

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENT İÇİ OTOYOLLARIN KATILIM KESİMLERİNDE DETERMİNİSTİK
VE STOKASTİK YAKLAŞIM İLE KAPASİTENİN İNCELENMESİ:
İSTANBUL ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fulya ÖZSAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENT İÇİ OTOYOLLARIN KATILIM KESİMLERİNDE DETERMİNİSTİK
VE STOKASTİK YAKLAŞIM İLE KAPASİTENİN İNCELENMESİ:
İSTANBUL ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fulya ÖZSAN
(501111441)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111441 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Fulya ÖZSAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KENT İÇİ OTOYOLLARIN KATILIM KESİMLERİNDE DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK YAKLAŞIM İLE KAPASİTENİN İNCELENMESİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

Doç. Dr. Serhan TANYEL
Dokuz Eylül Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Aralık 2014
Savunma Tarihi : 23 Ocak 2015

ÖNSÖZ

Ülkemizde, özellikle büyükşehirlerde yaşadığımız trafik tıkanıklığı sorunu, trafiğe çıkan taşıt sayısının her geçen gün artması ve yetersiz toplu taşıma hizmetleri nedeniyle artarak devam etmektedir. Bu durum; yolculuk sürelerinin artması, daha çok yakıt tüketimi, hava ve gürültü kirliliği, stres gibi yaşam kalitesini düşüren, sosyal ve ekonomik boyutları olan pek çok soruna neden olmaktadır. Tıkanıklık, genellikle bir yol kesiminde o yolun kapasitesinin, oluşan talebi karşılayamaması durumunda oluşmaktadır. Bu nedenle, özellikle şişeboynu (darboğaz) yol kesimlerinde trafik tıkanıklarının incelenmesi için kapasitenin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmada, bir yerden bir yere “ulaşabilme” gayesinde olduğum her gün benim de mağduru olduğum trafik tıkanıklığı sorununa çözüm olması yönünde küçük de olsa bir katkı sağlayabilmesi için, İstanbul ilinden seçilen ve şişeboynu özelliklerini taşıyan bir katılım kesimindeki, trafik tıkanıklarının gerçekleşme olasılıkları incelenmiştir.

Çalışmamın başından sonuna kadar desteğini ve değerli bilgilerini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT'e teşekkürü borç bilirim. Yüksek lisans eğitimim boyunca, samimi ve içten öğretme şevki ile kendisinden öğrendiğim bilgiler, şüphesiz bu alandaki en büyük yol göstericim olacaktır.

Literatür araştırması sırasında, çok zorlandığım ve hatta yapamayacağımı düşündüğüm Kaplan-Meier yöntemi için kendisine e-posta yoluyla ulaştığım Sayın Yard. Doç. Dr. Eren Erman ÖZGÜVEN'e, beni hiç tanımadığı halde tek tek yöntemin aşamalarını açıklayan cevabı için sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Dostum Ar. Gör. Mehmet Ali SİLGÜ'ya ve değerli arkadaşım Ar. Gör. Şeyma KUŞAKÇI'ya, tanıdığım günden beri her konuda olduğu gibi bu tezin yazım sürecinde de sabırla verdikleri destekten ötürü yürekten teşekkür ederim. Veri satırlarının düzenlenmesi sırasında, yardımlarını esirgemeyen dostlarım Tuğçe KIRBAŞ, Banu KEPENEK ve Neşe KINA'ya emeklerinden ötürü teşekkürlerimi sunar, düzenledikleri verilerin önemli bir kısmını, tezin devamında kullanmaktan vazgeçmek durumunda kaldığım için de kendilerinden mahcup bir şekilde özür dilerim.

Varlık sebebim sevgili aileme; sabırları, maddî ve manevî teşvikleri, üzerimdeki büyük emekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

"Kent İçi Otoyolların Katılım Kesimlerinde Deterministik ve Stokastik Yaklaşım ile Kapasitenin İncelenmesi: İstanbul Örneği" konulu yüksek lisans çalışmamın ardıl çalışmalara küçük de olsa bir katkı sağlamasını dilerim.

Ocak 2015

Fulya Özsan
Şehir Plancısı

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3 Çalışmanın Organizasyonu	2
2. OTOYOL KATILIM KESİMLERİNDE KAPASİTE	5
2.1 Deterministik Kapasite	7
2.2 Stokastik Kapasite	15
2.2.1 Kırılma kavramı	16
2.2.1.1 Dilim süreleri	17
2.2.1.2 Kırılma dilimi.....	18
2.2.1.3 Kırılma akım değeri	19
2.2.2 Doğrudan kırılma olasılığı tahmini	20
2.2.3 Kapasite dağılım fonksiyonu tahmini	21
2.2.3.1 Parametrik olmayan yöntem – Kaplan-Meier yöntemi.....	22
2.2.3.2 Parametrik yöntem – Weibull dağılım fonksiyonu	27
2.2.4 Kırılma olasılığı tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması	30
3. ÇALIŞMA ALANI.....	31
3.1 İncelenen Katılım Kesiminin Özellikleri	31
3.2 İncelenen Katılım Kesiminin Trafik Verisi.....	33
3.2.1 Eksik ve hatalı veri satırlarının belirlenmesi.....	34
3.2.2 Mevcut verilerden yeni verilerin üretilmesi.....	36
4. STOKASTİK KAPASİTE ANALİZİ.....	39
4.1 Kırılma Başlangıcının Belirlenmesi	39
4.1.1 Optimum hız (kapasite hızı) ve serbest akım hızının belirlenmesi	39
4.1.2 Kırılma dilimi ve akım değerinin belirlenmesi	41
4.2 Doğrudan Olasılık Tahmini	45
4.3 Parametrik Olmayan Yöntemle Olasılık Tahmini	48
4.4 Parametrik Yöntemle Olasılık Tahmini	51
4.5 Farklı Olasılık Tahmin Yöntemleri ile Bulunan Sonuçların Karşılaştırılması	53
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Çalışanları Birliği)
bo	: Birim Otomobil
bo/sa/şrt	: Birim Otomobil/Saat/Şerit
dk	: Dakika
HCM	: Highway Capacity Manual (Karayolu Kapasite El Kitabı)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İBB-TKM	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
km	: Kilometre
m	: Metre
OH	: Optimum Hız
pc/h/ln	: Passenger Car/Hour/Lane (Birim Otomobil/Saat/Şerit)
RTMS	: Remote Traffic Microwave Sensor (Trafik Algılayıcısı)
sa	: Saat
sf	: Sayfa
sn	: Saniye
şrt	: Şerit
SAH	: Serbest Akım Hızı
TEM	: Trans European Motorway (E80) (Avrupa Geçiş Otoyolu)
TKM	: Trafik Kontrol Merkezi
TRB	: Transportation Research Board (Ulaştırma Araştırmaları Kurumu)
tş	: Taşıt
tş/sa	: Taşıt/Saat
tş/sa/şrt	: Taşıt/Saat/Şerit

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Otoyolun akım aşağı ve akım yukarı yönlerindeki kapasite değerleri ile katılım etki alanından geçebilecek en büyük akım değeri.	10
Çizelge 2.2 : Bağlantı Kolu Kapasitesi.	12
Çizelge 2.3 : O1 Otoyolu-Beşiktaş katılım kesimindeki ölçüm noktalarının kapasite değerleri	13
Çizelge 2.4 : Sağkalım analizi ile kapasite analizi arasındaki ilişki	24
Çizelge 2.5 : Weibull parametrelerinin farklı kesimlere göre karşılaştırılması 1.	29
Çizelge 2.6 : Weibull parametrelerinin farklı kesimlere göre karşılaştırılması 2.	30
Çizelge 3.1 : 324 numaralı algılayıcının trafik akım bilgilerini içeren rapor	34
Çizelge 4.1 : Her bir algılayıcı için belirlenen gruplara göre kırılma gözlenen ve gözlenmeyen dilim sayısı.	45
Çizelge 4.2 : Kaplan-Meier yöntemi için yapılan hesaplamalar	49
Çizelge 4.3 : Algılayıcılara göre hesaplanan Weibull dağılım parametreleri.	51
Çizelge 4.4 : 324 numaralı algılayıcı için farklı olasılık tahmin yöntemleri ile bulunan sonuçların karşılaştırılması.	53
Çizelge 4.5 : 325 numaralı algılayıcı için farklı olasılık tahmin yöntemleri ile bulunan sonuçların karşılaştırılması.	54
Çizelge 4.6 : 326 numaralı algılayıcı için farklı olasılık tahmin yöntemleri ile bulunan sonuçların karşılaştırılması.	55
Çizelge 4.7 : Stokastik ve deterministik yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması.	55

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Bir otoyolu oluşturan kesimler	6
Şekil 2.2 : Bir katılım kesiminin bileşenleri	7
Şekil 2.3 : Katılım kesimindeki kapasite ölçüm noktaları ve katılım etki alanı	8
Şekil 2.4 : Hızlanma şeridinin geometrik şekilleri	9
Şekil 2.5 : İki şeritli hızlanma şeridi tasarımı	10
Şekil 2.6 : Akıcı ve tıkanık koşullar için hız-zaman grafiği	16
Şekil 2.7 : Kırılma diliminin belirlenmesinde kullanılan hız ve akım değerlerinin zaman içindeki değişimi	18
Şekil 2.8 : Farklı zaman dilimlerine göre akım değeri-kırılma olasılığı grafiği	20
Şekil 2.9 : A1 ve A3 kesimleri için hız-akım değeri grafikleri	27
Şekil 2.10 : A1 ve A3 kesimleri için en büyük benzerlik ve Kaplan-Meier yöntemlerine göre olasılık dağılım grafikleri	28
Şekil 3.1 : Tez konusu kapsamındaki otoyol katılım kesiminin konumu	31
Şekil 3.2 : O2 Otoyolu-Ümraniye katılım kesiminin geometrik özellikleri	32
Şekil 3.3 : O2 Otoyolu-Ümraniye katılım kesiminin havadan fotoğrafı	32
Şekil 3.4 : O2 Otoyolu-Ümraniye katılım kesimindeki algılayıcıların konumları	33
Şekil 4.1 : Ölçüm noktalarına ait hız-akım değeri grafikleri	40
Şekil 4.2 : 324 numaralı algılayıcının 1 günlük verileri ile çizilen zaman-hız ve zaman-akım değeri grafikleri	41
Şekil 4.3 : 324 numaralı algılayıcının 5 saatlik verileri ile çizilen zaman-hız ve zaman-akım değeri grafikleri	42
Şekil 4.4 : Algılayıcıların verileri ile çizilen hız-akım (ve kırılma akım) değeri grafikleri	44
Şekil 4.5 : Ölçüm noktalarındaki kırılma akım değerlerinin frekans histogramı	46
Şekil 4.6 : Ölçüm noktalarında 100 bo/sa/şrt akım değeri gruplarının doğrudan kırılma olasılıkları	47
Şekil 4.7 : Ölçüm noktalarında 50 bo/sa/şrt akım değeri gruplarının doğrudan kırılma olasılıkları	48
Şekil 4.8 : 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcı verilerinin Kaplan-Meier yöntemine göre olasılık dağılımları	50
Şekil 4.9 : 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcı verilerinin Kaplan-Meier yöntemine ve Weibull'a göre olasılık dağılımları	52
Şekil 4.10 : Weibull olasılık dağılım fonksiyonuna göre ölçüm noktalarında %15-85 olasılıkla belirlenen kapasite değerleri	52

KENT İÇİ OTOYOLLARIN KATILIM KESİMLERİNDE DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK YAKLAŞIM İLE KAPASİTENİN İNCELENMESİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

ÖZET

Karayolu trafik tıkanıklığı, genellikle bir yol kesiminde, o yolun kapasitesinin oluşan talebi karşılayamaması durumunda oluşmaktadır. Talebin kapasiteyi aşması durumuna, özellikle kentiçi otoyolların şişeboynu (darboğaz) kesimlerinde ve talebin yüksek olduğu sabah ve akşam zirve saatlerde rastlanmaktadır. Bu çalışmada, kentiçi otoyol kesimlerinden şişeboynu özellikleri taşıyan katılım kesimlerine bir örnek ile trafik tıkanıkları ve kapasite incelemesi yapılmıştır. Çalışılan kesim, Avrupa Yol Ağı içinde E-80 olarak adlandırılan otoyollardan biri olan ve İstanbul ili Anadolu yakasında yer alan O2 otoyolunun Ankara-Edirne yönüne, Ümraniye ilçesinden katılımı sağlayan kesimdir. Bu kesimde, Highway Capacity Manual (HCM) 2010'un otoyol katılım kesimleri için belirlediği deterministik kapasite değerleri ile stokastik yaklaşımla hesaplanan kapasite değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma için gerekli olan ve taşıt trafiğini yansıtan veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkez Müdürlüğü'nden (İBB-TKM) temin edilmiştir. Bu veriler, İBB-TKM'nin İstanbul ili genelindeki ana yollar üzerine yerleştirdiği RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) olarak adlandırılan trafik algılayıcıları tarafından, her bir şerit için tarih, saat, ortalama akım hızı, toplam hacim değeri (tüm taşıt türleri) ve ağır taşıtların türüne göre hacim değerinin üretildiği raporlardır.

Çalışma kapsamında O2 Otoyolu Ümraniye Katılım kesiminden veri raporlayan 324, 325 ve 326 numaralı 3 farklı algılayıcının sağladığı 2012 yılına ait 1 yıllık trafik verileri kullanılmıştır. 324 numaralı algılayıcıdan O2 otoyolunun akım yukarı yönünde yer alan 4 şeridin, 325 numaralı algılayıcıdan O2 otoyoluna Ümraniye ilçesinden katılan taşıtların kullandığı 2 şeritli bağlantı kolunun; 326 numaralı algılayıcıdan ise O2 otoyolunun akım aşağı yönünde yer alan 4 şeridin verileri sağlanmıştır.

Bu veriler ile oluşturulan hız-akım grafikleri, zirve saatlerde trafiğin akıcı koşullardan tıkanık koşullara geçişi sırasındaki akım değerinin, yani kırılma dilimlerinin (başlangıcının) belirlenmesi için kullanılmıştır. Bunun için belirlenmesi gereken “optimum hız” değeri 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcıların verilerine göre sırasıyla 50, 50 ve 70 km/sa olarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, 107, 102 ve 103 (sırasıyla) kırılma dilimi, dolayısıyla kırılma akım değeri gözlenmiştir. Ardından, doğrudan olasılık tahmini ve olasılık dağılım fonksiyonun tahmini yöntemleri ile kapasite değeri olarak kabul edilen kırılma akım değerlerinin olasılıkları incelenmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonu tahmini ise, parametrik olmayan ve parametrik olmak üzere iki farklı yöntemle göre hesaplanmıştır. Parametrik olmayan yöntemde sağkalım fonksiyonu kullanılarak Kaplan-Meier yöntemi, parametrik yöntemde ise “en büyük benzerlik” yöntemi ile

ölçek ve şekil parametreleri hesaplanarak Weibull olasılık dağılımı fonksiyonu uygulanmıştır.

Çalışmanın sonucunda, stokastik yöntemlere göre belirlenen kapasite değerleri kendi içlerinde ve HCM'nin belirlediği kapasite değerleri ile karşılaştırılmıştır. Weibull olasılık dağılımına göre %15-%85 olasılık değerleri arasındaki kapasite aralığı, otoyol akım yukarı yönünde 1577-1732 bo/sa/şrt, bağlantı kolunda 1858-2086 bo/sa/şrt, otoyol akım aşağı yönünde ise 2081-2270 bo/sa/şrt arasında belirlenmiştir. Söz konusu kontrol noktalarında gözlenen en yüksek akım değerleri ise, aynı sırayla 1828, 2157 ve 2366 bo/sa/şrt'tir. Yine bu noktalar için HCM 2010'un belirlediği değerler ise, sırasıyla 2300, 2200 ve 2300 bo/sa/şrt olarak belirlenmiştir.

THE CAPACITY EVALUATION OF THE MEGRE SECTIONS IN URBAN FREEWAYS CONSIDERING DETERMINISTIC AND STOCHASTIC APPROACH: EXAMPLE OF ISTANBUL

SUMMARY

Traffic jam is generally caused because of unmatched demand over the road segment. The case of higher demand over the capacity, is observed especially at the bottlenecks of urban freeways and morning/afternoon peaks when the demand is relatively high. This study involves observations on capacity and traffic jams at the on-ramp showing typical characteristics of bottlenecks of urban freeway segments. Investigated section is the O2 Freeway which provides the merge from the Ümraniye district. The O2 Freeway is one of the components of E-80 Freeway in the European Transit Network and located in the Asian side of Istanbul. In the merge section, the deterministic capacity values for the freeway merge sections of Highway Capacity Manual (HCM) 2010 and calculated the capacity values by stochastic approach are compared. The dataset which is necessary for this study and represents the vehicle traffic, is obtained from the Metropolitan Municipality of Istanbul Traffic Control Center (MMI-TCC). This dataset reports the date, time, average flow speed, total vehicle volumes and the volumes of heavy vehicles per lane, which recorded by the RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) stated on all freeways by the MMI-TCC.

In the scope of this study, one-year sampled dataset of 2012 is used that was provided from 3 different RTMS; number 324, 325 and 326, which are reported the data from the O2 Freeway - Ümraniye Merge Section. 4 upstream lanes of O2 Freeway are obtained from the RTMS no 324, 2 lanes of ramp roadway from Ümraniye to O2 Freeway are obtained from RTMS no 325, 4 downstream lanes O2 Freeway are obtained from RTMS no 326.

The dataset which is provided from RTMSs consists 2-minute time intervals. Initially during the process of this datasets arrangement, the missing measurements are recognized from all 3 RTMS. For this purpose, daily time streaming of the dataset were controlled and determined missing measurements including different time intervals. The blank rows by 2-minute time intervals were added for all missing time intervals to the dataset. In addition, during the process of controlling of the time streaming, some irregular measurements are recognized and deleted. Instead of these measurements, again the blank rows by 2-minute time intervals were added to the dataset. Another defective measurement was determined for RTMS no 324 and 325. On 3 months (october, november, december) it has been determined that those 2 RTMS datasets were not recording 2 minute intervals in every 2 hour period. It was decided not to use this 3 months-data because they couldn't be used in aggregating to 5-minute time intervals. The last defective measurement were determined for RTMS no 326. After July 24th, the data of the 4th lane in this section weren't recorded by the RTMS.

Due to the weather conditions and some other effects some more defective missing and defective measurements were recognized during data arrangement process. At the end of these it was decided not to use all these defective data and only use the reported data of the first 7 months of the year. Some days, including these kind of data and 4 national holidays in these 7 months, remained out of study. As the result of arrangement of datasets, blank rows have been produced approximately %2 of the

datas recovered from all three RTMSs belonging to first 7 months of the year. In case of blank rows coinciding with the breakdown interval and current value being less than %50 of the daily required number, data of whole day have been excluded from the study. As result of these exclusions, respectively 187, 180 and 177 daily data are used in this study from RTMS no 324, 325 and 326.

At the next stage, the data which is provided from RTMSs and represented by 2-minute time intervals, were aggregated to proposed 5-minute time intervals for the calculation of stochastic capacity. During this process, 2-minute time intervals containing missing data rows are not included to 5-minute data aggregation. After that, volume heavy vehicles represented per lane, transformed into passenger car volume. At the next stage, these volumes were transformed to the equivalent hourly flow rates per lane. Meanwhile, average speeds per lane are used to calculate volume-weighted average flow speed of the road section. With the help of these organized speed and flow rates, time-speed and time-flow rate diagrams are produced for every day.

These scattered time-speed and time-volume diagrams were used to determine the breakdown phenomena. The “optimum speeds” were observed as 50, 50 and 70 km/h respectively for RTMS no 324, 325 and 326 by with the help of flow rate-speed diagrams. As a result, breakdown flow rates and time intervals are determined. Afterwards, the probabilities of breakdown flow rates (capacity values) were calculated by using the direct breakdown probability estimation method and the estimation of probability distribution function method. Additionally, the estimation of breakdown probability distribution function is calculated with two different methods as parametric and non-parametric. In the non-parametric method, Kaplan-Meier (product limit) method was applied by using of survival function, while in the parametric method, Weibull probability estimation function was applied with the estimating of scale and shape parameters by using of “maximum likelihood” method.

At the end of the study, the capacity values calculated by the stochastic methods are compared with each other and with the deterministic capacity values determined by HCM 2010. The flow rates have the capacity range between 15%-85% probability values calculated by Weibull probability distribution were calculated as 1577-1732 pc/h/ln for freeway upstream, 1858-2086 pc/h/ln for ramp road, 2081-2270 pc/h/ln lane for freeway downstream. The maximum flow rates observed in these check points are 1828, 2157 and 2366 pc/h/ln accordingly. The values determined by HCM 2010 for the same points are as 2300, 2200 and 2300 pc/h/ln accordingly.

As conclusion, when the results of direct probability estimation and probability distribution function estimation (stochastic approach) methods of determined breakdown flow rates shows that probability distribution function estimation gives more detailed results. To be able to produce probabilities for only determined flow rate groups and not being able to complete probability distribution function of all 3 RTMSs (being highest probability value of 0.9 at RTMS no 325) have been identified as weak points of the direct probability estimation method.

Two different methods (parametric and non parametric) were applied for probability distribution function estimation. For nonparametric method; Kaplan-Meier method using “survival function”, for parametric method; “Weibull probability estimation function” using “maximum likelihood” method by calculating scale and shape parameters were applied. With Kaplan-Meier method, as being more detailed than

the direct probability estimation method, a breakdown probability was calculated for all the flow rates. But it has been concluded that this method also was inferior to Weibull probability distribution function as it couldn't produce a flow rate for every probability value and giving the same probability value for two consecutive flow rates if second one has no observation.

Lastly, the capacity values, even having the highest (%100) probability that calculated with Weibull probability distribution method, seems to be at a low capacity rate for observed freeway except the downstream flow and especially upstream flow. In this case, it is conceivable that behaviors which we can see frequently in the drivers, like lane breaches, frequent lane changing, behaving impatient, can cause capacity loss by causing distortions and fluctuations to the flow.

