

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRAFİK AKIM HIZININ MODELLENMESİ: İSTANBUL BARBAROS BULVARI
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UMUTCAN GÖKÇEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

EKİM 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRAFİK AKIM HIZININ MODELLENMESİ: İSTANBUL BARBAROS BULVARI
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UMUTCAN GÖKÇEK

501151418

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN

EKİM 2018



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501151418** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Umutcan Gökçek**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Trafik Akım Hızının Modellenmesi: İstanbul Barbaros Bulvarı Örneği**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18 Eylül 2018**

Savunma Tarihi : **26 Ekim 2018**





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Ülkemizdeki büyük şehirlerde, özellikle İstanbul’da, kalabalık nüfusun ve yüksek taşıt sayısının yarattığı bir trafik sorununun olduğu açıktır. İnsanların her gün işe giderken yollarda geçirdiği saatler, yoğun trafiğin sebep olduğu kazalar ve trafikte bunalan insanlardaki gergin ve sinirli ruh hali sıkışık trafiğin yarattığı problemlerden sadece birkaçıdır.

Şehirlerdeki yoğun trafik sorununu çözmek için birçok çözüm önerisi sunulup uygulanmaya başlasa da, bu konuda henüz ciddi bir netice alınamamıştır. Trafik sorununu çözmeye yardımcı olmak için yeni yollar inşa etmenin yanında, var olan yolları çeşitli trafik yönetim teknikleriyle daha akıcı bir şekilde işletebilmek için trafik akım değerleri ve akım hızları kullanılmaktadır. Bu yüksek lisans tezi, trafik yönetiminde kullanılan trafik hızı verilerinin çeşitli regresyon modelleriyle bulunması hedefine yönelik bir çalışmadır.

Şantiyede çalışan her inşaat mühendisi, şantiyenin gerektiğinde gece gündüz çalışma temposunu yaşamıştır. Şantiye hayatının bu yoğun iş temposu içerisinde, bir yüksek lisans programını başarıyla tamamlayabilmek benim için bir rüyaydı. Tez aşamasında yaşadığım birçok zorluğa ve her türlü eksikliklerime karşın, onca işinin ortasında bana zaman ayıran sayın danışmanım, değerli bilim adamı, Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan’a çok teşekkür ediyorum. Tezin bu aşamaya gelmesinde büyük payı olan sayın hocam, Prof. Dr. Kemal Selçuk Öğüt’e minnet ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisans dersleri için şantiyeden ayrıldığım zamanlarda benim için de çalışıp, yerimi dolduran çalışma arkadaşlarıma minnettarlığımı sunarım.

Yorulduğum zamanlarda beni motive eden ve hiçbir zaman çalışmaktan vazgeçmemem için beni yönlendiren sevgili annem ve babamın da bu başarıda payı büyüktür. Onları çok sevdiğimi buradan da söylemek istiyorum.

Son olarak, bu tez çalışması sırasında bana her türlü desteği sunan ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan biricik eşim Gülşah’a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Eylül 2018

Umutcan Gökçek
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Amaç ve Hedef.....	2
1.3 Yöntem	2
2. TRAFİK AKIMININ ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1 Trafik Akım Değişkenlerinin Tanımı.....	3
2.2 Trafik Akım Değişkenleri Ölçüm Yöntemleri	6
2.3 Trafik Akım Değişkenleri Arasındaki İlişkiler	8
2.3.1 Akım-Yoğunluk ilişkisi.....	8
2.3.2 Hız-Yoğunluk ilişkisi.....	10
2.3.3 Hız-Akım ilişkisi.....	11
2.4 Trafik Modellemeleri	17
3. SAHA ÇALIŞMASI.....	19
3.1 Çalışma Alanının Özellikleri.....	19
3.2 Trafik Verilerinin Toplanması ve Tanıtımı	20
3.3 Hız Verilerinin Özellikleri	25
3.3.1 Akım hızı verilerinin özellikleri.....	25
3.3.2 Taşıt hızı verilerinin özellikleri.....	26
3.4 Hız Verilerinin Gruplanması	28
3.4.1 Akım hızı verilerinin gruplanması	28
3.4.2 Taşıt hızı verilerinin gruplanması	33
3.5 Akım Hızı Regresyon Modeli	34
3.5.1 Şerit 1 ve 2 için akım hızı regresyon modeli	39
3.5.2 Şerit 3 için akım hızı regresyon modeli	45
3.6 Taşıt hızı regresyon modeli	50
3.6.1 Şerit 1 ve 2 için taşıt hızı regresyon modeli.....	50
3.6.2 Şerit 3 için taşıt hızı regresyon modeli.....	53
4. SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	61
EKLER.....	65
EK A.....	66
EK B.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	75

KISALTMALAR

ANOVA	: Varyans Analizi (Analysis of Variance)
BPR	: Karayolları Ofisi (Bureau of Public Roads)
CV	: Değişim Katsayısı (Coefficient of Variation)
dk	: Dakika
HCM	: Karayolları Kapasitesi El Kitabı (Highway Capacity Manual)
km	: Kilometre
MSE	: Hata Kare Ortalaması (Mean Square Error)
MSTR	: İşlem Ortalama Karesi (Mean Square Treatment)
MTC	: Büyükşehir Ulaştırma Komisyonu (Metropolitan Transportation Commission)
RTMS	: Trafik Mikrodalga Sensörü (Remote Traffic Microwave Sensor)
sa	: Saat
SAH	: Serbest Akım Hızı (km/sa)
SSE	: Hata Kareleri Toplamı (Error Sum of Squares)
SSTR	: İşlem Kareler Toplamı (Treatment Sum of Squares)
ta	: Taşıt
TAH	: Trafik Akım Hızı (km/sa)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çok fonksiyonlu modeller	9
Çizelge 2.2 : Tercan ve Gedizlioğlu şehir içi trafik akım hızı (TAH) modelleri.....	14
Çizelge 2.3 : Madhu ve Velmurugan trafik akım hızı modelleri.....	16
Çizelge 3.1 : Akım, zaman cinsinden aralık ve hız verileri için özet istatistikler	21
Çizelge 3.2 : Her şeritteki akım hızı verilerinin Tek yön ANOVA testi sonuçları ...	30
Çizelge 3.3 : Akım hızı verilerinin Tukey-Kramer metodu test sonuçları	31
Çizelge 3.4 : Akım hızı verilerinin Non-pooled t testi sonuçları.....	32
Çizelge 3.5 : Her şeritteki taşıt hızı verilerinin Tek yön ANOVA testi sonuçları.....	33
Çizelge 3.6 : Taşıt hızı verilerinin Tukey-Kramer metodu test sonuçları	34
Çizelge 3.7 : Taşıt hızı verilerinin Non-pooled t testi sonuçları.....	34
Çizelge 3.8 : Hız-Akım modelleri için çeşitli fonksiyonel bağıntılar.....	36
Çizelge 3.9 : Trafik akım hızı için yapılan modellerde kullanılan değişkenler	37
Çizelge 3.10 : Şerit 1 ve 2 için 1. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi ($q \leq 720$ ta/sa)	42
Çizelge 3.11 : Şerit 1 ve 2 için 1. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları	43
Çizelge 3.12 : Şerit 1 ve 2 için 2. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi ($720 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1440 \text{ ta/sa}$).....	43
Çizelge 3.13 : Şerit 1 ve 2 için 2. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları	44
Çizelge 3.14 : Şerit 1 ve 2 tıkanık akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi.....	46
Çizelge 3.15 : Şerit 1 ve 2 için tıkanık akım bölgesi regresyon modeli sonuçları	44
Çizelge 3.16 : Şerit 3 için 1. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi ($q \leq 480$ ta/sa)	47
Çizelge 3.17 : Şerit 3 için 1. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları.....	47
Çizelge 3.18 : Şerit 3 için 2. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi (480 $\text{ta/sa} \leq q \leq 1740 \text{ ta/sa}$)	48
Çizelge 3.19 : Şerit 3 için 2. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları.....	48
Çizelge 3.20 : Şerit 3 tıkanık akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi.....	49
Çizelge 3.21 : Şerit 3 için tıkanık akım bölgesi regresyon modeli sonuçları	49
Çizelge 3.22 : Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 için oluşturulan tüm modeller ve R^2 değerleri	50
Çizelge 3.23 : Şerit 1 ve 2 taşıt aralığı ve taşıt hızı arasındaki korelasyon çözümlemesi	53
Çizelge 3.24 : Şerit 3 taşıt aralığı ve taşıt hızı arasındaki korelasyon çözümlemesi .	55
Çizelge A.1 : F dağılımı tablosu	66
Çizelge A.2 : Tukey-Kramer metodu için q grafiği ($\alpha = 0,05$).....	66
Çizelge A.3 : t dağılımı tablosu	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Zamana bağlı yığılımlı taşıt grafiği	3
Şekil 2.2 : Film karelerinden Zaman-Yol eğrilerinin çıkarılması.....	5
Şekil 2.3 : Yol-Zaman (Yörüngen) grafiği	5
Şekil 2.4 : Greenshields modeli hız – yoğunluk ilişkisi	8
Şekil 2.5 : Greenshields modeli akım-yoğunluk ilişkisi.....	11
Şekil 2.6 : Greenshields modeli hız – akım ilişkisi.	12
Şekil 2.7 : Greenshields modelinde akım, yoğunluk ve hız arasındaki ilişkiler.....	12
Şekil 2.8 : Trafik model seçimi ve uygulaması	18
Şekil 3.1 : Barbaros Bulvarı üzerindeki ölçüm yapılan kesim	20
Şekil 3.2 : Hız hesabı için yapılan süre ölçümü için belirlenen iki kesit.....	21
Şekil 3.3 : Yol için Akım-Süre (a) ve Yaya Akımı-Süre (b) grafikleri	23
Şekil 3.4 : Yol için ölçeklendirilmiş eklenik akım-süre (a) ve eklenik yaya akımı-Süre (b) grafikleri	24
Şekil 3.5 : Akım hızı göreceli frekans histogramları (a) Şerit 1 (b) Şerit 2 (c) Şerit 3.....	25
Şekil 3.6 : Taşıt hızı göreceli frekans histogramları (a) Şerit 1 (b) Şerit 2 (c) Şerit 3	27
Şekil 3.7 : Akım değeri-akım hızı grafikleri (a) Şerit 1 ve 2 (b) Şerit 3.....	38
Şekil 3.8 : Şeritler için Dakikalık Akım Hızı-Süre grafiği (a) Serbest akım (b) Tıkanık akım.....	40
Şekil 3.9 : Şerit 1 ve 2 için korelasyon eğrisi (a), akım değeri-akım hızı grafiği (b) ..	41
Şekil 3.10 : Şerit 3 için korelasyon eğrisi (a), akım değeri-akım hızı grafiği (b).....	46
Şekil 3.11 : Şerit 1 ve 2 için taşıt aralığı-taşıt hızı grafiği	51
Şekil 3.12 : Şerit 1&2 için korelasyon eğrisi (a), taşıt aralığı-hız grafiği (b).....	52
Şekil 3.13 : Şerit 3 için taşıt aralığı-taşıt hızı grafiği	53
Şekil 3.14 : Şerit 3 için korelasyon eğrisi (a), taşıt aralığı-hız grafiği (b)	54
Şekil B.1 : Şerit 1&2 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 720$ ta/sa)	68
Şekil B.2 : Şerit 1&2 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 720$ ta/sa)	68
Şekil B.3 : Şerit 1&2 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 720$ ta/sa)	68
Şekil B.4 : Şerit 1&2 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ($720 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1440$ ta/sa)	69
Şekil B.5 : Şerit 1&2 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği ($720 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1440$ ta/sa)..	69
Şekil B.6 : Şerit 1&2 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği ($720 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1440$ ta/sa).....	69
Şekil B.7 : Şerit 1&2 Tıkanık Akım Bölgesi Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ..	70
Şekil B.8 : Şerit 1&2 Tıkanık Akım Bölgesi Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği.....	70
Şekil B.9 : Şerit 1&2 Tıkanık Akım Bölgesi Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği.....	70
Şekil B.10 : Şerit 3 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 480$ ta/sa)	71
Şekil B.11 : Şerit 3 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 480$ ta/sa)	71
Şekil B.12 : Şerit 3 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 480$ ta/sa)	71
Şekil B.13 : Şerit 3 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ($480 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1740$ ta/sa)..	72
Şekil B.14 : Şerit 3 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği ($480 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1740$ ta/sa).....	72

Şekil B.15 : Şerit 3 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği ($480 \text{ ta/sa} \leq q \leq 1740 \text{ ta/sa}$)	72
Şekil B.16 : Şerit 3 Tıkanık Akım Bölgesi Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği.....	73
Şekil B.17 : Şerit 3 Tıkanık Akım Bölgesi Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği.....	73
Şekil B.18 : Şerit 3 Tıkanık Akım Bölgesi Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği	73



TRAFİK AKIM HIZININ MODELLENMESİ: İSTANBUL BARBAROS BULVARI ÖRNEĞİ

ÖZET

Trafik akımının temel büyüklüklerinden biri olan hız, yeni ulaştırma sistemlerinin inşası ya da var olan sistemlerin geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda dikkate alınan en önemli değişkenlerden birisidir. Karayolları kapasite çözümlmeleri, trafik planlamaları ve trafik güvenliği araştırmaları için hız verilerinin toplanması ve bilimsel çözümlemesi büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, örnek bir karayolu kesiminde toplanan akım, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ve hız verileri yardımıyla çalışılan kesimdeki trafik akım değişkenleri arasındaki ilişkileri incelemek ve taşıt hızlarının hesaplanabilmesi için matematiksel modeller önermektir.

Bu çalışmada, İstanbul Barbaros Bulvarı Zincirlikuyu yönünde belirlenen bir kesimde, taşıt hızlarının regresyon çözümlemesiyle modellenmesi amacıyla, taşıt ve yaya sayımı, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ile taşıt hızı ölçümleri yapılmıştır. Toplanan veriler istatistiksel olarak incelenmiş, regresyon çözümlemesi yöntemiyle modellenmiştir. Modellerin başarı kriterleri olarak belirlilik katsayıları dikkate alınmıştır.

Tez dört bölüm içermektedir. İlk bölümde tezin konusu, amacı ve uygulanan yöntemler belirtilmiştir. Trafik akım değişkenleri ile ilgili bilgiler ve literatürdeki çalışmalar ikinci bölümde verilirken, üçüncü bölümde saha çalışması anlatılmıştır. Çalışma yapılan bölgenin özellikleri, toplanan verilerin özeti, verilerin istatistiksel çözümlemesi ve uygun regresyon modellerinin oluşturulması bu bölümde verilmiştir. Son bölümde ise tezin özetine ve çalışmadan çıkarılan sonuçlara yer verilmiştir.

Yol üzerindeki üç şerit için tek bir regresyon modeli oluşturulup oluşturulamayacağını öğrenmek için, toplanan taşıt ve akım hızı verilerine Tek-Yön ANOVA testi, Tukey-Kramer testi ve Non-pooled t testi uygulanmıştır. Uygulanan testler sonucunda, 1. ve 2. şerit için tek bir model, 3. şerit için ayrı bir model geliştirileceği belirlenmiştir.

Çalışmada, büyük ölçekli bir trafik verisi olan ortalama akım hızını hesaplamak için oluşturulacak modelde, dakikalık akım hacmi bağımsız değişken, küçük ölçekli bir trafik verisi olan taşıt hızını hesaplamak için oluşturulacak modelde ise zaman cinsinden taşıtlar arası aralık bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Büyük ölçekli modeller oluşturulurken, serbest ve tıkanık akım koşulları incelenmiş, trafik verileri bu koşullara göre iki bölgeye ayrılarak her bölge için farklı modeller bulunmuştur. Serbest akım için yapılan modellemelerde, korelasyon tekniği kullanılarak verilere uyumu en yüksek olan modeller bulunmuştur. Sonuç olarak Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 için toplam altı adet regresyon modeli geliştirilmiştir. Küçük ölçekli modeller oluşturmak için ise yine korelasyon çözümlemesi yapılmış, ancak taşıt hızı ile zaman cinsinden taşıtlar arası aralık arasında anlamlı bir ilişki görülmediğinden model oluşturulmamıştır.

Yapılan regresyon çözümlemelerinde, daha büyük belirlilik katsayısına sahip modeller oluşturulabilmesi için çeşitli çözümler önerilmiştir. Tezin, hız modellemeleri için yapılacak ardıl çalışmalarda örnek bir kaynak olması hedeflenmiştir.



MODELLING TRAFFIC FLOW SPEED: AN EXAMPLE FOR ISTANBUL BARBAROS BOULEVARD

SUMMARY

Speed, which is one of the basic magnitudes of traffic flow, is the most significant variable considered in the studies carried out for the development of new or existing transportation systems. The scientific analysis of speed data for road capacity analysis, traffic management and traffic safety research are of great importance. Due to this reason, it is very important to estimate the speed of the vehicles in traffic, which is cumbersome and expensive to collect, by various mathematical models. The purpose of this thesis is to analyse the relationships between the traffic variables and present mathematical models to estimate the vehicle and flow speeds on an exemplary highway.

The thesis has four chapters. In the first chapter, the motivation of the thesis, the subject and the methods applied were mentioned. Information about traffic flow variables and modelling studies using relations between traffic flow variables in the literature were explained in the second chapter. The third chapter is the section on which the case study was described. The characteristics of the study area, summary of the collected data, statistical analysis of data and estimation of regression models are described in this chapter. In the last chapter, the summary of thesis, the results, the solutions and the interpretations made are expressed.

In this study, vehicle and pedestrian counting, time headway measurement and vehicle cruising speed measurement were made in order to estimate the speeds of the vehicles with regression models in a segment determined on İstanbul Barbaros Boulevard in the direction of Zincirlikuyu. The collected data were statistically analysed and modelled using various approaches. As the success criteria of models, coefficient of determination values of the models were taken into consideration.

The vehicle and speed survey are made for three lanes, the speed of a total of 2786 vehicles was calculated. For Lane 1, the average speed was 34.87 km/h, for Lane 2, it was 36.86 km/h and for Lane 3, it was 42.37 km/h. Vehicles travelling on Lane 3 are faster than other lanes. The reason for this difference is the tendency of heavy vehicles such as buses and trucks to continue their journey from the first or second lane.

The average flow of Lane 1 was found as 414.67 veh/hr whereas the average flow of Lane 2 was found as 721.33 veh/hr. Lane 3 average flow was 721.33 veh/hr.

The average time headway for Lane 1 was found as 8.54 sec. This value for Lane 2 is 5.00 sec. whereas the average time headway for Lane 3 is 4.63 sec.

The result of the vehicle count shows that 84% of 2786 vehicles in the flow is automobiles, 10% minibuses, 5% buses and 1% trucks.

Throughout the count, total of 181 pedestrians crossed over. The pedestrian crossing in the study area was at most 8 pedestrians per minute.

One Way ANOVA test, Tukey-Kramer method and non-pooled t test were applied to the lane based flow and vehicle speed data to find out whether these three lanes' data are coming from a single population. As a result of the tests performed, it was determined that a single model for Lanes 1&2 and a separate model for Lane 3 should be estimated.

In the study, it is thought to use the average flow per minute in the macroscopic regression model to calculate the average flow speed. On the other hand, to build the microscopic regression model which calculates the vehicle speed, time headways are intended to be used.

The congested and uncongested traffic flow conditions were analysed separately to develop macroscopic and microscopic models. Therefore, different models were found for each traffic flow conditions. In the modelling for uncongested flow, the correlation technique was used to find the model with the highest compliance level. As a result of the correlation analysis, a model was built for the selected data and a different model was created for the remaining data. In conclusion, For Lane 1&2 and Lane 3, six regression models were created.

In order to develop microscopic models, correlation analysis was performed again but no model was formed since there was no significant relationship between vehicle speed and headway.

Therefore, macroscopic models were developed only for flow speed. As the result of the correlation analysis performed on Lane 1&2 uncongested traffic flow conditions, the highest correlation value was seen in the 93th flow and speed data pair. For congested flow conditions, a different model was created. While the coefficient of determination of the model developed for the first free flow region was 0.41, this value was found to be 0.35 for the second free flow region and 0.68 for the congested flow region.

The same path was followed in the modelling for Lane 3. As the result of the correlation analysis for uncongested traffic flow conditions, the highest correlation value is seen in the 20th flow and speed data pair so a model was built for the data up to this value and a different model for the remaining data. While the first free flow region's coefficient of determination were found to be 0.52, this value was 0.10 for the second free flow region and 0.84 for the congested flow region.

In the models developed for the average flow speed, it was observed that the coefficient of the determination values of the congested flow region models were much higher than the uncongested flow region models. The reason for that is high vehicle interactions in the congested flow region.

Various solutions have been proposed to predict the models with larger coefficient of determination values in the regression analysis performed. The aim of the thesis is to be a guiding resource for studies for speed modelling.

In this study, no research has been conducted to explain the results of driver behaviour. However, the effects of driver behaviour on traffic flow is an important issue. The driver behaviour data to be obtained through various surveys will be supportive for more accurate vehicle and flow speed estimates.

This thesis has been prepared by considering different approaches in terms of creating both macroscopic and microscopic models. A higher coefficient of determination values could be reached by using different measurement techniques, by collecting speed and flow data at different locations in order to add different variables to the model and by increasing observation time.





1. GİRİŞ

İstanbul gibi trafik yoğunluğu yüksek olan şehirler için trafik sorununu çözmek adına yeni yollar yapılması ve mevcut yolların daha verimli kullanılması ulaştırma açısından en önemli konulardandır. Trafik güvenliği, planlaması ve yönetimi bakış açısına göre, trafik tıkanıklıklarına çözüm üretmek için gözlemlerden elde edilecek akım hızı ve hacim verilerinden yararlanılmaktadır. Bir bölgedeki trafiğe ait akım hızı ve hacim verileri o bölgedeki trafik akışının özelliklerini yansıtmakta olup, o yolun kapasitesinin ve kullanım oranının geliştirilmesi için yol gösterici niteliğe sahiptir. Bu sebepten dolayı, toplanması zor ve pahalı olan trafikteki taşıtların hız verilerinin çeşitli matematiksel modellerle tahmin edilmesi büyük önem taşır.

1.1. Konu

Trafik tıkanıklığı büyük kentlerin önemli sorunları arasında yer alır. Bu sorunu çözmek için yeni yolların inşa edilmesinin ve toplu taşıma arasında bütünleşmenin yanı sıra mevcut yolların daha iyi kullanılması için trafik yönetimi çalışmaları da yapılmaktadır. Trafik yönetimi çalışmalarında yol üzerindeki taşıtların hız verileri kullanılmaktadır.

Tez kapsamında, İstanbul'da Barbaros Bulvarı Zincirlikuyu yönünde belirlenen bir kesimde yapılan taşıt ve yaya sayımı ile taşıt hızı ölçümleri yardımıyla, yolu kullanan taşıtların hızlarının modellenmesi tezin konusunu oluşturmaktadır. Oluşturulan modellerle öngörülecek taşıt hızlarının trafik yönetimi çalışmalarında kullanılabileceği düşünülmüştür.

1.2. Amaç ve Hedef

Bu tez çalışmasında, geometrik özellikleri bilinen bir şehir içi karayolu kesiminde toplanan akım, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ve hız verileri yardımıyla, çalışılan kesimdeki trafik akım değişkenleri arasındaki ilişkileri incelenmesi ve taşıt hızlarının hesaplanması için regresyon modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu yolla, ülkemizdeki şehir için karayollarının planlama, tasarım ve işletme aşamalarının geliştirilmesi yönünde faydalı olabilecek sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir.

1.3. Yöntem

Açıklanan amaç ve hedefe yönelik olarak konu kapsamındaki kesimden toplanan taşıt türleri verileri ile trafik akım verileri matematiksel bir değerlendirmeye incelenmiştir. Veriler istatistiksel yöntemlerin süzgecinden geçirilerek anlamlı gruplara ayrılıp düzenlenmiştir. Gruplara ayrılan bu veriler, çok değişkenli regresyon kullanılarak modellenmiştir.

Tez yazılırken Karayolları Kapasite El Kitabı [1] dikkatle incelenmiş, yapılan çözümlemelerde yol gösterici olmuştur.



2. TRAFİK AKIMININ ÖZELLİKLERİ

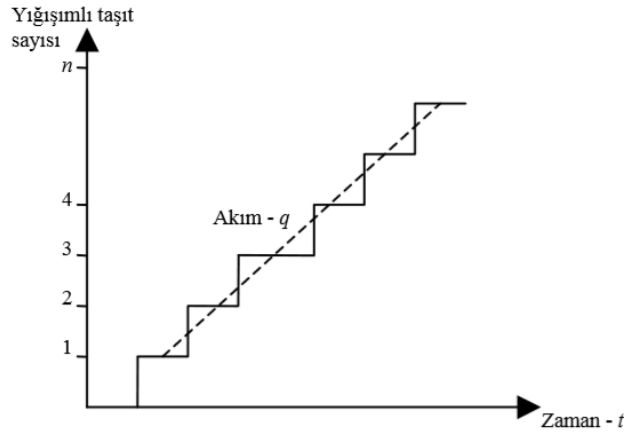
Trafik akımının temel değişkenleri, ulaştırma sistemlerinin tasarımında, işletmesinde ve geliştirilmesinde uygulanan tüm yöntemlerin temelini oluşturur. Trafik akımı genel olarak taşıtların hareketi ve bu hareket sırasında taşıtların birbirleriyle etkileşimleri olarak nitelendirilebilir. Öte yandan taşıt hareketleri sürücü davranışlarından da etkilenir. Sürücü davranışları kesin olarak bilinemediği için trafik akım çözümlemesi yapmak zordur. Büyük ölçekli trafik akımı çözümlemelerinde, temel akım değişkenleri olan akım değeri, akım hızı ve yoğunluk değişkenlerinin belirlenmesi için yol, zaman ve taşıt sayısı ölçümlerinden yararlanılır.

2.1. Trafik Akım Değişkenlerinin Tanımı

Trafik akım değişkenlerinin tanımları ve aralarındaki ilişkiler aşağıda verilmiştir.

Akım (q); birim zamanda belirlenen bir yol kesitinden geçen toplam taşıt sayısıdır. Yıllık, günlük, saatlik veya 15 dakikalık dilimlerde gösterilir [2].

Belirlenen yol kesitinden tüm taşıt geçişleri yığılımlı olarak kaydedilip, kaydedilen veriler grafiğe dökülürse Şekil 2.1’de görülen bir adım fonksiyonu elde edilir. Eğer basamakların orta noktaları birleştirilir ise akım doğrusu (değeri) elde edilir. Elde edilen akım doğrusu belirli bir gözlem kesiti için belirli bir andaki akım değerini hesaplamak amacıyla kullanılır.



Şekil 2.1: Zamana bağlı yığılımlı taşıt grafiği [3]

Akım, zaman cinsinden taşıt izleme aralığı (h, headway) kullanılarak da bulunabilir. Zaman cinsinden taşıt izleme aralığı ulaştırma sistemlerinin güvenliğini, hizmet düzeyini, sistemi kullanan sürücülerin davranış özelliklerini ve sistemin kapasitesini etkiler [4]. Akım ve zaman cinsinden izleme aralığı arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir (Bağıntı 2.1):

$$q = T / \bar{h} \quad (2.1)$$

q: Akım (ta/gözlem süresi)

T: Gözlem süresi (sn)

$\bar{h}$: Taşıtlar arası ortalama zaman cinsinden izleme aralığı (sn)

Akımın zamana bağlı değişen özelliği nedeniyle hem bu özelliğinin vurgulanması hem de akımın ölçüldüğü zaman aralığının belirtilebilmesi için “trafik hacmi” terimi zamanla yerini “akım” ya da “akım değeri” (flow rate) ifadesine bırakmıştır [4].

