQR: Çeyrekler arası aralık.

Alt sınır değeri için:

$$\text{Alt sınır} = Q_1 - 1,5 \times IQR \quad (6.3)$$

Ve üst sınır değeri için:

$$\text{Üst sınır} = Q_3 + 1,5 \times IQR \quad (6.4)$$

Q_1 (bir numaralı çeyrek) ve Q_3 (üç numaralı çeyrek) için sırasıyla Denklem 6.5 ve Denklem 6.6 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Q_1 = 0,25 \times (n + 1) \quad (6.5)$$

$$Q_3 = 0,75 \times (n + 1) \quad (6.6)$$

Denklem 6.5 ve 6.6'da n (veri sayısı) yerine 49 konulduğunda, $Q_1=1.837$ ve $Q_3=1.930$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.1 : Temel koşullara sahip kavşaklarda hesaplanan temel doygun akım değerleri.

İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tş/t/sa/şrt)	İncelenen Şerit No'su	Doygun Akım Değeri (tş/t/sa/şrt)
032	1.895	063	1.827
033	1.837	064	1.818
006	1.925	114	1.846
007	1.957	115	1.846
134	1.800	116	1.837
135	1.865	120	1.935
136	1.827	121	1.915
137	2.000	122	1.846
138	1.895	014	1.865
139	1.925	123	2.022
132	1.837	124	1.925
133	1.865	125	1.865
034	1.846	073	1.837
035	1.800	074	1.818
036	1.773	050	1.925
037	1.875	051	1.856
140	1.915	015	1.827
141	1.905	099	1.885
142	1.935	100	1.935
042	1.925	020	2.000
043	1.957	021	1.925
010	1.925	022	1.925
060	1.957	023	1.856
046	2.045	024	1.946
047	2.000		

Alt sınır için Denklem 6.3'te ve üst sınır için Denklem 6.4'te sırasıyla Q1 ve Q3 değerleri yerine konulduğunda alt sınır 1.705 ve üst sınır 2.062 olarak bulunmuştur. 49 şeritte hesaplanan temel doygun akım değerlerinin tamamı, alt sınırı 1.705 ve üst sınırı 2.062 olan sınır değerler arasında kaldığından, hesaplanan temel doygun akım değeri içinde aykırı değer bulunmamaktadır.

Çizelge 6.1'e göre, temel koşullara sahip kavşak kollarında hesaplanan en küçük temel doygun akım değeri 1320 No.lu (036 No.lu şerit) kavşağın güney kolunun sol şeridinde 1.773 bo/sa/şrt, en büyük temel doygun akım değeri 1951 No.lu (046 No.lu şerit) kavşağın kuzey kolunun sol şeridinde 2.045 bo/sa/şrt olarak bulunmuş olup, ortalama temel doygun akım değeri 1.890 bo/sa/şrt olarak hesaplanmıştır.

Yapılan arazi çalışmalarında, temel doygun akım bölgesinin başlangıç taşıtının kavşaklar arasında farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Hatta aynı kavşak kolunda dahi bu durum söz konusudur. Temel koşullara sahip kavşak kollarındaki temel doygun akım değerinin başlangıç taşıtının kuyruktaki sırası ile ilgili istatistiki sonuçlar Çizelge 6.2'de verilmiştir.

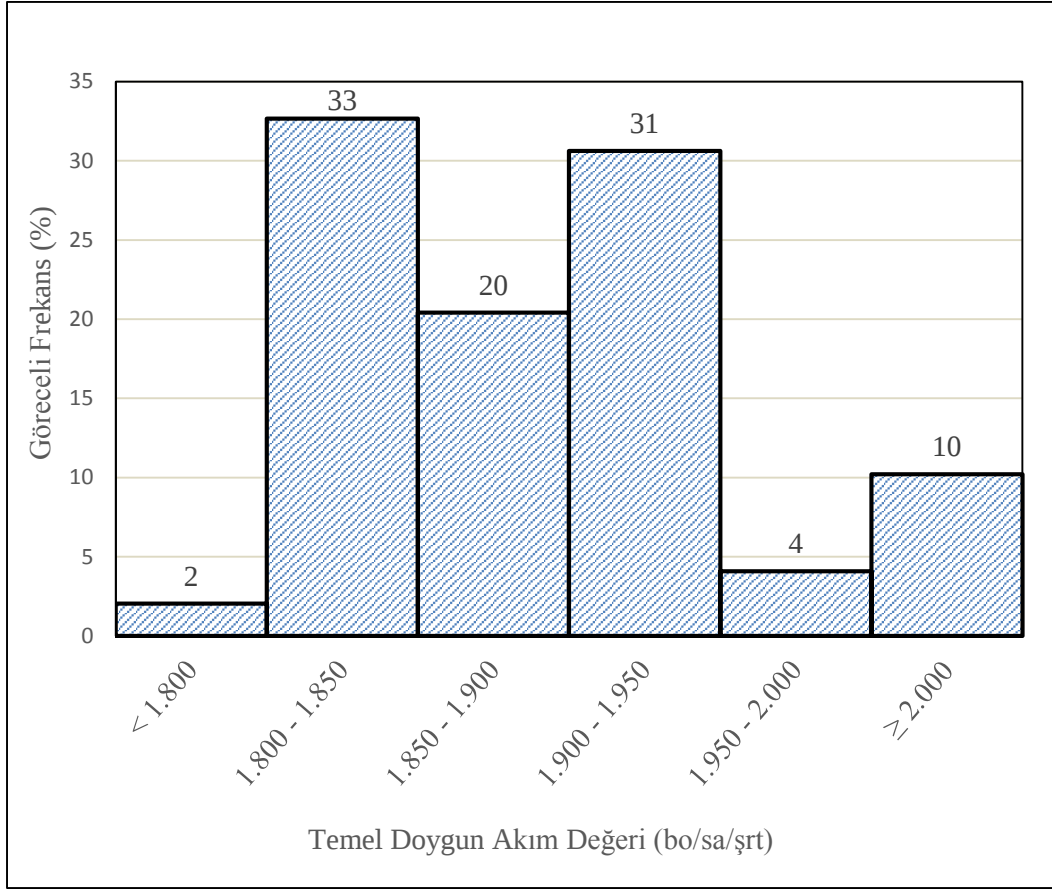
Çizelge 6.2 : Temel koşullara sahip kavşak kollarında temel doygun akım bölgesine ait taşıt sıraları.

Temel Doygun Akım Başlangıç Taşıtı	Gözlendiği Şerit Sayısı	Oranı (%)
2.	7	14
3.	24	49
4.	12	24
5.	4	8
6.	0	0
7.	2	4

Yukarıdaki çizelgeye göre, incelenen şeritlerin %49'unda temel doygun akım değeri üçüncü taşıttan başlarken, %24'ünde ise temel doygun akım değeri dördüncü taşıttan itibaren olmuştur.

Temel koşullara sahip şeritlerde hesaplanan temel doygun akım değerine ait histogram Şekil 6.2'de verilmiştir. Şekile göre, incelenen şeritlerde en çok gözlenen temel doygun akım değeri %33 ile 1.800-1.850 bo/sa/şrt arasında olmuştur. İkinci en çok

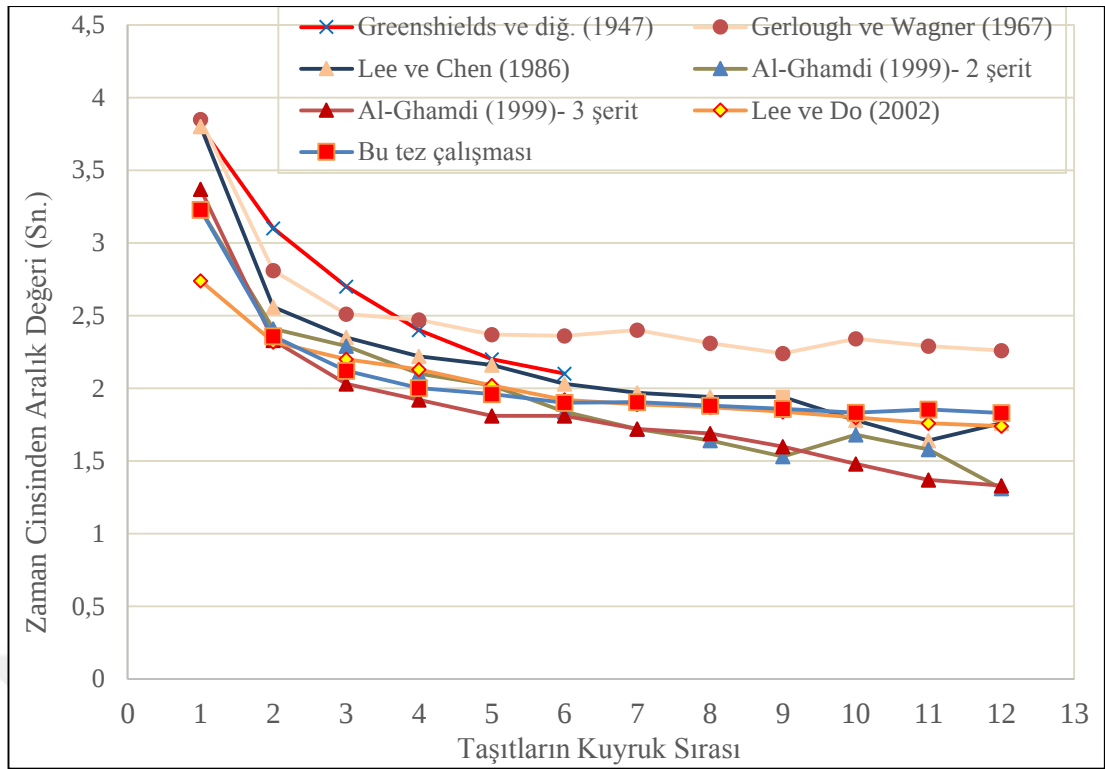
gözlenen temel doygun akım değeri %31 ile 1.900-1.950 bo/sa/şrt olan aralıkta ve en az gözlenen temel doygun değeri ise 1.800 bo/sa/şrt'ten küçük olan aralıkta gerçekleşmiştir.



Şekil 6.2 : Temel koşulları sağlayan kavşaklarda hesaplanan temel doygun akım değerleri.