1. GİRİŞ

Son yıllarda karayolu trafik tıkanıklığı, sosyal ve ekonomik boyutları olan önemli bir sorun haline gelmiştir. Trafikte geçen bekleme ve yolculuk sürelerinin artmasıyla, kentlerdeki yaşam kalitesi her geçen gün daha da olumsuz etkilenmektedir. Genellikle, bir yol kesiminde, o yolun kapasitesinin oluşan talebi karşılayamaması durumunda oluşan trafik tıkanıkları, özellikle kentiçi otoyolların şişboynu (darboğaz) kesimlerinde yaşanmaktadır. Bu nedenle, şişboynu kesimlerdeki trafik tıkanıklarının incelenmesinde kapasitenin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

1.1 Konu

Karayolu kapasitesinin tanımı ve belirlenmesi çalışmalarında, araştırmacılar tarafından önemli gelişmeler elde edilmiştir. Özellikle, Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan Ulaştırma Araştırma Kurulu (Transportation Research Board-TRB) tarafından hazırlanan Karayolları Kapasite El Kitabı (HCM) bu alanda önemli çalışmalar içermektedir. Ülkemizde de genellikle kaynak olarak kabul edilen bu kitaba göre, karayolu kapasitesinin tanımı, "hakim karayolu, çevre, trafik ve kontrol koşullarında, bir şeridin bir noktasından ya da bir kesiminden geçmesi beklenen taşıtların en büyük saatlik akım değeri"dir (TRB, 2010). Ortaya konulan bu tanımlamaya göre kapasite sabit bir sayısal değer olarak kabul edilmektedir. Bu bakış açısına göre, karayolu kapasitesi deterministik bir olaydır. Ancak, bu değerın hesaplanması için belirlenen şartlarda, Kuzey Amerika'daki yol ve trafik şartları ile sürücü davranışları esas alınmıştır. Dolayısıyla, belirlenen şartların farklı karayollarında, farklı özellikler göstermesi nedeniyle, belirlenen kapasite değeri de farklılık gösterebilir. Öte yandan, aynı şartlar altında da, yolun belirlenen kapasite değeri altında ya da üzerindeki değerlerde tıkanması ve en kötü düzey olan F hizmet düzeyinde hizmet vermesi durumu söz konusudur. Bu nedenle, son zamanlarda konu ile ilgili yapılan araştırmalarda, kapasite değeri sabit bir değer olmadığı üzerine yoğunlaşmıştır. Kapasite değeri sabit bir değil de bir rastgele

değişken olarak kabul edildiği bu çalışmalar, stokastik yaklaşımla ele alınan çalışmalardır.

Bu tez çalışmasında, trafik tıkanıklarının çok sık gerçekleştiği, otoyol şişeoynu olarak da kabul edilen bir katılım kesimi için iki farklı (deterministik ve stokastik) yaklaşım ile kapasite hesabı ele alınmıştır. Öncelikle deterministik yaklaşıma göre, katılım kesimleri için HCM 2010'un belirlediği sabit kapasite değerleri incelenmiştir. Sonrasında stokastik yaklaşım ile söz konusu kesimdeki en büyük akım değerleri, yani rastgele değişkenler belirlenmiş ve bu değişkenlerin olasılık dağılımları incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler sonucunda da farklı olasılıklarda, farklı kapasite değerleri belirlenmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülkemizde işletilmekte olan otoyol kesimlerinde gözlenen trafik tıkanıklarına çözüm üretebilmenin yolu, ilk olarak karayolu kapasitesinin mümkün olduğunca doğru hesaplanabilmesidir. Bu amaçla çalışma alanı olarak, trafik tıkanıklarının zirve saatlerde oldukça sık gözlendiği bir otoyol katılım kesimi belirlenmiştir.

İncelenen kesim, ülke otoyol ağı içerisinde TEM Otoyolu (Trans European Motorway-Avrupa Geçiş Otoyolu) olarak bilinen ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından O2 olarak adlandırılan, Avrupa yol ağı içerisindeki adı ile E80 olan yolun üzerinde yer almaktadır. İstanbul ili Anadolu yakası içerisinde kalan bu kesim, O2 otoyolunun Ankara-Edirne yönüne Ümraniye ilçesinden katılımı sağlayan kesimdir. Bu kesimde, ana yol ve katılımdaki taşıtların hız ve hacim verileri ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, söz konusu otoyol kesiminin iki farklı yaklaşımla kapasite değerlerinin hesaplanarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.3 Çalışmanın Organizasyonu

Çalışma 5 bölümde kurgulanmıştır. Giriş bölümü olan 1. Bölüm'de, çalışmanın konusu, amacı ve kapsamı açıklanmıştır. 2. Bölüm'de otoyol katılım kesimlerinin kapasite değerlerinin hesaplanması anlatılmıştır. Otoyol katılım kesimlerinin özelliklerinin açıklanmasından sonra, deterministik kapasite değerleri HCM 2010'un belirlediği değerler üzerinden sunulmuştur. Ardından ayrıntılı olarak 3 farklı

stokastik otoyol kapasite hesabı yöntemi açıklanmıştır. 3. Bölüm’de çalışma alanı ile ilgili bilgiler sunulmuştur. İncelenen otoyol katılım kesiminin özellikleri ve bu kesime ait analizlerde kullanılmak üzere sağlanan verilerin düzenlenmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir. 4. Bölüm’de ise, düzenlenen verilerin stokastik kapasite hesabı için nasıl modellendiği ve bunun sonucunda elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Son olarak 5. Bölüm’de ise, deterministik yaklaşımla belirlenen kapasite değerleri ile stokastik yaklaşım yöntemleri sonucunda hesaplanan kapasite değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. OTOYOL KATILIM KESİMLERİNDE KAPASİTE

Otoyol, taşıt ve yaya trafiğinin kullanımı için oluşturulmuş kamuya açık alanlar olarak tanımlanan karayolundan farklı olarak; yalnızca motorlu taşıt trafiğine ayrılmış, daha yüksek yolculuk hızı, iyileştirilmiş güvenlik düzeyi ve yüksek trafik hacmine sahip, tam erişim kontrollü, özelleşmiş yol türüdür.

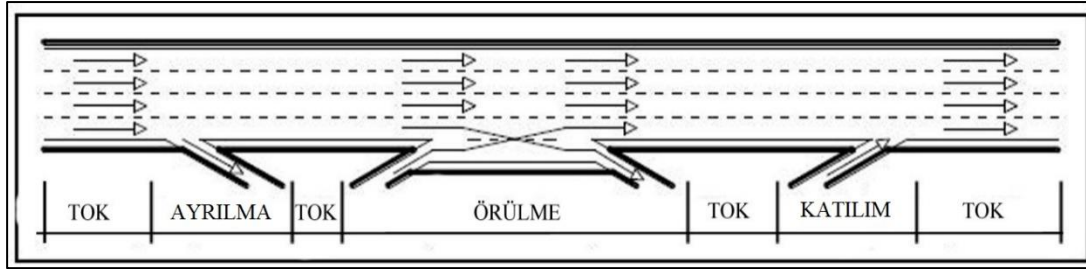
Otoyollarda iyileştirilmiş güvenlik düzeyini sağlamak için otoyola giriş ve çıkışlarda, bir başka deyişle kapasitenin etkilendiği kesimlerde erişim kontrolünün sağlanması gerekir. Otoyollar tam erişim kontrolünün sağlandığı yollardır. Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Çalışanları Birliği (American Association of State Highway and Transportation Officials), AASHTO, tam erişim kontrolünü; karayoluna erişimi sağlayan giriş ve çıkış rampalarının seçilmiş bazı yollara uygulanması, diğer yollar ile eşdüzey kesişmelere ve karayoluna komşu özel mülkiyet alanlarından yola doğrudan erişilmesine izin verilmemesi olarak tanımlamıştır (AASHTO, 2001). Bu tanıma uygun olarak HCM 2010 otoyolu, belirli tip taşıt trafiğinin kullanımına her bir yönde iki veya daha fazla şeridin olduğu, tam erişim kontrollü bölünmüş karayolları olarak tanımlamıştır. Bu tür yollar, kesintisiz trafik akımına sahiptir. Işıklı kavşakların ve denetimli eşdüzey kavşakların bulunmadığı, otoyola katılma ve otoyoldan ayrılma hareketlerinin yalnızca giriş ve çıkış rampalarından gerçekleştirildiği yollardır.

Türkiye’de ise otoyol için erişme kontrollü karayolu tanımı kullanılmıştır. 11 Haziran 1972 tarih ve 14212 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 1593 sayılı Erişme Kontrollü Karayolu Kanunu (Url-1) ile 18 Ekim 1983 tarih ve 18915 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu’nda (Url-2) erişme kontrollü karayolu tanımı yapılmıştır. İlgili kanunlara göre erişme kontrollü karayolu (otoyol-ekspresyol); özellikle transit trafiğe ayrılan; belirli yerler ve şartlar dışında giriş ve çıkışın yasaklandığı; yaya, hayvan ve motorsuz taşıtların giremediği; ancak izin verilen motorlu taşıtların yararlandığı ve trafiğin özel kontrole tabi tutulduğu karayolu olarak tanımlanmıştır.

Tarım traktörleri, bisiklet, mopet, motor hacmi 50 cm³'ten daha küçük olan motosikletler, vb. gibi bazı taşıt türlerinin bu tür yollar üzerindeki hareketi kesinlikle yasaklanmıştır. Otoyol alanına giren arazi parçası tel örgülerle sınırlanarak bu yasak fizikî engelle de desteklenmiştir. Otoyola girmesine izin verilen trafiğin bu yola giriş ve çıkışları, ana trafiği hiçbir şekilde kesmeyecek şekilde yalnızca ayrılma ve katılma hareketleri ile düzenlenmiştir. Otoyolun diğer yollara bağlanması durumunda bu bağlantılar alt ve üst geçitler şeklinde farklı düzeyde kavşaklarla sağlanmaktadır. İki yönlü trafik birbirinden orta ayırıcı (refüj) ile otoyol boyunca bütünüyle ayrılmıştır.

Otoyollar; yerleşim bölgelerinden geçişte "kent içi otoyol" (urban freeway), yerleşim bölgelerine yaklaşımlarda "kent dışı otoyol" (suburban freeway) ve yerleşim bölgeleri dışında "kırsal otoyol" (rural freeway) olarak adlandırılmaktadır (TRB, 2000).

Otoyollar, üzerindeki trafik akımlarının hareketlerine göre farklı kesimlere ayrılırlar. HCM 2010 katılma, ayrılma ve örülme olmak üzere üç farklı trafik akım hareketi, bu hareketlere göre de üç farklı otoyol kesimi belirlemiştir. Bu kesimler; "katılım ve ayrılma kesimleri" (merge, on-ramp and diverge, off-ramp segments), "örülme kesimi" (weaving segment) ve "temel otoyol kesimi-tok" (basic freeway segment) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.1).

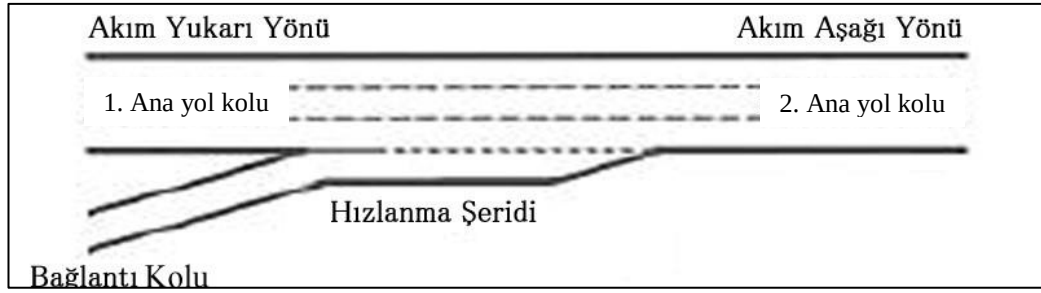


Şekil 2.1: Bir otoyolu oluşturan kesimler (Tanış, 2013).

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, katılım ve ayrılma kesimleri, iki veya daha fazla trafik akımının tek bir akımda birleştiği (katılım) ya da tek bir trafik akımının iki veya daha fazla akıma ayrıldığı (ayrılma) kesimlerdir. Katılım kesiminde ana yol akımına erişmeye çalışan trafik akımının katılma, ayrılma kesiminde ise ana yol akımından uzaklaşmaya çalışan trafik akımının ayrılma hareketi söz konusudur. Örülme kesimleri, aynı yönde hareket eden iki veya daha fazla trafik akımının, belirli bir mesafe boyunca herhangi bir trafik kontrol cihazı olmaksızın birbirinin içinden geçtiği kesimlerdir. Bu kesimler, bir katılım kesiminden sonra gelen ve bu kesimin

etkili derecede yakınında bulunan bir ayrılma kesiminin bulunması ve bu iki kesimin bir yardımcı şeritle birbirine bağlanması durumunda oluşur. Temel otoyol kesimleri ise örölme, katılım ve ayrılma kesimi olmayan tüm kesimlerdir (TRB, 2010).

Bu çalışma kapsamında incelenecek olan otoyol katılım kesimi; bir bağlantı kolu (ramp roadway) ve iki ana yol (otoyol) kolu olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır (TRB 2010). Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bağlantı kolu, akım yukarı yönünde yer alan 1. ana yol koluna bir hızlanma şeridi ile katılır ve akım aşağı yönünde yer alan 2. ana yol koluna dahil olur.



Şekil 2.2: Bir katılım kesiminin bileşenleri

2.1 Deterministik Kapasite

Deterministik yaklaşım, bir olgunun aynı koşullar ve aynı bileşenler dahilinde her zaman aynı sonucu vereceğini ve bu durumun her zaman öngörülebileceğini söyleyen yaklaşımdır. HCM’nin otoyollar için yaptığı kapasite tanımı da bu yaklaşıma sahiptir. HCM’ye göre otoyol kapasitesi, “hakim yol, çevre, trafik ve kontrol koşullarında, bir şeridin bir noktasından ya da bir kesiminden geçmesi beklenen taşıtların en büyük saatlik akım değeri”dir. Belirlenen en büyük saatlik akım (kapasite) değeri, aynı koşullar altında sabit bir değer olarak kabul edilir. Bu değer her aşıldığında, söz konusu yolda trafik tıkanıklığının gözleneceği öngörülür.

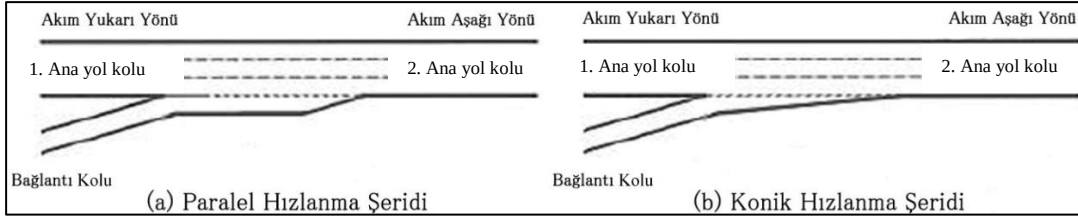
Bu çalışma kapsamında, bir katılım kesimi için kapasite değerleri incelenecektir. HCM’ye göre, bir otoyolun kapasitesi otoyol üzerindeki trafik akımlarının hareketleri ile belirlenen otoyol kesimlerinde farklılık gösterir. Buna ek olarak, temel otoyol kesimi haricindeki kesimler için de belirlenen farklı kontrol noktalarına (checkpoints) göre, farklı kapasite değerleri belirlenmiştir. Otoyol katılım kesimlerinin kapasite değerleri için üç farklı kontrol noktası belirlenmiştir.

noktalarda akım yukarı ya da akım aşağı yönde şerit eklenmesi ya da şerit daralması söz konusu ise, kapasitenin her iki noktada da kontrol edilmesi gerekmektedir.

Katılım etki alanındaki en büyük akım değeri (V_{R12}), bağlantı kolundan hızlanma şeridine gelen akım (V_R) ile ana yolun en sağ 1. ve 2. şeritlerinden gelen akımı (V_{12}) kapsamaktadır. Ana yoldan katılım kesimine yaklaşan toplam şerit sayısının, V_{12} akım değerini etkilemediği kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, ana yoldan yaklaşan taşıtlar, bağlantı kolundan gelen taşıtlardan sakınmak için sola yönelirler. Ana yoldaki en sağ 1. şeritten gelen taşıtlar, en sağ 2. şeride yönelir ve ana yoldaki toplam şerit sayısından bağımsız olarak yalnızca bu iki şeridin etkilendiği kabul edilir. Ana yoldan katılım kesimine yaklaşan toplam şerit sayısı, ancak katılım kesiminin belirli bir mesafe öncesinde ya da sonrasında bir katılım ya da ayrılma kesiminin var olması durumunda etkileyicidir. Bu durumda söz konusu mesafenin yakınlığına ve toplam şerit sayısına göre belirlenen oranlar doğrultusunda V_{12} akım değerinde azalma görülür.

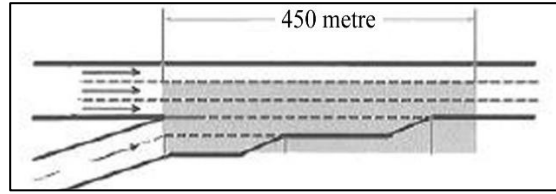
Katılım etki alanında, yalnızca talebin belirlenen en büyük akım değerini aşması durumu, F hizmet düzeyinin saptanması için yeterli değildir. Bunun için ana yol ya da bağlantı kolunda da F hizmet düzeyinin gözlenmesi gerekir. Ana yol ve bağlantı kolunda herhangi bir tıkanıklık gözlenmeksizin yalnızca katılım etki alanında bir tıkanıklık gözlenmesi, genellikle söz konusu alanda bu yöntem ile belirlenen şerit değiştirme düzensizliklerinin beklenenden daha fazla olduğu anlamına gelir. Öngörülen yoğunluklar gerçekte olandan daha düşük, öngörülen hızlar ise gerçekte olandan daha yüksektir. Bu öngörüler ise hızlanma şeridinin uzunluğu ile belirlenir. Hızlanma şeridinin uzunluğu arttıkça, bağlantı kolundan katılım etki alanına girecek taşıtlar için daha fazla fiziksel alan oluşur ve hızlarının artacağı, yoğunluğun ise azalacağı öngörülür.

Öte yandan hızlanma şeridi, paralel ve konik olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilir. Bağlantı kolunun katılımını ana yola paralel olarak sağlayan şerit “paralel hızlanma şeridi” (Şekil 2.4.a), konik olarak sağlayan şerit ise “konik hızlanma şeridi” (Şekil 2.4.b) olarak tanımlanır.



Şekil 2.4: Hızlanma şeridinin geometrik şekilleri (HCM, 2010).

Katılma etki alanının işleyişi ve bu alandan geçebilecek en büyük akım değeri, hızlanma şeridinin bu geometrik tasarımından etkilenmez. Ancak bağlantı kolunun 2 şeritli olması durumunda, hızlanma şeridi ve dolayısıyla da katılma etki alanı bu durumdan etkilenir. Tek şeritli hızlanma şeridinin uzunluğuna bağlı olarak değişen öngörüler, bu durumda da değişir. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, hızlanma şeridinin bir kısmının 2 şeritli olarak tasarlanması ve genellikle tek şeritli tasarımlara göre daha uzun olması, bağlantı kolundan katılım etki alanına girecek taşıtlar için daha fazla fiziksel alan oluşturur.



Şekil 2.5: İki şeritli hızlanma şeridi tasarımı (HCM, 2010).

Dolayısıyla taşıtların hızlarının artacağı, yoğunluğun ise azalacağı öngörülür. Ancak bu durum, katılım etki alanından geçebilecek en büyük akım değerini ya da otoyolun kapasitesini arttırmaz. Benzer şekilde bağlantı kolunun da kapasitesi etkilenmez, ancak daha fazla fiziksel alan olduğu için talebin daha düzenli ve daha yüksek bir hizmet düzeyinde işleyebileceği öngörülür.

2.1.2 Otoyol katılım kesimlerinde deterministik kapasite değerleri

HCM 2010 otoyol katılım kesimlerindeki kontrol noktaları için sabit kapasite değerleri belirlemiştir. Çizelge 2.1'de serbest akım hızlarına (SAH) ve bir yöndeki toplam şerit sayısına göre otoyolun akım yukarı ya da aşağı yönlerindeki kapasite değerleri ile katılım etki alanından geçebilecek en büyük akım değerleri birim otomobil (bo) cinsinden gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Otoyolun akım aşağı ve akım yukarı yönlerindeki kapasite değerleri ile katılım etki alanından geçebilecek en büyük akım değeri (HCM, 2010).

SAH (km/sa)	Otoyolun Akım Aşağı ve Yukarı Yöndeki Kapasite Değerleri (bo/sa)				Katılım Etki Alanından Geçebilecek En Büyük Akım Değeri V _{R12} (bo/sa)
	<u>Bir Yöndeki Şerit Sayısı</u>				
	2	3	4	>4	
≥115	4800	7200	9600	2400/şrt	4600
105	4700	7050	9400	2350/şrt	4600
95	4600	6900	9200	2300/şrt	4600
90	4500	6750	9000	2250/şrt	4600

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, otoyolun akım yukarı ya da aşağı yönlerindeki kapasite değerleri, 115 km/sa hız ve üstü, 105, 95 ve 90 km/sa olmak üzere 4 farklı SAH’na göre belirlenmiştir. Bu değerler, her bir SAH için şerit başına belirlenen akım değerlerinin (sırasıyla 2400, 2350, 2300 ve 2250 bo/sa) şerit sayısı (2, 3, 4 ve 4’ten fazla) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. “>4” ile ifade edilen 4 şeritten daha fazla şeride sahip olan otoyolların kapasite değeri içinse, söz konusu sütundaki her bir SAH için belirlenen akım değerlerinin mevcut şerit sayısı ile çarpılması gerekmektedir.

Buna göre, tez çalışması kapsamında incelenecek olan, bir yönde toplam 4 şeritli otoyolun akım aşağı yöndeki kapasite değeri, 95 km/sa SAH için 9200 (2300x4) bo/sa olarak belirlenmiştir. Söz konusu otoyolda talebin 9200 bo/sa olan kapasite değerini aşması durumunda tıkanıklık gözleneceği öngörülür. Bu durumda akım aşağı yönden geriye doğru kuyruk başlayacak, katılım etki alanından akım yukarı yöne kadar devam edecektir. Katılım etki alanındaki talebin, belirtilen geçebilecek en büyük akım değerini aşp aşmadığına bakılmaksızın, otoyol F hizmet düzeyine geçecektir.

Öte yandan, çizelgede katılım etki alanından geçebilecek en büyük akım değerinin 4600 bo/sa olduğu, otoyolun serbest akım hızından ve bir yöndeki toplam şerit sayısından etkilenmediği görülmektedir. Talebin 4600 bo/sa değerini aşması durumunda, otoyolun akım aşağı yöndeki kapasitesi aşılmadığı sürece, otoyolda F hizmet düzeyi görülmeyecektir. Bu durumda, otoyolda akım yukarı yönden gelen araçların en sağ 1. ve 2. şeritlerin yanındaki (sol dış taraftaki) şeritlere yönelmesi ve şeritlerin bu yöntemle göre tahmin edilenden daha fazla yoğunluğa sahip olması

beklenir. Sonuç olarak, talebin yalnızca katılım etki alanından geçebilecek en büyük akım değerini aşması durumunda, yoğunluğun artacağı ancak herhangi bir kuyruğun oluşmayacağı ve F hizmet düzeyine geçilmeyeceği öngörülür.

Çizelge 2.2’de HCM 2000 ve 2010’a göre tek şeritli ve 2 şeritli bağlantı kolları için kapasite değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Bağlantı Kolu Kapasitesi (HCM, 2000-2010).

