

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRÜCÜ DAVRANIŞ MODELLERİNİN SAHA
VERİLERİYLE SINANMASI**

İnşaat Mühendisi Mehmet UYGUN

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞAHİN (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. TRAFİK AKIM KURAMI TEMEL KAVRAMLARI.....	3
2.1 Asal Değişkenler	3
2.2 Türetilmiş Değişkenler.....	3
2.2.1 Hız.....	3
2.2.1.1 Zaman Ortalama Hız.....	3
2.2.1.2 Uzaklık Ortalama Hız	4
2.2.2 Yoğunluk.....	4
2.2.3 İşgal Oranı	4
2.2.4 Akım	5
2.3 Trafik Akım Modelleri.....	5
2.3.1 Makroskobik Akım Modelleri.....	5
2.3.1.1 Greenshields Modeli	5
2.3.1.2 Greenberg Modeli.....	9
2.4 Yığışimli Taşıt Sayısı Eğrileri ve Trafik Akımının Korunumu	10
2.5 Ölçeklendirilmiş Yığışimli Taşıt Sayısı Eğrileri	14
3. SÜRÜCÜ DAVRANIŞ KURAMI	21
3.1 Davranış Kuramı.....	21
3.1.1 Sürücü Psikolojisi ve Davranışları	21
3.1.2 Davranış Kuramı Kavramı	21
3.2 Sürücü Sıra Alma Davranışı.....	25
4. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	28
4.1 Veri Toplama ve Gözlem Sahaları	28
4.1.1 Beşiktaş Katılım Sahası	28
4.1.2 O-4 Katılım Sahası	29
4.1.3 Kısıklı Katılım Sahası	30
4.2 Davranış Kuramı Araştırmaları	30
4.2.1 Beşiktaş Katılımı 10.04.2007 Günü Verileri.....	31

4.2.1.1	Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları	31
4.2.1.2	Şerit Akımlarının İncelenmesi.....	32
4.2.1.3	Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi	36
4.2.1.4	Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi	38
4.2.2	Beşiktaş Katılımı 12.04.2007 Günü Verileri.....	39
4.2.2.1	Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları	39
4.2.2.2	Şerit Akımlarının İncelenmesi.....	40
4.2.2.3	Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi	44
4.2.2.4	Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi	45
4.2.3	Beşiktaş Katılımı 13.04.2007 Günü Verileri.....	47
4.2.3.1	Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları	47
4.2.3.2	Şerit Akımlarının İncelenmesi.....	49
4.2.3.3	Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi	53
4.2.3.4	Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi	56
4.2.4	Beşiktaş Katılımı 16.04.2007 Günü Verileri.....	57
4.2.4.1	Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları	57
4.2.4.2	Şerit Akımlarının İncelenmesi.....	59
4.2.4.3	Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi	63
4.2.4.4	Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi	64
4.2.5	Beşiktaş Katılımı 19.04.2007 Günü Verileri.....	65
4.2.5.1	Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları	65
4.2.5.2	Şerit Akımlarının İncelenmesi.....	67
4.2.5.3	Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi	71
4.2.5.4	Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi	72
4.3	Sürücü Sıra Alma Davranış Araştırmaları	73
4.3.1	Beşiktaş Katılımı	73
4.3.1.1	10.04.2007 Günü Verileri	73
4.3.1.2	12.04.2007 Günü Verileri	74
4.3.1.3	13.04.2007 Günü Verileri	75
4.3.1.4	16.04.2007 Günü Verileri	77
4.3.1.5	19.04.2007 Günü Verileri	77
4.3.2	Kısıklı Katılımı.....	79
4.3.2.1	26.04.2007 Günü Verileri	79
4.3.2.2	30.04.2007 Günü Verileri	80
4.3.2.3	04.05.2007 Günü Verileri	81
4.3.3	O-4 Katılımı	82
4.3.3.1	02.05.2007 Günü Verileri	82
4.3.3.2	04.05.2007 Günü Verileri	83
5.	SONUÇLAR	85
	KAYNAKLAR.....	89
	ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGE LİSTESİ

A	Ampirik parametre
B	Ampirik parametre
D	İnceleme yapılan yol kesiminin uzunluğunu
k	Taşıt yoğunluğu
k_j	Tıkanıklık yoğunluğu
k_m	Optimum yoğunluk
L_i	Taşıtların uzunlukları
n	Gözlenen taşıt sayısı
ΔN	Ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı
$N(x,t)$	t zamanına kadar x kesitinden geçen taşıtların yığılımlı sayısı
q	Akım
Q_c	Kritik akım
q_d	Sağ şerit boşaltım akımı
Q_d	Sol şerit boşaltım akımı
q_m	Sağ şerit kapasite akımı
Q_m	Sol şerit kapasite akımı
q_{maks}	Maksimum akım
Q_s	Doygunluk akımı
q_0	Referans akımı
t	Zaman
t_{ort}	Ortalama yolculuk süresi
t_0	Ölçümün başlangıç zamanı
u	Ortalama taşıt hızı
u_f	Taşıtların ortalama serbest hızlarını
u_i	i. taşıtın noktasal hızı
u_m	Maksimum akım hızı
u_s	Uzaklık ortalama hız
u_t	Zaman ortalama hız
v_f	Sağ şerit serbest akım taşıt hızları
V_f	Sol şerit serbest akım taşıt hızları
w	Kinematik dalga hızı
W	Sol şerit geçiş akımı kinematik dalga hızı
W'	Toplam geçiş akımı kinematik dalga hızı
x	Uzaklık
X	Anayol akım değeri
x_0	Ortalama taşıt sayısı
y	Katılım akım değeri
μ	Akım aşağı kapasite akımı
μ_1	Anayol akımı
μ_2	Katılım akımı

KISALTIMA LİSTESİ

A.B.D. Amerika Birleşik Devletleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Akım-Yoğunluk-Hız eğrileri 1.....	6
Şekil 2.2 Akım-Yoğunluk-Hız eğrileri 2.....	8
Şekil 2.3 Taşıtların Yol-Zaman düzlemindeki hareketleri.....	10
Şekil 2.4 Yol-Zaman eğrileri.....	11
Şekil 2.5 Trafik akımının üç boyutlu gösterimi.....	12
Şekil 2.6 Trafik akımının üç görünümü.....	13
Şekil 2.7 Kümülatif taşıt sayısı-zaman ve kümülatif taşıt sayısı-uzaklık eğrileri.....	13
Şekil 2.8 Yığışimli taşıt sayısı ve referans akım yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	17
Şekil 2.9 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrisi.....	18
Şekil 3.1 Akım-yoğunluk eğrisi.....	22
Şekil 3.2 Otoyol katılım krokisi.....	26
Şekil 4.1 Beşiktaş katılımı krokisi.....	29
Şekil 4.2 O-4 katılımı krokisi.....	29
Şekil 4.3 Kısıklı katılımı krokisi.....	30
Şekil 4.4 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	31
Şekil 4.5 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	33
Şekil 4.6 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	34
Şekil 4.7 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	35
Şekil 4.8 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	36
Şekil 4.9 Akım-İşgal oranı ikilileri.....	37
Şekil 4.10 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama)..	38
Şekil 4.11 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	39
Şekil 4.12 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	40
Şekil 4.13 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	41
Şekil 4.14 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	42
Şekil 4.15 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	43
Şekil 4.16 Akım-İşgal oranı ikilileri.....	45
Şekil 4.17 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama)..	46
Şekil 4.18 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri 1.....	47
Şekil 4.19 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri 2.....	48
Şekil 4.20 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	49
Şekil 4.21 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	50
Şekil 4.22 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	51
Şekil 4.23 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	52
Şekil 4.24 Akım-İşgal oranı ikilileri.....	54
Şekil 4.25 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama)..	57
Şekil 4.26 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	58
Şekil 4.27 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	59
Şekil 4.28 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	60
Şekil 4.29 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	61
Şekil 4.30 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	62
Şekil 4.31 Akım-İşgal oranı ikilileri.....	64
Şekil 4.32 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama)..	65
Şekil 4.33 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	66
Şekil 4.34 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	67
Şekil 4.35 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	68
Şekil 4.36 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	69
Şekil 4.37 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.....	70
Şekil 4.38 Akım-İşgal oranı ikilileri.....	72

Şekil 4.39 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama)..	73
Şekil 4.40 Anayol-Katılım akım oranı ikilileri-1.	74
Şekil 4.41 Anayol-Katılım akım oranı ikilileri-2.	75
Şekil 4.42 Anayol-Katılım akım oranı ikilileri-3.	76
Şekil 4.43 Anayol-Katılım akımı ikilileri-4.	77
Şekil 4.44 Anayol-Katılım akımı ikilileri-5.	78
Şekil 4.45 Anayol-Katılım akımı ikilileri-6.	79
Şekil 4.46 Anayol-Katılım akımı ikilileri-7.	80
Şekil 4.47 Anayol-Katılım akımı ikilileri-8.	81
Şekil 4.48 Anayol-Katılım akımı ikilileri-9.	83
Şekil 4.49 Anayol-Katılım akımı ikilileri-10.	84

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı örneği bilgileri.	16
Çizelge 4.1 Beşiktaş katılımı anayol-katılım akım oranları.	79
Çizelge 4.2 Kısıklı katılımı anayol-katılım akım oranları.....	82
Çizelge 4.3 O-4 katılımı anayol-katılım akım oranları.	84
Çizelge 5.1 Akım-İşgal oranı grafik sonuçları.	85
Çizelge 5.2 Akım-İşgal oranı grafik sonuçları ortalama değerler çizelgesi.	85
Çizelge 5.3 Akım kırılma çizelgesi.....	87

ÖNSÖZ

Otoyol ulaştırma sistemlerinde sürücü davranışları, öngörülmesi oldukça zor olan kavramlardır. Buna karşın, sürücü davranışlarının yeterince doğru tanımlanabilmesi bu sistemlerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, otoyol kesimlerinde elde edilen gözlem verileriyle, sürücü davranışlarını inceleyen modeller sınanmıştır.

Tez çalışmasını yöneten, tüm tecrübesi ve deneyimlerini paylaşan, olumlu eleştirileri ve önerileri ile çalışmalarıma katkısı bulunan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail şAHİN' e, destek ve anlayışlarından dolayı ailem, çalışma arkadaşlarım ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Karayolu ulaştırma sisteminde, yüksek taşıt hacimlerinin taşınabildiği otoyollar, zaman tasarrufu ve konfor açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu sistemlerde yaşanan en büyük sorun ise, zaman ve enerji kaybına yol açan kapasite kullanım kayıplarıdır. Kapasite kayıplarının önüne geçebilmek için otoyol sisteminin en önemli bileşeni olan sürücülerin çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Bu açıdan sürücülerin hangi koşullar altında nasıl bir davranış sergileyeceğinin öngörülmesi oldukça önem kazanmaktadır. Bu öngörülerini sağlamak amacıyla, üç farklı otoyol gözlem sahasından video kameralar yardımıyla taşıt sayısı verileri elde edilmiş ve bu veriler, 5-saniye aralıklı yığışımlı taşıt sayıları olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen bu veriler yardımıyla, davranış kuramı ve sürücü sıra alma davranışı temel alınarak, sürücülerin trafik akımı ve birbirleri arasındaki etkileşimi ile trafik akımının işleyişi hakkındaki mevcut bilgiler geliştirilmeye çalışılmıştır. Buna göre, elde edilen sonuçlar davranış kuramı ve sürücü sıra alma davranışına büyük ölçüde uyum göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Sürücü Davranış Kuramı, Sürücü Sıra Alma Davranışı, Otoyollar, Otoyol-Katılım İlişkileri.

TESTING DRIVER BEHAVIOR MODELS WITH FIELD DATA

ABSTRACT

Freeways are important elements of highway transportation systems, providing speedy and comfortable travel conditions. The most important problem for freeways is the capacity drops that may cause time and energy losses. For the prevention of these kinds of losses, the drivers who are the most important component of this system should be defined properly. For the goal of providing these foresights, traffic flows were recorded with video recorders in three different observation zones and these data were transferred to computer as cumulative vehicle counts with 5-sec interval. With the assistance of this data, and based on the driver behavior theory and driver turn-taking behavior, interaction of drivers with each other and with traffic flows around them was studied to improve existing knowledge of traffic flows. As a result, we have determined that the assumptions in the theories developed are hold in general.

Keywords: Driver Behavior Theory, Driver Turn-Taking Behavior, Freeways, Freeway-On Ramp Relationships.

1. GİRİŞ

Tüm bilim dalları için yapılan çalışmaların ve buna bağlı teknolojilerin, farklı yöntemlerle gelişmekte olduğu aşikardır. Bu yöntemlerden birinin de, mevcut sistemlerin ve zamanın daha verimli kullanılması olduğunu söylemek doğru olacaktır. Bu gelişimi ve verimliliği sağlamak için ise, sistemlerin ve sistem parçalarının iyi tanımlanabilmesi gerekmektedir.

Ulaştırma bilim dalı için de benzer şekilde, gelişim unsurları olarak verimlilik ve zaman kazancı daima ön planda olmuştur. Buna bağlı olarak, ulaştırma sistemleri ve bileşenlerinin, doğru ve tam olarak tanımlanabilmesinin önemi de açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında karayolu ulaştırma sistemi ile sürücü bileşenlerinin, birbirleri arasındaki ilişkiler ortaya konmaya çalışılmıştır. Sürücülerin iyi tanımlanabilmesi, hangi koşullar altında nasıl bir davranış sergileyeceklerinin tahmin edilmesi oldukça zor bir işlemdir. Fakat bu tanımlamaların ve ilişkilerin tayin edilebilmesi sayesinde elde edilebilecek yararlar da oldukça fazladır.

Bu bağlamda, bu çalışmada öncelikle, 2. bölümde trafik akım kuramının temel ilkelerine değinilmiştir. Bu bölümde, daha sonraki bölümlerde kullanılan asal ve türetilmiş değişkenler ele alınmıştır. Ayrıca, trafik akım modelleri ve çalışma analizlerinin temelini oluşturan yığışimli taşıt sayısı eğrileri ile trafik akımının korunumu başlıklar altında açıklanmıştır. Son olarak bu bölümde, çalışmada yığışimli taşıt sayısı eğrilerinin ölçeklendirilmesinde kullanılan yöntem ölçeklendirilmiş eğriler başlığı altında ele alınmıştır.

3. bölüm başlığı altında ise, öncelikle Daganzo tarafından ortaya konan davranış kuramı incelenmiştir (Daganzo 2002). Daha sonra, benzer şekilde sürücü sıra alma davranışı incelenmiştir (Cassidy ve Ahn, 2005).

4. bölüm ise davranış kuramlarının uygulamalarını içermektedir. Bu bölümde öncelikle uygulamanın yapıldığı karayolu kesimleri ve bu kesimlerden verilerin toplanması işleminin ayrıntıları anlatılmıştır. Bu bölümün devam eden başlıklarında ise, elde edilen bu verilerle Daganzo'nun davranış kuramı ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, otoyol üzerinde alınan kesitler dikkate alınarak, davranış kuramı temelinde, değişik koşullar altında sürücülerin nasıl bir davranış ve etkileşim içinde oldukları ele alınmıştır. Bu kuramla ilgili çalışmalar, Beşiktaş katılımı bazında yapılmış olup, sahadan alınan verilerin ait olduğu günlerin başlığı altında toplanmıştır. Daha sonra gözlem sahalarından elde edilen veriler incelenerek, sürücü sıra alma davranışı ile uyumu ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu konu ile ilgili çalışmalar ise önce gözlem sahalarını, sonrasında ise gözlem gününü ifade eden başlıklar altında ele alınmıştır.

Son olarak 5. bölümde ise bu ilişkilerin davranış kuramı ve sürücü sıra alma davranışı ile tutarlılığı ve kullanılabilirliği değerlendirilerek sonuç bölümü oluşturulmuştur.

2. TRAFİK AKIM KURAMI TEMEL KAVRAMLARI

Trafik akımı; taşıt kısıtları, yol kısıtları, taşıtların tekil ya da gruplar halindeki hareketleri ve sürücü davranışlarının birleşiminden oluşan karmaşık ve değişken bir yapıya sahiptir. Bu yapıyı doğru tanımlayabilmek, ulaştırma sistemini tasarlarırken ve yönetirken hem daha güvenli hem de daha verimli bir sisteme sahip olmamızı sağlayacaktır.

Genel olarak trafik akımını değerlendirmek üzere bazı temel değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenler, sahada yapılan ölçümlerin sonucu olan asal değişkenler ve bu asal değişkenlerden yola çıkılarak türetilen, türetilmiş değişkenler olarak iki kısımda incelenmektedir.

2.1 Asal Değişkenler

Uzaklık, zaman, taşıt sayısı değişkenleri asal değişkenleri oluşturmaktadırlar. Asal değişkenler, trafik akımı hakkında değerlendirme yapabilmemize yardımcı olan türetilmiş değişkenlerin elde edilmesi için bir basamak teşkil etmektedir.

2.2 Türetilmiş Değişkenler

Asal değişkenlerin birbirleriyle ilişkilendirilmesi sonucu ortaya çıkarılan türetilmiş değişkenler şu şekilde sıralanabilirler.

2.2.1 Hız

Düzenli taşıt hareketlerinin gözlemlendiği trafik akımlarında her bir taşıtın hızı birbirine eşittir ve bu hız trafik akımının ortalama hızını oluşturmaktadır (Şahin, 2006). Fakat gerçek hayatta taşıt hızları birbirinden farklıdır. Bu yüzden incelenen bir trafik akımının hızı ortaya konmak istenirse, ancak taşıt hızlarının ortalaması elde edilerek bir hız ifadesi oluşturulabilir. Bu taşıt hızlarının ortalaması elde edilirken kullanılan iki farklı yöntem iki farklı hız kavramının ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

2.2.1.1 Zaman Ortalama Hız

Zaman ortalama hız; taşıtların hareketlerinin (konum değişimi), zamana olan oranının ortalaması şeklinde açıklanabilir. Noktasal olarak ölçülen taşıt hızlarının aritmetik ortalaması zaman ortalama hızı verir.

$$u_t = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} \quad (2.1)$$

Burada,

n : Gözlenen taşıt sayısını

u_i : i . taşıtın noktasal hızını tanımlamaktadır.

2.2.1.2 Uzaklık Ortalama Hız

Buna karşılık, L gözlem uzaklığını kateden taşıtların yolculuk sürelerinin ortalaması:

$$t_{\text{ort}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (2.2)$$

olarak verilebilir. Burada,

t_{ort} : Ortalama yolculuk süresini

n : Gözlenen taşıt sayısını ifade etmektedir.

L gözlem uzaklığı bu ortalama yolculuk süresine oranlanırsa farklı bir hız kavramı elde edilmiş olur.

Uzaklık ortalama hız böylelikle;

$$u_s = \frac{L}{t_{\text{ort}}} = \frac{L \times n}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L \times n}{\sum_{i=1}^n \frac{L}{u_i}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i}} \quad (2.3)$$

şeklinde noktasal hızların harmonik ortalaması olarak hesaplanır.

2.2.2 Yoğunluk

Belirli bir anda, birim yol boyunda bulunan taşıt sayısının ifadesidir. Genel olarak birimi taşıt/km ya da taşıt/mil'dir.

2.2.3 İşgal Oranı

Yoğunluğun bir başka ölçütüdür. İşgal oranı birimsiz bir ölçüt olup yol kesimindeki taşıt uzunluklarının yol kesimine oranı olarak ifade edilebilir.

$$R = \frac{\sum L_i}{D} \quad (2.4)$$

Burada,

D : İnceleme yapılan yol kesiminin uzunluğunu

L_i : Bu yol kesiminde bulunan taşıt uzunluklarını ifade etmektedir.

Ayrıca işgal oranı ve yoğunluk birbiri yerine kullanılabilen ifadelerdir.

2.2.4 Akım

Belirli bir yol kesitinden, belirli bir süre içinde geçen taşıt sayısı akım değerini vermektedir. Akım değeri ise çoklukla taşıt/saat biriminde ifade edilmektedir.

2.3 Trafik Akım Modelleri

Trafik akımı, kesintili ve kesintisiz akım olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Kesintisiz akım koşulları, yol düzleminde eşdüzey kavşakların, trafik ışıklarının ya da dışarıdan trafik akımını kesintiye uğratacak etkilerin olmadığı durumlarda geçerlidir. Bu tanım sonucunda kesintisiz akımda, trafik akım koşullarını, taşıtların trafik akışı içinde birbirleriyle ve yol geometrisi ile oluşturdukları etkileşimler oluşturmaktadır. Örnek olarak; otoyol kesimleri kesintisiz akım koşullarının olduğu yol kesimleri olarak ele alınabilirler.

Bunun dışında kalan yol kesimlerinde oluşan trafik akımları ise kesintili akım koşullarının olduğu yol kesimleri olarak incelenmektedir. Bu çalışmada incelenecek trafik örnekleri kesintisiz trafik akımının olduğu otoyol bölgelerinden alınmış olup, bunlara ait trafik akım modelleri verilmiştir.

2.3.1 Makroskobik Akım Modelleri

Bu model trafik akımını, hız, akım ve yoğunluk değişkenleri arasındaki ilişkilerle tanımlamaya çalışmaktadır. Bu alandaki ilk çalışmayı Greenshields 1935 yılında yayınlanan çalışmasıyla ortaya koymuştur.

2.3.1.1 Greenshields Modeli

Greenshields trafik akımının hız - yoğunluk ilişkisini, eşitlik (2.5)'de belirtildiği gibi doğrusal olarak ele almaktadır.

$$u_s = u_f - \left(\frac{u_f}{k_j} \right) k \quad (2.5)$$

Burada,

u_s : Gözlenen taşıtların ortalama hızlarını

u_f : Gözlem yapılan karayolu kesiminde bulunan taşıtların serbest hızlarını

k_j : Tıkanıklık yoğunluğunu

k : Gözlenen kesimdeki taşıt yoğunluğunu belirtmektedir.

Bu değerler aynı zamanda Şekil 2.7'de de gösterilmektedir.

Bu trafik akım modelinde kullanılan sabitler ve eğim bilgileri, sahadan toplanan hız-yoğunluk

veri çiftlerinin ilgili eksen takımlarında işaretlenerek, belirlenen noktalardan eğri uydurma ya da doğrusal regresyon yöntemiyle uygun bir doğru geçirilmesi ile bulunmuştur.(Şahin,2006)

Daha sade bir ifade ile eşitlik (2.6) denklemini gibi verilebilir (Khisthy and Lall,1998).

$$u = A - Bk \quad (2.6)$$

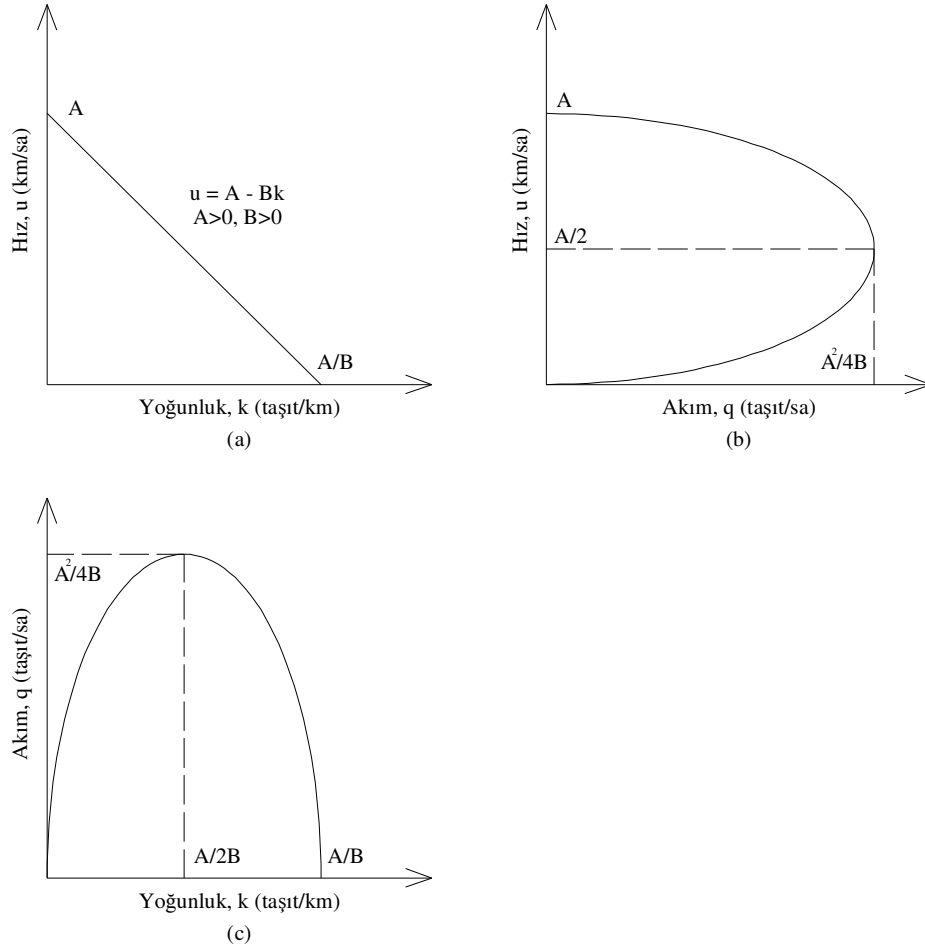
Burada,

u : trafik akım hızı

k : taşıtların ortalama yoğunluğu

A, B : ampirik olarak hesaplanan parametrelerdir.

Bu matematiksel ilişkinin sonucu olarak Şekil 2.1(a)'da verilmiş olan grafik elde edilmiştir (Khisthy and Lall,1998).



Şekil 2.1 Akım-Yoğunluk-Hız eğrileri 1.

Kesintisiz trafik akımlarında hız ile yoğunluğun çarpımı akım değerini vereceğinden;

$$q = u \times k = u \left[\frac{(u - A)}{-B} \right] = \frac{A}{B} u - \frac{u^2}{B} \quad (2.7)$$

$$q = u \times k = Ak - Bk^2 \quad (2.8)$$

ifadeleri elde edilebilir. Burada,

q : akımı ifade etmektedir.

Bu iki ifadeden, (2.7) eşitliği kullanılarak Şekil 2.1(b) ve (2.8) eşitliği kullanılarak Şekil 2.1(c) grafikleri elde edilebilmektedir.

Sonuç olarak, yoğunluğun neredeyse sıfır değerine ulaştığı noktada, ortalama serbest hızın A değerine ulaştığı, hızın neredeyse sıfır olduğu noktada tıkanıklık yoğunluğunun A/B değerini aldığı görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek akım değeri $A^2/4B$ 'ye ortalama serbest hızın yaklaşık olarak yarısında ulaşılmaktadır.

Şekil 2.2(c) bir karayolu şeridindeki akım (q) ve yoğunluk (k) arasındaki teorik ilişkiyi bir parabol şeklinde temsil etmektedir (Khisthy and Lall,1998). Bu şeritteki akım, kapasite değerine ulaşıncaya kadar yoğunluk arttıkça akım da artmaktadır. Akım değerinin maksimuma ulaştığı nokta q_{maks} optimum yoğunluk k_m değerine karşılık gelmektedir. Bu noktadan sağa doğru, yoğunluk artarken akım azalmaktadır. Akım değerinin neredeyse sıfıra geldiği noktada ise k_j tıkanıklık yoğunluğu oluşmaktadır. Bu durum şeritteki taşıtların durma noktasına gelmesi ve park alanını andıran bir manzaranın ortaya çıkmasına benzetilebilir.

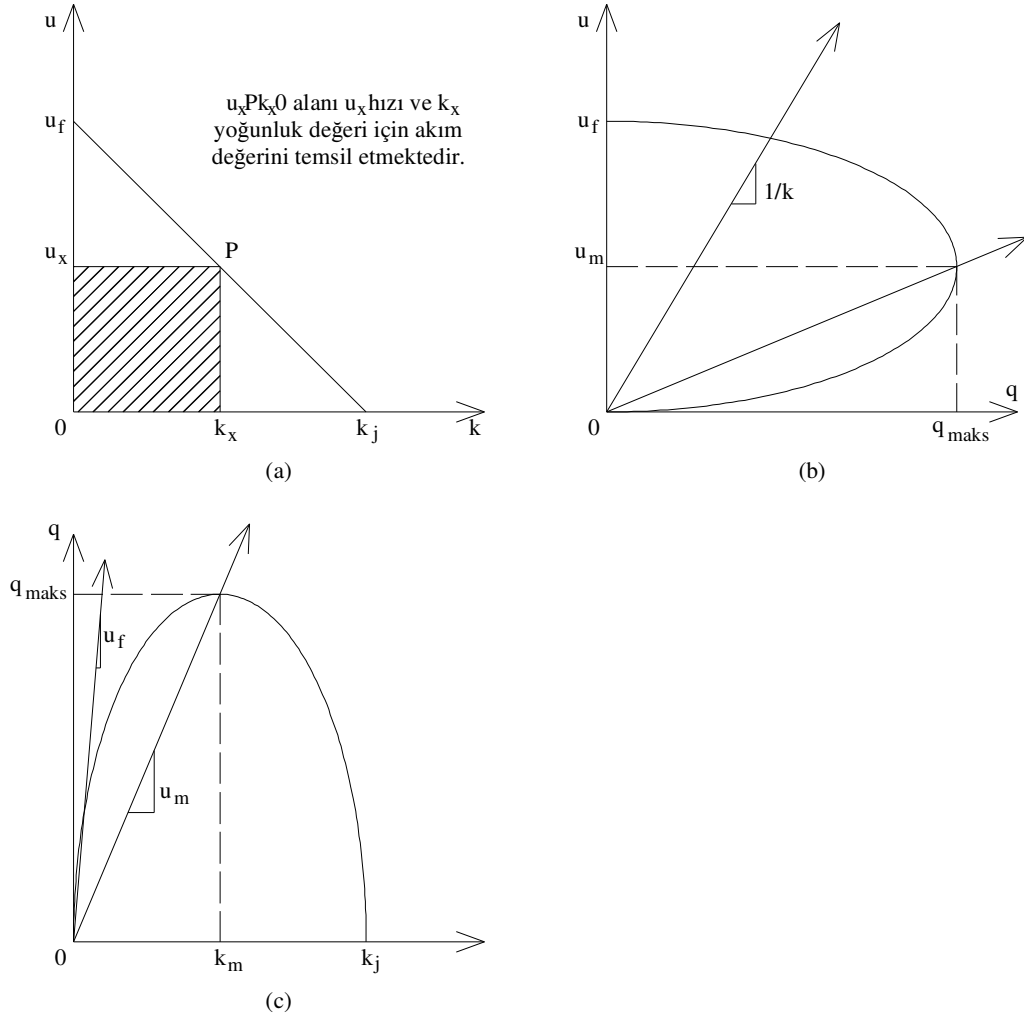
Orijinden eğri üzerindeki noktalara çizilen kiriş uzaklık ortalama hıza karşılık gelmektedir. Eğriye teğet olarak çizilen u_f eğimli çizgi serbest hız çizgisidir. Bu hız ancak yoğunluk sıfıra yaklaştığında yapılabilmektedir.

Şekil 2.2(a) hız u ve yoğunluk k arasındaki teorik ilişkiyi doğrusal olarak göstermektedir. Bu ilişki gerçekte tam olarak doğru olmamasına karşın uygulamada büyük kolaylık sağlamaktadır. Doğru üzerindeki herhangi bir noktanın hız ve yoğunluk koordinatlarının çarpılmasıyla akım değeri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Son olarak Şekil 2.2(b) hız ve akım arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Bu grafikte orijinden eğri üzerindeki herhangi bir noktaya çizilen kirişin eğimi o noktaya karşılık gelen yoğunluğun tersine eşit olmaktadır.

Verilen bu bilgiler ışığında ve elde edilen grafikler sayesinde, trafik akımına dair aşağıda

belirtilen bazı saptamaları yapabilmemiz mümkündür:



Şekil 2.2 Akım-Yoğunluk-Hız eğrileri 2.

Karayolunda çok az sayıda taşıtın bulunduğu durumlarda akım ve yoğunluk değerleri neredeyse sıfırdır ve taşıtlar serbest olarak hızlarını seçebilirler. u_f hızına karşılık gelen bu hız değeri, taşıtların birbiri ile etkileşiminin neredeyse olmadığı bir ortamda, taşıt veya yolun neden olduğu kısıtlarla sınırlanan maksimum hızdır.

Yol kesitinde bulunan taşıtların sayısı arttıkça, birbirleriyle olan etkileşimleri de artar. Böylece, bu taşıtların hızları ve şerit değiştirme kabiliyetleri azalır. Yoğunluk sıfırdan k_m değerine eriştiğinde bu kesitten u_m hızı ile maksimum akım q_{maks} geçirilebilmesine rağmen yoğunluktaki artış hızların azalmasına neden olur ve akım bu bölgelerde akım, kararsızlık sinyalleri vermeye başlar.

Burada,

k_m : optimum yoğunluk

u_m : maksimum akım hızı ifade etmektedir.

Bu noktadan sonra yoğunluk artışının devam etmesi hızları kayda değer ölçüde azaltır. k_j tıkanıklık yoğunluğuna ulaşıncaya kadar hızlar azalmaya devam eder ve bu noktada taşıtlar artık durma noktasına gelmiş olur.

Yoğunluğun neredeyse sıfır değerden k_m değerine ulaşıncaya kadar taşıtların içinde bulunduğu trafik akım koşulları “serbest akım” olarak isimlendirilir. Bu noktadan sonra k_j yoğunluğuna kadar ise trafik akım koşulları “zorlamalı akım” olarak isimlendirilmektedir.

2.3.1.2 Greenberg Modeli

Greenberg 1959 yılında yayınladığı çalışmasında, A.B.D.’de bulunan Lincoln tüneline elde hız, akım ve yoğunluk ölçümlerinden bir hız-yoğunluk modeli geliştirmiştir. Greenberg bir akışkan akımı kavramı benzetmesiyle taşıt trafiğini şu şekilde modellemiştir:

$$u_s = C \ln\left(\frac{k_j}{k}\right), \text{ burada } C \text{ bir sabittir.} \quad (2.9)$$

u_s yerine $\left(\frac{q}{k}\right)$ yazılırsa

$$q = Ck \ln\left(\frac{k_j}{k}\right) \quad (2.10)$$

$$q = Ck(\ln k_j - \ln k)$$

Akımın (q) yoğunluğa (k) göre türevi alınır ve sifira eşitlenirse,

$$\frac{dq}{dk} = C\left[k\left(-\frac{1}{k}\right) + (\ln k_j - \ln k)\right] = 0$$

Maksimum akım elde edilir:

$$C(-1 + \ln k_j - \ln k) = 0$$

Buradan,

$$\ln k_j - \ln k = 1 \text{ ve} \quad (2.11)$$

$$\ln\left(\frac{k_j}{k}\right) = 1 \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.12), eşitlik (2.9)'da yerine yazılırsa,

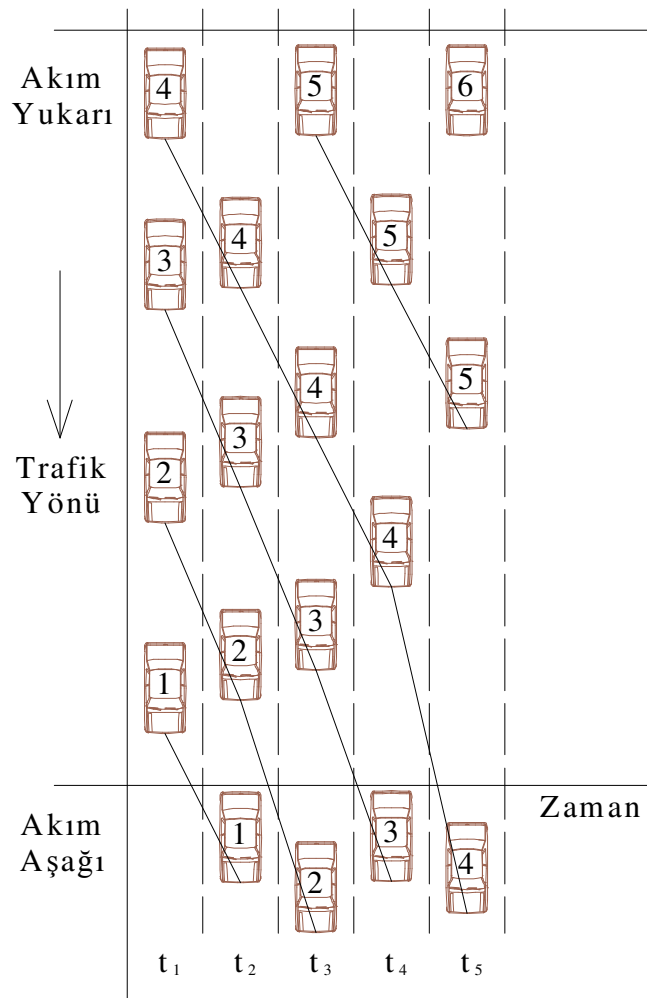
$$u_s(\text{maksimum}) = C \quad (2.13)$$

elde edilir. Buna göre C sabiti maksimum akımdaki hızdır.