Ayrıca, temel koşullara sahip kavşak kollarında, zaman cinsinden aralık değerleri, 1'inci taşıttan 12'inci taşıta kadar şu şekilde oluşmuştur: 3,23; 2,36; 2,12; 2,00; 1,96; 1,90; 1,91; 1,88; 1,86; 1,83; 1,85 ve 1,83. Temel koşulları sağlayan kavşak kollarında hesaplanan zaman cinsinden aralık değerleri ile uluslararası çalışmalar ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.3'te verilmiştir.

Şekil 6.3'te görüldüğü üzere, bu çalışmada hesaplanan zaman cinsinden aralık değerleri, Lee ve Do (2002) tarafından yapılan çalışmada bulunan değerlere çok yakın çıkmıştır. Ayrıca, bu alandaki diğer çalışmalar dikkate alındığında, en küçük zaman cinsinden aralık değerleri Al-Ghamdi (1999) tarafından Suudi Arabistanın başkenti Riyad'da yaptığı çalışmada bulunmuştur. Yazar, söz konusu zaman cinsinden aralık değerlerinin daha küçük çıkmasını, Suudi sürücülerin birbirini yakın izlemelerine ve taşıt teknolojisindeki gelişmelere bağlı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 6.3 : Temel koşullara sahip kavşaklarda bulunan zaman cinsinden aralık değeri ile diğer çalışmaların karşılaştırılması (Bu tez çalışması).

Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010), temel doymuş akım değeri için 1.900 bo/sa/şrt değerini önermektedir. Bu çalışma ile İstanbul'da hesaplanan temel doymuş akım değeri, Karayolu Kapasite El Kitabı (TRB, 2010) tarafından kullanılan değere çok yakın çıkmıştır.

Son olarak, incelen şeritlerde hesaplanan başlangıç zaman kaybı değeri ile ilgili çalışma olup, 49 şeritte hesaplanan ortalama başlangıç zaman kaybı değeri 1,92 Sn. olarak hesaplanmıştır.

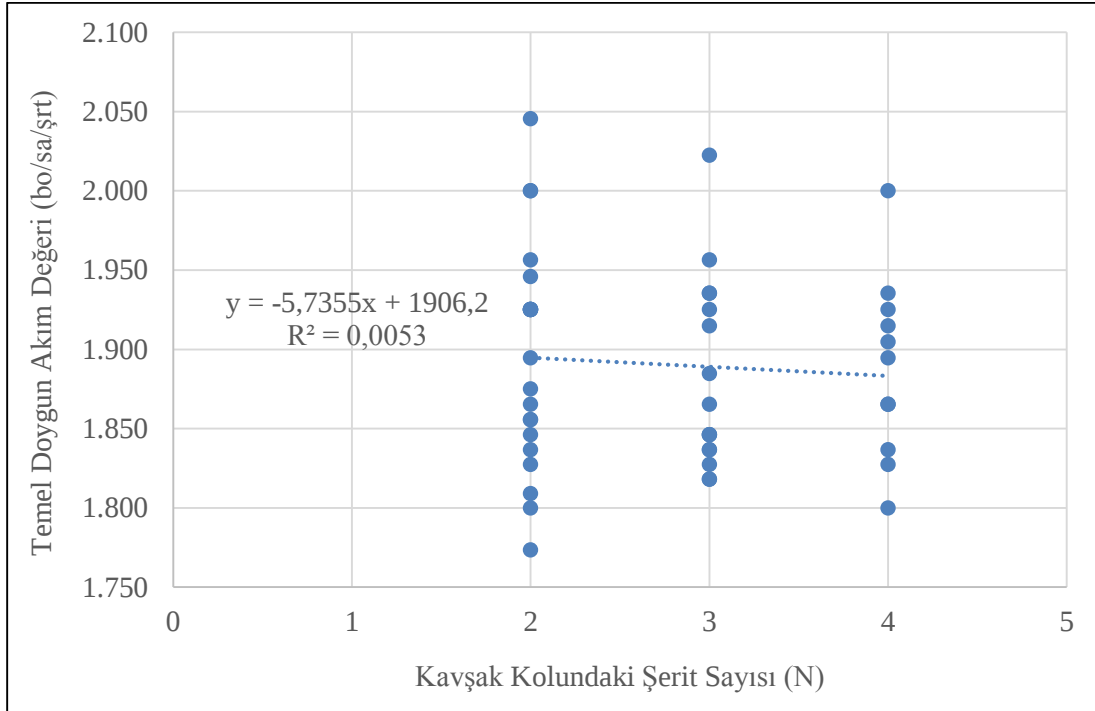
6.2 Şerit Sayısı Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi

Temel doymuş akım değeri belirlendikten sonra, geometrik değişkenlerden şerit grubundaki şerit sayısı ile doymuş akım değeri arasındaki ilişki incelenmiştir. Doğru giden akım grubundaki şerit sayısının, doymuş akım değerine etkisinin doğru şekilde yapılabilmesi için, aynı şerit genişliğe sahip ve eğimsiz ışıklı kavşaklarda veri toplanması gerekmektedir.

Akım grubundaki şerit sayısı ile doymuş akım değeri arasında bir ilişkinin olup olmadığını belirlemek için şerit grubundaki şerit sayısı değişkeni dışındaki diğer değişkenlerin aynı olduğu şeritlerdeki veriler kullanılmıştır. Aslında, bu özellikleri

taşıyan şeritler sadece temel koşulların olduğu kavşak kollarındaki şeritlerdir. Bunun için Bölüm 6.1'deki temel koşulları sağlayan arazi verileri kullanılarak, şerit grubundaki şerit sayısı ile doygun akım değeri arasında regresyon çözümlemesi yapılmıştır. Bunun için iki şeritli 16, üç şeritli yedi ve dört şeritli dört kavşak kolundaki şeritler olmak üzere toplam 49 şeritteki veriler kullanılmıştır.

49 şeritteki doygun akım değeri ile şerit grubundaki şerit sayısı arasında doğrusal regresyon çözümlemesi yapılmış olup, söz konusu ilişki Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : Şerit grubundaki şerit sayısı ile doygun akım arasındaki ilişki.

Yukarıda verilen şekile göre, yapılan regresyon çözümlemesinde şerit grubundaki şerit sayısı ile doygun akım arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde oluşmuştur.

$$S_T = -5,7355 \times N + 1.906,2 \quad (6.7)$$

$$R^2 \cong 0,01$$

S_T : Temel doygun akım değeri, bo/sa/şrt.

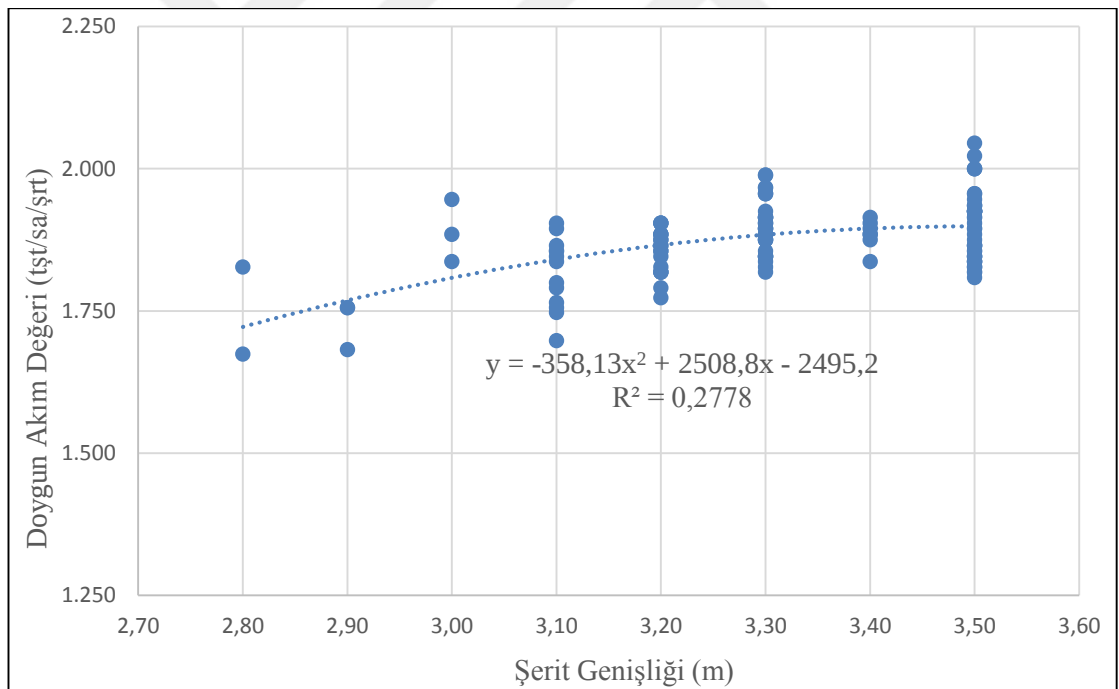
N : Kavşak kolundaki şerit sayısı.

Yukarıdaki doğrusal denklemde R^2 değeri yaklaşık sıfır olduğundan, şerit grubundaki şerit sayısı ile doygun akım değeri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

6.3 Şerit Genişliği Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi

Geometrik değişkenlerden biri olan şerit genişliği, doymun akım değerini etkileyen önemli etkenlerden biridir. Bu bölümde, İstanbul'daki ışıklı kavşaklarda toplanan veriler kullanılarak, doymun akım değeri ile şerit genişliği arasında nasıl bir ilişki olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için arazide 2,80 m şerit genişliği olan iki; 2,90 m şerit genişliği olan üç; 3,00 m şerit genişliği olan üç; 3,10 m genişliği olan 13; 3,20 m şerit genişliği olan 19; 3,30 şerit genişliği olan 35; 3,40 m genişliği olan yedi ve 3,50 m genişliği olan 46 şerit olmak üzere toplam 128 adet şeridin verisi kullanılarak, şerit genişliği ile doymun akım değeri arasındaki ilişki incelenmiş ve Şekil 6.5'te verilmiştir.

Burada, şerit genişliği dışında kalan diğer etkenler incelenen bütün şeritlerde aynı olmaktadır. Değişen şerit genişliklerinde gözlenen doymun akım değerlerinin değişimi incelenmiştir. Bağımsız değişken şerit genişliği ile bağımlı değişken doymun akım değeri arasındaki ilişki için regresyon çözümlemesi yapılmıştır.