Bağlantı Kolu SAH (km/sa)	Bağlantı Kolu Kapasitesi (bo/sa)		
	Tek Şeritli HCM 2000 ve 2010	2 Şeritli HCM 2000	2 Şeritli HCM 2010
>80	2200	4400	4400
>65-80	2100	4100	4200
>50-65	2000	3800	4000
≥30-50	1900	3500	3800
<30	1800	3200	3600

Çizelge 2.2’de, 80 km/sa’ten büyük, 80-65, 65-50, 50-30 ve 30 km/sa’ten küçük hızlar olmak üzere 5 ayrı SAH aralığı belirlenmiştir. Belirlenen her bir SAH aralığı için HCM 2000 ve 2010’da şerit başına akım değerleri sırasıyla 2200, 2100, 2000, 1900 ve 1800 bo/sa olarak hesaplanmıştır. 2 şeritli bağlantı kolu kapasitesi, HCM 2000’de sırasıyla 4400, 4100, 3800, 3500 ve 3200 bo/sa olarak, HCM 2010’da ise şerit başına akım değerlerinin 2 ile çarpılmasıyla belirlenmiştir. Bu durumda, HCM 2000’de, 80 km/sa SAH’nın altındaki hızlar için, HCM 2010’a göre daha düşük kapasite değerlerinin belirlendiği görülmektedir.

Öte yandan, tez çalışması kapsamında incelenecek olan otoyol katılım kesimindeki 2 şeritli bağlantı kolunun kapasite değeri, HCM 2000 ve 2010’da, 85 km/sa serbest akım hızı için 4400 (2200x2) bo/sa olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu bağlantı kolunda talebin 4400 bo/sa olan kapasite değerini aşması durumunda tıkanıklık gözleneceği öngörülür. Geriye doğru kuyruk oluşacak ve bağlantı kolu F hizmet düzeyine geçecektir. Ancak bu durum, otoyolun ve katılım etki alanının kapasitelerini ya da işleyişlerini etkilemeyecektir.

2.1.3 Türkiye’de deterministik kapasite hesapları

Gedizlioğlu (1988), 2x3 şeritli Boğaziçi Köprüsü’nün gişe bölgesine yaklaşan akımda gözlemlenen en büyük akım değerini 6663 tş/sa (3 şerit toplamı) ve zirve saat

yönündeki akıma karşı yön trafik şeritlerinden birinin daha tahsis edilmesi durumundaki en büyük akım değerini ise 7454 tş/sa (3+1 şerit toplamı) olarak vermiştir.

Gedizlioğlu ve Akad (1992), İstanbul ilinde yer alan ve O1 Otoyolu olarak tanımlanan 2x3 şeritli çevre yolunda, Avrupa - Anadolu yönünde Boğaziçi Köprüsü'nden hemen önceki Beşiktaş katılım kesimi için doğrusal ve logaritmik çözümleme yöntemlerini kullanarak kapasite değerleri hesaplamışlardır. Çalışma için katılım kesiminde 3 farklı ölçüm noktası belirlemişlerdir. Bu noktalardan ilki katılım kesiminde O1 otoyolunun akım yukarı yönü (Mecidiyeköy'den geliş), ikincisi Beşiktaş katılım kolu (2 şeritli), üçüncüsü ise O1 otoyolunun akım aşağı yönü olan Ortaköy Viyadüğü'dür. Çalışma sonucunda, ölçüm noktaları için her 2 yöneme göre hesaplanan kapasite değerleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3: O1 Otoyolu-Beşiktaş katılım kesimindeki ölçüm noktalarının kapasite değerleri (Gedizlioğlu ve Akad, 1992)

Yöntem	Ölçüm Noktalarındaki Kapasiteler (tş/sa)					
	1. O1 Otoyolu Akım Yukarı Yönü (tş/sa)		2. Beşiktaş Bağlantı Kolu (tş/sa)		3. Ortaköy Viyadüğü (tş/sa)	
	Tüm Şeritler	Şerit Başına	Tüm Şeritler	Şerit Başına	Tüm Şeritler	Şerit Başına
Doğrusal	5900	1967	3400	1700	8365	2789
Logaritmik	4500	1500	2800	1400	6600	2200

Çizelgede görüldüğü gibi, her 3 ölçüm noktası için de doğrusal yöntemle belirlenen kapasite değerleri, logaritmik yöntemle belirlenen kapasite değerlerinden çok daha yüksektir. Öte yandan, 1. ölçüm noktasında tüm şeritler için gözlenen en yüksek hacim değeri 3720 tş/sa olup her 2 yöntem ile belirlenen kapasite değerinden (5900 ve 4500 tş/sa) de düşüktür. Benzer şekilde 3. ölçüm noktasında da tüm şeritler için gözlenen en yüksek hacim değeri 5640 tş/sa olup yine her 2 yöntem ile belirlenen kapasite değerinden (8365 ve 6600 tş/sa) de düşüktür. Bu durum, yolun kapasitesinin oldukça altında kullanıldığı şeklinde yorumlanmıştır. Ancak, çalışmada, kapasitenin sahada gözlenen en büyük değerden hesaplanması gerektiği bilgisi göz ardı edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bir diğer sonuç ise, otoyolun akım yukarı ve aşağı yönleri arasındaki kapasite farkıdır. Doğrusal yöntem ile şerit başına akım yukarı yönünde 1967 tş/sa, akım aşağı yönünde ise 2789 tş/sa kapasite değeri bulunmuştur. Logaritmik yöntem içinse bu değerler sırasıyla 1500 ve 2700 tş/sa

olarak hesaplanmıştır. Bu durumun sebebi olarak, sabırsız sürücülerin otoyolu 4 şeritli, bağlantı kolunu ise 3 şeritli olarak kullanmaya çalışması ve hızlanma şeridinin yetersiz uzunlukta olması gösterilmiştir.

Şahin (2001), O1 Otoyolu'nun Anadolu – Avrupa yönünde Boğaziçi Köprüsü'nden hemen önceki Beylerbeyi katılım kesimi (gişeler kesimi) için kapasite kullanım düzeyi çalışması yapmıştır. Katılım kesiminin akım aşağı yönünde sabah zirve saatlerde gözlemlediği en yüksek hacim değerini tüm şeritler için 6055 tş/sa olarak belirtmiştir. Şerit başına 2018 tş/sa olan bu gözlem değerinin, standart ölçülerdeki bir karayolunun normal şartlar altındaki (serbest taşıt hızlarının uygulandığı) durum için (2000 tş/sa) saatlik kapasite değerini verdiğini kabul etmiştir.

Ozan (2009), 2x3 şeritli İzmir-Aydın Otoyolu'nun hizmet düzeyini incelemiştir. Bu çalışmada, otoyolda ölçülmüş YOGT değerlerinden otoyoldaki trafik artışının eğilimi ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, 2009 yılı başı itibariyle otoyol enkesitinden bir yönde geçen geçen taşıt sayısının 2487 tş/sa değerine ulaştığı, şerit kapasitesi olarak 2200 tş/sa/şrt değerinin kullanılması durumunda hacim/kapasite oranının (v/c) %38 olduğu ve otoyolun B hizmet düzeyinde işletildiği belirtilmiştir.

Tanış (2013), İstanbul ilindeki kent içi otoyolların kavşaksız kesimlerinde, serbest akım hızını ve kapasiteyi etkileyen faktörler üzerine yaptığı çalışmaya göre, temel otoyol kesimlerinde 90, 100 ve 110 km/sa değerindeki serbest akım hızları için sırasıyla 70, 80, 90 km/sa kapasite hızları belirlemiş ve bu hızlar için hesapladığı kapasite değerlerini sırasıyla 2340, 2240 ve 2200 bo/sa/şrt olarak önermiştir.

Aksoy ve Ögüt (2014), İstanbul ilinde Avrupa Geçiş Otoyolu (TEM, Trans European Motorway) üzerinde bir katılım kesiminde, ana yol ve bağlantı kolundaki trafik akımlarının etkileşimini incelemişlerdir. Söz konusu katılım kesimi, 2 şeritli bir bağlantı kolu ve akım yukarı yönde 3, aşağı yönde 4 şeritli bir ana yoldan oluşmaktadır. Bu kesimde, 2 dakikalık zaman dilimlerinden oluşan 1 yıllık verinin her bir günü için elde ettikleri hız-zaman ve kümülatif hacim-zaman grafikleri üzerinden 384 tıkanıklık durumu belirlemişlerdir. Tıkanıklık durumunu ise, en az 15 dakika boyunca ortalama hızların, 60 km/sa olarak belirlenen kapasite hızına eşit ya da küçük olduğu ve en büyük hacim değerinden hemen sonra gözlenen durumlar olarak tanımlamışlardır. Ardından, ana yolun akım yukarı yönünde tıkanıklık durumundan hemen önce gözlenen en büyük akım değerleri ile bu gözlem

dilimlerinde bağlantı kolunda gözlenen akım değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, bağlantı kolundaki akımın ana yoldaki akımı etkilediği, bağlantı kolundaki akım değerleri arttıkça, ana yolun kapasitesinin azaldığı sonucuna varmışlardır. Buna göre, tıkanıklık öncesindeki akım değerlerinin, bağlantı kolunda 1755 ile 3060 bo/sa arasında değişirken, anayolun akım aşağı yönünde 3360 ile 6210 bo/sa arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

2.2 Stokastik Kapasite

Stokastik kelimesi, olasılıksal/rastsal anlamına gelmektedir. Lorenz ve Elefteriadou (2001), karayollarında talebin kapasiteyi aşmasıyla oluşan tıkanıklık (kırılma) olayının da oluş ihtimali içeren (probabilistik/olasılıksal) bir olay olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, akım değerleri birbirinden farklı olan çok sayıda tıkanma olayını gözlemleyerek akım değeri arttıkça tıkanma olayının gözlemlenme olasılığının arttığını ve deterministik yaklaşımla belirlenen otoyol kapasite değerinin altında veya üstünde gerçekleşebildiğini bildirmişlerdir. Bu durumda, kapasite değerini sabit bir değer olarak değil, tesadüfi bir değişken olarak ele almak gerekir. Lorenz ve Elefteriadou'ya göre de HCM'nin verdiği kapasite tanımı, tıkanma olayının stokastik (rastgelelik özelliği olan) doğasını içermemektedir.

Benzer şekilde Brilon vd. (2005) de kapasitenin sabit bir değer olmadığını düşünmektedirler. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, talep belirlenen kapasite değerini henüz aşmamışken de tıkanmanın gerçekleşebildiğini ya da aştığı halde tıkanmanın gerçekleşmediğini gözlemlemişlerdir. Örnekle açıklamak gerekirse, HCM'nin tanımına göre, bir karayolu kesimi için belirlenmiş olan 3600 bo/sa kapasite değeri için, talep 3599 bo/sa olarak gözlemlendiğinde trafiğin akıcı koşullarda hizmet vermesi, 3601 bo/sa olarak gözlemlendiğinde ise kırılmanın gözlenerek tıkanık koşulların gerçekleşmesi beklenir. Ancak gerçek trafik koşullarında bu durumun kabul edilmesi mümkün değildir.

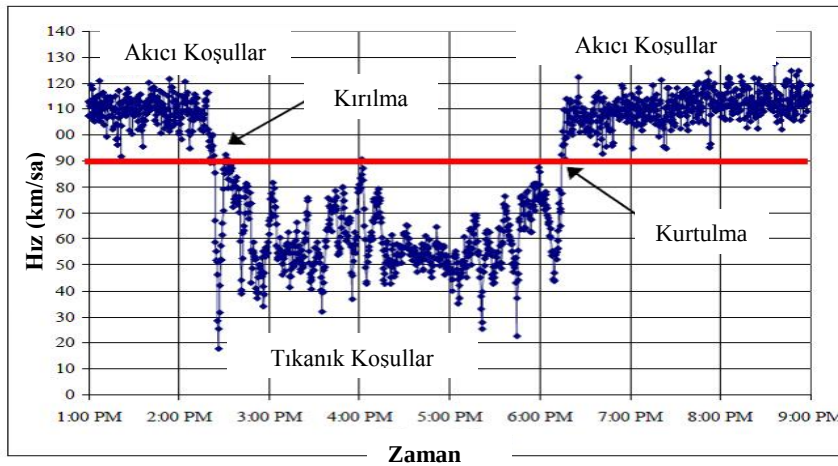
Elefteriadou ve Lertworawanich (2003), otoyol kapasitesini, tıkanma olayının görülme olasılığını da içerecek şekilde, "uniform bir otoyol kesiminin belirtilen yönü için hâkim trafik ve yol şartlarında, makul varsayılabilir bir tıkanma olasılığına karşı gelen akım değeri" olarak tanımlamışlardır. Kapasitenin aynı geometriye sahip

olsa dahi farklı yollar için farklı değerler aldığı ve aynı yol için dahi günden güne farklı değerler gösterebileceğini belirtmişlerdir.

Bu durumda kapasite değeri, bir zaman serisine ait gözlemlere bağlı olarak kendi olasılık dağılımına göre değerlendirilmesi gereken tesadüfi bir değişkendir ve her tıkanıklık olayını tek tek değerlendirmek gerekir. Çünkü tıkanıklığa neden olan en büyük akım (kapasite) değerleri, her tıkanıklık olayı için farklı değerler alabilmektedir. Başka bir deyişle, her tıkanıklık olayının kendi kapasite değeri vardır. Bu nedenle öncelikle tıkanıklık kavramı ayrıntılı olarak ele alınmalı ve tıkanıklık akım değerleri belirlenmelidir.

2.2.1 Kırılma kavramı

Lorenz ve Elefteriadou (2000), kırılma olayını en genel tanımda, bir karayolu kesiminde akıcı trafik koşullarından, tıkanık trafik koşullarına geçiş olarak tanımlamaktadır. Bu durumda, “tıkanık ve akıcı koşul” kavramlarının ayrıntılı olarak irdelenmesi gerekir. Lorenz ve Elefteriadou’ya göre, bu iki durum arasındaki geçiş sırasında bir “sınır hız” belirlenmelidir. Gözlenen ortalama hızların, akıcı koşulun gerçekleşmesi için sınır hızın üzerinde, tıkanık koşulun gerçekleşmesi için ise altında olması gerekir. Kırılma kavramını açıklamak için Kanada’da 3 şeritli bir otoyol kesiminde yaptıkları 8 saatlik gözleme ait hız-zaman grafiği, Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Akıcı ve tıkanık koşullar için hız-zaman grafiği (Lorenz ve Elefteriadou, 2000).

Şekilde X ekseninde yer alan zamanlar, 20 saniyelik dilimleri temsil etmektedir. Y ekseninde gösterilen hızlar ise, her bir şeritteki akım hızlarının, şerit hacimleri ile ağırlıklandırılmasından elde edilen akım hızlarıdır. Kırmızı çizgi ile gösterilen sınır

hız, bu karayolu kesimi için 90 km/sa olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi, yaklaşık olarak saat 14:15'ten önce gözlenen ortalama hızlar, 100-120 km/sa arasında dalgalanan yüksek hızlardır. Bu zaman aralığı akıcı koşulu göstermektedir. Ancak, saat 14:15 dolaylarında ortalama hız ani bir düşüşle sınır hızın altında gözlenmiştir. Bu durum ile tıkanıklık başlamış ve yaklaşık olarak saat 18:15 dolaylarına kadar devam etmiştir. 18:15 dolaylarından itibaren de ortalama hızlar tekrar 90 km/sa'in üzerine çıkmış ve akıcı koşula dönmüştür. Lorenz ve Elefteriadou'nun yaptığı tanıma göre, akıcı koşullardan tıkanık koşullara geçiş sırasında, yani saat 14:15 dolaylarında "kırılma" olayı gerçekleşmiştir. Bunun aksine, tıkanık koşullardan, akıcı koşullara geçiş sırasında (saat 18:15 dolayları) gerçekleşen olay ise "kurtalma" olarak tanımlanmıştır. Öte yandan, 4 saat boyunca devam eden tıkanık koşullar sırasında, ortalama hızın nadiren de olsa yalnızca 20 saniyelik zaman dilimleri süresince (saat 14:35, 16:00 ve 18:00 dolayları) yine sınır hızın üzerine çıktığı gözlenmiştir. Ancak ortalama hızdaki bu artışların kalıcı olmayıp sönümlendiği görülmektedir. Bu gibi, belirlenen bir süreden (15 dakika) daha kısa süre boyunca, kırılma hızının altında ve üstünde görülen hızlar, kırılma ya da kurtalma olarak değerlendirilmemiştir.

2.2.1.1 Dilim süreleri

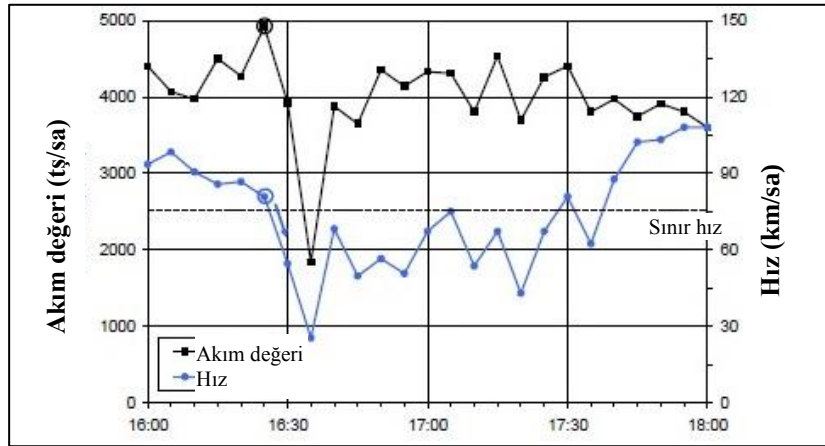
Gerçek bir kırılma olayı için, ortalama hızda ani bir düşüş gözlenmesi ve bu düşüşün de belirli bir süre devam etmesi beklenir. Bu süreyi belirlemek için de öncelikle veri dilimlerinin süresini doğru belirlemek gerekir.

Brilon ve Zurlinden (2003)'e göre, kırılma başlangıcını belirlemek için kısa süreli dilimleri kullanmak daha doğrudur. Çünkü trafik hacimleri ile kırılma arasındaki nedensel ilişkiyi belirlemek için uzun süreli dilimler, örneğin 1 saatlik dilimler, yetersizdir. Öte yandan, Lorenz ve Elefteriadou (2000)'nin çalışmasında olduğu gibi 20 sn gibi kısa süreli dilimler, hız sınırındaki geçici dalgalanma sayısında artışa sebep olduğu için gerçek kırılmanın belirlenmesi açısından yanıltıcı ayrıntı içermektedir. Bu nedenle Elefteriadou da çalışmasının devamında, dilimlerin 5, 10 ve 15 dakikalık süreler şeklinde toplulaştırmasını önermiştir. Brilon ve Zurlinden'in farklı süreli dilimler üzerine yaptıkları çalışmaya göre ise, 5 dakikalık dilim süresi en güvenilir sonuçları vermiştir. Bu 5 dakikalık dilim süreleri arasından, gerçek kırılma başlangıcının belirlenebilmesi için yalnızca ortalama hızın sınır hızın altında olduğunu gözlemlemek yanıltıcıdır. Ortalama hızdaki düşüşün, söz konusu dilimden önceki ve sonraki dilimlerin de hacim değerleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekir.

2.2.1.2 Kırılma dilimi

Geistefeldt ve Brilon (2009), genel tanımına uygun olarak kırılma dilimini tanımlamak için iki temel koşul belirlemişlerdir. Buna göre, kırılma başlangıcı olan ve “i” kırılma dilimi olarak tanımlanan dilim için “v” ortalama hız, “ v_t ” sınır hız ise; $v(i) > v_t$ ve $v(i+1) \leq v_t$ koşulları sağlanmalıdır. Yani kırılma diliminde ortalama hızın sınır hızın üzerinde olması, bir sonraki dilimde ise sınır hıza eşit ya da sınır hızın altında olması beklenir. Ancak daha önce de belirtilen ortalama hızdaki geçici dalgalanmalarda kırılma dilimini belirlemek için bu koşullar tek başına yetersizdir.

Geistefeldt ve Brilon, yeni koşullar belirlemek için Alman Otoyolları’nda yaptıkları çalışmayla kırılma dilimini daha ayrıntılı irdelemişlerdir. 2 şeritli bir yol kesiminden 1 yıl boyunca elde ettikleri 1 dakikalık hız ve hacim verilerini 5 dakikalık veriler halinde toplulaştırmışlardır. Bu hız ve akım verilerinin 2 saatlik bir zaman aralığına ait değişimi Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Şekilde X eksenini zamanı, Y ekseninin sol tarafı 5’er dakikalık hacim verilerinden elde edilen saatlik akım değerlerini, sağ tarafı ise hacim ağırlıklı ortalama hızları temsil etmektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen sınır hız, bu karayolu kesimi için 75 km/sa olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.7: Kırılma diliminin belirlenmesinde kullanılan hız ve akım değerlerinin zaman içindeki değişimi (Geistefeldt ve Brilon, 2009).

Şekilde mavi noktalar ile gösterilen ortalama hızlar incelendiğinde, saat 16:25'ten sonra sınır hızın altına düşüş gözlenmiştir. Bu saatten sonra tıkanıklık olarak tanımlanan durum 40 dakika boyunca devam etmiştir. Saat 17:05'te ortalama hız tekrar sınır hız değerinde gözlenmiştir. Ancak bu kurtulma kalıcı olmamış ve tıkanıklık durumu 25 dakika daha devam etmiştir. Saat 17:30'da ise ortalama hız tekrar geçici olarak sınır hızın üzerinde gözlenmiştir. Bu süreçte gözlenen 16:25, 17:05 ve 17:30 saatlerinde, sınır hıza bağlı tanıma göre üç ayrı kırılma başlangıcı

vardır. Ancak son iki kırılma başlangıcı, görüldüğü gibi devamlılığı olmayan durumlardır ve akım tarafından sönümlenmişlerdir. Buna karşılık şekilde saat 16:25'te görülen ilk kırılma başlangıcı, gerçek kırılma başlangıcıdır ve 16:25-16:30 kırılma dilimi olarak kabul edilir. Geistefeldt ve Brilon (2009), kırılma başlangıcını 5 koşul ile ifade etmişlerdir:

1. $v(i-1) > v_t$
2. $v(i) > v_t$
3. $v(i+1) \leq v_t$
4. $v(i+2) \leq v_t$
5. $0,5 \cdot [v(i-1) + v(i)] - 0,5 \cdot [v(i+1) + v(i+2)] > 10 \text{ km/sa}$

Buna göre $i-1$, i , $i+1$ ve $i+2$ olmak üzere 4 zaman dilimi belirlenmiştir. Söz konusu dilimin kırılma dilimi olarak kabul edilmesi için, kendinin ve kendinden bir önceki dilimin ortalama hızlarının sınır hızın üzerinde olması, kendinden sonraki iki dilimin ortalama hızlarının da sınır hıza eşit ya da sınır hızın altında olması gerekmektedir. Bu koşullara göre Şekil 2.7'de saat 16:25'teki dilimin kırılma dilimi olduğu, saat 17:05 ve 17:30'teki dilimlerin ise yukarıdaki koşulları sağlamadığı için kırılma dilimi (başlangıcı) olmadıkları görülmektedir. Daha ayrıntılı bir koşul olan 5. koşula göre ise, kırılma dilimi ve kendinden bir önceki dilimin ortalama hızları ile kendinden sonraki iki dilimin ortalama hızları arasındaki farkın, 10 km/sa'in altında olmaması beklenmektedir. Sonuç olarak, kırılma dilimini belirlemek için 5 dakikalık 4 zaman dilimi olmak üzere, toplam 20 dakikalık bir zaman aralığının incelenmesi gerekmektedir.