Greenberg'in modeli sıfır yoğunluğa ancak sonsuz büyüklükteki bir hızda eriştiği için sınır koşullarını ihlal etmesine rağmen Greenshields'in modeline göre sahadan toplanan verilerle daha uyumludur.

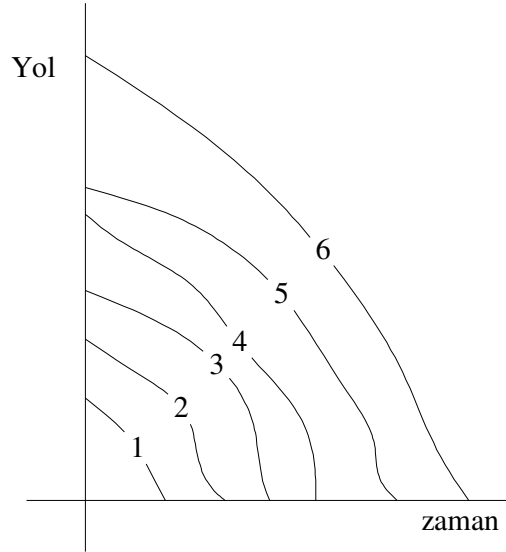
2.4 Yığılımlı Taşıtların Sayısı Eğrileri ve Trafik Akımının Korunumu

Bu model trafik akımını, tekil taşıtlar ve bu taşıtların diğer taşıtlarla etkileşimi açısından ele alarak tanımlamaktadır.



Şekil 2.3 Taşıtların Yol-Zaman düzlemindeki hareketleri.

Tek şeritli bir yolda taşıt hareketleri belirli zaman aralıklarında incelendiğinde, akım yukarıdan gelen taşıtların hızlarına bağlı olarak farklı noktalarda bulunurlar. Şekil 2.3’de verilen örnekte t_1 - t_5 zamanları arasında şeritten geçmekte olan taşıtlar verilmektedir. Birbirini izleyen zaman aralıklarında taşıtların buldukları noktaların işaretlenmesiyle bu yol kesimi için yol-zaman eğrileri Şekil 2.4’de gösterildiği gibi elde edilmiş olur. Burada herhangi bir anda taşıtlardan birinin sahip olduğu eğriye çizilecek olan teğetin eğimi o taşıtın zaman anlamlı hızını vermektedir. Şekil 2.4’de çizilen teğet eğimleri ve buna bağlı olarak hızlar negatif değer alıyormuş gibi görünse de, taşıt hareketlerinin yönü akım yukarıdan aşağıya doğru pozitif olarak dikkate alındığından dolayı hız değerlerinin anlamlı olduğu görülmektedir.

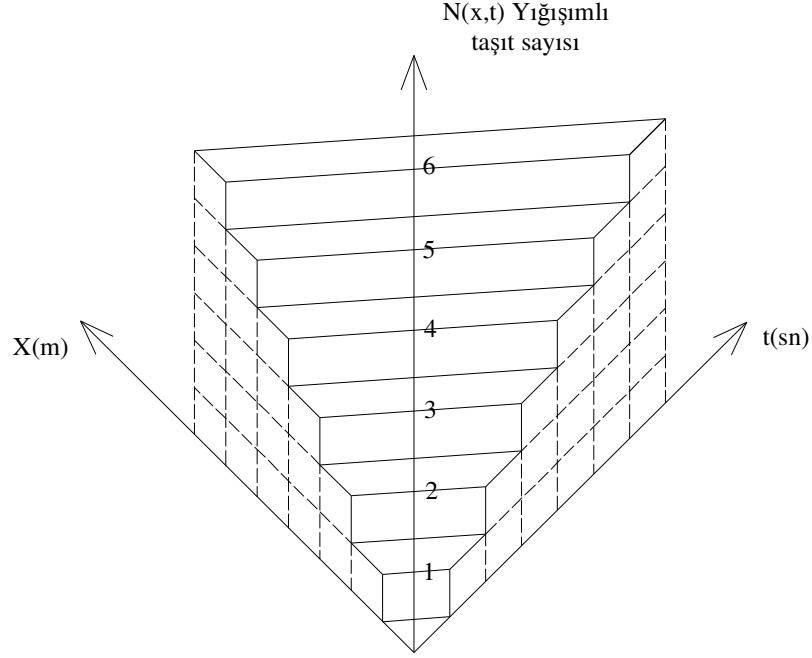


Şekil 2.4 Yol-Zaman eğrileri.

Şekil 2.4’deki yol-zaman eğrileri, yol-zaman düzlemi üzerinde yığılımlı taşıt sayıları yükseltilecek Şekil 2.5’de gösterilen yüzeye benzer bir yüzey oluşturacak şekilde düzenlenebilir.

Şekil 2.6’da, Şekil 2.4’de verilen yol zaman diyagramı kullanılarak, Şekil 2.5’in eksen takımlarının elde edilmesi verilmektedir. Öncelikle Şekil 2.6(a)’da incelenen karayolu kesiminde hareket eden taşıtların yörüngelerinin, yol üzerindeki x_1 ve x_2 kesitlerini kestiği noktalar, Şekil 2.6(b)’ye N geçen taşıt sayısını yansıtmak üzere indirgenmektedir. Burada; $N(x_1,t)$, x_1 kesitinden, $N(x_2,t)$ ise, x_2 kesitinden geçen taşıt sayılarının zamanla değişimini yansıtmaktadır. Ayrıca grafik üzerinde c ile belirtilen uzunluk, 5. taşıtın x_2 ’den x_1 ’e yolculuk

süresini, d uzunluğu ise t_1 anında x_1 ve x_2 kesitleri arasında bulunan taşıt sayısını belirtmektedir.

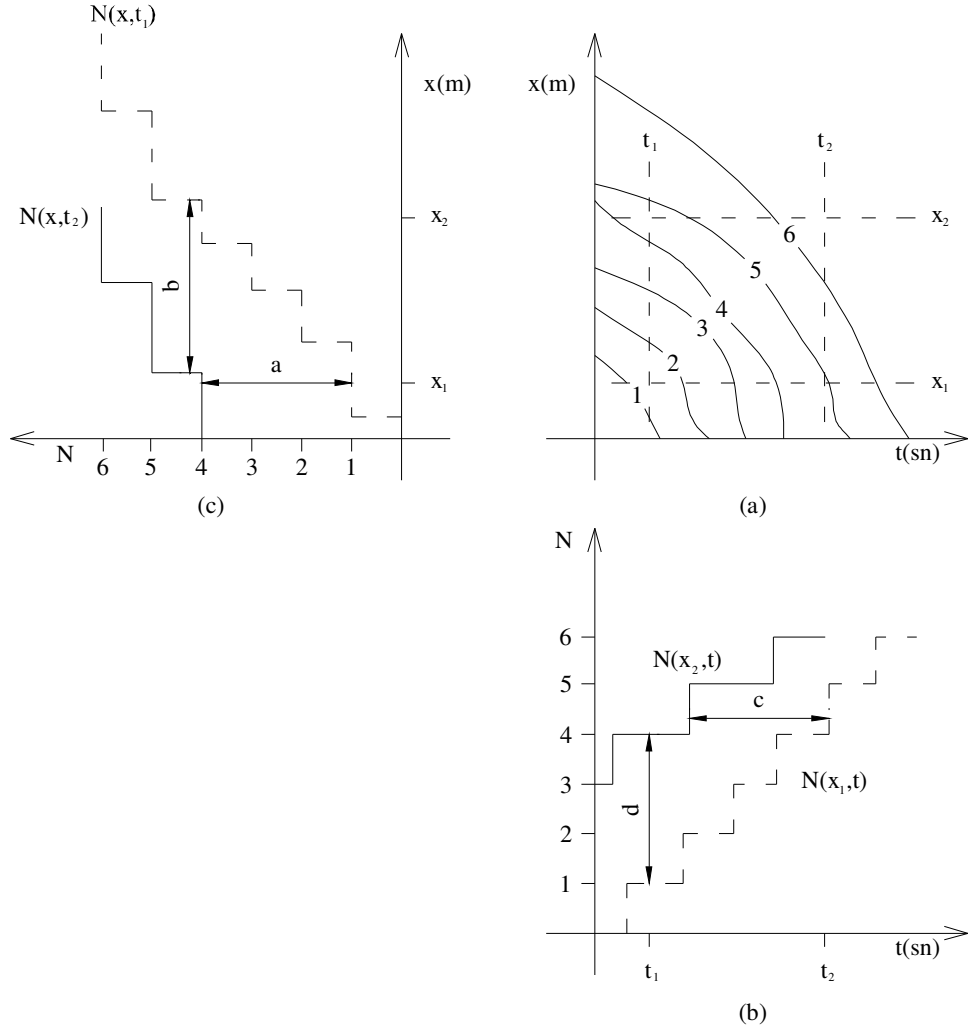


Şekil 2.5 Trafik akımının üç boyutlu gösterimi.

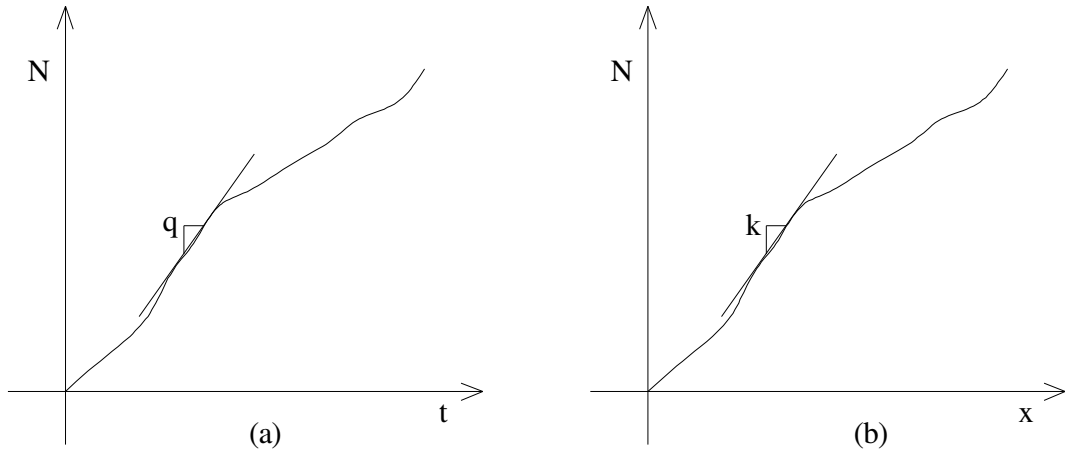
Benzer şekilde Şekil 2.6(a)'da karayolu kesimi üzerinde hareket eden taşıtların yörüngelerinin, t_1 ve t_2 kesitlerini kestiği noktalar, Şekil 2.6(c)'ye indirgenmektedir. Burada; $N(x,t_1)$, t_1 anında, $N(x,t_2)$ ise, t_2 anında taşıtların yol üzerinde buldukları noktaları yansıtmaktadır. Grafik üzerinde a ile belirtilen uzunluk, x_1 kesitinde t_1 anından t_2 anına kadar geçen taşıt sayısını, b uzunluğu ise 5. taşıtın t_1 ve t_2 süreleri arasında aldığı uzaklığı belirtmektedir.

Nesnelerin sayısını tamsayı olarak ölçmenin önemli olmadığı, çok sayıda taşıtın bulunduğu bir durum söz konusu ise, yığışımli eğrileri kısmi doğrusal yaklaşımlarla oluşturmak avantajlıdır. Örneğin, eğriler, basamakların tepe noktalarından geçen doğrusal interpolasyonlar ya da eğilim doğruları kullanılarak yumuşatılabilir (Şahin, 2006).

Şekil 2.7.'de verilen örnekte olduğu gibi bu yumuşatılmış eğriler, eğimlerin sabit ya da nerdeyse sabit özellik gösterdiği durumlarda, akım ve yoğunluk değerlerinin elde edilmesine yardımcı olacaktır. Bu çalışmada da kullanılacağı gibi, Şekil 2.7.(a)'da kümülatif taşıt sayısı eğrisine çizilen teğetin eğimi akım değerine ve Şekil 2.7.(b)'da kümülatif taşıt sayısı eğrisine çizilen teğetin eğimi yoğunluk değerine eşit olmaktadır.



Şekil 2.6 Trafik akımının üç görünümü.



Şekil 2.7 Kümülatif taşıt sayısı-zaman ve kümülatif taşıt sayısı-uzaklık eğrileri.

Ayrıca taşıtların birim zamanda kat ettiği uzaklık Şekil 2.4'den de elde edilebileceği gibi hız değerine eşittir.

$$u = \frac{\partial x}{\partial t} \quad (2.16)$$

Burada elde edilen hız değeri, eşitlik (2.3)'de verilen zaman ortalama hız değerini ifade etmektedir.

Eşitlik (2.7) dikkate alındığında eşitlik (2.16);

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial N}{\partial x} \times \frac{\partial x}{\partial t} \quad (2.17)$$

olarak düzenlenebilir.

Eşitlik (2.17), (2.18)'de verilen biçimle düzenlenirse;

$$\frac{\partial N / \partial t}{\partial x} = \frac{\partial N / \partial x}{\partial t} \quad (2.18)$$

Ya da yaygın olarak kullanıldığı şekli ile “korunum eşitliği” elde edilir.

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial k}{\partial t} \quad (2.19)$$

Burada,

N: Kümülatif taşıt sayısı

t: Zaman

x: Uzaklık

u: Hız

olmaktadır.

2.5 Ölçeklendirilmiş Yığışımli Taşıtların Sayısı Eğrileri

Davranış kuramının test edilmesinde akım-yoğunluk eğrilerinin yanı sıra ölçeklendirilmiş yığışımli eğrilerden yararlanılmaktadır.

Bu teknik taşıtların sayıları, işgal oranları ve hızlar gibi verilerin, belirli zaman dilimlerine karşılık gelen değerlerinin elde edilmesi ve bu değerlerin her birinin bir önceki değere ilave edilerek toplanması ile kümülatif verilerin oluşturulması temeline dayanmaktadır. Bununla birlikte, bu

kümülatif verilerden bir ortalama değer taban alınarak ölçeklendirilmiş yığışımli veriler elde edilmektedir.

Örneğin;

Eşitlik (2.20), q_0 ortalama akım değeri kullanılarak, t anındaki ölçeklendirilmiş yığışımli taşıt sayısı değerini yansıtmaktadır.

ΔN : ölçeklendirilmiş yığışımli taşıt sayısı

$N(x,t)$: $t_0 = 0$ referans anından t zamanına kadar x kesitinden geçen taşıtların kümülatif (yığışımli) sayısı

q_0 : referans (ölçeklendirme) akımı (taş/sa)

t_0 : ölçümün başlangıç zamanı olmak üzere,

$$\Delta N = N(x,t) - q_0 \times (t - t_0) \quad (2.20)$$

Bu ölçeklendirme işlemleri grafiğe yansıtıldığında, yatay eksen zamanı, düşey eksen yığışımli taşıt sayısı farklarını göstermek üzere, ΔN farklar eğrisi, $N(x,t)$ kümülatif taşıt sayılarındaki zamana bağlı değişimleri görsel olarak belirginleştirmektedir. Bu sayede ölçeklendirilmiş yığışımli taşıt sayısı eğrilerinin eğimleri ve bu eğimlerdeki değişimleri hesaplanabilmekte ve buna bağlı olarak akım değerleri elde edilebilmektedir.

Aynı zamanda, ardı ardına gelen iki gözlem noktasına ait iki yığışımli taşıt sayısı eğrisi arasında oluşan düşey farkların artması, bu iki gözlem noktası arasındaki taşıt gecikmelerinin göstergesi olmaktadır.

Böylece araştırmaya uygun olarak, belirli zaman dilimlerinde ölçeklendirilmiş yığışımli eğriler kullanılarak akım gibi değişkenler ve bu değişkenlerdeki değişimler tespit edilerek trafik özelliklerindeki değişimler tanımlanabilmektedir.

Çizelge 2.1'de, ölçeklendirilmiş yığışımli taşıt sayısı eğrilerinin elde edilmesini örneklendirmek amacıyla, herhangi bir x kesitinden geçen taşıtlara ait bilgiler verilmektedir. Burada, 5 saniyelik zaman dilimlerinde kesitten geçen taşıt sayılarının toplanması ile elde edilen, $N(x,t)$ kümülatif taşıt sayısı değerleri 90 saniye sonuna kadar verilmiştir. Ayrıca q_0 referans akımına karşılık kesitten geçmesi beklenen taşıt sayılarının 5 saniyelik kümülatif toplamları $q_0 \times (t-t_0)$ sütununda verilmiştir. Son olarak, Eşitlik 3.3 yardımıyla, ΔN ölçeklendirilmiş yığışımli taşıt sayısı değerleri elde edilip sunulmuştur.

Ortaya çıkan bu değerlerin daha anlaşılır kılınabilmesi için, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da tablo değerleri grafik halinde sunulmuştur. Şekil 2.8'de zamana bağlı olarak kesitten geçen taşıt

sayılarının eğrisi ve referans akımına karşılık kesitte oluşması beklenen taşıt sayısı eğrisi kümülatif olarak verilmektedir. Burada yatay eksen zamanı ve düşey eksen taşıt sayısını göstermektedir. Şekil 2.8'den de görüleceği gibi, kümülatif taşıt sayısı eğrileri, kesitten geçen taşıt sayılarında azalma olmasının mümkün olamamasından dolayı, negatif eğim oluşturacak bir eğilim içine girmemektedir.

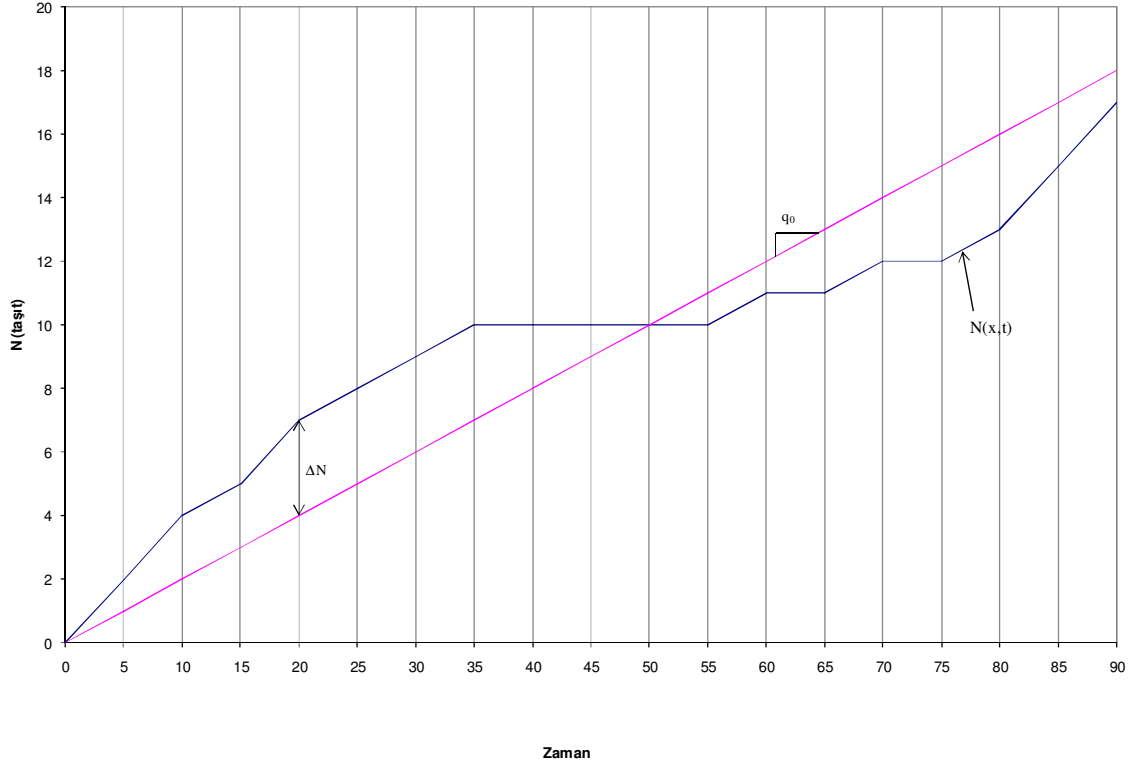
Çizelge 2.1 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı örneği bilgileri.

Süre (sn)	N(x,t)	$q_0 \times (t-t_0)$ ($q_0 = 1\text{taş}/5\text{sn}$)	ΔN
0	0	0	0
5	2	1	1
10	4	2	2
15	5	3	2
20	7	4	3
25	8	5	3
30	9	6	3
35	10	7	3
40	10	8	2
45	10	9	1
50	10	10	0
55	10	11	-1
60	11	12	-1
65	11	13	-2
70	12	14	-2
75	12	15	-3
80	13	16	-3
85	15	17	-2
90	17	18	-1

Daha sonra her 5 saniyelik zaman dilimine karşılık gelen gözlem değerleri arasında oluşan farklar alınarak Şekil 2.9'da ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrisi oluşturulmuştur. Böylece ortaya çıkan eğri, N(x,t) yığışimli taşıt sayısı eğrisindeki değişimlerin, q_0 eğimi yatay eksene indirgenmek üzere yeniden oluşturulması anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle, $\Delta N = N(x,t) - q_0 (t - t_0)$ ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrisi, N(x,t) yığışimli taşıt sayısı eğrisinin, q_0 referans akım eğrisine olan bağıl değişimini yansıtmaktadır. Şekil 2.8'de, N(x,t) yığışimli taşıt sayısı eğrisinin q_0 referans akım eğrisi ile aynı eğime sahip olduğu zaman aralıklarının Şekil 2.9'da yatay düzlemde kalması bu yaklaşımın doğruluğunun bir ispatı olarak görülmektedir.

Ayrıca, kesitler arasındaki taşıt birikimlerinin incelenmesi amacıyla ölçeklendirilmiş yığışimli

taşıt sayısı eğrilerinde bulunan, kesit eğrileri arasında öteleme işlemi yapılmıştır. Bununla birlikte, şerit bazında çizdirilen yığışimli eğrilerde öteleme işlemi yapılmamıştır. Bunun nedeni, şerit değiştirmelerden dolayı şerit bazında kesitler arası birikimlerin anlamlı sonuçlar vermeyeceğidir. Sonuç olarak şerit bazında oluşturulan eğrilerde kesitler arası birikimler incelenmemiştir. Bu öteleme işlemi aşağıda verildiği gibi özetlenmiştir.

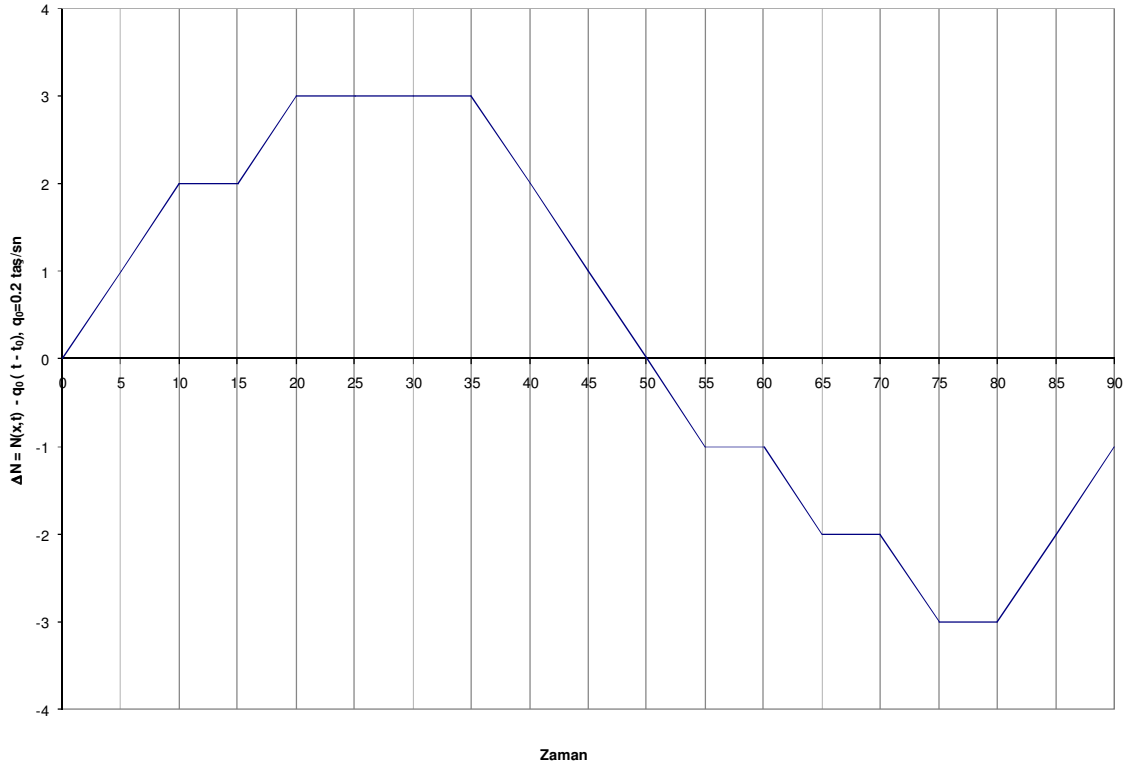


Şekil 2.8 Yığışimli taşıt sayısı ve referans akım yığışimli taşıt sayısı eğrileri.

İncelenen karayolu üzerindeki belirli bir “ x ” gözlem kesitinden/noktasından, “ t ” gözlem süresi içinde geçen taşıtların yığışimli sayısı $N(x, t)$ olsun (Şekil 2.10). Buna göre, “ x ” gözlem kesitinde bulunan bir gözlemci, önünden geçen taşıtlara sırasıyla numara verdiğiğinde (ilk taşıtların numarası $t = 0$ için $N(x, 0) = 0$ olmak üzere), $N(x, t)$, gözlemcinin önünden “ t ” anından önce geçen son taşıtların numarasını göstermektedir. Burada taşıtların birbirlerini sollamadıkları kabulü yapılmaktadır. Şekil 2.10’da taşıt sayıları 30’ar saniyelik toplamlar olarak gösterilmiştir.

Karayolunun homojen geometriye sahip bir kesiminde akım yukarı “ x_1 ” ve akım aşağı

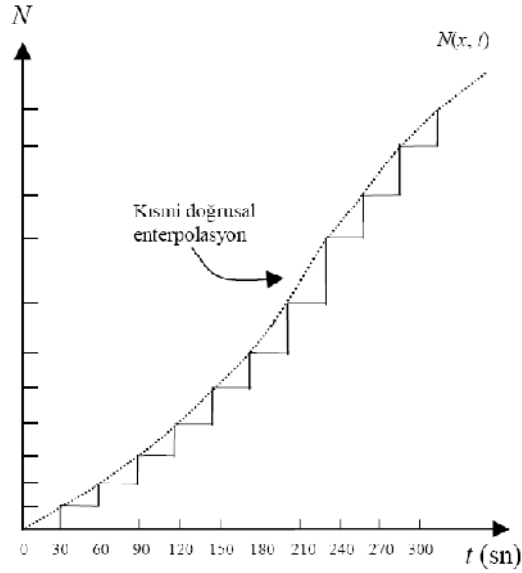
yöndeki “ x_2 ” komşu kesitleri için $N(x_1, t)$ ve $N(x_2, t)$ yığışimli taşıt sayısı eğrileri Şekil 2.11’deki gibi aynı eksen takımı üzerine çizildiğinde; belirli bir “ t ” anında eğriler arasındaki düşey fark, kesitler arasındaki taşıt sayısını gösterirken; belirli bir “ j ” (seviyesindeki) taşıt sayısına karşılık gelen eğriler arasındaki yatay fark da, bu taşıtın kesitler arasındaki seyir süresini göstermektedir. Eğrilerin çok fazla zamansal değişim göstermediği ve yaklaşık olarak birbirlerine paralel olduğu zaman aralığında, eğriler arasındaki ortalama taşıt sayısının kesitler arasındaki mesafeye bölünmesiyle, taşıt yoğunluğu hesaplanabilmektedir. Eğriler arasındaki alan, tüm taşıtların toplam seyir süresini vermektedir (Şahin ve diğ., 2002).



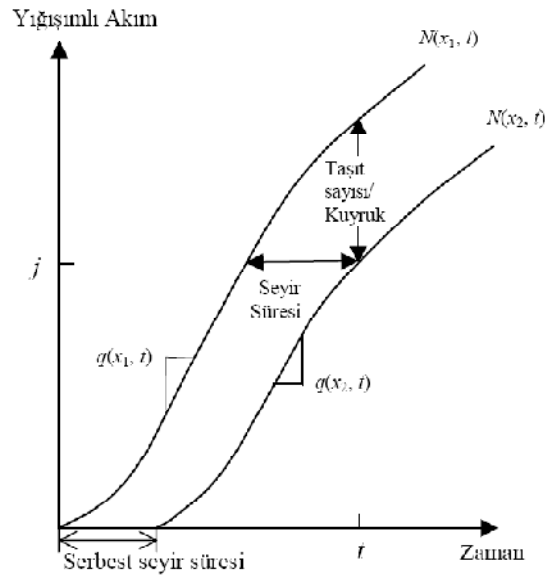
Şekil 2.9 Ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrisi.

Şekil 2.10’da görülen eğri, taşıt sayıları tamsayı olduğundan aslında bir adım fonksiyonudur; diğer bir deyimle, sabit zaman aralıklarında gözlem kesitinden geçen taşıtların yığışimli sayıları da birer adım fonksiyonudur. Belirli bir gözlem kesitinde (örneğin, x_1 ve x_2) herhangi bir andaki (örneğin, t) akım değerini (taşıt/saat) tanımlayabilmek için, adım fonksiyonları eğri biçiminde yumuşatılarak bu eğrilerin birer türevi olan $q(x_1, t)$ ve $q(x_2, t)$ elde edilmelidir. Böyle bir eğri, her basamağın tepe noktasından geçen bir enterpolasyon eğrisi biçimindedir.

Uygulanması daha kolay başka bir yaklaşım ise, kısmi doğru parçalarından meydana gelen yumuşatılmış yığışımlı eğriler oluşturmaktır. Yumuşatılmış eğriler, örneğin, Şekil 2.11’de görüldüğü gibi kısmî doğrusal enterpolasyon yoluyla, basamakların tepe noktalarının arasına doğru parçaları çizilerek elde edilebilir.



Şekil 2.10 Yığışımlı sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları.



Şekil 2.11 İki kesitteki yığışımlı akım.

Komşu kesitlere ait yığışımlı eğrilerin incelenmesiyle başka sonuçlar da elde edilebilir.

3. SÜRÜCÜ DAVRANIŞ KURAMI

Davranış kuramı homojen çok şeritli otoyollarda, trafik dinamiklerini makroskobik ölçeklerde açıklamak için ortaya konmuştur. Bu çalışma kapsamında öncelikle Daganzo tarafından ortaya konulan davranış kuramı incelenecektir (Daganzo, 2002). Daha sonra bu bölümün ikinci kısmında sürücü sıra alma davranış kuramı ele alınacaktır.

3.1 Davranış Kuramı

3.1.1 Sürücü Psikolojisi ve Davranışları

Sürücü psikolojisi ve davranışları gibi karmaşık konular Daganzo tarafından basit bir yolla anlatılmaya çalışılmıştır. Serbest akım koşullarında sol şeritte gözlenen yüksek akımlar, zorlamalı akım koşullarında gözlemlenmemektedir.

Davranış kuramı, yüksek hızlarda sol şeritte taşıt kullanan pek çok sürücünün psikolojisini belli koşullar altında değiştirdiğini kabul etmiştir. Bu sürücülerin sağ şeritten sol şeride önlerine geçmek isteyen sürücülere izin verdiklerini, fakat onları daha kısa bir takip mesafesi ile takip ettiklerini örneklendirmiştir. Bu durumdaki sürücüler Daganzo tarafından “motive edilmiş” sürücüler olarak nitelendirilmektedir.

Böylece davranış kuramı motivasyon halini, sürücülerin sağ şeritten sol şeride geçen taşıtları daha küçük takip mesafeleri ile takip etmeye tetikleyen psikolojik bir değişim olarak değerlendirmektedir. Ayrıca motivasyon halinin varlığından söz edebilmek için yüksek hızların yapılabileceği bir şeridin bulunması gerekmektedir.

Davranış kuramını daha anlaşılabilir kılmak için bazı tanımlar yapmaya gereksinim duyulmaktadır. Bu tanımlar da Daganzo, tarafından, iki farklı sürücü tipi ve iki farklı şerit tipi olarak ortaya koymaktadır. Bununla birlikte daha fazla sürücü ve şerit tipi tanımlamanın daha gerçekçi sonuçlara ulaştıracağı aşikar olsa da, daha karmaşık olacağı ve daha fazla gözlem verisine ihtiyaç duyulacağı kesindir.

3.1.2 Davranış Kuramı Kavramı

Daganzo çalışmasında sürücü tipini tanımlarken, ürkek ve saldırgan olmak üzere iki farklı sürücü tipi olduğu varsayımında bulunmuştur. Ayrıca incelenen yol kesimi de sağ şerit ve sol şerit olmak üzere iki şerit olarak kabul edilmektedir.

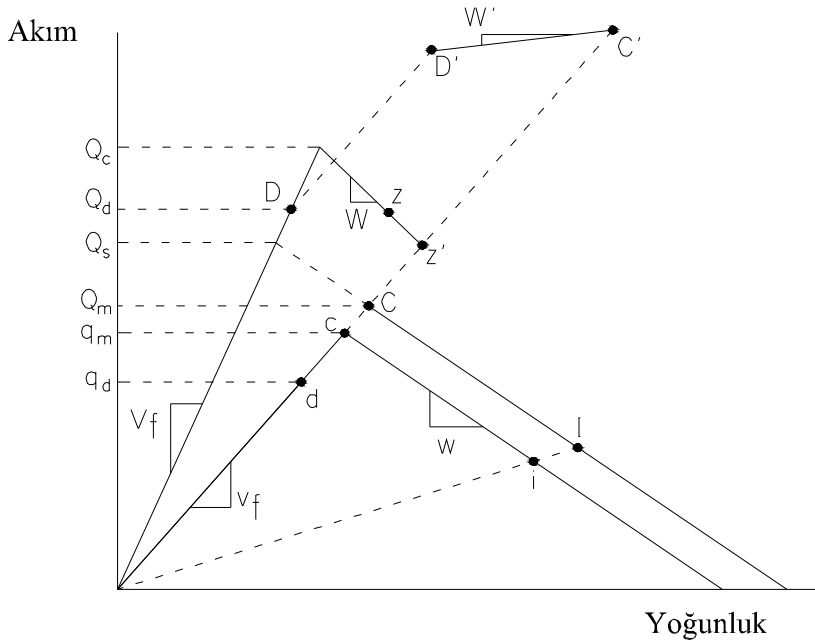
Ayrıca serbest akım koşullarında, tüm saldırgan sürücülerin ürkek sürücülerden daha hızlı taşıt sürdükleri için, bu iki grup birbirinden ayrılmaktadır. Bununla birlikte tüm saldırgan sürücüler sol şeritte yolculuk ederken tüm ürkek sürücülerin sağ şeritte yolculuk ettikleri

varsayılmaktadır. Bu durum davranış kuramı tarafından iki kanal rejimi olarak adlandırılmaktadır. Yüksek taşıt hacimlerin aktığı ve tıkanıklığın gözlenmediği akımlarda, saldırgan sürücülerin motive edilmiş oldukları ve daha kısa takip mesafeleri ile yolculuklarını sürdürdükleri düşünülmektedir.