Şekil 6.5 : Şerit genişliği ile doymun akım arasındaki ilişki.

Yapılan regresyon çözümlemesi sonucunda şerit genişliği ile doymun akım arasındaki ilişki, Denklem 6.8'de verilen ikinci dereceden bir polinom şeklinde olmuştur.

$$S = -358,13 \times \text{ŞG}^2 + 2508,8 \times \text{ŞG} - 2495,2 \quad (6.8)$$

$$R^2 \cong 0,28$$

S : Doygun akım değeri, tş/sa/şrt.

$\$G$: Şerit genişliği, m.

Denklem 6.8’de görüleceği üzere, $R^2= 0,28$ bulunmuştur. Bu sonuç, şerit genişliğinin doygun akım değerini etkilediğini göstermektedir. Bu ilişkide doygun akım değerindeki değişimin %28’i şerit genişliğindeki değişimden kaynaklanmaktadır.

Arazi çalışmaları sonucunda Bölüm 6.1’de daha önce belirtildiği üzere, temel doygun akım değeri hesaplanmış ve 1.890 bo/sa/şrt olarak bulunmuştur. Şerit genişliği ile doygun akım değeri arasındaki ilişkiyi belirlemek için Denklem 6.9’da verilen doğrusal olmayan bir model kullanılmıştır:

$$S = S_T \times f_{\$G} \times f_{Diğ.} + \varepsilon \quad (6.9)$$

S : Doygun akım değeri, tş/sa/şrt.

S_T : Temel doygun akım değeri, bo/sa/şrt.

$f_{Diğ.}$: Diğer değişkenler için düzeltme çarpanı.

$f_{\$G}$: Şerit genişliği düzeltme çarpanı.

ε : Hata değeri.

Denklem 6.9’da, Denklem 6.8 ve temel doygun akım değeri yerine yazıldığında ifade Denklem 6.10’daki şekile dönüşür:

$$-358,13 \times \$G^2 + 2508,8 \times \$G - 2495,2 = 1.890 \times f_{\$G} \times f_{Diğ.} + \varepsilon \quad (6.10)$$

Burada, şerit genişliği hariç, diğer değişkenler aynı olduğundan $f_{Diğ.}$ çarpanı 1 olmaktadır. Denklem 6.10’da $f_{Diğ.}=1$ değeri yerine yazıldığında, ifade Denklem 6.11’deki şekile dönüşür:

$$-358,13 \times \$G^2 + 2508,8 \times \$G - 2495,2 = 1.890 \times f_{\$G} + \varepsilon \quad (6.11)$$

Denklem 6.11’de çeşitli matematik hesaplamaları yapıldıktan sonra ifade Denklem 6.12’deki şeklini almıştır:

$$f_{SG} = SG \times \left(\frac{7 - SG}{5,28} \right) - 1,32 \quad (6.12)$$

Bulunan şerit genişliği düzeltme çarpanı, şerit genişliği 2,80 m ile 3,50 m arasında olan genişlikler için geçerlidir.

6.4 Eğim Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi

Kavşak kolundaki boyuna eğimin, kapasite üzerinde önemli bir etkisi vardır. Eğim ile doymun akım değeri arasındaki ilişki için yapılan çalışmalarda, eğimin artı olarak arttığı kavşak kollarında, doymun akım değeri azalırken, eğimin eksi olarak azaldığı kavşak kollarında da doymun akım değerinin arttığı yapılan arazi çalışmalarıyla ortaya konulmuştur. Bu bölümde İstanbul’da farklı artı ve eksi eğimlere sahip ışıklı kavşak kollarında çalışma yapılmıştır. Seçilen bütün kavşak kollarında şerit genişliği 3,50 m olan kavşaklar seçilmiştir.

Arazi çalışması yapılan şeritlerin dördü dört şeritli, 40’ı üç şeritli, 39’u iki şeritli, ve biri tek şeritli kavşak kolunda olmak üzere toplam 91 adet şeritte toplanan veriler kullanılarak, şerit eğimi ile doymun akım değeri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Veri toplanan şeritlerin eğimleri -%9 ile +%9 arasında değişmektedir. Eğimin doymun akıma etkisi için üç farklı eğim aralığı için bu ilişki irdelenmiştir. Temel koşulların olduğu - %2 ile + %2 arasındaki eğimlerde doymun akım değerinin değişmediğinden daha önce Bölüm 6.1’de bahsedilmiştir.

Temel koşulların dışında -%2’den küçük eğimlere sahip şeritler ile +%2’den büyük eğimlere sahip şeritlerde yapılan arazi çalışması da yer almaktadır. Bahse konu üç ayrı eğim bölgesi için regresyon çözümlemesi ayrı ayrı yapılmış olup, Şekil 6.6’da gösterilmiştir.

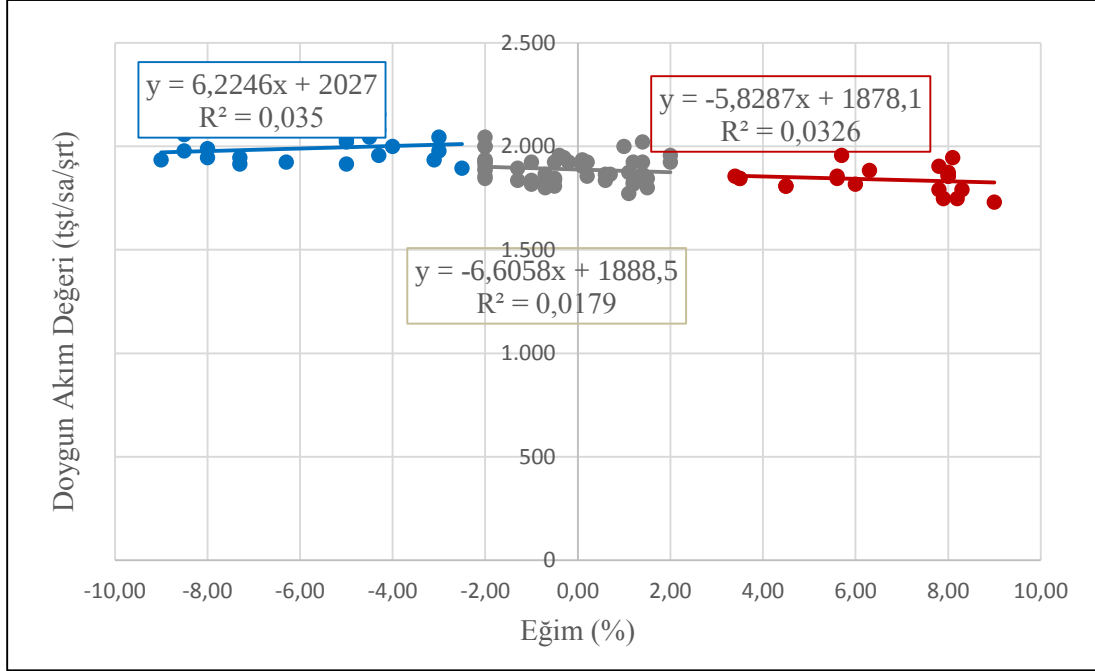
Eksi eğim -%9 ile -%2 arasında değişmekte olup, bu aralıkta yapılan regresyon çözümlemesinde bulunan regresyon çözümlemesindeki Denklem 6.13’te verilmiştir:

$$S = 6,2246 \times s + 2027 \quad (6.13)$$

$$R^2 = 0,04$$

Denklem 6.13’te görüldüğü üzere, eksi eğimli şeritler için eğim ile doymun akım değeri ilişkisi incelendiğinde R^2 değeri yaklaşık 0,04 olarak bulunmuştur. İki değişken arasında zayıf bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Yani, doymun akım değerindeki

değişimin ancak %4'ü eğimdeki değişimden kaynaklanmaktadır. Normal durumlarda eksi eğim azalırken, doygun akım değerinin artması beklenir. Denklem 6.13'e göre ise eğim azaldıkça doygun akım değeri azalmaktadır. Dolayısıyla, bu açıdan da bu denklem mantıklı olmamaktadır.



Şekil 6.6 : Doygun akım değeri ile eğim arasındaki ilişki.

Artı eğimli şeritlerde de şerit eğimi ile doygun akım değeri arasında regresyon çözümlenmesi yapılmış ve iki değişken arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntı Denklem 6.14'te verilmiştir:

$$S = -5,8287 \times s + 1878,1 \quad (6.14)$$

$$R^2 = 0,03$$

Yukarıda Denklem 6.14'te verilen bağıntı incelendiğinde, R² değeri 0,03 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda artı eğim ile doygun akım arasında zayıf bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan, normal durumlarda artı eğim artarken, doygun akım değeri azalmaktadır. Ancak bu denklemde tersi bir ilişki ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak, artı eğim, eksi eğim ve temel koşulların olduğu şeritlerde yapılan regresyon çözümlenmesinde doygun akım değeri ile ilgili şeritlerde hesaplanan doygun akım değeri arasında çok zayıf ilişkinin olduğu görülmüştür.

Öte yandan eksi eğimli şeritlerdeki doygun akım değerinin, -%2 ve +%2 arasındaki eğimli şeritlerde hesaplanan doygun akım değerine göre daha yüksek olduğu Şekil

6.6’da görülmektedir. Aynı şekilde, eğimin +%2’den büyük olduğu şeritlerde ise doymun akım değerin, -%2 ve +%2 arasındaki eğimli şeritlerde hesaplanan doymun akım değeri göre daha düşük olduğu ve eğimin artışından istatistiksel olarak etkilenmediği ($R^2=0,03$) belirlenmiştir. Bu durumda üç ayrı eğim bölgesi için ayrı ayrı ilgili bölgedeki şeritlerde hesaplanan doymun akım değerin artmetik ortalaması alınmış olup, eğim düzeltme çarpanı için Denklem 6.15’te verilen bağıntı kullanılmıştır:

$$f_E = \frac{\text{Doymun Akım Değeri}}{\text{Temel Doymun Akım Değeri}} \quad (6.15)$$

Denklem 6.15’deki bağıntı kullanılarak, eğim düzeltme çarpanı için bulunan katsayılar Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3 : Eğim düzeltme çarpanı katsayıları.