2.2.1.3 Kırılma akım değeri

Kırılma hacmi, belirlenen kırılma başlangıcının gerçekleştiği dilimde gözlenen hacim değeridir. Ancak bu değerler, kapasite belirleme amacıyla kullanıldığı için saatlik akım değerlerine dönüştürülerek incelenir ve "kırılma akım değeri" olarak adlandırılırlar. Geistefeldt ve Brilon'un çalışmasında da (Şekil 2.6), 5 dakikalık hacim verilerinden elde edilen akım değerleri siyah noktalar ile gösterilmiş ve kırılma başlangıcının saat 16:25'te meydana geldiği belirtilmiştir. Kırılma akım değeri ise, yine bu dilimde gözlenen ve şekilde siyah çember ile işaretlenmiş olan yaklaşık 5000 tş/sa olarak gözlenmiştir.

Stokastik kapasite hesabı için, belirlenen kırılma akım değerlerinin gerçekleşme olasılıklarını incelemek gerekir. Bunun için kırılma olasılıklarının doğrudan tahmini ve kapasite dağılım fonksiyonunun tahmini olmak üzere temelinde aynı kapasite tanımı olan iki farklı yöntem vardır.

2.2.2 Doğrudan kırılma olasılığı tahmini

Doğrudan kırılma olasılığı yönteminde, gözlenen akım değerleri eşit aralıklı gruplara ayrılır. Her bir akım değeri grubu için ayrı ayrı kırılma olasılığı hesaplanır. Bu yöntemin i akım değeri grubu için olasılık fonksiyonu Denklem 2.1’de verilmiştir.

$$F_c(q_j) = \frac{N_j}{n_j} \quad (2.1)$$

Burada;

$F_c(q_j)$ = j grubunun kırılma olasılığı,

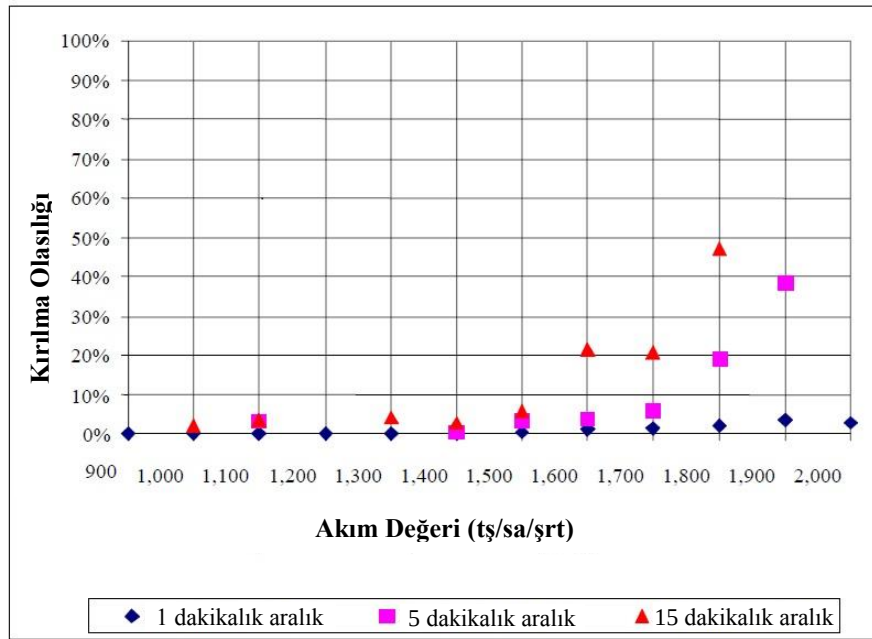
q_j = j grubundaki ortalama akım değeri tş/sa,

N_j = j grubunda kırılmanın gözlemlendiği akım değerlerinin sayısı,

n_j = j grubunda gözlenen tüm akım değerleri sayısıdır.

Doğrudan kırılma olasılığı fonksiyonu, j akım grubunda gözlenen kırılma sayılarının, yine j akım grubunda gözlenen tüm akım değerlerinin sayısına oranını hesaplayarak kırılma olasılığını belirler. Burada, N_j kapasiteye, n_j ise talebe yönelik sayılardır.

Lorenz ve Elefteriadou (2001), Kanada’da 401 numaralı otoyolun şişeboynu özelliği olan iki farklı (A ve B) katılım kesiminde 20 gün boyunca 40’ı aşkın tıkanma olayını gözlemlemişlerdir. Gözlem noktası olarak, otoyol katılım kesiminin akım aşağı yönünü seçmişlerdir. 20 saniyelik gözlem dilimleri ile elde ettikleri hacim değerlerini 5, 10 ve 15 dakikalık olmak üzere 3 farklı hacim değeri olarak toplulaştırmışlardır. Ardından bu değerleri şerit başına saatlik akım değerlerine çevirmiş ve 100 tş/sa’lik değerlere yuvarlayarak gruplara ayırmışlardır. A kesimi için 5, 10 ve 15 dakikalık hacim değerlerinden türetilen akım değerlerinin kırılma olasılıkları Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Şekilde X eksenini 100 tş/sa/şrt’lik akım değeri gruplarını, Y eksenini ise kırılma olasılıklarını (%0-100) ifade etmektedir. Mavi dörtgenler 1 dakikalık, pembe kareler 5 dakikalık ve turuncu üçgenler 15 dakikalık hacim değerlerinden türetilen saatlik akım değerlerinin kırılma olasılıklarını göstermektedir.



Şekil 2.8: Farklı zaman dilimlerine göre akım değeri-kırılma olasılığı grafiği (Lorenz ve Elefteriadou, 2000).

Şekle göre 15 dakikalık hacim değerlerinden türetilen veri seti için, 1700 teş/sa/şrt akım değerinin kırılma olasılığı %20’dir. Bir başka deyişle, 1700 teş/sa/şrt (yuvarlanmış) akım değerine sahip her 10 akım değerinden 2’sinde kırılma olayı gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, dilim süresi genişledikçe (1 dk’dan 15 dk’ya), aralığa denk gelen kırılma olayı sayısı arttığı ve veri sayısı azaldığı için kırılma olasılıklarının da arttığı görülmüştür. Buna karşın, dilim süresi genişledikçe kırılma akım değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Yani 1 dakikalık dilimlerden türetilen akım değerleri, 15 dakikalık dilimlerden türetilen akım değerlerinden daha büyüktür. Çalışmada, akım değeri arttıkça kırılma olasılığının da arttığı görülmektedir.

2.2.3 Kapasite dağılım fonksiyonu tahmini

Kapasite tanımına göre, akıcı koşullarda gözlenen en büyük akım değeri yani talep, kapasite değeridir. Bu değer sınır değerdir ve talep artmaya devam ederse kapasite talebi karşılayamadığı için ortalama hızlarda sınır hızın altına düşüş gözlenir, tıkanık koşullar oluşur. O halde kapasiteyi ölçmek için, talebin kapasite değerine eşit olduğu ya da kapasite değerini aşma eğiliminde olduğu durumların incelenmesi gerekir. Bu duruma uygun olarak kapasite dağılım fonksiyonu Denklem 2.2’de verilmiştir (Brilon vd. 2005).

$$F_c(q) = p(c \leq q) \quad (2.2)$$

Burada;

$F_c(q)$ = kapasite dağılım fonksiyonu,

p = olasılık,

c = kapasite tş/sa,

q = akım değeri tş/sa'tir.

Buna göre kapasite olasılığı belirlenirken, kırılma olayına sebep olan akım değerleri incelenir. Kapasitenin talepten daha düşük olduğu ya da talebe eşit olduğu durumlar ($c \leq q$) değerlendirilir.

Otoyol kapasitesinin dağılım fonksiyonu tahmini için parametrik olmayan ve parametrik olmak üzere iki yöntem vardır. Parametrik olmayan yöntemde Kaplan ve Meier (1958) tarafından geliştirilen sınır-çarpım yöntemi (product limit method) adı verilen yöntem ile sağkalım dağılım fonksiyonu, parametrik yöntemde ise en büyük benzerlik yöntemi ile şekil ve ölçek parametreleri hesaplanarak Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılır.

2.2.3.1 Parametrik olmayan yöntem – Kaplan-Meier yöntemi

Van Toorenburg (1986), kapasite analiz çalışmalarını yaşam süresi (lifetime) analiz çalışmalarına benzeterek temellendirmiştir. Yaşam süresi analizi, insanın hayatta kalma (sağkalım) süresinin istatistiki özelliklerini inceler. Özellikle tıp alanında, hastalar üzerinde tedaviye başladıktan sonra sağkalım süreleri üzerine yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır. Öte yandan mühendislik alanında da, üretilen ürünün kullanım ömrü için yapılan istatistik çalışmalarında uygulanmaktadır. Trafik mühendisliğinde ise, akım değerlerinin sağkalım ya da kullanım sürelerine benzetilmesi ile kapasite çalışmalarında kullanılmaktadır.

Sağkalım süresi dağılımı, “sansürlü” veri temeline dayanan bir yöntemdir. Çoğunlukla sınırlı gözlem süreleri üzerine tahmin yapar. Analizde sağkalım süresi (T), gözlem süresini (t) aşan değerler ölçülemez. Çünkü analiz gözlem süresi ile sınırlıdır ve bu sınırdan sonra sağkalım sürelerinin ne kadar devam edeceği bilinemez, yalnızca devam edeceği söylenebilir. Bu nedenle sağkalım süresi gözlem süresinden büyük olan süreler ($T > t$) sansürlü veri olarak tanımlanır. Bu şekilde sansürlü veri temeline dayanarak sağkalım süresi değişkeni ile dağılım fonksiyonu

tahmini yapan yöntem sınır-çarpım yöntemi (product limit method) ya da bir başka deyişle Kaplan-Meier yöntemidir.

Kaplan-Meier yöntemi, kapasite dağılım tahmini için de uygulanır. Kapasite olayı, akıcı koşullar altında incelenmesi gereken bir durumdur. Akıcı koşullardan tıkanık koşullara geçmeden hemen önce kırılma dilimi olarak belirlenen dilimdeki akım değeri, kapasite değeridir. Bu dilim, daha önce de belirtildiği gibi, kapasitenin talepten daha düşük olduğu ya da talebe eşit olduğu ($c \leq q$) durumlar arasındadır. Öte yandan akıcı koşullarda kırılmanın gözlenmediği dilimlerdeki akım değerleri için de kapasitenin talepten daha büyük olması durumu kabul edilir. Ancak sağkalım dağılımında gözlem süresini aşan sağkalım sürelerinin ölçülemediği gibi, bu durumda da kapasitenin büyüklüğü ölçülemez, yalnızca talepten daha büyük olduğu söylenebilir. Bu yöntemle göre kapasite dağılımındaki sansürlü veriler de (kırılmanın gözlenmediği dilimlerdeki akım değerleri) $c > q$ olarak ifade edilen akım değerleridir ve fonksiyona dahil edilirler.

Daha önce kırılma diliminin belirlenmesi için 5 koşul belirleyen Geistfeldt ve Brilon (2009), sansürlü veri tanımı için de 2 koşul belirlemiştir. Bu koşullar,

1. $v(i) > v_t$
2. $v(i+1) > v_t$ 'dir.

Buna göre, i ve bir sonraki $i+1$ zaman diliminde ortalama hızlar, sınır hızın (v_t) üzerinde ise, yani akıcı koşullar söz konusu ise, bu dilimlerde kırılma gözlenmemiştir ve bu dilimlerdeki akım değerleri (talepler), sansürlü veriler olarak tanımlanmıştır. Çünkü bu talep değerlerinde kırılma gözlenmediği için, kapasite değerinden düşük oldukları kabul edilir ve kapasite değerinin büyüklüğü de ölçülemez. Sonuç olarak Kaplan-Meier yöntemine göre, q akım değerindeki kırılmalar dışında, yüksek akım değeri oldukları halde kırılma gözlenmeyen akım değerlerinin (sansürlü verilerin) de kırılma olasılıkları belirlenmeye çalışılır. Sağkalım süresi dağılım fonksiyonu ile kapasite dağılım fonksiyonu için sansürlü verilerin ve dağılım fonksiyonlarının ilişkisi Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4: Sağkalım analizi ile kapasite analizi arasındaki ilişki (Brilon ve diğerleri, 2005).

	Sağkalım Analizi	Kapasite Analizi
Parametre	t gözlem süresi	q akım değeri (talep)
Başarısız Olay	t sürede ölüm	q akım değerinde kırılma
Sağkalım Değişkeni	Sağkalım süresi T	Kapasite c
Sansürleme	t gözlem süresinden daha uzun T sağkalım süresi ($T > t$)	q akım değerinden daha büyük c kapasite ($c > q$)
Sağkalım Fonksiyonu	$S(t) = 1 - F(t)$	$S_c(q) = 1 - F_c(q)$
Olasılık Dağılım Fonksiyonu	$F(t)$	$F_c(q)$

Çizelgeye göre sağkalım analizinde “Başarısız Olay”, t gözlem süresinde ölüm gözlenmesidir. Olasılık, başarılı ve başarısız olayların birleşimidir. Bir olayın başarılı ve başarısız olma ihtimalleri toplamı 1’dir. Başarısız olayın olasılık dağılım fonksiyonu $F(t)$ ile ifade edilmiştir. Bu fonksiyon ölüm sürelerinin olasılık dağılımını göstermektedir. Bu durumda, $F(t)$ ve $S(t)$ (Sağkalım süreleri olasılık dağılımı fonksiyonu) toplamı da 1’dir. Kapasite analizindeki başarısız olay ise, q akım değerinde kırılma gözlenmesidir. $F_c(q)$ fonksiyonu ise, kırılma akım değerlerinin, yani kapasite değerlerinin olasılık dağılımını göstermektedir. Sağkalım analizinde olduğu gibi kapasite analizinde de, $F_c(q)$ ve $S_c(q)$ (kapasite analizi için sağkalım süreleri olasılık dağılımı fonksiyonu) toplamı 1’dir. Bu fonksiyonlar, Denklem 2.3, 2.4 ve 2.5’te gösterilmiştir.

$$F_c(q) = 1 - S_c(q) \quad (2.3)$$

$$S_c(q) = \prod_{j:q_j \leq q} \frac{k_j - d_j}{k_j}, j \in \{B\} \quad (2.4)$$

$$F_c(q) = 1 - \prod_{j:q_j \leq q} \frac{k_j - d_j}{k_j}, j \in \{B\} \quad (2.5)$$

Burada;

$F_c(q)$ = kapasite dağılım fonksiyonu,

$S_c(q)$ = sağkalım dağılım fonksiyonu,
 q = akım değeri (tş/sa),
 q_j = akım değerinin j olması (tş/sa),
 $k_j = q \geq q_j$ koşulundaki akım değeri sayısı,
 $d_j = j$ akım değerinde gözlenen kırılma sayısı,
 $\{B\}$ = kırılma dilimi sınıfıdır.

Fonksiyonda k_j , j grubundaki akım değerine eşit ya da büyük olan kırılan ve kırılmayan (sansürlü) tüm akım değerlerinin sayısıdır. d_j ise, j akım değerinde gözlenen toplam kırılma sayısıdır. Örnekle açıklamak gerekirse, 1800 teş/sa akım değeri için (q_{1800}), analiz süresince gözlenen tüm 1800 teş/sa akım değerleri ve 1800 teş/sa'ten daha büyük akım değerlerinin toplam sayısı k_{1800} 'dir. Analiz süresince kırılma akım değerinin 1800 teş/sa olduğu akım değerlerinin sayısı ise d_{1800} 'dir. 1 günlük gözlem süresi için, 1800 teş/sa ve daha büyük akım değerlerinin toplam sayısı 10 ve 1800 teş/sa değerinde 1 kere kırılma gözlendi ise, bu aralık için sağkalım olasılığı,

$$\frac{k_{1800} - d_{1800}}{k_{1800}} = \frac{10 - 1}{10} = 0,9$$

bulunur. Buna göre kırılma olasılığı ise 0,1'dir. Analiz süresi boyunca, sansürlü veriler de dahil gözlenen tüm akım değeri grupları için tek tek kırılma olasılık değeri hesaplanır ve sonunda olasılık dağılım fonksiyonu $F_c(q)$ oluşur.

Fonksiyonda “B” ile tanımlanan kırılma dilimi sınıfı, gözlenen her akım değerinin sınıflandırması ile oluşan sınıflardan biridir. Sınıflandırma sistemi, sansürlenecek ve göz ardı edilecek verilerin belirlenmesi için kullanılır. Brilon vd. (2005) tarafından belirlenen ve B, F, C1 ve C2 olarak adlandırılan 4 sınıf şöyledir:

B sınıfı: i diliminde trafik akıcı koşullar altındadır, ancak bu aralıkta gözlenen akım değeri bir sonraki dilimde kırılma olayına neden olur. Diğer bir deyişle, bir sonraki $i+1$ diliminde gözlenen ortalama hız, sınır hızın altına düşer ve i dilimi kırılma başlangıcı olarak kabul edilir.

F sınıfı: i diliminde ve bir sonraki $i+1$ diliminde trafik, akıcı koşullardadır. Bu i dilimi sansürlü veridir. Gerçek kapasite değeri, gözlenen q_i (i dilimindeki akım değeri)'nden daha büyüktür.

C1 sınıfı: i diliminde trafik, tıkanık koşullardadır. Bir başka deyişle, ortalama hız sınır hızın altındadır. Bu dilim, kapasite değeri ile ilgili herhangi bir bilgi sağlamaz ve göz ardı edilir.

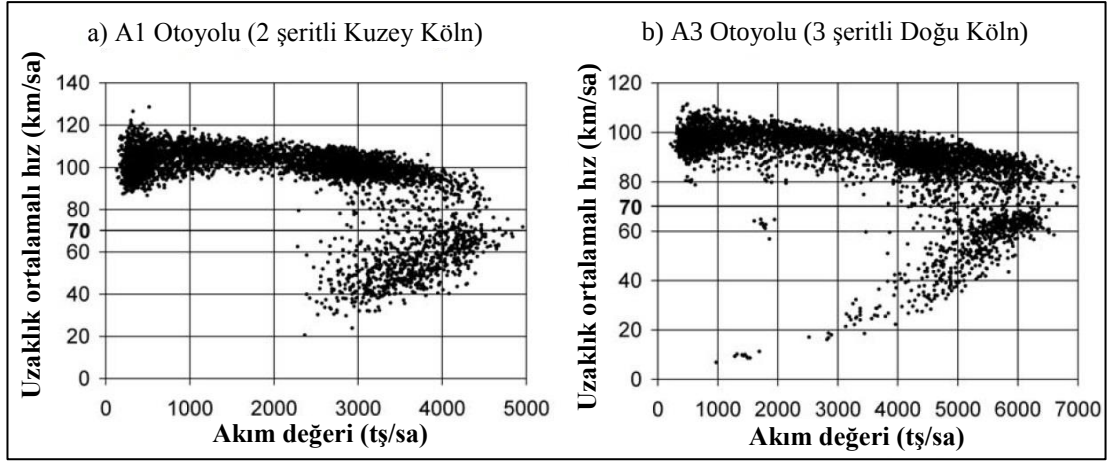
C2 sınıfı: i diliminde trafik, akıcı koşullardadır, ancak bu dilimde gözlenen akım değeri kırılma olayına neden olur. Öte yandan, B sınıfının aksine, otoyol kesiminin akım aşağı yönünde i ve i-1 dilimlerinde trafik tıkanık koşullar altındadır. Bu durumda gözlem noktasındaki kırılma olayı, akım aşağı yönde oluşan kuyruğun uzayarak gözlem noktasına erişmesi nedeniyle oluşmuştur. i diliminde gözlem noktasındaki kırılma olayı, kapasite değeri ile ilgili herhangi bir bilgi vermez ve göz ardı edilir.

Bu sınıflamaya göre akıcı koşullar için B sınıfı kırılma dilimlerini (sansürlü veriler), F sınıfı kırılma gözlenmeyen dilimleri, tıkanık koşullar içinse C1 ve C2 sınıfları göz ardı edilecek verileri göstermektedir.

Özbay ve Özgüven (2007), sınıflama sisteminde göz ardı edilecek sınıflara ek olarak bir sınıf daha tanımlamışlardır. C3 olarak adlandırabileceğimiz bu sınıf, “Trafik verisinde farklı hız verilerine karşılık gelen düşük akım değerleri olabilir. Bu düşük akım değerlerinden sınır hızın altında bir hız değerine sahip olan dilimler göz ardı edilir.” tanımını içermektedir. Buna göre, tıkanık koşullar (C1 sınıfı) ya da akım aşağı yönde oluşan geriye doğru kuyruklanmalar (C2 sınıfı) dışında, farklı sebeplerden ötürü gözlenen düşük akım değerleri varsa göz ardı edilir.

Parametrik olmayan yöntemde kapasite dağılım fonksiyonu $F_c(q)$, ancak gözlenen en büyük akım değeri B sınıfında ise, 1’e ulaşır. Gözlenen en büyük akım değeri, B sınıfı değil de F sınıfı içeren bir dilim ise, dağılım fonksiyonu $F_c(q) < 1$ olarak sonlanır. Başka bir deyişle, tüm gözlem süresi boyunca ölçülen en büyük akım değerinde, hep kırılma görülmüş ise (bu akım değeri 1 kereden fazla gözlenmiş olabilir), $F_c(q)$ 1’e ulaşır. Bu durum, parametrik olmayan yöntemle kapasite dağılım fonksiyonu tahmininin zayıf yönüdür.