V_f : sol şerit serbest akım taşıt hızlarını ve

v_f : sağ şerit serbest akım taşıt hızlarını göstermek üzere

Herhangi bir nedenle sol şerit taşıt hızlarının v_f ya da daha küçük değerlere düşmesi halinde saldırgan sürücülerin hızlarını dengelemek için şerit değiştirmeye başladığı, motivasyonlarını kaybettikleri ve takip mesafelerini arttırmaya başladıkları ileri sürülmektedir. Bu durum ise Daganzo tarafından tek kanal rejimi olarak adlandırılan akım durumuna karşılık gelmektedir. İki kanal akım koşulları ile, tek kanal akım koşulları olarak tanımlanan iki trafik durumu ve bunlar arasındaki geçiş, Banks ve Amin tarafından Şekil 3.1'de gösterildiği gibi düzenlenmiştir (Banks ve Amin, 2003).



Şekil 3.1 Akım-yoğunluk eğrisi.

Bu diyagramda şu kabuller yapılmaktadır:

- Serbest akım hızları sol şerit için V_f , sağ şerit için v_f olarak verilmiştir.
- Zorlamalı akım koşullarında kinematik dalga hızları w olarak belirtilmiştir. w hızı her iki

şerit için de birbirine eşittir. Bununla birlikte sol şerit dalga hızları sağ şerit dalga hızlarının konum olarak daima üzerinde bulunmaktadır. Yani, tek kanal rejimine geçişle birlikte her iki şeritteki hızlar, Şekil 3.1'de i ve I noktalarında görüldüğü gibi, birbirine eşit olmasına rağmen, sol şerit akım ve yoğunluk değerlerinin sağ şerit değerlerinden daha yüksek olarak ortaya çıkmaktadır.

c) Sol şerit için oluşturulan akım-yoğunluk ikilileri ters lambda şeklini andırmakta ve literatürde bu isim ile anılmaktadır. Burada maksimum akım serbest akım koşullarında oluşmaktadır.

d) Sağ şerit için oluşturulan akım-yoğunluk ikilileri ise üçgen şeklinde yayılmaktadır.

e) Sol şerit için W negatif eğimi ile verilmiş olan kısım, iki kanal olarak tanımlanan kuyruklanmaların olduğu geçiş akımına karşılık gelmektedir. Bu kuyruklanmalara rağmen sol şerit taşıt hızları v_f 'den büyüktür.

f) Genel olarak büyük harflerle belirtilen bölümler sol şeritle ilgili, küçük harflerle belirtilen bölümler sağ şeritle ilgili büyüklüklere işaret etmektedir.

Q_c kritik akımı, serbest akım koşullarında sol şeritte oluşan maksimum akımı ifade etmektedir. Q_s doygunluk akımı, zorlamalı akım koşulları altında akım-yoğunluk ikililerinin oluşturduğu doğru parçası ile serbest akım koşullarında oluşan doğru parçasının kesişim noktasında oluşan akımı belirtmektedir. Q_m kapasite akımı, tek kanal akımında sol şeritten geçirilebilen maksimum akımı, q_m ise sağ şeritten geçirilebilecek maksimum akımı tanımlamaktadır. Son olarak Q_d boşaltım akımı, sol şeritte tek kanal akımda oluşan kuyruklanmanın akım aşağısında bulunan saldırgan sürücülerin dağıtılma akımıdır. Bununla birlikte, davranış kuramı tarafından Q_d akımının Q_m akımından daha büyük olduğu farz edilmektedir (Banks vd., 2003).

Kuramın yaptığı temel varsayımlardan biri de, geçiş rejimlerinde saldırgan sürücülerin taşıtlarını maksimum hızı yapabildikleri şeritte sürmeleridir. Fakat sakın sürücüler daima sağ şeridi kullanmaktadırlar. Tek kanal akımdan iki kanal akıma geçişte, kuyruklanma sonrası hızlar eşit oldukça saldırgan sürücüler tüm şeritleri kullanarak hızlarını arttırırlar. Hız farklılıkları oluşmaya başlayınca kendilerini daha hızlı akan şeride atmaktadırlar. Davranış kuramına göre zorlamalı akım koşullarında hızlar her iki şerit için aynıdır ve serbest akım koşullarında oluşan hızlardan daha düşüktür. Bu fark Şekil 3.1'de belirtilen I ve i noktalarını orijine bağlayan kesikli çizginin eğiminden (zorlamalı akım hızı), kolaylıkla anlaşılmaktadır. Taşıtlar kuyruklanmanın akım aşağısına geldiğinde, her iki şeridin akım-yoğunluk ikilileri de

“C” ve “c” noktalarına ulaşmaktadır. Bu anda her iki şeridin hızları, sağ şerit serbest akım hızı olan v_f 'ye eşittir. Daganzo bu noktayı kapasite akımı olarak nitelemektedir. Taşıtlar kapasite akımına ulaştıktan sonra saldırgan sürücüler hızlarını arttırmaya devam ederler. Fakat sağ şeritte bulunan saldırgan sürücüler v_f hızını aşamadıkları için şerit değiştirme yoluna giderler. Saldırgan sürücülerin hızı yine V_f 'ye ulaşır ve akım, boşaltım akımına karşılık gelen sağ şeritte q_d , sol şeritte Q_d noktasına ulaşır ve dengelenir. Daganzo sol şerit için, Q_d boşaltım akımının Q_c kritik akımından küçük olacağını farz etmektedir.

Kapasite durumundan, dağılma durumuna geçiş, toplam akım, toplam yoğunluk ve rölatif şerit kullanımında değişiklikler içermektedir.

Bu geçişte, yoğunluk değerinde bir düşüş beklenmesine karşılık, akım değerinde artış da azalma da olabileceği düşünülmektedir. Saldırgan sürücülerin dağılma akımı Q_d , akım işleyişinin bir karakteristiği olarak dikkate alınmaktadır. Buna rağmen sakin sürücülerin dağılma akımı, trafik akımında bulunan sakin ve saldırgan sürücülerin rölatif sayılarının bir fonksiyonu olmaktadır. Eğer sakin sürücülerin oranı yüksekse, iki sürücü tipinin toplam akımı fazla olacaktır. Bu durumda toplam akım, kapasite akımını da aşabilmektedir. Sakin sürücülerin oranı düşükse, bu durumun tam tersi gerçekleşecek, iki sürücü tipinin toplam akımı daha az olacaktır.

Akım ve yoğunluk çiftlerinin iki sürücü tipi için toplamı Şekil 3.1'de C' ve D' olarak verilen iki nokta ile gösterilmiştir. Bu noktaları birleştiren doğrunun W' eğimi pozitif ise, geçiş akımı akım aşağı doğru, W' eğimi negatif ise geçiş akımı akım yukarı doğru yayılıyor anlamına gelmektedir.

Kapasite durumundaki yoğunluk daima boşaltım durumundaki yoğunluktan büyüktür. Bu nedenle eğer her iki sürücü tipi için de eşitlik (3.1)'de verildiği gibi, kapasite akımları toplamı boşaltım akımlarından büyükse, tek kanal akımı ile iki kanal akımını birbirinden ayıran sınır çizgisi (arayüz) akım aşağı, eğer kapasite akımları toplamı boşaltım akımlarından eşitlik (3.2)'de olduğu gibi küçükse, sınır çizgisi (arayüz) akım yukarı hareket edecektir.

$$Q_m + q_m > Q_d + q_d \quad (3.1)$$

$$Q_m + q_m < Q_d + q_d \quad (3.2)$$

Tüm bu bilgiler ışığı altında Daganzo tarafından ortaya konan ve geçmiş çalışmalarla desteklenen kuramın temel prensipleri aşağıda özetlenmiştir:

- Serbest akım koşullarında trafik, genelde en yüksek taşıt hızları sol şeritte oluşmak üzere, bu taşıt hızlarına bağlı olarak ayrışmaktadır. Bu hız ayrışması zorlamalı akıma geçişle birlikte ortadan kalkmaktadır.
- Sol şeritteki maksimum akım oranı, zorlamalı akıma geçişten hemen önce oluşmaktadır. Aynı zamanda bu oran diğer şeritlerdeki akım oranlarından daha büyüktür. Serbest akım koşullarında sol şerit için maksimum akım oranı oluşuktan sonra, bu şerit için çizilen akım-yoğunluk ya da akım-işgal oranı ikilileri tipik ters “lambda” görünümüne kavuşmaktadır. Diğer şeritler için bu ilişki üçgen ya da ters “V” görünümündedir.
- İki şerit için hız farklılığı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan ayrışma ortadan kalktığında sol şeritteki akım düşüşünün nedeni, takip mesafelerinin artmasıdır. Daganzo bu tepkinin nedenini “motivasyon kaybı” olarak açıklamaktadır. “motivasyon kaybı” davranış kuramının ortaya koyduğu eşsiz bir kavramdır. Bu kuramın en ayırt edici özelliği olarak dikkate alınmalıdır.

3.2 Sürücü Sıra Alma Davranışı

Bu davranış tanımında, bir otoyol katılım bölgesi incelenmekte ve katılımdan otoyola giriş yapan taşıtlarla, anayolda seyrine devam eden taşıtlar arasında ortaya çıkan ilişkiler ele alınmaktadır.

Otoyol katılım bölgelerinden, zorlamalı akım koşullarında farklı zamanlarda elde edilen trafik akım değişkenleri incelendiğinde, katılım akımı ile anayol akımı arasında neredeyse sabit bir değere eşit olan bir oran bulunduğu tespit edilmiştir (Cassidy ve Ahn, 2005).

Buna göre katılımdan ve anayoldan gelen taşıt sürücüleri, girişim (merging) yaparken, bir sıra alma davranışına uygun davranmaktadırlar. Bu davranışın otoyol akım aşağı kesiminin, akım kısıtlarına bağlı olmadığı belirtilmektedir.

Şekil 3.2’de bir otoyol katılımı, oluşan kuyruklanmalarla birlikte gösterilmektedir. Buradaki kuyruklanmalar anayolda, katılımda ya da her iki yol kesiminde de ortaya çıkmış olabilecek şekilde ele alınmaktadır. Burada,

μ : akım aşağı kapasite akımını

μ_1 : anayol akımını

μ_2 : katılım akımını göstermektedir.

Kapasite akımı, anayol ve katılımdan gelen taşıtların sıralanarak geçebildikleri maksimum akım değerine karşılık gelmektedir. Aynı zamanda, bu maksimum akım Şekil 3.3’de kapasite

Sıra alma davranışı; bu duruma uygun olarak otoyol katılımında, akım aşağıının kapasite akım değerine ulaştığı ve anayol ile katılım akımlarının her ikisinde de kuyruklanmaların görüldüğü trafik akım koşullarında, bu iki akımın belirli bir oranda otoyol akım aşağıısına dahil olduklarını kabul etmektedir. Daha açık bir ifade ile, akım yukarı kuyruklanmaların gözlemlendiği zorlamalı akım koşullarının hakim olduğu otoyol kesişiminde, anayol ve katılım sürücülerinin kurallı bir biçimde sıra aldıkları öne sürülmektedir. Bu sıra alma oranının belirlenmesi sayesinde anayol ve katılım akımları için, gecikmelerin ve kuyruklanmaların öngörülebileceği bilinmektedir.

Ayrıca Şekil 3.3'de, yukarıda bahsi geçen akım oranını belirten bir katılım akım oranı çizgisi gösterilmektedir. Burada akım yukarı kuyruklanmalar gözlenmeye başladığında, akım oranının akım aşağı trafik akımından bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Yani akım oranı, akım aşağı kısıtlar ne olursa olsun sabitlenmiş olacaktır (Cassidy ve Ahn, 2005). Böylece akım aşağı kuyruklanmaların başlaması ile birlikte anayol ve katılım kesimlerinden gelen taşıtların birbirine oranı sabit bir değere yaklaşacaktır.

4. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

4.1 Veri Toplama ve Gözlem Sahaları

Çalışma kapsamında üç farklı gözlem sahasından zirve saatlerde veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu gözlem sahalardan iki yolla veri toplanmıştır. İlk yöntemde gözlem bölgesinde belirlenen kesitlerden kamera kayıtları elde edilmiş ve bu kayıtlar laboratuvar ortamında izlenerek, verilerin elle bilgisayara aktarılması sağlanmıştır. Bilgisayara aktarılan veriler 5 saniyelik yığışimli taşıt sayıları şeklinde depolanmaktadır. İkinci yöntemde ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin, Şekil 4.1'de R sembolü ile gösterilen, yatay kurbun başlangıcının hemen akım aşağısındaki radarından elde edilen veriler incelemeye alınmıştır. Bu radar verileri, 120 saniyelik yığışimli taşıt sayıları ile ortalama işgal oranını içermektedir. Ayrıca bu radar verileri şerit bazında elde edilen verileri kapsamaktadır.

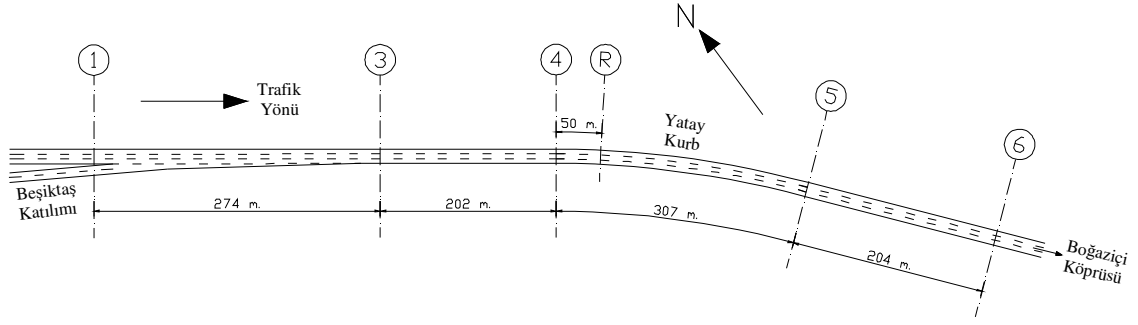
13.04.2007 tarihi dışında inceleme yapılan tüm günler için hava ve yol koşulları trafik akımı için engel teşkil edecek bir durum oluşturmamaktadır. 13.04.2007 tarihinde akım aşağı bir engel nedeniyle 16:33-17:05 zamanları arasında trafik akımında bir düşüş ve buna bağlı olarak akım yukarı kuyruklanmalar gözlemlenmiştir. Bu durum o günü açıklayan alt başlıkta incelenecektir.

Bununla birlikte gözlem sahasını da kapsayan yol kesiminde ek şerit uygulaması yapılmaktadır. Bu uygulamada Avrupa yönünden Asya yönüne, karşı istikametten alınan bir şerit gidiş yönüne eklenmektedir. Gözlem yapılan günlerde ek şerit uygulamasının, kuyruklanmaların akım yukarı kesitlere ulaşmasından sonra, saat 16:30 civarında yapıldığı tespit edilmiştir.

Diğer yandan, gözlem sahaları Beşiktaş, O-4, Kısıklı katılım sahası olmak üzere üç gözlem sahasından oluşmaktadır.

4.1.1 Beşiktaş Katılım Sahası

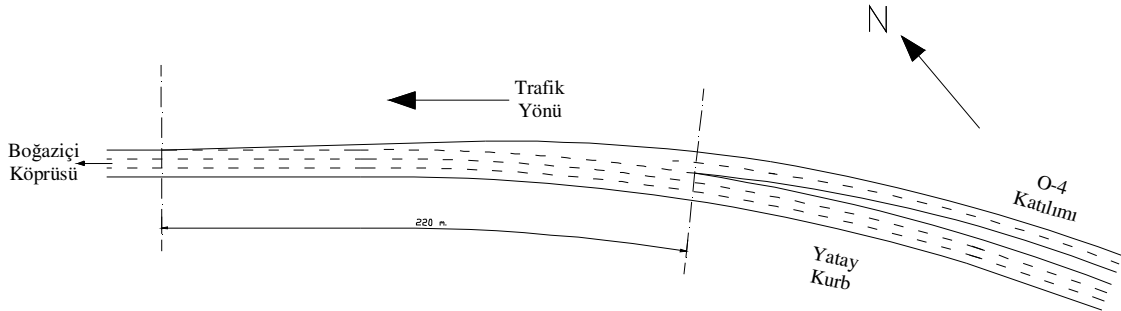
Bu gözlem sahası, O-1 otoyolu Boğaziçi köprüsü yaklaşımında, Avrupa-Asya yönünde 987 m. uzunluğundaki karayolu kesimine karşılık gelmektedir. Şekil 4.1'de 1, 3, 4, 5, 6 rakamları ile inceleme yapılan karayolu kesitleri ve yerleşimleri gösterilmektedir. 1 no'lu gözlem kesitinin bulunduğu bölgede Beşiktaş katılımı anayolla birleşmekte ve 3 no'lu kesite kadar katılma tamamlanmaktadır. 3 no'lu kesite kadar anayol 3 şeride, Beşiktaş katılımı ise 2 şeride sahiptir. 3 no'lu kesitten sonra ise otoyol 3 şeritle akım aşağıya ulaşmaktadır. 4 no'lu kesit yatay kurbun başlangıcını, 5 no'lu kesit ise bu kurbun bitimini belirtmektedir.



Şekil 4.1 Beşiktaş katılımı krokisi.

4.1.2 O-4 Katılım Sahası

Bu gözlem sahası, O-1 otoyolu Boğaziçi köprüsü yaklaşımında, Asya-Avrupa yönünde yaklaşık olarak 220 m. uzunluğundaki karayolu kesimine karşılık gelmektedir. Şekil 4.2’de inceleme yapılan karayolu kesiminin krokisi gösterilmektedir.



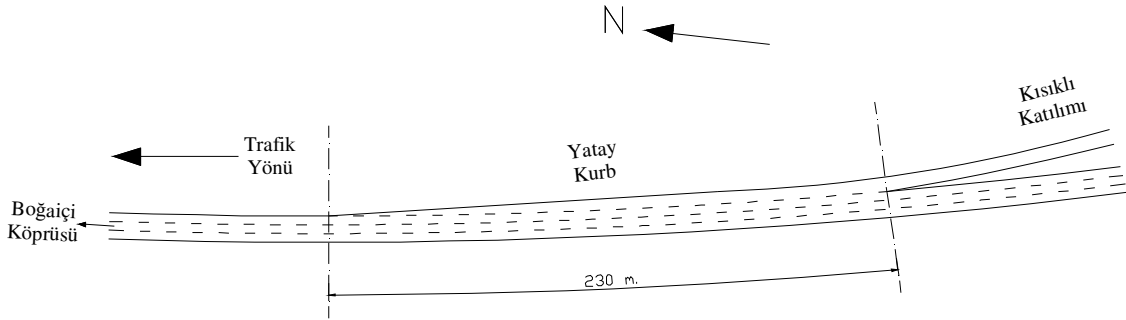
Şekil 4.2 O-4 katılımı krokisi.

Gözlem sahasının akım yukarısında O-4 katılımı anayolla birleşmekte ve gözlem sahası sonuna kadar katılma tamamlanmaktadır. Anayol, katılım bölgesine kadar 3 şeride, O-4

katılımı ise 2 şeride sahiptir. Katılım sonrası ise otoyol 3 şeritle akım aşağıya ulaşmaktadır. Her iki yol kesimi de katılma bölgesine yatay bir kurb ile bağlanmakta ve bu yatay kurb katılma bölgesi içerisinde sona ermektedir.

4.1.3 Kısıklı Katılım Sahası

Bu gözlem sahası, O-1 otoyolu Boğaziçi köprüsü yaklaşımında, Asya-Avrupa yönünde yaklaşık olarak 230 m. uzunluğundaki karayolu kesimine karşılık gelmektedir. Şekil 4.3’de inceleme yapılan karayolu kesiminin krokisi gösterilmektedir. Gözlem sahasının akım yukarısında kısıklı katılımı anayolla birleşmekte ve gözlem sahası sonuna kadar örülme tamamlanmaktadır. Anayol katılım bölgesine kadar 3 şeride, kısıklı katılımı ise 1 şeride sahiptir. Bununla birlikte, zorlamalı akım koşullarının ortaya çıkması ile taşıtların, katılım kesiminden iki şerit olarak geçiş yaptığı görülmüştür. Katılım sonrası ise otoyol 3 şeritle akım aşağıya ulaşmaktadır. Her iki yol kesimi için de örülme bölgesi yatay bir kurb içinde kalmaktadır.



Şekil 4.3 Kısıklı katılımı krokisi.

4.2 Davranış Kuramı Araştırmaları

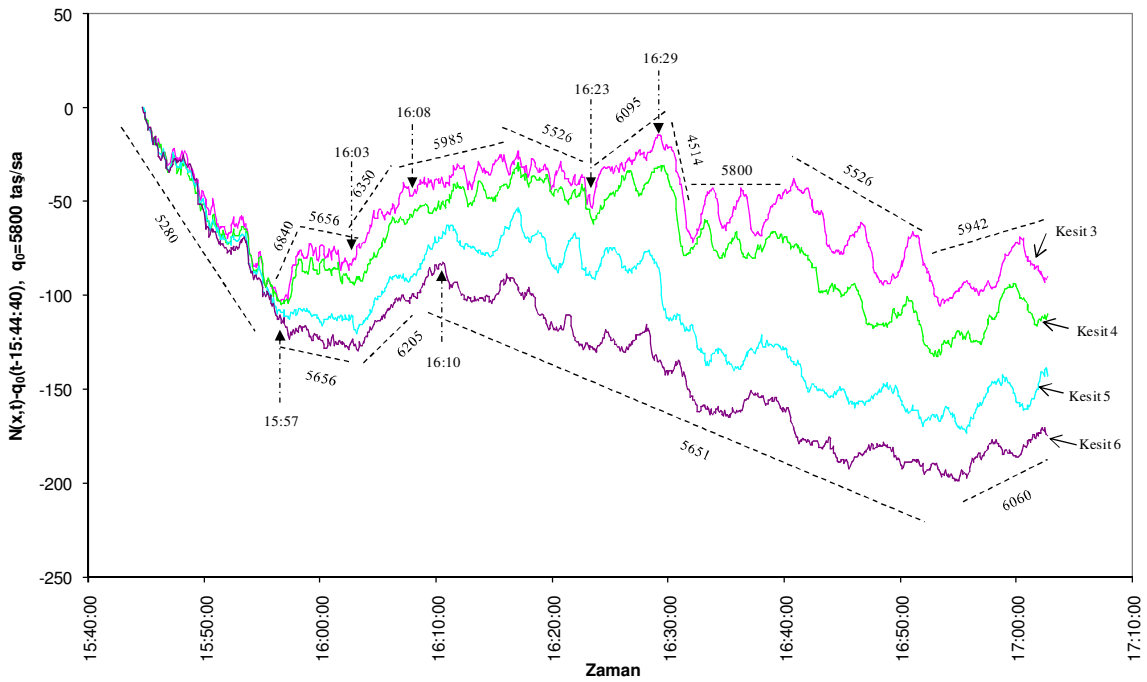
Davranış kuramı ile ilgili çalışmalar Beşiktaş katılım sahasında yapılmıştır. Toplam 5 günü içeren çalışmada, başlıklarda verilen günlere ait veriler incelenmiş ve davranış kuramı ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu gözlem günlerini, 10.04.2007, 12.04.2007, 13.04.2007, 16.04.2007 ve 19.04.2007 tarihleri oluşturmaktadır. Davranış kuramının kabul ettiği iki farklı şerit tipine uygun olarak, şerit bazında yapılan incelemelerde, sağ ve sol şeritler dikkate

alınmıştır. Bununla birlikte, orta şerit için ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri de sunularak akım üzerinde herhangi bir etki oluşturup oluşturmadığı araştırılmıştır.

4.2.1 Beşiktaş Katılımı 10.04.2007 Günü Verileri

4.2.1.1 Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları

Şekil 4.4 incelendiğinde, gözlem başlangıcından itibaren 15:57'ye kadar kesit eğrilerinin çakıştığı yani taşıt gecikmelerinin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu sayede, bu ana kadar serbest akım koşullarının hakim olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 Ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri.

15:57 sonrası eğrilerin çakışması ortadan kalkmış, eğriler birbirinden ayrılmaya başlamıştır. Bu tespit, serbest akım koşullarının ortadan kalktığını göstermektedir.

Serbest akımdan zorlamalı akıma geçişte özellikle 4. kesit ile 5. kesit arasındaki ayırım belirginleşmiştir. 15:57'e kadar tüm kesitler için ortalama 5280 taşıt/sa olarak gerçekleşen akım değeri, bir buçuk dakikaya yakın bir sürede akım yukarı 3. ve 4. kesitler için 6840 taşıt/sa değerine ulaşırken, aynı zaman diliminde akım aşağı 5. ve 6. kesitler için 5656 taşıt/sa düzeylerinde kalmıştır. Böylece karp başlangıcı olan 4. kesiti aşan taşıtların, karp bitimi olan 5. kesiti aynı oranda aşmadığı ve birikimlerin gözlemlenmeye başladığı tespit edilmiştir.

Bununla birlikte akım yukarı kesitlerdeki talebin sınırlı kalması, taşıt birikimlerinin akım yukarı kesitlere tesir etmemesine neden olmuştur.

16:10'dan itibaren akım aşağı kesit 6'dan itibaren akımda bir kırılma gözlemlenmiştir. Bu kırılmanın, 5. ve 6. kesit eğrilerin birbirinden daha da ayrılmasına yani kesitler arasında birikmeye yol açtığı görülmektedir. Bu durum 15:57-16:10 zamanları arasında kurp bölgesinin otoyol için bir darboğaz etkisi oluşturduğunu, daha sonrasında ise akım aşağı etkilerin baskın hale geçtiğini göstermiştir. Darboğaz etkisine rağmen davranış kuramında belirtilen kapasite düşüşü bu gözlem gününde gözlemlenmemiştir. Darboğaz etkisi oluşumuna kadar 5280 taş/sa olarak gerçekleşen akım, darboğaz oluşumu sonrası 5656 taş/sa değerini alarak bir artış göstermiştir. Bunun nedeninin, sürücülerin birbirlerini daha yakın izlemeleri olduğu düşünülmektedir.

16:10'da başlayan akım aşağı kuyruklanmaların, 16:23'te akım yukarı 3. kesite kadar ulaştığı, ve bu andan itibaren 16:29'a kadar olan süreçte oluşan 6095 taş/sa'lık yüksek taşıt akımının, akım aşağı kesitlerden geçemediği görülmektedir. 16:29'dan sonra, 3. kesit ile 4. kesit arasındaki düşey uzaklık açılmakta ve birikimler oluştuğu tespit edilmiştir. Böylece 3. kesit içinde tek kanal akım koşulları oluşmaya başlamıştır.

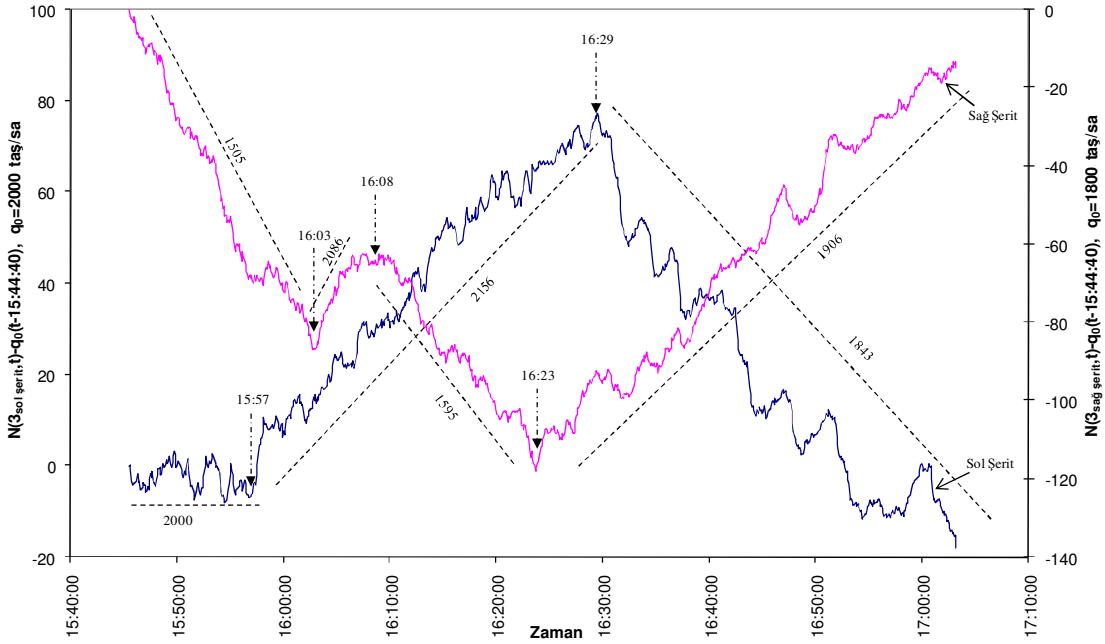
4.2.1.2 Şerit Akımlarının İncelenmesi

Şekil 4.5, 3. kesit için sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerini göstermektedir. Serbest akım koşullarının hakim olduğu 15:57'ye kadar sol şerit ortalama akımı 2000 taş/sa değerini alırken sağ şerit akımı 1505 taş/sa olarak gerçekleşmiştir. Bu durum davranış kuramında, serbest akımda saldırgan sürücülerin hızlarını maksimize ettikleri şeritte taşıt sürdükleri ve sol şerit akımlarının sağ şerit akımlarından daha yüksek değerler aldığı kabulüne uygun bir görünüm oluşturmaktadır. 3. kesit için bu dakikadan sonra 16:29'a kadar sol şerit akımı 2156 taş/sa olarak gerçekleşmiştir.

Sağ şerit akımında ise akım yukarı talebin artışı nedeniyle 16:03-16:08 dakikaları arasında bir akım artışı gözlenirse de, akım aşağı kesitlerde de bu akımın geçişine izin verebilecek bir akımın oluşması sayesinde kuyruklanmalar eriyerek tek kanal akımına geçiş koşulları oluşmamıştır. 16:08'den itibaren akım yukarıdan gelen talep azalmış ve bu düşüş kendini sağ şerit akımında hissettirmiştir. Sol şerit akımında, bu aralıkta bir değişim gözlenmemesi saldırgan sürücülerin davranış kuramında belirtildiği gibi sağ şeride bir geçiş eğiliminde bulunmadıklarını göstermektedir. 16:23'e kadar sağ şerit akımı 1595 taş/sa olarak gerçekleştiikten sonra, bu dakikadan itibaren, sağ şerit akımında gözlem sonuna kadar süren bir artışla 1906 taş/sa akım değeri görülmüştür. Aynı zamanda, Şekil 4.4'te 3. kesit için bu

zaman dilimindeki artışın akım aşağıdan geçmemesi ve kesitler arasındaki taşıt birikimlerinin artmaya başlaması dikkat çekici bir biçimde karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 4.4'te 16:29'da görülen akım düşüşü, Şekil 4.5'te yalnızca sol şeritte görülmekte, sağ şerit akım değerinde ise herhangi bir değişim göze çarpmamaktadır. Bu durum davranış kuramında tanımlanan tek kanal akımına geçildiğinin bir göstergesidir. Ayrıca her iki şerit için, akım değerlerinin birbirine oldukça yakın değerler alması, tek kanal akımının bir başka kanıtını oluşturmaktadır. Bu değişim aynı zamanda, davranış kuramında motivasyon kaybı olarak belirtilen durumun oluştuğu zaman dilimi olarak ele alınmalıdır. Saat 16:29'dan gözlem süresi sonuna kadar, sol şeritte 1843 taş/sa akım değeri görülmüştür.



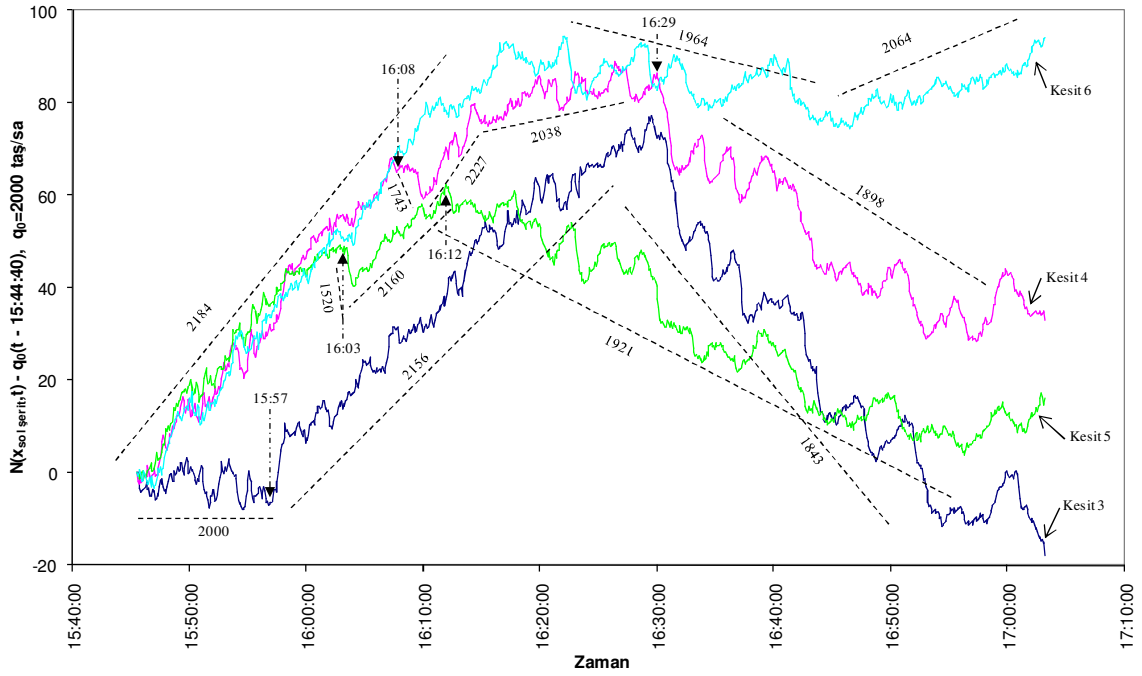
Şekil 4.5.3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.6 tüm gözlem kesitleri için, sol şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Benzer şekilde, Şekil 4.7 sağ şerit ve Şekil 4.8 orta şerit eğrilerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.6'ya bakıldığında, sol şerit akımlarındaki en belirgin özellik, diğer kesitlere oranla 6. kesit akımındaki düşüşün daha küçük düzeyde kalmış olmasıdır. Serbest akım bölgesinde 4., 5. ve 6. kesitler için 2184 taş/sa akım değeri okunurken, kesitlerdeki en küçük kırılma 1964 taş/sa ile 6. kesitte gözlemlenmiştir. Ayrıca gözlem sonuna doğru bu kesitteki toparlanma ile

akım değeri 2064 taş/sa'e erişmiştir.