Akım değeri, yolun bir noktasından veya bir kesitinden belirli bir sürede geçen taşıt sayısı olarak tanımlanır. Süre olarak genelde 1 saat alınmaktadır [4].

Akım hızı (U); taşıtların zaman içinde yer değiştirme biçimlerini yansıtmak üzere, birim zamandaki kat edilen yol birimi olarak ölçülür [5].

Trafik akımında her taşıtın farklı bir hızı olduğundan taşıt hızları dışında tüm akımı temsil edecek ortalama bir akım hızı hesaplanmalıdır.

Ortalama nokta hızı (average spot speed), yolun bir noktasından geçen taşıt hızlarının aritmetik ortalamasıdır. Bu hız, zaman ortalamalı hız (time mean speed) olarak adlandırılır [1].

Bağıntı 2.2’de zaman ortalamalı hızın hesabı görülebilir [4]:

$$U_{ZOH} = \Sigma(u_i) / n \quad (2.2)$$

Burada, U_{ZOH} zaman ortalamalı hız (km/sa), n gözlem sayısı, u_i ise i numaralı taşıtın seyir hızı (km/sa) olarak gösterilmektedir.

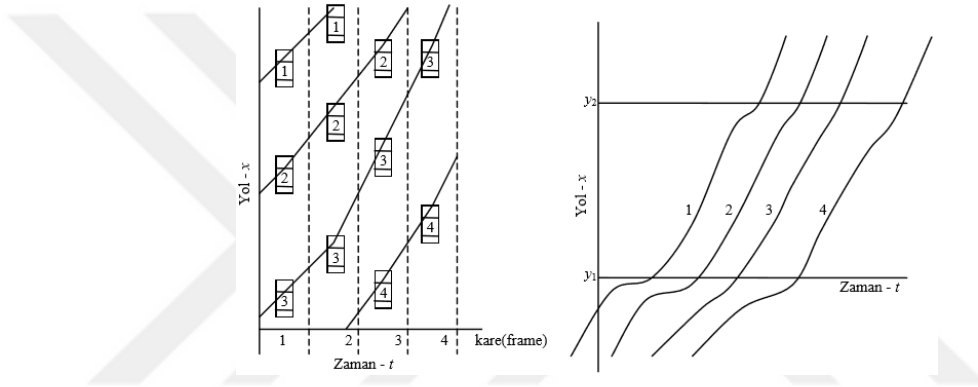
Ortalama yolculuk hızı (average travel speed), uzunluğu bilinen bir yoldan geçen taşıtların geçme sürelerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Bu hız, uzunluk ortalamalı hız (space mean speed) olarak adlandırılır [1].

Bağıntı 2.3'te uzunluk ortalamalı hızın hesabı görülebilir [4]:

$$U_{UOH} = n / \sum(1/u_i) \quad (2.3)$$

Bu bağıntıda U_{UOH} uzunluk ortalamalı hız (km/sa), n gözlem sayısı, u_i ise i numaralı taşıtın hızı (km/sa) olarak ifade edilir. Uzunluk ortalamalı hız, literatürde trafik akımı hızı olarak alınmaktadır.

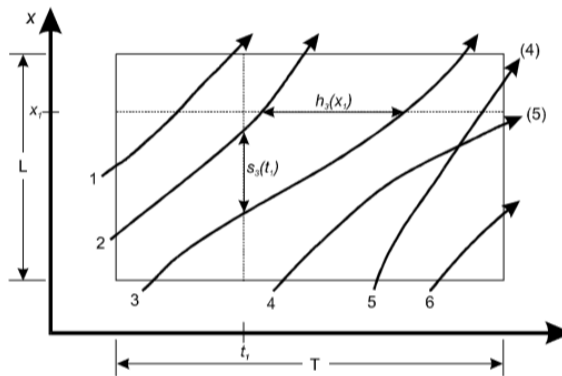
Taşıtların zaman içindeki yer değiştirmeleri tek şerit üzerinde yukarıdan gözlemlendiğinde, film kareleri Şekil 2.2'deki gibi yan yana sıralanır ve farklı karelerdeki aynı taşıtlar birbirleriyle bir çizgi yardımıyla birleştirilirse taşıtlar için zaman-yol eğrileri elde edilmiş olur.



Şekil 2.2: Film karelerinden Zaman-Yol eğrilerinin çıkarılması [3]

Şekil 2.2'de gösterilen taşıtların hareketini zaman (t) ve yol (x) göz önüne alarak gösteren grafiklere yörünge denir. Şekil 2.3'teki grafik ise L birim uzunluğundan ve T zaman aralığından geçen taşıtların yörüngelerini göstermektedir. Bu grafikteki n 'inci yörüngenin eğimi n 'inci taşıtın anlık hızını (u_n) verir. Diğer bir deyişle (Bağıntı 2.4),

$$u_n(t) = dx(t)/dt \quad (2.4)$$



Şekil 2.3: Yol-Zaman (Yörünge) Grafiği [3]

Yoğunluk (k); belirli bir anda belirli bir yol ya da şerit uzunluğunu işgal eden taşıt sayısıdır. Yoğunluk kesintisiz akım için kritik bir değişkendir. Çünkü yol hizmet düzeyini belirlemede kullanılır [2].

Bir yol üzerinde yolculuk eden taşıtlardan; öndeki taşıtın belirli bir noktasından izleyen taşıtın aynı noktasında kadar olan uzaklığa uzunluk cinsinden aralık (S, spacing) adı verilir [2]. Bağntı 2.5'te yoğunluk ile taşıtlar arası uzunluk cinsinden aralık arasındaki ilişki görülebilir:

$$k = 1000 / \bar{d} \quad (2.5)$$

k: Yoğunluk (ta/km)

1000: Bir kilometre uzunluğun metre türün değeri

$\bar{d}$: Taşıtlar arası ortalama uzunluk cinsinden izleme aralığı (metre)

Yoğunluk, trafik akım çözümlemelerinde genelde bir yolun 1 kilometrelik kesimi içerisindeki taşıt sayısı olarak nitelendirilir ve genellikle bir şerit için verilir. Yoğunluk ölçümleri hava fotoğraflarından yapılabilir. 1960'ların başında taşıt varlığını algılayan gereçlerin geliştirilmesi ve sinyal işleme yöntemlerindeki ilerlemeler sayesinde yoğunluk ölçümleri daha kolay yapılabilmektedir.

2.2. Trafik Akım Değişkenleri Ölçüm Yöntemleri

Bir yoldaki akım değerinin belirlenmesi için yapılan taşıt sayımları iki şekilde gerçekleştirilir [6]:

1. El ile yapılan sayımlar
2. Algılayıcılarla yapılan sayımlar

El ile yapılan sayımlarda, trafik verileri doğrudan doğruya sayım kağıtları üzerine kalem ile yazılabileceği gibi el ile çalışan ve tuşlarına her basılışta ekranındaki sayının bir arttığı sayaçlar ile de yapılabilir. El ile yapılan sayımlar basit bir yöntem olduğu için ve ayrıntılı bilgilerin toplanması mümkün olduğu için günümüzde halen kullanılmaktadır.

Algılayıcılarla yapılan sayımlar ise teknoloji geliştikçe artmaktadır. İlerleyen teknolojiyle birlikte etüt yöntemleri ve sayım araçları da gelişmiştir. Bu araçlar temel olarak sayım sonuçlarını veren sayaçlarla ve trafik etkilerini sayaçlara ileten

algılayıcılarıdır. Kullanılan algılayıcılara göre aşağıdaki sistemler sayımlar için kullanılır:

- **Hava Basıncılı Boru Yöntemi:** Sayım istasyonunda yol üzerine enine olarak serilen hava basınçlı lastikli borulardan oluşturulmuş düzenekler yardımıyla algılayıcıların kullanılması yöntemidir. Hava basınçlı boru üzerinden trafik ünitesi geçince basınç artarak devre kapanır ve sayaç kayda geçer. Hava basınçlı algılayıcılar doğrudan doğruya kaplama üzerine ya da içine yerleştirilebilir.
- **Elektrik Yöntemi:** Bu yöntem, yol üzerine konulan algılayıcılardan geçen trafik ünitelerinin elektrik devresinden faydalanılarak sayılması temeline dayanmaktadır.
- **Fotoelektrik Yöntemi:** Sayım istasyonu yanından geçen taşıtların ışık dalgasını kesmeleri sonucunda sayaçların çalışması temeline dayanan bir yöntemdir.
- **Manyetik ve Radar Yöntemi:** Bu yöntem, yol kenarına veya kaplama altına yerleştirilen manyetik ve radar algılayıcılarının taşıtları otomatik olarak sayması temeline dayanır.

Bir yoldaki taşıt hızlarının ölçülmesi ise iki yöntem ile yapılır [6]:

1. Otomatik olmayan yöntemler
2. Otomatik yöntemler

Otomatik olmayan yöntemlerde hız etüdü yapılması kararlaştırılan yol kesiminde, kaplama üzerine, aralarındaki uzaklığı belirli olan iki hat belirlenir ve taşıtın bu iki hat arasını kat ederken harcadığı zaman bir kronometre ile ölçülür. Basit, kolay ve ekonomik bir yöntem olmakla beraber, bu şekilde yapılan hız ölçümünün bazı sakıncaları vardır. Bunların en önemlisi, görüş hatası bulunması ve kronometreye basışta sayım yapan kişi tarafından hata yapılabilmesidir [6].

Otomatik yöntemler ile hızların ölçülmesinde ise çeşitli araçlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle hız ölçmede, otomatik olmayan yöntemde mevcut olan görüş ve gecikme hataları en aza indirilmektedir. Otomatik yöntemler ile hız ölçülmesi için kullanılan araçlar aşağıda verilmiştir:

- Otomatik kronometre ve elektrik araçları
- Foto-Elektrik araçları

- Radar
- Trafik mikrodalga sensörleri (RTMS)

2.3. Trafik Akım Değişkenleri Arasındaki İlişkiler

Trafik akımı değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren temel bağıntı aşağıdadır (Bağıntı 2.6) [4]:

$$q = u.k \quad (2.6)$$

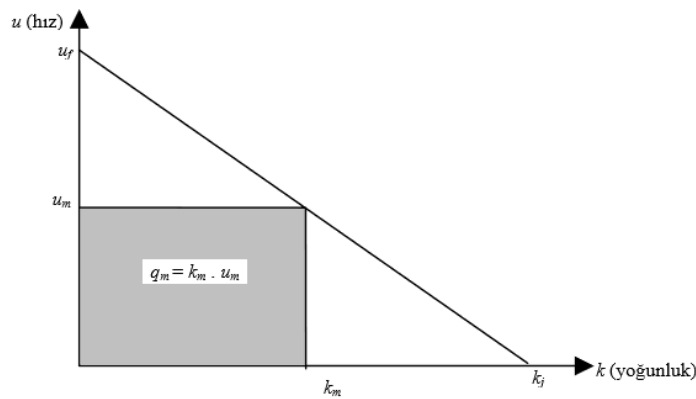
2.3.1. Hız-Yoğunluk ilişkisi

Bir yol üzerinde yoğunluk arttıkça hızın azaldığı söylenebilir. Bu anlamda hız ile yoğunluk arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Optimum yoğunluğa sahip bir kesimdeki akımın optimum hıza (u_m) sahip olduğu varsayılmaktadır. Serbest akım hızı (u_f) yoğunluğun teorik olarak sıfır olduğu durumda görülmektedir.

Greenshields (1935) modelinde hız ile yoğunluk arasında doğrusal bir bağıntı olduğu varsayılmıştır. Bu modele göre hız ile yoğunluk arasındaki ilişki Bağıntı 2.7’de gösterildiği gibidir [4]:

$$u = u_f (1 - k/k_f) \quad (2.7)$$

Bağıntı 2.7’de k_f tıkanık yoğunluğudur. Şekil 2.4’te Greenshields modeli hız–yoğunluk ilişkisi görülmektedir. Grafiğin üzerinde görülen dikdörtgenin alanı optimum akım değerini vermektedir.



Şekil 2.4: Greenshields modeli hız – yoğunluk ilişkisi [7]

Greenberg modelinde hız ile yoğunluk arasında logaritmik bir bağıntı olduğu varsayılmıştır. Bu modele göre hız ile yoğunluk arasındaki ilişki Bağıntı 2.8’de gösterildiği gibidir [4]:

$$u = u_m \ln(k_f/k) \quad (2.8)$$

Underwood modelinde hız ile yoğunluk arasında üstel bir bağıntı olduğu varsayılmıştır. Bu modele göre hız ile yoğunluk arasındaki ilişki Bağıntı 2.9’da gösterildiği gibidir [4]:

$$u = u_f e^{-(k/k_m)} \quad (2.9)$$

Trafik akımı değişkenlerinin modellenmesi için tek fonksiyonlu modeller kullanılmasının yanı sıra, serbest, kararsız ve tıkanık akım bölgeleri ayrı ayrı modellenerek çok fonksiyonlu modeller de geliştirilmiştir. Literatürdeki çeşitli çok fonksiyonlu hız – yoğunluk bağıntıları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [4].

Çizelge 2.1: Çok fonksiyonlu modeller [4]

Model	Serbest Akım Bölgesi	Kararsız Akım Bölgesi	Tıkanık Akım Bölgesi
Edie (1961)	$u = 54.9e^{-\frac{k}{163.9}}$ ($k \leq 50$)	-	$u = 26.8 \ln\left(\frac{162.5}{k}\right)$ ($k \geq 50$)
İki rejimli doğrusal (1967)	$u = 60.9 - 0.515k$ ($k \leq 65$)	-	$u = 40 - 0.265k$ ($k \geq 65$)
Güncellenmiş Greenberg (1967)	$u = 48$ ($k \leq 35$)	-	$u = 32 \ln\left(\frac{145.5}{k}\right)$ ($k \geq 35$)
Üç rejimli doğrusal (1967)	$u = 50 - 0.098k$ ($k \leq 40$)	$u = 81.4 - 0.913k$ ($40 \leq k \leq 65$)	$u = 40 - 0.265k$ ($k \geq 65$)

Literatürde trafik akım hızını modellemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda akım hızı farklı değişkenlere bağlı olarak temsil edilmiş, farklı yöntemler veya yaklaşımlar kullanılarak ifade edilmiştir.

Lu ve Meng [8] Çin’deki bazı otoyollar için trafik akım hızı ve yoğunluğu için regresyon modeli çözümlemesi yapmışlardır. Çalışmada Greenwood, Greenberg ve Underwood hız-yoğunluk fonksiyonları, türetilen regresyon modelleriyle

kıyaslanmıştır. Türetilen modeller arasında R^2 değeri en yüksek olan model Underwood fonksiyonunun kalibre edilmesi ile bulunmuştur. Bu model aşağıda verilmiştir (Bağıntı 2.10):

$$k = 143 - 29\ln(u); R^2 = 0,937 \quad (2.10)$$

Bu çalışmada veriler 10 dakika aralıklara ayrılarak kullanılmıştır. Eğer veriler daha küçük zaman dilimlerine ayrılarak toplanırsa daha isabetli sonuçlara ulaşılabileceği ifade edilmiştir [8].

Elangovan ve diğ. [9] Hindistan'da trafik akım değişkenleri üzerine yaptıkları çalışmada 5 dakikalık zaman dilimlerinde trafik akımı ve uydu yardımıyla trafik hızı ölçümü ile modellemeler yapmışlardır. Greenshields bağıntısı yoluyla trafik hızı ve yoğunluk arasında modeller oluşturmuşlardır. Genel olarak bulunan bağıntı aşağıdaki gibidir (Bağıntı 2.11):

$$u = -0,1125k + 46,8; R^2 = 0,788 \quad (2.11)$$

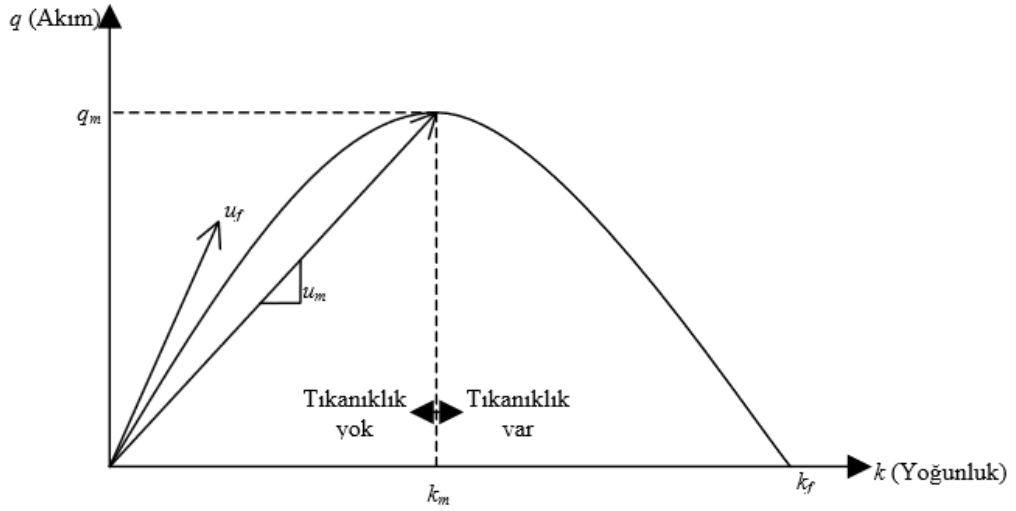
Araştırma yapılan yolun iş bölgesi olarak adlandırılan kesiminde akım hızının %50 azaldığı ve altı şeritlik yolun beş şeride inmesi durumunda kapasitenin %12 azalacağı ortaya konulmuştur.

Horvat ve diğ. [10] Hırvatistan'da şehir içi yollar için trafik hızı ve yoğunluk arasında modelleme çalışması yapmışlardır. Underwood modeli yardımıyla bulunan bağıntı aşağıda verilmiştir (Bağıntı 2.12):

$$u = 2465,7k^{-1,16}; R^2 = 0,991 \quad (2.12)$$

2.3.2. Akım-Yoğunluk ilişkisi

Şekil 2.5'te Greenshields modeli akım-yoğunluk ilişkisi şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere yoğunluk değeri yolun kapasitesine (q_m) ulaşınca kadar artmaktadır. Bu bölge serbest akım (uncongested flow) bölgesi şeklinde adlandırılır. Akım değeri kapasiteye ulaştıktan sonra yoğunluk değeri arttıkça akım değeri düşmeye başlar. Bu bölgeye ise tıkanık (zorlamalı) akım (congested flow) bölgesi adı verilir. Bu grafikte herhangi bir noktaya orijinden çizilen doğrunun eğimi akım hızını (u_m) verir. Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi ise serbest akım hızını (u_f) verecektir.



Şekil 2.5: Greenshields modeli akım-yoğunluk ilişkisi [7]

Akım-yoğunluk grafiğinde akım hacmi kapasite değerindeyken görülen yoğunluk değerine optimum yoğunluk (k_m) adı verilir. Tıkanık akım durumunda taşıtların tampon tampona geldiği yani tıkanıklığın tam anlamıyla oluştuğu yoğunluk değerine ise tıkanıklık yoğunluğu (k_f) adı verilir.

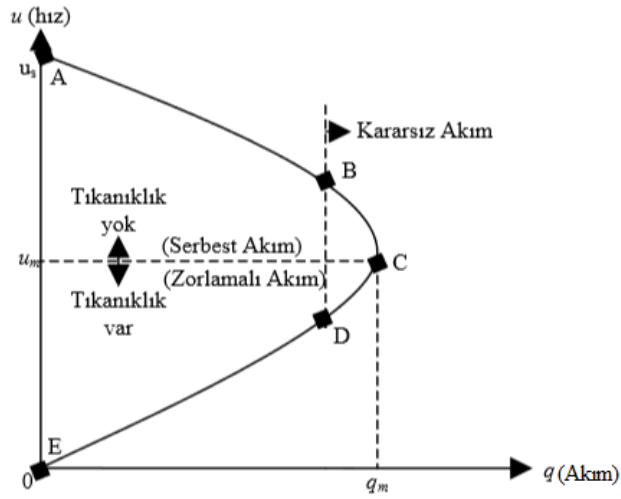
Lord ve diğ. [11] Kanada’da trafik kazaları ve trafik akışı özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkiyi kullanarak regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Bu modelleri geliştirirken akım ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi modellemişlerdir. Bağntı 2.13’te Kanada, Quebec şehir içi yolları için akım-yoğunluk modeli gösterilmektedir.

$$q = 0,965^k (-17,4+149,3k); R^2 = 0,805 \quad (2.13)$$

Bonneson ve diğ. [12] ağır taşıtların etkisi, trafik yoğunluğu, hız sınırı, bölge nüfusu ve yaklaşım şeridi sayısının akım değerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada hız sınırındaki 1 mil/sa azalmanın akım değerinde 9 ta/sa azalmaya ve bir yerine iki yaklaşım şeridinin kullanılmasının akım değerinde 130 ta/sa artışa neden olduğu gösterilmiştir.

2.3.3. Hız-Akım ilişkisi

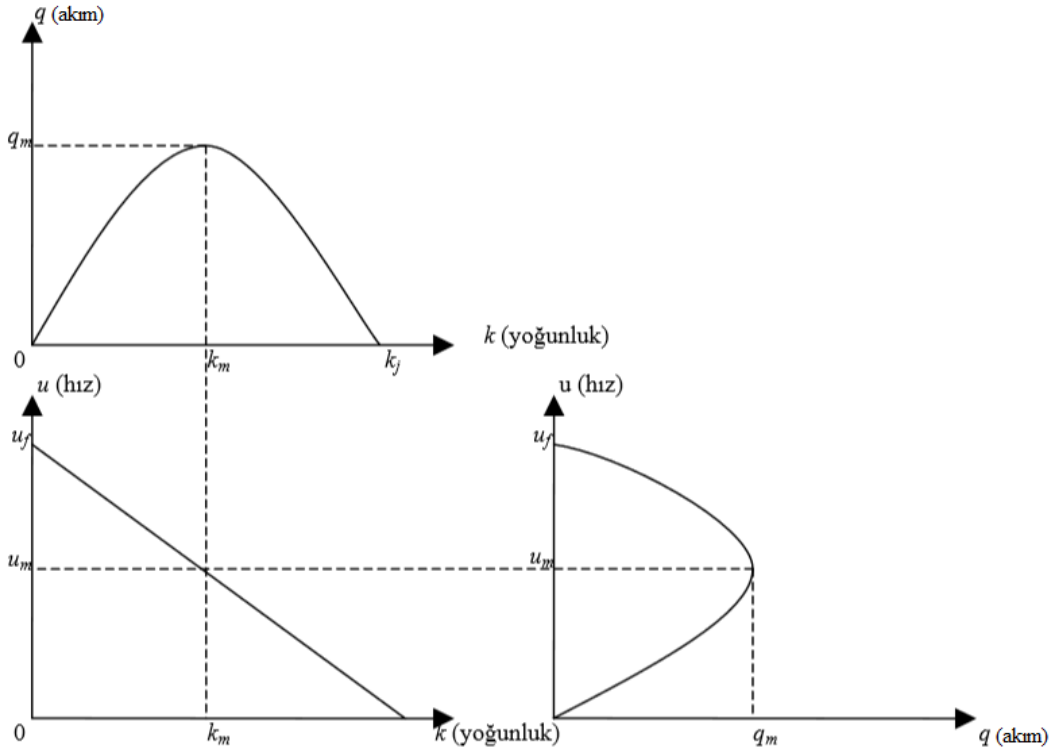
Şekil 2.6’da Greenshields modeli hız-akım ilişkisinin temsili bir gösterimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere akım-hız grafiğinde tıkanıklığın olmadığı serbest akım bölgesinde akım hacmi arttıkça hız azalmaktadır. Kapasite değerine (q_m) kadar sürecek olan bu durum kapasite değeri aşıldıktan sonra değişir. Tıkanık (zorlamalı) akım bölgesinde hem akım hem de hız beraber düşüşe geçerler.



Şekil 2.6: Greenshields modeli hız – akım ilişkisi [7]

Akım – hız grafiğinde AB bölgesi serbest akım bölgesi, BD bölgesi kararsız akım bölgesi ve DE bölgesi tıkanık (zorlamalı) akım bölgesi olarak nitelendirilmektedir.

Şekil 2.7’de Greenshields modeline göre trafik akım değişkenlerinin birbirleriyle ilişkileri özetlenmiştir.



Şekil 2.7: Greenshields modelinde akım, yoğunluk ve hız arasındaki ilişkiler [7]

Trafik akım hızı çeşitli çalışmalarda akım hacmi-kapasite oranına bağlı olarak araştırılmıştır. Bu çalışmalar arasında en önemli olanlardan birisi Bağntı 2.14'te gösterilen standart Bureau of Public Roads (BPR) bağıntısıdır [13].

$$u = u_f / (1+a(q/C)^b) \quad (2.14)$$

Burada u akım hızını, u_f serbest akım hızını, q/C akım hacmi – kapasite oranını göstermektedir. a ve b parametreleri standart modelde sırasıyla 0,15 ve 4 değerlerini almaktadırlar. BPR bağıntısı serbest akım hızı, akım hacmi ve kapasitesi verilen bir yolun ortalama hızını bulmakta kullanılabilir. Fakat BPR bağıntısı doğası gereği belirsizlik içerir ve her zaman ortalama hızı bulma konusunda kesin sonuçlar veremeyebilir. Bunun sebebi BPR bağıntısının sürücü davranışları, iklim koşulları, yol karakteristik özellikleri vs. gibi çeşitli çevresel etmenleri içermemesidir. BPR bağıntısı akımın henüz kapasite koşullarına ulaşmadığı durumlarda daha iyi sonuç vermektedir [14].

BPR bağıntısı literatürde zaman içinde yeniden düzenlenerek kullanılmıştır. Bağntı 2.15, 2.16 ve 2.17'de güncellenmiş BPR, MTC (*Metropolitan Transportation Commission*) ve Akçelik hız-akım fonksiyonları görülmektedir [15][16].

- Güncellenmiş BPR hız – akım fonksiyonu:

$$u = u_f / (1+0,05(q/C)^{10}) \quad (2.15)$$

- MTC (*Metropolitan Transportation Commission*) hız – akım fonksiyonu:

$$u = u_f / (1+0,20(q/C)^{10}) \quad (2.16)$$

- Akçelik hız – akım fonksiyonu:

$$t = t_0 + \{0,25T[(x-1) + \{(x-1)^2 + (8J_a x/QT)\}^{0,5}]\} \quad (2.17)$$

Bu bağıntıdaki değişkenler aşağıda verilmiştir:

- t : Birim uzunluk başına düşen ortalama yolculuk süresi (sa)
- t_0 : Birim uzunluk başına düşen serbest akımda yolculuk süresi (sa)
- T : Akım ölçüm süresi (sa)
- Q : Kapasite (taşıt/sa/şerit)
- x : Doygunluk derecesi (hacim/kapasite)

- J_a : Gecikme katsayısı (0-2 aralığında bir değer)

HCM 2000’de ise akım için özel bir model belirtilmemiştir. Otoyollar için hizmet düzeyinin bulunması amacıyla çeşitli değişkenlerin etkisi de hesaba katılarak serbest akım hızı ve akım değeri çözümlmeleri yapılmıştır. Bağıntı 2.18, HCM 2000’de serbest akım hızının bulunması amacıyla kullanılmıştır [1]:

$$u_f = u_{tf} - f_{SG} - f_{BYA} - f_{\text{ş}} - f_{YD} \quad (2.18)$$

Burada u_f serbest akım hızı, u_{tf} teorik serbest akım hızı, f_{SG} şerit genişliği için hız düzeltmesi, f_{BYA} banket yatay açıklığı için hız düzeltmesi, $f_{\text{ş}}$ yoldaki şerit sayısı için hız düzeltmesi ve f_{YD} yoğunluk değişimleri için hız düzeltmesi olarak gösterilmiştir [1].