Brilon ve diğerleri (2005), kapasite dağılım fonksiyonu tahmini için Kaplan-Meier yöntemini kullanarak Almanya’da A1 ve A3 otoyollarına ait iki ayrı kesim için bir çalışma yapmıştır. Kullandığı 1 yıllık veride, B sınıfı tanımına göre A1 kesimi için 933, A3 kesimi için ise 834 kırılma olayı gözlemlenmiştir. Çalışmaya ait 5 dakika süreli dilimlerden türetilen hız-akım değeri grafiği Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



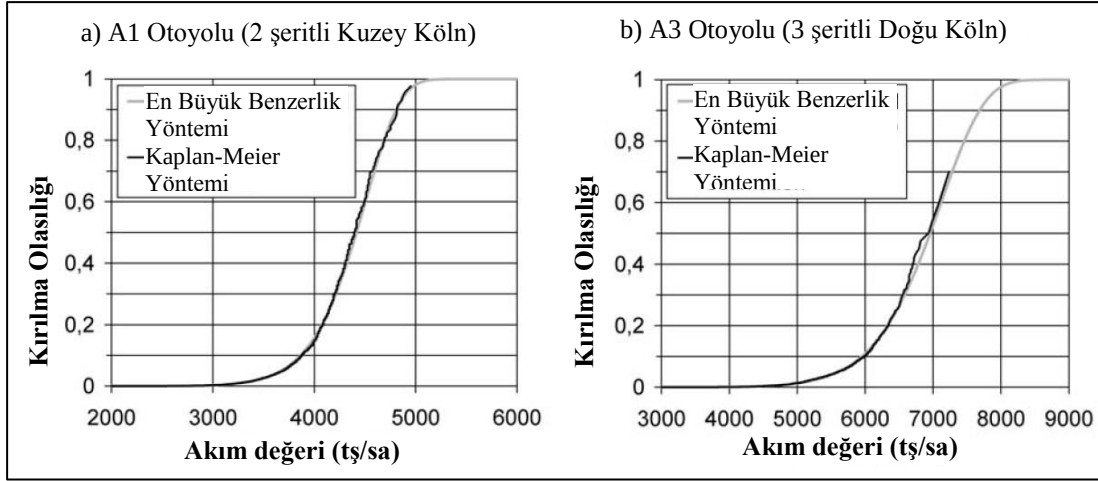
Şekil 2.9: A1 ve A3 kesimleri için hız-akım değeri grafikleri (Brilon ve diğerleri, 2005).

Şekilde siyah çizgi ile gösterilen sınır hız, bu çalışma için 70 km/sa olarak belirlenmiştir. Her iki kesim için de 70 km/sa hızın altında gözlenen (C1 ve C2 sınıfı) dilimler göz ardı edilmiştir. Çalışmada, her iki kesim için de, gözlenen en büyük akım değerleri, B sınıfında yer almadıkları için fonksiyon tamamlanamamıştır (İlgili şekil bir sonraki bölümde, Şekil 2.10’da gösterilmiştir). 1’e tamamlanmış bir kapasite dağılım fonksiyonu tahmini için parametrik yöntem kullanılmaktadır.

2.2.3.2 Parametrik yöntem – Weibull dağılım fonksiyonu

Parametrik yöntem, Kaplan-Meier yönteminin tamamlayıcısı olarak düşünülebilir. Bu yöntemde, “en büyük benzerlik” (Maximum Likelihood) yöntemi ile parametreleri önceden tahmin edilen bir dağılım fonksiyonu uygulanır. Brilon ve Zurlinden (2003) tarafından, kapasite dağılım fonksiyonun en büyük benzerlik yöntemi ile uygulanabileceği dağılım fonksiyonları test edilmiştir. Buna göre test edilen Weibull, normal ve gamma dağılım fonksiyonları arasından kapasite dağılım fonksiyonu için en uygun olanın Weibull dağılım fonksiyonu olduğu belirlenmiştir.

Şekilde 2.10’da Brilon’un önceki bölümde bahsedilen Kaplan-Meier yöntemi kullanarak uyguladığı olasılık dağılımı ile en büyük benzerlik yöntemini kullanarak uyguladığı Weibull olasılık dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.10: A1 ve A3 kesimleri için en büyük benzerlik ve Kaplan-Meier yöntemlerine göre olasılık dağılım grafikleri (Brilon ve diğerleri, 2005).

Şekilde görüldüğü gibi her iki kesimde de Kaplan-Meier yöntemi (parametrik olmayan yöntem) uygulanarak hesaplanan olasılık dağılımı 1'e tamamlanamamıştır. Weibull dağılımında (parametrik yöntem) ise olasılık dağılımı 1'e ulaşmıştır.

Kapasite dağılımı için iki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonu uygulanır. Bu parametreler, α şekil parametresi (shape parameter) ve β ölçek parametresi (scale parameter)'dir.

İki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonu, Denklem 2.6'da verilmiştir.

$$F(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha}, x \geq 0 \text{ için} \quad (2.6)$$

Burada q akım değeridir. Şekil ve ölçek parametreleri, dağılım fonksiyonu uygulanmadan önce tahmin edilmesi gereken parametrelerdir. Şekil parametresi α , Weibull dağılımının şeklini büyük ölçüde etkilerken ölçek parametresi β , az miktarda genişliğini etkiler. α değeri arttıkça dağılım fonksiyonu daralır, azaldıkça dağılım fonksiyonu genişler. $3 \leq \alpha \leq 4$ olduğu zaman fonksiyon normal dağılıma çok yaklaşıp. Weibull dağılım fonksiyonunda kullanılan şekil ve ölçek parametrelerinin hesaplanması oldukça karmaşık işlemler gerektirmektedir. Öte yandan Matlab, Synthesis gibi bilgisayar programları kullanılabilir.

Özbay ve Özgüven (2007), Kaliforniya'daki I-880 Otoyolu ve Gardiner Ekspres Yolu'nun 4 farklı kesiminde, kapasite dağılım fonksiyonu için en büyük benzerlik yöntemini kullanarak iki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonu uygulamışlardır. I-

880 Otoyolu için 5, Gardiner Ekspres Yolu için 17 günlük veri kullanmışlardır. Sınır hızı 70 km/sa olarak belirleyerek 5 dakikalık gözlem dilimlerini, daha önce belirtilen B, F, C1, C2 ve C3 sınıflarına göre sınıflamışlardır. B sınıfındaki tanıma göre, I-880 Otoyolu'nda inceledikleri iki kesim için 34 ve 24 kırılma dilimi, Gardine Ekspres Yolu'nda inceledikleri 2 kesim için ise 77 ve 56 kırılma dilimi gözlemlemişlerdir. Çalışmada Matlab bilgisayar programını kullanarak buldukları Weibull parametreleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5: Weibull parametrelerinin farklı kesimlere göre karşılaştırılması 1 (Özbay ve Özgüven, 2007).

Kesimler		Gözlenen Kırılma Sayısı	Ölçek Parametresi β	Şekil Parametresi α
I-880 Otoyolu	Kesim 1 (4 şeritli)	34	6887,5	22,9
	Kesim 2 (5 şeritli)	24	11050,0	8,3
Gardiner Ekspres Yolu	Kesim 1 (2 şeritli)	77	2808,9	9,9
	Kesim 2 (3 şeritli)	56	5130,8	33,0

Çizelgede görüldüğü gibi, Kesim 2'de 5 şeritli ve Kesim 1'de 2 şeritli otoyol için şekil parametreleri sırasıyla 8,3 ve 9,9 olarak bulunmuştur. 10'dan küçük olan bu parametre değerleri, olasılık dağılım fonksiyonu eğrisinin basık bir forma sahip olduğu anlamına gelmektedir. Kesim 1'de 4 şeritli ve Kesim 2'de 3 şeritli otoyol içinse, şekil parametreleri sırasıyla 22,9 ve 33,0 olarak hesaplanmıştır. Daha yüksek olan bu değerler ise, olasılık dağılım fonksiyonu eğrisinin daha dik bir formda olduğu, dolayısıyla da daha dar bir kapasite aralığına sahip olduğu anlamına gelir.

Brilon ve diğerleri (2005), Alman otoyollarının 3 şeritli farklı geometrik özelliklere sahip kesimlerinde kapasite olasılık tahmini çalışması yapmışlardır. Bunun için Weibull olasılık dağılım fonksiyonu çalışmasında buldukları değerler ise, Çizelge 2.6'da gösterilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, şekil parametreleri 9-15 aralığında değerler olup 13 ortalama değerine sahiptirler. Bu değerlerin Alman otoyollarının 3 şeritli kesimleri için karakteristik değerler olabileceği yorumu getirilmiştir. Bununla birlikte, ölçek parametresinin ise oldukça geniş aralıkta değerler aldığı görülmektedir. Bu durumun ise, söz konusu kesimlerin farklı geometrik özelliklerinden, farklı sürücü davranışları ve taşıt dağılımdan kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 2.6: Weibull parametrelerinin farklı kesimlere göre karşılaştırılması 2
(Brilon ve diğerleri, 2005).

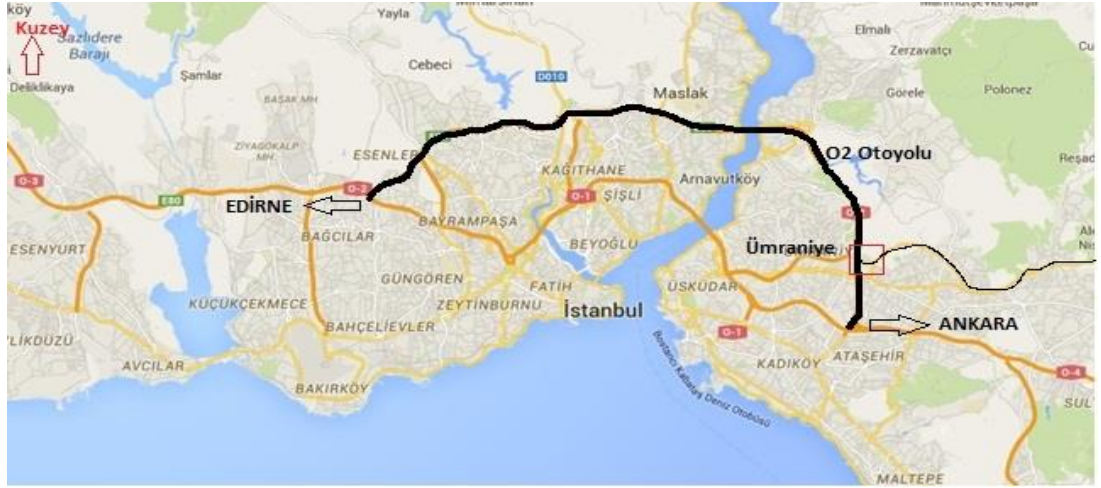
Kesimler	Ölçek Parametresi β	Şekil Parametresi α
A3-1	7441	11,31
A5-1	6217	11,15
A5-2	6074	13,59
A5-4	6608	13,92
A5-5	6392	14,16
A5-6	6272	14,69
A5-7	7194	13,98
A5-8	6884	13,35
A9-1	7937	8,85
A9-2	7399	13,66
A9-3	5988	14,82
A9-4	6141	18,86
A9-5	6648	14,24
A9-6	7109	9,62
A9-7	6648	14,92

2.2.4 Kırılma olasılığı tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması

Geistefeldt ve Brilon (2009)'a göre, doğrudan kırılma olasılığı tahmini (1. yöntem), parametrik olmayan ve parametrik yöntemlerle olasılık tahmini (2. yöntem) karşılaştırıldığında, 1. yöntem daha yanıltıcı sonuçlar vermektedir. 1. yöntemde, yüksek akım değerlerinin bulunduğu gruplarda, kırılma gözlenmemesi durumunda olasılık değerleri hesaplanamamaktadır. 2. yöntemde ise bu akım değerleri sansürlü veri olarak tanımlanarak olasılık dağılım fonksiyonuna dahil edilmektedir. Parametrik olmayan ve parametrik yöntemler kendi içlerinde karşılaştırıldığında ise, parametrik yöntemin, her bir olasılığa karşılık bir kırılma akım değeri üretebilmesi nedeniyle daha ayrıntılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

3. ÇALIŞMA ALANI

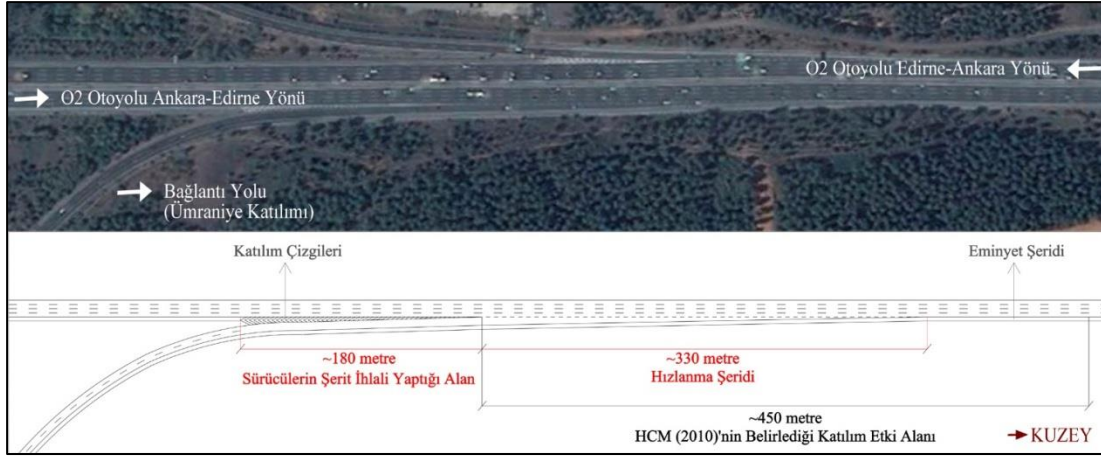
Tez çalışması kapsamında, İstanbul ilinde yer alan O2 otoyolu üzerindeki bir otoyol katılım kesimi incelenmiştir. O2 otoyolu, batıda O3 otoyolunun sonunda yer alan Mahmutbey Doğu Kavşağı'ndan başlayıp, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nden geçerek doğuda O4 otoyolunun başlangıcında yer alan Ataşehir Kavşağı'nda sonlanır. Tez çalışması sırasında incelenen katılım kesimi, Ümraniye kavşağında yer alan ve O2 otoyolunun Edirne yönüne Ümraniye ilçesinden katılımı sağlayan kesimdir. Bu kesim, Şekil 3.1'de kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Tez konusu kapsamındaki otoyol katılım kesiminin konumu (Google Haritalar URL-1, 2014).

3.1 İncelenen Katılım Kesiminin Özellikleri

O2 Otoyolu 2x4 özelliğinde bir otoyoldur. Sahada yapılan ölçümlere göre, incelenen Ümraniye katılım kesiminde otoyoldaki şerit genişliği 3,75 m ve kenar açıklığı (emniyet şeridi) 3 m'dir. Bu otoyola Ümraniye'den katılan bağlantı kolu ise 2 şeritli olup şerit genişliği 3,75 m'dir. O2 Otoyolu Ümraniye katılım kesimi, Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: O2 Otoyolu-Ümraniye katılım kesiminin geometrik özellikleri (Hava fotoğrafı; Google Earth, görüntü tarihi; 8 Haziran 2014).

Şekilde görülen 330 m uzunluğundaki hızlanma şeridi, geometrik özelliklerine göre 1 şeritli konik hızlanma şerididir. Katılma hareketinden önce görülen katılım çizgileri (ofset tarama), bağlantı kolundan gelen taşıtlar ile otoyolu birbirinden ayırmak için yapılmıştır ve taşıt kullanımına kapalıdır. HCM'nin otoyol katılım kesimi tanımına göre, katılım hareketi, katılım çizgisinin bitmesi ve hızlanma şeridinin başlaması ile gerçekleşir. Bağlantı kolundan gelen taşıtlar katılım çizgisi devam ettiği sürece 2 şeride sahiptir. Hızlanma şeridinin başlaması ile tek şeritle otoyola katılım hareketi başlar. Ancak şekilde yaklaşık 180 metre uzunluğunda gösterilen katılım çizgilerinin bulunduğu alanda, sürücülerin şerit disiplinini ihlal ettiği gözlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: O2 Otoyolu-Ümraniye katılım kesiminin havadan fotoğrafı (Google Earth, Görüntü tarihi; 3 Nisan 2012).

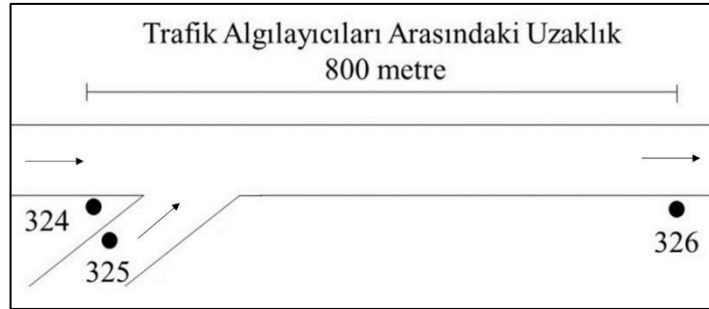
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, yolun taşıtlar tarafından kullanılmaması gereken katılım çizgisinin olduğu kısmı, bazı sürücüler tarafından işgal edilmektedir. Bu durum, katılım çizgisinin başlamasıyla birlikte katılım kesiminin 7 şeritli olarak

kullanılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca hızlanma şeridi kullanım amacını kaybetmekte ve 2 şerit olarak kullanılmaktadır. Yolun 7 şeritli kullanımının akım aşağı yönde 4 şeride düşmesi sebebiyle, geometrik özelliklerinden kaynaklanan şişboynu özelliğinin etkisi, sürücü davranışları sebebiyle daha fazla kendini göstermektedir.

3.2 İncelenen Katılım Kesiminin Trafik Verisi

Bu çalışmada, incelenen otoyol kesimi üzerinde seyreden taşıt trafiğinin özelliklerini içeren ve 2012 yılına ait olan 1 yıllık trafik verisi kullanılmıştır. Veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi Müdürlüğü'nün İstanbul ili genelindeki ana yollar üzerine trafik bilgilerini kaydedebilmek amacıyla yerleştirdiği trafik algılayıcılarından sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında verisi kullanılan O2 Otoyolu Ümraniye katılım kesimine yerleştirilmiş olan 324, 325 ve 326 numaralı 3 adet algılayıcının konumu Şekil 3.4'te gösterilmiştir. 324 numaralı algılayıcıdan O2 Otoyolunun akım yukarı yönünde yer alan 4 şeridin, 325 numaralı algılayıcıdan O2 Otoyoluna Ümraniye ilçesinden katılan taşıtların kullandığı 2 şeritli bağlantı kolunun, 326 numaralı algılayıcıdan ise O2 otoyolunun akım aşağı yönünde yer alan 4 şeridin verileri sağlanmıştır.



Şekil 3.4: O2 Otoyolu-Ümraniye katılım kesimindeki algılayıcıların konumları

Algılayıcılar, kuruldukları noktadan itibaren görüş alanındaki her bir trafik şeridi için 60 m uzunluğunda ve 2 m genişliğinde bir alanda ölçüm yaparlar. RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) olarak adlandırılan bu algılayıcılar, 2 dakikalık zaman dilimleri ile her bir şerit için "tarih, saat, akım hızı, toplam hacim (tüm taşıt türleri), işgal oranı ve taşıtların türüne göre hacim" bilgilerini içeren bir rapor

üretmektedirler. 324 numaralı algılayıcı tarafından kaydedilmiş trafik akım bilgilerini içeren örnek bir rapor Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: 324 numaralı algılayıcının trafik akım bilgilerini içeren rapor

MsgTime	Time	RtmsNo	S1	S2	S3	S4	V1	V2	V3	V4	O1	O2	O3	O4	VL1	VL2	VL3	VL4	VXL1	VXL2	VXL3	VXL4	VXXL1
01.01.2012	00:00:16	324	55	88	108	112	3	10	17	9	1	3	3	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
01.01.2012	00:02:16	324	53	85	110	113	2	6	15	7	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:04:17	324	NULL	86	111	113	0	3	18	8	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:06:16	324	54	87	113	112	2	5	17	8	0	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:08:17	324	53	82	113	109	2	6	7	8	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:10:16	324	57	80	109	107	2	7	10	7	1	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
01.01.2012	00:12:16	324	56	79	114	103	2	9	12	3	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
01.01.2012	00:14:16	324	56	84	115	102	3	7	15	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:16:16	324	NULL	82	119	104	0	2	12	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:18:16	324	55	82	116	105	1	6	11	4	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:20:16	324	55	85	114	109	3	8	18	13	1	2	3	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:22:16	324	53	82	112	113	3	10	15	7	1	2	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
01.01.2012	00:24:16	324	50	83	109	112	5	8	15	19	3	2	3	3	1	2	1	0	1	1	0	0	0
01.01.2012	00:26:16	324	50	87	107	111	1	3	20	18	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:28:16	324	50	86	107	113	1	7	22	18	0	2	4	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:30:16	324	53	84	103	112	6	8	21	17	2	2	4	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0
01.01.2012	00:32:16	324	58	88	110	116	1	11	10	12	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:34:16	324	63	82	109	112	5	12	22	23	1	3	4	3	0	1	1	0	0	0	1	0	0
01.01.2012	00:36:16	324	66	87	105	111	2	10	20	17	1	2	4	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:38:17	324	65	91	102	113	2	4	20	16	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:40:16	324	64	89	107	115	2	10	23	19	0	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01.2012	00:42:17	324	NULL	89	107	116	0	5	23	14	0	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi, 4 şeritli bir yoldan veri sunan raporda, her bir şerit için 2 dakikalık akım hızı “S”, toplam hacim “V”, işgal oranı “O” harfleri ile belirtilmiştir. “VL, VXL ve VXXL” ise ağır taşıtların hacimlerini ifade etmektedir. V toplam hacim, ağır taşıt hacimlerini de kapsamaktadır. Her ifadenin yanında bulunan rakamlar ise, şerit numaralarını göstermektedir. Şeritler, konum olarak algılayıcılara olan yakınlıklarına göre sırayla numaralandırılmışlardır. Bu çalışmanın amacına uygun olarak, sağlanan verilerden akım hızı ve hacimler kullanılmış, işgal oranları kapsam dışında bırakılmıştır. Çizelgede S1 sütununda görülen “NULL” ifadesi, o zaman dilimi için kaydedilen taşıt hacmine ait akım hızının algılayıcı tarafından ölçülemediğini ifade etmektedir. Algılayıcılardan sağlanan verilerde bunun gibi ve farklı türde başka hatalar da belirlenmiştir.

3.2.1 Eksik ve hatalı veri satırlarının belirlenmesi

Algılayıcılardan sağlanan verilerde, ilk olarak eksik veri satırlarını belirleme çalışması yapılmıştır. Bunun için 2 dakikalık veri satırlarının günlük zaman akışı kontrol edilmiştir. Her 3 algılayıcı için 1 yıllık veri setinde farklı zaman dilimlerini kapsayan veri eksikliği belirlenmiş ve bu zaman dilimleri için 2 dakikalık boş veri satırları eklenmiştir. Bununla birlikte zaman akışının kontrol edilmesi sırasında, verilerde düzensiz zaman dilimlerinin olduğu gözlenmiştir. 2 dakikadan daha kısa ya da daha uzun zaman aralıklarını ifade eden veri satırları silinmiş, silinen bu zaman dilimleri için yine 2 dakikalık boş veri satırları eklenmiştir. Öte yandan,

algılayıcılarda varsayılan ayarları itibariyle 2 dakikalık zaman dilimi (120 saniye) ile kaydedilmesi gereken verinin, algılayıcının zamanlama düzeneğindeki hata nedeniyle 119 saniyelik dilimler ile kaydedildiği ve dolayısıyla her bir gün için ek iki satırlık fazla veri olduğu gözlenmiştir. Ancak bu değer önemszenmeyecek derecede küçük görüldüğünden dikkate alınmamıştır.