Şekil 4.7'de ise, serbest akım bölgesinde kesit 6 akımı, 4. ve 5. kesitle birlikte 1240 taş/sa olarak gerçekleşirken, 16:03'te akım değerlerinde yaşanan değişimle birlikte diğer kesit akımları yükselirken, 6. kesit akımı 1800 taş/sa değerini gözlem sonuna kadar korumuştur. Bu durum, 6. kesite gelinceye kadar şeritlere dağılmış olan saldırgan sürücülerin yeniden sol şeride dönüş yaptıklarının bir göstergesi olarak görülmüştür. Böylece kurp sonu kesiti olan kesit 5'den kesit 6'ya kadar olan kesimde akım aşağıdan gelen bir etkiden bahsetmek anlamlı olacaktır.

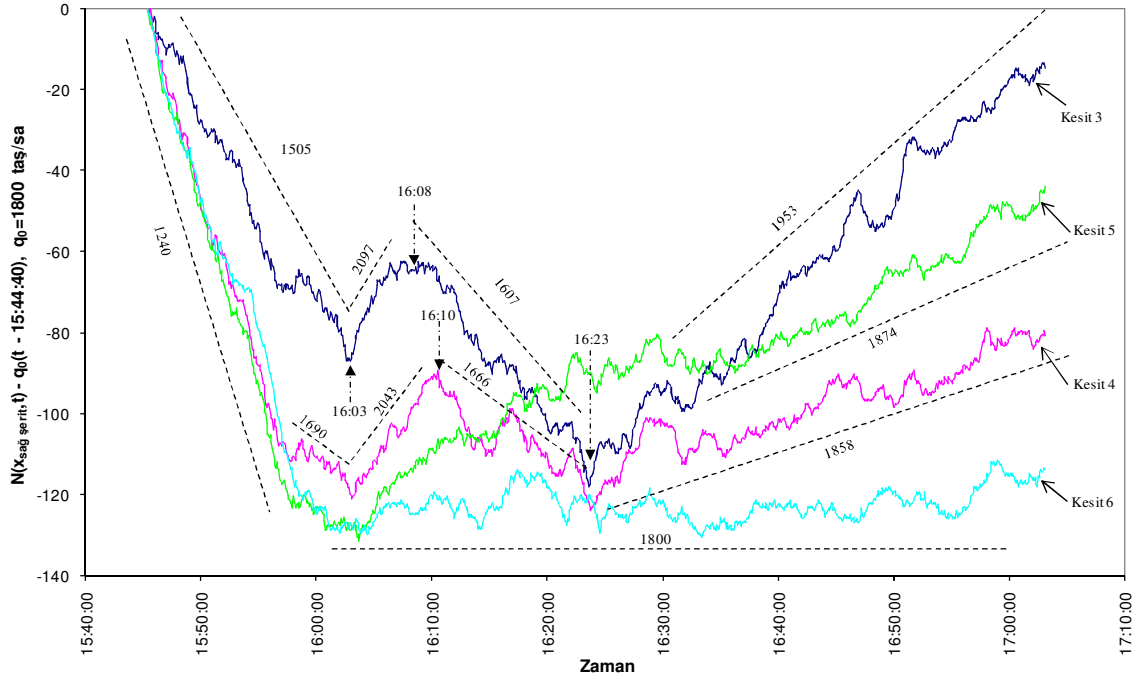


Şekil 4.6 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.6'da kesit 5 için 16:03'te ve kesit 4 için 16:08'de akım kırılmaları gözlemlense de, bu kısa süreli kırılmalardan sonra akım yeniden toparlanmıştır. 5. kesit için asıl kırılma 16:12'de ortaya çıkmış ve gözlem süresi sonlarına kadar ortalama şerit akımı 1921 taş/sa olarak gerçekleşmiştir. 3. ve 4. kesitlerde ise kırılmalar 16:29'da gözlemlenmiştir. Kesit 3'deki akım değeri 1792 taş/sa değeri ile bu zaman dilimindeki en küçük sol şerit akımı olarak kaydedilmiştir.

Şekil 4.7'de ise tüm kesitler için 16:03'de bir akım artışı gözlenirken, 16:08'de 3. kesitte ve

16:10'da 4. kesitte bir akım düşüşü meydana gelmiştir. Bu durumu akım yukarıdan akım aşağı doğru talepte yaşanan bir azalma ile açıklamak doğru olacaktır. 3. ve 4. kesit sağ şerit akımlarında yaşanan asıl akım artışı 16:23'de gerçekleşmiştir. 3. kesit akımı bu andan itibaren en yüksek akım değeri olan 1953 taş/sa'e ulaşmıştır. 4. ve 5. kesit sağ şerit akımları bu dakikadan itibaren, sol şerit akımlarına neredeyse eşit seviyelere gelmiştir. Bu durum tek kanal rejiminin bu bölümde aktif hale geldiğinin bir göstergesidir.

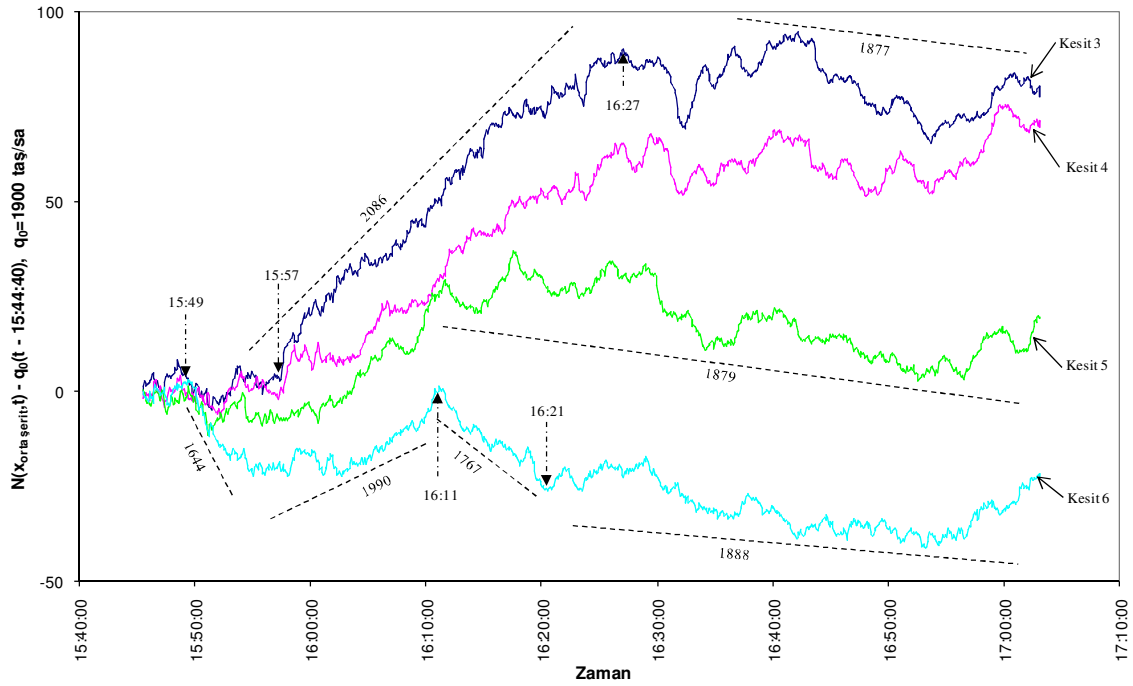


Şekil 4.7 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.8 incelendiğinde, orta şerit akım değerlerindeki değişimlerin diğer iki şeride göre sınırlı kaldığı görülmektedir. 15:57'de zorlamalı akıma geçişte tüm şerit akımlarında bir artış gözlenmiştir. Bu artışın etkisi en fazla 3. kesitte hissedilmiştir. 16:27'ye kadar 2086 taş/sa olarak gerçekleşen akım, bu dakikada kırılarak 1877 taş/sa değerini almıştır. 4. kesit 3. kesite benzer bir eğilim göstermektedir. Akım değerlerinde yaşanan ani değişimler ve bu değişim zamanları bu iki kesit için örtüşmektedir.

Bu benzerlik 5. ve 6. kesitlerde de kendini hissettirmektedir. 15:57'de yaşanan akım artışı bu iki kesitte 1990 taş/sa olarak ortaya çıkmıştır. Her iki kesit için zorlamalı akıma geçildikten sonra akımda yaşanan artış 16:11'de yaşanan kırılma ile yerini düşüşe bırakmıştır. 15:49'da 6. kesit akımında gerçekleşen düşüş ise bu kesitin 5. kesitten belirgin biçimde ayrılmasına neden

olmuştur. Serbest akım bölgesinde yalnızca 6. kesitte gerçekleşen bu düşüşü, davranış kuramında yer alan, saldırgan sürücülerin hızlarını maksimize edebildikleri şeridi tercih etmeleri ile ilişkilendirmek mümkündür. Ayrıca, yaşanan kırılma sonrası 16:11-16:21 dakikaları arasında, 6. kesit akımı 1767 taş/sa değerine düşerken, 5. Kesitte benzer bir düşüş gözlemlenmemiştir. Bunun dışında akımlarda yaşanan değişimlerle birlikte akım değerleri, 1877-1888 taş/sa gibi küçük bir aralıkta gerçekleşmiştir.



Şekil 4.8 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri.

Sonuç olarak, diğer şerit akımlarında yaşanan ciddi boyuttaki akım değişimlerinin orta şerit için dar bir aralıkta kaldığını, bu şeritte sürücü davranışlarının etkilerinin daha zayıf kaldığını söylemek mümkündür.

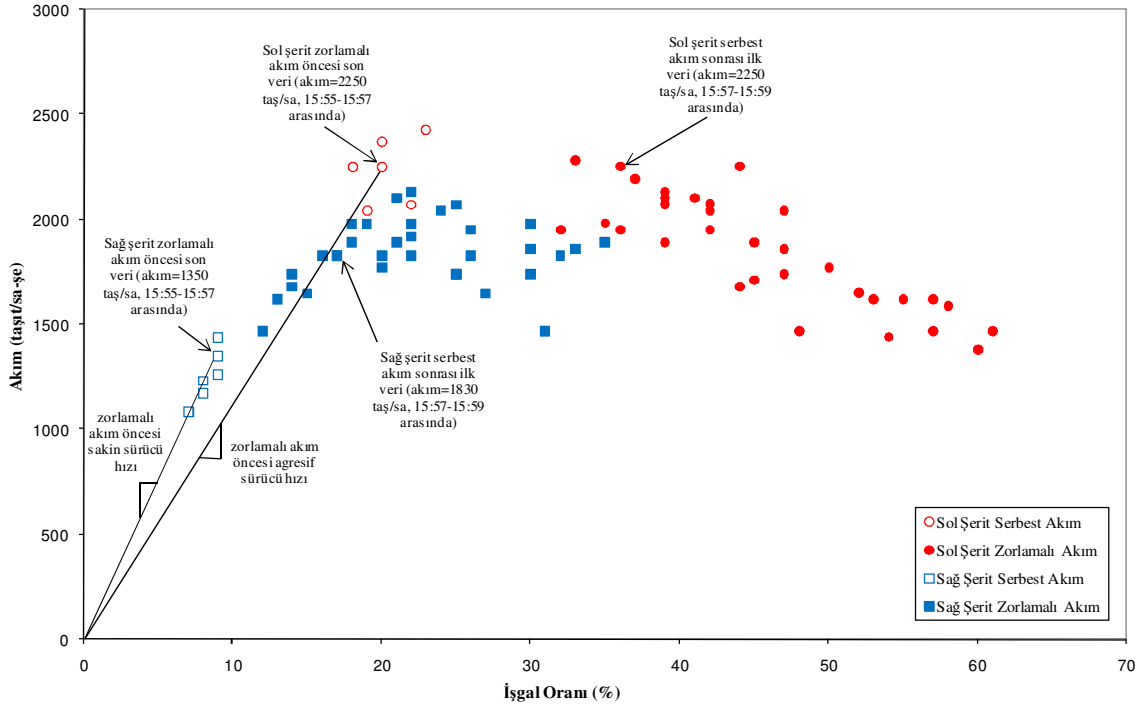
4.2.1.3 Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi

Şekil 4.9 daha önce yerleşimi ve veri sıklığı belirtilmiş olan radardan alınan bilgilerle oluşturulan akım-işgal oranı ilişkisini yansıtmaktadır. İşgal oranı daha önce de belirtildiği gibi yoğunluğun birimsiz bir ölçütüdür.

Burada sağ şeride ait veriler incelendiğinde, gözlem başlangıcından 15:57'ye kadar olan süreçte, işgal oranı %7-%9 seviyelerinde iken akım değeri 1080-1440 taş/sa düzeylerinde

gerçekleşmiştir. 15:57'den hemen sonrasında işgal oranı %9'dan %17'ye yükselirken, akım 1830 taş/sa değerini almıştır. Bu geçişten sonra akım 1470-2130 taş/sa, işgal oranı ise %12-%35 aralığında değerler almıştır. Bu durum, 15:57 sonrasında artışıyla birlikte zorlamalı akım koşullarına geçildiğinin bir göstergesi olarak dikkate alınmıştır.

Benzer şekilde, sol şerit verileri göz önüne alındığında, 15:57'ye kadar olan dönemde, işgal oranı %18-%23 aralığında iken akım değerleri 2040-2430 taş/sa aralığında gerçekleşmiştir. Şekil 4.8'de de görüldüğü gibi 15:57'den hemen sonra işgal oranı %20'den %36'ya sıçrarken akım 2250 taş/sa değerini almıştır. Bu değişimden sonra akım 1380-2280 taş/sa, işgal oranı ise %32-%61 aralığında gerçekleşmiştir. Böylece her iki şerit için de radar bölgesinde zorlamalı akıma geçişin 15:57 dolaylarında meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.9 Akım-İşgal oranı ikilileri.

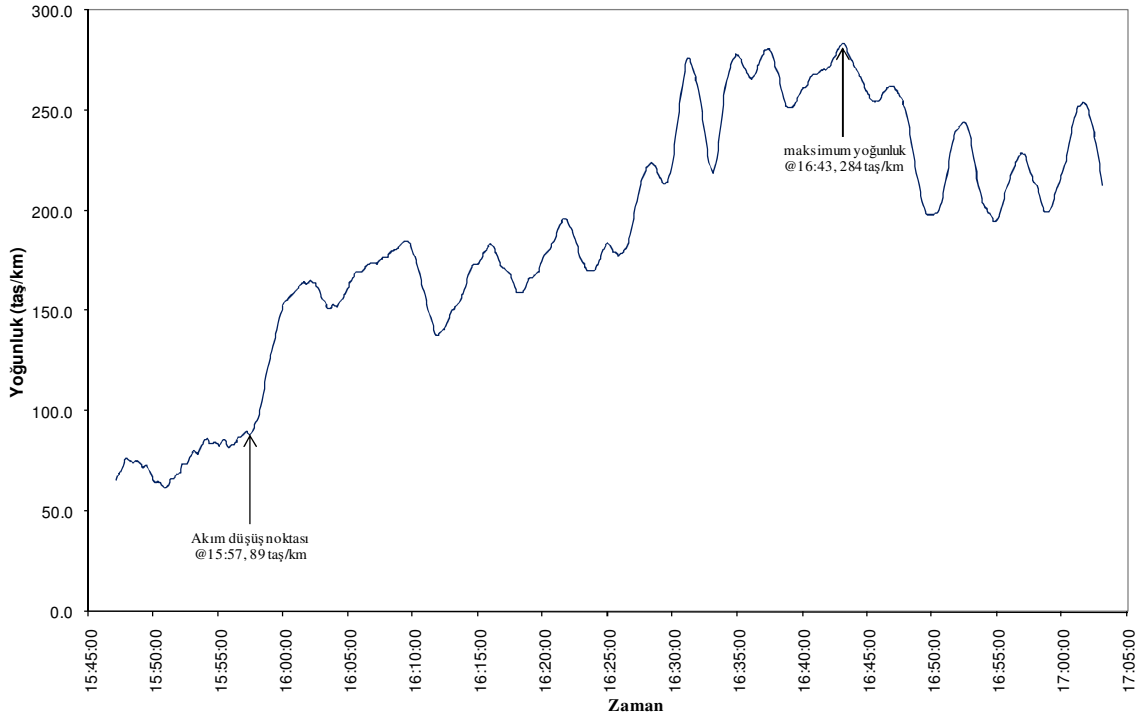
Bu gözlemler sonucunda, sağ şerit için serbest akımdan zorlamalı akıma geçişte, hem akım hem de işgal oranı verilerinde ciddi bir artış açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu geçişte sol şerit işgal oranı verileri de ciddi bir artış içine girerken, akım değerlerinde ise genel bir düşüşten bahsetmek mümkündür. Böylece, gözlem sonucu elde edilen akım-işgal oranı grafiği ile davranış kuramının üzerinde önemle durduğu akım-yoğunluk ilişkisi arasında ciddi bir

uyumdan söz etmek mümkündür. Sağ şerit grafiği davranış kuramının tanımladığı üçgen biçimine, sol şerit ise ters lambda şekline oldukça benzemektedir.

Ayrıca Şekil 4.9'da da görülebileceği gibi serbest akım verilerinin sonuncusunu orijine birleştiren bir doğru parçası çizilmiştir. Bu doğrunun eğimi serbest akım koşullarında her iki şerit için taşıt hızlarını yansıtmaktadır. Bu hızlar incelendiğinde, davranış kuramı tarafından, saldırgan sürücülerin hızlarının, sakin sürücülerden daha fazla olduğu varsayımının saha verileri ile çeliştiği görülmektedir. Bunun duruma, verilerin alındığı radarın yatay kurban içinde bulunması, yani yol geometrisi homojenliğinin bu kesimde bozulmasının neden olabileceği düşünülmektedir.

4.2.1.4 Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi

Davranış kuramı zorlamalı akıma geçişle birlikte bir akım düşüşünden bahsetmektedir. Bu akım düşüşünü ise saldırgan sürücülerdeki motivasyon kaybı ile ilişkilendirmektedir. Buna rağmen daha önce de belirtildiği gibi, inceleme yapılan gün için akım değerinde bir düşüş gözlemlenmemiştir.



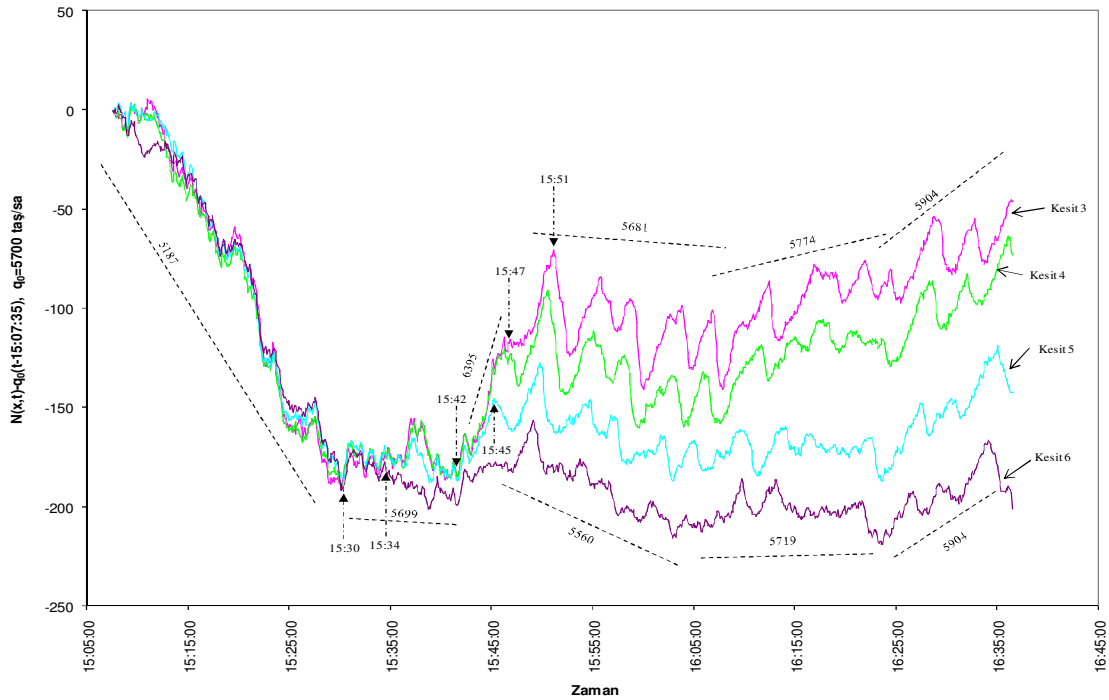
Şekil 4.10 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama).

Şekil 4.10 4. kesit ile 5. kesit arasındaki taşıt yoğunluklarının zamanla değişimini göstermektedir. Öncelikle, 5 sn'lik zaman dilimlerinde 4. kesitten geçen taşıt sayılarından 5. kesitten geçen taşıt sayılarının çıkarılması suretiyle bu iki kesit arasındaki taşıt sayısı tespit edilmiştir. Bu değerler elde edilirken, daha önce yığışımlı taşıt sayısı eğrileri için açıklanan öteleme işlemi bu kesitler arasındaki taşıt sayılarının alınması sırasında da aynen uygulanmıştır. Böylece gözlem başlangıç anında iki kesit arasında bulunan taşıtların gözlem dışında tutulması sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen bu veriler iki kesit arasındaki uzaklığa bölünerek kesitler arasındaki yoğunluk değerlerine ulaşılmıştır. Son olarak, elde edilen yoğunluk verilerinin iki dakikalık hareketli ortalaması alınarak yoğunluk-zaman grafiği oluşturulmuştur.

Şekil 4.10 incelendiğinde yoğunluk değerindeki ani ve geri alnamayan yükselişin darboğazın aktif hale geçtiği zaman ile çakıştığı tespit edilmiştir. 15:57'de 89 taş/km olan yoğunluk birkaç dakika içinde 150 taş/km seviyelerinin üzerine çıkmıştır. 16:43'de 284 taş/km'ye ulaşan yoğunluk gözlem süresi boyunca serbest akım bölgesindeki değerlerine dönememiştir.

4.2.2 Beşiktaş Katılımı 12.04.2007 Günü Verileri

4.2.2.1 Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları

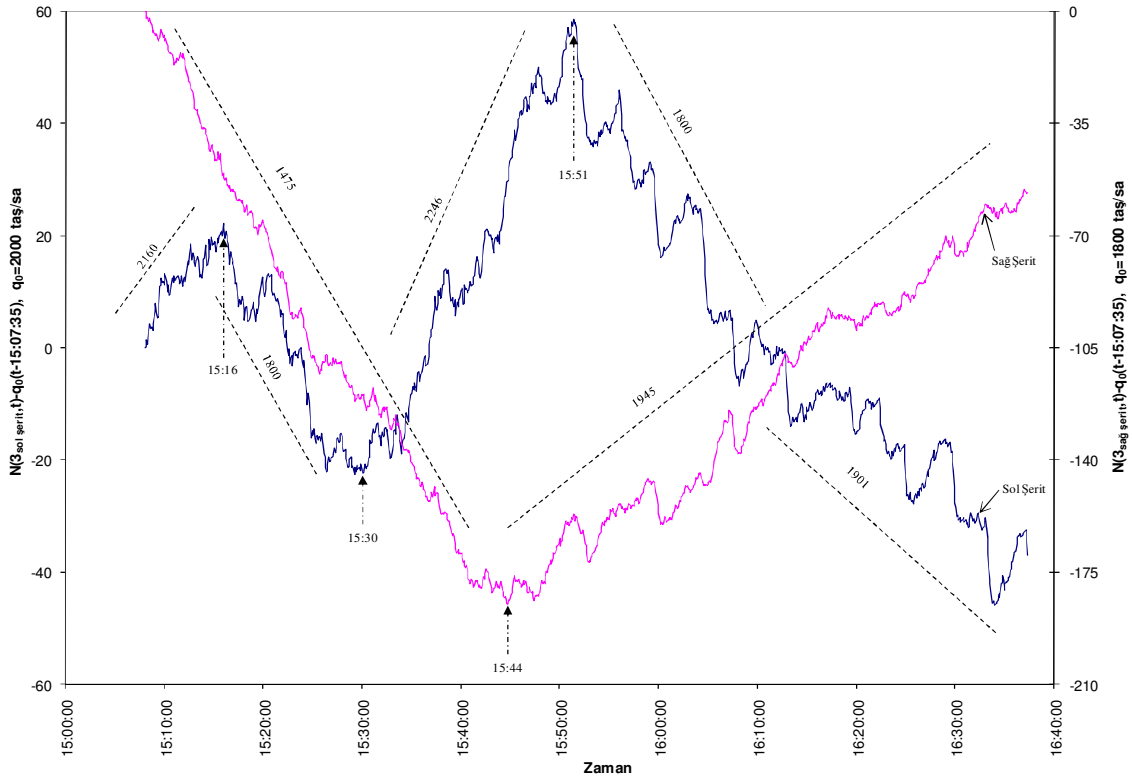


Şekil 4.11 Ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.11 gözlem kesitlerinde ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayılarının zamanla değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, saat 15:30'da tüm kesitlerdeki akım değerlerinde ciddi bir artış görülmüştür. Bu artış sonucu 15:34'te, akım aşağı 6. kesit diğer kesitlerden ayrılmaya başlamıştır. Bu durum akım yukarı kesitlerden gelen yüksek akımın akım aşağı 6. kesitten geçemediğini göstermektedir. Saat 15:42'ye kadar olan bölümde ise akım yukarı kesitten gelen yüksek akımın azalması ile birlikte eğrilerin birbirine yaklaştığı, yani birikimlerin azaldığı görülmektedir.

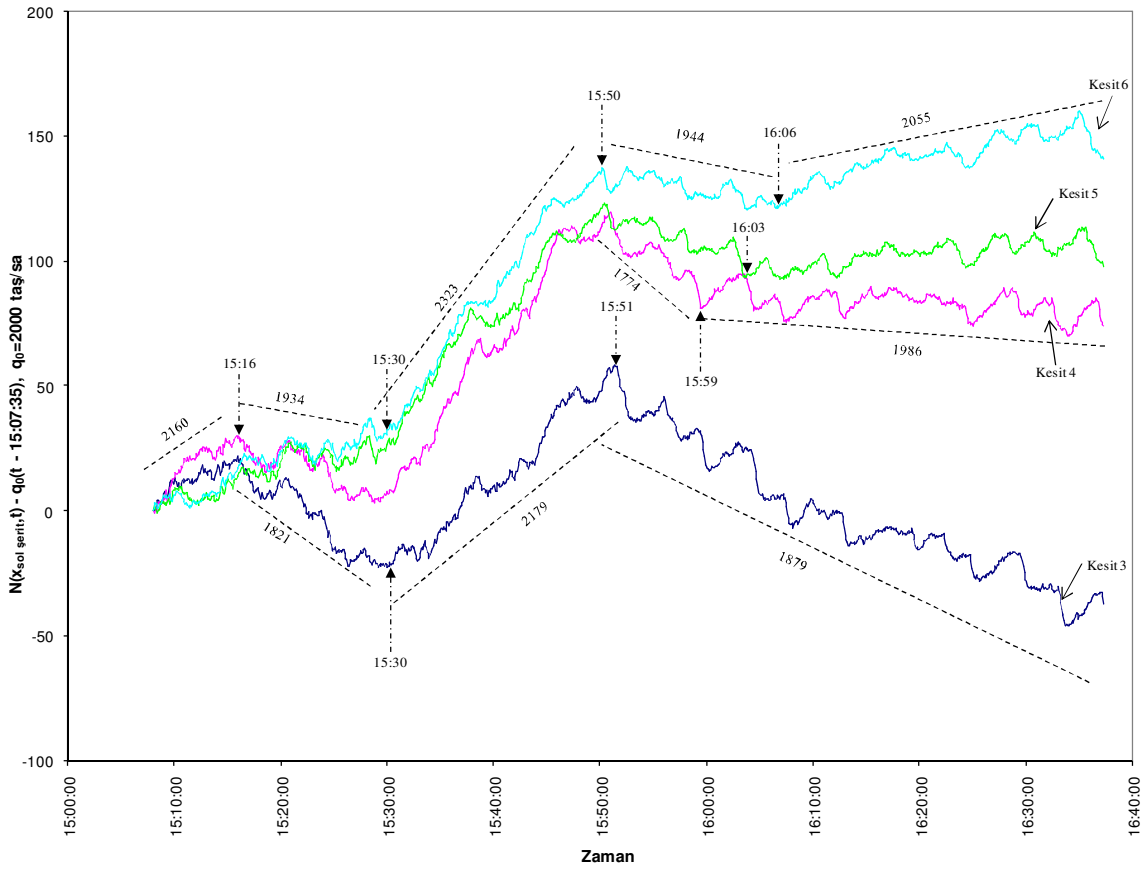
15:42'de başlayan akım artışı ile birlikte 5. kesit ile 6. kesit arasındaki birikimlerin arttığı gözlemlenmiştir. Bu birikimler yavaş yavaş akım yukarı kesitlere tesir etmeye başlamış ve 15:45'de 5. kesitte, 15:47'de 4. kesitte ve son olarak 15:51'de 3. kesitte akım düşüşüne neden olmuştur. Bu birikim ve akım düşüşleri ile adı geçen kesitlerin zorlamalı akım koşullarına ve davranış kuramında belirtilen tek kanal rejimine geçtikleri görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.11, 12.04.2007 tarihi için kuyruklanmaların akım aşağıdan geldiğini ve akım yukarı kesitlere yayıldığını göstermektedir.

4.2.2.2 Şerit Akımlarının İncelenmesi



Şekil 4.12 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.12 3. kesit sağ ve sol şeritler için ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Burada gözlem başlangıcından itibaren 15:16'ya kadar sol şerit akımının 2160 taş/sa gibi yüksek bir değer aldığı gözlemlenmiştir. Bu andan itibaren akımda yaşanan düşüş sol şerit akımının 15:30'a kadar 1800 taş/sa seviyelerinde seyretmesine neden olmuştur. Şekil 4.11'de saat 15:30'da görülen akım artışı 3. kesit şerit akımlarında yalnızca sol şerit için görülmüştür. Sağ şerit akımı ise gözlem başlangıcından itibaren 15:44'e kadar 1475 taş/sa olarak gerçekleşmiştir. Bu durum davranış kuramının ortaya koyduğu, serbest akım koşullarının sürdüğü aralıkta sol şerit akımının sağ şerit akımından daha yüksek olduğu varsayımının doğruluğunu işaret etmektedir.

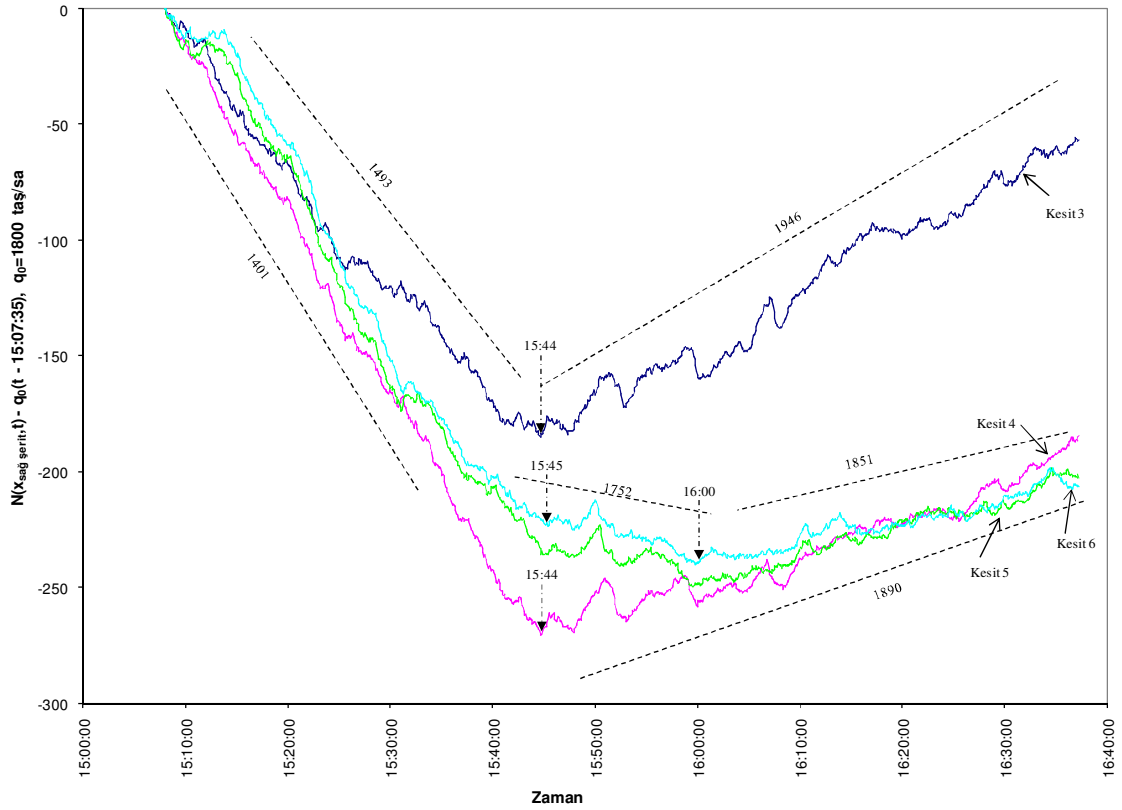


Şekil 4.13 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrileri.

Saat 15:44 sonrası sağ şerit akımında ciddi bir artış gözlenmiş ve bu artışla birlikte akım değeri 1945 taş/sa olarak okunmuştur. Akım, bu değerini gözlem sonuna erişilinceye kadar korumuştur.

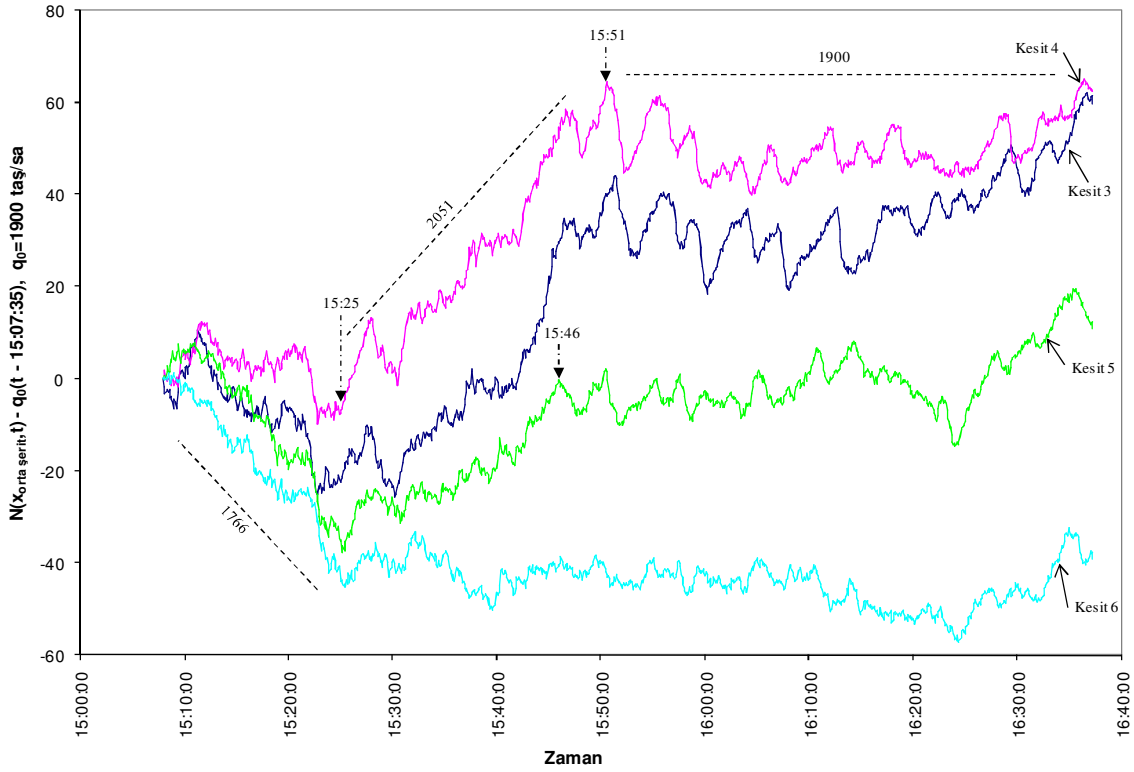
Diğer yandan sol şerit akımında ise 15:51'de ciddi bir düşüş görülmüş ve 15:30'dan bu ana kadar 2246 taş/sa olarak gerçekleşen akım, 1800 taş/sa düzeylerine inmiştir. Daha sonra sol şerit akımı bir miktar toparlanarak 1901 taş/sa akım değeri ile gözlem sonuna gelmiştir. Daha önce şekil 4.11'den de tespit edildiği gibi 15:51'den itibaren zorlamalı akım koşullarına geçildiği ve tek kanal rejiminin oluştuğu Şekil 4.12'de de görülmektedir. Burada sağ şerit akımı sol şerit akımının bir miktar üzerinde seyretmektedir.