Tercan ve Gedizlioğlu [17] Konya’daki şehir içi trafik akım hızının modellenmesi amacıyla akım hacmi için 60 sayım noktasında yapılan trafik sayımlarını ve hız çözümlmesi için 44 ayrı güzergahta yapılan hız etüdü sonuçlarını kullanmıştır. Trafik hacminin kapasiteye oranı, akım içinde bulunan bisiklet sayısı, yol üzerindeki ticari yoğunluk oranı, yolu dik kesen yaya yoğunluğu indeksi ve güzergah üzerinde bulunan önemli kavşak sayısı trafik akım hızını etkileyen değişkenler olarak seçilmiştir. Sıradan ve genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılarak trafik akım hızının modellenmesi için çeşitli bağıntılar elde edilmiştir. Modellemeler yapılırken trafik akım hızları güzergah ve yol tipi sınıflandırmaları olarak iki farklı sınıflandırma şekliyle incelenmiştir. Elde edilen modeller Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Tercan ve Gedizlioğlu [17] Şehir içi Trafik Akım Hızı (TAH) Modelleri

Güzergah ve Yol tipi	Regresyon Modeli
Belirli bir güzergah için	$TAH = 54,26 - 9,03q/c + 0,01B - 1,95T_{yi} - 5,77KS$
Bölünmemiş yollar için	$TAH = 46,64 - 49,16q/c + 0,13B + 3,48P_i - 6,75Y_i$
Bölünmüş yollar için	$TAH = 51,53 - 14,18q/c - 0,03B - 4,94T_{yi}$
Tüm yollar için	$TAH = 46,63 - 10,01q/c - 0,007B - 4,83T_{yi}$

Çizelge 2.2’de, TAH trafik akım hızını, q/c akım-kapasite oranını, B bisiklet sayısını, T_{yi} yolda bulunan park ve yaya yoğunluğunu gösteren ticari yoğunluğu indeksini, KS birim kilometredeki kavşak sayısını, P_i trafik akımı yönünde yolun sağ tarafındaki park yoğunluğu indeksi ve Y_i yolu dik kesen yaya yoğunluğu indeksi olarak gösterilmiştir. Modeldeki sabit terim serbest akım hızı olarak adlandırılmıştır. Bulunan en yüksek

serbest akım hızı 54,26 km/sa ile belirli bir güzergah için bulunmuştur. Bu hızların serbest akım hızı için kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir [17].

Bulunan modellerde bisiklet sayısı ve park yoğunluğu indeksi değişkenlerinin katsayılarının artı olması anlamsızdır. Çalışmada bu değişkenlerin katsayılarının artı olmasının sadece Konya'ya özel olduğu belirtilmiştir.

Öğüt [18] tıkanık akım koşullarında hız-işgal ilişkisini kullanarak akım değeri ve hızı için alternatif bir regresyon modeli oluşturmuştur. Sıradan en küçük kareler yöntemi ve organik korelasyon yöntemi olmak üzere iki farklı yöntemle oluşturulan modellerden organik korelasyon yöntemiyle oluşturulan model daha kesin sonuçlar vermiştir. Genel olarak bulunan bağıntı aşağıdaki gibidir (Bağıntı 2.19):

$$q = k_1 \times U \times \ln(U) - k_2 \times U \quad (2.19)$$

Burada k_1 ve k_2 model parametreleridir. En küçük kareler yöntemi ile elde edilen modelin k_1 ve k_2 değerleri sırasıyla -0,205 ve -1,055 bulunurken R^2 değeri 0,832 çıkmıştır. Organik korelasyon yöntemi ile edilen regresyon modelinin ise k_1 ve k_2 değerleri sırasıyla -0,203 ve -1,048 olurken R^2 değeri 0,935 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak hız-işgal ilişkisi; Bağıntı 2.6'da verilen genel ilişki kullanarak modellenmiş ve regresyon modelleme yönteminin önemi üzerinde durulmuştur [18].

Gün [19] İstanbul otoyolları için yaptığı çalışmada akım hızının bir şeritte 500 ta/sa akım değerine kadar değişmediğini bulmuştur. HCM 2000'de ise bu değer standart otoyollar için şerit başına 1300 ta/sa olduğu belirtilmiştir. Bunun sebebinin ise HCM 2000'deki yapılan çalışmaların daha genel anlamda incelenmesi olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucu iki farklı serbest akım hızı değeri için bulunan akım hızı modelleri Bağıntı 2.20 ve 2.21'deki gibidir:

$$\text{Serbest akım hızı } 80 \text{ km/saat ise; } u = 3600 / 45,90(1+0,158(q/C)^{3,84}) \quad (2.20)$$

$$\text{Serbest akım hızı } 100 \text{ km/saat ise; } u = 3600 / 36,32(1+0,397(q/C)^{3,33}) \quad (2.21)$$

Madhu ve Velmurugan [20] Delhi otoyolunda farklı trafik koşulları için yaptıkları trafik modellemeleri çalışmasında; taşıt hızı, trafik akımı, taşıt tipi, sürücü davranışları ve yol ağı değişkenlerini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada taşıt hızı modelini serbest akım için ve tıkanık akım için olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Araştırmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Akım hacmi yol genişliğiyle doğru orantılıdır.
- Yol genişliği arttıkça akım oranı da artar.
- Taşıtların şerit değiştirerek yolculuklarına devam etmesi yol kapasitesini olumsuz etkiler.

Madhu ve Velmurugan [20] tarafından farklı taşıt tipleri için geliştirilen bağıntılar Çizelge 2.3'te verilmiştir. Taşıt hızı u ile trafik akımı ise q ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.3: Madhu ve Velmurugan [20] trafik akım hızı modelleri

Taşıt Tipi	Hız-Akım Bağıntısı	R ²
Motosiklet	<i>Serbest akım:</i> $u = 0,005q + 90,57$	0,948
	<i>Tıkanık akım:</i> $u = 0,002q + 8,295$	0,831
Otomobil	<i>Serbest akım:</i> $u = -0,0062q + 104$	0,961
	<i>Tıkanık akım:</i> $u = 0,00215q + 8,64$	0,860
Minibüs	<i>Tüm akımlar:</i> $u = -0,004q + 84$	0,781
Ağır Taşıt	<i>Tüm akımlar:</i> $u = -0,004q + 80,94$	0,547
Tüm Taşıtlar	<i>Serbest akım:</i> $u = 0,006q + 99,58$	0,962
	<i>Tıkanık akım:</i> $u = 0,003q + 8,12$	0,872

Çizelge 2.3'e bakıldığında en yüksek R² değerlerinin serbest akım koşulları için geliştirilen modellerde çıktığı görülmektedir. Minibüs ve ağır taşıtlar için oluşturulan modellerin R² değerleri diğer taşıtlar için oluşturulan modellerin R² değerlerinden daha düşüktür. Tüm taşıtlar için oluşturulan modelde serbest akım koşullarındaki en düşük hızın 99,58 km/sa olduğu söylenebilir.

Serbest akımdaki motosikletler ve tüm taşıtlar için oluşturulan modellerde akımın katsayısının artı olması olağandışıdır. Genel olarak, serbest akım koşullarında akım katsayısının eksi olması beklenir.

Luca ve diğ. [21] İtalya'daki belirli bir otoyol kesimi için serbest akım hızını etkileyen etmenleri araştırmışlardır. Bu kapsamda belirli birim zaman aralıklarında hız ve akım ölçümleri yapılmıştır. Model oluşturulurken yolun geometrik özelliklerinin yanı sıra ağır taşıt etkisi de göz önüne alınmıştır. En büyük serbest akım hızı 11 metre platform genişliğine sahip otoyolda 131 km/sa olarak bulunmuştur. Bu hız en çok enine ve boyuna eğim, yol genişliği gibi etmenlerden etkilenmektedir. Bu çalışmada ayrıca otoyoldaki ortalama akım hızı ile ortalama akım değeri arasında farklı kesimler için enine ve boyuna eğim, yol genişliği, ağır taşıt oranı değişkenleri de göz önüne alınarak bir regresyon modeli bulunmuştur. Bulunan genel model Bağıntı 2.22'de verilmiştir:

$$U = -0,0103q + 134,74 \quad (2.22)$$

Çalışmanın otoyoldaki servis düzeyinin belirlenmesi için yardımcı olması amaçlanmıştır [21].

Manzo [14] Danimarka'daki otoyollar için BPR bağıntısı ile modelleme çalışması yapmıştır. Bu çalışma sonucunda otoyollar için Bağıntı 2.23'ü bulmuştur:

$$u = u_f / (1 + 0,675(q/C)^{5,51}) \quad (2.23)$$

Bu çalışmada BPR bağıntısı değişkenlerinin belirsizlik içerdiği ortaya konulmuştur.

Rao [22] Delhi'de şehir içi yollar için akım hızı modellerini araştırmıştır. Çalışmada bulunan model HCM 2000, Endonezya HCM ve Çin HCM akım hızı modelleri ile kıyaslanmıştır. Ağır taşıt oranları, şerit genişliği, yol genişliği vs. gibi birçok değişken akım hızını etkileyen değişkenler olarak düşünülmüştür. Bulunan genel model Bağıntı 2.24'te gösterilmiştir:

$$u = 67,795 - 0,614X_1 - 0,052X_2 - 0,854X_3 + 0,093X_4 + 2,022X_5 - 2,1X_6 \quad (2.24)$$

Burada u akım hızı, X_1 akım değeri, X_2 yol boyunca etkinlik sayısı, X_3 kesimdeki kavşak sayısı, X_4 üstgeçit sayısı, X_5 yolun sol kenarında bulunan giriş noktası sayısı ve X_6 kesim uzunluğu olarak ifade edilmiştir. Yol boyunca etkinlik katsayısı; yolda bulunan otobüs durakları, akaryakıt istasyonları, yolu dik keserek karşıdan karşıya geçen yayaların sayısı gibi trafik akımını etkileyen etkinlikleri temsil eden bir katsayı olarak gösterilmiştir. Modelin R^2 değeri 0,541 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, çalışma için oluşturulan bağımsız regresyon modelinin karşılaştırılan diğer modellerden daha başarılı olduğu belirtilmiştir [22].

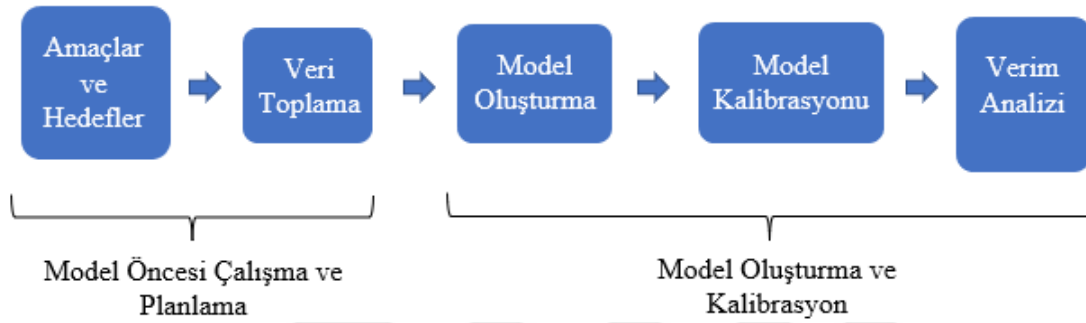
2.4. Trafik Modellemeleri

Trafik planlamacıları ve mühendisleri farklı çalışma konuları için farklı ayrıntı düzeylerinde modeller kullanmaktadırlar. Örneğin, planlamacılar daha geniş bakış açısıyla çözümlerler sunarlar. Ana amaçları büyük ölçekte ulaştırma planlaması ile mekânsal değişiklikleri incelemektir. Diğer yandan trafik mühendisleri bir yapının veya işletmenin tasarımındaki değişikliklerin kapasiteye, gecikmelere, kuyruklanmalara ve diğer değişkenlere nasıl yansıdığıyla ilgilenirler. Çözümlerleri

mikro ölçekte ve ayrıntılıdır. Bu sebepten dolayı da planlamacılar daha farklı modellere ihtiyaç duyarlar.

Trafik modellerini oluştururken, en uygun modeli seçerken ve uygularken birçok varsayıma göre hareket edilir. Eğer bu varsayımlar gerçek koşullara uygun değilse, modeller kullanılarak ulaşılabacak sonuçlar gerçekdışı veya hatalı olabilir. Bu sonuçlara göre de üretilecek politikalar ve alınacak kararlar da hatalı olacaktır.

Şekil 2.10'da modeller oluştururken ayrıntıların atlanmaması için izlenen 5 adımlı yöntem gösterilmiştir:



Şekil 2.8: Trafik model seçimi ve uygulaması

Birinci adımda modellemenin amaçları ve ulaşılmak istenen sonuçlar belirlenir. İkinci adımda bu amaca uygun veriler toplanır. Üçüncü adımda seçilen matematiksel yaklaşım ile model oluşturulur. Dördüncü adımda oluşturulan modelin hataları belirlenir. Bu hataları en aza indirmek için çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle model kalibrasyonu yapılır. Son olarak model çıktılarının yorumlanması için model verim çözümlemesi yapılır. Bu tez kapsamında oluşturulan modellerde kalibrasyon işlemi yapılmamıştır.

Akım, hız ve yoğunluk değişkenlerini içeren trafik akımı, tek fonksiyonlu olarak modellenirken değişkenler büyük ve küçük ölçeklerde incelenebilir. Büyük ölçekli modellerde, akım bir bütün olarak ele alınır ve belirli zaman aralıklarında araç sayımları, hız ölçümleri ve/veya yoğunluk ölçümleri yapılarak, trafik akımı karakterize edilmeye çalışılır. Küçük ölçekli model ise, yol üzerindeki taşıtların hareketlerinin tanımlanmasıdır [1].

3. SAHA ÇALIŞMASI

Taşıt hızının, trafik akımı, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ve diğer değişkenlere bağımlı bir değişken olduğu büyük ve küçük ölçekte regresyon modelleri oluşturmak için İstanbul Barbaros Bulvarı Zincirlikuyu yönü üzerinde dakikalık taşıt sayımı, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ölçümü ve hız ölçümü yapılmıştır. 90 dakika boyunca toplam 2786 taşıt için yapılan taşıt sayımı, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ölçümü ve hız ölçümü, bir dakikalık aralıklarla üç şerit için de ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışma sahasında, sağ şerit “Şerit 1”, ortadaki şerit “Şerit 2” ve sol taraftaki şerit “Şerit 3” olarak adlandırılmıştır.

Akım ve zaman cinsinden taşıtlar arası aralık etkisinin yanı sıra, yolda karşıdan karşıya geçen yaya sayısının taşıt hızına etkisinin de irdelenebilmesi için sayım yapılacak kesim içerisinde yer alan yaya geçidinde de yaya sayımı gerçekleştirilmiştir.

Taşıt hızını bir regresyon modeliyle temsil edebilmek için yapılan çalışmada çeşitli bağımsız değişkenler kullanılarak en uygun modele ulaşılmaya çalışılmıştır. Trafik akımı, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık, akımdaki minibüs oranı, akımdaki ağır taşıt oranı ve yolda karşıdan karşıya geçen yaya sayısı gibi değişkenler modellerde kullanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanın Özellikleri

Saha çalışması İstanbul Avrupa yakasında bulunan Beşiktaş ilçesi Barbaros Bulvarı üzerindeki Yahya Kemal parkına denk gelen kesimde yer almaktadır. Barbaros Bulvarı çift yönlü bölünmüş bir yol olup, toplam altı şeritli ve yaklaşık 2,5 km uzunluğundadır.

Hız verilerinin toplanabilmesi için Şekil 3.1’de işaretlenen 20,9 m uzunluğunda bir kesim göz önüne alınmıştır. Veriler video kaydından toplandığı için daha rahat bir kesim sınırı belirlenebilmesi açısından yol üzerindeki işaretler kullanılmış; bu sebepten dolayı 20,9 m’lik bir kesim uzunluğu seçilmiştir. Veri toplanan kesimde şerit genişliği, eğim vs. gibi değişkenler sabit olduğundan dolayı, bunların modele etkisinin olmadığı varsayılmıştır.

Çalışma yapılan kesimdeki şerit genişliği 3 metredir. Yapılan ölçüm sonucu yol eğimi %8 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1: Barbaros Bulvarı üzerindeki ölçüm yapılan kesim

3.2. Trafik Verilerinin Toplanması ve Tanıtımı

Trafik akımı için sayım yapılırken taşıtlar dört türe ayrılmıştır. Otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olarak her şerit için ayrı olarak sayılan taşıtlar, toplanarak ilgili izleme zamanına karşılık gelen dakikalık trafik akım değeri bulunmuştur. Otobüs ve kamyon “ağır taşıt” olarak adlandırılmıştır.

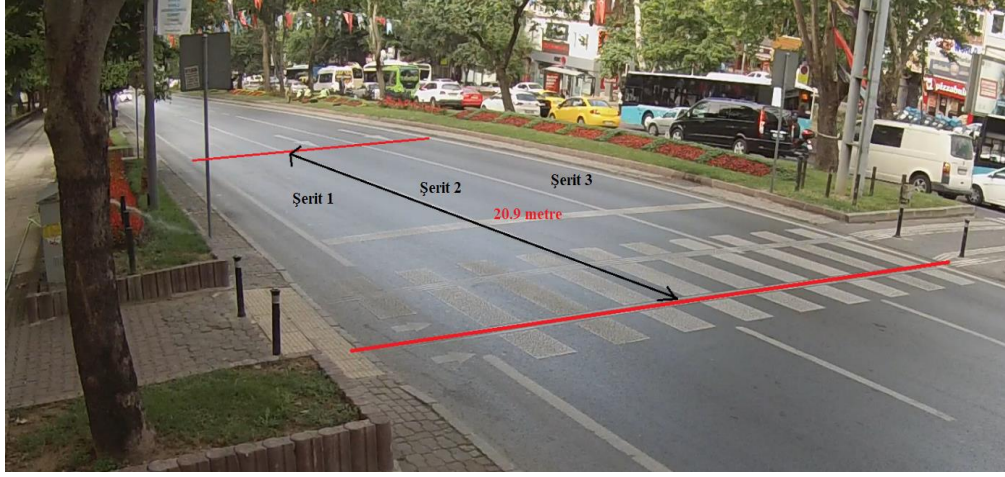
Her şerit için ayrı olarak bulunan trafik akımları toplanarak yol için dakikalık akım elde edilmiştir. Eğer kesit için akım q_t ve i inci şerit için akım da q_i olarak gösterilirse q_t , Bağntı 3.1’de verildiği gibidir:

$$q_t = q_1 + q_2 + q_3 \quad (3.1)$$

Zaman cinsinden taşıtlar arası aralık, ardışık iki taşıtın belirlenen noktadan geçmesiyle elde edilen zaman farkı olarak tanımlanmaktadır [2]. Bu çalışmada, öndeki taşıtın ön tamponu ile izleyen taşıtın ön tamponu arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri ölçülerek hız ve izleme aralığı arasında bir ilişki aranmıştır.

Şekil 3.2’de görülen kesimde kronometre yardımıyla 20,9 m uzunluğundaki ardışık iki kesit çizgisi arasında geçiş yapan taşıtların geçiş süreleri (t_i) belirlenip, kesit çizgilerinin arasındaki uzunluk taşıtların geçiş sürelerine bölünerek ilgili taşıtın hızı (u_i) bulunmuştur. Özetle, taşıt hızı Bağntı 3.2’deki gibi gösterilebilir:

$$u_i = 20,9 / t_i \quad (3.2)$$



Şekil 3.2: Hız hesabı için yapılan süre ölçümü için belirlenen iki kesit

Her şerit başına toplanan veri özeti Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Akım değerleri 60 ta/sa ile 1740 ta/sa arasında değişmektedir. Şerit 1 için bulunan ortalama akım değeri; Şerit 2 ve 3 için bulunan akım değerlerinin yaklaşık yarısına denk gelmektedir. Her şerit başına hesaplanan değişim katsayısı (C_v , Coefficient of Variation) değerlerine bakılırsa Şerit 2’nin akım değerlerinin daha az saçılma gösterdiği belirlenebilir.

Çizelge 3.1: Akım, zaman cinsinden aralık ve hız verileri için özet istatistikler

VERİ ÖZETİ				
Değişken		Şerit 1	Şerit 2	Şerit 3
AKIM (ta/sa)	Veri Adedi	90	90	90
	Ortalama	414,67	721,33	721,33
	Standart Sapma	200,85	311,44	381,81
	En Büyük	960,00	1440,00	1740,00
	En Küçük	60,00	180,00	60,00
	Değişim katsayısı (C_v)	0,48	0,43	0,53
ZAMAN CİNSİNDEN ARALIK (sn)	Veri Adedi	622	1082	1082
	Ortalama	8,54	5,00	4,63
	Standart Sapma	8,28	5,85	6,88
	En Büyük	53,74	53,65	53,06
	En Küçük	0,32	0,46	0,39
	Değişim katsayısı (C_v)	0,97	1,17	1,48
HIZ (km/sa)	Veri Adedi	622	1082	1082
	Ortalama	34,87	36,86	42,37
	Standart Sapma	22,11	16,38	19,00
	En Büyük	81,60	81,78	80,90
	En Küçük	1,41	1,82	1,83
	Değişim katsayısı (C_v)	0,63	0,44	0,45

Taşıtlar arası zaman cinsinden aralık değerlerine bakıldığında, aralıkların 0,32 sn ile 53,74 sn arasında değiştiği gözlenebilir. En düşük ortalama taşıtlar arası zaman cinsinden aralık değerleri Şerit 3'te görülmüştür. C_v değişim katsayılarına bakıldığında, Şerit 1'in aralık değerlerinin daha az saçılma gösterdiği belirlenmiştir.

Hız verilerine bakılırsa, en hızlı şeridin Şerit 3 olduğu ortaya çıkmaktadır. Gerek düşük hızlı taşıtların 1. şeride yönelmesi gerekse otobüs, kamyon gibi ağır taşıtların sağ ve orta şeritten yolculuklarını sürdürme eğilimi bu sonucu oluşturmaktadır. Hız değerleri 1,41 km/sa ile 81,78 km/sa arasında değişmektedir. Çizelge 4.1'deki C_v değişim katsayılarına bakıldığında Şerit 2 hız değerlerinin daha az saçılma gösterdiği görülebilmektedir.

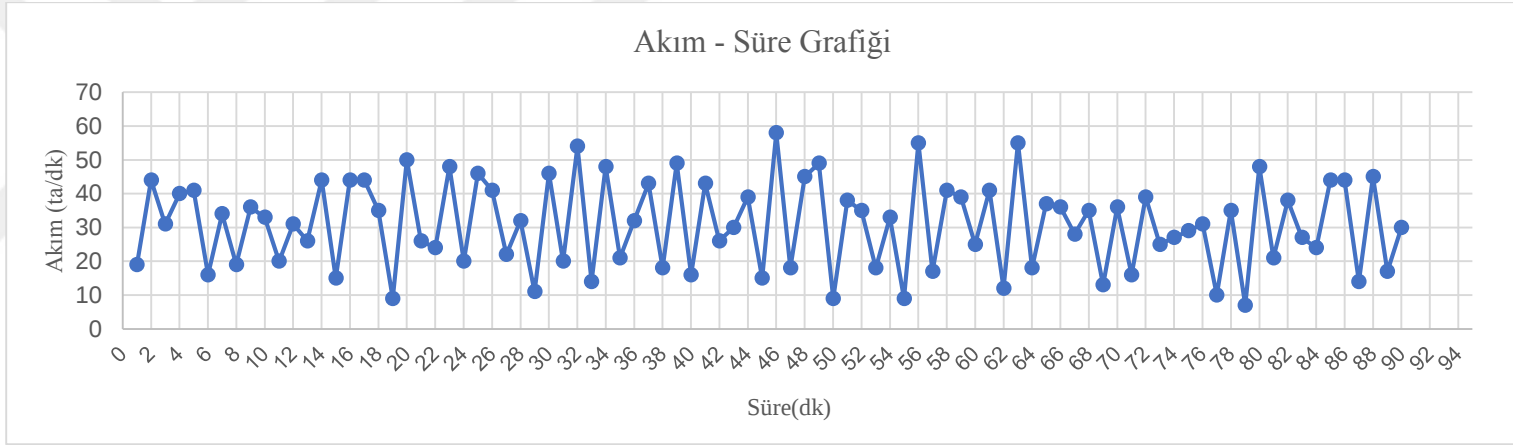
Taşıt sayımı sonucu akım içerisinde bulunan 2786 taşıtın %84'si otomobildir. %10 oranında minibüs, %5 oranında otobüs ve %1 oranında kamyon bulunmaktadır.

Şerit 3'teki ağır taşıt oranı diğer iki şeridin ağır taşıt oranından çok daha azdır. Bu istatistik; bir şeridin ağır taşıt oranının akım hızını ters orantıyla etkilediğini göstermektedir.

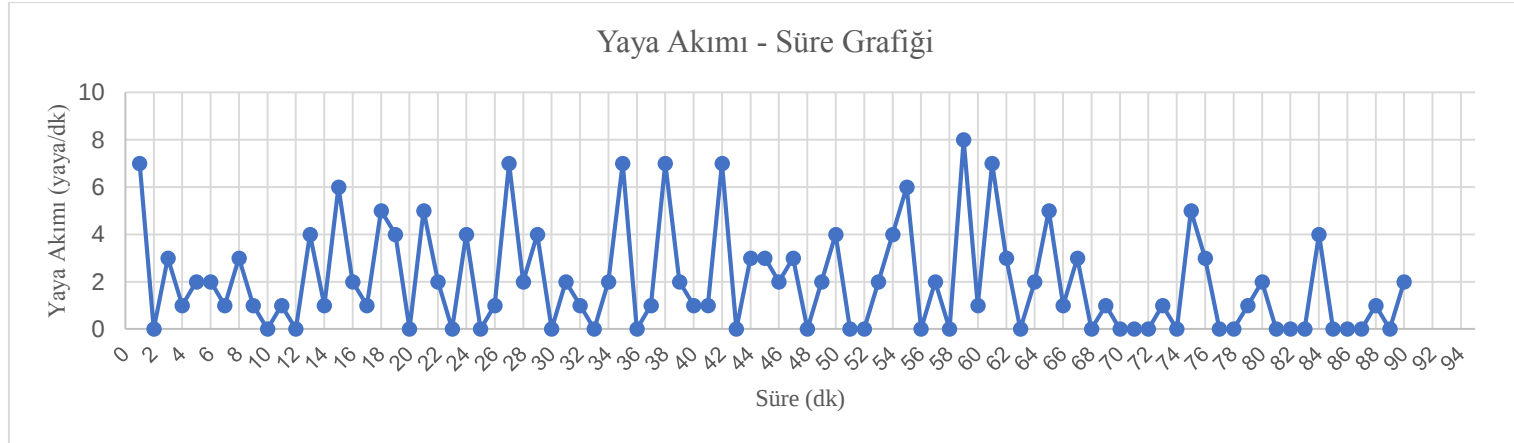
Yapılan sayımlara göre ortaya çıkan taşıt ve yaya akımı değerlerinin süreye göre tekil ve ölçeklenmiş eklenik dağılımları sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4'te görülmektedir. Barbaros Bulvarı üzerindeki çalışma yapılan kesitten en çok 58 ta/dk (3480 ta/sa), en az 7 ta/dk (420 ta/sa) değerlerindeki akım geçmiştir. Akım – süre grafiğinde zig-zaglar görülmektedir. Bunun sebebinin akım yukarı (up-stream) yönündeki trafik ışığının olduğu düşünülmüştür. Grafiğe göre, trafik ışığının yeşil yanmasından sonra görece yüksek akım 1-2 dakika civarı sürmüştür.