Bu aşamada zaman dilimleri için belirlenen bir diğer hata ise, 324 ve 325 numaralı algılayıcılarda gözlenmiştir. Algılayıcıların Ekim, Kasım ve Aralık aylarında, her 2 saatlik zaman diliminde 2 eksik satırla veri kaydettiği belirlenmiştir. 1 günlük veri için 24 eksik satıra (48 dakikalık veri) sebep olan bu hatanın eksik veri satırı ekleyerek düzenlenmesi uzun zaman alacağından ve daha sonra bu verilerden 5 dakikalık veri elde etme sırasında eksik verilerin kullanılamayacağı nedeniyle, bu aylara ait verilerin tümüyle kullanılmaması uygun bulunmuştur.

Sonraki aşamada her 3 algılayıcı için, Çizelge 3.1’de görülen “NULL” hatasını içeren veri satırlarını belirleme çalışması yapılmıştır. Bu hata, akım hızlarının dışında ağır taşıt hacim değerlerinde de gözlenmiştir. Kaydedilen toplam hacim değerinin ağır taşıt türlerine göre belirlenemediği zaman dilimlerinde VL, VXL ve VXXL değerleri NULL olarak ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında, “NULL” hatasını içeren zaman dilimlerindeki tüm veriler silinerek boş veri satırına dönüştürülmüştür. Bunlara ek olarak, 24 Temmuz’dan yıl sonuna kadar devam eden süreç boyunca, 326 numaraları algılayıcının 4. şeride ait kaydettiği tüm verilerde “NULL” hatası gözlenmiştir. Çalışmada algılayıcılardan sağlanan veri değerleri şerit başına yapılan hesaplar ile değerlendirileceği ve bir şeridin eksilmesi durumunda sonuçların etkileneceği öngörüldüğü için bu hatayı içeren süreç, çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Sonuç olarak, algılayıcılardan sağlanan 2012 yılına ait verilerin, 326 numaralı algılayıcı için yılbaşından 24 Temmuz’a kadar olan kısmının, 324 ve 325 numaraları algılayıcılar için ise, 1 Ağustos’a kadar olan kısmının kullanılması uygun bulunmuştur. Bu 2 algılayıcı için çalışma kapsamı dışında bırakılan yılın son 3 ayına ait veriye ek olarak, Ağustos ve Eylül aylarına ait verilerde de belirtilen diğer hata türlerinin sık gözlenmesi sonucunda, bu 2 aya ait veriler de çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Son olarak verilerin düzenlenmesi sonucunda, her 3 algılayıcıdan sağlanan yılın ilk 7 ayına ait verilerin yaklaşık %2’si oranında boş satır üretilmiştir. Boş veri satırlarının kırılma dilimlerine denk gelmesi ve mevcut veri satırı sayısının

olması gereken satır sayısına oranının %50'nin altında olması durumunda, tüm günün verisi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

3.2.2 Mevcut verilerden yeni verilerin üretilmesi

İncelenen otoyol katılım kesimine ait verilerden, çalışmanın amacı doğrultusunda şerit başına akım değerleri ve akım hızları üretilmiştir. Bu işlemler 3 aşamada uygulanmıştır.

1. aşamada, her bir şerit için birim otomobil türünden toplam hacim değerleri belirlenmiştir. Pek çok trafik mühendisliği çalışmasında, yolu kullanan tüm taşıt türlerine ait hacim değerlerinin, tek bir taşıt türü (otomobil) olarak ifade edilmesi önerilmiştir. Bunun için ağır taşıt hacim değerlerinin, birim otomobil eşdeğerlikleri kullanılarak otomobil hacim değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Tanış (2013), İstanbul ilindeki farklı temel otoyol kesimlerinde yaptığı çalışmalar sonucunda, her kesim için farklı bir birim otomobil eşdeğerliği hesaplamıştır. Çalışmasına göre, bu tez çalışması kapsamında da verileri kullanılan 326 numaralı algılayıcıdan alınan trafik hacim verileri için birim otomobil eşdeğerliğini 1,5451 olarak hesaplamıştır. Bu değer dikkate alınarak tez çalışması kapsamında ağır taşıtlar için birim otomobil eşdeğerliği 1,5 olarak kabul edilmiştir. Algılayıcıların 2 dakikalık taşıt birimi olarak ölçtüğü hacim değerleri, bu katsayı kullanılarak otomobile çevrilmiştir.

2. aşamada, trafik algılayıcılarından sağlanan 2 dakikalık veriler, benzer çalışmalarda önerilen 5 dakikalık veriler halinde toplulaştırılmıştır. Bunun için ilk satır ve devamındaki satırlardan oluşan toplam 2,5 satırlık hacim verisinin toplanması gerekmiştir. Uygulama, ilk 2 satırda ölçülen taşıt hacimlerinin toplanması, 3. satırdaki değerin ise yarısının alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir. 5 dakikalık veriyi oluşturan 3 adet 2 dakikalık verinin bir tanesinin bile eksik olması durumunda söz konusu satır için 5 dakikalık veri üretilmemiştir. Diğer bir deyişle, üretilen 5 dakikalık hacim verisinin tamamının ölçülmüş olması esas alınmıştır. Akım hızları hesaplanırken, boş satırlar yine, hacim değerlerinde olduğu gibi işlem dışında tutulmak üzere, 2,5 satırlık veri kullanılmıştır. Ancak bu aşamada 2 dakikalık verilerden 5 dakikalık veri üretilmesine ek olarak, akım hızları, hacim ağırlıklı ortalama akım hızlarına dönüştürülmüştür. İlk satırdaki hacim ve hız değerleri çarpılmış, 2. satırda yine aynı işlem tekrarlanmış, 3. satırsa ise hacim ve hız değerleri

arpımının yarısı alınmıştır. Ardından bu 3 değer toplanmış ve 2,5 satırlık toplam hacim değerine bölünerek hacim ağırlıklı ortalama akım hızı elde edilmiştir.

3. aşamada, şerit başına ortalama akım değeri ve ortalama akım hızı üretme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda her bir veri satırı için tüm şeritlerdeki toplam hacim değerlerinin aritmetik ortalaması alınmış ve 12 ile çarpılarak saatlik akım değerlerine dnştrlmştir. şerit başına hacim ağırlıklı ortalama hızların belirlenmesi içinse, her bir şeritteki hacim ve hız değeri çarpılarak elde edilen sonuçlar toplanmış ve bu toplam, şeritlerden geçen toplam hacim değerine blnmştir.

Tüm bu işlemler sonucunda, her bir algılayıcı verisi için 5 dakikalık şerit başına ortalama akım değerleri ve hacim ağırlıklı ortalama akım hızı değerleri elde edilmiştir. Kesirli sayılar olarak elde edilen bu veriler, yapılacak analizlerde kolaylık sağlaması için tam sayı değerlerine yuvarlanmıştır.

4. STOKASTİK KAPASİTE ANALİZİ

Yapılan veri düzenlemesinin ardından, 324 numaralı algılayıcıdan 187 günlük (134 hafta içi, 53 hafta sonu), 325 numaralı algılayıcıdan 180 günlük (128 hafta içi, 52 hafta sonu), 326 numaralı algılayıcıdan ise 177 günlük (120 hafta içi, 57 hafta sonu) verinin kullanılması uygun bulunmuştur. 2012 yılının ilk 7 ayında yer alan 4 resmi tatil günü çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

4.1 Kırılma Başlangıcının Belirlenmesi

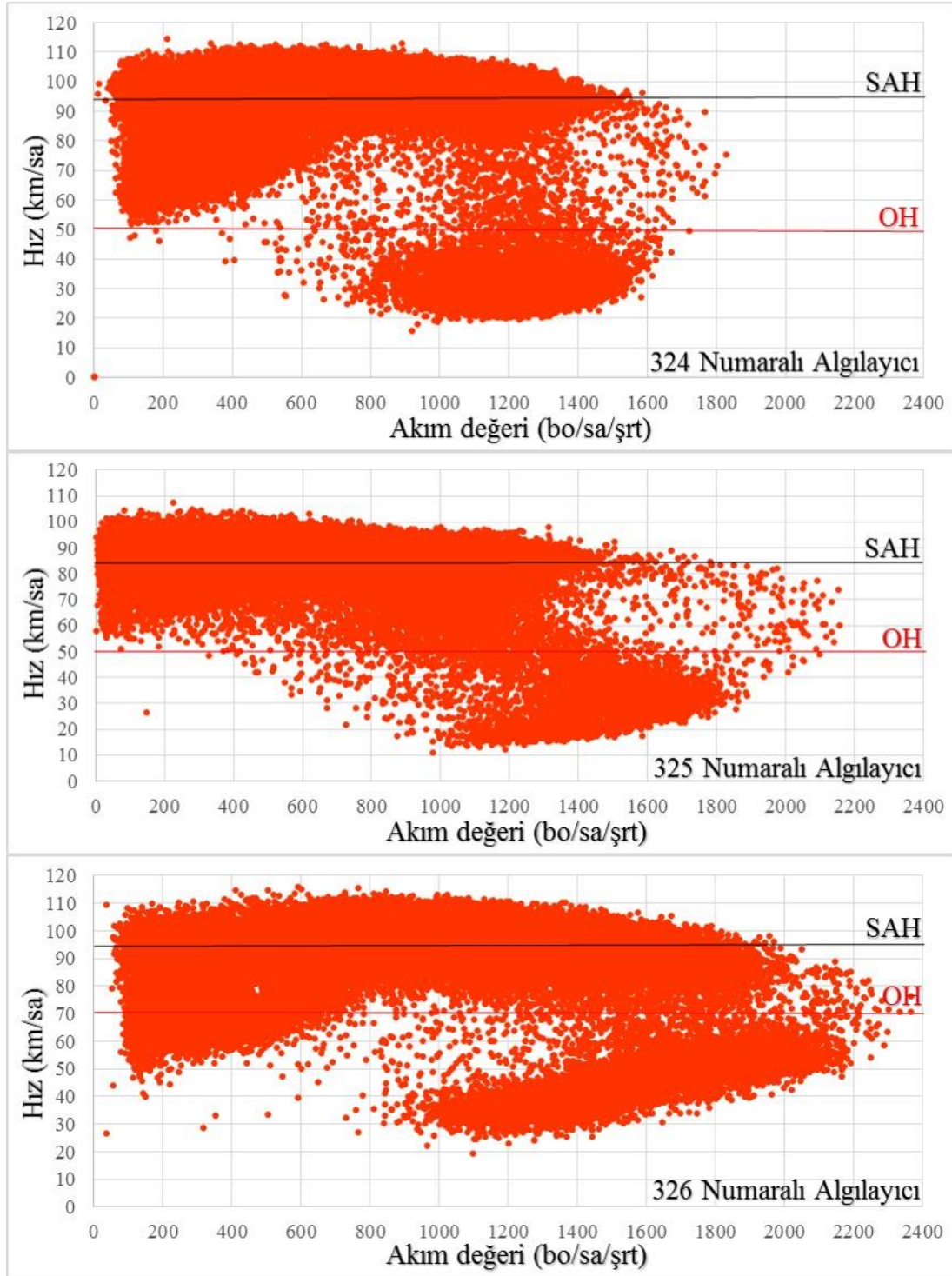
Kırılma olayının irdelenmesi için çalışmanın başında belirtildiği gibi öncelikle sınır hız değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sınır hız, tıkanıklıktan önce görülen hız olup optimum hız (kapasite hızı) olarak tanımlanmaktadır.

4.1.1 Optimum hız (kapasite hızı) ve serbest akım hızının belirlenmesi

Optimum hızı (OH) belirlemek için her 3 algılayıcının 5 dakikalık düzenlenmiş verileri kullanılarak hız-akım değeri grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.1). Şekilde X eksenleri şerit başına akım değerlerini (bo/sa/şrt), Y eksenleri ise hacim ağırlıklı ortalama hız değerlerini (km/sa) ifade etmektedir. Akıcı koşullardan tıkanık koşullara geçiş sırasında gözlenen optimum hız, kırmızı çizgi ile ifade edilmiş; 324 (otoyol akım yukarı yönü), 325 (bağlantı kolu) ve 326 (otoyol akım aşağı yönü) numaralı algılayıcılar için sırasıyla 50, 50 ve 70 km/sa olarak belirlenmiştir.

Akıcı koşulları ifade eden ve deterministik kapasite hesabında da kullanılan serbest akım hızları ise siyah çizgi ile gösterilmiş ve algılayıcılar için görsel olarak sırasıyla 95, 85 ve 95 km/sa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, çizilen grafikler ile 324 ve 326 numaralı algılayıcılarda, düşük akım değerlerinde (0-600 bo/sa/şrt) olmasına karşın serbest akım hızının altında (50-80 km/sa aralığında) veriler gözlenmiştir. Bu verilerin ölçüldüğü zaman aralığı incelendiğinde gece saatlerinde (03:00-06:00) kaydedilen veriler olduğu belirlenmiş, bu durumun normal olmadığı, bu saatler arasında algılayıcıların yakınlarındaki bir çalışmadan kaynaklandığı düşünülmüştür.

Bu nedenle, normal bir durumu yansıtmayan bu veriler, serbest akım hızının belirlenmesinde dikkate alınmamıştır.

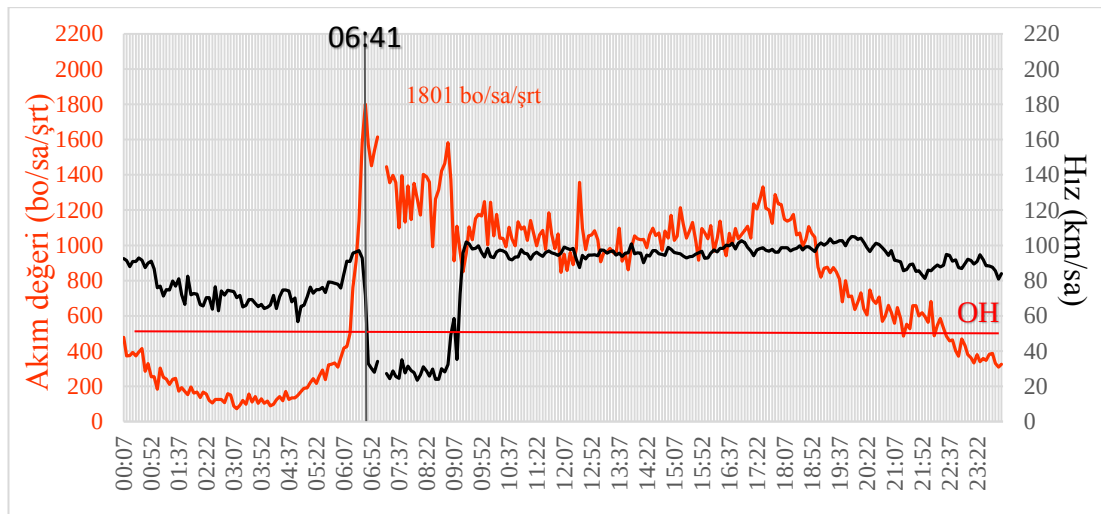


Şekil 4.1: Ölçüm noktalarına ait hız-akım değeri grafikleri

4.1.2 Kırılma dilimi ve akım değerinin belirlenmesi

Kırılma dilimi ve akım değerlerini belirlemek için çalışma kapsamındaki tüm veriler için günlük zaman-hız ve zaman-akım değeri grafikleri çizilmiştir. Bu aşamada Geistefeldt ve Brilon'un belirlediği, çalışmada Bölüm 2.1.1.2'de yer alan 5 kırılma koşulu dikkate alınmıştır. Buna göre i kırılma dilimi için esas olarak, kendinin ve kendinden bir önceki dilimin ortalama hızlarının belirlenen optimum hızın üzerinde olması, kendinden sonraki iki dilimin ortalama hızlarının da optimum hıza eşit ya da altında olması koşulları aranmıştır.

Örnek olarak 324 numaralı algılayıcının, 5 Mart 2012 tarihine ait 5 dakikalık veriler ile çizilen zaman-hız ve zaman-akım değeri grafikleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekilde X eksenini zamanı, Y ekseninin sol tarafı şerit başına akım değerlerini (bo/sa/şrt), sağ tarafı ise hacim ağırlıklı ortalama akım hızı değerlerini (km/sa) ifade etmektedir. Bu algılayıcıdan sağlanan veriler için önceki bölümde belirlenen 50 km/sa optimum hız değeri ise kırmızı çizgi ile ifade edilmiştir.



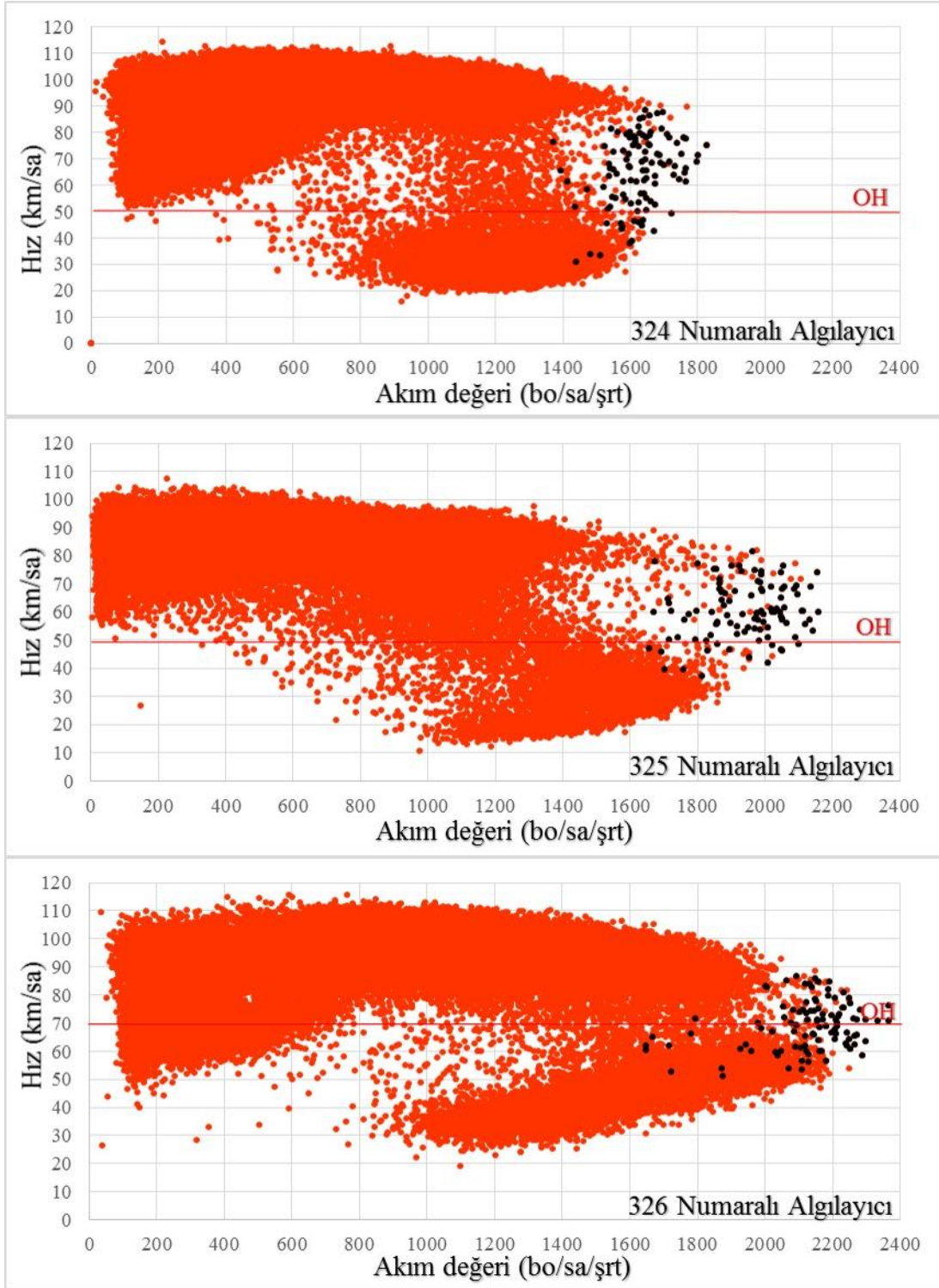
Şekil 4.2: 324 numaralı algılayıcının 1 günlük verileri ile çizilen zaman-hız ve zaman-akım değeri grafikleri

Şekil 4.2'deki kırılma başlangıcı, saat 06:42'deki dilimde gerçekleşmiş, kırılma akım değeri ise bu dilimde gözlenen 1801 bo/sa/şrt olarak belirlenmiştir. Kabul edilen koşullara uygun olarak kırılma diliminde gözlenen ortalama hız değeri 72 km/sa olup optimum hız değerinin üzerindedir. Bu dilimden hemen sonraki 5 dakikalık 2 gözlem diliminde (06:47 ve 06:52) ise hızlar sırasıyla 33 km/sa ve 30 km/sa olup optimum hız değerinin altındadır. Kırılma diliminden bir önceki saat 06:37'deki dilimde ise ortalama hız 93 km/sa olup optimum hız değerinin üzerindedir. Öte yandan, saat

halinde toplulaştırılması olabilir. Bu durumlar, çalışma kapsamında kural dışı durumlar olarak kabul edilmiş ve kırılma dilimi, gözlenen ortalama hız (43 km/sa) ile optimum hızın altında olmasına karşın saat 06:48'i ifade eden dilim olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, 3 ayrı algılayıcının düzenlenmiş verileri ile yapılan günlük analizler neticesinde 324, 325 ve 326 numaraları algılayıcılar için sırasıyla 107, 102 ve 103 kırılma olayı, dolayısıyla kırılma akım değeri belirlenmiştir. Tez kapsamında 2012 yılının ilk 7 aylık verilerinin incelendiği günlerde gerçekleşen kırılmaların (tıkanıklıkların) başlangıcına ait veriler 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcılar için şekil 4.4'te verilmiştir. Grafiklerde X eksenini şerit başına akım değerlerini (bo/sa/şrt), Y eksenini ise hacim ağırlıklı ortalama akım hızı değerlerini (km/sa) ifade etmektedir. Turuncu noktalar, kırılma görülmeyen dilimleri, siyah noktalar ise belirlenen kırılma dilimlerini göstermektedir.