Şekil 4.13 gözlem kesitleri için sol şerit ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrilerini göstermektedir. Burada daha önce 3. kesit için yapılan tespitlerin aynı zaman aralıklarında benzer şekilde diğer kesitlerde de görüldüğü ortaya çıkmaktadır. Fakat akım değerlerinin 3. kesit için daha düşük kaldığı açıkça görülmektedir. Bununla birlikte 15:59'da 4. kesitte başlayan toparlanma, 16:03'te 5. kesitte ve 16:06'da 6. kesitte kendini hissettirmiştir. 3. kesitte ise herhangi bir toparlanma görülmemiştir.



Şekil 4.14 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.14 ise gözlem kesitleri için sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşı sayısı eğrilerini göstermektedir. Gözlem başlangıcından 15:44'e kadar 4, 5 ve 6 no'lu kesitler için 1401 taş/sa akım değeri okunurken 3. kesitte 1493 taş/sa akım değeri ortaya çıkmıştır. 15:44'te 3. ve 4. kesit akımlarında yaşanan akım artışı ile birlikte akım değerleri 3. kesit için 1946 taş/sa, 4. kesit için ise 1890 taş/sa seviyelerine yükselmiştir. Benzer bir artış akım aşağı kesitlerde 15:45'te ortaya çıkmıştır. Bu andan itibaren 5. ve 6. Kesitlerde akım 1752 taş/sa değerine yükselirken, saat 16:00 itibariyle yeniden artarak 1851 taş/sa değerine erişmiştir.



Şekil 4.15 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşı sayısı eğrileri.

Sol şerit akımlarında yaşanan belirgin kırılma durumu, sağ şerit akımları ile uyum göstermektedir. 3. kesit sol şerit akımında gözlenen ciddi düşüş, beraberinde sağ şerit akımındaki önemli artışı getirmiştir. Bununla birlikte diğer kesitler için sol şerit akımlarındaki düşüşlerin sınırlı kaldığı, benzer şekilde sağ şerit akımlarındaki yükselişlerin de nispeten düşük olduğu görülmektedir. Başka bir ifade ile 3. kesiti geçen taşıtların sağ şeritten sol şeride doğru bir hareket içinde olduklarını söylemek mümkündür. Bu tespit bir önceki gözlem günü dikkate alındığında daha net olarak görülebilmektedir. Bu durum davranış kuramı ile ilişkilendirildiğinde, 3. kesite kadar gelen sürücülerin motivasyon kaybına uğradıklarını, 4.

kesite geldiklerinde ise tekrar motive olarak şerit değiştirmeye başladıklarını ifade etmek doğru olacaktır.

Şekil 4.15 tüm gözlem kesitleri için orta şerit ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Bir önceki gözlem gününde olduğu gibi bu gözlem günü için de orta şerit akım değerlerinde büyük bir değişim gözlemlenmemiştir. Ayrıca, akım yukarı 3. ve 4. kesit akımları ile akım aşağı 5. ve 6. kesitleri benzer bir eğilimdedir. Zorlamalı akıma geçiş öncesi 15:25'e kadar 1766 taş/sa olarak gerçekleşen akım değerinde, bu dakikan sonra tüm kesitlerde bir artış görülmüştür. En küçük artış 6. kesit akımını gözlem sonuna kadar 1900 taş/sa değerine taşıırken, diğer kesitlerde yaşanan artış bu kesitlerin akım değerlerini 2051 taş/sa'e çıkarmıştır. Bununla birlikte 5. kesit akımı, 3. ve 4. kesite göre daha erken kırılarak 15:46 sonrasında 1900 taş/sa değerini alarak gözlem sonuna kadar ulaşmıştır. 3. ve 4. kesit akımları ise, 15:51'de kırılarak diğer kesitlere benzer şekilde 1900 taş/sa değerine ulaşmıştır. Gözlem sonuna kadar akım değerlerinde ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir.

4.2.2.3 Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi

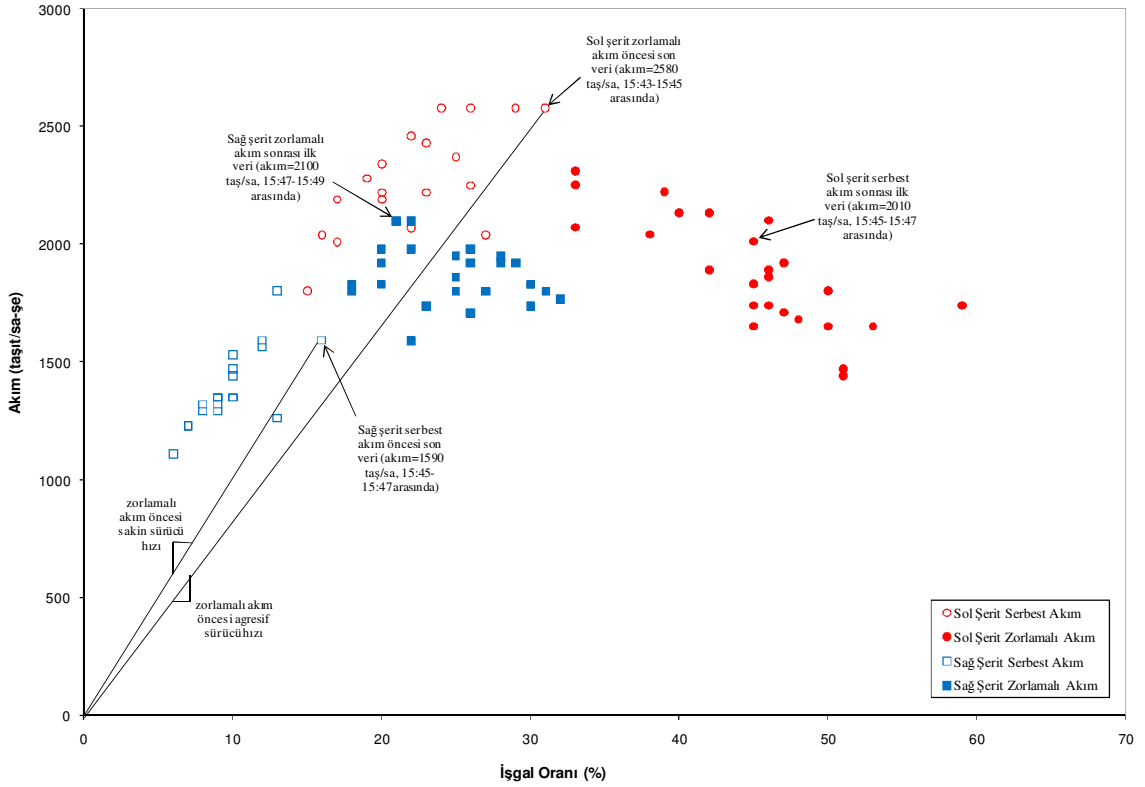
Şekil 4.16 radardan alınan verilerle oluşturulan akım-işgal oranı dağılımını yansıtmaktadır. Burada gözlem başlangıcından 15:47'e kadar sağ şerit akım-işgal oranı ikilileri genel olarak en düşük değerleri alarak orijine en yakın ikilileri oluşturmaktadırlar. Bu ikili grubunun daha önceki tespitler de dikkate alınarak serbest akım koşullarını temsil ettiğini söylemek mümkündür. Bu bölgede, işgal oranı değerleri %6 ila %16 arasında değişirken, akım değerleri 1110 taş/sa ile 1800 taş/sa aralığında değişmektedir.

Saat 15:47-15:49 arasında işgal oranı %16'dan %21'e çıkarken, akım 1590 taş/sa'den 2100 taş/sa değerine ulaşmıştır. Bu dakikadan itibaren gözlem sonuna kadar oluşan ikililer, daha önceki ikililerden bariz şekilde ayrı bir gruplanma göstererek zorlamalı akım bölgesini oluşturmuşlardır. Zorlamalı akımda, işgal oranı %18-%32 arasında değişirken, akım 1590-2100 taş/sa aralığında değerler almıştır.

Sol şerit ikilileri incelendiğinde ise, 15:45 zamanının bu ikililer için ayırt edici bir zaman olduğu görülmektedir. 15:45'de %31 işgal oranına karşılık, 2580 taş/sa akımına sahip olan sol şerit, 15:47'de %45 işgal oranı ve 2010 taş/sa akım değerine erişmiştir. Bu durum sol şeritte de, saat 15:45'de serbest akım koşullarından zorlamalı akım koşullarına geçildiğini göstermektedir.

Serbest akımda sol şerit akım değerleri 1800-2580 taş/sa aralığında iken, zorlamalı akıma geçişle birlikte 1440-2310 aralığına gerilemiştir. İşgal oranı değerleri ise serbest akım için

%15-%31 aralığında iken zorlamalı akıma geçiş işgal oranını %33-%59 aralığına atmıştır.



Şekil 4.16 Akım-İşgal oranı ikilileri.

Bu veriler ışığında, zorlamalı akıma geçişte, sağ şerit için işgal oranının artması ile birlikte bir akım artışı gözlenirken, sol şeritte işgal oranının artışının akımda bir artış yerine düşüş meydana getirdiği görülmektedir. Bu durum, Şekil 4.16'da sağ şerit için davranış kuramının belirttiği üçgen görünümünü, sol şerit için ise ters lambda görünümünü ortaya çıkarmaktadır. Bu açıdan veriler kuram ile uyum taşımaktadır.

Ancak, bir önceki gözlem gününde de belirtildiği gibi, bu gözlem günü verileri için de, sağ şerit serbest akım hızları, sol şerit serbest akım hızlarından daha büyüktür. Bu sonuç, orijinden serbest akım verilerine çizilebilecek eğilim doğrularının eğimlerinin karşılaştırılmasından anlaşılabilir. Şekil 4.16'da serbest akım rejiminin son veri çiftlerini temsil eden noktaları orijine birleştiren doğrular gösterilmiştir.

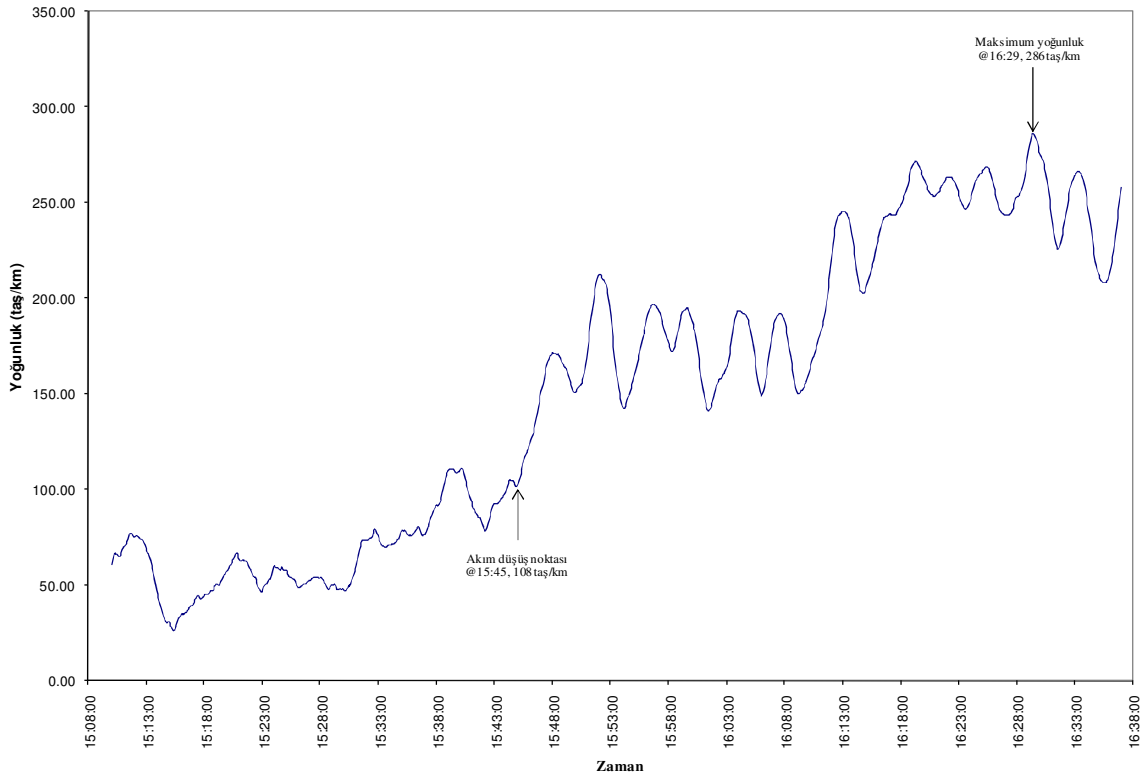
4.2.2.4 Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi

Şekil 4.17 4. ve 5. kesitler arasındaki yoğunluğun zamanla değişimini göstermektedir.

Yoğunluk değerleri bir önceki gözlem günü için açıklandığı gibi, iki dakikalık hareketli ortalamalar oluşturularak grafiğe dökülmüştür. Saat 15:45'e kadar bu kesitler arasındaki yoğunluk değerleri, 25 taş/km ile 110 taş/km arasında değişirken, bu dakikadan itibaren yoğunluk değerleri 150 taş/km seviyelerinin üzerine çıkmıştır.

Şekil 4.11'de 5. kesitte yaşanan ve 4. kesit ile 5. kesitin birbirinden ayrılmasına neden olan akım düşüşü ile kesitler arasındaki ani yoğunluk artışı zamansal olarak çakışmaktadır. Bu anda kesitler arasındaki yoğunluk değeri 108 taş/km olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11'de 15:42'den itibaren 5. kesitte oluşan 6395 taş/sa akımı saat 15:45 itibarıyla kırılmış ve bu dakikadan sonra gözlenen akım değeri ortalama 5560 taş/sa düzeyine gerilemiştir. Bu değişim, akımda %13 oranında bir düşüşe karşılık gelmektedir.

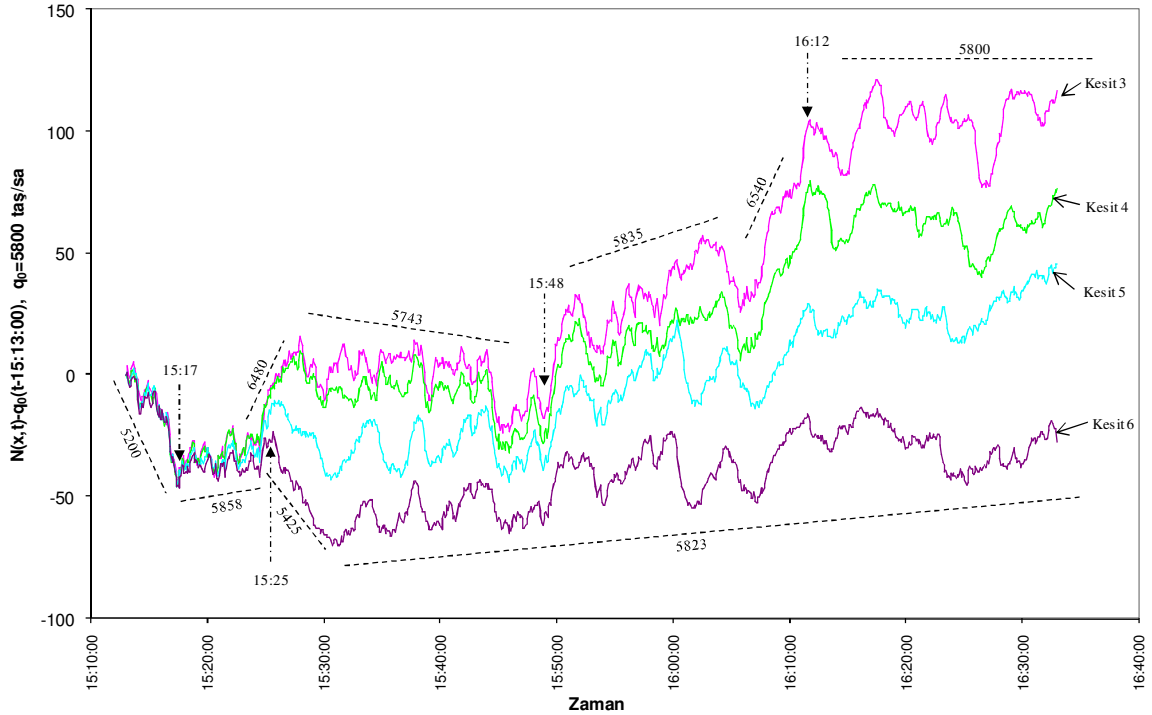
15:45'de yaşanan artış sonrasında artışına devam eden yoğunluk verileri 16:29'da 286 taş/km maksimum değerine ulaşmıştır. Gözlem sonuna kadar ise, serbest akım koşullarındaki yoğunluk değerleri yeniden elde edilememiştir.



Şekil 4.17 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama).

saat 15:25 itibari ile serbest akım koşullarının ortadan kalktığı ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, 15:48'e kadar akım yukarı 3. kesit ile 4. kesit eğrileri arasında belirgin bir ayrılma görülmemiştir. Ayrıca 4. kesit ile 5. kesit arasındaki ayrılma 15:48'de azalarak ortadan kalkma durumuna gelmiştir. Bu tespitler akım yukarı talepte bir azalma gözlemlendiğini göstermektedir.

Saat 15:48-16:12 aralığında akım yukarı kesitlerde yaşanan talep artışı ile birlikte akım değeri 6540 taş/sa seviyelerine ulaşmıştır. Akım artışının görüldüğü bu zaman diliminde birikimler zaman zaman azalsa da, serbest akım koşullarına yeniden dönülemediği. 16:12 itibariyle oluşan yüksek akım, akım aşağı kesitlerden geçememiş ve tüm kesitler için 5800 taş/sa değerine düşerek gözlem kesiminde zorlamalı akım koşullarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Böylece 16:12 itibariyle, akım yukarı 3. Kesite kadar tüm gözlem kesitlerinin tek kanal rejimine geçtiğini söylemek mümkündür. 15:25'te birikimlerin artmaya başlamasından 16:12'ye kadar olan bölüm serbest akımdan zorlamalı akıma bir geçiş oluşturmaktadır. Bu zaman aralığında trafiğin geçiş rejiminde olduğu düşünülmektedir.



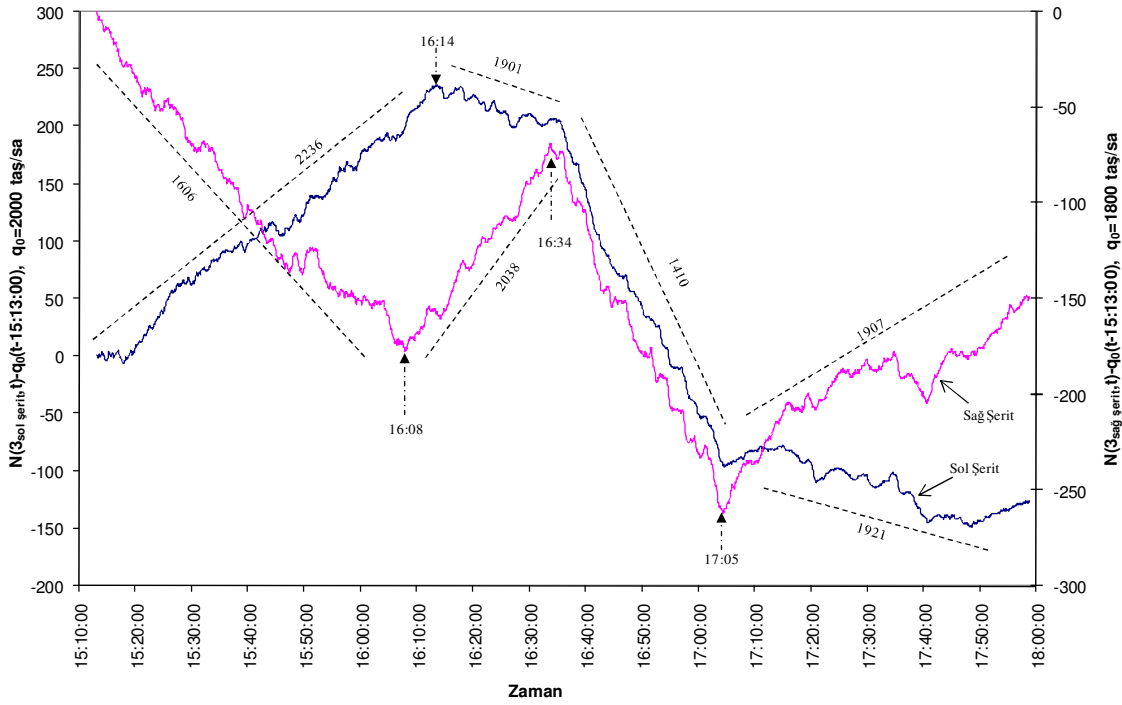
Şekil 4.19 Ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıtların sayıları eğrileri 2.

Şekil 4.18 ele alındığında ise saat 16:33'te akım değerlerinin 6. kesit için düşmeye başladığı

ve bu düşüşün 16:35'te 3. kesite kadar yansıdığı görülmektedir. Böylece akım aşağıdan geldiği anlaşılan bu etki sonucunda akım değeri 4239 taş/sa'e düşmüştür. Saat 17:01'de 6. kesit akımında yaşanan toparlanma, 17:05'te 3. kesite kadar ulaşmıştır. Bu toparlanma ile birlikte akım değerleri, gözlem sonuna kadar tüm kesitler için ortalama 5800 taş/sa değerini almıştır.

4.2.3.2 Şerit Akımlarının İncelenmesi

Şekil 4.20 gözlem günü için 3. kesit sağ ve sol şerit yığışimli taşıt sayısı eğrilerini göstermektedir. Burada, gözlem başlangıcından saat 16:08'e kadar sağ şerit akımında, sol şeride oranla büyük bir farklılık göze çarpmaktadır. Bu zaman aralığında sağ şerit akımı 1606 taş/sa değerini alırken sol şeritte 2236 taş/sa akımı görülmektedir. Bu farklılık sayesinde bu zaman dilimi için 3. kesitte iki kanal rejiminin görüldüğünü söylemek mümkündür. Aynı zamanda davranış kuramının kabulüne uygun olarak, serbest akımda sol şerit akımlarının, sağ şerit akımlarından daha yüksek değerler aldığı görülmektedir.



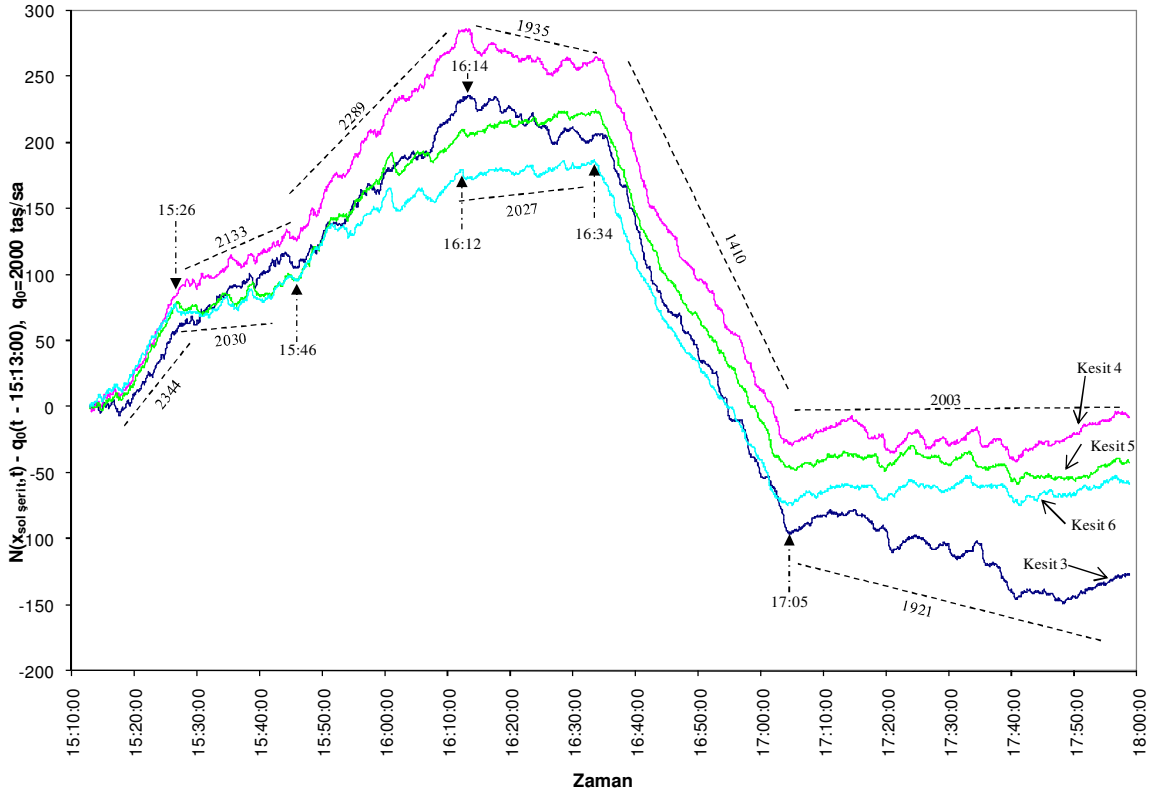
Şekil 4.20 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.

16:08'de ise sağ şerit akımındaki artış, akım değerini 2038 taş/sa seviyelerine getirmiştir. Buna karşılık sol şerit akımı ise, 16:14'de kırılarak 1901 taş/sa değerini almıştır. Böylece 16:14 sonrasında rejimin tek kanal rejimine geçtiği görülmektedir. Ayrıca her iki şerit akım

değerlerinin birbirine yaklaşması ile sol şerit sürücülerinde davranış kuramına uygun olarak motivasyon kaybının oluştuğunu söylemek uygun olacaktır.

Bu dakikadan sonra 16:34'te akım aşağı etkiler nedeniyle her iki şerit akım değerlerinde düşüş ortaya çıkmış ve bu etkilerin ortadan kalktığı 17:05'e kadar akım değeri 1410 taş/sa olarak gerçekleşmiştir. 17:05'ten gözlem sonuna kadar ise sağ şerit akımı 1907 taş/sa, sol şerit akım 1921 taş/sa değerlerini almıştır. Her iki şerit akımının birbirine bu kadar yakın değerler alması, trafik akımının akım aşağı etkiler sonucu oluşan birikimlerle birlikte, tek kanal rejimi ile akım aşağı iletildiğini göstermektedir.

Şekil 4.21 gözlem kesitleri için sol şerit ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Buna göre, saat 15:26'ya kadar tüm kesitler için 2344 taş/sa olarak gerçekleşen akım değeri, bu dakikada kırılarak akım yukarı 3. ve 4. kesitler için 2133 taş/sa değerine düşmüştür. Benzer şekilde akım aşağı 5. ve 6. kesitler için ise yaşanan bu kırılma akım değerini 2030 taş/sa değerine düşürmüştür.

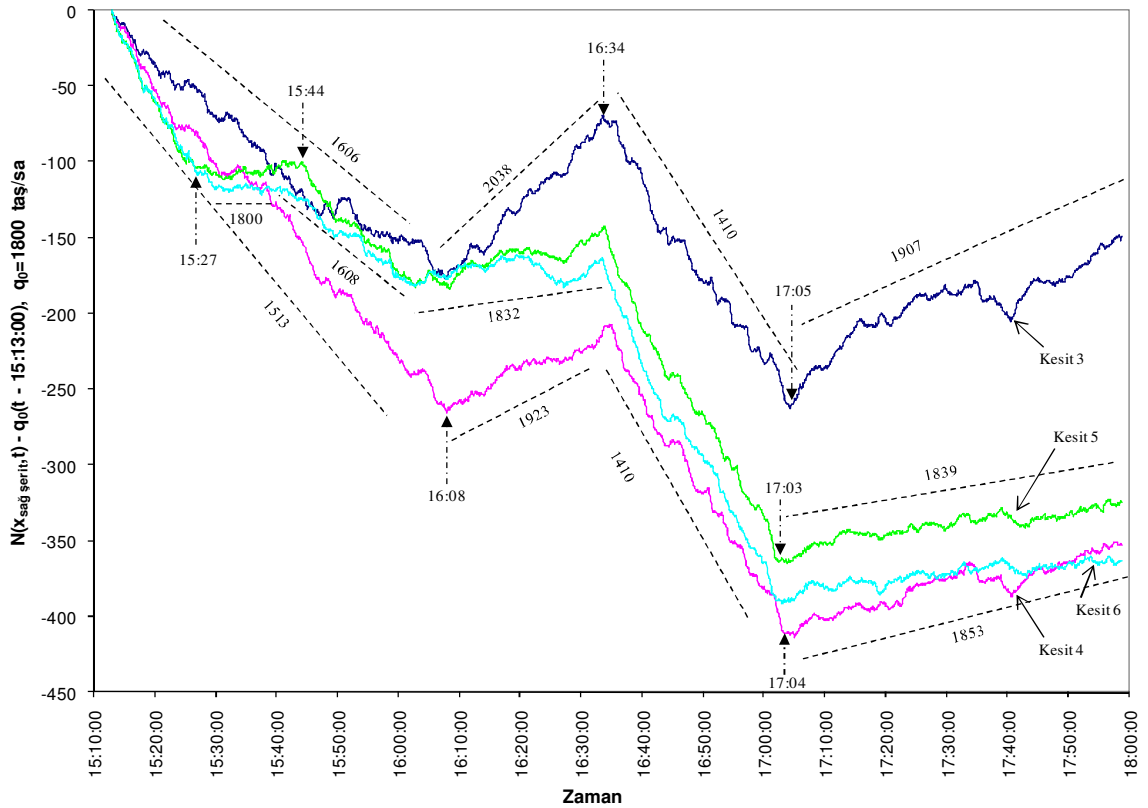


Şekil 4.21 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrileri.

Daha sonra saat 15:46 itibariyle şerit akımlarında gözlemlenen toparlanma tüm kesitlerde kendini hissettirmiş ve akım değerlerini 2289 taş/sa değerine ulaştırmıştır. Bu toparlanma etkisini akım yukarı kesitler için 16:14'e, akım aşağı kesitler için 16:12'ye kadar korumuştur. Bu dakikalardan itibaren, 16:34'de akım aşağı etkilerin ortaya çıkışına kadar, akım aşağı kesitlerde akım değeri 2027 taş/sa olarak okunurken, akım yukarı kesitlerdeki akım değeri ise 1935 taş/sa olarak ortaya çıkmıştır.

Saat 16:34 itibari ile ortaya çıkan akım aşağı etkilerin neticesinde sol şerit akımları tüm kesitler için 1410 taş/sa seviyelerine gerilemiştir. 17:05'de bu etkilerin ortadan kalkması ile birlikte gözlem sonuna kadar, 4., 5. ve 6. kesitler için akım 2003 taş/sa değerini almış, 3. kesit ise 1921 taş/sa akım değeri ile diğer kesitlerin gerisinde kalmıştır.

Şekil 4.22 gözlem kesitleri için sağ şerit ölçeklendirilmiş yığılımlı taşı sayısı eğrilerini ortaya koymaktadır. Burada tüm gözlem kesitlerinde akım, gözlem başlangıcından saat 16:08'e kadar 1513-1608 taş/sa aralığında değerler alırken, yalnızca akım aşağı 5. ve 6. kesitler 15:27-15:44 aralığında 1800 taş/sa akım değerini alarak farklılık göstermiştir.



Şekil 4.22 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığılımlı taşı sayısı eğrileri.

Şekil 4.23’de ise, gözlem kesitleri için bu gözlem gününe ait orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri verilmiştir. Saat 15:25’e kadar 1900 taş/sa olarak gerçekleşen akım, bu dakikadan itibaren tüm kesitlerde bir artış ortaya koymuş ve akım yukarı kesitlerde 16:35’e kadar 2018 taş/sa, akım aşağı kesitlerde 1962 taş/sa düzeylerinde gerçekleşmiştir. Akım yukarı kesitlere doğru yayıldığı anlaşılan etkinin, orta şerit akım değerlerini, bu dakikalardan itibaren 1411 taş/sa değerine çektiğini anlaşılmaktadır. Daha sonra 17:02’de 5. ve 6. kesitler, ardından 17:05’de 3. ve 4. kesitlerde yaşanan artış ile birlikte akım değerlerinin 1900-1933 taş/sa aralığında gerçekleştiği görülmektedir.

Böylece Şekil 4.23, bu gözlem gününde akım aşağı etkilerin ortaya çıkışı dışında, daha önceki gözlem günlerine benzer şekilde, orta şerit akımlarında ciddi bir değişim gözlemlenmediğini ve kesit akımlarının 1900-2018 taş/sa aralığında değer aldığını göstermektedir.

Sonuç olarak şerit akımları göstermektedir ki; tek kanal akımından iki kanal akımına geçiş Şekil 4.19’da saat 16:12 itibariyle ortaya çıkan akım düşüşü ile birlikte oluşmuştur. Ayrıca Şekil 4.19’da saat 15:25 itibari ile oluşmaya başlayan kesitler arasındaki birikimlere rağmen tek kanal akımının ortaya çıkmadığı, sağ şerit akımının 16:08’e kadar diğer şeritlere oranla düşük kaldığı ve saldırgan sürücülerin sol ve orta şeridin izin verdiği yüksek akım geçişi sayesinde motivasyon kaybına uğramadan bu şeritlerde yolculuklarını sürdürdükleri anlaşılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı 15:25-16:08 aralığında serbest akım koşulları ile zorlamalı akım koşulları arasında bir geçiş akımından bahsetmek anlamlı olacaktır. Şerit akımlarını yansıtan grafiklerden bu zaman aralığında iki kanal rejiminin aktif olduğu anlaşılmaktadır.

4.2.3.3 Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkinin İncelenmesi

Şekil 4.24 gözlem gününe ait radar verilerinden oluşturulan akım-işgal oranı ilişkisini yansıtmaktadır. Buna göre; diğer gözlem günlerinde serbest akımdan zorlamalı akıma geçiş, iki dakikalık veri aralığında yaşanacak kadar hızlı gerçekleşirken, bu gözlem gününde bu geçiş oldukça uzun bir zaman aralığında gerçekleşmiştir. Bu nedenle geçiş akımı rejimi, grafikte ayrıca belirtilmiştir. Bununla birlikte, akım aşağı etkilerin ortaya çıktığı zaman dilimi de geçiş akımında olduğu gibi ayrıca ele alınmıştır.

Sağ Şerit İncelenmesi

Şekil 4.24 incelendiğinde, sağ şerit için (kare biçimli işaretler) gözlem başlangıcından saat 15:23’e kadar işgal oranı değerleri %7-%10 aralığında en küçük gözlem değerlerini almıştır. Buna karşılık akım değerleri, 1080-1380 taş/sa aralığında kalmıştır. Her iki değişken için

koşullarında işgal oranı verileri %13-%34 aralığına yerleşirken, akım değerleri 1500-2160 taş/sa aralığında değer almıştır.