Eğim Bölgesi	Eğim Düzeltme Çarpanı (f_E)
$-%9 \leq \text{Eğim} < -\%2$ arası (Eksi eğim)	1,054
$-%2 \leq \text{Eğim} \leq +\%2$ arası (Temel koşullar)	1,000
$+\%2 < \text{Eğim} \leq +\%9$ arası (Artı eğim)	0,973

Özetle, bu çalışmada eğim düzeltme çarpanı için bulunan eğim düzeltme çarpanı ile Bölüm 3.3.3’te eğim düzeltme çarpanı için verilen denklemlerin birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmıştır.

6.5 Sola Dönüş Düzeltme Çarpanının Belirlenmesi

Sola dönüş akımı için yalnızca sola dönüş yapan taşıtların kullandığı ışıklı kavşaklardaki şeritlerde çalışma yapılmıştır. Hem doğru giden hem de sola dönüş akımın olduğu şeritlerde çalışma yapılmamıştır. Bu akımlar, ayrı bir çalışmanın konusu olup, bunun ayrıca irdelenmesi gerekmektedir. Sola dönüş akımın değeri, doğru giden akımdan farklı olarak yalnızca sola dönen şeridin genişliğine değil, aynı zamanda sola dönüş yarıçapının büyüklüğüne de bağlıdır.

Sola dönüşün doymun akım değeri etkisinin incelenmesi için yarıçapları ve şerit genişlikleri birbirinden farklı 25 kavşakta sola dönen şeritlerdeki taşıtların verisi

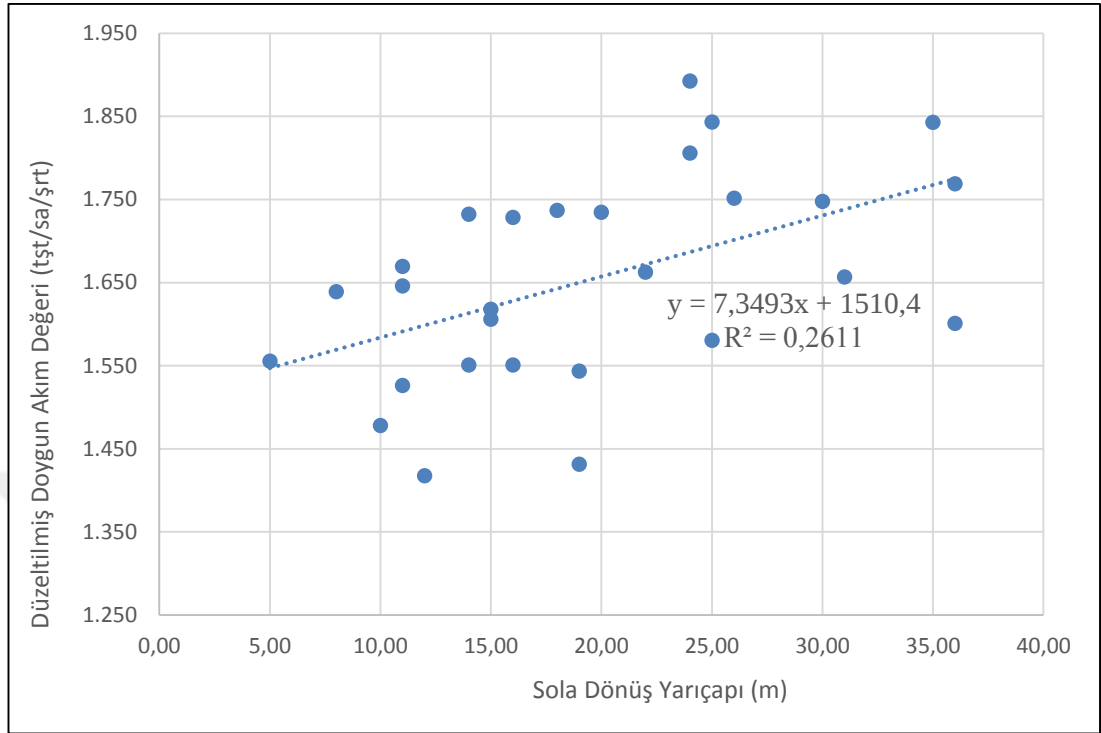
kullanılmıştır. İncelenen şeritlerdeki doymun akım değerleri 1.925 ile 1.558 tş/sa/şrt arasında değişmektedir.

Gözlenen şeritlerin şerit genişliklerinin birbirinden farklı olmasından dolayı Bölüm 6.3'te hesaplanan şerit genişliği düzeltme çarpanı kullanılarak, ilk önce doymun akım değeri düzeltilmiştir. İkinci aşamada ise yalnızca dönüş yarıçapı ile düzeltilmiş doymun akım değeri arasında regresyon çözümlemesi yapılmıştır. Şerit genişliklerine bağlı olarak hesaplanan şerit genişliği düzeltme çarpanı ve düzeltilmiş doymun akım değeri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Sola dönen akımlar için şerit genişliği düzeltme çarpanının kullanılması.

İncelenen Şerit No'su	Şerit Genişliği Düzeltilme çarpanı (f _{şg})	Doymun Akım Değeri (tş/sa/şrt)	Düzeltilmiş Doymun Akım Değeri (tş/sa/şrt)
185	0,99	1.765	1.751
186	0,95	1.659	1.581
187	0,99	1.748	1.734
188	0,91	1.765	1.601
189	0,98	1.674	1.646
190	0,98	1.875	1.843
191	0,85	1.674	1.418
192	0,97	1.791	1.737
193	0,95	1.739	1.657
194	1,00	1.846	1.843
195	0,99	1.651	1.639
196	0,88	1.827	1.606
197	0,98	1.698	1.669
198	0,93	1.586	1.478
199	0,88	1.756	1.543
200	0,95	1.818	1.732
201	0,88	1.765	1.551
202	0,97	1.714	1.662
203	0,97	1.782	1.728
204	0,98	1.925	1.892
205	0,91	1.682	1.526
206	0,88	1.629	1.432
207	0,95	1.698	1.618
208	1,00	1.558	1.556
209	1,00	1.748	1.748

Yukarıdaki çizelgede düzeltilmiş doygun akım değeri ile sola dönüş yarıçapı arasında regresyon çözümlemesi yapılmış olup, Şekil 6.7’de verilmiştir. İki değişken arasındaki ilişki için hesaplanan regresyon katsayısı $R^2 = 0,26$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6.7 : Sola dönüş yarıçapı ile doygun akım değeri arasındaki ilişki.

Çözümleme sonucunda aşağıdaki denklem belirlenmiştir:

$$S = 7,3493 \times R + 1.510,4 \quad (6.16)$$

S : Doygun akım değeri, $t_{st}/sa/\text{şrt}$.

R : Sola dönüş yarıçapı (m).

Sola dönüş yarıçapı ile doygun akım değeri arasındaki ilişki için daha önceki geometrik değişkenlerde kullanılan modelin benzeri kullanılmıştır.

$$S = S_T \times f_{Sol} \times f_{Diğ.} + \varepsilon \quad (6.17)$$

S_T : Temel doygun akım değeri, $bo/sa/\text{şrt}$.

$f_{Diğ.}$: Diğer değişkenler düzeltme çarpanı.

f_{Sol} : Sola dönüş düzeltme çarpanı.

ε : Hata miktarı.

Modelde doygun akım değeri ile sola dönüş yarıçapı arasındaki ilişki için belirlenen denklem modelde yerine yazıldığında, ifade aşağıdaki şekli almıştır:

$$7,3493 \times R + 1.510,4 = S_T \times f_{Sol} \times f_{Diğ.} + \quad (6.18)$$

Yukarıdaki denklemde temel doygun akım değeri yerine 1890 bo/sa/şrt ve diğer değişkenler için düzeltme çarpanı 1,00 değeri yazıldığında, model aşağıdaki şekilde oluşmuştur:

$$f_{Sol} = 0,80 + \frac{R}{257} \quad (6.19)$$

Sola dönüş çarpanı, dönüş yarıçapının 5,00 ile 40,00 m arasında olması durumunda geçerlidir.

Sonuç olarak, doygun akım değeri ile sola dönüş yarıçapı arasında yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi doğrusal ilişki bulunmuştur. Sonuç, Bölüm 3.3.4'te verilen denklemlerle kıyaslandığında, bu çalışmada sola dönüş düzeltme çarpanı için bulunan ilişki, diğer çalışmalardakinden farklı olmuştur.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Eşdüzey kavşakların temel çalışma alanlarından biri, ışıklı kavşaklardır. Işıklı kavşakların da en önemli konularının başında, kavşakların tasarımı ve işletilmesi gelmektedir. Işıklı bir kavşakta, çeşitli yönlerden kavşağa gelen akım kollarının sırasıyla çatışmadan kavşağı etkin bir şekilde kullanabilmeleri, faz planlanmasına ve kavşağın yönetilmesine bağlıdır.

Işıklı kavşaklar, kavşak alanı, kavşağın işletim sistemi ve trafik koşullarından meydana gelmektedir. Kavşağın alanını değiştirmek rahatlıkla gerçekleşek bir durum değilken, trafik şartları ise dinamik olarak değişmektedir. Kavşağın trafik sistemi, trafik koşullarına en uygun şekilde düzenlenmesi ile mümkündür. Taşıtların kavşaktaki davranışlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, doğru işletim sistemi açısından gereklidir. Işıklı kavşaklarda yeşil süreyi belirleyen doygun akım değerini belirlenen yöntemlerden biri, taşıtların kavşağa girerken birbirlerini izlediği ortalama süredir.