324 numaralı algılayıcıda (otoyol akım yukarı yönü), neredeyse tüm kırılma dilimleri akıcı koşullardan tıkanık koşullara geçiş sırasında yüksek hacim değerlerinde gözlenmiştir. Kırmızı izgi ile ifade edilen optimum hız değerinin altında kalan 15 kırılma dilimi ise, kural dışı olarak tanımlanan durumları yansıtmaktadır. 325 numaralı algılayıcıda (bağlantı kolu), yine neredeyse tüm kırılma dilimleri tıkanık koşullara geçiş sırasında yüksek hacim değerlerinde gözlenmiştir. Optimum hız değerinin altında kalarak kural dışı durumu gösteren 14 kırılma dilimi belirlenmiştir. 326 numaralı algılayıcıda (otoyol akım aşağı yönü) ise, 103 kırılma diliminden 50 dilimin, kural dışı durumu yansıttığı, yani kırılma başlangıcının optimum hız değeri olan 70 km/sa hız değerinin altında gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu durum, diğer ölçüm noktalarına göre daha yüksek optimum hız belirlenmesi ve tıkanık koşullardaki ortalama akım hızı değerlerinin geniş bir aralığa (20-70 km/sa) sahip olması ile ilgilidir. Bununla birlikte, her 3 algılayıcı için belirlenen tüm kırılma olayları hafta içi sabah zirve saatlerde (06:30-07:30) gözlenmiştir.



Şekil 4.4: Algılayıcıların verileri ile çizilen hız-akım (ve kırılma akım) değeri grafikleri

4.2 Doğrudan Olasılık Tahmini

Belirlenen kırılma dilimlerine göre doğrudan kırılma olasılıklarını hesaplamak için her bir algılayıcıdan elde edilen akım değerleri 100 bo/sa/şrt'lik gruplara ayrılmıştır. Bu gruplara göre, gözlenen dilimlerin sayısı, kırılma gözlenen (başka bir deyişle o grupta kırılmanın kaç kere gözlendiği) ve gözlenmeyen (başka bir deyişle o grupta yer alan ve kırılma olmayan akım değeri sayısı) dilim sayıları olmak üzere 2 ayrı başlıkta Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

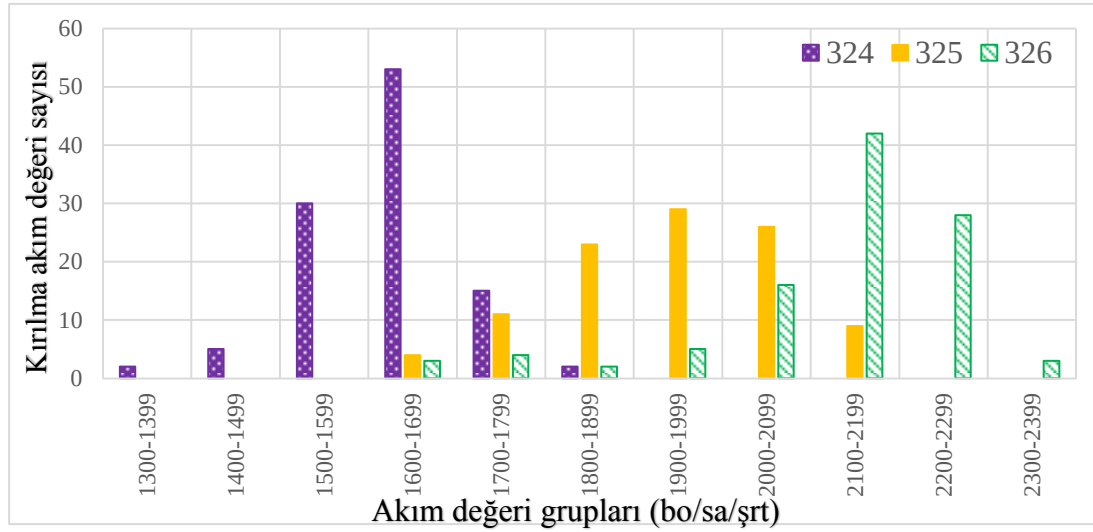
Çizelge 4.1: Her bir algılayıcı için belirlenen gruplara göre kırılma gözlenen ve gözlenmeyen dilim sayısı

Grup Akım Değeri (bo/sa/şrt)	Kırılma Gözlenen Dilim Sayısı			Kırılma Gözlenmeyen Dilim Sayısı		
	Algılayıcı Numaraları			Algılayıcı Numaraları		
	324	325	326	324	325	326
<1300	0	0	0	44015	45226	25571
1300-1399	2	0	0	835	465	1841
1400-1499	5	0	0	187	165	2390
1500-1599	30	0	0	64	73	2619
1600-1699	53	4	3	14	51	2245
1700-1799	15	11	4	3	28	1266
1800-1899	2	23	2	0	20	542
1900-1999	0	29	5	0	14	157
2000-2099	0	26	16	0	5	44
2100-2199	0	9	42	0	1	17
2200-2299	0	0	28	0	0	4
2300-2399	0	0	3	0	0	0
TOPLAM	107	102	103	45118	46048	36696

Çizelge 4.1'de 324 numaralı algılayıcı otoyolun akım yönünü, 325 numaralı algılayıcı bağlantı kolunu, 325 numaralı algılayıcı ise otoyolun akım aşağı yönünü göstermektedir. Gruplar, 326 numaralı algılayıcıda en yüksek kırılma diliminin gözlendiği 2300-2399 bo/sa/şrt ile bitmiştir. 324 numaralı algılayıcı için 1800-1899 bo/sa/şrt grubu en yüksek akım değerlerinin gözlendiği gruptur. Bu grupta yalnızca 2 gözlem dilimi belirlenmiş, ve bu 2 dilimde de kırılma olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde, 326 numaralı algılayıcı için 2300-2399 bo/sa/şrt grubu en yüksek akım değerlerinin gözlendiği grup olup, bu gruptaki 3 gözlem dilimi de kırılma dilimi olarak belirlenmiştir. Ancak 325 numaralı algılayıcıya bakıldığında, en yüksek akım

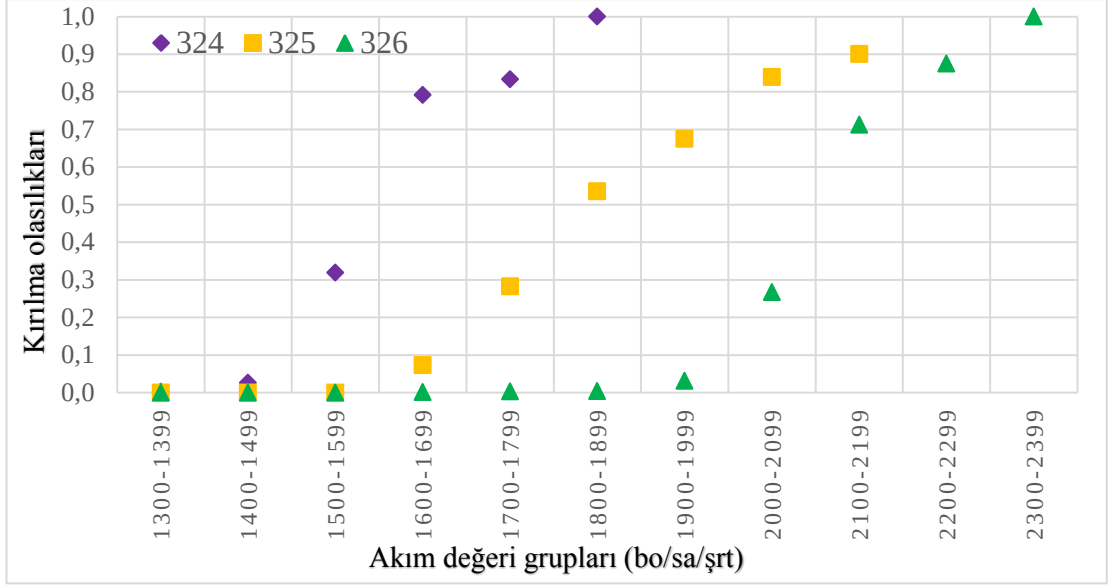
değerlerinin gözlemlendiği 2100-2199 bo/sa/şrt grubunda 10 gözlem diliminin olduğu, bunlardan 9 dilimin kırılma ve 1 dilimin kırılma gözlenmeyen dilim olduğu görülmektedir.

Çalışmanın devamında, her bir algılayıcı için gözlenen kırılma akım değerlerinin, yine aynı değerlere sahip gruplar arasındaki frekans histogramına bakılmıştır (Şekil 4.5). Şekildeki verilere göre en çok kırılma diliminin 324 numaralı algılayıcıda 1600-1699 bo/sa/şrt grubunda, 325 numaralı algılayıcıda 1900-1999 bo/sa/şrt grubunda, 325 numaralı algılayıcıda ise 2100-2199 bo/sa/şrt grubunda olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5: Ölçüm noktalarındaki kırılma akım değerlerinin frekans histogramı

Son olarak, doğrudan kırılma olasılıklarının belirlenmesi için, her grupta, kırılma dilim sayısının, o gruptaki toplam dilim sayısına oranı hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar ile her bir algılayıcı için çizilen akım değeri-olasılık grafikleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, 324 ve 326 numaralı algılayıcıların kırılma olasılıkları 1’e tamamlanırken, 325 numaralı algılayıcının kırılma olasılığı %90 olarak sonuçlanmıştır. Bunun nedeni daha önce Çizelge 4.1’de de belirtildiği gibi, 2100-2199 bo/sa/şrt grubunda gözlenen 10 dilimden, 9 dilimin kırılma dilimi olmasıdır. Böylelikle, %100 kırılmanın olacağı akım değeri grubunu bulmak mümkün değildir. Bu durum, doğrudan kırılma olasılığı yönteminin zayıf yönlerinden biridir.

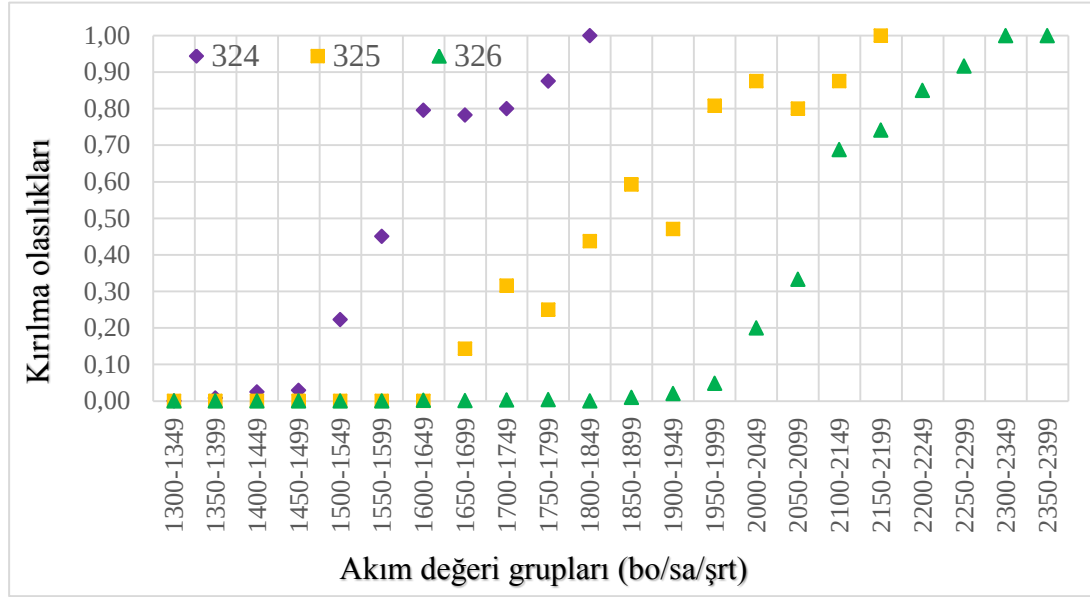


Şekil 4.6: Ölçüm noktalarında 100 bo/sa/şrt akım değeri gruplarının doğrudan kırılma olasılıkları

Bu yöntemin diğer zayıf yönü ise, olasılık değerlerinin yalnızca belirlenen gruplar için hesaplanabilmesidir. Örneğin, Şekil 4.6’da 324 numaralı algılayıcıda, ilk 6 grup için belirlenen kırılma olasılıkları sırasıyla %2, %30, %80, %83 ve %100’dür. Ancak bunun aksine, herhangi bir olasılık değerinin karşılığı olan akım değeri grupları belirlenmek istendiğinde yöntem yetersiz kalmaktadır. Bu durumun nedeni, yöntemin yalnızca kırılma dilimleri için olasılık değeri hesaplaması, kırılma gözlenmeyen dilimleri hesaplamasının dışında tutmasıdır. Çözüm olarak ilerleyen bölümlerde, parametrik olmayan ve parametrik yöntemler ile olasılık dağılım fonksiyonları uygulanmıştır.

Ayrıca doğrudan olasılık tahmini yönteminde, grup genişliği değiştikçe kırılma olasılıkları farklılaşmaktadır. Grup genişliğinin 50 bo/sa/şrt olması durumu Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar, 100 bo/sa/şrt akım değeri grupları (Şekil 4.6) ile karşılaştırıldığında daha farklı olduğu görülmektedir. 325 numaralı algılayıcının kırılma olasılığı, 100 bo/sa/şrt akım değeri gruplarında %90’da kalırken, 50 bo/sa/şrt akım değeri gruplarında %100 olasılığa ulaşmıştır. Bunun nedeni, grup genişliğinin daralmasıyla, daha ayrıntılı sonuçlar elde edilebilmesidir. Bir önceki akım değeri gruplarına göre, 2100-2199 bo/sa/şrt grubu için 10 gözlem diliminin 9’u kırılma dilimi olarak belirlenirken, 50 bo/sa/şrt akım gruplarında 2100-2149 bo/sa/şrt grubun için 8 gözlem diliminden 7’si kırılma dilimi,

2150-2199 bo/sa/şrt grubu için 2 gözlem diliminin 2'si de kırılma dilimi olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7: Ölçüm noktalarında 50 bo/sa/şrt akım değeri gruplarının doğrudan kırılma olasılıkları

Öte yandan, 324 ve 325 numaralı algılayıcılarda, akım değerlerinin arttıkça kırılma olasılıklarının da artması beklenirken, bunun aksine sonuçların olduğu görülmektedir. Örneğin 325 numaralı algılayıcıda, 1850-1899 akım değeri grubunun kırılma olasılığı %60 iken, bir sonraki 1900-1949 akım değeri grubunun kırılma olasılığı %47'dir. Akım değeri artarken, kırılma olasılığındaki bu azalma mantıklı bir sonuç değildir.

4.3 Parametrik Olmayan Yöntemle Olasılık Tahmini

Parametrik olmayan Kaplan-Meier yöntemi ile kırılma gözlenmeyen (sansürlü) dilimler de olasılık hesaplamalarına dahil edilmiştir. Bu yöntemde olasılık dağılım fonksiyonunun tahmini için, her 3 algılayıcıdan sağlanan verilere ayrı ayrı sağkalım analizi uygulanmıştır. Bunun için örnek olarak 324 numaralı algılayıcıya ait kullanılan veriler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelgede görülen “q_j” sütununda, gözlenebilecek tüm hacim değerleri eşit aralıklı olarak 0'dan başlayıp tüm veriler içinde gözlenen en yüksek akım değeri olan 1828 bo/sa/şrt değerine kadar (tam sayılar olmak üzere) sıralanmış, örnek olarak ilk kırılmanın gözlemlendiği dilimi (1369 bo/sa/şrt) içeren 1360-1375 bo/sa/şrt arası 15

akım değeri verisi gösterilmiştir. Bir sonraki sütunda, bu her bir q_j değeri için kırılma görülmeyen dilimlerin sayısı, ardından “ d_j ” sütununda ise kırılma görülen dilimlerin sayısı verilmiştir. “ k_j ” sütununda ise, her bir akım değeri için $q_j \leq q$ koşulunu sağlayan tüm gözlem dilimleri (kırılan ve kırılmayan) sıralanmıştır. Örnek olarak, 1368 bo/sa/şrt akım değeri (q_{1368}) için, bu değerden büyük olan tüm akım değerlerinin sayısı 511 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte bu akım değeri, 1 kere gözlenmiş ve bu gözlemde de kırılma meydana gelmemiştir.

Çizelge 4.2: Kaplan-Meier yöntemi için yapılan hesaplamalar

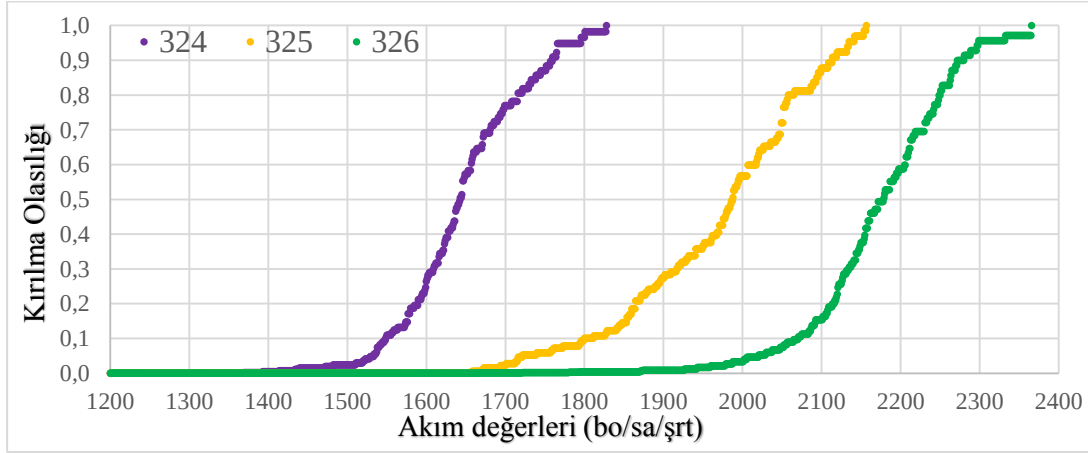
q_j (bo/sa/şrt)	Kırılma gözlenmeyen dilimlerin sayısı (sansürlü veri)	d_j	k_j	$k_j - d_j$	$\frac{k_j - d_j}{k_j}$	$S_c(q)$ $\prod_{j:q_j \leq q} \frac{k_j - d_j}{k_j}$	$F_c(q)$ $1 - S_c(q)$
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
1360	6	0	562	562	1,0000	1,0000	0,0000
1361	11	0	556	556	1,0000	1,0000	0,0000
1362	5	0	545	545	1,0000	1,0000	0,0000
1363	5	0	540	540	1,0000	1,0000	0,0000
1364	6	0	535	535	1,0000	1,0000	0,0000
1365	3	0	529	529	1,0000	1,0000	0,0000
1366	4	0	526	526	1,0000	1,0000	0,0000
1367	11	0	522	522	1,0000	1,0000	0,0000
1368	1	0	511	511	1,0000	1,0000	0,0000
1369	6	1	510	509	0,9980	0,9980	0,0020
1370	3	0	503	503	1,0000	0,9980	0,0020
1371	1	0	500	500	1,0000	0,9980	0,0020
1372	5	0	499	499	1,0000	0,9980	0,0020
1373	6	0	494	494	1,0000	0,9980	0,0020
1374	3	0	488	488	1,0000	0,9980	0,0020
1375	4	0	485	485	1,0000	0,9980	0,0020
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

Çizelgeye göre, bir sonraki akım değeri olan 1369 bo/sa/şrt (q_{1369}) akım değerine bakıldığında ise, bu değerden büyük olan akım değerlerinin sayısı belirlenirken, bir önceki akım değerine ait gözlem sayısının (1 kırılma gözlenmeyen dilim), tüm akım değerlerinin sayısından eksiltildiği ($511-1=510$) görülmektedir. Bunun amacı her bir akım değeri için $q_j \leq q$ koşulunu sağlamaktır. Devamında, 1369 bo/sa/şrt akım değeri 7 kere gözlenirken, bunun 1’inde kırılmanın gözlemlendiği, 6’sında kırılmanın

gözlenmediği belirlenmiştir. Bu aynı zamanda 324 numaralı algılayıcı için kırılmanın görüldüğü en küçük akım değeridir. Ardından, çizelgede belirtilen sağkalım fonksiyonunun diğer işlemleri uygulanmış, 1369 bo/sa/şrt akım değeri için kırılma olasılığı %0,2 olarak belirlenmiştir. Bu işlemler, gözlenen en yüksek akım değeri olan 1828 bo/sa/şrt değerinde, gözlenen tüm akım değerleri sayısı 0 olana kadar tekrarlanmıştır.

Çalışmada, kırılma gözlenen ve gözlenmeyen akım değerlerinin sayısı belirlenirken, yalnızca optimum hız değerinin üzerindeki akım değerleri dikkate alınmıştır. Bir başka deyişle, tıkanık koşullarda gözlenen akım değerleri ve buna ek olarak optimum hızın altında gözlenen tüm akım değerleri göz ardı edilmiştir. Bununla birlikte, kural dışı durum olarak belirlenen optimum hızın altında gözlenen kırılma akım değerleri, çalışma kapsamında tutulmuştur.

Bu yöntem sonucunda elde edilen olasılık dağılım fonksiyonu grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafikte X eksenini şerit başına akım değerlerini, Y eksenini ise bu değerlerin kırılma olasılıklarını göstermektedir.



Şekil 4.8: 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcı verilerinin Kaplan-Meier yöntemine göre olasılık dağılımları

Şekilde görülen olasılık dağılımları, her 3 algılayıcıda da görülen en yüksek akım değeri, aynı zamanda kırılma akım değeri olduğu için 1’e tamamlanmıştır. Ancak bu yöntem, doğrudan olasılık yöntemine göre daha fazla olasılık değerinin karşılığını verse de, kesintisiz bir olasılık dağılımı sağlayamadığı için yine yetersiz kalmıştır. Kesintisiz, yani her bir olasılık değeri için bir akım değerinin üretilebildiği yöntem, parametrik yöntem ile olasılık dağılım fonksiyonlarının uygulanmasıdır.

4.4 Parametrik Yöntemle Olasılık Tahmini

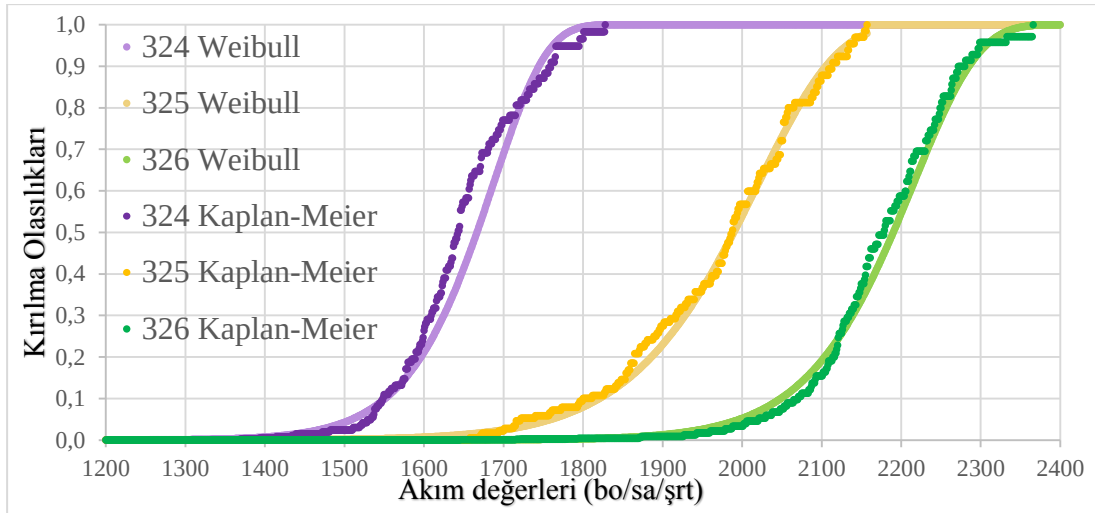
Bu yöntem, kapasite çalışmalarında temelde Kaplan-Meier yöntemi ile hesaplanan olasılık dağılımının 1'e tamamlanamaması nedeniyle tercih edilir. Ancak bu çalışmada her 3 algılayıcıdan elde edilen verilerde, çalışma boyunca gözlenen en büyük akım değerleri kırılma akım değerleri olduğu için olasılık dağılım fonksiyonları 1'e tamamlanmıştır. Buna karşın, yukarıda belirtilen nedenlerle parametrik yöntem ile olasılık dağılım fonksiyonları uygulanmıştır.