Ayrıca, Şekil 4.24'te 16:35-17:05 saatleri arasında akım aşağı etki açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu zaman aralığında işgal oranı %25-%41 aralığında, akım ise 1200-1800 taş/sa aralığında değerler almıştır. Daha önceki gözlem günlerine nazaran, işgal oranının oldukça yüksek, akım değerlerinin ise oldukça düşük olduğu bu zaman aralığı, davranış kuramında sağ şerit için tariflenen üçgen görünüşünün daha belirgin biçimde ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Sol Şerit İncelenmesi

Şekil 4.24'de sol şeride ait veriler incelendiğinde (daire biçimli işaretler), 15:23'e kadar işgal oranı değerlerinin %18-%25 aralığında en küçük değerleri aldığı görülmektedir. Buna karşılık akım değerleri 2010-2520 taş/sa arasında değişmektedir. Bu durum, sağ şeritte olduğu gibi sol şeritte de 15:25'e kadar serbest akım koşullarının geçerli olduğunu göstermektedir. Verilerin devamında, saat 15:23'de %25 işgal oranı ve 2250 taş/sa akımı gözlenirken, 15:25'de işgal oranı %27'ye, akım ise 2580 taş/sa değerine yükselmiştir. Bu dakikadan sonra, 16:07'ye kadar işgal oranı %21-%47, akım 1770-2790 taş/sa aralığında değerler almıştır. Değişkenlerin geniş bir aralıkta değerler aldığı ve serbest akım ve zorlamalı akım değerleri ile iç içe geçen verilerin bulunduğu bu zaman dilimi serbest akım koşullarından zorlamalı akım koşullarına geçiş rejiminin yaşandığını göstermektedir.

Saat 16:07'de geçiş rejimi verilerinin sonuncusu %22 işgal oranı ve 2430 taş/sa akımı ile ortaya çıkmıştır. Davranış kuramında hızlı ilerleyen kuyruk geçiş rejiminin tipik özelliği olarak verilmiştir. 16:09'da işgal oranı %46 düzeyine ulaşırken, akım 1740 seviyelerine gerilemiştir. Akımdaki düşüş ve yoğunluktaki bu artış bu dakikadan sonra, işgal oranını %25-%69, akımı ise 1380-2220 taş/sa aralığındaki değerlere itmiştir. Akım aşağı etkilerin gözlemlendiği 16:35-17:05 aralığında ise sol şerit işgal oranları %47-%73 aralığındaki yüksek değerleri alırken, akım 720-1710 taş/sa aralığına gerilemiştir.

Sonuç olarak, sağ şerit için serbest akım koşullarından, geçiş akımına ve sonrasında zorlamalı akım koşullarına geçildiği süreçte, akım ve işgal oranı değerlerinde genel olarak bir artış gözlemlenmiştir. Akım aşağı etkilerle birlikte işgal oranındaki artış devam ederken, akım değerinde bir düşüş ortaya çıkmıştır. Tüm akım koşulları ele alındığında, davranış kuramının sağ şerit için yaptığı üçgen biçimli akım-yoğunluk ilişkisi kabulü doğrulanmaktadır. Sol şerit akımları ele alınacak olursa; serbest akım ve geçiş akım koşullarının etkin olduğu zaman diliminde, genel olarak en yüksek akım ve en düşük işgal oranı değerlerinin elde edildiği

görülmektedir. Buna karşılık, zorlamalı akıma geçişle birlikte, genel olarak akım değerlerinin düştüğü işgal oranı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Akım aşağı etkilerin ortaya çıkışı ile birlikte, akım değerlerindeki düşüşün ve işgal oranı değerlerindeki artışın devam ettiği görülmektedir. Bu değişimlerle birlikte, davranış kuramının kabulüne uygun olarak, Şekil 4.24'de sağ şerit için üçgen, sol şerit için ters lambda biçiminin ortaya çıktığını görülmektedir.

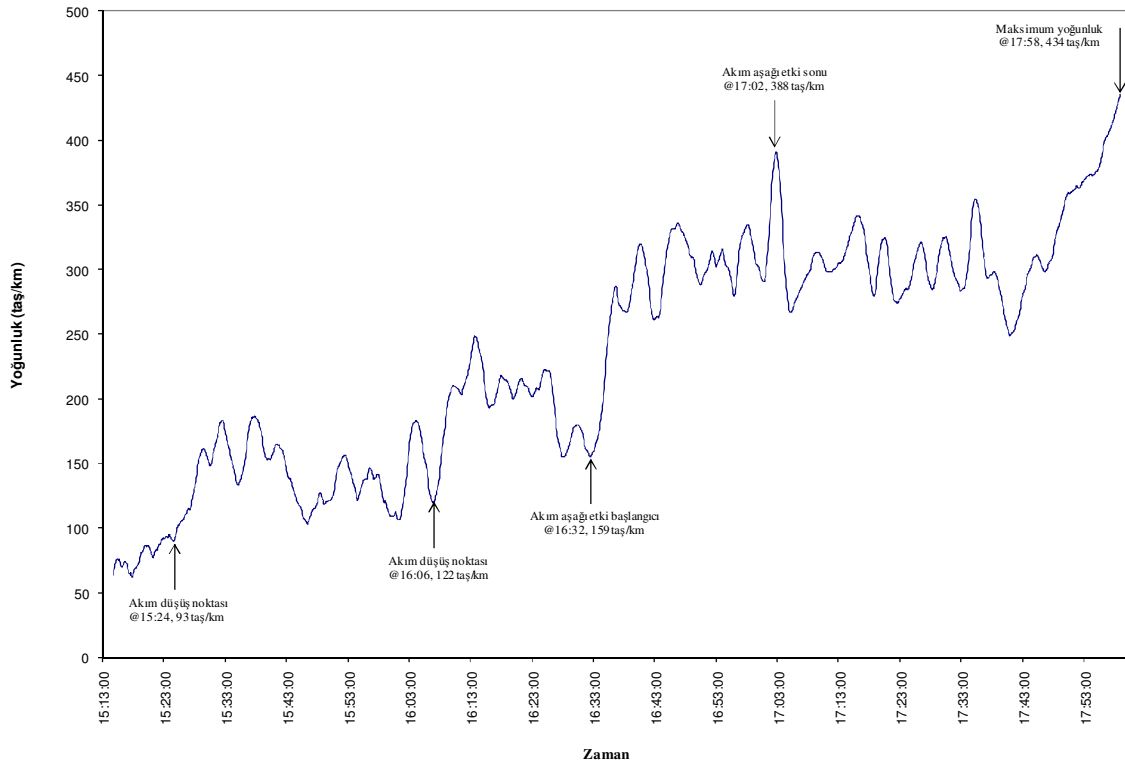
Ayrıca bu gözlem günü için, Şekil 4.24'de daha önceki gözlem günlerinde olduğu gibi, her iki şerit için hızları yansıtmak üzere orijinden serbest akım verilerinin sonuncularına doğru parçaları çizilmiştir. Diğer gözlem günlerine benzer şekilde, sağ şerit hızlarının sol şerit hızlarından daha büyük değerler aldığı kolaylıkla görülebilmektedir.

4.2.3.4 Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi

Şekil 4.25 4. ve 5. kesitler arasındaki yoğunluğun zamanla değişimini göstermektedir. Saat 15:24'e kadar bu kesitler arasındaki yoğunluk değerleri, 60 taş/km ile 95 taş/km arasında değişirken, bu dakikadan itibaren oluşan yoğunluk artışı yoğunluk değerlerinin 150 taş/km seviyelerinin üzerine çıkmasına neden olmuştur. Bu değişimin başlangıcında yoğunluk değeri 93 taş/km değerini almıştır. Değişim sonrasında ise, geçiş akımı koşulları etkisiyle yoğunluk verilerinde istikrarsız bir hareket görülmüştür.

Akım yukarı talebin az olması ve 4.-5. kesitler arasındaki birikimlerin eritilmesi sayesinde, 100 taş/km mertebelerine geri dönen yoğunluk zaman zaman 180 taş/km değerlerine kadar da çıkmıştır. Sağ şerit akımlarındaki artışın hemen öncesinde, saat 16:06'da ise 122 taş/km değerinde olan yoğunluk ani bir sıçrama ile 200 taş/km değerlerinin üzerine çıkmıştır. Daha sonra yoğunlukta bir miktar düşüş gözlemlense de, saat 16:32'de akım aşağı etkinin başlaması ile birlikte yoğunluk 159 taş/km'den, 300 taş/km seviyelerine ulaşılmıştır. Akım aşağı etkinin ortadan kalktığı zaman olan saat 17:02'de, yoğunluk 388 taş/km değerini almıştır. Gözlem sonunda ise yoğunluk verileri 17:58'de 434 taş/km maksimum değerine ulaşmıştır.

Bu değişimler aynı zamanda, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'daki değişimlerle örtüşmektedir. Akım aşağı etkinin oluşumu ve ortadan kalkması ile 16:06'da yaşanan yoğunluk artışının şerit akımları ile ilişkisi daha önce anlatılmıştır. 15:24'de yaşanan yoğunluk artışı ise, Şekil 4.19'da, saat 15:25'de 5. kesitte yaşanan ve 4. kesit ile 5. kesitin birbirinden ayrılmasına neden olan akım düşüşünün hemen öncesinde gerçekleşmiştir. Şekil 4.19'da, 15:17'den itibaren 5. kesitte oluşan 5858 taş/sa akımı saat 15:25 itibariyle kırılmış ve bu dakikadan sonra gözlenen akım değeri 5425 taş/sa düzeyine gerilemiştir. Bu değişim, akımda %7 oranında bir düşüşe karşılık gelmektedir.



Şekil 4.25 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama).

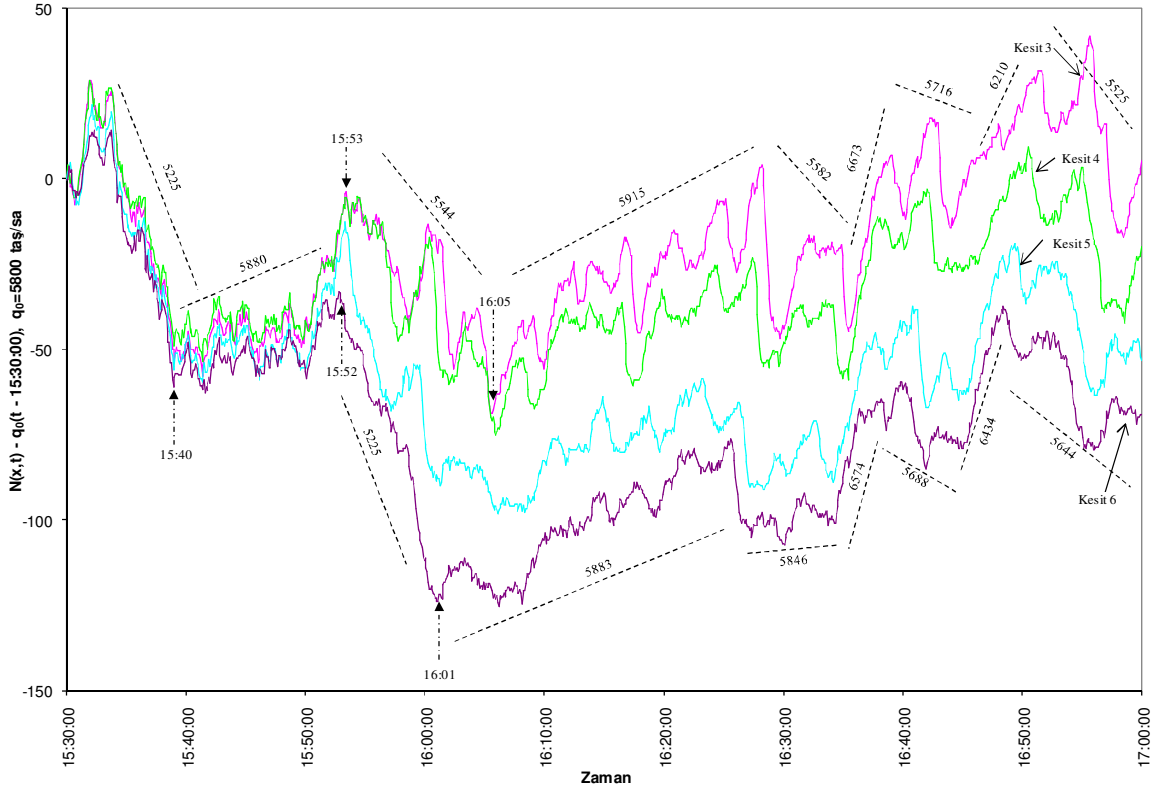
4.2.4 Beşiktaş Katılımı 16.04.2007 Günü Verileri

4.2.4.1 Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları

Şekil 4.26 gözlem kesitlerinin bu gözlem gününe ait ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Buna göre, gözlem başlangıcından 15:40'a kadar 5225 taş/sa gibi düşük bir akım değeri okunmaktadır. 15:40'da yaşanan akım artışı ile birlikte akım değerleri 5880 taş/sa değerine yükselmiştir. Akımın, bu değerini 6. kesit için ancak 15:52'ye kadar koruyabildiği ve bu dakikadan sonra 5225 taş/sa düzeyine gerilediği görülmektedir. Diğer kesitlerde de benzer şekilde yaşanan akım kırılması 15:53'de ortaya çıkmaktadır. Bu kırılma 3. ve 4. kesitlerde 5544 taş/sa değerlerinin oluşmasına neden olurken, 5. kesit eğrisi, 6. kesit eğrisine paralel bir eğilimle, 5225 taş/sa akımının oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Akımda bu değişimler yaşanırken, saat 15:52'ye kadar kesit eğrilerinin çakışık olduğunu, bu dakikadan itibaren ise ayrılımların başladığı görülmektedir. Bu görünüm, gözlem kesitlerinde saat 15:52'ye kadar serbest akım koşullarının hakim olduğunu, bu dakikadan itibaren 6. kesit akımında yaşanan kırılma ile bu kesitte zorlamalı akım koşullarının oluşmaya başladığını

göstermektedir.



Şekil 4.26 Ölçeklendirilmiş yığımlı taşıtların sayıları eğrileri.

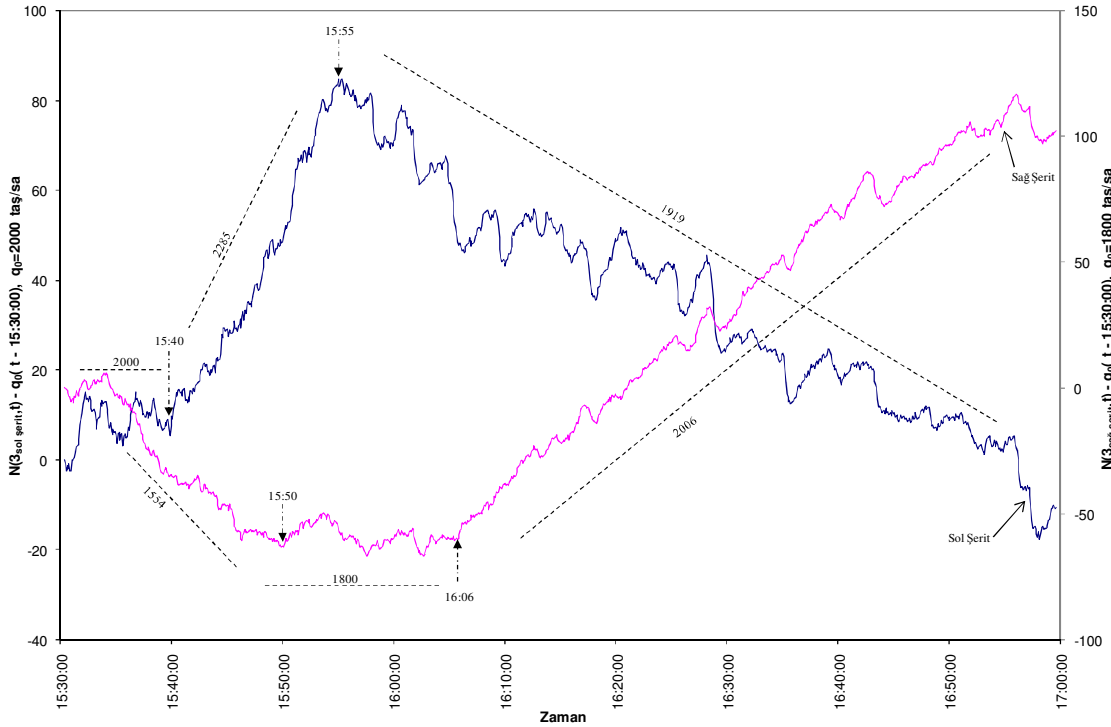
Akımda yaşanan bu kırılma, 15:53'de etkisini akım yukarı diğer gözlem kesitlerinde göstermiş ve özellikle 4. kesit ile 5. kesitin birbirinden ayrılmasına neden olmuştur. Taşıtların birikimlerinin bir göstergesi olan bu ayrılma, 3. kesit ile 4. kesit arasında da zaman zaman etkili olmasına rağmen, 16:05'e kadar tam bir ayrılmaya neden olamamıştır. Bu gözlem, akım yukarı talebin birikimlere neden olacak kadar yüksek düzeyde olmadığını göstermektedir. Saat 16:05 itibariyle 3. ve 4. kesit akımlarının 5915 taşıtlar/sa düzeylerine ulaşmasına neden olan akım (talep) artışı ile birlikte, bu iki kesit arasında da ayrılmaların yani taşıtların birikimlerinin gözlemlenmeye başladığı görülmektedir. 3. kesit ile 4. kesit arasında artan bu birikimlere rağmen, 6. kesitte 16:01'de başlayan akım artışı 5. kesit ile 6. kesit arasındaki birikimlerin azalmasına neden olduğu görülmektedir. 6. kesit ile 5. kesit arasındaki birikimler azalırken, 4-5 kesitleri arasındaki birikimlerin artması, kurp kesiminin bir darboğaz etkisi ortaya koyduğunu ve bu birikimlerin akım yukarı tesir ettiğini göstermektedir. Şerit akımlarının

incelenmesi sırasında bu durum daha açık biçimde ortaya konacaktır.

4.2.4.2 Şerit Akımlarının İncelenmesi

Şekil 4.27, 3. kesit sağ ve sol şeritleri için, ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrisini göstermektedir. Buna göre, gözlem başlangıcından 15:50'ye kadar, sağ şeritte 1554 taş/sa akımı görülürken sol şerit 2000 taş/sa ve 2285 taş/sa akım değerlerini almaktadır. Serbest akım koşullarının geçerli olduğu bu zaman diliminde, sol şerit akımının sağ şerit akımından oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Şerit akımlarında görülen bu farklılık davranış kuramına uygun bir görünüm ortaya koymaktadır.

Şekil 4.27'de sağ şerit akımında iki kez artış yaşandığı, bu sayede akımın 15:50'de 1800 taş/sa ve 16:06'da 2006 taş/sa değerlerine ulaştığı görülmektedir. Buna karşın sol şerit akımı saat 15:55'de kırılarak gözlem sonuna kadar 1919 taş/sa değerini almıştır. Şekil 4.26'da, 3. kesit ile 4. kesit arasında taşıt birikimlerinin zaman zaman gözlemlendiği 15:53-16:05 aralığında, sağ şerit akımındaki artış, sol şerit akımındaki düşüşle örtüşmektedir.



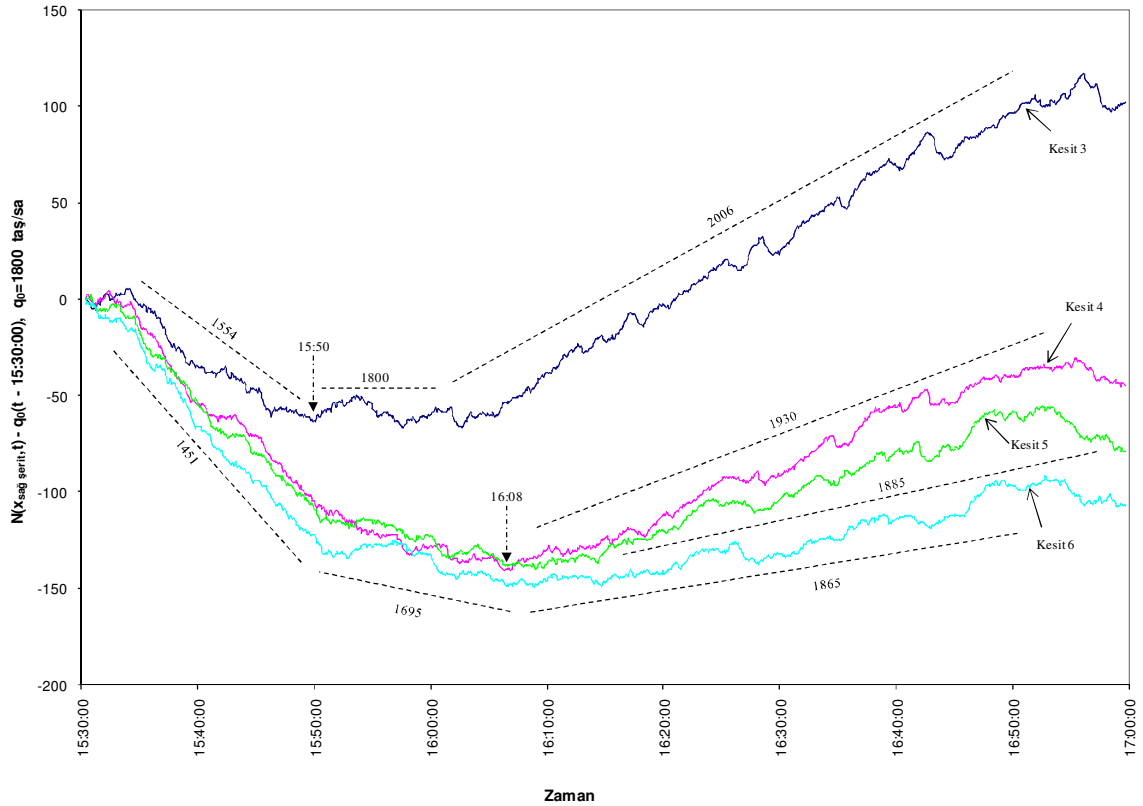
Şekil 4.27 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.

Bununla birlikte, bu aralıkta sol şerit akımı sağ şerit akımına oranla yüksek değerler alamaya

önce açıklandığı gibi, 3. kesit akımında da bu saat itibariyle benzer bir değişim yaşanmış ve 2285 taş/sa akım değeri 1919 taş/sa değerine düşmüştür.

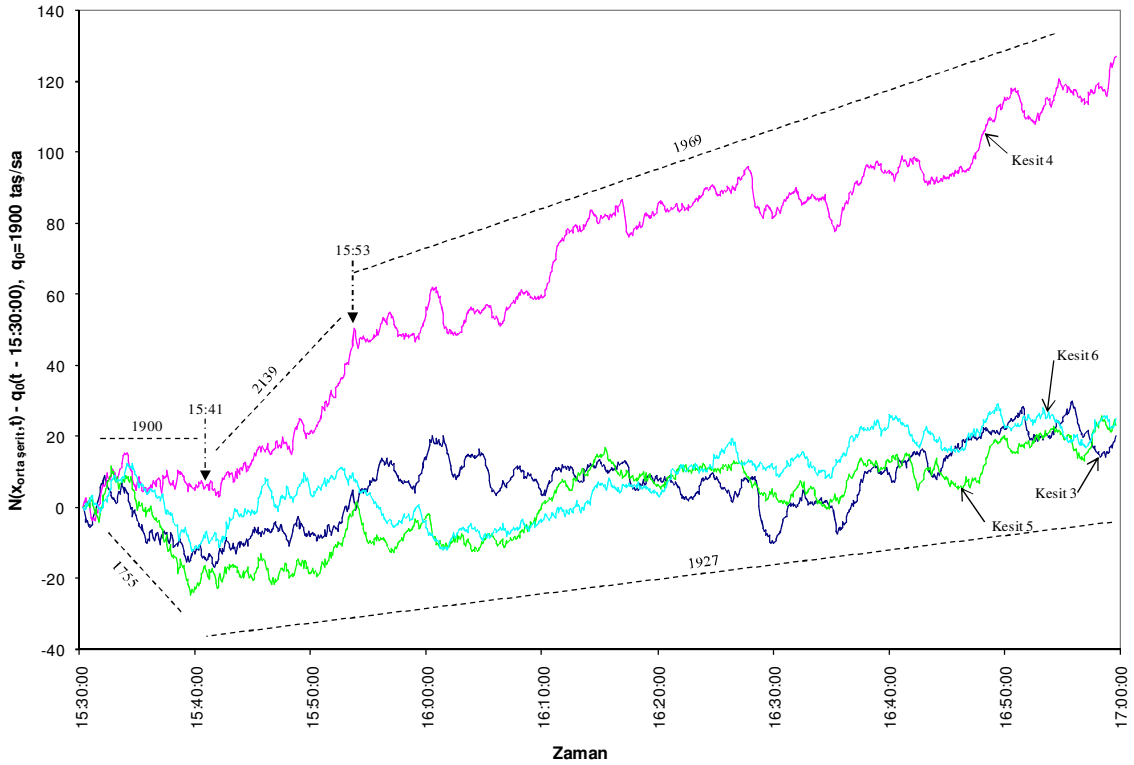
Şekil 4.26'da, saat 16:01 itibariyle 6 kesitte yaşanan akım artışının, sol şerit akımları için, akım yukarı kesitlere doğru azalarak etkisini hissettirdiği görülmektedir. Bu artış neticesinde gözlem sonuna kadar 5. ve 6. kesitler 2048 taş/sa akım değerini elde ederken 4. kesit 1990 taş/sa seviyesinde kalmıştır.

Şekil 4.29, gözlem kesitleri için sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrilerinden oluşmaktadır. Sol şerit eğrilerine paralel olarak, sağ şerit eğrilerinde 4, 5 ve 6 no'lu kesit eğrilerinin birbirine benzer bir görünüm ortaya koydukları görülmektedir. Bu kesitlerde saat 15:50'ye kadar 1451 taş/sa akım değeri okunurken, 15:50-16:08 aralığında 1695 taş/sa akım değeri görülmüştür. 16:08 sonrasında 4. kesitte 1930 taş/sa, 5. kesitte 1885 taş/sa ve 6. kesitte 1865 taş/sa akım değerleri ortaya çıkmıştır. Gözlem süresi boyunca, daha önce detaylı olarak incelenen 3. kesit akımının ise diğer şeritlere göre, sol şerit akımlarında daha küçük (Şekil 4.28), sağ şerit akımlarında daha büyük (Şekil 4.29) değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4.29 Sağ şerit ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.30, gözlem kesitlerinin orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrilerini göstermektedir. Buna göre 3, 5 ve 6 no'lu kesitlerde 15:41'de yaşanan akım artışı dışında dikkat çekici bir değişim gözlemlenmemiştir. Bu kesitlerde 15:41'e kadar 1755 taş/sa olarak gerçekleşen akım, bu dakikada artmaya başladıktan sonra, gözlem sonuna kadar 1927 taş/sa değerini almıştır. 4. kesit akımı ise, 15:41'deki akım artışına kadar 1900 taş/sa, 15:41-15:53 aralığında ise 2139 taş/sa değerini almıştır. Bu kesitte, 15:53'de bir kez daha akımda kırılma yaşanmış ve akım 1969 taş/sa değeri ile gözlem sona ermiştir.



Şekil 4.30 Orta şerit ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrileri.

Şerit akımları için sunulan bu bilgiler ışığında, gözlem kesitlerinde saat 15:55'e kadar sol şerit için görülen yüksek akım değerleri, sağ şerit akımlarında oluşan düşük değerlerle birlikte ele alınırsa, serbest akım koşullarının bu ana kadar sürdüğü ortaya çıkmaktadır. 15:55-16:01 aralığında ise her iki şerit akımlarının, 3. kesit dışındaki tüm kesitlerde oldukça yakın değerler aldığı görülmektedir. Böylece bu kesitlerin belirtilen zaman diliminde iki kanal rejiminden tek kanal rejimine geçildiği anlaşılmaktadır. 3. kesitte ise daha önce de belirtildiği gibi, akım yukarı talebin attığı 16:05 sonrasında artan sağ şerit akımı ile birlikte tek kanal rejimine geçiş oluşmuştur. Saat 16:01'de, Şekil 4.26'da 6. kesitte açıkça görülmeye başlanan akım artışı ile

birlikte, akım aşağı 5. ve 6. kesit sol şerit akım değerlerinde ciddi bir artış görülmektedir. Bu dakikadan itibaren bu kesitlerde, sol şerit akım değerleri sağ şerit akım değerlerinden oldukça yüksek değerler almışlardır. 3. ve 4. kesitlerde ise sağ ve sol şerit akım değerlerinin birbirlerine oldukça yakın değerler aldığı görülmektedir.

Bu tespitler neticesinde, 4. kesite kadar tek kanal rejiminde ulaşan ve sağ şeridi kullanan saldırgan sürücülerin, bu kesiti geçtikten sonra hızlarını maksimize edebilmek için sol şeride geçiş yaptıkları anlaşılmaktadır. Böylece saat 16:01 sonrasında 4. kesit ile 5. kesit arasında kalan kurp kesiminin bir darboğaz etkisi yarattığı ortaya çıkmaktadır. 15:55 sonrasında motivasyon kaybına uğramaya başlayan saldırgan sürücülerin, saat 16:01 sonrasında 4. kesiti geçtikten sonra yeniden motive olduklarını belirtmek olanaklıdır.

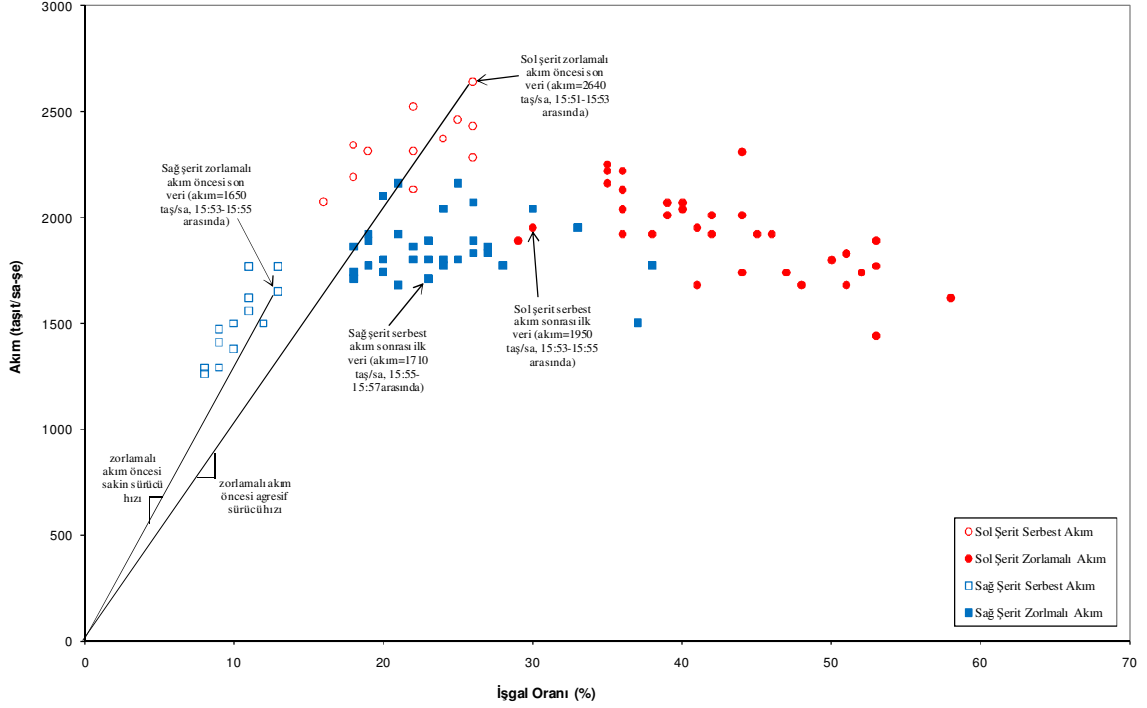
4.2.4.3 Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi

Şekil 4.31 gözlem gününe ait radar verilerinden oluşturulan akım-yoğunluk değişkenlerinin dağılımını ortaya koymaktadır. Buna göre, gözlem başlangıcından saat 15:55'e kadar olan süreçte, sağ şerit için okunan veriler orijine en yakın noktalar grubunu oluşturmaktadır. Şekil 4.26'da serbest akım koşullarının hakim olduğu zamana ait bu noktalar grubu, davranış kuramı kabullerine uygun olarak, sağ şeritte serbest akım koşullarını temsil etmektedir.

Sağ şerit serbest akım verilerinin değişim aralığı, işgal oranı için %8-%13 ve akım için 1260-1770 taş/sa olarak tespit edilmiştir. 15:55'de %13 işgal oranı ve 1650 taş/sa akım değeri okunduktan sonra, saat 15:57 itibariyle işgal oranı %23'e çıkarken akım da 1710 taş/sa'e ulaşmıştır. Bu artış sonrasında işgal oranı verileri %18-%39 ve akım verileri 1500-2160 taş/sa aralığına yerleşmiştir. Şekil 4.31'den de kolaylıkla görülebileceği gibi, serbest akım koşullarına göre genel olarak daha yüksek akım ve işgal oranlarının gözlemlendiği bu ikinci grup verilerin zorlamalı akım koşullarına ait olduğu görülmektedir.

Sol şerit verileri ele alındığında benzer bir geçişin saat 15:53'te yaşandığını söylemek mümkündür. Bu dakikaya kadar, %16-%26 aralığında işgal oranı ve 2070-2640 taş/sa aralığında akım değerleri alan sol şeritte, 15:53 itibariyle %26 işgal oranı ve 2640 taş/sa akım değeri görülmüştür. 15:55'de ise işgal oranı %30 seviyelerine ulaşırken, akım değeri 1950 taş/sa değerine gerileyerek zorlamalı akım koşullarına geçildiğini göstermektedir. Bu dakikadan gözlem sonuna kadar verilerin dağılımı, işgal oranı için %29-%58, akım için 1440-2310 taş/sa aralığında olmuştur. Böylece, zorlamalı akıma geçişle birlikte, sağ şeride benzer biçimde sol şeritte de işgal oranında bir artış gözlenmiştir. Buna karşın, sağ şerit akımında yaşanan artış, sol şeritte ortaya çıkmamıştır, ancak şeritlerdeki akım değerleri neredeyse aynı seviyelerdedir. Bu farklılık verilerin önceki gözlem günü verileri ile benzerlik içinde

olduğunu göstermektedir.



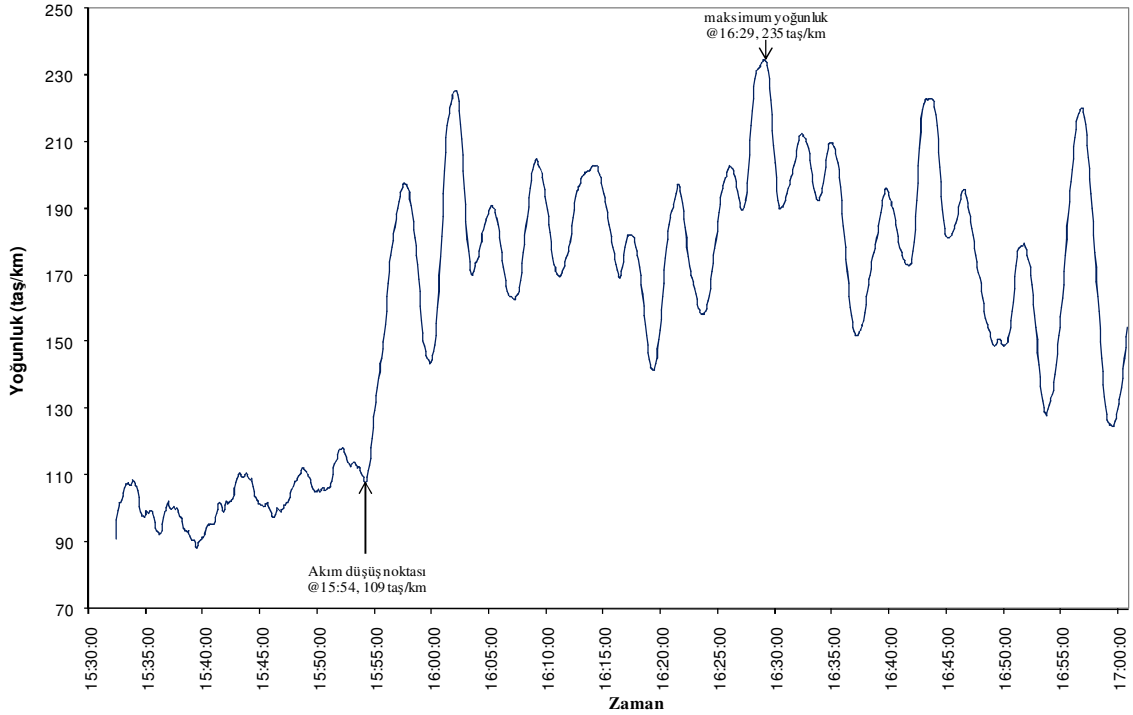
Şekil 4.31 Akım-İşgal oranı ikilileri.