Karayolu Kapasite El Kitabı'nda (TRB, 2010) yerel trafik koşulları ve sürücü davranışları kullanılarak, doygun akım değerinin belirlenmesi önerilmektedir. Bu çalışmada, Karayolu Kapasite El Kitabı'ndaki (TRB, 2010) yöntem kullanılarak, İstanbul'daki temel doygun akım değeri belirlenmiş ve doygun akım değerini etkileyen geometrik değişkenlerin etkisi incelenmiştir. Bunlar, akım grubundaki şerit sayısı etkisi, şerit genişliği etkisi, kavşak kolundaki eğimin etkisi, sola dönüş etkisi ve sağa dönüş etkisi olmak üzere beş farklı etkenden oluşmaktadır. Bu değişkenlerden sağa dönüş etkisi için veri toplanacak uygun kavşak bulunmadığından herhangi bir arazi çalışması yapılamamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için 65 kavşağın 142 şeridinde, eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için 22 kavşağın 42 şeridinde ve eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için 25 kavşağın 25 şeridinde olmak üzere toplam 100 kavşağın 209 şeridinde 86.903 taşıta ait zaman cinsinden aralık verisi toplanmış ve çözümleme yapılmıştır. Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için 1 kavşakta ve eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için 11 kavşakta

olmak üzere toplam 12 kavşakta, aynı zamanda sola dönen akımlar için de çalışma yapıldığından bu kavşaklar mükerrer kavşaklardır.

Arazi çalışmasına başlanmadan önce İstanbul'da bulunan toplam 2.209 ışıklı kavşağın örnekleme oranı mevcut kavşakların en az %5'ine denk gelen 110 ışıklı kavşakta veri toplanması hedeflenmiş ve 100 ışıklı kavşakta veri toplanmıştır. Mevcut ışıklı kavşaklardan bir kısmında dönel kavşak olması, bir kısmında ışıktan önce tümsek olması, bir kısmında yeterli sayıda kuyruk oluşmaması, bir kısmının da MİA'da bulunması vb. gibi durumlar göz önüne alındığında örnekleme oranı çok daha yüksek olmuştur.

Bu genel bilgilerden sonra, çözümlemenin ilk kısmında araziden toplanan taşıt verileri ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için iki, üç ve dört şeritli kavşakların sırasıyla 59, 72 ve 11 adet şeridinde incelenen en küçük ve en büyük zaman cinsinden doymuş akım aralık değerleri sırasıyla 1,74-2,15 Sn., 1,78-2,12 Sn. ve 1,80-2,00 Sn. arasında bulunmuştur. Benzer şekilde zaman cinsinden doymuş aralık değerinin başlangıcı iki, üç ve dört şeritli kavşaklarda sırasıyla her üç grup için en çok %39, %54 ve %45 ile üçüncü taşıttan başlamıştır.
- Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için incelenen 42 şeritte zaman cinsinden doymuş aralık değeri 1,67-2,08 Sn. arasında değişmekte olup, zaman cinsinden doymuş aralık başlangıcı en çok %45 ile 3. taşıttan itibaren olmuştur.
- Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için arazi çalışması yapılan 25 şeritte zaman cinsinden doymuş aralık değeri 1,87-2,31 Sn. değişmekte olup, %50'sinde zaman cinsinden doymuş aralık değeri 3. taşıttan başlamıştır.

Çalışmanın ikinci kısmı temel koşullara sahip kavşaklarda yapılan arazi çalışmalarının çözümlemesi ile ilgili olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Temel koşullara uyan 27 kavşak kolunun 49 şeridinde arazi çalışması yapılmıştır. Bu şeritlerdeki temel doymuş akım değeri 1.827-2.034 bo/sa/şrt değişmekte olup, ortalama temel doymuş akım değeri 1.890 bo/sa/şrt olarak hesaplanmıştır.
- Bu kavşaklardaki zaman cinsinden aralık değerleri, 3,23; 2,36; 2,12; 2,00; 1,96; 1,90; 1,91; 1,88; 1,86; 1,83; 1,85 ve 1,83 Sn. şeklinde bulunmuştur.
- Ayrıca temel koşullara sahip şeritlerde hesaplanan başlangıç zaman kaybı değeri 1,92 Sn. olup, bu büyüklük Karayolu Kapasite El Kitabı'nın (TRB, 2010) başlangıç zaman kaybı için önerdiği 2,00 Sn. değerinden küçüktür.

Çalışmanın son kısmı, geometrik değişkenler ile doymun akım değeri arasındaki ilişkiler olup, değişkenler için hesaplanan düzeltme katsayıları aşağıda verilmiştir:

- Doymun akım değerini etkileyen değişkenlerden ilki, akım grubundaki şerit sayısı ile doymun akım değeri arasındaki ilişkiye dair anlamlı bir bağıntı elde edilememiştir. Şerit grubundaki şerit sayısındaki değişiklik, doymun akım değerini etkilememektedir.
- Geometrik değişkenlerin ikincisi olan şerit genişliğinin doymun akım değeri ile ilişkisi incelenmiştir. Şerit genişliği düzeltme çarpanı için $f_{SG} = SG \times \left(\frac{7,00-SG}{5,28} \right) - 1,32$ çarpanı bulunmuştur.
- Bu çalışmada arazi verileriyle ilişkisi belirlenen bir diğer değişken, eğim düzeltme çarpanı olup, söz konusu çarpan ile ilgili olarak üç ayrı eğim bölgesi için farklı katsayılar hesaplanmıştır. İlk eğim bölgesi olan -%2 ile + %2 eğim bölgesi için şerit düzeltme çarpanı 1 olarak bulunmuştur. İkinci eğim bölgesi olan - %9 ile - %2 arasında olan şeritler için eğim düzeltme çarpanı 1,054; üçüncü eğim bölgesi olan +%2 ile + %9 arasındaki şeritler için ise 0,973 değeri bulunmuştur.
- Kavşaklarda sola dönüş etkisi ile doymun akım değeri arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik son çalışma da, sola dönüşün doymun akım değerine etkisi olup, $f_{Sol} = 0,80 + \frac{R}{257}$ çarpanı bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, ülkemizdeki ışıklı kavşakların kapasite hesaplamalarının daha gerçekçi olarak yapılabilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, temel doymun akım değeri ve geometrik değişkenlere ilişkin düzeltme katsayıları için sayı olarak büyük çaplı taşıt verisi kullanıldığından, yeşil süre değerlerinin daha doğru hesaplanmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağıntıların kullanılması durumunda, trafik ışıklarında daha az gecikme yaşanacak ve kentiçi yolculuk sürelerinde, sera gazlarında ve sürücülerin ekonomik kayıplarında azalmalar olacaktır.

Son olarak, bu tez çalışmasında bulunan özgün sonuçların, bu alanda yapılacak diğer çalışmalarla birlikte, gelecekte ülkemize özgü bir karayolları tasarım el kitabının hazırlanmasına katkı sağlayacağı ümit edilmektedir.



KAYNAKLAR

- Agent, K. R. ve Crabtree, J. D.** (1983). *Analysis of Saturation Flow at Signalized Intersections*, Kentucky Transportation Research Program, University Kentucky, Lexington, KY.
- Akçelik, R.** (1981). *Traffic Signals: Capacity and Time Analysis*, (Research Report ARR No. 123), Australian Road Research Board, Vermont, South Victoria.
- Akçelik, R.** (1989). Opposed Turns at Signalized Intersections: The Australian Method, *ITE Journal*, Vol. 59, No. 6, 21-27.
- Akova, M.** (1979). *Kavşak Sinyalizasyon Hesabında Duruş, Kalkış ve Boşaltma Koşullarının Etkisi, Hesap Yöntemleri ve Ülkemiz Gerçeklerine Uygun Yöntem Araştırılması*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alam, M. J. B., Osra, K. A., Al-Bar, H. O. ve Zahran, S. Z.** (2011). Signalized Intersection Capacity Adjustment Factors for Makkah, Saudi Arabia, *Canadian Journal of Transportation*, Vol. 4, No. 1.
- Al-Ghamdi, A.S.** (1999). Entering Headway for Through Movements at Urban Signalized Intersections, *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1678, No. 1, 42-47.
- Bang, K.** (1978). Swedish Capacity Manual, Capacity of Signalized Intersections, *Transportation Research Record*, Vol. 667, 11-21.
- Bayazıt, M.** (1996). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, E. B. Y.** (2005). *Mühendislik İçin İstatistik*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bester, C. J. ve Meyers, W. L.** (2007). Saturation Flow Rates, *Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference (SATC 2007)*, Organised by Conference Planners, Pretoria, South Africa, 9-12 July, 560-568.
- Bester, C. J. ve Varndell, P. J.** (2002). The Effect of a Leading Green Phase on the Start-up Lost Time of Opposing vehicles, *South African Transport Conference*, Pretoria.
- Bonneson, J.A.** (1992). Study of Headway and Lost Time at Single-Point Urban Interchanges, *Transportation Research Record*, Vol. 1365, 30-39.
- Bonneson, J. A ve Nevers, B., Zegeer, J., Nguyen, T. ve Fong, T.** (2005). *Guidelines for Quantifying the Influence of area Type and Other Factors on Saturation Flow Rate*, Florida Department of Transportation and Texas Transportation Institute, College Station, Texas.
- Branston, D.** (1979). Some Factors Affecting Signalized Intersection Capacity, *Traffic Engineering and Control*, Vol. 8, No. 9, 390-396.

- Branston, D. ve Gipps, P.** (1981). Some Experience with a Multiple Linear Regression Method of Estimating Parameters of the Traffic Signal Departure Process, *Transportation Research Part A: General*, Vol. 15, No. 6, 445-458.
- Branston, D. ve Van Zuylen, H.** (1978). The Estimation of Saturation Flow, Effective Green Time and Passenger Car Equivalents at Traffic Signals by Multiple Linear Regression, *Transportation Research*, Vol. 12, No. 1, 47-53.
- Carstens, R.L.** (1971). Some Traffic Parameters at Signalized Intersections, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 41, No: 11, 33-36.
- Çalışkanelli, P.** (2010). *Sinyalizasyon Sistemlerinden Ayrılan Taşıtların Takip Aralığı Dağılımının İncelenmesi*. (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çetin, M.** (2015). *Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Oranının Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım*. (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çetin, M. ve Murat, Y. Ş.** (2013). Doygun Akımın Belirlenmesinde Sürücü Davranışına Bağlı Bir Matematik Yaklaşım, *İMO Teknik Dergi*, 6399-6414, Yazı 400.
- Clayton, A. J. H.** (1941). Road Traffic Calculations, *Journal of Institution of Engineer*, Vol. 16, No. 7, 247-284, No.8, 588-594.
- Ellson, P. B.** (1969). *Parking: Dynamic Capacities of Car Parks*, Road Research Laboratory (U.K.), BRL Lab. Rep. LR221.
- FHWA** (2008). *Federal Highway Administration, Traffic Signal Timing Manual*, Publication Number: FHWA-HOP-08-024.
- Gerlough, D. L. ve Wagner, F. A.** (1967). *Improved Criteria for Traffic Signals at Individual Intersections* (NCHRP Report No.32). TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 38-42.
- Greenshields, B. D., Schapiro, D. and Ericksen, E. L.** (1947). *Traffic Performance at Urban Street Intersections* (Technical Report No. 1). Bureau of Highway Traffic, Yale University.
- HBS** (2001). *Forchungsgesellschaft für StraBen-und Verkehrswesen, Handbuch für die Bemessung von StraBenverkehrssanlagen (HBS)*, Edition 2001/Version 2009.
- Iqbal, M. J.** (2009). *Estimation of Saturation Flow and Lost Time at Selected Signalized Intersections of Karachi (Pakistan)*. (Doktora Tezi). Faculty of Engineering, Mehran University of Engineering & Technology, Jamshoro. Retrieved from <http://pr.hec.gov.pk/jspui/bitstream/123456789/1258/1/777S.pdf>.
- IT** (1990). *Institute of Transportation, Taiwan Area Highway Capacity Manual*, Ministry of Transportation and Communication.
- ITE** (2008). *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections*, Canada.
- Joseph, J. ve Chang, G. L.** (2005). Saturation Flow Rates and Maximum Critical Lanes Volumes for Planning Applications in Maryland, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, No. 12, 946-952.