Sayım boyunca toplam 181 yaya karşıdan karşıya geçmiştir. Kesim içerisindeki yaya geçidinden dakikada en çok 8 yaya geçmiştir.

Şekil 3.4'deki ölçeklendirilmiş eklenik akım-süre grafiğine bakıldığında, 1. ve 68. dk arası inişler ve çıkışlar görülmekle birlikte genel olarak dakikalık akımda artış olduğu, 68. dk'dan sonra ise dakikalık akımda azalma olduğu gözlemlenmiştir.

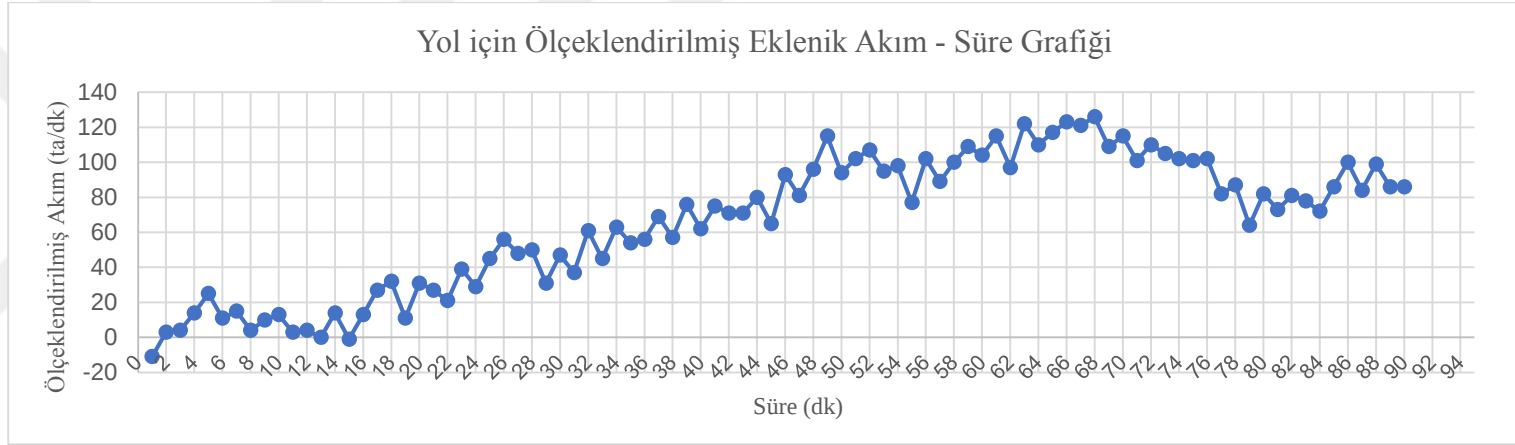


(a)

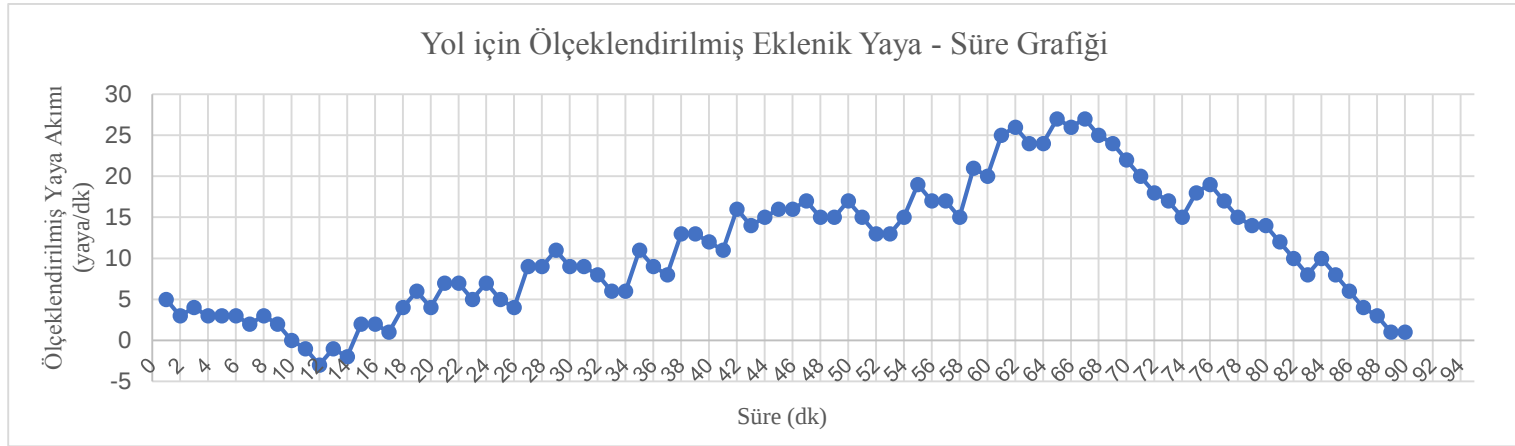


(b)

Şekil 3.3: Yol için Akım-Süre (a) ve Yaya Akımı-Süre (b) grafikleri



(a)



(b)

Şekil 3.4: Yol için ölçeklendirilmiş eklenik akım-süre (a) ve eklenik yaya akımı-Süre (b) grafikleri

Şekil 3.4'deki, ölçeklendirilmiş eklenik yaya akımı-süre grafiğine bakıldığında ise, 12. dk'dan itibaren 67. dk'ya kadar inişler ve çıkışlar görülmekle birlikte genel olarak dakikalık yaya akımında artış olduğu, 67. dk'dan sonra dakikalık yaya akımında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

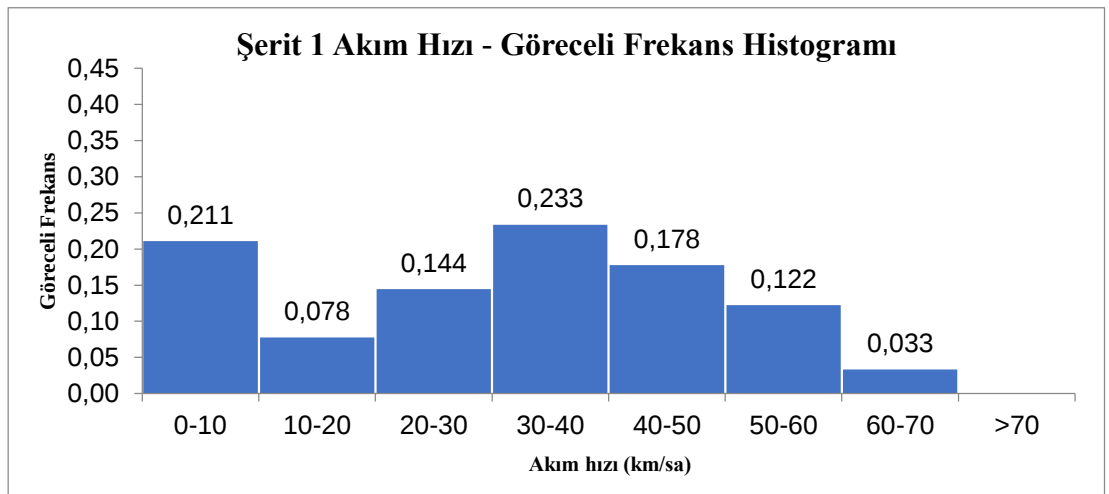
Bir sistem oluşturulurken trafik mühendislerinin trafiği yalnız taşıtlardan oluşan bir sistem olarak değil taşıt ve yayaların birlikte kullandığı bir sistem olarak görmeleri büyük bir önem taşır [23]. Bu sebepten dolayı trafik akım hızını etkileyen etmenlerden biri olarak kabul edilen karşıdan karşıya geçen yaya sayısı bu çalışmada incelenmiştir.

Birim zamanda yaya geçidinden karşıdan karşıya geçen yaya sayısındaki değişimin trafik akım değerine bağlı olduğu kadar yaya davranışlarına da bağlı olduğu söylenebilir. Trafik akımı ile yaya akımı arasında bir orantı içeren net bir bağıntı kurulamaması da bu nedene dayandırılabilir. Sonuç olarak; karşıdan karşıya geçen yaya akımı ve davranışları trafik akımını hem kapasite yönünden hem de güvenlik açısından etkiler [23]. Bu sebepten dolayı yaya sayısı değişkeninin hız ile akım arasında kurulacak bir modele eklenmesi gereklidir.

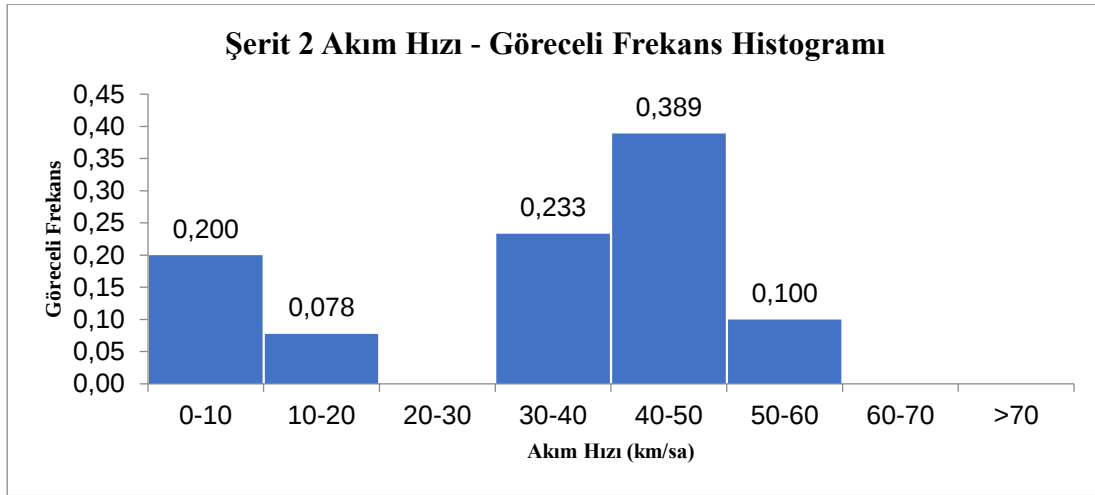
3.3. Hız Verilerinin Özellikleri

3.3.1. Akım hızı verilerinin özellikleri

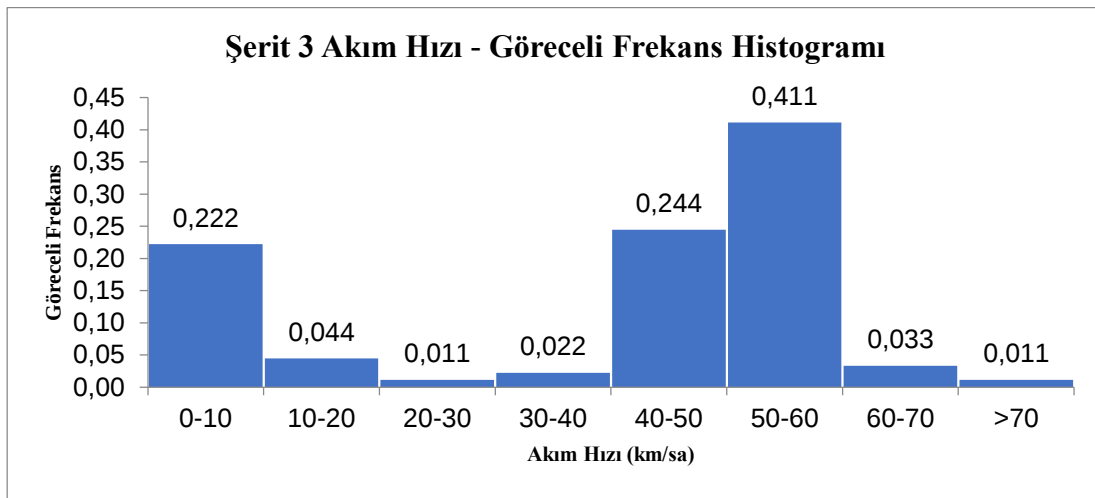
Akım hızı verilerinin çözümlemesi için üç şeritte ölçülen hız verilerinin göreceli frekans histogramları çizilmiştir. Histogram, gruplandırılmış bir veri dağılımının sütun grafiğiyle gösterimidir. Akım hızı verileri için oluşturulan histogramlar Şekil 3.5(a)(b)(c)'de görülebilir.



(a)



(b)



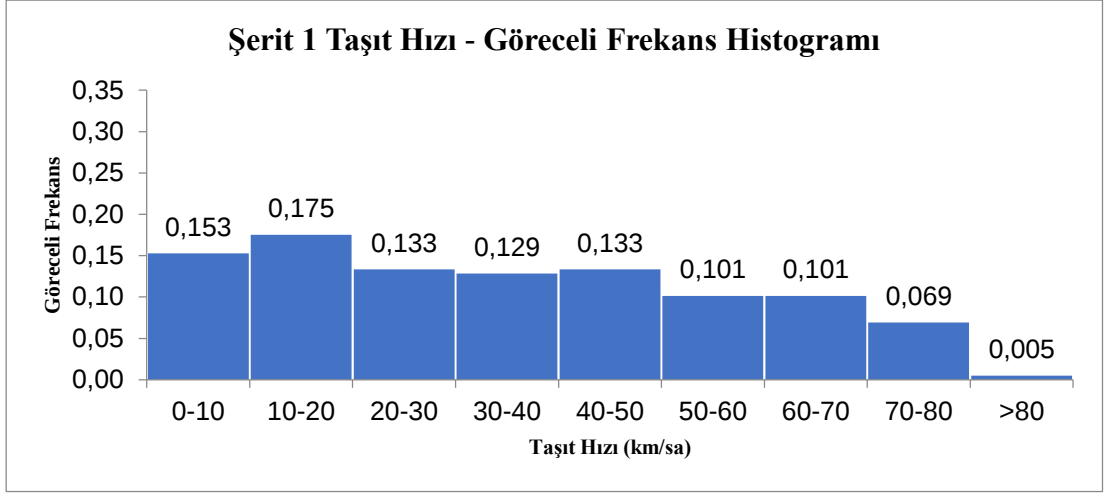
(c)

Şekil 3.5: Akım hızı göreceli frekans histogramları (a) Şerit 1 (b) Şerit 2 (c) Şerit 3

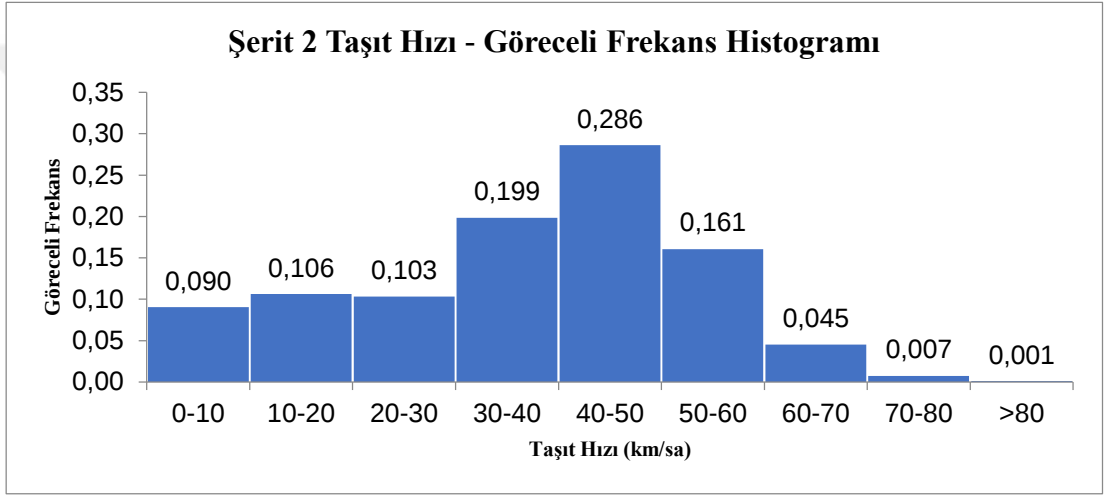
Şekil 3.5(a)'da Şerit 1 için çizilen akım hızının göreceli frekans histogramı incelendiğinde akım hızı verilerinin tüm sınıflara dengeli dağıldığı görülmektedir. Şerit 1'de en yüksek frekans 30 km/sa ile 40 km/sa aralığındadır. Şekil 3.5(b)'de gösterilen Şerit 2 için akım hızının göreceli frekans histogramında ise verilerin daha çok 40 km/sa ile 50 km/sa aralığında toplandığı görülmektedir. Şekil 3.5(c)'deki Şerit 3 için çizilen histogramda ise akım hızı verileri 50 km/sa ile 60 km/sa aralığında yoğunlaşmıştır.

3.3.2. Taşıt hızı verilerinin özellikleri

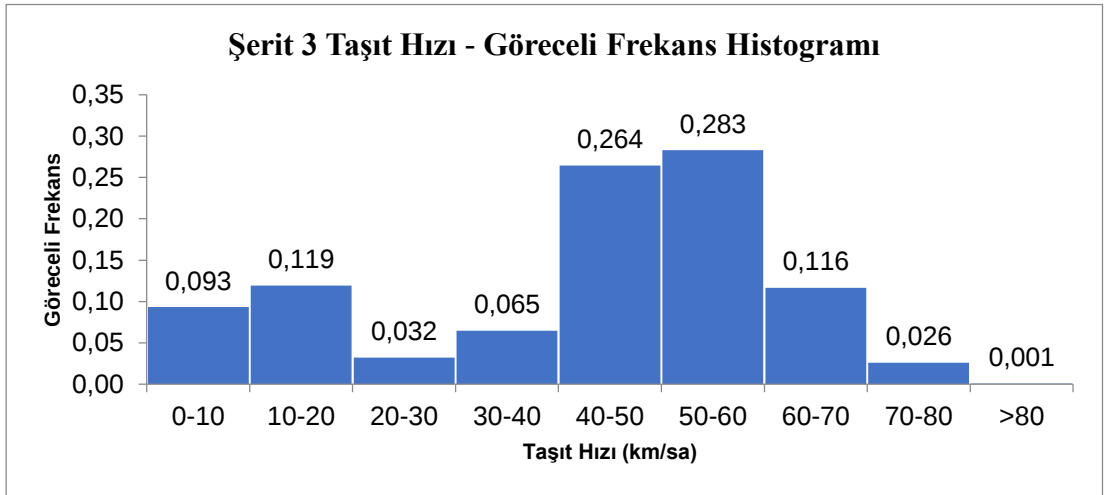
Taşıt hızı verilerinin çözümlemesi için hız verilerinin göreceli frekans histogramları çizilmiştir. Taşıt hızı verileri için oluşturulan histogramlar Şekil 3.6 (a)(b)(c)'de görülebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.6: Taşıt hızı göreceli frekans histogramları (a) Şerit 1 (b) Şerit 2 (c) Şerit 3

Şekil 3.6(a)'da Şerit 1 için çizilen taşıt hızının göreceli frekans histogramı incelendiğinde taşıt hızı verilerinin akım hızı verilerinde olduğu gibi tüm sınıflara dengeli dağıldığı görülmektedir. Şerit 1'de taşıt hızı için en yüksek frekans 10 km/sa ile 20 km/sa aralığındadır. Şekil 3.6(b) ve Şekil 3.6(c)'deki Şerit 2 ve Şerit 3 için çizilen histogramlarda ise Şerit 1'den farklı olarak veriler belli aralıklarda yoğunlaşmıştır. Şerit 2'de taşıt hızı için en yüksek frekans 40 km/sa ile 50 km/sa aralığındayken, Şerit 3 için ise en yüksek frekans 50 km/sa ile 60 km/sa aralığındadır.

3.4. Hız Verilerinin Gruplanması

3.4.1. Akım hızı verilerinin gruplanması

Ölçülen hız verileri, her şerit için farklı modeller geliştirmek için kullanılmadan önce bu verilerin aynı toplumdan gelip gelmediğini gösteren istatistiksel testler yapılmıştır. Şerit 1, Şerit 2 ve Şerit 3 için ayrı ayrı üç farklı regresyon modeli oluşturmak yerine, üç şeridin verilerini birleştirerek tek bir model oluşturmak trafik akım modellemesi yönünden daha iyi sonuç doğurabilir. Bu yüzden her şerit için toplanan hız değerlerinin birbirleri ile uyumunu test etmek için Tek-Yön ANOVA testi, Tukey-Kramer metodu ve Non-pooled t testi uygulanmıştır.

ANOVA (Analysis of Variance) testi; üç ya da daha fazla sayıdaki bağımsız veri gruplarının toplum aritmetik ortalamalarının birbirine eşit olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir testtir. Eğer toplum aritmetik ortalamaları birbirine eşit ise veri grupları birleştirilerek tek bir grupmuş gibi regresyon modeli oluşturulabileceği iddia edilebilir. Tek yönlü ANOVA testini uygulayabilmek için veri grupları normal dağılıma ya da büyük veri genişliğine (30'dan fazla) sahip olmalıdır [25].

En basit formunda (eklentiler mevcuttur), ANOVA testi aşağıdaki hipotezleri test eder:

H_0 : Tüm veri gruplarının toplum ortalamaları eşittir.

H_1 : Ortalamalar eşit değildir (Hangilerinin farklı olduğunu söylemez).

Eğer üç veri grubu karşılaştırılacak ise:

- Grupların ikili olarak karşılaştırılmasını sağlayan t-testi 3 kere yapılabilir fakat bu hataları arttıracak için çok güvenilmez.
- Bunun yerine tüm grupları aynı anda karşılaştıran Tek yönlü ANOVA testi kullanılır.

Testi uygulayabilmek için bazı tanımların yapılması gerekir:

- **İşlem Ortalama Karesi (MSTR):** Veri gruplarının ortalamaları arasındaki değişimi ifade eder. $MSTR = SSTR / (k-1)$ şeklinde bulunur. Burada SSTR işlem kareler toplamını, k ise karşılaştırılan veri grubu sayısını ifade eder.
- **Hata Kare Ortalaması (MSE):** Veriler arasındaki varyasyonu ifade eder. $MSE = SSE / (n-k)$ şeklinde bulunur. Burada SSE hata kareleri toplamını, n ise toplam veri sayısını ifade eder.
- **F-istatistik değeri (F):** İşlem ortalama karesinin hata kare ortalamasına oranıdır. $F = MSTR / MSE$ şeklinde gösterilebilir.

Eğer n toplam veri sayısını, $\bar{x}$ tüm verilerin ortalamasını, n_j j'nci grubun veri sayısını, $\bar{x}_j$ j'nci veri grubunun ortalamasını ve s_j^2 j'nci veri grubunun standart sapmasını temsil ederse, SSTR ve SSE değerlerini Bağntı 3.3-3.4-3.5 ve 3.6'da verildiği gibi ifade edebiliriz:

$$SSTR = \sum n_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \quad (3.3)$$

$$SSTR = n_1 (\bar{x}_1 - \bar{x})^2 + n_2 (\bar{x}_2 - \bar{x})^2 + \dots + n_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2 \quad (3.4)$$

$$SSE = \sum (n_j - 1)s_j^2 \quad (3.5)$$

$$SSE = (n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_k - 1)s_k^2 \quad (3.6)$$

Hesaplanan F değeri, Ek A'da gösterilen F dağılımı tablosundan belirlenen X_{kritik} değeriyle karşılaştırılır. Eğer F değeri, X_{kritik} değerinden daha büyük ise H_0 hipotezi geçersiz olur. Bu durumda, veri gruplarının aynı toplum ortalamasına sahip olduğu sonucuna varmak için yeterli kanıt yoktur [25].

F tablosunda, satırlar “k-1” değerine, kolonlar ise “n-k” değerine karşılık gelir. X_{kritik} değeri bu iki değerlerin F tablosundaki kesişimidir.

Tek yön ANOVA testi Barbaros Bulvarı üzerindeki ölçüm sonucu elde edilen akım hızı verilerine uygulanmıştır. MSTR ve MSE değerleri bulunarak bunların oranı olan F değerine ulaşılmıştır. F değeri 5,34 olarak bulunmuştur (Çizelge 3.2). X_{kritik} değeri

ise F dağılımı tablosunda, $(n-k) = 270-3 = 267$ ve $(k-1) = 3-1 = 2$ sayılarının kesişiminden okunarak 3,00 bulunmuştur.

$F > X_{\text{kritik}}$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilmiştir. Tüm veri gruplarının popülasyon ortalamaları eşit değildir. Yani veri grupları birleştirilerek tek bir grupmuş gibi regresyon modeli oluşturulamaz.

Çizelge 3.2: Her şeritteki akım hızı verilerinin Tek yön ANOVA testi sonuçları

Şerit	Veri Adedi	Ortalama	Standart Sapma	Verilerin Ortalaması	34,54
1	90	30,83	17,44	SSTR	3.485,63
2	90	33,38	16,26	SSE	87.203,94
3	90	39,40	20,28	MSTR	1.742,82
Toplam	270	34,54	18,36	MSE	326,61
				F	5,34

Üç adet veri grubuna Tek yön ANOVA testinin uygulandığını ve H_0 hipotezinin reddedildiğini varsayalım. Bu durumda toplum ortalamalarının eşit olmadığı sonucuna varılabilir.

Toplum ortalamalarının eşit olmadığı durumda, ortalamalar arasındaki ilişkiler (hangi ortalamalar birbirinden farklı ya da hangi ortalama daha büyük vs.) önem kazanmaktadır. Veri gruplarının ikili şekilde incelenmesini sağlayan bu teste **Tukey-Kramer metodu** adı verilir. Tukey-Kramer metodu aşağıdaki şekilde uygulanır [25]:

Adım 1: Güvenilirlik düzeyine $(1-\alpha)$ karar verilir.

Adım 2: Ek A'da görülen q grafiğinden yararlanarak $\kappa = k$ ve $v = n-k$ parametreleri yardımıyla q_α değeri bulunur. Burada n toplam veri sayısını, k ise toplam veri grubu sayısını ifade eder.

Adım 3: Güvenilirlik aralığının sınırları belirlenir, $\mu_i - \mu_j$ (Bağıntı 3.7):

$$(\bar{x}_i - \bar{x}_j) \pm q_\alpha / \sqrt{2} \cdot s \cdot [(1/n_i) + (1/n_j)]^{1/2} \quad (3.7)$$

Burada $s = \sqrt{\text{MSE}}$ olarak ifade edilir. $i < j$ olmak kaydıyla tüm ikili karşılaştırmalar için aynı yol izlenir.

Adım 4: Eğer güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunuyor ise karşılaştırılan iki toplum ortalamalarının eşit olduğu söylenebilir. Toplum ortalamaları eşit olan iki veri grubu regresyon modeli içerisinde tek bir veri grubuymuş gibi kullanılabilir.

Tukey-Kramer metodu Barbaros Bulvarı üzerindeki ölçüm sonucu elde edilen akım hızı verilerine uygulanmıştır. Ek A'da gösterilen q grafiği yardımıyla $q_{\alpha} = 3,32$ okunmuştur.

Bağıntı 4.10 yardımıyla test edilen şeritler için alt ve üst sınırlar bulunmuştur. Eğer aralık içerisinde 0 bulunuyorsa, veri gruplarının toplum ortalamaları eşittir. Yani veri grupları aynı toplumdan gelmektedir. Veri grupları birleştirilerek tek bir grupmuş gibi regresyon modeli oluşturulabilir. Çizelge 3.3'te Tukey-Kramer test sonuçları incelenebilir.

Test sonucuna göre Şerit 1 ve Şerit 2 akım hızı değerleri aynı toplumdan gelmektedir.