İlk olarak, konu ile ilgili yapılan çalışmalarda otoyol kapasite hesaplaması için en uygun dağılım olduğu belirtilen Weibull olasılık dağılım fonksiyonu uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanması için, en büyük benzerlik yöntemi ile Weibull olasılık dağılım fonksiyonun şekil ve ölçek parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalarda ReliaSoft Synthesis isimli istatistiksel analizler yapan bilgisayar programı kullanılmıştır. Programa parametrik olmayan yöntemde kullanılan verilerin aynısı girilmiş ve en büyük benzerlik yöntemine göre Weibull olasılık dağılımı için şekil ve ölçek parametreleri hesaplanmıştır. Analiz sonucunda programdan elde edilen parametre değerleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3: Algılayıcılara göre hesaplanan Weibull dağılım parametreleri

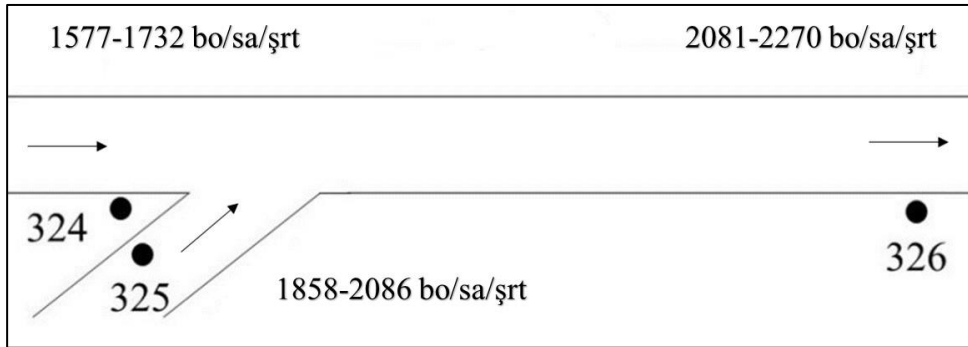
Algılayıcı Numarası	Şekil Parametresi	Ölçek Parametresi
324	26,3	1690,0
325	21,2	2024,3
326	28,2	2218,8

Çizelgeye göre 21-28 değerleri arasındaki bulunan şekil parametreleri, dar forma sahip bir olasılık dağılım fonksiyonunu, dolayısıyla dar kapasite aralıklarını göstermektedir. Bu değerlere göre, şekil parametresi en küçük değere (yaklaşık 21) sahip olan 325 numaralı algılayıcının en geniş kapasite aralığına sahip olması beklenir. Yöntem sonucunda elde edilen olasılık dağılım fonksiyonu grafikleri ve bir önceki bölümde Kaplan-Meier yöntemi ile elde edilen grafikler Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9: 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcı verilerinin Kaplan-Meier yöntemine ve Weibull'a göre olasılık dağılımları

Şekilde görüldüğü gibi bu yöntem ile elde edilen olasılık dağılım fonksiyonları, Kaplan-Meier yöntemi ile elde edilen olasılık dağılım fonksiyonlarına göre kesintisiz olasılık değerleri üretmiştir. %15 ve %85 olasılık değerleri arasındaki kapasite aralığı, 324 numaralı algılayıcı için 1577-1732 bo/sa/şrt, 325 numaralı algılayıcı için 1858-2086 bo/sa/şrt, 326 numaralı algılayıcı için ise 2081-2270 bo/sa/şrt değerleri arasında bulunmuştur. Beklendiği gibi en geniş kapasite aralığı, 325 numaralı algılayıcıya aittir. Her bir algılayıcı için elde edilen kapasite aralığı değerleri, ölçüm noktalarına göre Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Weibull olasılık dağılım fonksiyonuna göre ölçüm noktalarında %15-85 olasılıkla belirlenen kapasite değerleri

Bu yöntemle belirlenen bir diğer sonuç ise, 324, 325 ve 326 numaralı algılayıcılar için sırasıyla 1828, 2157 ve 2366 bo/sa/şrt değerinden daha büyük akım değerlerinde pratik olarak %100 olasılıkla kırılma gözleneceğidir.

4.5 Farklı Olasılık Tahmin Yöntemleri ile Bulunan Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde, doğrudan kırılma tahmin yöntemi ve olasılık dağılım fonksiyonu tahmini yöntemleri (Kaplan-Meier yöntemi ve en büyük benzerlik yöntemi ile Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun uygulanması) ile hesaplanan kırılma (kapasite) olasılık değerleri irdelenecektir.

İlk olarak, Çizelge 4.4'te 324 numaralı algılayıcı (otoyol akım yukarı yönü) için bulunan olasılık değerlerine karşılık gelen kırılma akım değerleri verilmiştir. Çizelgede, incelenecek kırılma olasılıkları belirlenirken, doğrudan tahmin yönteminde kullanılan akım gruplarına karşılık gelen olasılık değerleri dikkate alınmıştır. Kaplan-Meier yönteminde, örneğin %3 kırılma olasılığına sahip akım değerlerinin 1511-1519 bo/sa/şrt aralığında olmasının sebebi, bu değerler arasında kırılan hiçbir akım değerinin gözlenmemiş olmaması ve dolayısıyla aynı olasılık değerine sahip olmalarıdır. Öte yandan, Kaplan-Meier yöntemi için %79 olasılık değerine sahip bir kırılma akım değeri olmadığı için en yakın olasılık değeri olan %78'e göre elde edilen sonuçlar kullanılmıştır.

Çizelge 4.4: 324 numaralı algılayıcı için farklı olasılık tahmin yöntemleri ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

Kırılma Olasılığı (%)	Kırılma Akım Değerleri (bo/sa/şrt)		
	Doğrudan Kırılma Tahmin Yöntemi	Kaplan-Meier Yöntemi	Weibull Olasılık Dağılımı
3	1400-1500	1511-1519	1480
32	1500-1600	1612-1615	1630
79	1600-1700	1708-1715	1719
83	1700-1800	1730-1733	1727
100	1800-1900	1828	>1828

Şekil 4.9'a göre, %5-%80 arasındaki kırılma olasılığına karşılık gelen akım değerleri, Weibull olasılık dağılımı ile karşılaştırıldığında, Kaplan-Meier yönteminde daha düşük değerlerdedir. Buna uygun olarak Çizelge 4.4'te %32 ve %79 kırılma olasılıklarına karşılık gelen akım değerleri Weibull olasılık dağılımında daha yüksek, %3 ve % 83 kırılma olasılıklarına karşılık gelen akım değerleri ise daha düşüktür. Çizelgeye göre, %32 ve %79 kırılma olasılıkları için doğrudan kırılma tahmin yöntemi ile verilen akım değeri grupları ise, her iki parametrik yönteme göre de daha düşük değerlerdir. Diğer olasılık değerlerine karşılık gelen akım değeri grupları ise, sayısal değer vermediğinden, karşılaştırma yapılamamıştır.

Çizelge 4.5'te ise, 325 numaralı algılayıcı (bağlantı kolu) için bulunan olasılık değerlerine karşılık gelen akım değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5: 325 numaralı algılayıcı için farklı olasılık tahmin yöntemleri ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

Kırılma Olasılığı (%)	Kırılma Akım Değerleri (bo/sa/şrt)		
	Doğrudan Kırılma Tahmin Yöntemi	Kaplan-Meier Yöntemi	Weibull Olasılık Dağılımı
7	1600-1700	1761-1772	1789
28	1700-1800	1898-1909	1921
54	1800-1900	1991-1993	2000
67	1900-2000	2036-2042	2034
84	2000-2100	2090-2093	2083
90	2100-2200	2109-2113	2105

Bu algılayıcı için, yine Kaplan-Meier yönteminde %67 olasılık değerine sahip bir kırılma akım değeri olmadığı için en yakın olasılık değeri olan %66'ya göre elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. 324 numaralı algılayıcıda olduğu gibi yine incelenecek kırılma olasılıkları belirlenirken, doğrudan tahmin yönteminde kullanılan akım gruplarına karşılık gelen olasılık değerleri dikkate alınmıştır. Bu nedenle, daha önce de belirtildiği gibi bu algılayıcı için görülen en yüksek olasılık değeri %90 olarak belirlendiği için, diğer 2 yöntemde %100 olasılık değerine sahip akım değerleri karşılaştırılamamıştır. Çizelgede verilen sonuçlara göre ve Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi, olasılık değerlerine karşılık gelen akım değerleri, her iki parametrik yöntemle göre de belirli bir olasılık aralığı boyunca daha yüksek ya da daha düşük akım değerlerine karşılık gelecek şekilde devam etmemiştir. Bununla birlikte doğrudan kırılma tahmin yöntemi ile belirlenen %7, %28, %54 ve %67 olasılık değerlerine karşılık gelen akım değeri grupları, parametrik yöntemle hesaplanan değerlere göre daha düşük değerlerdir.

Son olarak Çizelge 4.6'da, 326 numaralı algılayıcı (otoyol akım aşağı yönü) için bulunan olasılık değerlerine karşılık gelen akım değerleri verilmiştir. Bu algılayıcıda da, Kaplan-Meier yöntemi ile %71 ve %88 olasılık değerlerine sahip kırılma akım değerleri olmadığı için en yakın olasılık değerleri olan, sırasıyla %72 ve %87'ye göre elde edilen akım değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.6: 326 numaralı algılayıcı için farklı olasılık tahmin yöntemleri ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

Kırılma Olasılığı (%)	Kırılma Akım Değerleri (bo/sa/şrt)		
	Doğrudan Kırılma Tahmin Yöntemi	Kaplan-Meier Yöntemi	Weibull Olasılık Dağılımı
3	1900-2000	1979-2001	1961
27	2000-2100	2126	2130
71	2100-2200	2231-2233	2236
88	2200-2300	2265-2268	2279
100	2300-2400	2366	>2366

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.9'a göre, %30-%95 arasındaki kırılma olasılığına karşılık gelen akım değerleri, Weibull olasılık dağılımı ile karşılaştırıldığında, Kaplan-Meier yönteminde daha düşük değerlerdedir. Aynı olasılık değerleri için doğrudan kırılma tahmin yöntemi ile verilen akım değeri grupları ise, her iki parametrik yönteme göre de yine daha düşük değerlerdir.

Deterministik yaklaşım ile belirlenen kapasite değerleri içinse HCM 2010'da sunulan değerler incelenmiştir. HCM 2010, otoyolun akım aşağı ve akım yukarı yönlerinde, incelenen kesimdeki serbet akım hızı olan 95 km/sa için 2300 bo/sa/şrt, bağlantı kolunda ise 85 km/sa serbest akım hızı için 2200 bo/sa/şrt kapasite değerleri belirlemiştir. Bu değerler ile Weibull olasılık dağılım fonksiyonu sonucunda belirlenen %15, %50, %85 ve %100 olasılık değerine karşılık gelen akım değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7: Stokastik ve deterministik yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması

Yöntem	Olasılık	Otoyol Kapasitesi (bo/sa/şrt)		
		Otoyol Akım Yukarı Yönde	Bağlantı Kolu	Otoyol Akım Aşağı Yönde
HCM 2010	Deterministik	2300	2200	2300
Weibull Olasılık Dağılım Fonksiyonu	%15	1577	1858	2081
	%50	1667	1990	2190
	%85	1732	2086	2270
	%100	≥1828	≥2157	≥2366

Çizelgeye göre, HCM 2010'un otoyolun akım aşağı ve yukarı yönleri için belirlediği 2300 bo/sa/şrt kapasite değeri, Weibull olasılık dağılımının %100 olasılık değeri verdiği akım değerine göre akım aşağı yönde (2366 bo/sa/şrt) aşılmış, akım yukarı yönde (1828 bo/sa/şrt) ise çok altında kalmıştır. Bağlantı kolunda ise, 2157 bo/sa/şrt ile HCM 2010'un belirlediği değere (2200 bo/sa/şrt) yakın ancak yine de altında bir kapasite değeri gözlenmiştir. Öte yandan tüm ölçüm noktalarında, Weibull olasılık dağılım fonksiyonu sonucunda belirlenen (%15 ve %85 olasılık değerleri arasındaki) kapasite aralığı değerlerinin, HCM 2010'un belirlediği kapasite değerlerinden düşük olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kent içi otoyolların katılım kesimleri için kapasite değerlerinin tahmin edilmesine yönelik bu tez çalışmasında, uygulanan yöntemlere göre farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kapasite değeri olarak kabul edilen kırılma akım değerlerinin hepsi, hafta içi günlerin (Pazartesi-Cuma) sabah zirve saatlerinde (06:30-07:30) gözlenmiştir. Hafta sonu (Cumartesi-Pazar) hiç kırılma olayının gözlenmemesi nedeniyle, hafta içi – hafta sonu günleri arasında kapasite değeri için bir karşılaştırma yapılamamıştır.

Çalışma için İBB-TKM'den elde edilen veriler düzenlenmiş, 2 dakikalık zaman dilimlerine ait taşıt trafiği verileri, stokastik kapasite değerlendirmesi için önerilen 5 dakikalık zaman dilimleri olarak toplulaştırılmıştır. Ardından her bir şerit için verilen ağır taşıt hacim değerleri, 1,5 bo katsayı değeri kullanılarak birim otomobil cinsinden hacimlere dönüştürülmüştür. Bu hacimler de şerit başına akım değerlerine, ortalama akım hızı değerleri ise hacim ağırlıklı ortalama akım hızı değerlerine dönüştürülmüştür.

İncelenen otoyol katılım kesiminde bağlantı kolu, otoyolun akım aşağı ve akım yukarı yönü olmak üzere 3 farklı ölçüm noktası için farklı kapasite değerleri bulunmuştur. Bunlardan en yüksek kırılma akım değeri 2366 bo/sa/şrt ile otoyol katılım kesiminin akım aşağı yönünde gözlenmiştir. Bağlantı kolunda ve otoyolun akım yukarı yönünde gözlenen en büyük akım değerleri ise, sırasıyla 2157 ve 1828 bo/sa/şrt olarak belirlenmiştir. Otoyolun akım aşağı ve yukarı yönlerinde şerit sayısı (4) aynı olduğu halde, gözlenen en büyük akım değerleri arasındaki farkın, 538 bo/sa/şrt gibi oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin, bağlantı kolundan gelen taşıtların otoyola katılırken şerit ihlali yapması olabileceği düşünülmüştür.

Belirlenen kırılma akım değerlerinin, doğrudan olasılık tahmini ve olasılık dağılım fonksiyonun tahmini yöntemleri (stokastik yaklaşım) ile olasılık dağılımına

bakıldığında ise, olasılık dağılım fonksiyonun tahmininin daha ayrıntılı sonuçlar sunduğu görülmüştür. Doğrudan olasılık tahmininde, yalnızca belirlenen akım değeri grupları için olasılık değerlerinin üretilebilmesi ve olasılık dağılımının 3 algılayıcıda da 1'e tamamlanamaması (325 numaralı algılayıcıda en yüksek olasılık değerinin 0,9 olması) bu yöntemin zayıf yönleri olarak belirlenmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonu tahmininde ise, parametrik olmayan ve parametrik olmak üzere iki farklı yöntem uygulanmıştır. Parametrik olmayan yöntemde “sağkalım fonksiyonu” kullanılarak Kaplan-Meier yöntemi, parametrik yöntemde ise “en büyük benzerlik” yöntemi ile ölçek ve şekil parametreleri hesaplanarak “Weibull olasılık dağılımı fonksiyonu” uygulanmıştır. Kaplan-Meier yöntemiyle, doğrudan kapasite tahmin yönteminden daha ayrıntılı olarak, gözlenen tüm akım değerleri için bir kırılma olasılığı hesaplanmıştır. Ancak bu yöntemin de, Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre yetersiz kaldığı, her bir olasılık değerine karşılık bir akım değeri üretmediği ve hiç gözlem olmayan akım değerleri için bir önceki akım değeri ile aynı olasılık değerini verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, Weibull olasılık dağılımı ile belirlenen en yüksek (%100) olasılıklı kapasite değerlerine bakıldığında bile, incelenen otoyolun katılım kesiminde akım aşağı yönü dışında, özellikle akım yukarı yönünde, düşük kapasitelerde kullanıldığı görülmüştür. Bu durumda, sürücülerimizde sıkça gördüğümüz şerit ihlali, sık şerit değiştirme, sabırsız davranma gibi davranışların akımda düzensizliklere ve dalgalanmalara yol açarak kapasite kaybına sebep olduğu düşünülebilir.

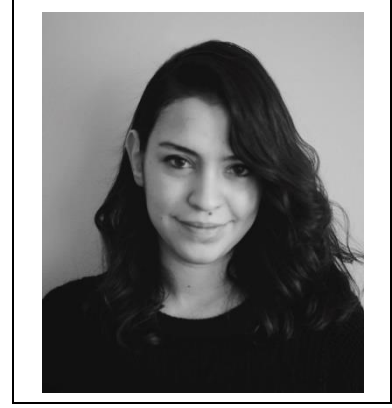
Bu tez çalışmasında, incelenen katılım kesiminde, stokastik yöntemlerle kapasite değerleri belirleme çalışması yapılmış, 2012 yılının ilk 7 ayını içeren veriler, hava şartlarından bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Benzer çalışmalar, hava koşullarını dikkate alarak (yağışsız, yağışlı, karlı, sisli vb.) ve farklı geometrik özelliklere sahip otoyol kesimlerinde gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu çalışmalar, hafta içi ve hafta sonu günlerde, farklı kullanıcıların kapasite üzerindeki etkilerinin incelenmesi için de gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- AASHTO** (2001). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (4th Ed.). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aksoy, G. ve Ögüt, K. S.** (2014). Analysis of Congestion Phenomena on the One Lane Dropped Motorway Merge without Ramp-Metering in İstanbul, 17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Sevilla, 2-4 Temmuz.
- Brilon, W., Geistefeldt, J., ve Regler, M.** (2005). Reliability of Freeway Traffic Flow: A Stochastic Concept of Capacity, The 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, College Park, Maryland, 126-144.
- Brilon, W. ve Zurlinden, H.** (2003). Ueberlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterium fuer Strassenverkehrsanlagen (Breakdown Probability and Traffic Efficiency as Design Criteria for Freeways). Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik No. 870. Bonn.
- Elefteriadou, L. ve Lertworawanich, P.** (2003). Defining, Measuring and Estimating Freeway Capacity, 82nd Annual Meeting, Transportation Research Center Board, Washington, D.C., 12-16 Ocak.
- Gedizoğlu, E.** (1988). Traffic Flow on Bosphorus Bridge and Approaches, International Symposium on Approaches to Regional Transport Problems: Middle East Requirements, İstanbul Technical University Transportation and Vehicles Research Center, İstanbul, 455-463, 23-26 Mayıs.
- Gedizoğlu, E. ve Akad, M.** (1992). Kentiçi Şişeboynu Kesimlerde Kapasite Kullanımı: Boğaziçi Köprüsü Örneği, İstanbul 2.Kentiçi Ulaşım Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri ODası İstanbul Şubesi, Ayazağa, İstanbul, 323-338, 16-18 Aralık.
- Geistefeldt, J. ve Brilon, W.** (2009). A Comparative Assessment of Stochastic Capacity Estimation Methods, Transportation and Traffic Theory, Springer, 583-602.
- Lorenz, M. ve Elefteriadou, L.** (2000). A Probabilistic Approach to Defining Freeway Capacity and Breakdown, Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii, 84-95, 27 Haziran-1 Temmuz.
- Lorenz, M. ve Elefteriadou, L.** (2001). Defining Freeway Capacity As Function of Breakdown Probability, Transportation Research Report, 1776, 43-51.
- Ozan, C.** (2009). İzmir-Aydın Otoyolu Kapasite Analizi, İzmir Ulaşım Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri ODası İzmir Şubesi, İzmir, 8-9 Aralık.
- Ozbay, K. ve Ozguven, E.E.** (2007). A Comparative Methodology for Estimating the Capacity of a Freeway Section, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, WA, USA, 1034-1039, 30 Eylül-3 Ekim.

- Polus, A. ve Pollatschek, M.A.** (2002). Stochastic Nature of Freeway Capacity and Its Estimation, *Can. J. Civ. Eng.*, 29, 842-852.
- Şahin, İ.** (2001). İstanbul Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarında Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması, 5. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Beşiktaş, İstanbul, 223-230, 30-31 Mayıs.
- Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. ve Gedizoğlu, E.** (2004). Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirilmesi Stratejilerinin Araştırılması, TÜBİTAK Proje Raporu (Proje No. 101|061), İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, İstanbul.
- Tanış, M.** (2013). Kent içi Otoyolların Kavşaksız Kesimlerinde Serbest Akım Hızlı ve Kapasiteyi Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- TRB** (2000). *Highway Capacity Manual*, S.I. Units, (4th Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- TRB** (2010). *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, (5th Ed.). Washington D.C.: National Research Council..
- Url-1**
<<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/KanunMevzuat/kanun1593.pdf>>, erişim tarihi 12.11.2013.
- Url-2** <<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=1.5.2918&Mevzuatİlis ki=0&source XmlSearch=>>>, erişim tarihi 12.11.2013.
- van Toorenburg, J.** (1986). *Praktijwaarden voor de capaciteit*. Rijkswaterstaat dienst Verkeerskunde, Rotterdam.
- Yeon, J., Hernandez, S. ve Elefteriadou, L.** (2009). Differences in Freeway Capacity by Day of the Week, Time of Day, and Segment Type. *Journal of Transportation Engineering*, 135:7, 416-426.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Fulya Özsan
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 07.03.1987
E-Posta : fulyaozsan@gmail.com
Lisans : 2010, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

Mesleki Deneyimler ve Ödüller:

Yayın ve Patentler:

Yayın Listesi:

Kuşakcı S. Ş., **Özsan F.** ve Ögüt K. S. (2013), İstanbul'da Işıklı Yaya Geçitlerinde Yaya Hızlarının İrdelenmesi. 10. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir, 243-252, 25-26-27 Eylül.