- JRA** (1984). *Japanese Road Association*, Traffic Capacity of Road.
- Jumsan, K., Sungmo, R. ve Zunhwan, H.** (2005). Vehicle Passing Behaviour through the Stop Line of Signalized Intersections, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 1509-1517.
- Kimber, R. M., McDonald, M. ve Hounsell, N. B.** (1986). *The Prediction of Saturation Flows for Road Junctions Controlled by Traffic Signals* (Research Report 67). Transport and Road Research Laboratory.
- Kimber, R. M., Semmens, M. C. ve Shewey, P. J. H.** (1982). Saturation Flows at Traffic Signal Junctions: Studies on Test Track and Public Roads, *Institute of Electrical Engineers Conference on Road Traffic Signalling*, (Conference publication No 207).
- Kunzman, W.** (1978). Another Look at Signalized Intersection Capacity, *ITE Journal*, Vol. 48, No. 8, 12-15.
- Lee, H. S. ve Do, T. W.** (2002). Saturation Headway of Through Movement at Signalized Intersections in Urban Area, *Journal of Transportation Research Society of Korea*, Vol. 20, No. 5, 23-31.
- Lee, J. ve Chen, R. L.** (1986). Entering Headway at Signalized Intersections in a Small Metropolitan Area, *Transportation Research Record*, Vol. 109, 117-126.
- Lemke, K.** (2015). The New German Highway Capacity Manual (HBS 2015), *Transport Research Procedia*, Vol. 15, 26-35.
- McMahon, J. W., Krane, J. P. ve Federico, A. P.** (1997). Saturation Flow Rates by Facility Type, *ITE Journal*, Vol. 6, No. 1, 46-50.
- Miller, A. J.** (1968a). The Capacity of Signalised Intersections in Australia, *Australian Road Research Board, Bulletin No. 3*.
- Miller, A. J.** (1968b). Australian Road Capacity Guide, *Australian Road Research Board, Bulletin No. 4*.
- Minh, C. C. ve Sano, K.** (2003). Analysis of Motorcycle Effects to Saturation Flow Rate at Signalized Intersection in Developing Countries , *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5.
- Özdirim, M.** (1972). *Türkiye’de Trafik Sinyalizasyonunun Formüle Edilmesi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, E. A.** (2004). *Sinyalize Kavşaklarda Periyot Süresinin Modellenmesi: Ankara Örneği*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Polat, A., Sarısoy, G. ve Ögüt, K. S.** (2015). Küçük Ölçekli Kentlerde Işıklı Kavşaklarda Başlangıç Zaman Kaybı ve Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi, *11. Ulaştırma Kongresi*, Fındıklı, İstanbul.
- Potts, I. B., Harwood, D. W., Bauer, K. M., Gilmore, D. K., Ringert, J. F., Zegeer, J. D.,** (2007). Relationship of Lane Width to Saturation Flow Rate on Urban and Suburban Signalized Intersection Approaches, *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2027, No. 1, 45-51.

- Rahman, M.M., Hassan, T. ve Ahmed, S. N.** (2005). Comparison of Saturation Flow Rate at Signalized Intersections in Yokohama and Dhaka, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, 959-966.
- Reilly, W. R. ve Pfefer, R. C.** (1982). Signalized Intersection Capacity and Level-of-Service, *Compendium of Technical Papers*, Washington, D.C., Institute of Transportation Engineers, 130-133.
- Satish, C. ve Sikdar, P. K.** (1993). Dynamic PCU for Intersection Capacity Estimation, *Indian Highways*, Vol. 21, No. 7, 5-11.
- Savitha, B. G., Murthy, R. S., Jagadeesh, H. S., Sathish, H. S. ve Sundararajan T.** (2017). Study on Geometric Factors Influencing Saturation Flow Rate at Signalized Intersections under Heterogeneous Traffic Conditions, *Journal of Transportation Technologies*, Vol. 7, 83-94.
- Shang, H., Zhang, Y. ve Fan, L.** (2014). Heterogeneous Lanes' Saturation Flow Rates at Signalized Intersections, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 138, 3-10.
- Shang, H. Y., Huang, H. J. ve Wu, W. X.** (2012). Effects of Right-Turn Vehicles on Traffic Flow, *International Journal of Modern Physics C*, Vol. 23, No. 2, 1250010.
- Shao, C. ve Liu, X.** (2012). Estimation of Saturation Flow Rates at Signalized Intersections, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 2012.
- Shao, C. Q., Rong, J. ve Liu, X. M.** (2011). Study on the Saturation Flow Rate and Its Influence Factors at Signalized Intersections in China, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16,, 504-514.
- Stanić, B., Tubić, V. ve Čelar, N.** (2011). Straight Lane Saturation Flow and Its Rate in Serbian Cities, *Transport*, Vol. 26, No. 3, 329-334.
- Sun, H., Yang, J., Wang, L., Li, L. ve Wu, B.** (2013). Saturation Flow Rate and Start-up Lost Time of Dual-Left Lanes at Signalized Intersection in Rainy Weather Condition, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 96, 270-279.
- Susilo, B.H. ve Solihin, Y.** (2011). Modification of Saturation Flow Formula by Width of Road Approach, *6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Stockholm, Sweden June 28- July 1.
- Teply, D. R., Richardson, D., Schnablegger, J ve Stephenson, B.** (1985). New Features in the "Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, *ITE Journal-Institute of Transportation Engineers*, Vol. 55, No. 10, 40-46.
- Teply, S. ve Jones, A. M.** (1991). Saturation Flow: Do we speak Same Language? *Transportation Research Record*, Vol. 1320, 144-153.
- TRB** (1950). *Highway Capacity Manual*, Practical Applications of Research, by the Committee on Highway Capacity, Dept. of Traffic and Operations, Public Roads, Vol. 25, No. 10, October, 1949 and No. 11, December.
- TRB** (1965). *Highway Capacity Manual* (Special Report No. 87). Washington D.C.: HRB, National Research Council.
- TRB** (1985). *Highway Capacity Manual* (Special Report No. 209). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.

- TRB** (1997). *Highway Capacity Manual*, (3rd Ed., 2nd Update). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (2000). *Highway Capacity Manual*, S.I. Units, (4th Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (2010). *Highway Capacity Manual*, (5th Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRRL** (1963). *Transport and Road Research Laboratory*, A method of Measuring Saturation Flow at Traffic Signals. Road Note No. 34, London: HMSO.
- Tsao, S. M. ve Chu, S. W.** (1995). Adjustment Factors for Heavy Vehicles at Signalized Intersections, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 2, No. 2, 150–157.
- Tuncer, Ş.** (2017). Kişisel görüşme, İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş. (İSBAK), 15 Mayıs, İstanbul.
- Turner, J. ve Harahap, G.** (1993). Simplified Saturation Flow Data Collection Methods, *Proceedings of the 4th Conference on Urban Transport in Developing Countries*, Tunis.
- Wardrop, J. G.** (1952). Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, Vol. 2, No. 1, 325-378.
- Webster, F. V.** (1958). Traffic Signal Settings, *Road Research Laboratory Technical Paper No.39*, HMSO, London.
- Webster, F. V. ve Cobbe, B. M.** (1966). Traffic Signals, *Technical Paper 56*. HMSO, London.
- Zegeer, J. D.** (1986). Field Validation of Intersection Capacity Factors, *Journal of Transportation Research Board of the National Academies*, Vol. 1091 67-77.
- Zhang, G. ve Chen, J.** (2009). Study on Saturation Flow Rates for Signalized Intersections, *2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 508-601.
- Zhang, W., Wang, Y. ve Yang, X.** (2010). Influence of the Number of through Lane Groups on Saturation Flow Rates at Signalized Intersections, *Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS*, 285-294.