Çizelge 3.3: Akım hızı verilerinin Tukey-Kramer metodu test sonuçları

Tukey-Kramer Test Sonuçları		Açıklama
Şerit 1 ve Şerit 2 için		<i>Güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunduğu için karşılaştırılan iki veri grubunun toplum ortalamaları eşittir. Yani veri grupları aynı toplumdan gelmektedir.</i>
Üst Sınır	3,77	
Alt Sınır	-8,87	
Şerit 1 ve Şerit 3 için		<i>Güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunmadığı için karşılaştırılan iki veri grubunun toplum ortalamaları eşit değildir.</i>
Üst Sınır	-2,25	
Alt Sınır	-14,89	
Şerit 2 ve Şerit 3 için		<i>Güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunmadığı için karşılaştırılan iki veri grubunun toplum ortalamaları eşit değildir.</i>
Üst Sınır	-0,30	
Alt Sınır	-12,34	

t istatistik testleri, hipotez testleri arasında en yaygın olarak kullanılan testlerdendir. Bu testler, iki veri grubunun ortalamaları arasında belirgin bir farklılık olup olmadığını istatistiksel olarak belirlemeye çalışan bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Aşağıda belirtilen durumlarda t testleri kullanılır [25]:

- İncelenen bir veri grubunun daha önceden incelenmiş olan başka bir gruba ait olup olmadığını sorgularken,
- Bağımsız iki veri grubu arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını incelerken,
- İncelenen bir grup değişkenin farklı şartlar altında verdiği tepkileri incelerken.

Daha önce Barbaros Bulvarı'nda belirli bir kesim üzerinde toplanan akım hız verilerinden, Şerit 1 ve Şerit 2'ye ait verilerin model oluşturulurken beraber

kullanılabileceği ve Şerit 3'e ait verilerin diğer şeritlerle aynı istatistiksel uyumu göstermediği Tukey-Kramer testiyle belirlenmiştir. Bu bulguyu teyit etmek için t testinin kullanılması önemlidir.

Üç şeride ait veri grupları test edilirken t testinin bir çeşidi olan **Non-pooled t testi** (Welch's t-test) kullanılacaktır. Bunun sebebi, tüm grupların normal dağılıma sahip olmaması fakat büyük veri genişliğine sahip olmasıdır.

Bu test ancak iki veri grubunu kıyaslamak için kullanılır. t değeri ve Δ (serbestlik derecesi) Bağıntı 3.8 ve 3.9 yardımıyla bulunur.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(s_1^2/n_1\right) + \left(s_2^2/n_2\right)}} \quad (3.8)$$

$$\Delta = \frac{\left[\left(s_1^2/n_1\right) + \left(s_2^2/n_2\right)\right]^2}{\frac{\left(s_1^2/n_1\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(s_2^2/n_2\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (3.9)$$

Burada $\bar{x}_i$ şeritlerin hız ortalaması, s_i standart sapmalar ve n_i veri sayıları olarak ifade edilmiştir. Daha sonra güvenilirlik düzeyine karar verilir ($\alpha = 0,05$). $X_{\text{kritik},\alpha/2,\Delta}$ değeri Ek A'daki t dağılımı tablosundan bulunur [25].

Eğer bulunan t değeri $X_{\text{kritik},\alpha/2,\Delta}$ değerinden küçük ise test edilen şeritler aynı toplumdandır. t değerinin $X_{\text{kritik},\alpha/2,\Delta}$ değerinden büyük olması durumunda ise test edilen şeritler istatistiksel bakımdan farklı gruplara aittir. Çizelge 3.4'te akım hızı verileri için yapılan Non-pooled t testinin sonuçları incelenebilir.

Çizelge 3.4: Akım hızı verilerinin Non-pooled t testi sonuçları

Karşılaştırılan Şeritler	t değeri	Δ değeri	$X_{\text{kritik},\alpha/2,\Delta}$	Kritik değer	Sonuç
1-2	1,01	177	$X_{\text{kritik},0,025,177}$	1,982	Şerit 1 ve 2 aynı toplumdandır.
1-3	3,04	174	$X_{\text{kritik},0,025,174}$	1,982	Şerit 1 ve 3 farklı toplumdandır.
2-3	2,20	170	$X_{\text{kritik},0,025,170}$	1,982	Şerit 2 ve 3 farklı toplumdandır.

Çizelge 3.4'ten görüleceği üzere; Şerit 1 ve Şerit 2 kıyası için bulunan t değeri $X_{kritik, \alpha/2, \Delta}$ değerinden küçüktür. Yani, Şerit 1 ile Şerit 2 akım hızı veri grupları aynı toplumdandır. Diğer şeritlerin kıyasları için ise t değeri daha büyük çıkmıştır. Bu durum Tukey-Kramer testi ile bulunan sonuçları teyit eder niteliktedir. Bundan dolayı, akım hızı için regresyon modeli oluştururken Şerit 1 ile Şerit 2 hız verileri beraber kullanılacaktır. Şerit 3 için ayrı bir model oluşturulacaktır.

3.4.2. Taşıt hızı verilerinin gruplanması

Her şerit için toplanan taşıt hızı verilerinin de aynı toplumdandır gelip gelmediğini gösteren istatistiksel testler yapılmıştır. Tek-Yön ANOVA testi, Tukey-Kramer metodu ve Non-pooled t testi üç veri grubuna bu amaçla uygulanmıştır.

Tek yön ANOVA testinde F değeri 38,61 olarak bulunmuştur (Çizelge 3.5). X_{kritik} değeri ise F dağılımı tablosunda, $(n-k) = 2786-3 = 2783$ ve $(k-1) = 3-1 = 2$ sayılarının kesişiminden okunarak 3,00 bulunmuştur.

$F > X_{kritik}$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilmiştir. Tüm veri gruplarının popülasyon ortalamaları eşit değildir. Yani veri grupları birleştirilerek tek bir grupmuş gibi regresyon modeli oluşturulamaz. Taşıt hızı verilerinin Tek yön ANOVA testi sonuçları Çizelge 3.5'te incelenebilir.

Çizelge 3.5: Her şeritteki taşıt hızı verilerinin Tek yön ANOVA testi sonuçları

Şerit	Veri Adedi	Ortalama	Standart Sapma	Verilerin Ortalaması	38,56
1	622	34,87	22,11	SSTR	27.302,56
2	1.082	36,86	16,38	SSE	983.855,21
3	1.082	42,37	19,00	MSTR	13.651,28
Toplam	2.786	38,03	16,66	MSE	353,52
				F	38,61

Taşıt hızı verilerine uygulanan Tukey-Kramer metodunda, Ek A'da gösterilen q grafiği yardımıyla $q_\alpha = 3,31$ okunmuştur. Bağıntı 4.10 yardımıyla test edilen şeritler için alt ve üst sınırlar bulunmuştur. Çizelge 3.6'da Tukey-Kramer test sonuçları incelenebilir.

Test sonucuna göre Şerit 1 ve Şerit 2 hız değerleri aynı toplumdandır gelmektedir.

Çizelge 3.6: Taşıt hızı verilerinin Tukey-Kramer metodu test sonuçları

Tukey-Kramer Test Sonuçları		Açıklama
Şerit 1 ve Şerit 2 için		<i>Güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunduğu için karşılaştırılan iki veri grubunun toplum ortalamaları eşittir. Yani veri grupları aynı toplumdandır.</i>
Üst Sınır	0,22	
Alt Sınır	-4,20	
Şerit 1 ve Şerit 3 için		<i>Güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunmadığı için karşılaştırılan iki veri grubunun toplum ortalamaları eşit değildir.</i>
Üst Sınır	-5,29	
Alt Sınır	-9,71	
Şerit 2 ve Şerit 3 için		<i>Güvenilirlik aralığı içerisinde 0 bulunmadığı için karşılaştırılan iki veri grubunun toplum ortalamaları eşit değildir.</i>
Üst Sınır	-3,62	
Alt Sınır	-7,40	

Taşıt hızı verilerine uygulanan Non-pooled t testinin sonuçları Çizelge 3.7’de incelenebilir.

Çizelge 3.7: Taşıt hızı verilerinin Non-pooled t testi sonuçları

Karşılaştırılan Şeritler	t değeri	Δ değeri	$X_{kritik, \alpha/2, \Delta}$	Kritik değer	Sonuç
1-2	1,96	1.017	$X_{kritik, 0.025, 1017}$	1,97	Şerit 1 ve 2 aynı toplumdandır.
1-3	7,09	1.142	$X_{kritik, 0.025, 1142}$	1,97	Şerit 1 ve 3 farklı toplumdandır.
2-3	7,22	2.116	$X_{kritik, 0.025, 2116}$	1,96	Şerit 2 ve 3 farklı toplumdandır.

Çizelge 3.7’den görüleceği üzere; Şerit 1 ve Şerit 2 kıyası için bulunan t değeri $X_{kritik, \alpha/2, \Delta}$ değerinden küçüktür. Yani, Şerit 1 ile Şerit 2 taşıt hızı veri grupları aynı toplumdandır. Diğer şeritlerin kıyasları için ise t değeri daha büyük çıkmıştır. Bu durum Tukey-Kramer testi ile bulunan sonuçları teyit eder niteliktedir. Bundan dolayı, taşıt hızı için regresyon modeli oluştururken Şerit 1 ile Şerit 2 hız verileri beraber kullanılacaktır. Şerit 3 için ayrı bir model oluşturulacaktır .

3.5. Akım Hızı Regresyon Modeli

Literatüre bakıldığında; akım hızı için bir regresyon modeli oluştururken birçok farklı değişkenin kullanıldığı görülür. Bu çalışmada oluşturulan modeldeki bağımlı değişken

akım hızı olarak seçilmiştir. Modeldeki bağımlı değişken, yani akım hızı, bir dakikada ölçülen taşıt hızlarının harmonik ortalamasıdır.

Geliştirilen trafik akım modelindeki bağımsız değişkenler, yani X_i , modellenen güzergahtaki taşıt türlerine ait büyüklüklerdir. Modelde kullanılması düşünülen bağımsız değişkenler aşağıda verilmiştir:

- Akım (q): Genel geçer modellerde akım/kapasite (q/c) oranı olarak kullanılan bu değişken, bu çalışmadaki modelde kapasite değerine bölünmeden kullanılmıştır. Akım, taşıt sayımından elde edilmiştir.
- Taşıtlar Arası Zaman Cinsinden Aralık (h): Trafik akımı içerisinde, öndeki aracın ön tamponu ile takip eden aracın ön tamponu arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin modelde kullanılması düşünülmüştür.
- Trafik İçerisindeki Minibüs Yüzdesi (M): Sayımlarla her dakika için elde edilen trafik akımı içerisindeki minibüs yüzdesi değişken olarak modelde kullanılmıştır.
- Trafik İçerisindeki Ağır Taşıt Yüzdesi (AT): Akım içerisindeki ağır taşıt sayısının toplam taşıt sayısına oranıdır. Bu aşamada karşılaşılan sorun, “ağır taşıtın ne olduğunun tanımlanması” konusudur. Karayolları Tasarım El Kitabı ağır taşıtı “kullanımları sırasında kaplamaya dörtten fazla tekerleğin temas ettiği taşıtlar” olarak tanımlamıştır [1]. Öte yandan literatürde farklı tanımlamalar da söz konusudur. Bu çalışmada ağır taşıtlar otobüs, kamyon, kamyonet ve tır olarak düşünülmüştür.
- Yaya Sayısı (Y): Çalışılan güzergah üzerinde, yolu dik kesen yaya geçidini kullanarak karşıdan karşıya geçen yaya adedini göstermektedir.
- Yol Boyu Park Yoğunluğu İndeksi: Barbaros Bulvarı üzerinde seçilen kesimde, akım yönünün sağ tarafında herhangi bir park izni olmadığından dolayı bu değişken geçersiz olarak düşünülmüştür.
- Eğim: Çalışılan kesim sabit bir eğime sabit olduğundan eğim değişkeni modelde kullanılmamıştır.
- Hava Şartları: Hız ve akım etüdü farklı günlerde veya farklı hava şartlarında yapılmadığından dolayı bu değişken de modellemeler sırasında sabit olarak kabul edilmiştir.

- Sürücü Davranışları: Barbaros Bulvarı üzerinde sürücü davranışları ile ilgili hiçbir veri toplama çalışması yapılmamıştır. Bu nedenle, bu değişken modellerde ihmal edilmiştir.

Modeller geliştirilirken, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki bağıntılar en küçük kareler yöntemi ile elde edilmiştir. Bu yöntemdeki değişen varyans problemlerinden dolayı aykırı hız değerleri verilerin içinden ayıklanmıştır.

Hız ile akım ve taşıtlar arası zaman cinsinden aralık değerlerine bağlı bir regresyon modeli oluştururken birçok farklı matematiksel formda bağıntılar oluşturulabilir. Çizelge 3.8’de hız-akım bağıntıları için kullanılan çeşitli seçenekler gösterilmektedir. Bu çalışmada dört adet bağımsız değişken içeren polinomsal bir bağıntı irdelenmiştir.

Çizelge 3.8: Hız-Akım modelleri için çeşitli fonksiyonel bağıntılar [24]

Denklem Biçimi	Örnek	Yorum
Doğrusal	$y = ax+b$	Başka bağımsız değişkenler olmadığı takdirde, yüksek akım/kapasite oranında hız sıfıra yaklaşır.
Logaritmik	$y = \ln(x)+b$	Kabul edilemez. Düşük akım/kapasite oranında hız negatif sonsuza yaklaşır.
Kuvvet	$y = a/x^b$	Kabul edilemez. Düşük akım/kapasite oranında hız sonsuza yaklaşır.
Üssel	$y = ae^{(bx)}$	Bağıntı kullanılabilir.
Polinomsal	$y = ax^2+bx+c$	Başka bağımsız değişkenler olmadığı takdirde, yüksek akım/kapasite oranında hız sıfıra yaklaşır.
BPR	$y = a/(b+cx^d)$	Bağıntı kullanılabilir.
y: taşıt hızı - a,b,c,d: katsayılar - x: akım/kapasite oranı		

Akım ve taşıt hızlarını modellemek için yapılan çalışmalarda hız bağımlı değişkeni sadece akım, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ve yoğunluk gibi bağımsız değişkenlere bağlı olarak modellenebileceği gibi, daha farklı bir yaklaşımla trafik kompozisyonu, çalışma yapılan yolun geometrik özellikleri, park yoğunluğu vs. gibi bağımsız değişkenlere bağlı olarak da modellenebilir. Trafik akımı hızı modellemeleri için literatürde genel olarak kullanılan değişkenler Çizelge 3.9’da gösterilmiştir [26].

Çoklu regresyon modeli bir bağımlı değişkene etki eden çok sayıda bağımsız değişkeni çözümlemeye dahil ederek aralarında bir ilişki ifade eden modellerdir. Regresyon

çözümlemesi, değişkenler arasındaki bağıntıyı temsil eden matematiksel modeli belirlemeye ve modelin yeterlilik düzeyini irdelemeye yönelik, etkin ve değişik bilim alanlarında yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir [27]. Çoklu regresyon bağıntısının genel hali Bağıntı 3.10’da verilmiştir:

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_i x_i + e \quad (3.10)$$

Çizelge 3.9: Trafik akım hızı için yapılan modellerde kullanılan değişkenler [26]

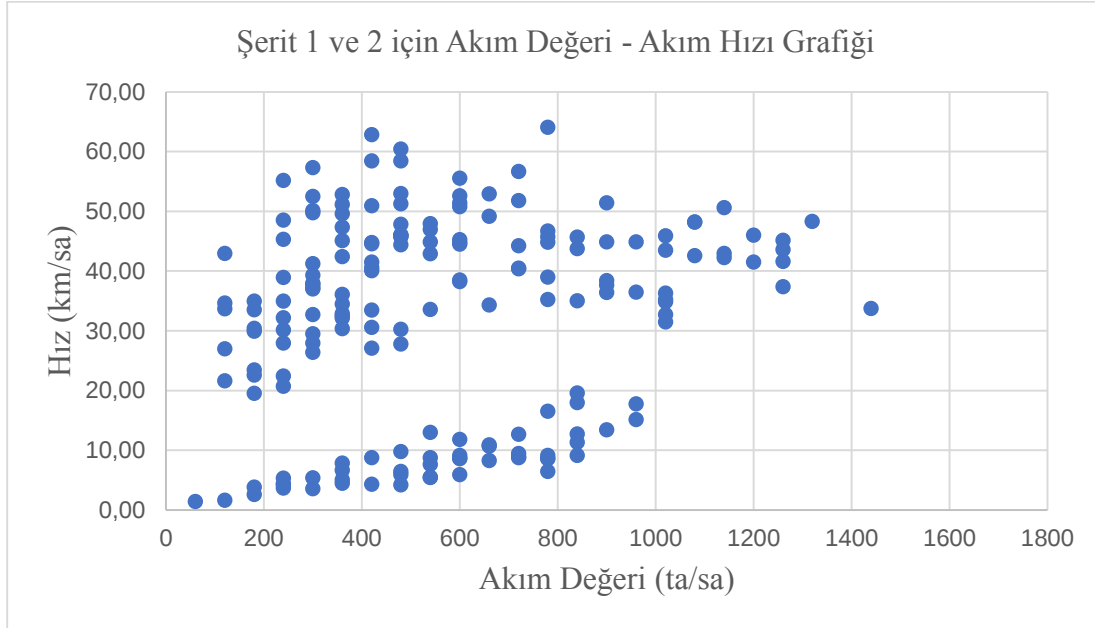
Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	
Trafik Akım Hızı	Altyapı Özellikleri	Kapasite
		Geometrik Yapı
		Kaplama Kalitesi ve Durumu
		İnşaat vb. Etkinliklerin Etkisi
	Trafik Özellikleri	Trafik Hacim ve Yoğunluğu
		Taşıt Türleri
		Hizmet Düzeyi
		Sağ Kenardaki Park Yoğunluğu
		Yoldan Geçen Yaya Sayısı
	Diğer	Hava Koşulları
		Sürücü Davranışları
		Trafik Yönetim Stratejileri

Hesaplanan regresyon denkleminin verilere uyum düzeyini, dolayısıyla denklemin başarısını ölçmede “belirlilik katsayısı (R^2)” olarak adlandırılan bir istatistik kullanılmaktadır. Belirlilik katsayısı (R^2), regresyon denkleminin başarısını ölçmenin yanında, denklemin öngörü gücünü de yansıtan bir istatistiktir.

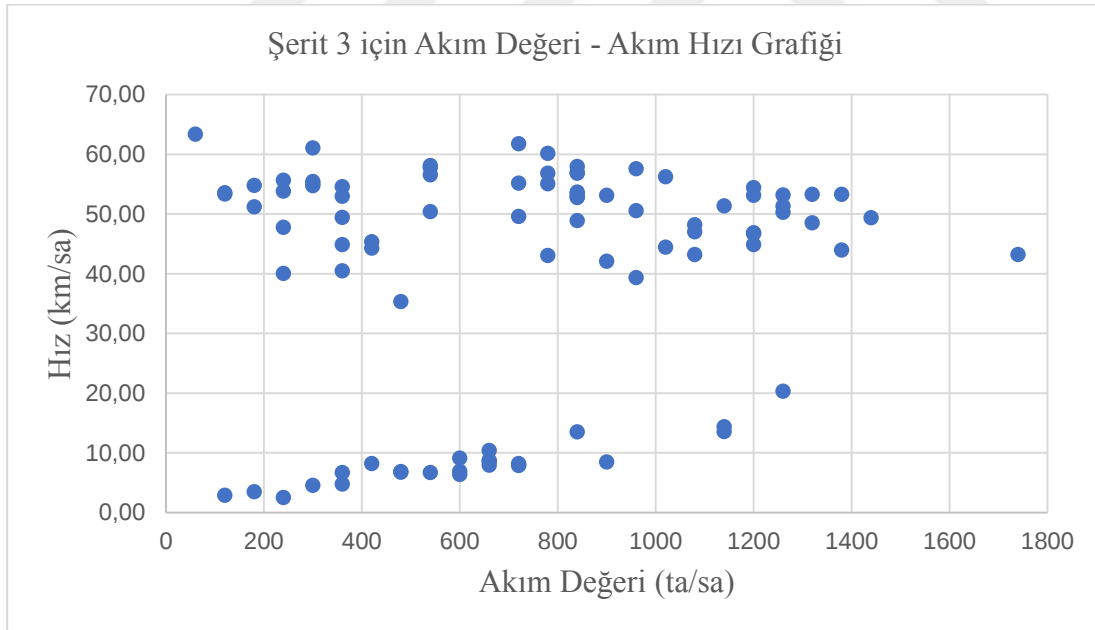
Akım ve taşıt hızı için regresyon modeli oluşturmak amacıyla, bu çalışma kapsamında toplanan trafik verileri çoklu regresyon kullanılarak modellenmiştir. ANOVA, Tukey-Kramer ve Non-pooled t testleriyle Şerit 1 ve 2 için tek bir modelin oluşturulacağı, Şerit 3 için ise ayrı bir modelin oluşturulması gerektiği ifade edilmiştir.

Akım hızını öngörmek için oluşturulacak regresyon modelinde akım değeri bağımsız değişkeni kullanılmıştır. Taşıt hızını öngörmek için oluşturulacak regresyon modelinde ise zaman cinsinden taşıtlar arası aralık bağımsız değişkeni kullanılması düşünülmüştür.

Trafikteki serbest ve tıkanık akım bölgeleri için farklı modeller geliştirilmiştir. Şekil 3.7(a) ve 3.7(b)'deki Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 için akım değeri-akım hızı grafiklerinde serbest ve tıkanık akım bölgeleri açık şekilde görülebilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.7: Akım değeri-akım hızı grafikleri (a) Şerit 1 ve 2 (b) Şerit 3

Serbest akım için yapılan modellemelerde, verilere uyum düzeyi en yüksek modeli bulabilmek için korelasyon tekniği kullanılmıştır. Hız ve akım değerlerinden oluşan veri çiftleri, akım değerinin en küçük değerinden büyüğüne doğru artacak şekilde

sıralanmıştır. Değişken dizilerinden biri akım hızını, diğeri akım değerini göstermek üzere değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalara iki elemanlı diziler ile başlanmış, her adımda eleman sayısı birer arttırılarak korelasyon katsayısı yeniden hesaplanmıştır. Hesaplanan bu korelasyon değerleri grafik üzerinde incelenmiştir. Korelasyon grafiğinde veri sayısının küçük olduğu başlangıç kısımlarında korelasyon katsayılarının kararsız bir davranış gösterdiği, veri sayısı arttıkça artan veya azalan bir eğilim gösterdiği gözlemlenmiştir. Korelasyon grafiğinde, mutlak değeri en yüksek korelasyon katsayısı yakalandıktan sonra eğilimin değiştiği noktalar, hız ve akım değeri veri çiftleri arasında ilişkinin değiştiği yerler olarak değerlendirilmiş ve değişimin olduğu iki kesim için farklı regresyon modelleri oluşturulmuştur [28].

Korelasyon grafiğinde, en büyük korelasyon katsayısı gözlenen hız ve akım değeri veri çifti sayısına kadar olan kesim 1. Serbest akım bölgesi, eğilim değiştikten sonraki hız ve akım veri çiftlerini içeren kesim ise 2. Serbest akım bölgesi olarak tanımlanmıştır.

Dakikalık akım hızı (u) hesaplamak için oluşturulacak regresyon modelinde yer almasına karar verilen bağımsız değişkenler akım (q), trafikteki minibüs oranı (M) ve ağır taşıt oranı (AT) ile bir dakikada yaya geçidinden geçen yaya sayısı (Y) olarak belirlenmiştir.

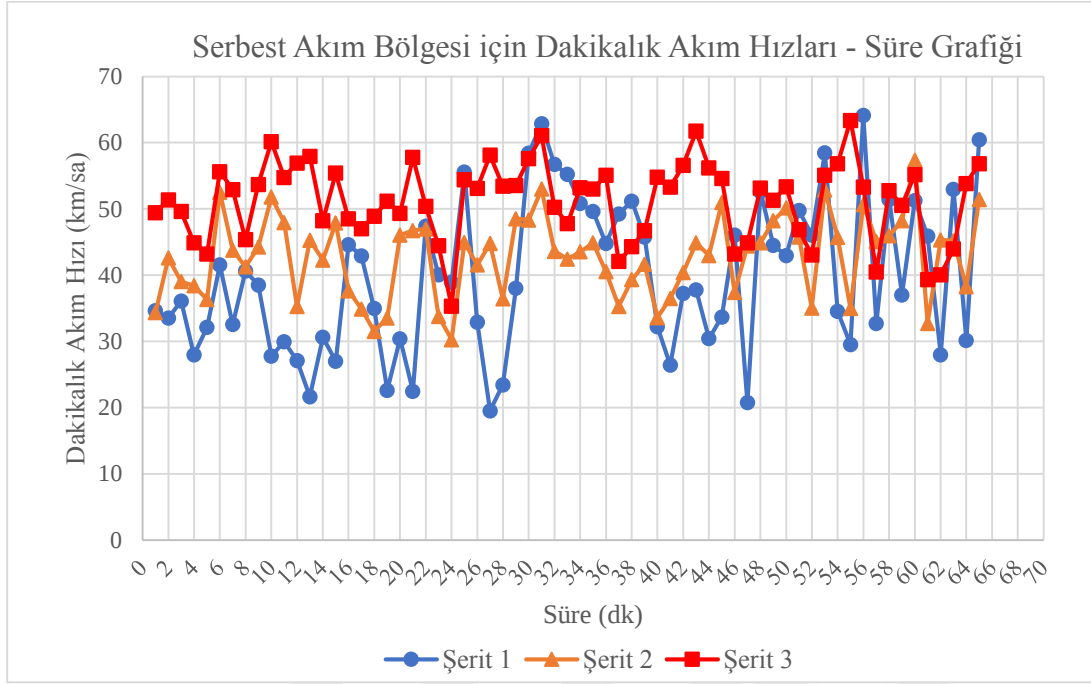
3.5.1. Şerit 1 ve 2 için akım hızı regresyon modeli

Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 için akım hızı regresyon modeli oluşturulurken her şerit için dakikalık akım hızları bulunmuştur. Akım hızı, ölçülen taşıt hızlarının harmonik ortalaması alınarak bulunmuştur. Bu durumda her şerit 90 adet akım hızı verisine sahip olacaktır.

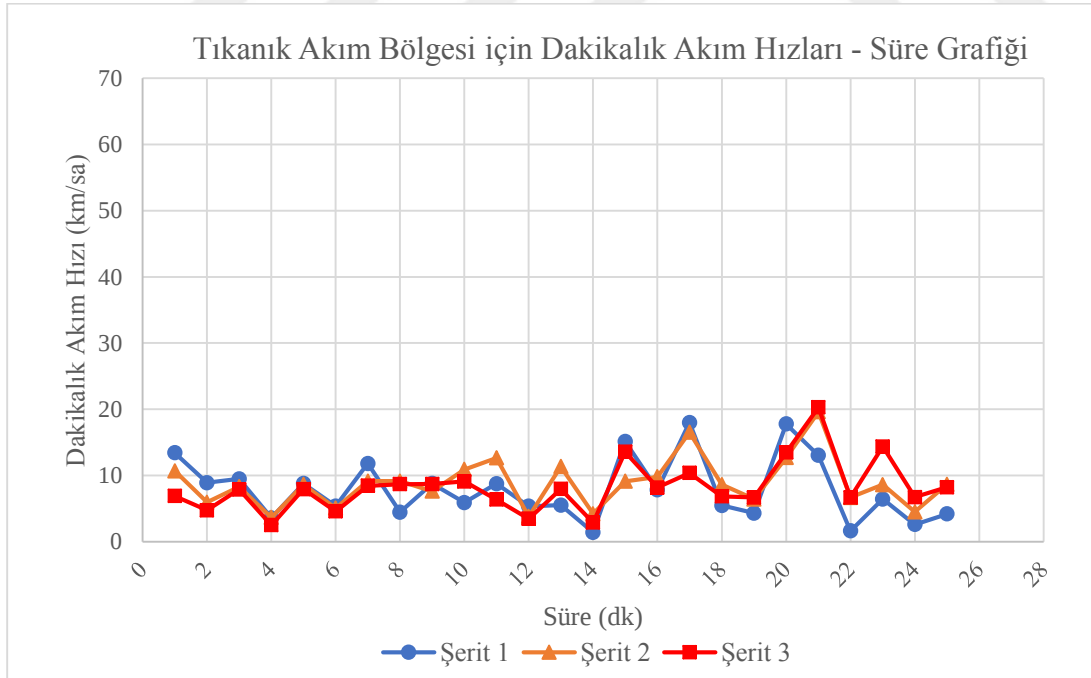
Üç şerit için bulunan dakikalık akım hızlarının izleme süresine göre dağılımları Şekil 3.8(a) ve Şekil 3.8(b)'de görülmektedir. Serbest akım ve tıkanık akım verileri süresiz olduğundan ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Serbest akım bölgesinde, Şerit 3'te belirlenen dakikalık akım hızlarının, genellikle diğer iki şeritte belirlenen dakikalık akım hızlarından daha büyük olduğu görülmektedir. Tıkanık akım bölgesinde, şeritlerin akım hızları birbirine yakındır.