Bununla birlikte, akım-işgal oranı ikililerinin, davranış kuramının kabul ettiği, sağ şerit için üçgen, sol şerit için ters lambda dağılımına uygun bir görünüş ortaya çıkardığı görülmektedir. Buna rağmen, diğer gözlem günlerinde olduğu gibi, bu gözlem günü için de, serbest akım koşullarında saldırgan sürücü hızlarını temsil eden sol şerit hızlarının, sakin sürücü hızlarını temsil eden sağ şerit hızlarından daha küçük değer aldığı Şekil 4.31 yardımıyla görülmektedir. Bu durum, davranış kuramı kabullerine aykırı bir duruş ortaya koymaktadır.

4.2.4.4 Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi

Şekil 4.32 4. ve 5. kesitler arasındaki yoğunluğun zamanla değişimini göstermektedir. Yoğunluk daha önce de açıklandığı gibi, iki dakikalık hareketli ortalamalar oluşturularak grafiğe dökülmüştür. Saat 15:54'e kadar bu kesitler arasındaki yoğunluk değerleri, 90 taş/km ile 120 taş/km arasında değişirken, bu dakikadan itibaren oluşan ani yoğunluk artışı ile birlikte yoğunluk değerlerini 190 taş/km seviyelerinin üzerine çıkmıştır. Yoğunlukta yaşanan artışın başlangıcında ise yoğunluk değeri 109 taş/km değerini almıştır. Artış sonrasında ise yoğunluk değerleri 16:29'da 235 taş/km maksimum değerine ulaşmıştır. Gözlem sonuna

kadar ise, serbest akım koşullarındaki yoğunluk değerleri yeniden elde edilememiştir.



Şekil 4.32 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama).

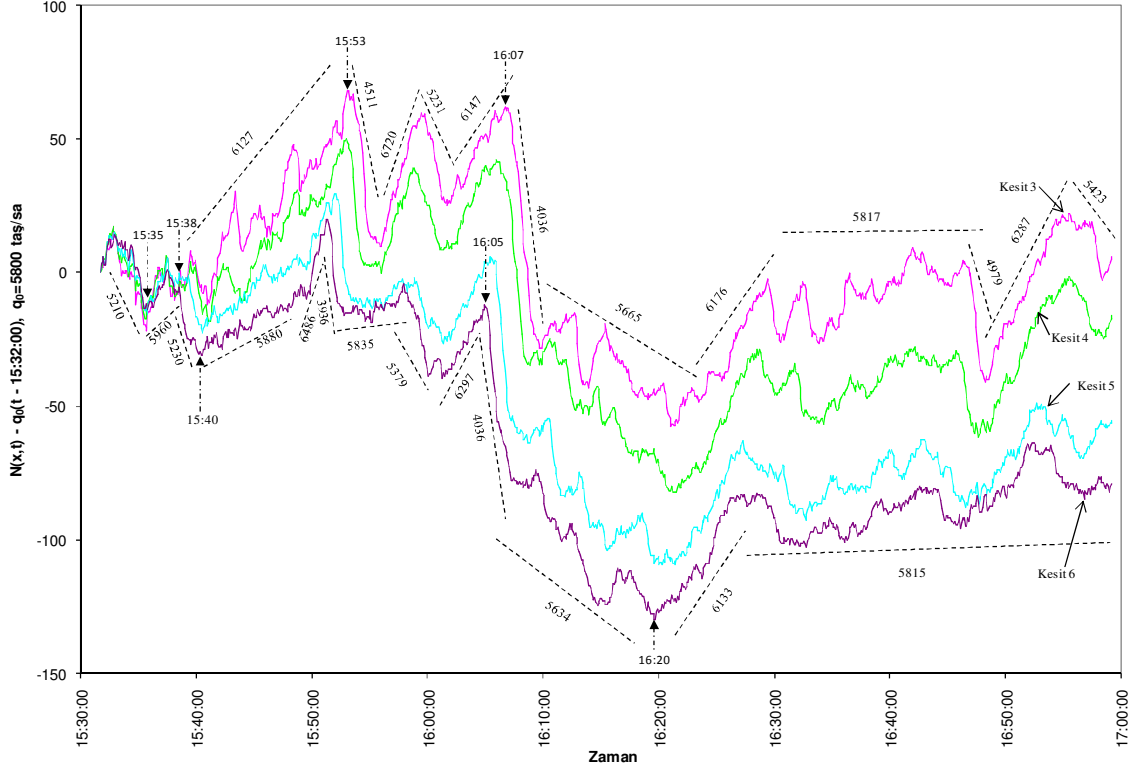
Saat 15:54'deki ani yoğunluk artışı aynı zamanda, Şekil 4.26'da 5. kesitte yaşanan ve 4. kesit ile 5. kesitin birbirinden ayrılmasına neden olan akım düşüşü ile zamansal olarak çakışmaktadır. Şekil 4.26'da 15:40'dan itibaren 5. kesitte oluşan 5880 taş/sa akımı saat 15:53 itibariyle kırılmış ve bu dakikadan sonra gözlenen akım değeri 5225 taş/sa düzeyine gerilemiştir. Bu değişim, akımda %11 oranında bir düşüşe karşılık gelmektedir.

4.2.5 Beşiktaş Katılımı 19.04.2007 Günü Verileri

4.2.5.1 Yatay Kurbun Akım Aşağı ve Akım Yukarısındaki Trafik Akımları

Şekil 4.33 gözlem kesitleri için ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Bu eğrilerin gözlem başlangıcında çakışık oldukları görülmekte ve bu sayede serbest akım koşullarının geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Saat 15:35'e kadar 5210 taş/sa olarak gerçekleşen taşıt akımları, 15:35-15:38 aralığında yaşanan talep artışı ile 5960 taş/sa değerine ulaşmıştır. Bu artış sonucu, saat 15:38'de 6. kesitten itibaren eğrilerin birbirinden ayrılmaya başladığı görülmektedir. Bu ayrılmalarla birlikte serbest akım koşullarının da sona

ermeye başladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.33 Ölçeklendirilmiş yığılımlı taşı sayısı eğrileri.

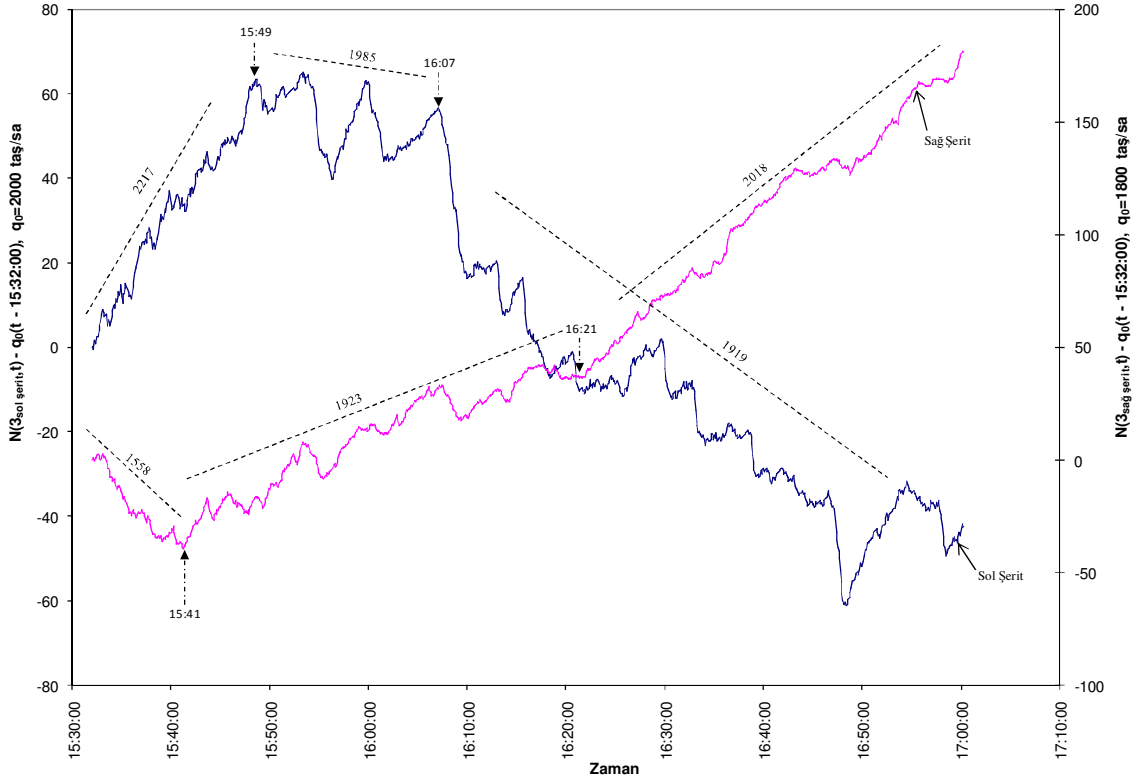
Akım koşullarında değişimin başlaması ile birlikte akım değerinin 5230 taş/sa değerine düştüğü görülmektedir. 15:40'dan itibaren akımda yaşanan toparlanma, akım yukarı kesitlerde kendini daha fazla hissettirmekte ve akım yukarı talebin arttığını göstermektedir. 15:40-16:05 aralığında kesit akımlarında görülen sert iniş ve çıkışlarla birlikte, kesitler arasındaki taşı birikimlerinin de zaman zaman artıp azaldığı görülmektedir.

Saat 16:05 itibariyle 6. kesit akımında görülen düşüşle birlikte akım 4036 taş/sa seviyelerine gerilemiştir. Akımda yaşanan bu düşüş, 16:07'de akım yukarı 3. kesite kadar ulaşmıştır ve kesit eğrilerini birbirinden tamamen ayırmıştır. Böylece tüm kesitler için tek kanal rejiminin aktif hale geçtiği görülmektedir. 16:20'ye kadar düşüş hız kaybetmesine rağmen devam etmişse de, bu dakikadan itibaren 6. kesitte yaşanan akım artışı akım yukarı kesitlerde etkisini hissettirmiştir. Saat 16:20 sonrasında yaşanan bu akım artışında, 5. ve 6. kesit eğrilerinin birbirine yaklaşmasına rağmen, diğer kesit eğrileri arasındaki ayrılmaların arttığı

görülmektedir. Bu farklılık, kurp sonu 5. kesite kadar tek kanal rejiminde gelen trafik akımının, bu kesitten itibaren iki kanal rejimine geçtiğini ve gözlem günü için, kurp kesiminin saat 16:20 sonrasında darboğaz etkisi yarattığı sonucunu işaret etmektedir.

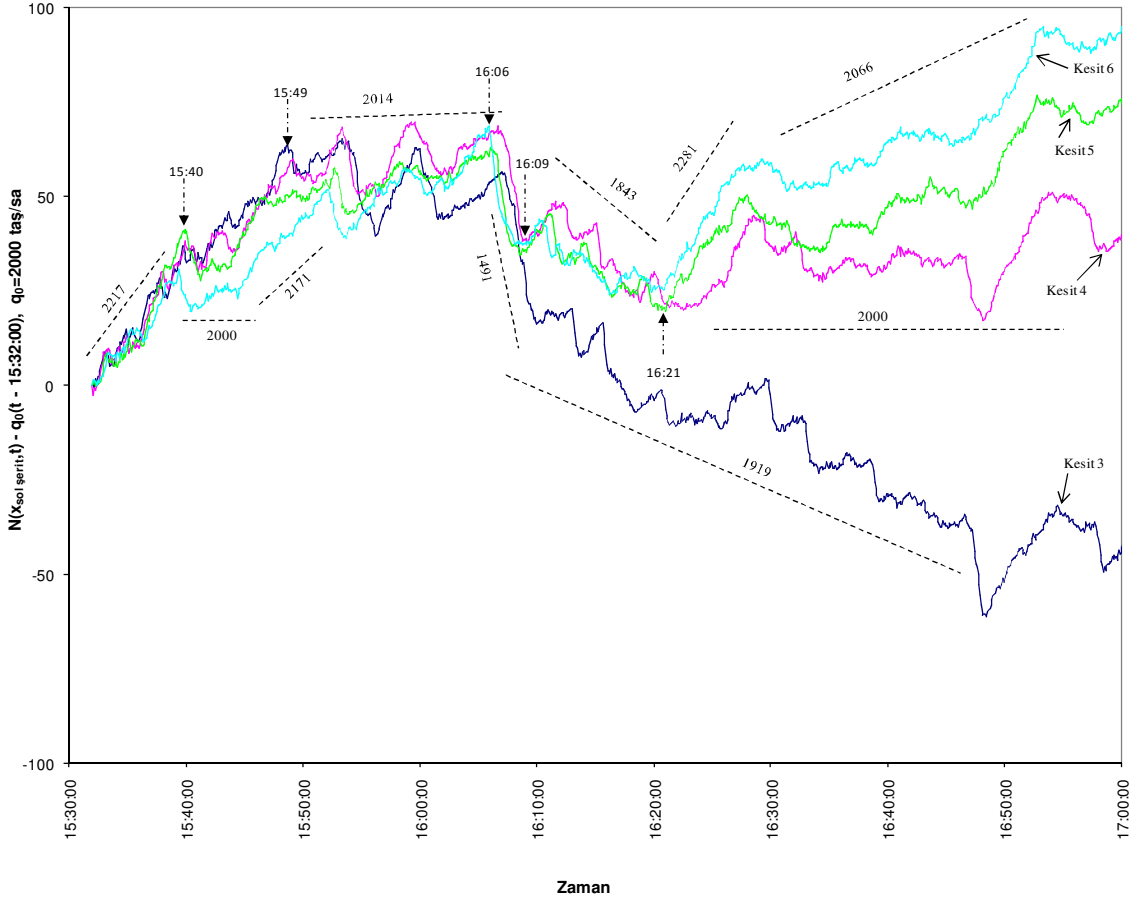
4.2.5.2 Şerit Akımlarının İncelenmesi

Şekil 4.34, gözlem günü için, 3. kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrisini ortaya koymaktadır. Burada sağ ve sol şerit akımında iki kırılma görülmektedir. Sağ şeritte gözlem başlangıcından saat 15:41'e kadar 1558 taş/sa akımı oluşurken, bu dakikada yaşanan artış ile birlikte akım, 1923 taş/sa değerini almıştır. Buna karşılık sol şerit akımı 15:49'a kadar 2317 taş/sa değerini alırken, bu dakikada yaşanan kırılma akımı 1985 taş/sa değerine düşürmüştür. Buna göre, 15:49'a kadar sol şerit akımının sağ şerit akımından oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Böylece, 3. Kesit için bu ana kadar iki kanal rejiminin geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Bu dakikadan sonra oldukça yakın değerler alan şerit akımları tek kanal rejimine geçildiğini göstermektedir.



Şekil 4.34 3. Kesit sağ ve sol şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşıt sayısı eğrileri.

Şekil 4.33’de 3. kesit için 16:07’de görülen kırılmanın, Şekil 4.34’de görüldüğü gibi sol şerit akımında hissedildiği ve akım değerinin 1919 taş/sa’e düşmesine neden olduğu, sağ şerit akımında ise eğilimi değiştirecek herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.35 Sol şerit ölçeklendirilmiş yığışlı taşı sayısı eğrileri.

Buna karşın, Şekil 4.33’de, akım aşağı 6. kesitte 16:20 itibariyle yaşanan akım artışının etkisi, sağ şeritte akım artışı olarak görülmesine rağmen, sol şeritte eğilimi değiştiren herhangi bir değişim görülmemiştir. Bu dakikadan sonra, gözlem sonuna kadar sağ şeritte 2018 taş/sa, sol şeritte ise 1919 taş/sa akımları görülmüştür.

Şekil 4.35 sol şerit, Şekil 4.36 sağ şerit ve Şekil 4.37 orta şerit için, tüm gözlem kesitlerine ait ölçeklendirilmiş yığışlı taşı sayısı eğrilerini yansıtmaktadır. Sol şerit eğrileri ele alındığında, akım aşağı 5. ve 6. kesitlerin birbirine yakın değerler aldığı ve benzer bir eğilim içinde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, akım yukarı 3. ve 4. kesitlerin 16:09’a kadar

akım düşüşü ile birlikte, her iki şerit akım değerleri birbirine yakın değerler almaya başlamışsa da, bu durum 16:21 sonrasında sol şerit akımlarında görülen artışla birlikte ortadan kalkmıştır. Böylece akım aşağı kesitlerde saat 16:06-16:21 aralığında tek kanal rejiminin olduğu, fakat bu rejimin 16:21 sonrasında ortadan kalktığı görülmektedir. Buradan çıkan sonuç ise 16:21 sonrasında kurp kesimi olan 4. kesit ile 5. kesit arasındaki darboğazın aktif hale geçtiğidir.

Ayrıca, 16:06-16:21 saatleri arasında saldırgan sürücülerin tüm kesitlerde motivasyon kaybına uğradıklarını, bu dakikadan sonra 4. kesiti geçen saldırgan sürücülerin yeniden motive olarak hızlarını arttırmak için sol şeride geri dönüş yaptıkları anlaşılmaktadır.

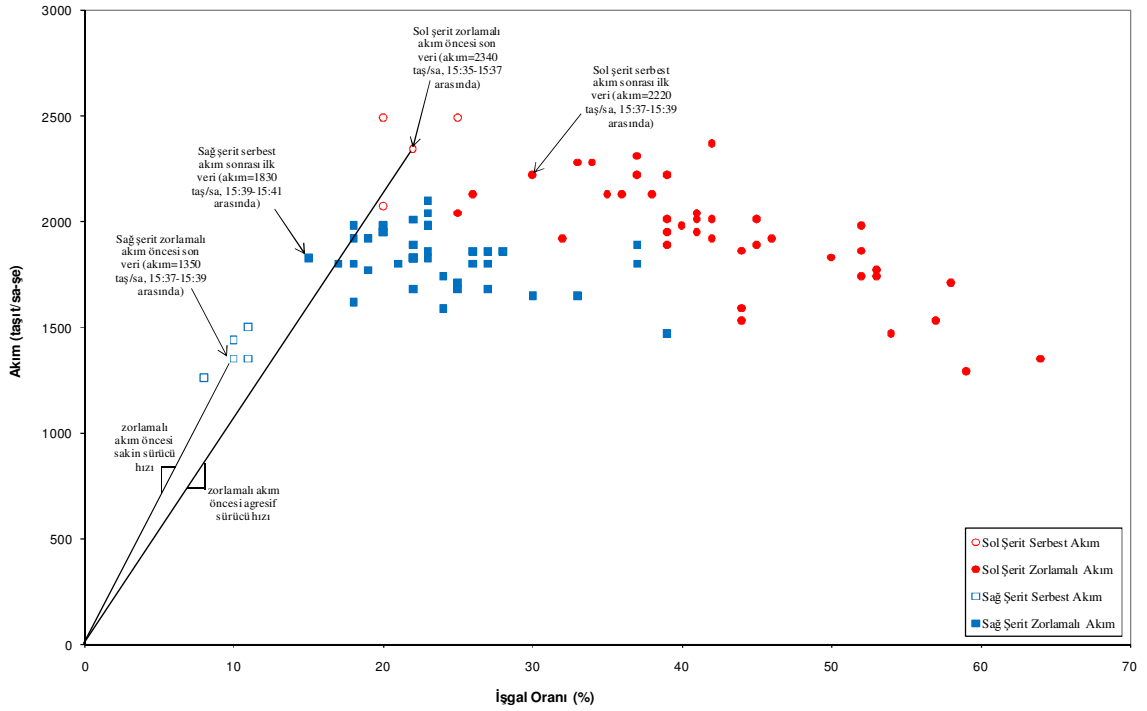
4.2.5.3 Yatay Kurpta Akım-Yoğunluk İlişkisinin İncelenmesi

Şekil 4.38, daha önce yerleşimi ve veri sıklığı belirtilmiş olan radardan elde edilen akım ve yoğunluk değişkenlerinin dağılımını göstermektedir. Bu dağılımda, her iki şerit verilerinin iki grupta toplandığı görülmektedir. Buna göre, sağ şerit için gözlem başlangıcından 15:39'a kadar elde edilen akım değerlerinin 1260-1500 taş/sa aralığında, işgal oranı değerlerinin ise %8-%11 aralığında toplandığı görülmektedir. 15:39'da 1350 taş/sa akımı ve %10 işgal oranı tespit edildikten sonra, 15:41'de her iki değişkendeki artışla birlikte akım 1830 taş/sa, işgal oranı %15'e çıkmıştır. Bu artışla birlikte akım, 1470-2100 taş/sa, işgal oranı ise %15-%39 aralığında değerler almıştır. Sol şeritte ise, gözlem başlangıcından 15:37'e kadar elde edilen akım değerlerinin 2070-2490 taş/sa aralığında, yoğunluk değerlerinin ise %20-%25 aralığında toplandığı görülmektedir. 15:37'de 2340 taş/sa akım değeri ve %22 işgal oranı tespit edildikten sonra, 15:39'da akım 2220 taş/sa değerine düşerken, işgal oranı %30'a çıkmıştır. Bu değişimlerle birlikte akım, 1290-2370 taş/sa, işgal oranı ise %25-%64 aralığında değerler almıştır. Buna göre, 15:37-15:39 zaman aralığında radarın bulunduğu yol kesiminde serbest akımdan zorlamalı akıma geçildiği anlaşılmaktadır.

Daha önceki gözlem günlerine benzer bir dağılım gösteren akım-işgal oranı ikilileri, sağ şerit serbest akımında en küçük değerleri alırken, zorlamalı akıma geçişle birlikte hem akım hem de işgal oranında bir artış göstermiştir. Görünüm olarak ise, davranış kuramının ortaya koymuş olduğu üçgen dağılımına benzer bir dağılım göstermiştir. Sol şeritte ise, serbest akımdan zorlamalı akıma geçişle birlikte işgal oranı değerleri artarken, akım değerlerinde düşüş ortaya çıkmaktadır. Bu şeritte de, yine davranış kuramına uygun olarak ters lambda görünümünü ortaya koyan bir dağılım dikkat çekmektedir.

Aynı zamanda, önceki gözlem günlerinde olduğu gibi, bu gözlem gününde de, serbest akım hızını gösteren doğrulardan, sağ şerit hızının sol şerit hızından daha yüksek değerler aldığı

görülmektedir.

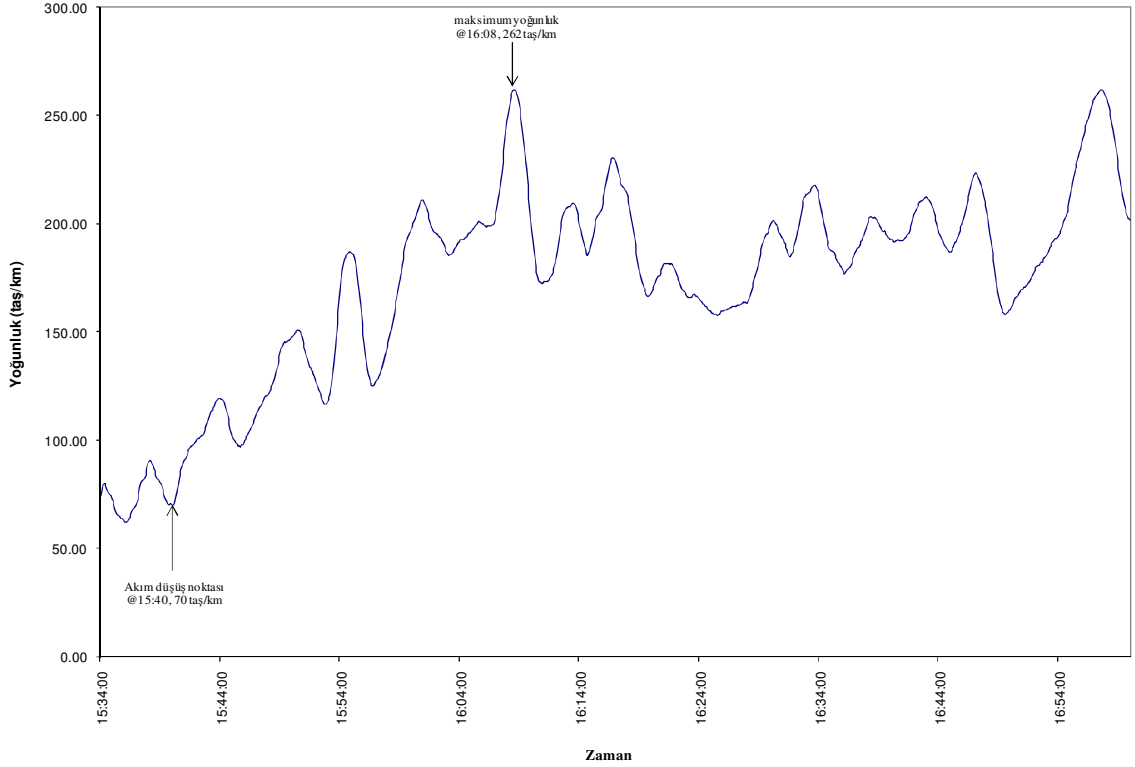


Şekil 4.38 Akım-İşgal oranı ikilileri.

4.2.5.4 Darboğaz Oluşumu ile Akım ve Yoğunluk İlişkisi

Şekil 4.39 4. ve 5. kesitler arasındaki yoğunluğun zamanla değişimini göstermektedir. Yoğunluk daha önce de açıklandığı gibi, iki dakikalık hareketli ortalamalar oluşturularak grafiğe dökülmüştür. Saat 15:40'a kadar bu kesitler arasındaki yoğunluk değerleri, 60 taş/km ile 90 taş/km arasında değişirken, bu dakikadan itibaren oluşan yoğunluk artışı ile birlikte, yoğunluk değeri gittikçe artarak 16:08'de 262 taş/km maksimum değerine ulaşmıştır. Yoğunluk atışının başlangıcında ise yoğunluk değeri 70 taş/km değerini almıştır. Gözlem sonuna kadar ise, serbest akım koşullarındaki yoğunluk değerleri yeniden elde edilememiştir.

Yoğunluk değerindeki bu geri alınamayan yükselişin başlangıcı, Şekil 4.33'de yaşanan ve 5. kesit ile 6. kesitin birbirinden ayrılmasına neden olan kırılmanın hemen sonrasında gerçekleşmektedir. Buna göre 6. kesitte, Şekil 4.33'den de görülebileceği gibi saat 15:38'e kadar 5960 taş/sa olarak gerçekleşen akım bu dakika sonrasında kırılarak 5230 taş/sa değerine düşmüştür. Sonuç olarak akımda yaşanan değişim %12 oranında bir düşüşe karşılık gelmektedir.



Şekil 4.39 4. kesit ile 5. kesit arasındaki yoğunluk-zaman grafiği (2-dk hareketli ortalama).

4.3 Sürücü Sıra Alma Davranış Araştırmaları

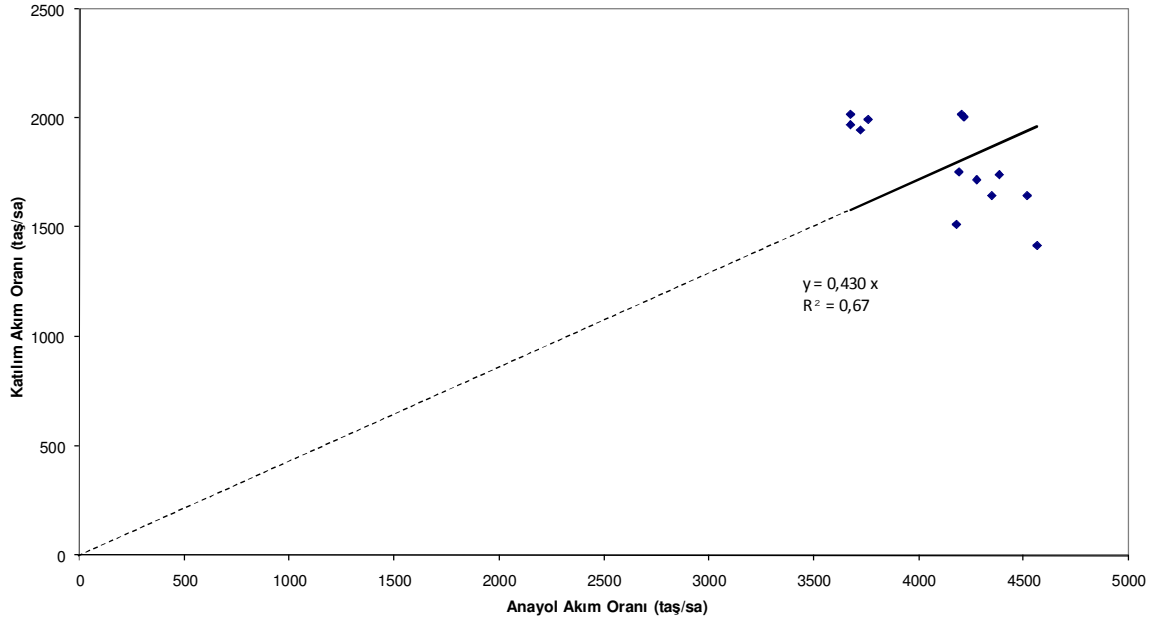
Sürücü sıra alma davranış kuramı ile ilgili çalışmalar tüm gözlem sahalarında yapılmıştır. Beşiktaş katılımı için davranış kuramının incelendiği 5 güne ilave olarak, O-4 katılım sahası için 2 gün ve Kısıklı katılım sahası için 3 gün incelemeye alınmıştır. Böylece bu araştırma, üç gözlem sahasında toplam 10 gözlem gününü içermektedir. Başlıklarda verilen bu günlere ait veriler incelenmiş ve sürücü sıra alma davranış kuramı ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Gözlem başlangıcı için zorlamalı akım koşullarının anayol ve katılım kesitlerine ulaşması beklenmiş ve 5 dakikalık akım verileri taş/sa birimine çevrilerek kullanılmıştır.

4.3.1 Beşiktaş Katılımı

4.3.1.1 10.04.2007 Günü Verileri

Şekil 4.40 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 3672-4560 taş/sa, katılım akımı ise 1416-2016 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.40'da da görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak

orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.1)'de verilmiştir.



Şekil 4.40 Anayol-Katılım akım oranı ikilileri-1.

$$Y = 0,43X \quad (4.1)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.1)'e göre; katılım akımı, anayol akımının %43'üne karşılık gelmektedir. Yani anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 43 taşıt geçirilebildiği anlaşılmaktadır.

4.3.1.2 12.04.2007 Günü Verileri

Şekil 4.41 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 3276-4680 taş/sa, katılım akımı ise 1392-2568 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.41'de de görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.2)'de verilmiştir.

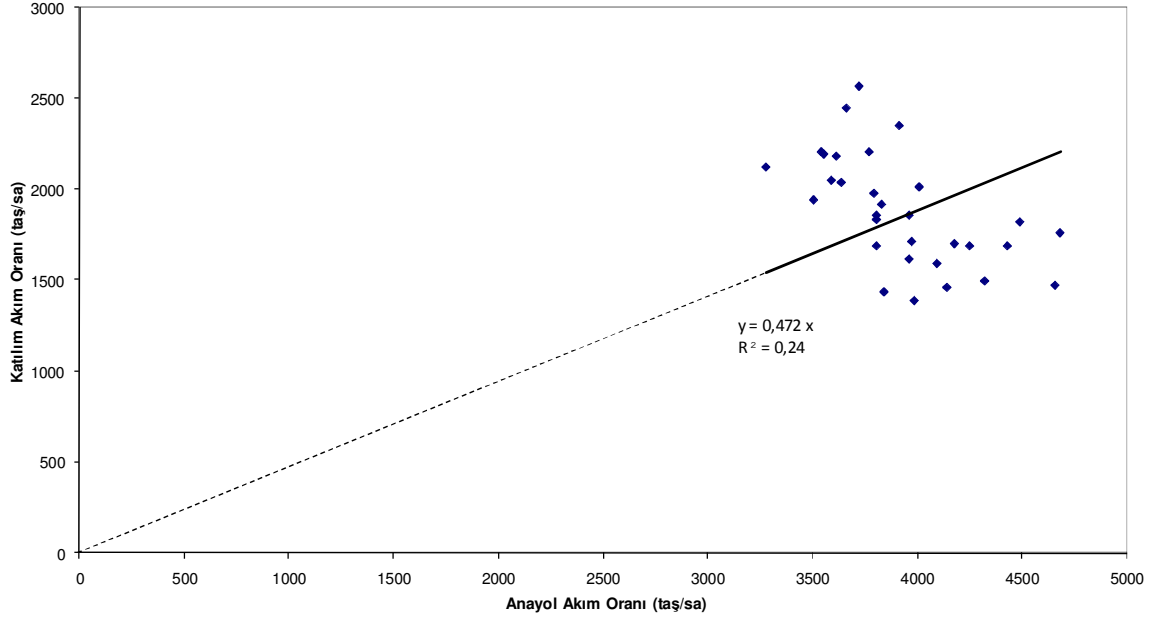
$$Y = 0,472X \quad (4.2)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.



Şekil 4.41 Anayol-Katılım akım oranı ikilileri-2.

Eşitlik (4.2)'ye göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %47' sine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 47 taşıta geçirilebildiği göstermektedir.

4.3.1.3 13.04.2007 Günü Verileri

Şekil 4.42 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre, akım aşığı etkilerinin (kaza veya arıza) görüldüğü zaman dilimi dışında, anayol akımı 3504-4680 taş/sa, katılım akımı ise 1524-2532 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.42'de de görülebildiği gibi, bu zaman aralığında, sahadan elde edilen bu verilere (köşeli noktalar) uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.3) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$Y = 0,475X \quad (4.3)$$

Akım aşağı etki ile birlikte, anayol akımı 2052-2928 taş/sa, katılım akımı ise 1512-1740 taş/sa aralığında değer almıştır. Akım aşağı etkinin baskın olduğu bu zaman dilimine ait verilere (yuvarlak noktalar) uygun olarak doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.4) eşitliğinde gösterilmiştir.