EKLER

EK A : Taşıt verileri

EK B : ANOVA test örnekleri



EK A : Taşıt verileri.**Çizelge A.1 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için iki şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.**

Kavşak Künyesi	İncelenen					Tezdeki Numarası
	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	
Kennedy Cad./ Bağlantı Yolu	1102	Kuzey doğu	Sol	35	378	001
Kennedy Cad. / Aksakal Sok.	1103	Kuzey batı	Sol	34	496	002
Kennedy Cad. / Genç Osman Cad.	1108	Batı	Sol	32	326	003
Begradkapı Cad. / 10. Yıl Cad.	1114	Güney	Sol	39	444	004
Silivrikapı Cad. / 10. Yıl Cad.	1115	Kuzey	Sol	37	370	005
Ayvansaray Cad. / E-5 bağlantısı	1119	Kuzey batı	Sol	30	185	006
Yavedut Cad. / E-5 bağlantısı	1121	Kuzey batı	Sol	34	476	007
Halkalı Cad. / İETT İkitelli Garajı	1131	Kuzey batı	Sol	34	368	008
10. Yıl Cad. / Marmaray durağı	1490	Kuzey	Sol	30	280	009
Halkalı Cad. / Sabahattin Zaim Ü.	1837	Kuzey batı	Sol	33	325	010
Halaskargazi Cad. / Rumeli Cad.	2226	Güney	Sol	39	321	011
Halaskargazi Cad. / Büyükdere Cad.	2227	Kuzey	Sol	76	631	012
Halaskargazi Cad. / Harbiye Kavşağı	2238	Güney	Sol	36	314	013
Nispetiye Cad. / Gonca Sok.	2271	Kuzey doğu	Sol	31	284	014
Nispetiye Cad. / Ebulula Mardin Cad.	2280	Kuzey doğu	Sol	30	282	015
Şenol Güneş Bul. / Çakmak Polis Mer.	3140	Kuzey batı	Sol	38	589	016
Fahrettin Kerim Gökay Cad./ Şair Arşı Cad.	3347	Güney doğu	Sol	37	523	017
Halitağa Cad. / Taşköprü Cad.	3354	Kuzey batı	Sol	28	367	018
Çanakkale Cad. / Anayurt Cad.	3592	Kuzey doğu	Sol	39	367	019
Ziya Çakmak Viyadüğü / Delice Sok.	3662	Güney batı	Sol	30	282	020

Çizelge A.1 (devam) : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için iki şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi	İncelenen					Tezdeki Numarası
	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	
Ziya Çakmak Viyadüğü / Delice Sok.	3662	Kuzey doğu	Sol	29	257	021
Küçüksu Cad. / Aşık Veysel Cad.	3671	Güney	Sol	33	437	022
Ali Nihat Tarlan Cad. / Değirmen Yolu Cad.	3673	Kuzey doğu	Sol	30	366	023
Küçüksu Cad. / Sokullu Sok.	3974	Güney	Sol	35	302	024
Mehmet Akif Cad. / Poyrazlı Sok.	4132	Güney	Sol	32	489	025
Kennedy Cad. / Namık Kemal Cad.	1106	Doğu	Sol	31	416	026
			Sağ	30	449	027
Kennedy Cad. / Genç Osman Cad	1108	Batı	Sol	46	711	028
			Sağ	48	611	029
10. Yıl Cad. / Silivrikapı Cad.	1115	Güney	Sol	30	286	030
			Sağ	30	216	031
Ayvansaray Cad. / E-5 bağlantısı	1119	Güney doğu	Sol	33	365	032
			Sağ	33	269	033
Karadeniz Cad. / Silahtarağa Cad.	1211	Güney	Sol	59	623	034
			Sağ	49	376	035
Aksu Cad. / Ümraniye Sok.	1320	Güney	Sol	37	421	036
			Sağ	31	503	037
Kazım Karabekir Cad. / Bilgi Ü. (önü)	1450	Kuzey	Sol	34	492	038
			Sağ	30	326	039
Bahariye Cad. / (Eyüp Sultan Mz.)	1757	Kuzey doğu	Sol	34	397	040
			Sağ	30	185	041
Haliç Cad. / Abdülezelpaşa Cad.	1832	Doğu	Sol	35	571	042
			Sağ	30	278	043
Bahariye Cad. / Eyüpsultan Devlet Hastanesi önü	1883	Güney doğu	Sol	49	586	044
			Sağ	47	526	045
İkitelli Bağlantı Yolu/ Bedrettin Dalan Bul.	1951	Kuzey	Sol	30	785	046
			Sağ	30	487	047
Dolmabahçe Cad. / Kadırgalar Cad.	2204	Kuzey doğu	Sol	30	363	048
			Sağ	33	300	049
Nispetiye Cad. / Ebulula Mardin Cad.	2280	Güney batı	Sol	31	281	050
			Sağ	30	245	051
İmrahor Cad. / Kağıthane Emniyet Müd.	2431	Kuzey doğu	Sol	30	413	052
			Sağ	30	262	053
Mehmet Akif Cad. / Sağlıklı Yaşam Parkı	4145	Kuzey batı	Sol	30	419	054
			Sağ	30	364	055
Boğazkesen Cad./ Kemeraltı Cad.	4502	Kuzey doğu	Sol	30	259	056
			Sağ	32	266	057
Meclis-i Mebusan Cad./ Mimar Sinan Ü.	4506	Kuzey doğu	Sol	31	341	058
			Sağ	30	252	059

Çizelge A.2 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için üç şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi		İncelenen				Tezdeki
Kesişen Yollar	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	Numarası
Eski Edirne Asfaltı/Kayabaşı	1850	Güney doğu	Sol	30	435	060
Ragıp Gümüşpala Cad. / Haliç metro durağı	1992	Kuzey batı	Sol	44	418	061
			Orta	42	348	062
Meclis-i Mebusan Cad. / Dolmabahçe Gazhane Cad.	2204	Güney batı	Sol	36	375	063
			Orta	30	289	064
Barbaros Bul. / Akgüner Sok.	2214	Kuzey	Sol	34	633	065
			Orta	31	266	066
Eski Büyükdere Cad. / Cemal Şahir Sok.	2242	Batı	Sol	38	343	067
			Orta	30	217	068
Büyükdere Cad. / Orman Bölge Md. (önü)	2254	Kuzey	Sol	31	694	069
			Orta	34	790	070
Büyükdere Cad. / Ulu Cad.	2264	Güney	Sol	30	305	071
			Orta	30	380	072
Eski Büyükdere Cad. / Villa Cad.	2278	Kuzey doğu	Sol	31	374	073
			Orta	33	294	074
		Güney	Sol	30	301	075
Büyükdere Cad. / Işık Üni. (önü)	2327		Orta	32	317	076
		Kuzey	Sol	30	665	077
			Orta	31	511	078
Büyükdere Cad. / Darüşşafaka Cad.	2348	Güney	Sol	44	751	079
			Orta	42	529	080
Eski Büyükdere Cad. / Astoria avm (önü)	2367	Doğu	Sol	31	409	081
			Orta	31	310	082
		Batı	Sol	38	470	083
Turgut Özal Bul. / Cumhuriyet Cad.	3329		Orta	31	408	084
		Doğu	Sol	45	506	085
			Orta	34	374	086
Turgut Özal Bul. / Mimar Sinan Cad.	3408	Güney doğu	Sol	33	432	087
			Orta	30	334	088
Turgut Özal Bul. / Piri Reis Cad.	3409	Güney doğu	Sol	33	312	089
			Orta	35	397	090
Turgut Özal Bul. / Şht. Nedim Özpolat Sok.	3482	Kuzey batı	Sol	31	362	091
			Orta	31	343	092
Turgut Özal Bul. / Sahilyolu Cad.	3483	Güney doğu	Sol	30	295	093
			Orta	31	269	094

Çizelge A.2 (devam) : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için üç şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi		İncelenen				Tezdeki Numarası
Kesişen Yollar	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	
Turgut Özal Bul. / Sahil Yolu Bağlantısı	3507	Kuzey doğu	Sol	30	376	095
			Orta	30	286	096
Turgut Özal Bul. / Çanakkale Cad.	3514	Güney doğu	Sol	30	386	097
			Orta	30	551	098
Küçüksu Cad. / Akçakoca Sok.	3589	Güney batı	Sol	39	363	099
			Orta	30	280	100
Turgut Özal Bul. / Süreyya Paşa Çıkmaızı	3921	Güney doğu	Sol	33	312	101
			Orta	47	514	102
Sahil Yolu Bul. / İlhami Soysal Bulvarı	3922	Doğu	Sol	35	724	103
			Orta	33	512	104
Turgut Özal Cad. / Çapa Kan Merkezi (önü)	4118	Güney doğu	Sol	30	299	105
			Orta	30	265	106
Turgut Özal Cad. / Çapa Tıp fakültesi (önü)	4118	Kuzey batı	Sol	30	337	107
			Orta	32	226	108
Turgut Özal Cad. / Topkapı Cad.	4120	Güney doğu	Sol	35	388	109
			Orta	45	299	110
Barbaros Bul. / Palanga Cad.	2222	Kuzey	Sol	34	387	111
			Orta	30	198	112
Eski Büyükdere Cad. / Cemal Şahir Sok.	2242	Doğu	Sağ	30	222	113
			Sol	34	468	114
Büyükdere Cad. / Orman Bölge Md. (önü)	2254	Güney	Orta	39	448	115
			Sağ	30	252	116
Refik Saydam Cad. / Sadi Konuralp Cad.	2262	Kuzey	Sol	30	442	117
			Sağ	30	361	118
Eski Büyükdere Cad. / Villa Cad.	2278	Güney doğu	Sol	33	426	120
			Orta	33	278	121
Büyükdere Cad. / Darüşşafaka Cad.	2348	Kuzey	Sağ	30	238	122
			Sol	30	521	123
Eski Büyükdere Cad. / Astoria avm (önü)	2367	Batı	Orta	32	603	124
			Sağ	33	381	125
			Sol	31	431	126
			Orta	25	261	127
			Sağ	30	330	128
			Sol	32	320	129
			Orta	32	236	130
			Sağ	30	225	131

Çizelge A.3 : Eğimsiz kesimlerde doğru giden akımlar için dört şeritli kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi		İncelenen				Tezdeki Numarası
Kesişen Yollar	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	
Adnan Menderes Bul. / Historia avm (önü)	1192	Kuzey batı	Sol	30	255	132
			Sol orta	30	275	133
			Sol	30	252	134
Adnan Menderes Bul. / Sofular Cad.	1155	Kuzey batı	Sol orta	30	410	135
			Sağ orta	30	247	136
			Sol	36	634	137
Adnan Menderes Bul. / Aksaray orduevi (önü)	1157	Kuzey batı	Sol orta	30	419	138
			Sağ orta	30	340	139
			Sol	30	353	140
Adnan Menderes Bul. / Vakıf Gureba Hastanesi (önü)	1380	Güney doğu	Sol orta	30	292	141
			Sağ orta	30	385	142