Serbest akım bölgesi ve tıkanık akım bölgesi için farklı modeller geliştirilmiştir. Serbest akım bölgesinde dakikalık akım hızları için regresyon modeli oluşturulurken korelasyon tekniği yardımıyla veriler üzerinde tutarlılık değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu değerlendirme sonucu, 1. Serbest akım ve 2. Serbest akım bölgelerini temsil eden iki farklı model oluşturulmuştur. Tıkanık akım bölgesi için tek bir model geliştirilmiştir.



(a)

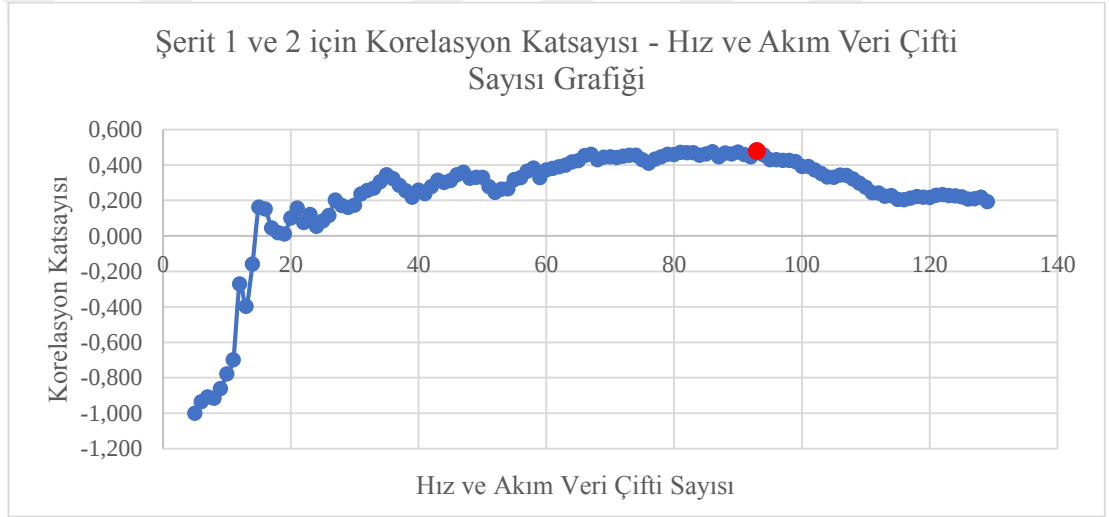


(b)

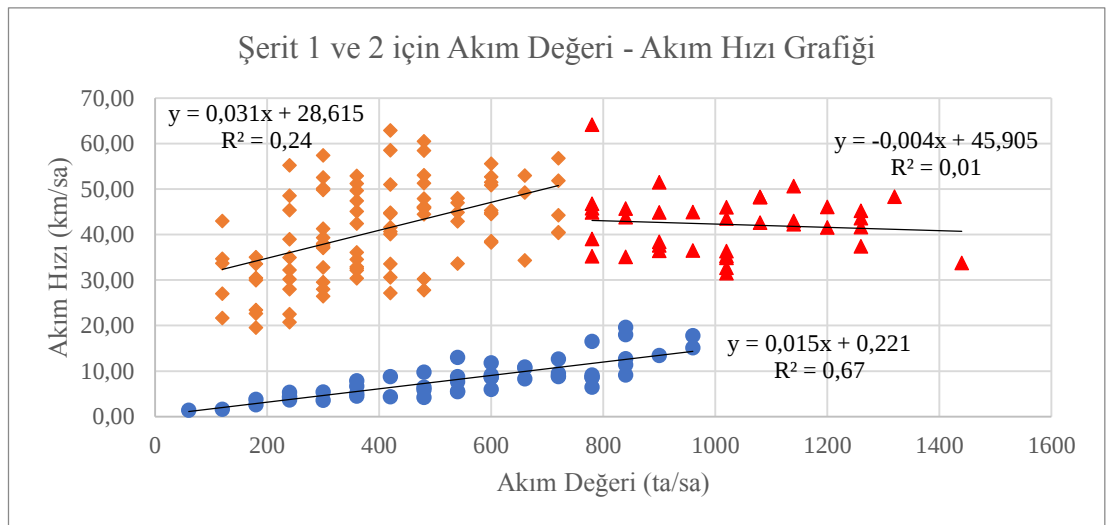
Şekil 3.8: Şeritler için Dakikalık Akım Hızı-Süre grafiği (a) Serbest akım (b) Tıkanık akım

Şekil 3.9(a)'daki korelasyon katsayısı-hız ve akım veri çifti sayısı grafiği incelendiğinde, hız ile akım arasındaki ilişkiyi veren korelasyon eğrisi görülmektedir. Eğrinin, yatay ekseninde belirtilmiş olan veri çifti sayısının kırmızı nokta ile gösterilen 93 değerine ulaşmasından sonra eğiliminin değiştiği ve korelasyon katsayısının azaldığı görülebilir. Bu durum, eklenen her veri çiftinin akım ile hız arasındaki ilişkiyi azalttığı anlamına gelmektedir. Böylece, belirlenen bu noktaya kadar olan, yani 720 ta/sa akım değerine kadar olan veri çifti (1. Serbest akım bölgesi) ve diğer bağımsız değişkenleri için bir model, 720 ta/sa akım değerinden büyük veri çiftleri (2. Serbest akım bölgesi) ve diğer bağımsız değişkenleri için ise başka bir model oluşturulmuştur.

Şekil 3.9(b)'deki akım ve ortalama hız grafiğine bakıldığında, serbest akım bölgesi için korelasyon tekniği ile ayrılan akım-hız veri çiftleri görülebilir.



(a)



(b)

Şekil 3.9: Şerit 1 ve 2 için korelasyon eğrisi (a), akım değeri-akım hızı grafiği (b)

Şekil 3.8’de görülen Şerit 1 ve 2 için çizilen akım değeri–akım hızı grafiğinde, serbest ve tıkanık akım bölgelerini gösteren ve yalnızca akım değeri ile akım hızı arasındaki ilişkiyi veren regresyon denklemleri ve belirlilik katsayıları incelenebilir. Akım ile hız arasındaki en güçlü ilişki tıkanık akım bölgesinde görülmektedir ($R^2=0,67$). 1. Serbest akım bölgesi için bulunan denklemin regresyon katsayısı, 2. Serbest akım bölgesi için bulunan denklemin regresyon katsayısından büyüktür ($R^2=0,24$).

Regresyon modelinde yer almasına karar verilen ortalama hız bağımlı değişkeni (u) ve akım değeri (Q), trafikteki minibüs oranı (M) ve ağır taşıt oranı (AT) ile kesit boyunca yaya geçidinden geçen yaya sayısı (Y) bağımsız değişkenleri arasında da korelasyon çözümlemesi yapılmıştır. Çizelge 3.10’da, 1. Serbest akım bölgesindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon matrisi görülebilir.

Çizelge 3.10: Şerit 1 ve 2 için 1. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi ($q \leq 720$ ta/sa)

Değişkenler	Ortalama Hız	Akım Değeri	Ağır Taşıt Oranı	Minibüs Oranı	Yaya Sayısı
Ortalama Hız	1,00				
Akım Değeri (Q)	0,49	1,00			
Ağır Taşıt Oranı (AT)	-0,40	-0,27	1,00		
Minibüs Oranı (M)	-0,33	-0,32	-0,22	1,00	
Yaya Sayısı (Y)	-0,18	-0,27	0,09	0,01	1,00

Korelasyon matrisi incelendiğinde, akım değeri değişkeninin artı işaretli olduğu, diğer bağımsız değişkenlerin ise eksi işaretli olduğu görülmektedir. Serbest akım bölgesinde akımın artı işaretli olması çok sık görülmemekle birlikte, taşıtların görece yolun daha boş olduğu durumlarda düşük hızlarda yolculuk etmesine ve yoldaki taşıt sayısı arttıkça bu taşıtların birbirlerini daha yüksek hızlarda yolculuk etmeye zorlamasına dayandırılabilir.

1. Serbest akım bölgesindeki için dakikalık akım hızı modeli Bağntı 3.11’de verilmiş olup, belirlilik katsayısı 0,41 olarak bulunmuştur.

$$u = 42,46 + 0,02Q - 21,17AT - 16,01M - 0,33Y \quad (3.11)$$

Oluşturulan model için regresyon istatistikleri ve belirlilik katsayı değerleri Çizelge 3.11’de incelenebilir:

Çizelge 3.11: Şerit 1 ve 2 için 1. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları

<i>Regresyon İstatistikleri</i>		<i>Değişkenler</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>P-değeri</i>
Çoklu R	0,64	Sabit Terim	42,46	0,00
R Kare	0,41	Akım Değeri	0,02	0,01
Ayarlı R Kare	0,38	Ağır Taşıt Oranı	-21,17	0,00
Standart Hata	8,00	Minibüs Oranı	-16,01	0,00
Gözlem	93	Yaya Sayısı	-0,33	0,38

2. Serbest akım bölgesindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon matrisi Çizelge 3.12’de görülebilir.

Çizelge 3.12: Şerit 1 ve 2 için 2. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi (720 ta/sa ≤ q ≤ 1440 ta/sa)

Değişkenler	Ortalama Hız	Akım Değeri	Ağır Taşıt Oranı	Minibüs Oranı	Yaya Sayısı
Ortalama Hız	1,00				
Akım Değeri (Q)	-0,10	1,00			
Ağır Taşıt Oranı (AT)	-0,44	-0,22	1,00		
Minibüs Oranı (M)	-0,43	-0,09	0,30	1,00	
Yaya Sayısı (Y)	-0,10	-0,11	-0,10	0,06	1,00

İlk modelden farklı olarak 2. Serbest akım bölgesi için oluşturulan modelde tüm bağımsız değişkenler eksi işaretlidir. Serbest akım bölgesinde akım arttıkça hızın azalması olağan bir durumdur.

2. Serbest akım bölgesi için dakikalık akım hızı regresyon modeli Bağntı 3.12’de verilmiş olup, belirlilik katsayısı 0,35 olarak bulunmuştur.

$$u = 57,07 - 0,01Q - 33,15AT - 24,56M - 0,46Y \quad (3.12)$$

Oluşturulan model için regresyon istatistikleri ve belirlilik katsayı değerleri Çizelge 3.13'te incelenebilir:

Çizelge 3.13: Şerit 1 ve 2 için 2. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları

<i>Regresyon İstatistikleri</i>		<i>Değişkenler</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>P-değeri</i>
Çoklu R	0,59	Sabit Terim	57,07	0,00
R Kare	0,35	Akım	-0,01	0,13
Ayarlı R Kare	0,27	Ağır Taşıt Oranı	-33,15	0,01
Standart Hata	5,52	Minibüs Oranı	-24,56	0,04
Gözlem	37	Yaya Sayısı	-0,46	0,32

Tıkanık akım bölgesi için oluşturulacak regresyon modelinden önce de yine değişkenler arasındaki korelasyon matrisi incelenmiştir. Çizelge 3.14'te, tıkanık akım bağımlı ve bağımsız değişkenleri arasındaki korelasyon matrisi görülmektedir.

Çizelge 3.14: Şerit 1 ve 2 tıkanık akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi

Değişkenler	Ortalama Hız	Akım Değeri	Ağır Taşıt Oranı	Minibüs Oranı	Yaya Sayısı
Ortalama Hız	1,00				
Akım Değeri (Q)	0,82	1,00			
Ağır Taşıt Oranı (AT)	0,12	0,01	1,00		
Minibüs Oranı (M)	0,11	-0,05	0,21	1,00	
Yaya Sayısı (Y)	-0,09	0,05	-0,15	-0,16	1,00

Korelasyon matrisi irdelendiğinde, ağır taşıt oranı ve minibüs oranı bağımsız değişkenlerinin artı işaretli olduğu görülmektedir. Trafikteki ağır taşıt ya da minibüs oranının arttıkça ortalama taşıt hızının artması mantıklı değildir. Bu yüzden ağır taşıt ve minibüs oranı bağımsız değişkenleri modelden çıkarılmıştır. Tıkanık akım bölgesinde, akım arttıkça hızın artması ise olağan bir durumdur.

Tıkanık akım bölgesindeki dakikalık ortalama akım hızı modeli Bağntı 3.13'te verilmiştir:

$$u = 0,54 + 0,01Q - 0,41Y \quad (3.13)$$

Oluşturulan model için regresyon istatistikleri ve belirlilik katsayı değerleri Çizelge 3.15'te incelenebilir:

Çizelge 3.15: Şerit 1 ve 2 için tıkanık akım bölgesi regresyon modeli sonuçları

<i>Regresyon İstatistikleri</i>		<i>Değişkenler</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>P-değeri</i>
Çoklu R	0,83	Sabit Terim	0,54	0,56
R Kare	0,68	Akım	0,01	0,00
Ayarlı R Kare	0,67	Yaya Sayısı	-0,41	0,11
Standart Hata	2,44			
Gözlem	50			

Şerit 1 ve Şerit 2 tıkanık akım bölgesi için oluşturulan regresyon modelinin R^2 değeri 0,68 olarak bulunmuştur. Görülebileceği üzere modeller arasında en yüksek R^2 değeri tıkanık akım modelinde ortaya çıkmıştır. Bu durumun sebebi, tıkanık akım bölgesinde taşıt etkileşimlerinin daha fazla olmasıdır.

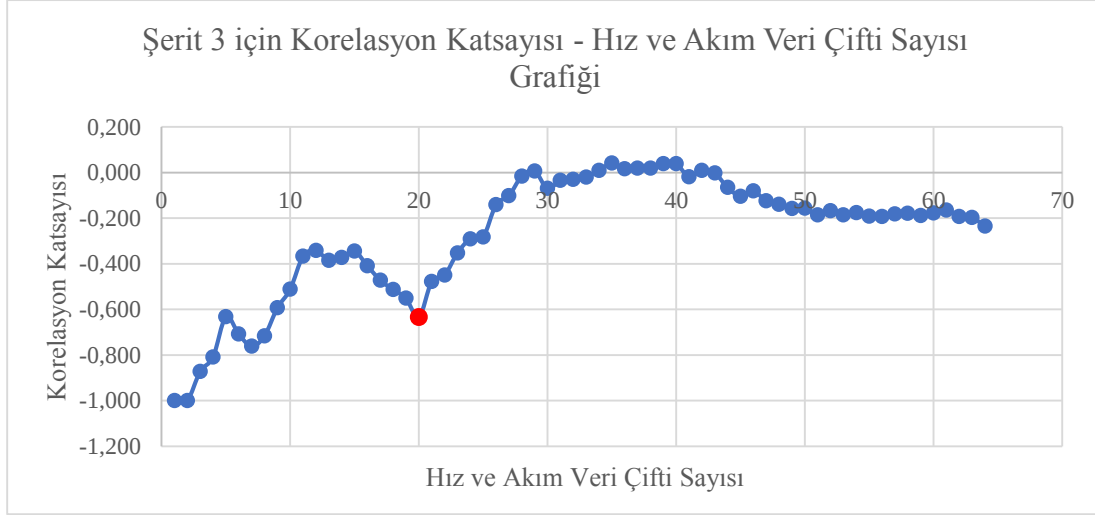
3.5.2. Şerit 3 için akım hızı regresyon modeli

Şerit 3 dakikalık akım hızları için regresyon modeli oluşturulurken, aynı Şerit 1 ve 2'de olduğu gibi serbest akım bölgesindeki akım ve hız veri çiftlerine korelasyon tekniği yardımıyla tutarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucu, serbest akım bölgesini temsil eden iki model oluşturulmuştur (1. ve 2. Serbest akım bölgeleri). Tıkanık akım bölgesi için tek bir model geliştirilmiştir.

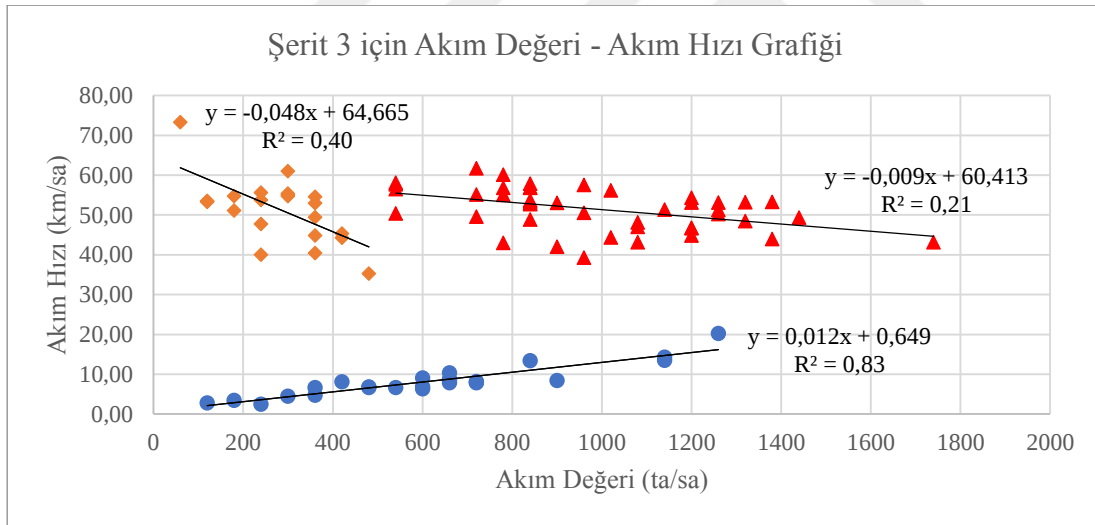
Şekil 3.10(a)'daki korelasyon katsayısı-hız ve akım veri çifti sayısı grafiği incelendiğinde, hız-akım çiftleri arasındaki ilişkiyi veren korelasyon eğrisi görülmektedir. İlk değerler göz ardı edildiğinde, korelasyon katsayısının artma eğiliminin, kırmızı nokta ile gösterilen 20 değerine ulaşmasından sonra değiştiği ve korelasyon katsayısının azaldığı görülebilir. Böylece, belirlenen bu noktaya kadar olan, yani 480 ta/sa akım değerine kadar olan veri çifti (1. Serbest akım bölgesi) ve diğer bağımsız değişkenleri için bir model, 480 ta/sa akım değerinden büyük veri

çiftleri (2. Serbest akım bölgesi) ve diğer bağımsız değişkenleri için ise başka bir model oluşturulmuştur.

Şekil 3.10(b)'deki akım ve ortalama hız grafiğine bakıldığında, serbest akım bölgesi için korelasyon tekniği ile ayrılan akım-hız veri çiftleri görülebilir.



(a)



(b)

Şekil 3.10: Şerit 3 için korelasyon eğrisi (a), akım değeri-akım hızı grafiği (b)

Şekil 3.10'da ayrıca, Şerit 3 için çizilen akım değeri-akım hızı grafiğinde, serbest ve tıkanık akım bölgelerini temsil eden ve yalnızca akım değeri ile akım hızı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon denklemleri ve belirlilik katsayıları görülmektedir. Akım ile hız arasındaki en güçlü ilişki tıkanık akım bölgesinde görülmektedir ($R^2=0,83$).

1. Serbest akım bölgesi için bulunan denklemin regresyon katsayısı, 2. Serbest akım bölgesi için bulunan denklemin regresyon katsayısından büyüktür ($R^2=0,40$).

1. Serbest akım bölgesindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon matrisi Çizelge 3.16’da görülebilir.

Çizelge 3.16: Şerit 3 için 1. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi
($q \leq 480$ ta/sa)

Değişkenler	Ortalama Hız	Akım Değeri	Ağır Taşıt Oranı	Minibüs Oranı	Yaya Sayısı
Ortalama Hız	1,00				
Akım Değeri (Q)	-0,55	1,00			
Ağır Taşıt Oranı (AT)	-0,46	0,10	1,00		
Minibüs Oranı (M)	-0,10	-0,16	-0,13	1,00	
Yaya Sayısı (Y)	0,11	0,12	0,15	-0,33	1,00

Korelasyon matrisi incelendiğinde, yaya sayısı katsayısının artı işaretli olduğu görülmektedir. Yaya sayısı arttıkça hızın artması mantıklı olmadığından yaya sayısı bağımsız değişkeni modelden çıkartılmıştır.

1. Serbest akım bölgesi için dakikalık akım hızı regresyon modeli Bağntı 3.14’te verilmiş olup, belirlilik katsayısı 0,52 olarak bulunmuştur.

$$u = 64,65 - 0,04Q - 51,62AT - 13,21M \quad (3.14)$$

Oluşturulan model için regresyon istatistikleri ve belirlilik katsayı değerleri Çizelge 3.17’de incelenebilir:

Çizelge 3.17: Şerit 3 için 1. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları

Regresyon İstatistikleri		Değişkenler	Katsayılar	P-değeri
Çoklu R	0,72	Sabit Terim	64,65	0,00
R Kare	0,52	Akım	-0,04	0,01
Ayarlı R Kare	0,44	Ağır Taşıt Oranı	-51,62	0,02
Standart Hata	5,61	Minibüs Oranı	-13,21	0,19
Gözlem	20			

2. Serbest akım bölgesi için ayrı bir model geliştirilmiştir. Çizelge 3.18’de, 2. Serbest akım bölgesindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon matrisi görülebilir.

Çizelge 3.18: Şerit 3 için 2. Serbest akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi
(480 ta/sa ≤ q ≤ 1740 ta/sa)

Değişkenler	Ortalama Hız	Akım Değeri	Ağır Taşıt Oranı	Minibüs Oranı	Yaya Sayısı
Ortalama Hız	1,00				
Akım Değeri (Q)	-0,29	1,00			
Ağır Taşıt Oranı (AT)	0,04	-0,01	1,00		
Minibüs Oranı (M)	0,01	0,04	-0,17	1,00	
Yaya Sayısı (Y)	-0,01	-0,40	0,03	0,00	1,00

Korelasyon matrisi incelendiğinde, ağır taşıt oranı ve minibüs oranı bağımsız değişkenlerinin katsayılarının pozitif işaretli olduğu görülmektedir. Bu sebepten ötürü, bu değişkenler regresyon modelinden çıkarılmıştır.

2. Serbest akım bölgesi için dakikalık akım hızı regresyon modeli Bağntı 3.15’te verilmiş olup, belirlilik katsayısı 0,10 olarak bulunmuştur.

$$u = 58,69 - 0,01Q - 0,33Y \quad (3.15)$$

Oluşturulan model için regresyon istatistikleri Çizelge 3.19’da incelenebilir:

Çizelge 3.19: Şerit 3 için 2. Serbest akım bölgesi regresyon modeli sonuçları

Regresyon İstatistikleri		Değişkenler	Katsayılar	P-değeri
Çoklu R	0,31	Sabit Terim	58,69	0,00
R Kare	0,10	Akım	-0,01	0,04
Ayarlı R Kare	0,05	Yaya Sayısı	-0,33	0,42
Standart Hata	5,66			
Gözlem	45			

Tıkanık akım bölgesindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için Çizelge 3.20’de, tıkanık akım bağımlı ve bağımsız değişkenleri arasındaki korelasyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 3.20: Şerit 3 tıkanık akım bölgesi değişkenleri korelasyon matrisi

Değişkenler	Ortalama Hız	Akım	Ağır Taşıt Oranı	Minibüs Oranı	Yaya Sayısı
Ortalama Hız	1,00				
Akım	0,91	1,00			
Ağır Taşıt Oranı	0,13	-0,03	1,00		
Minibüs Oranı	-0,11	-0,10	-0,14	1,00	
Yaya Sayısı	-0,10	-0,02	-0,30	-0,06	1,00

Korelasyon matrisi irdelendiğinde, ağır taşıt oranı değişkeni katsayısının artı işaretli olduğu görülmektedir. Trafikteki ağır taşıt oranı arttıkça akım hızının artması mantıksız olduğundan, ağır taşıt oranı bağımsız değişkeni modelden çıkarılmıştır.

Tıkanık akım bölgesi için dakikalık akım hızı regresyon modeli Bağıntı 3.16’da verilmiş olup, belirlilik katsayısı 0,84 olarak bulunmuştur.

$$u = 0,91 + 0,01Q - 0,62M - 0,21Y \quad (3.16)$$

Oluşturulan model için regresyon istatistikleri ve belirlilik katsayı değerleri Çizelge 3.21’de incelenebilir:

Çizelge 3.21: Şerit 3 için tıkanık akım bölgesi regresyon modeli sonuçları

Regresyon İstatistikleri		Değişkenler	Katsayılar	P-değeri
Çoklu R	0,92	Sabit Terim	0,91	0,31
R Kare	0,84	Akım	0,01	0,00
Ayarlı R Kare	0,82	Minibüs Oranı	-0,62	0,85
Standart Hata	1,68	Yaya Sayısı	-0,21	0,39
Gözlem	25			

Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 için geliştirilen modeller ve belirlilik katsayıları Çizelge 3.22’de görülebilir.

Çizelge 3.22: Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 için oluşturulan tüm modeller ve R^2 değerleri

Şerit	Bölge	Model	R^2 değeri
1 ve 2	1. Serbest Akım	$u = 42,46 + 0,02Q - 21,17AT - 16,01M - 0,33Y$	0,41
	2. Serbest Akım	$u = 57,07 - 0,01Q - 33,15AT - 24,56M - 0,46Y$	0,35
	Tıkanık Akım	$u = 0,54 + 0,01Q - 0,41Y$	0,68
3	1. Serbest Akım	$u = 64,65 - 0,04Q - 51,62AT - 13,21M$	0,52
	2. Serbest Akım	$u = 58,69 - 0,01Q - 0,33Y$	0,10
	Tıkanık Akım	$u = 0,91 + 0,01Q - 0,62M - 0,21Y$	0,84

Korelasyon matrisleri, değişkenler arasında yalnızca doğrusal ilişkileri gösterdiğinden, her üç bağımsız değişken (minibüs oranı, ağır taşıt oranı ve yaya sayısı) ile akım hızı arasında ayrı ayrı saçılma şekilleri çizilmiş ve doğrusal olmayan ilişkiler de (polinom, logaritmik, eksponansiyel ve üstel) incelenmiştir. Ek B’de şeritler için incelenen bu şekiller görülebilmektedir.