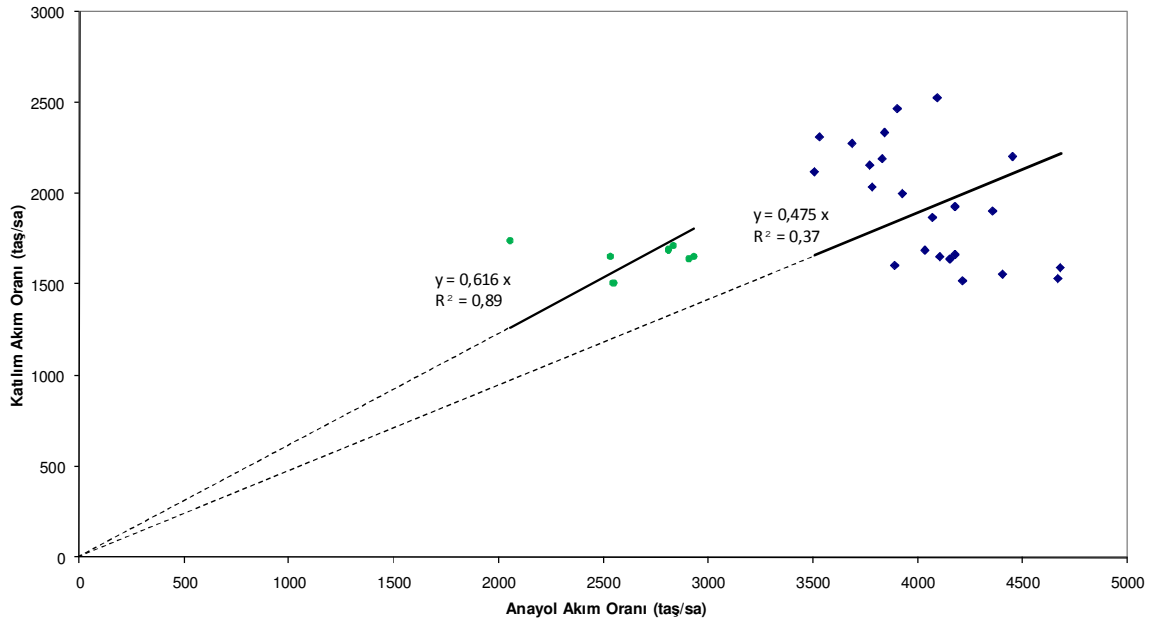
$$Y = 0,616X \quad (4.4)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.



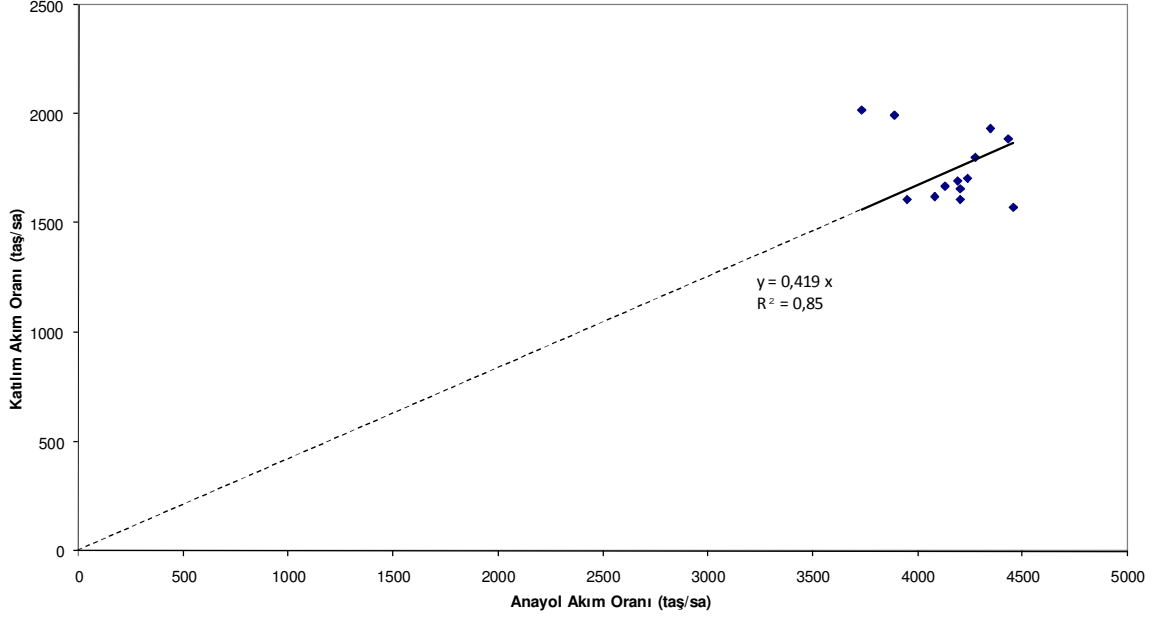
Şekil 4.42 Anayol-Katılım akım oranı ikilileri-3.

Eşitlik (4.3)'e göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %48'ine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 48 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.

Akım aşağı etkilerle birlikte elde edilen eşitlik (4.4)'e göre ise; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %62'sine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 62 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.

4.3.1.4 16.04.2007 Günü Verileri

Şekil 4.43 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 3732-4452 taş/sa, katılım akımı ise 1572-2016 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.43'de de görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.5) eşitliğinde verilmiştir.



Şekil 4.43 Anayol-Katılım akımı ikilileri-4.

$$Y = 0,419X \quad (4.5)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

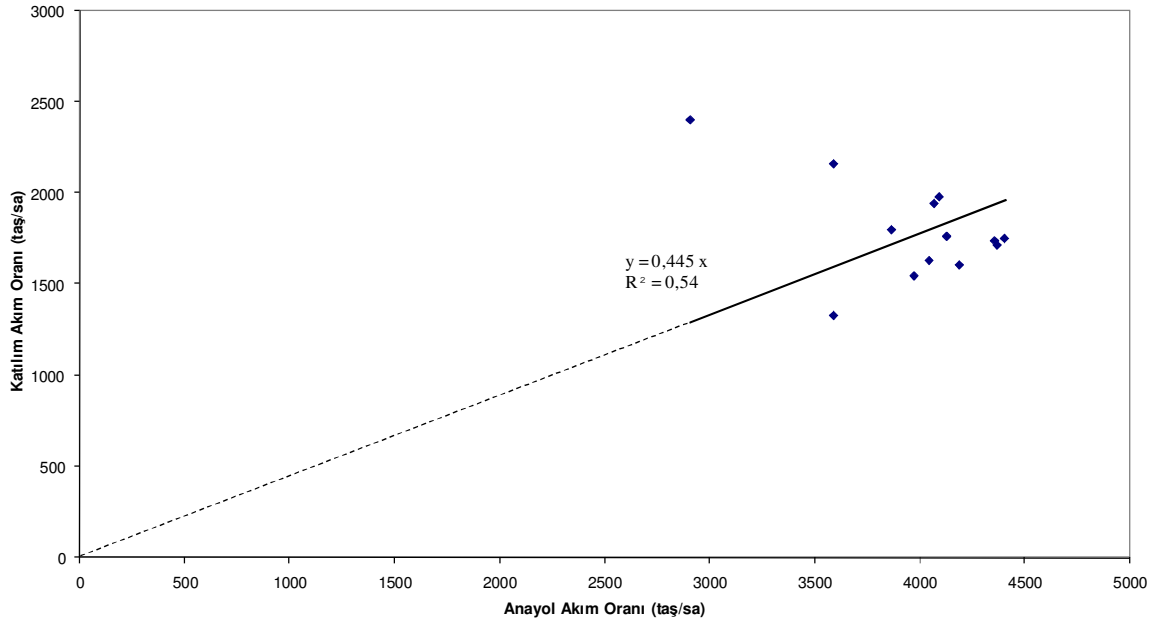
ifade etmektedir.

Eşitlik (4.5)'e göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %42'sine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 42 taşıta geçirilebildiği göstermektedir.

4.3.1.5 19.04.2007 Günü Verileri

Şekil 4.44 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna

göre anayol akımı 2904-4404 taş/sa, katılım akımı ise 1332-2400 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.44'de de görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.6) eşitliğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.44 Anayol-Katılım akımı ikilileri-5.

$$Y = 0,445X \quad (4.6)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.6)'ya göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %45'ine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşa karşılık, katılım kesiminden 45 taşta geçirilebildiği göstermektedir.

Beşiktaş katılımı için, tüm gözlem günlerine ait anayol-katılım akım oranları, akım aşağı etkinin (kaza yada arıza) gözlemlendiği zaman dışında Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre 16.04.2007'de en küçük, 13.04.2007'de en büyük oranın değeri elde edildiği görülmektedir. Tüm gözlem günlerine ait oranlar, bu iki gözlem günü arasındaki fark olan % 5.6 gibi küçük

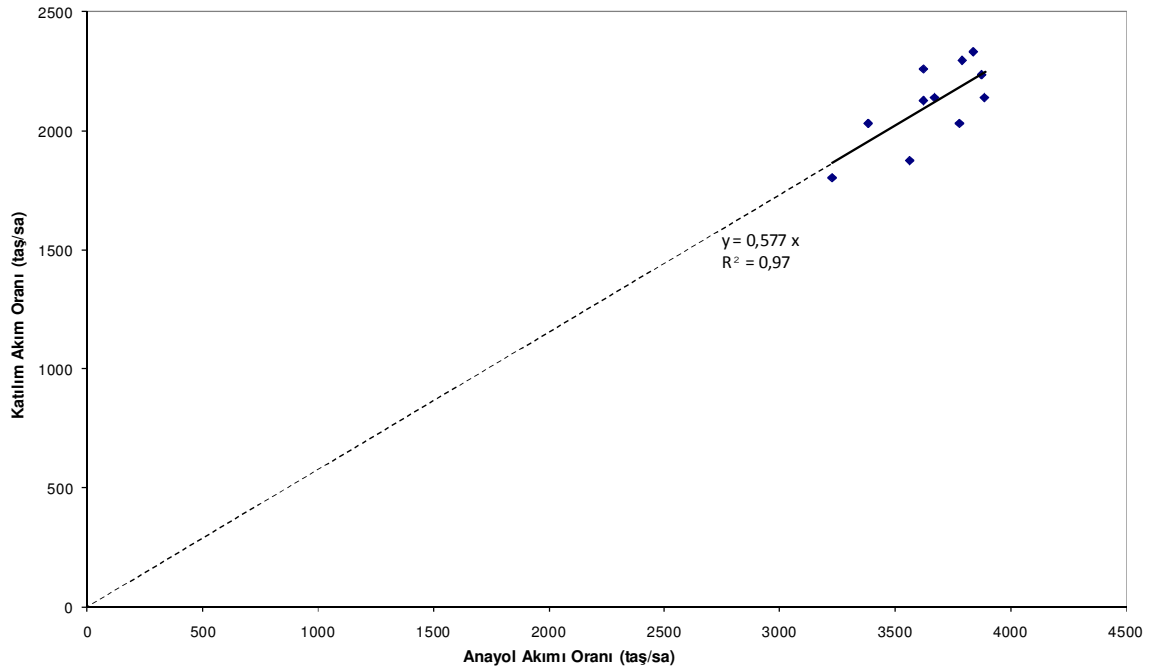
bir aralıkta değişmektedir.

Çizelge 4.1 Beşiktaş katılımı anayol-katılım akım oranları.

Gözlem Günü	Anayol-Katılım Akım Oranı
10.04.2007	0,430
12.04.2007	0,472
13.04.2008	0,475
16.04.2008	0,419
19.04.2009	0,445

4.3.2 Kısıklı Katılımı

4.3.2.1 26.04.2007 Günü Verileri



Şekil 4.45 Anayol-Katılım akımı ikilileri-6.

Şekil 4.45 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 3228-3888 taş/sa, katılım akımı ise 1800-2328 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.45’de de görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.7) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$Y = 0,577X \quad (4.7)$$

Burada,

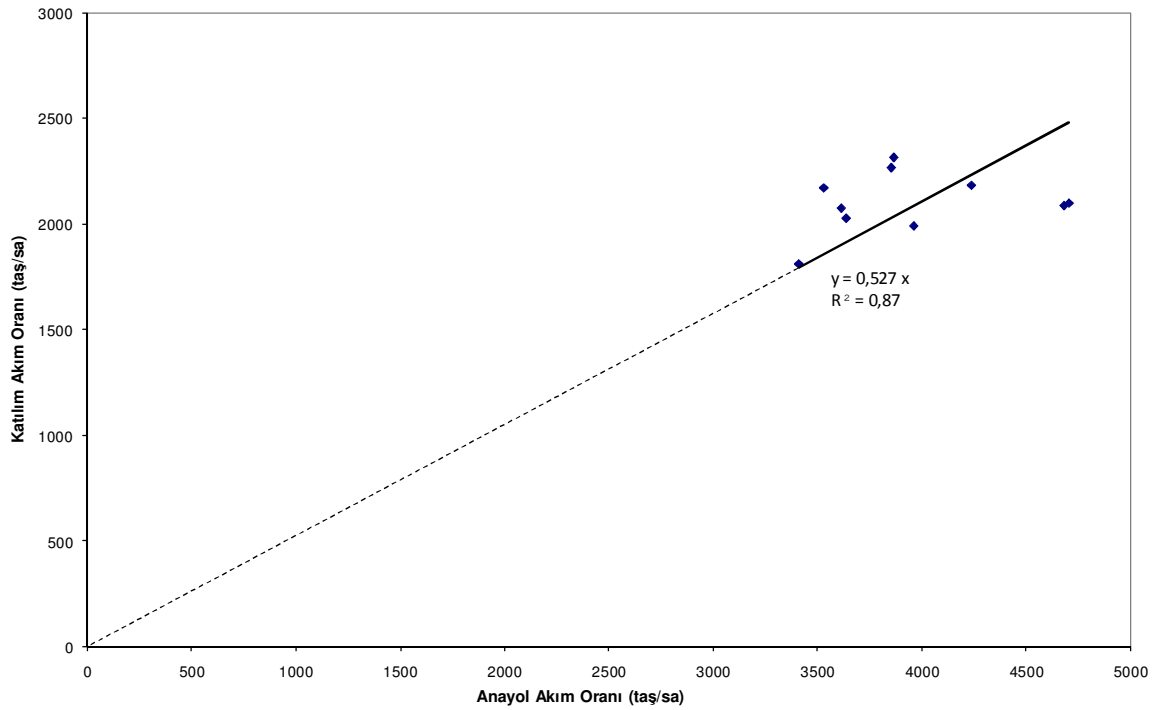
X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.7)'ye göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %58'ine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 58 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.

4.3.2.2 30.04.2007 Günü Verileri



Şekil 4.46 Anayol-Katılım akımı ikilileri-7.

Şekil 4.46 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 3510-4704 taş/sa, katılım akımı ise 1944-2244 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.46'da da görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.8) eşitliğinde verilmiştir.

$$Y = 0,527X \quad (4.8)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

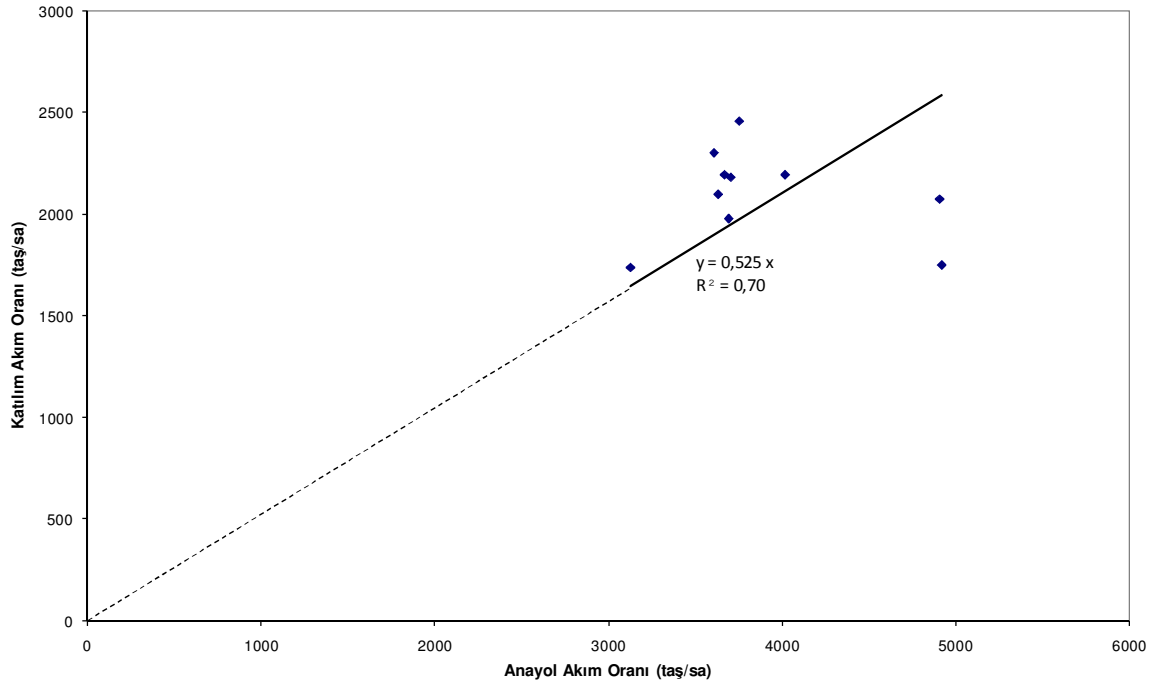
Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.8)'e göre; katılım akımı, anayol akımının %53'üne karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşta karşılık, katılım kesiminden 53 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.

4.3.2.3 04.05.2007 Günü Verileri

Şekil 4.47 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 3132-4920 taş/sa, katılım akımı ise 1740-2460 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.47'de de görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.9) eşitliğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.47 Anayol-Katılım akımı ikilileri-8.

$$Y = 0,525X$$

(4.9)

Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.9)'a göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %53'üne karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 53 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.

Kısıklı katılımı için, tüm gözlem günlerine ait anayol-katılım akım oranları, Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre 26.04.2007'de en küçük, 04.05.2007'de en büyük akım oranı değeri elde edildiği görülmektedir. Tüm gözlem günlerine ait akım oranı değerleri, bu iki gözlem günü arasındaki fark olan % 5.2 gibi küçük bir aralıkta değişmektedir.

Çizelge 4.2 Kısıklı katılımı anayol-katılım akım oranları.

Gözlem Günü	Anayol-Katılım Akım Oranı
26.04.2007	0.577
30.04.2007	0.527
04.05.2007	0.525

4.3.3 O-4 Katılımı

4.3.3.1 02.05.2007 Günü Verileri

Şekil 4.48 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 1044-2316 taş/sa, katılım akımı ise 756-1332 taş/sa aralığında değer almıştır. Şekil 4.48'de de görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.10)'de verilmiştir.

$$Y = 0,691X \quad (4.10)$$

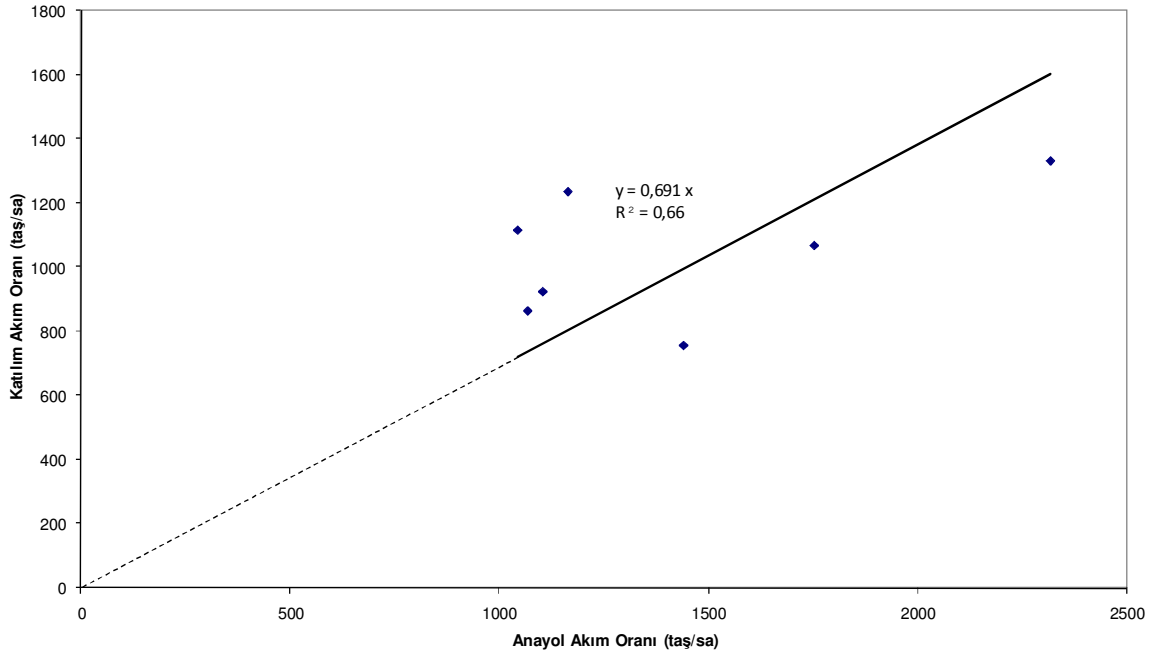
Burada,

X: Anayol akım değerini

Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.10)'a göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %69'una karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taşıta karşılık, katılım kesiminden 69 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.



Şekil 4.48 Anayol-Katılım akımı ikilileri-9.

4.3.3.2 04.05.2007 Günü Verileri

Şekil 4.49 gözlem gününe ait anayol ve katılım akımlarının dağılımını yansıtmaktadır. Buna göre anayol akımı 924-2820 taş/sa, katılım akımı ise 768-1476 taş/sa aralığında değerler almıştır. Şekil 4.49'da da görülebildiği gibi, sahadan elde edilen bu verilere uygun olarak orijinden geçen doğrusal regresyon eğrisinin denklemi (4.11)'deki eşitlik ile gösterilmiştir.

$$Y = 0,653X \quad (4.11)$$

Burada,

X: Anayol akım değerini

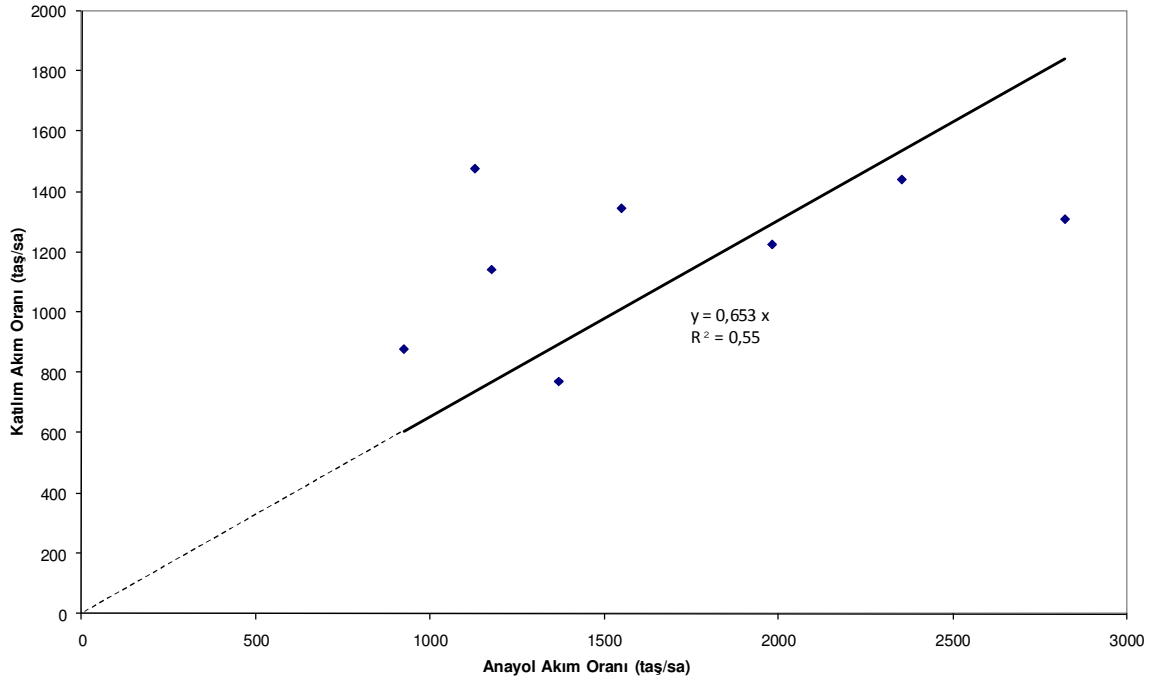
Y: Katılım akım değerini

ifade etmektedir.

Eşitlik (4.11)'e göre; katılım akımı, anayol akımının yaklaşık %65'ine karşılık gelmektedir. Bu da, anayol kesiminden geçirilebilen her 100 taştık karşılık, katılım kesiminden 65 taşıt geçirilebildiği göstermektedir.

E-80 katılımı için, gözlem günlerine ait anayol-katılım akım oranları, Çizelge 4.3'de verilmiştir. İki gözlem gününde en küçük 0.653 ve en büyük 0.691akım oranı değeri elde

edildiği görülmektedir. Bu iki gözlem günü arasındaki fark % 3.8 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.49 Anayol-Katılım akımı ikilileri-10.

Çizelge 4.3 O-4 katılımı anayol-katılım akım oranları.

Gözlem Günü	Anayol-Katılım Akım Oranı
02.05.2007	0,691
04.05.2007	0,653

5. SONUÇLAR

Davranış kuramına ait gözlem günleri ele alındığında, gözlem sonuçlarının genel olarak kuramla uyum gösterdiği görülmektedir. Bu bağlamda öncelikle, tüm gözlem günleri için akım-ışgal oranı grafiklerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de özetlenmiştir. Bununla birlikte, Çizelge 5.2 ise bu sonuçlara ait ortalama değerleri ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.1 Akım-İşgal oranı grafik sonuçları.

Gözlem Günü	Değişken	Sağ Şerit			Sol Şerit		
		Zorlamalı Akım Öncesi Son Veriler	Zorlamalı Akım Sonrası İlk Veriler	Değişim Oranı (%)	Zorlamalı Akım Öncesi Son Veriler	Zorlamalı Akım Sonrası İlk Veriler	Değişim Oranı (%)
10.04.2007	Akım (taş/sa)	1350	1830	36	2250	2250	0
	İşgal Oranı (%)	9	17	89	20	36	80
	Değişim Zamanı	15:57		-	15:57		-
12.10.2007	Akım (taş/sa)	1590	2100	32	2580	2010	-22
	İşgal Oranı (%)	16	21	31	31	45	45
	Değişim Zamanı	15:47		-	15:45		-
13.10.2007	Akım (taş/sa)	1860	1920	3	2430	1740	-28
	İşgal Oranı (%)	20	27	35	22	46	109
	Değişim Zamanı	16:11		-	16:07		-
16.10.2007	Akım (taş/sa)	1650	1710	4	2640	1950	-26
	İşgal Oranı (%)	13	23	77	26	30	15
	Değişim Zamanı	15:55		-	15:53		-
19.10.2007	Akım (taş/sa)	1350	1830	36	2340	2220	-5
	İşgal Oranı (%)	10	15	50	22	30	36
	Değişim Zamanı	15:39		-	15:37		-

Çizelge 5.2 Akım-İşgal oranı grafik sonuçları ortalama değerler çizelgesi.

Değişken	Sağ Şerit			Sol Şerit			
	Zorlamalı Akım Öncesi Son Veriler	Zorlamalı Akım Sonrası İlk Veriler	Değişim Oranı (%)	Zorlamalı Akım Öncesi Son Veriler	Zorlamalı Akım Sonrası İlk Veriler	Değişim Oranı (%)	
Ortalama Değerler	Akım (taş/sa)	1560	1878	22	2448	2034	-16
	Standart Sapma	216	145	17	162	209	13
	İşgal Oranı (%)	14	21	56	24	37	57
	Standart Sapma	5	6	25	3	8	42

Buna göre, tüm gözlem günleri için zorlamalı akım koşullarına geçişle birlikte sağ şerit akım değerinde %22 ortalama değişim oranına ulaşan bir artış göze çarpmaktadır. Buna rağmen sol şeritte ise, 10.04.2007 tarihli gözlem günü dışında, zorlamalı akım koşullarına geçişin, akım değerinde bir düşüşe neden olduğu görülmektedir. 10.04.2007 tarihinde ise akım değeri bu geçişle birlikte herhangi bir değişime uğramamıştır. Sol şerit için gözlem günlerinde ortaya çıkan ortalama akım kaybı %16 olarak gerçekleşmiştir.

Davranış kuramı, sol şeritte serbest akım koşullarında görülen yüksek akım değerlerinin zorlamalı akım koşullarında görülemediğini belirtmektedir. Gözlem sonuçları bu tespitin

doğruluğunu göstermektedir.

Çizelge 5.1 ve şerit akımlarını gösteren grafikler göstermektedir ki zorlamalı akım koşullarına geçiş sürecinde sol şeritte ilerleyen saldırgan sürücüler motivasyon kaybına uğramakta ve şerit değiştirmektedir. Bu durum, zorlamalı akım koşullarına geçişle birlikte sağ şerit akımında yaşanan artış ve buna paralel olarak sol şerit akımında ortaya çıkan düşüş olarak görülmektedir.

Diğer yandan, şerit akımlarına ait yapılan tespitlerde tek kanal rejiminden iki kanal rejimine geçişte sağ şerit akımında yaşanan düşüş, sol şerit akımında artış olarak ortaya çıkmaktadır. Bu değişim, motivasyon kazanan saldırgan sürücülerin, şerit değiştirerek araçlarını, hızlarını maksimize edebildikleri şeride sürdüklerini ortaya koymaktadır. Tüm bu değerlendirmeler, motivasyon kavramının çalışmada belirgin bir şekilde tespit edildiğini işaret etmektedir.

Bunlara ek olarak, zorlamalı akım koşullarına geçişle birlikte, işgal oranı değerleri ise her iki şerit içinde artış göstermiştir. Ortalama işgal oranı artış değeri sağ şerit için %56 ve sol şerit için %57 olarak gerçekleşerek birbirine oldukça yakın iki değer almıştır.

Ayrıca akım-işgal oranı grafikleri tüm gözlem günlerinde davranış kuramının ortaya koyduğu görünüşe uymaktadır. Burada sağ şerit için üçgen görünüşü, sol şerit için ise ters lambda görünüşü açıkça ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, tek kanal rejiminde, sol şerit akım işgal oranı ikililerine ait ters lambda görünümünü, sağ şeride ait üçgen görünümünün konum olarak üzerinde yer almaktadır.

Diğer yandan, serbest akım koşullarında davranış kuramının yaptığı, saldırgan sürücülerin taşıtlarını sakın sürücülerden daha hızlı kullandıkları kabulü gözlem sonuçlarına aykırı düşmektedir. Tüm gözlem günleri için elde edilen serbest akım taşıt hızlarının, sağ şerit için, sol şeritten daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bunun nedeninin ise, serbest akım koşullarında saldırgan sürücülerin yalnızca sol şeritte, sakın sürücülerin ise yalnızca sağ şeritte taşıtlarını sürdükleri kabulünün, gerçekçi bir yaklaşım olmamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 5.3 ise, gözlem günlerine ait ölçeklendirilmiş yığışimli taşıt sayısı eğrilerinden elde edilen kırılma anı ve bu kırılma anlarında ortaya çıkan akım ile yoğunluk değerlerini tabloşturmaktadır. Bununla birlikte akım verilerine göre trafik akımında oluşan kapasite kaybı tabloya işlenmiştir.

Buna göre, 10.04.2007 tarihli gözlem günü dışında tüm gözlem günlerinde serbest akım koşullarının ortadan kalkması ile birlikte akımda bir düşüş ortaya çıkmıştır. Akım

değerlerinde yaşanan bu değişim ortalama olarak 5875 taş/sa akım değerinin, 5419 taş/sa değerine düşüşü ile ortaya çıkmıştır. Akımda yaşanan bu kırılma, ortalama 94 taş/km yoğunluğunda oluşmuş ve kırılmanın gerçekleştiği gözlem günleri için ortalama %11 kapasite kaybına neden olmuştur.

Çizelge 5.3 Akım kırılma çizelgesi.

Tarih	Kırılma Öncesi Akım (taş/sa)	Kırılma Sonrası Akım (taş/sa)	Kırılma Anı	Kapasite Kullanım Kaybı (%)	Kırılma Anındaki Yoğunluk (taş/km)
10.04.2007	5280	5656	15:57	-	89
12.04.2007	6395	5560	15:45	13	108
13.04.2007	5858	5425	15:24	7	93
16.04.2007	5880	5225	15:54	11	109
19.04.2007	5960	5230	15:38	12	70
Ortalama	5875	5419	15:43	11	94

Ayrıca, ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerinin tek başına değerlendirilmesi sonucunda, zorlamalı akım koşullarının oluştuğu düşünülen bazı kesitlerde, şerit akımlarının incelenmesi sayesinde serbest akım koşullarının hakim olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, otoyol kesimlerindeki trafik akımının hangi koşullar altında olduğunun doğru belirlenmesi için şerit akımlarının kesinlikle ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 5.3'e göre, ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı eğrilerinden elde edilen sonuçlar, akım-işgal oranı ikililerinden ve şerit akımlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, 13.04.2007 tarihi dışında diğer gözlem günleri için kırılma anını yansıtan zamanların örtüştüğü görülmektedir. 13.04.2007 tarihinde ise, saat 15:24'de meydana gelen yoğunluk artışının trafik akımını serbest akım koşullarından geçiş akım koşullarına taşıdığı anlaşılmaktadır. Çizelge 5.1'de verilen zorlamalı akım koşullarına geçiş zamanını Şekil 4.25'de saat 16:06'da oraya çıkan yoğunluk artışı ile ilişkilendirmek anlamlı olacaktır.

Diğer yandan, sürücü sıra alma davranışı araştırmalarına göre elde edilen sonuçlar da oldukça anlamlıdır. Buna göre, farklı gözlem günlerinde sahadan elde edilen veriler sonucunda, katılım akımının anayol akımına belirli bir oranda karıştığı görülmektedir. Gözlem sonuçlarına göre farklı gözlem günleri için elde edilen anayol-katılım akım oranları arasındaki en büyük fark, %5.6 ile Beşiktaş katılım sahasında gözlemlenmiştir. Katılım akım oranı, gözlem sahalarının birbiri arasındaki değerleri açısından ele alındığında ise oldukça farklı

sonuçlar ortaya çıkmıştır. Gözlem sahaları arasındaki bu farklılaşmanın, katılım bölgesinin geometrisinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı düşünülebilir.

Gelecek çalışmalarda, inceleme yapılacak her bir gözlem sahası için tekrarlı gözlemler sonucu katılım akım oranı kolaylıkla ortaya çıkarılabilecektir. Bu sayede, her bir yol kesimi için ortaya çıkan kuyruklanmaların ne kadar sürede eriyeyeği tahmin edilerek, trafik yönetimi açısından katılım kontrolü uygulamalarına temel teşkil edecek bir veritabanı oluşturulabilecektir. Ayrıca sürücüler, kuyruklanmaların erime süresi dikkate alınarak, tahmini yolculuk süresi konusunda bilgilendirilerek gzergah tercihinde bulunmaları sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

Banks, J. H., Amin, M. R., Cassidy, M. ve Chung, K., (2003), Validation of Daganzo's Behavioral Theory of Multi-Lane Traffic Flow: Final Report, California PATH Program Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2003-14.

Banks, J. H. ve Amin, M. R., (2003), "Test of Behavioral Theory of Multilane Traffic Flow Queue and Queue Discharge Flows", Transportation Research Record, 1852:159-166.

Cassidy, M. ve Ahn, S., (2005), "Driver Turn-taking Behavior in Congested Freeway Merges," Transportation Research Record, 1934:140-147.

Daganzo, C. F., (2002), "A behavioral theory of multi-lane traffic flow. Part I: Long homogeneous freeway sections", Transportation Research Part B 36:131-158.

Khisty, C. J. ve Lall, B. K., (1998), Transportation Engineering an Introduction, Prentice Hall, New jersey.

Şahin, İ., (2006), Trafik Akım Kuramı Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. ve Gedizlioğlu, E. (2002) "Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirilme Stratejilerinin Araştırılması", Tübitak Araştırma Projesi Geliştirme Raporu I, İÇTAG-I920.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 12.07.1981

Doğum yeri Kütahya

Lise 1995-1999 Hacı Kasımoğlu Erkek Lisesi

Lisans 1999-2004 Yıldız Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2004-2007 Çevre Yapı İnşaat Ltd Şti.

2007-... Hekimoğlu Yapı Ltd Şti.