Çizelge A.4 : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi		İncelenen				Tezdeki Numarası
Kesişen Yollar	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	
Adnan Kahveci Bul. / İpek Sok.	1141	Güney batı	Sol	30	416	143
Eyüp Sultan Bul. / Gürbüzler Cad.	1218	Kuzey doğu	Sol	31	317	144
E-80 Bağlantı Yolu / Pınar Sok.	1360	Güney batı	Sol	30	373	145
		Kuzey doğu	Sol	33	536	146
E-80 Bağlantı Yolu / 60. Sok.	1376	Güney batı	Sol	36	543	147
		Kuzey doğu	Sol	39	461	148
Adnan Kahveci Bul. / Meydan merter	1690	Güney batı	Sol	44	448	149
Büyükbakkalköy Yolu / Handegül Sok.	3112	Güney batı	Sol	39	342	150
Dr. Eyüp Aksoy Cad. / İsfalt Köprülü Kavşağı	3448	Güney doğu	Sol	41	510	151
Kayışdağı Cad. / Akyazı Cad.	3504	Doğu	Sol	30	375	152
Şile Otoyolu Yanyolu / Neşet Bey Sok.	3516	Doğu	Sol	30	281	153
Atatürk Cad. / Palmiye Cad.	3599	Güney batı	Sol	32	511	154
Libadiye Cad. / Hicazkar Sok.	3681	Güney	Sol	30	273	155
		Kuzey	Sol	30	315	156
Halk Cad. / İhlamur Sok.	3689	Güney batı	Sol	34	440	157
Yıldız Sok. / Ayazma Cad.	3842	Güney batı	Sol	30	245	158
			Sol	30	510	159
Atatürk Bul. / Piri Sok.	1145	Kuzey doğu	Orta	31	397	160
			Sol	28	315	161
			Orta	30	280	162
Eski Londra Asfaltı Cad. / Cevat Açıkalın Cad.	1327	Doğu	Sol	30	267	163
			Orta	31	265	164
Atatürk Bul. / 2717. Sok.	1454	Güney	Sol	33	684	165
			Orta	33	418	166

Çizelge A.4 (devam) : Eğimli kesimlerde doğru giden akımlar için kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi		İncelenen				Tezdeki Numarası
Kesişen Yollar	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	
Mehmet Akif Ersoy Bul. / 1. Fulya Sok.	1684	Kuzey	Sol	30	771	167
			Orta	35	835	168
		Kuzey batı	Sol	33	464	169
			Orta	30	395	170
Barbaros Bul. / Mehmet Ali Bey Sok.	2207	Kuzey	Sol	30	349	171
			Orta	35	343	172
		Güney batı	Sol	30	279	173
			Orta	30	245	174
Refik Saydam Cad. / Asmalı Mescit Cad.	2216	Kuzey doğu	Sol	30	273	175
			Orta	34	358	176
		Güney batı	Sol	36	356	177
			Orta	31	293	178
Barbaros Bul. / Saray Cad.	2270	Güney	Sol	30	308	179
			Orta	30	253	180
		Kuzey	Sol	32	454	181
			Orta	32	457	182
Libadiye Cad. / Soyak Sitesi (önü)	3525	Kuzey	Sol	32	457	183
			Sağ	32	443	184

Çizelge A.5 : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için incelenen kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi			İncelenen				Tezdeki
Kesişen Yollar	İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	Numarası	
Kazım Karabekir Cad./Mareşal Fevzi Çakmak Cad.	1436	Kuzey doğu	Sol	33	323	185	
İstanbul Cad. / Hasdal Yassı Ören Otoyolu	1553	Güney doğu	Sol	34	326	186	
Meclis-i Mebusan Cad. / Kadırgalar Cad.	2204	Güney batı	Sol	32	290	187	
Barbaros Bul. / Palanga Cad.	2222	Kuzey	Sol	30	194	188	
Halaskargazi Cad. / Vali Konağı Cad.	2238	Kuzey	Sol	35	316	189	
İmrahor Cad. / Kazım Karabekir Cad.	2313	Kuzey batı	Sol	30	276	190	
Büyükdere Cad. / Darüşşafaka Cad.	2348	Kuzey	Sol	40	327	191	
Fahrettin Kerim Gökay Cad. / Şair Arşı Cad.	3347	Kuzey batı	Sol	36	303	192	
Opr. Dr. Burhan Üstünel Cad. / Nuh Kuyusu Cad.	3357	Güney batı	Sol	31	317	193	
Gazi Cad. / Aka Gündüz Sok.	3407	Kuzey	Sol	36	226	194	
Turgut Özal Bul. / Mimar Sinan Cad.	3408	Kuzey batı	Sol	35	251	195	
Turgut Özal Bul. / Piri Reis Cad.	3409	Kuzey batı	Sol	33	327	196	
Spor Cad. / Sanayi Cad.	3458	Güney batı	Sol	30	472	197	
Turgut Özal Bul. / Sahil Yolu Bağlantısı	3507	Kuzey	Sol	32	269	198	
Alemdağ Cad. / Alemdağ Yanyolu	3508	Batı	Sol	30	310	199	
Turgut Özal Bul. / Çanakkale Cad.	3514	Kuzey batı	Sol	44	462	200	
Caddebostan Pendik Sahilyolu / Ankara Cad.	3571	Kuzey batı	Sol	32	285	201	

Çizelge A.5 (devam) : Eğimsiz kesimlerde sola dönen akımlar için incelenen kavşak kollarında gözlenen taşıt verileri.

Kavşak Künyesi			İncelenen				Tezdeki
Kesişen Yollar		İBB Numarası	Kol	Şerit	Devre sayısı	Taşıt sayısı	Numarası
Caddebostan Pendik Sahilyolu / Kıyı Sok.	3573	Kuzey batı	Sol	32	187	202	
		Kuzey doğu	Sol	40	343	203	
Şemsettin Günaltay Cad./Fahrettin Kerim Gökay Cad.	3580	Kuzey batı	Sol	35	376	204	
Küçüksu Cad. / Dr. Fazıl Küçük Cad.	3619	Kuzey doğu	Sol	35	300	205	
Halk Cad. / İhlamur Sok.	3689	Güney doğu	Sağ	31	432	206	
Sahil Yolu Bul. / İlhami Soysal Bulvarı	3922	Batı	Sol	36	330	207	
Dr. Eyüp aksoy Cad. / Nuh Kuyusu Cad.	3927	Doğu	Sol	34	308	208	
Rami Kışla Cad. / Talimhane Cad.	4154	Kuzey doğu	Sol	41	329	209	

EK B : ANOVA test örnekleri.

Çizelge B.1 : 007 No.lu şeritte 1. taşıttan itibaren yapılan ANOVA testi çıktısı ($F_{hesap} > F_{kritik}$).

Anova: Tek Etken						
ÖZET						
Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans		
h1	34	102,365	3,010735	1,222512		
h2	34	73,71	2,167941	0,287574		
h3	34	63,16	1,857647	0,169873		
h4	34	62,22	1,83	0,251467		
h5	34	63,17	1,857941	0,205708		
h6	34	66,24	1,948235	0,234936		
h7	34	65,84	1,936471	0,33992		
h8	32	61,39	1,918438	0,292027		
h9	32	55,12	1,7225	0,185948		
h10	30	53,28	1,776	0,353335		
h11	29	57,58	1,985517	0,295618		
h12	29	50,97	1,757586	0,277548		
h13	25	45,02	1,8008	0,253208		
h14	22	39,24	1,783636	0,394167		
h15	21	36,02	1,715238	0,128606		
h16	18	30,28	1,682222	0,408054		
ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F _{hesap}	P-değeri	F _{kritik}
Gruplar Arasında	48,25036	15	3,216691	9,5789	9,140	1,688
Gruplar İçinde	154,4718	460	0,335808			
Toplam	202,7222	475				

Çizelge B.2 : 007 No.lu şeritte 2. taşıttan itibaren yapılan ANOVA testi çıktısı ($F_{hesap} > F_{kritik}$).

Anova: Tek Etken						
ÖZET						
Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans		
h2	34	73,71	2,1679412	0,287574421		
h3	34	63,16	1,8576471	0,169873084		
h4	34	62,22	1,83	0,251466667		
h5	34	63,17	1,8579412	0,205707754		
h6	34	66,24	1,9482353	0,234936185		
h7	34	65,84	1,9364706	0,339920499		
h8	32	61,39	1,9184375	0,292026512		
h9	32	55,12	1,7225	0,185948387		
h10	30	53,28	1,776	0,353335172		
h11	29	57,58	1,9855172	0,295618473		
h12	29	50,97	1,7575862	0,277547537		
h13	25	45,02	1,8008	0,253207667		
h14	22	39,24	1,7836364	0,3941671		
h15	21	36,02	1,7152381	0,12860619		
h16	18	30,28	1,6822222	0,408053595		
ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F _{hesap}	P-değeri	F _{kritik}
Gruplar Arasında	6,627649711	14	0,4734036	1,7711	0,0405	1,7149
Gruplar İçinde	114,1289123	427	0,2672808			
Toplam	120,756562	441				

Çizelge B.3 : 007 No.lu şeritte 3. taşıttan itibaren yapılan ANOVA testi çıktısı ($F_{hesap} < F_{kritik}$).

Anova: Tek Etken						
ÖZET						
Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans		
h3	34	63,16	1,857647	0,169873		
h4	34	62,22	1,83	0,251467		
h5	34	63,17	1,857941	0,205708		
h6	34	66,24	1,948235	0,234936		
h7	34	65,84	1,936471	0,33992		
h8	32	61,39	1,918438	0,292027		
h9	32	55,12	1,7225	0,185948		
h10	30	53,28	1,776	0,353335		
h11	29	57,58	1,985517	0,295618		
h12	29	50,97	1,757586	0,277548		
h13	25	45,02	1,8008	0,253208		
h14	22	39,24	1,783636	0,394167		
h15	21	36,02	1,715238	0,128606		
h16	18	30,28	1,682222	0,408054		
ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F _{hesap}	P-değeri	F _{kritik}
Gruplar Arasında	3,192073	13	0,245544	0,924554	0,527327	1,745046
Gruplar İçinde	104,639	394	0,265581			
Toplam	107,831	407				



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Süleyman DÜNDAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Maden, 1984

Adres: İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı, Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü, Huzur Mah. İstasyon Yolu Seyrantepe Metro Tesisleri Sarıyer/İSTANBUL

E-Posta: dundar23@yahoo.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2006

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı, 2010

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Yayın Listesi:

Dündar, S. ve Ögüt, K. S. (2018). Determination of Basic Saturation Flow Rate in İstanbul, *International Journal of Engineering Technologies IJET*, Vol. 4, No. 1, 47-52.