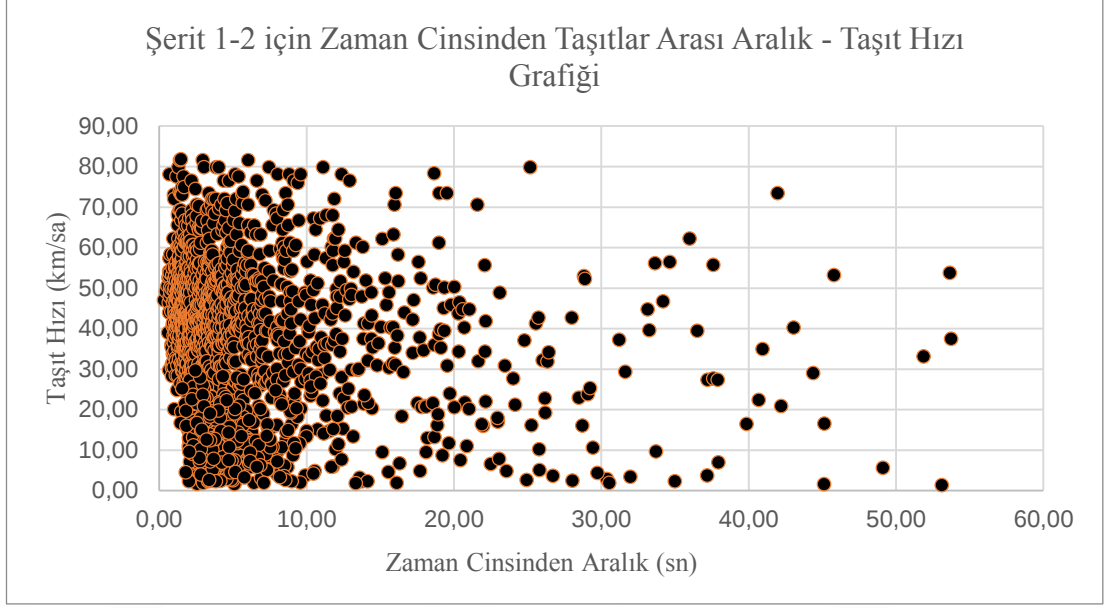
3.6. Taşıt hızı regresyon modeli

Büyük ölçekli bir trafik verisi olan şeritler için dakikalık akım hızı bulunurken yine büyük ölçekli bir veri olan dakikalık akım değeri bağımsız değişkeni kullanılmıştı. Küçük ölçekli bir veri olan taşıt hızları için ise bir regresyon modeli oluşturabilmek için yine küçük ölçekli değişkenler gerektiğinden zaman cinsinden taşıtlar arasındaki aralık bağımsız değişkeninin kullanılması düşünülmüştür.

Yapılan Tek Yön ANOVA, Tukey-Kramer ve Non-pooled t testleriyle Şerit 1 ve 2 için tek bir modelin oluşturulacağı, Şerit 3 için ise ayrı bir modelin oluşturulması gerektiği belirlenmiştir.

3.6.1. Şerit 1 ve 2 için taşıt hızı regresyon modeli

Şerit 1 ve 2 için hem serbest akım hem de tıkanık akım koşullarındaki zaman cinsinden taşıtlar arası aralık-taşıt hızı grafiği Şekil 3.11’de görülebilir. Zaman cinsinden aralık değerlerinin 0-10 sn arasında toplandığı ve taşıt hızı verilerinin aralık değerlerinden etkilenmeyerek dağılım gösterdiği söylenebilir.



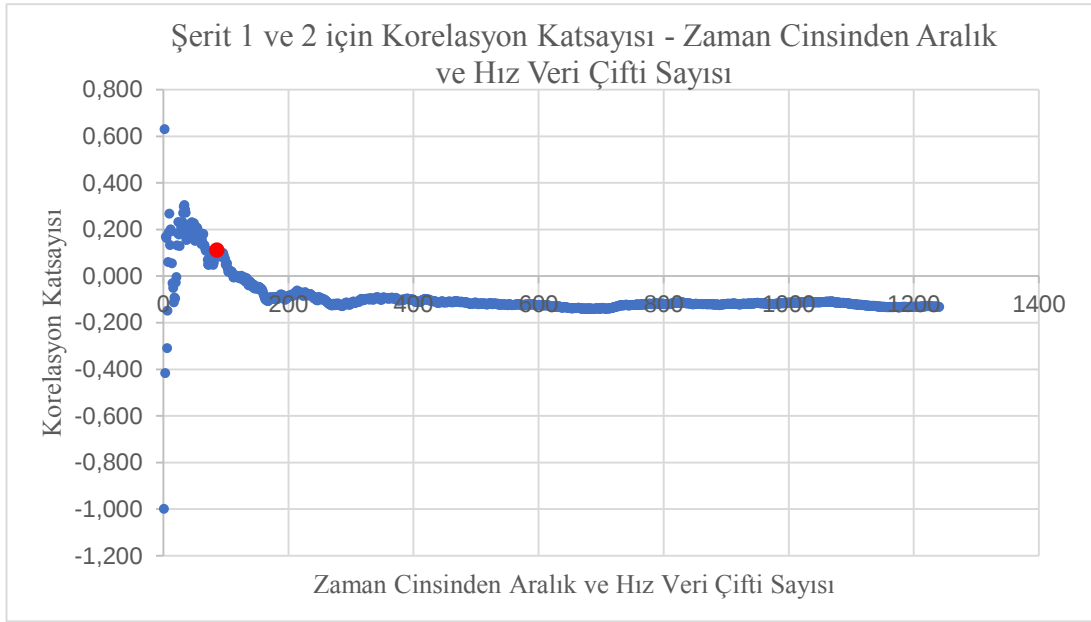
Şekil 3.11: Şerit 1 ve 2 için taşıt aralığı-taşıt hızı grafiği

Zaman cinsinden aralık verilerinin hangilerinin serbest ve tıkanık akım koşullarında elde edildiği saha ölçümlerinden bilinmektedir. Ayrıca dakikalık akım hızı modeli kısmında da akım ve hız veri çiftlerinin bulunduğu akım koşulları belirlendiğinden zaman cinsinden aralık-taşıt hızı verilerinde de tıkanık akım koşullarında ölçülen zaman cinsinden aralık değerleri ayrılarak ayrı bir model oluşturulabilir. Serbest akım koşullarında ölçülen zaman cinsinden aralık verileri için ise aynı dakikalık akım hızı verilerine uygulandığı gibi korelasyon tekniği uygulanacaktır.

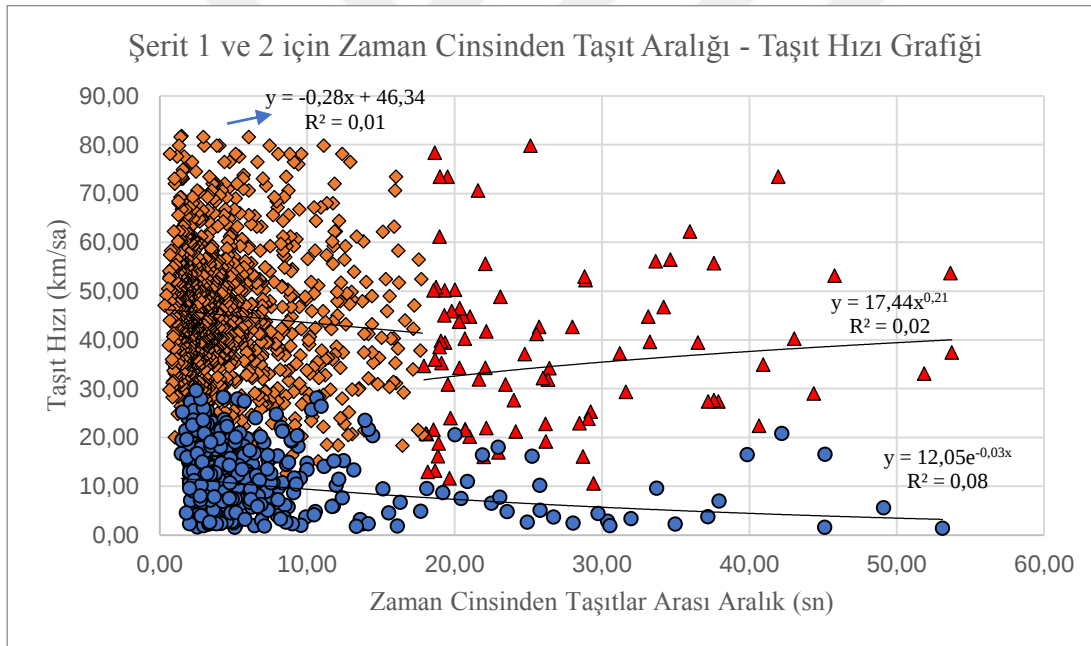
Şekil 3.12(a)'da, Şerit 1 ve 2 için korelasyon katsayısı-zaman cinsinden aralık ve hız veri çifti sayısı grafiği incelenebilir. Korelasyon eğrisindeki kırmızı ile gösterilen 86. nokta eğrinin eğiliminin değiştiği ve korelasyon katsayısının en yüksek olduğu değerdir. Böylece, 1. Serbest akım bölgesindeki zaman cinsinden aralık ve hız veri çifti için bir model, 2. Serbest akım bölgesi için ise ayrı bir model oluşturulması düşünülmüştür.

Şekil 3.12(b)'deki, Şerit 1 ve 2 için zaman cinsinden taşıt aralığı-taşıt hızı grafiği bu doğrultuda çizilmiştir.

Sadece taşıt aralığı ve taşıt hızı arasında oluşturulan regresyon denklemlerinin belirlilik katsayıları 1. Serbest akım bölgesi için 0,01, 2. Serbest akım bölgesi için 0,02 ve tıkanık akım için 0,08 olarak görülebilir. Bu değerler taşıt hızındaki değişkenliğin çok küçük bir kısmının zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ile açıklanabildiğini göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.12: Şerit 1&2 için korelasyon eğrisi (a), taşıt aralığı-hız grafiği (b)

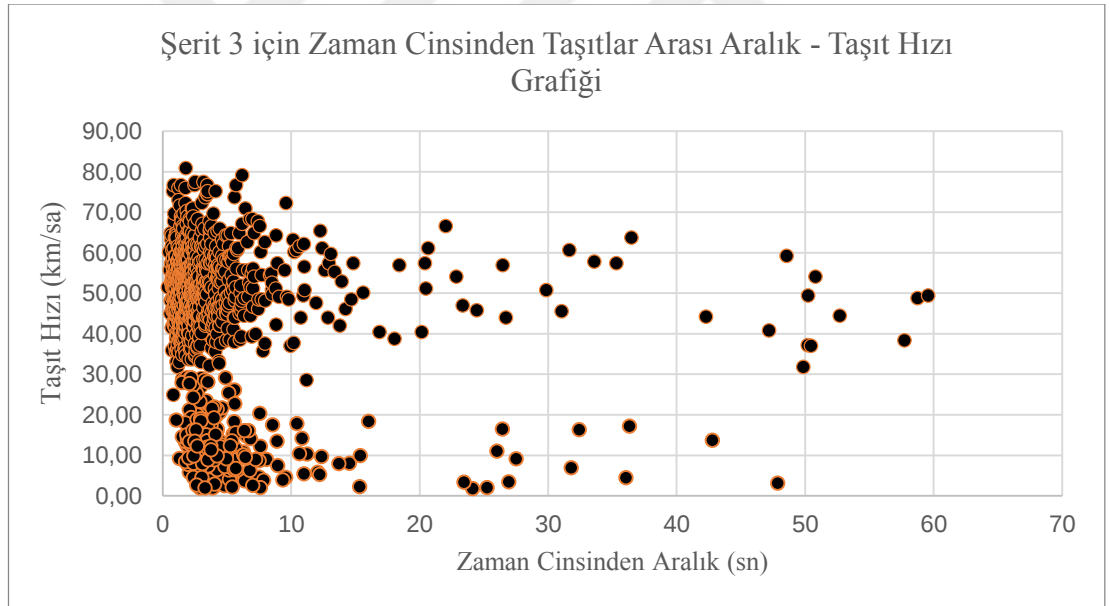
Çizelge 3.23'te, Şerit 1 ve 2 için taşıt aralığı ve taşıt hızı arasındaki korelasyon matrisi incelenebilir. Korelasyon matrisinden de anlaşılabileceği üzere, taşıt hızının taşıt aralığı değişkeninden sınırlı şekilde etkilendiği söylenebilir. Bu sebeplerden ötürü, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ile taşıt hızı arasında bir model oluşturulmayacaktır.

Çizelge 3.23: Şerit 1 ve 2 taşıt aralığı ve taşıt hızı arasındaki korelasyon çözümlemesi

1. Serbest Akım Bölgesi		Taşıt Aralığı	Taşıt Hızı
	Taşıt Aralığı	1,00	
	Taşıt Hızı	0,10	1,00
2. Serbest Akım Bölgesi		Taşıt Aralığı	Taşıt Hızı
	Taşıt Aralığı	1,00	
	Taşıt Hızı	-0,07	1,00
Tıkanık akım Bölgesi		Taşıt Aralığı	Taşıt Hızı
	Taşıt Aralığı	1,00	
	Taşıt Hızı	-0,21	1,00

3.6.2. Şerit 3 için taşıt hızı regresyon modeli

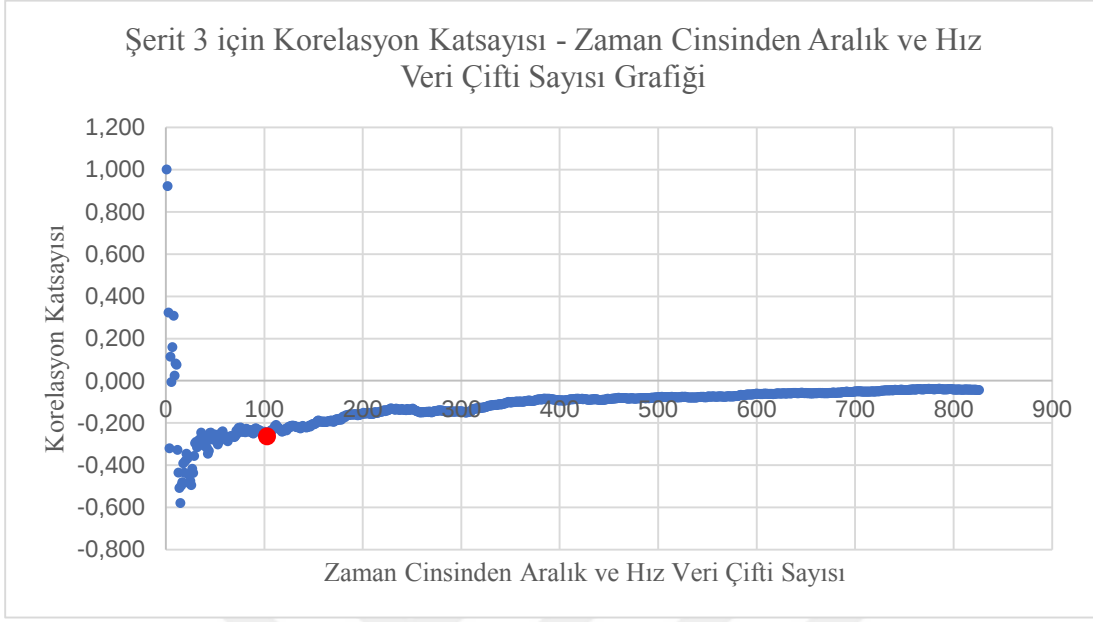
Şerit 3 için hem serbest akım hem de tıkanık akım koşullarındaki zaman cinsinden taşıtlar arası aralık-taşıt hızı grafiği Şekil 3.13'te görülebilir. Zaman cinsinden aralık değerlerinin yine 0-10 sn arasında toplandığı ve taşıt hızı verilerinin taşıt aralığı değerlerinden etkilenmeyerek dağılım gösterdiği söylenebilir.



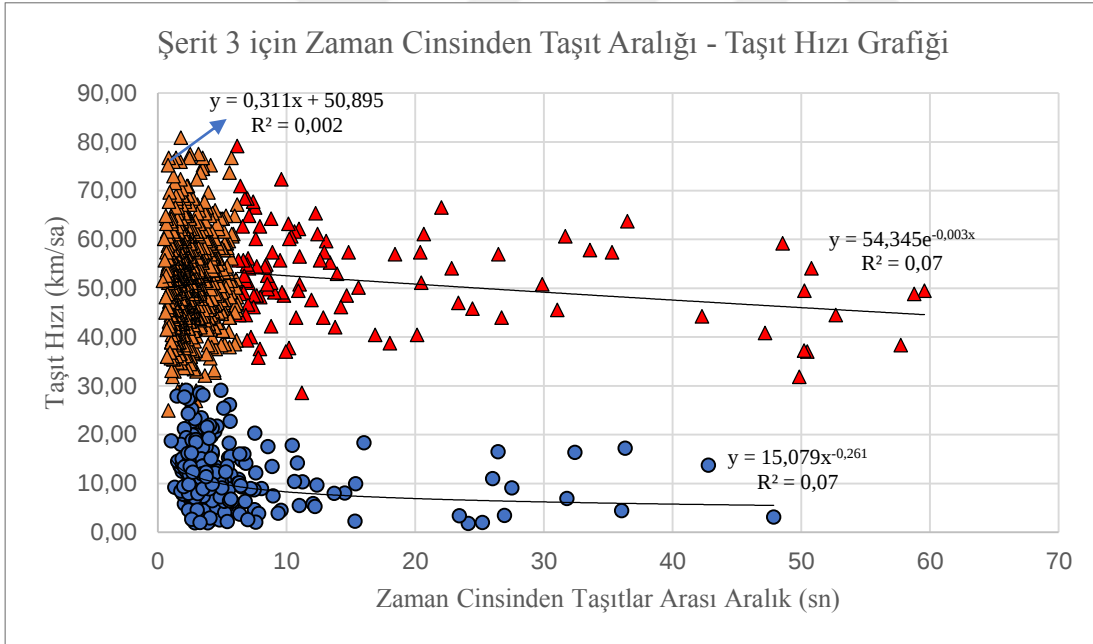
Şekil 3.13: Şerit 3 için taşıt aralığı-taşıt hızı grafiği

Şekil 3.14(a)'da, Şerit 3 için korelasyon katsayısı-zaman cinsinden aralık ve hız veri çifti sayısı grafiği incelenebilir. Korelasyon eğrisindeki kırmızı ile gösterilen 103. nokta eğrinin eğiliminin değiştiği ve korelasyon katsayısının en yüksek olduğu değerdir. Böylece, 1. Serbest akım bölgesi için bir model, 2. Serbest akım bölgesi için ise ayrı bir model oluşturulması düşünülmüştür.

Şekil 3.14'deki, Şerit 3 için zaman cinsinden taşıt aralığı-taşıt hızı grafiği bu doğrultuda çizilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.14: Şerit 3 için korelasyon eğrisi (a), taşıt aralığı-hız grafiği (b)

Sadece taşıt aralığı ve hız arasında oluşturulan regresyon denklemlerinin belirlilik katsayıları 1. Serbest akım bölgesi için 0,002, 2. Serbest akım bölgesi için 0,07 ve tıkanık akım için 0,07 olarak görülebilir. Bu değerler taşıt hızındaki değişkenliğin çok küçük bir kısmının zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 3.24'te, Şerit 3 için taşıt aralığı ve taşıt hızı arasındaki korelasyon matrisi incelenebilir.

Çizelge 3.24: Şerit 3 taşıt aralığı ve taşıt hızı arasındaki korelasyon çözümlemesi

1. Serbest Akım Bölgesi		Taşıt Aralığı	Taşıt Hızı
	Taşıt Aralığı	1,00	
2. Serbest Akım Bölgesi	Taşıt Hızı	-0,26	1,00
		Taşıt Aralığı	Taşıt Hızı
Tıkanık akım Bölgesi	Taşıt Aralığı	1,00	
	Taşıt Hızı	-0,04	1,00
Tıkanık akım Bölgesi		Taşıt Aralığı	Taşıt Hızı
	Taşıt Aralığı	1,00	
Tıkanık akım Bölgesi	Taşıt Hızı	-0,19	1,00

Korelasyon matrisinden de anlaşılabileceği üzere, taşıt hızının taşıt aralığı değişkeninden sınırlı şekilde etkilendiği söylenebilir. Bu sebeplerden ötürü, Şerit 3 için de zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ile taşıt hızı arasında bir model oluşturulmayacaktır.



4. SONUÇLAR

İstanbul Barbaros Bulvarı Zincirlikuyu yönü üzerinde taşıt ve dakikalık akım hızını regresyon modelleriyle hesaplamak için 90 dakika boyunca taşıt sayımı, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ölçümü ve hız ölçümü yapılmıştır. Modellemelerde akım değeri ve zaman cinsinden taşıtlar arası aralık bağımsız değişkenlerinin yanında akımdaki minibüs oranı, akımdaki ağır taşıt oranı ve yolda karşıdan karşıya geçen dakikalık yaya sayısı bağımsız değişkenleri de akım hızını etkileyen etmenler olarak varsayılmıştır.

Taşıt hızı verileri otomatik olmayan hız ölçüm yöntemlerinden biri olan kronometre ile ölçülmüştür. Bu tip ölçüm yöntemlerinde kronometreye basan kişi tarafından hata veya gecikme yapılabilmektedir. Fakat büyük ölçekte bakıldığında var olan hata payının çok büyük farklar yaratmayacağı düşünülmektedir.

Üç şerit için yapılan sayım ve ölçümlerde toplam 2786 taşıtın hızı hesaplanmıştır. Şerit 1 için ortalama hız 34,87 km/sa olurken, Şerit 2 için bu değer 36,86 km/sa ve Şerit 3 için bu değer 42,37 km/sa olarak bulunmuştur. Şerit 3'teki taşıtlar diğer şeritlere göre daha hızlıdır. Bunun sebebinin otobüs, kamyon gibi ağır taşıtların 1. veya 2. şeritten yolculuklarına devam etme eğilimidir.

Akım verilerine bakıldığında Şerit 1 akım değeri ortalama 414,67 ta/sa olarak bulunurken, Şerit 2 akım değeri 721,33 ta/sa ve Şerit 3 akım değeri 721,33 ta/sa olarak bulunmuştur.

Şerit 1 için zaman cinsinden taşıtlar arası aralık değeri ortalama 8,54 sn olarak bulunurken, Şerit 2 için bu değer 5,00 sn ve Şerit 3 için ise 4,63 sn olarak ölçülmüştür.

Akım ve taşıt hızı verilerinin istatistiksel çözümlemesi de model oluşturma çalışmalarında önem arz etmiştir. Tüm şeritlerdeki akım ve taşıt hızlarının ayrı modellerle mi yoksa tek bir modelle mi temsil edileceğini belirlemek için Tek yön ANOVA testi, Tukey-Kramer testi ve Non-pooled t testi yapılmıştır.

Akım ve taşıt hızı verilerine uygulanan Tek yön ANOVA testi sonucunda üç veri grubu için tek bir regresyon modeli oluşturulamayacağı belirlenmiş, veri gruplarının ikiye ayrılarak çözümlemesi için uygulanan Tukey-Kramer testi ile ise Şerit 1 ve Şerit 2 hız değerlerinin toplum ortalamalarının aynı olduğu sonucuna varılmıştır.

Son olarak, iki veri grubunun aynı toplumdan gelip gelmediğini araştırmak için Non-pooled t testi uygulanmıştır. Şerit 1 ve 2 için yapılan değerlendirmeye göre bu şeritlerin

aynı toplumdan geldiği görülmüştür. Bundan dolayı, taşıt ve dakikalık akım hızı regresyon modelleri oluşturulurken Şerit 1 ve Şerit 2 verileri beraber değerlendirilmiştir. Şerit 3 için farklı bir modeller oluşturulmuştur.

Büyük ölçekli bir trafik akım değişkeni olan dakikalık akım hızı için model geliştirilirken, serbest ve tıkanık akım bölgeleri için farklı modeller oluşturulmuştur. Serbest akım bölgesinde, verilere uyum düzeyi en yüksek modeli bulabilmek için korelasyon tekniği kullanılmıştır. Korelasyon çözümlemesi sonucu 1. Serbest akım bölgesi ve 2. Serbest akım bölgesinde ayrı modeller oluşturulmuştur.

Şerit 1 ve 2 serbest akım bölgesinde yapılan korelasyon çözümlemesi sonucu en yüksek korelasyon değeri 93. akım ve hız veri çiftinde görülmüştür. 1. Serbest akım bölgesi için geliştirilen modelin belirlilik katsayısı 0,41 çıkarken, 2. Serbest akım bölgesi için bu değer 0,35 ve tıkanık akım bölgesi için 0,68 olarak bulunmuştur.

Şerit 3 için yapılan modellemelerde de aynı yol izlenmiştir. Serbest akım bölgesi için yapılan korelasyon çözümlemesi sonucu en yüksek korelasyon değeri 20. akım ve hız veri çiftinde görülmüştür. 1. Serbest akım bölgesi için geliştirilen modelin belirlilik katsayısı 0,52 olarak bulunurken, 2. Serbest akım bölgesi için bu değer 0,10 ve tıkanık bölgesi için ise 0,84 olarak bulunmuştur.

Küçük ölçekli bir trafik akım değişkeni olan taşıt hızı için modeller oluşturmak amacıyla yine serbest akım bölgesinde korelasyon çözümlemesi yapılmıştır. Şerit 1 ve 2 ile Şerit 3 serbest akım bölgesinde ve tıkanık akım bölgesinde ayrı ayrı zaman cinsinden aralık ve hız veri çiftleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucu taşıt hızının, taşıt aralığı değişkenindeki değişimlerden etkilenmediği belirlenmiştir. Taşıt hızı ile zaman cinsinden taşıtlar arası aralık arasında anlamlı bir ilişki görülmediğinden model oluşturulmamıştır.

Dakikalık ortalama akım hızı için geliştirilen modellerde tıkanık akım bölgesi modellerinin belirlilik katsayılarının serbest akım bölgesi modellerine göre çok daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak, tıkanık akım bölgesinde taşıt etkileşimlerinin daha fazla olarak gösterilebilir.

Bu tez çalışmasının zayıflıkları arasında, dakikalık ortalama akım hızları için oluşturulan modellerin belirlilik katsayılarının yeterince büyük olmaması gösterilebilir. Bununla birlikte, taşıt hızı ve taşıt aralığı ölçüm yöntemi de çalışmanın bir diğer zayıflığıdır.

Bu tez hem büyük ölçekli modeller hem de küçük ölçekli modeller oluşturulması amacıyla hazırlanmıştır. Farklı ölçüm teknikleri kullanılarak, hız verisi toplanan zaman aralığı arttırılarak veya modele farklı değişkenler ekleyebilmek amacıyla farklı mekanlarda hız, akım ve zaman cinsinden taşıt aralığı verileri gözlemlenerek daha yüksek model R^2 değerlerine ulaşılabilir.

Bu çalışmada sürücü davranışlarının sonuçlarını açıklayabilecek herhangi bir araştırma yapılmamıştır. Fakat sürücü davranışlarının trafik akımı üzerindeki etkileri önem arz eden bir konudur. Çeşitli anket çalışmalarıyla elde edilecek sürücü davranışları verileri, daha isabetli akım hızı öngörülerini için destekleyici olacaktır.





KAYNAKLAR

- [1] **TRB** (2000), *Highway Capacity Manual*, (4th Ed.), Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council
- [2] **KGM** (2005), *Karayolu Tasarımı El Kitabı*
- [3] **Cassidy, M.J.** (1995), *Highway Traffic Operations*, The Civil Engineering Handbook
- [4] **May, A.D.** (1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, ISBN 0-13 926072-2
- [5] **Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. ve Gedizlioğlu, E.** (2004), *Uzun otoyol kuyruklarının incelenmesi ve iyileştirme stratejilerinin araştırılması*, Tubitak Proje Raporu No. 101/061
- [6] **Kutlu, K.** (1993), *Trafik Tekniği*, İTÜ Matbaası
- [7] **Wattleworth, J.A.** (1976), *Traffic Flow Theory*, Transportation and Traffic Engineering Handbook, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, s.258-308
- [8] **Lu, Z., Meng, Q.** (2013), *Analysis of Traffic Speed-Density Regression Models - A Case Study of Two Roadway Traffic Flows in China*, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies vol.9
- [9] **Elangovan, E., Gladson, D.J., Gunasekaran, K., Kalaanidhi, S., Karthiga K.** (2015), *Study on Traffic Flow Characteristics using Probe Vehicles*, Division of Transportation Engineering, Anna University, Chennai
- [10] **Horvat, R., Kos, G., Sevrovic M.** (2015), *Traffic Flow Modelling On The Road Network In The Cities*, Modelling of traffic flow in city traffic network
- [11] **Lord, D., Manar, A., Vizioli, A.** (2004), *Modelling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments*, Accident Analysis and Prevention, Elsevier
- [12] **Bonneson, J., Nevers B., Zegeer J., Nguyen T., Fong T.** (2005), *Guidelines for Quantifying the Influence of Area Type and Other Factors on Saturation Flow Rate*, Texas Transportation Institute, College Station

- [13] **COMSIS and ITE** (1993), *Implementing Effective Travel Demand Management Measures: Inventory of Measures and Synthesis of Experience*, Report No. DOT-94-02, Washington D.C.
- [14] **Manzo, S.** (2013), *Investigating uncertainty in BPR formula parameters: a case study*, DTU Transport, Technical University of Denmark
- [15] **Yüksel, H., Yardım, M.S., Gürsoy, M.** (2010), *Eminönü İçin Bir Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli*, İMO Teknik Dergi No.4995-5022, Yazı 327
- [16] **Singh, R.** (1999), *Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models*, The 7th TRB Conference on Application of Transportation Planning Methods, Boston, Massachusetts
- [17] **Tercan, H.Ş., Gedizlioğlu E.** (2003), *Kent içi trafik akım hızının modellenmesi*, İTÜ Dergisi, Cilt:2-Sayı:4
- [18] **Öğüt, K.S.** (2004), *An alternative regression model of speed-occupancy relation at the congested flow level*, The Bulletin of the Istanbul Technical University, Vol.54, Number:2
- [19] **Gün, F.** (2007), *Development of Link-Capacity Functions for İstanbul Freeways*, Master of Science Thesis, Boğaziçi University
- [20] **Madhu, E., Velmurugan, S.** (2011), *Development of free-speed equations for assessment of road-user cost on high-speed multi-lane carriageways of India on Plain Terrain*, Published by: Current Science Association
- [21] **De Luca, M., Lamberti, R., Dell'Acqua, G.** (2012), *Freeway Free Flow Speed: a case study in Italy*, 15th meeting of the EURO Working Group on Transportation
- [22] **Rao, A.M., Rao, K.R.** (2014), *Free Speed Modeling for Urban Arterials - A Case Study on Delhi*, Periodica Polytechnica Transportation Engineering Research Article
- [23] **Utku, S.B.** (2008), *Sinyalize Kavşaklarda Yaya Hareketliliğinin ve Güvenliğinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi
- [24] **Southern California Association of Governments** (2005), *Final Report for: Arterial Speed Study*, Dowling Associates Inc., Oakland, CA 94612
- [25] **Öğüt, K.S.** (2017), *Ulaştırma Mühendisliğinde Matematiksel ve İstatistiksel Metotlar Dersi, Ders Notları*

[26] **Levinson, D., Chen, W.** (2006), *Traffic Management System Performance Using Regression Analysis*, California Path Program, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkley

[27] **Kul, S.** (2014), *İstatistik Sonuçlarının Yorumu: P değeri ve Güven Aralığı Nedir?*, Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik Anabilim Dalı, DOI:10.5152/pb.2014.003

[28] **Tanış, M.** (2013), *Kent İçi Otoyolların Kavşaksız Kesimlerinde Serbest Akım Hızı ve Kapasiteyi Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi





EKLER

EK A: İstatistiksel testler için tablolar

EK B: Tüm şeritler için ağır taşıt oranı, minibüs oranı ve yaya sayısı ile akım hızı grafikleri



EK A**Çizelge A.1:** F dağılımı tablosu

Sd	1	2	3	4	5	6	12	60	∞
1	161,00	200,00	216,00	225,00	230,00	234,00	244,00	252,00	254,00
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,74	8,57	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	5,91	5,69	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,68	4,43	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,00	3,74	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,57	3,30	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,28	3,00	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,07	2,79	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	2,91	2,62	2,54
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,28	1,95	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,09	1,74	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,00	1,64	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	1,92	1,53	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	1,83	1,43	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	1,75	1,32	1,00

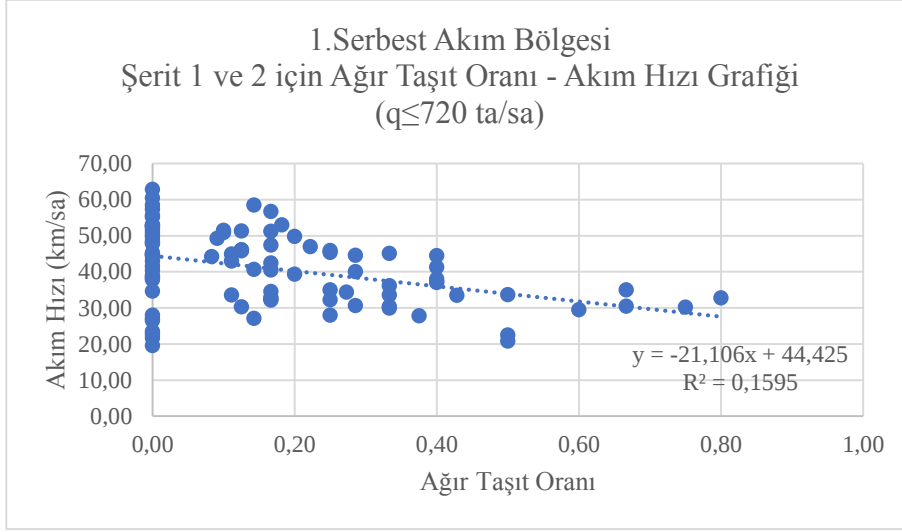
Çizelge A.2: Tukey-Kramer metodu için q grafiği ($\alpha = 0,05$)

v	κ								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18,00	27,00	32,80	37,10	40,40	43,10	45,40	47,40	49,10
2	6,08	8,33	9,80	10,90	11,70	12,40	13,00	13,50	14,00
3	4,50	5,91	6,82	7,50	8,04	8,48	8,85	9,18	9,46
4	3,93	5,04	5,76	6,29	6,71	7,05	7,35	7,60	7,83
5	3,64	4,60	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,80	6,99
6	3,46	4,34	4,90	5,30	5,63	5,90	6,12	6,32	6,49
7	3,34	4,16	4,68	5,06	5,36	5,61	5,82	6,00	6,16
8	3,26	4,06	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92
9	3,20	3,95	4,41	4,60	5,02	5,24	5,43	5,59	5,74
10	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,30	5,46	5,60
20	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,90	5,01
30	2,89	3,49	3,85	4,10	4,30	4,46	4,60	4,72	4,82
40	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,63	4,73
60	2,83	3,40	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65
120	2,80	3,36	3,68	3,92	4,10	4,24	4,36	4,47	4,56
∞	2,77	3,31	3,63	3,86	4,03	4,17	4,29	4,39	4,47

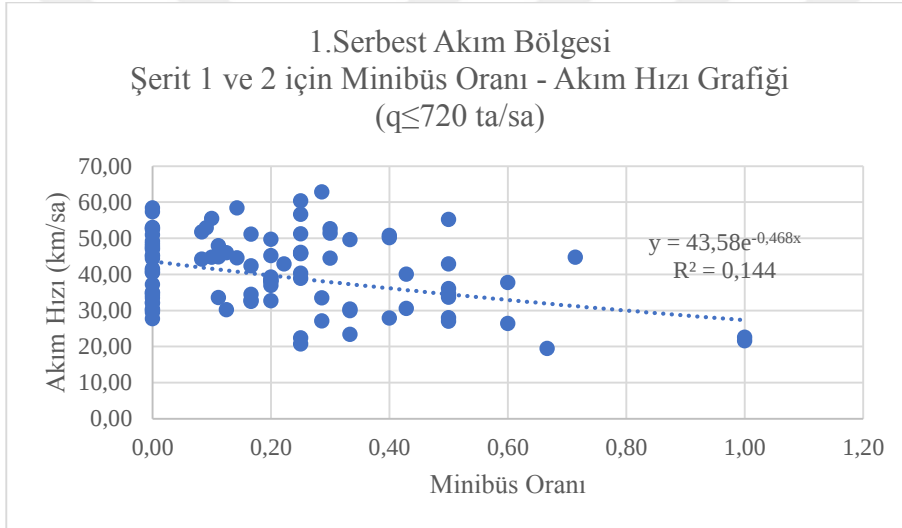
Çizelge A.3: t dağılımı tablosu

İKİ YÖNLÜ (İKİ YANLI) TEST İÇİN α						
Δ	0,10	0,05	0,04	0,02	0,01	0,005
1	6,314	12,710	15,890	31,820	63,660	127,300
2	2,920	4,303	4,849	6,965	9,925	14,090
3	2,353	3,182	3,482	4,541	5,841	7,453
4	2,132	2,776	2,999	3,747	4,604	5,598
5	2,015	2,571	2,757	3,365	4,032	4,773
6	1,943	2,447	2,612	3,143	3,707	4,317
7	1,895	2,365	2,517	2,998	3,499	4,029
8	1,860	2,306	2,449	2,896	3,355	3,833
9	1,833	2,262	2,395	2,821	3,250	3,690
10	1,812	2,228	2,359	2,764	3,169	3,581
20	1,725	2,086	2,197	2,528	2,845	3,153
30	1,697	2,042	2,147	2,457	2,750	3,030
40	1,684	2,021	2,123	2,423	2,704	2,971
50	1,676	2,009	2,109	2,403	2,678	2,937
100	1,660	1,984	2,081	2,364	2,626	2,871
1000	1,646	1,962	2,056	2,330	2,581	2,813
∞	1,640	1,960	2,054	2,326	2,576	2,807

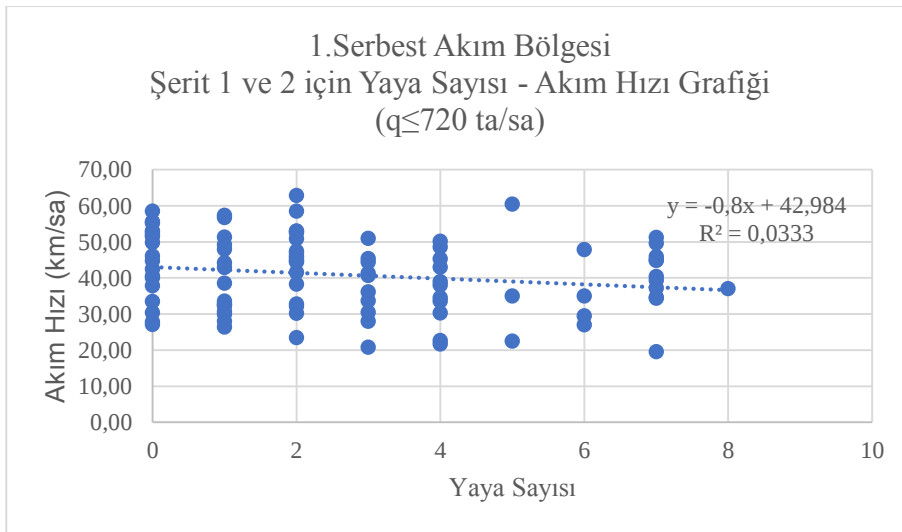
EK B



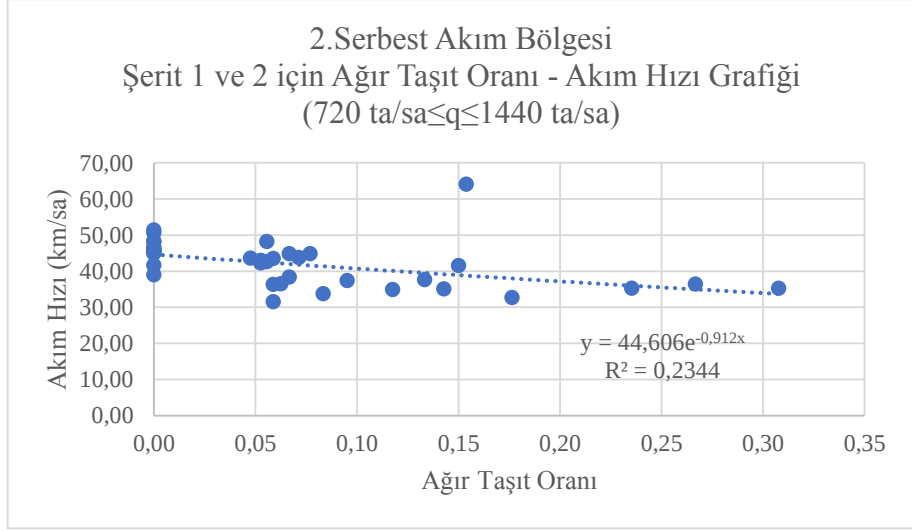
Şekil B.1: Şerit 1&2 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 720$ ta/sa)



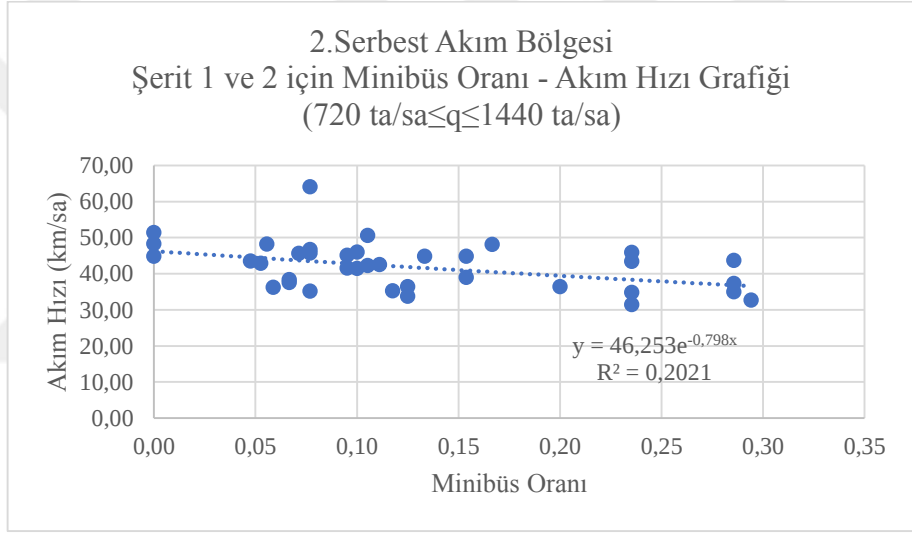
Şekil B.2: Şerit 1&2 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 720$ ta/sa)



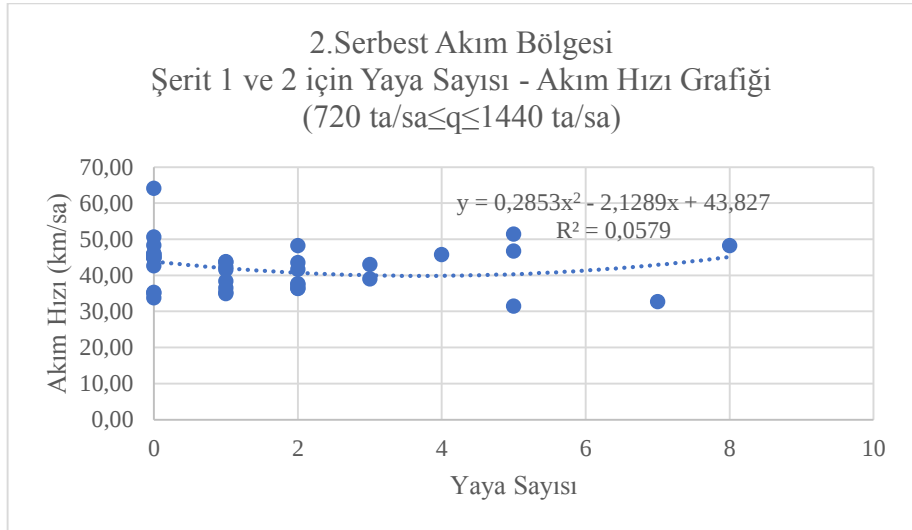
Şekil B.3: Şerit 1&2 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 720$ ta/sa)



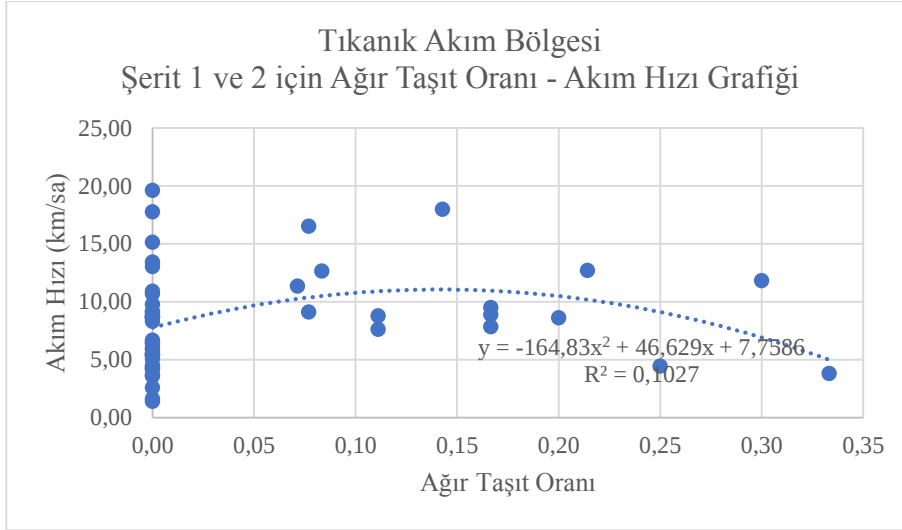
Şekil B.4: Şerit 1&2 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği (720 ta/sa ≤ q ≤ 1440 ta/sa)



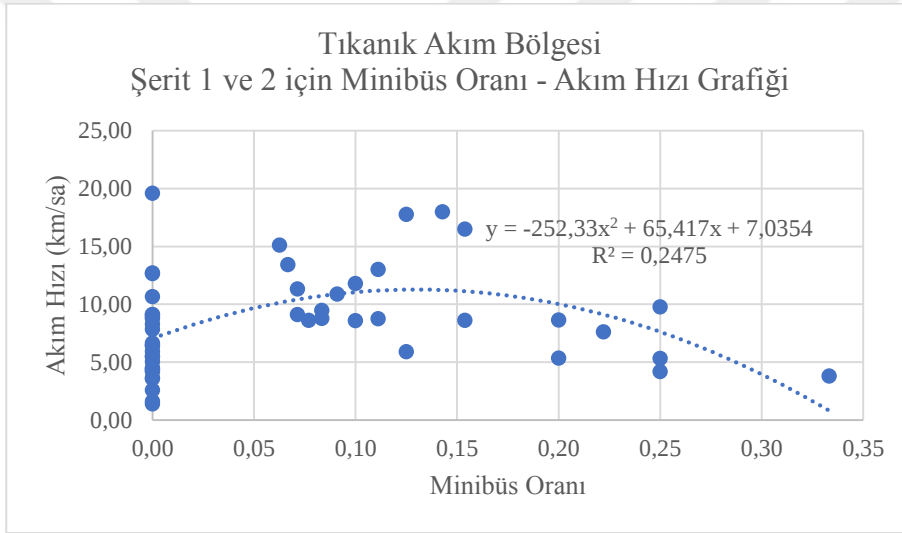
Şekil B.5: Şerit 1&2 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği (720 ta/sa ≤ q ≤ 1440 ta/sa)



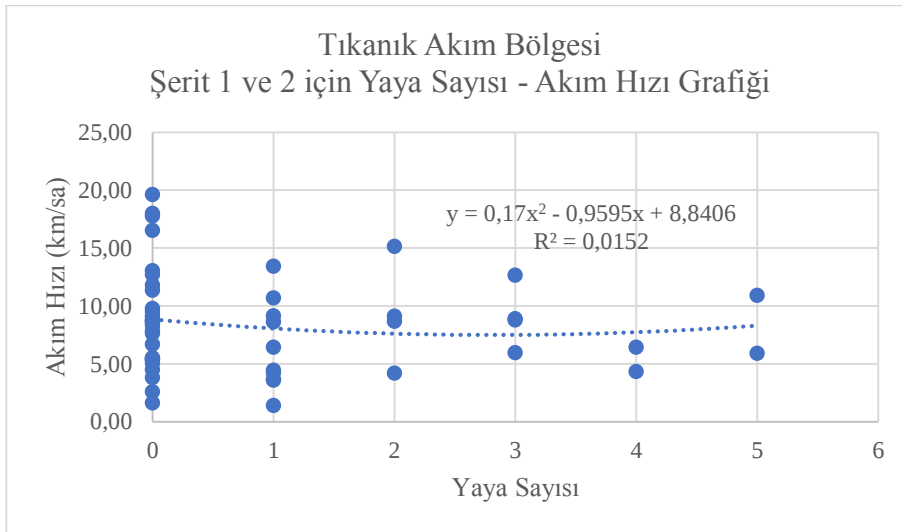
Şekil B.6: Şerit 1&2 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği (720 ta/sa ≤ q ≤ 1440 ta/sa)



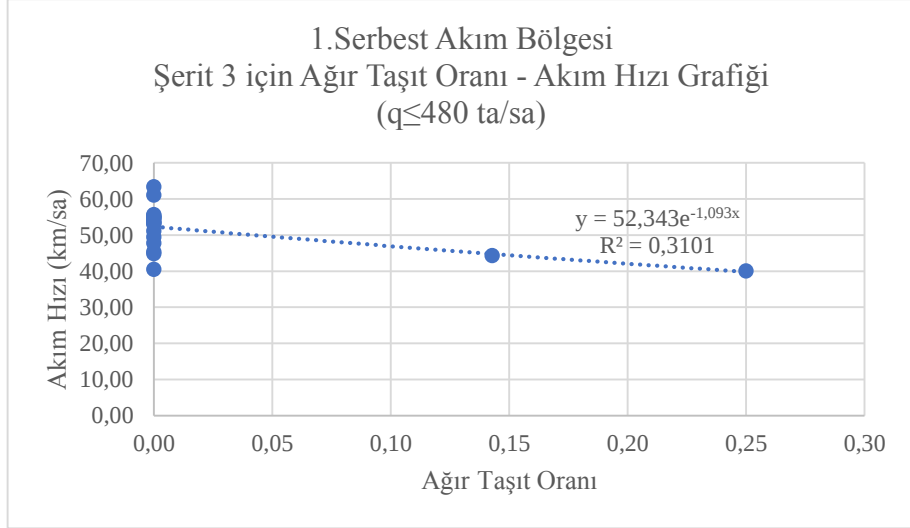
Şekil B.7: Şerit 1&2 Tıkanık Akım Bölgesi Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği



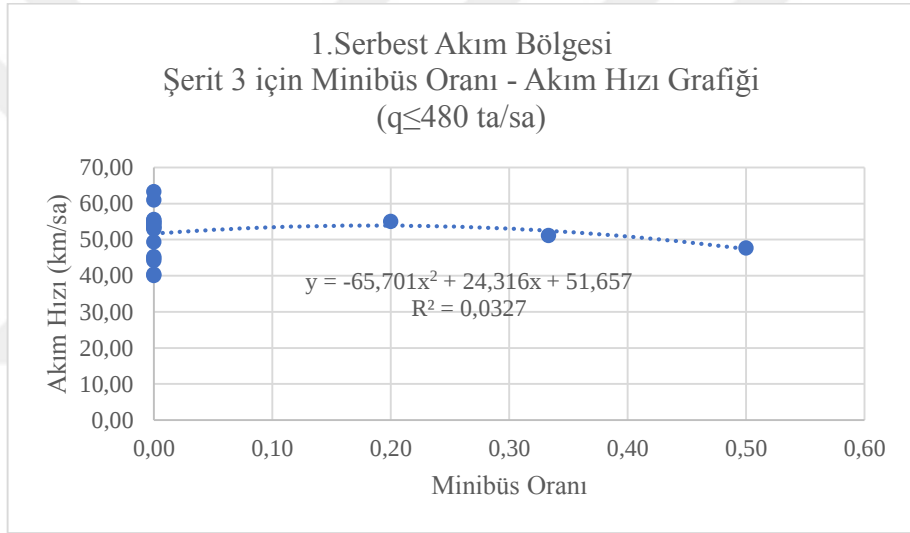
Şekil B.8: Şerit 1&2 Tıkanık Akım Bölgesi Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği



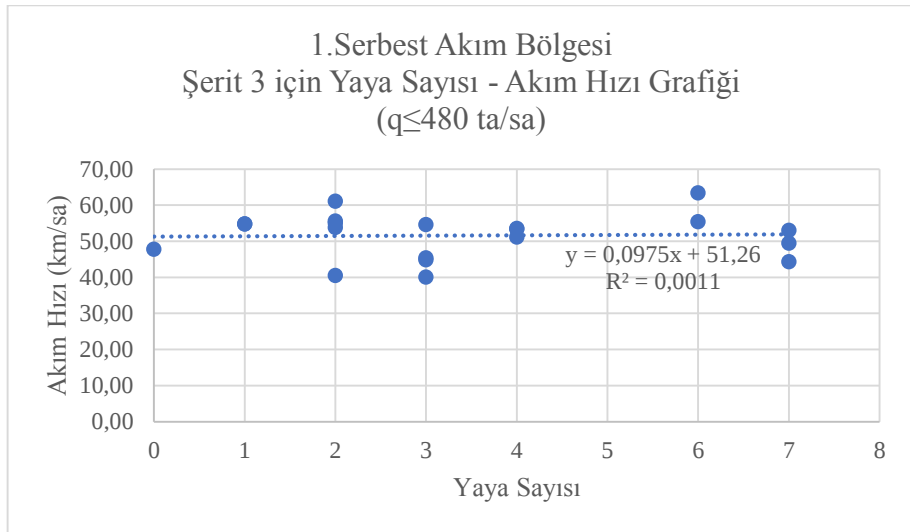
Şekil B.9: Şerit 1&2 Tıkanık Akım Bölgesi Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği



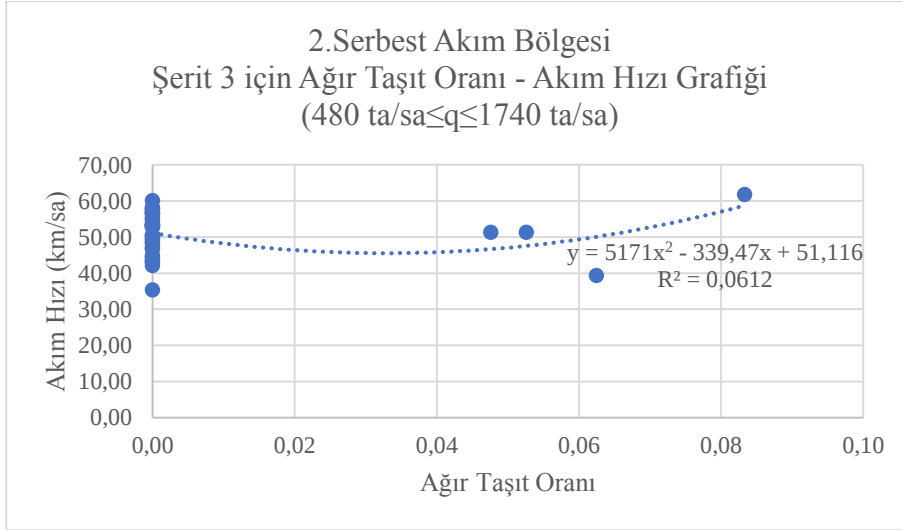
Şekil B.10: Şerit 3 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 480$ ta/sa)



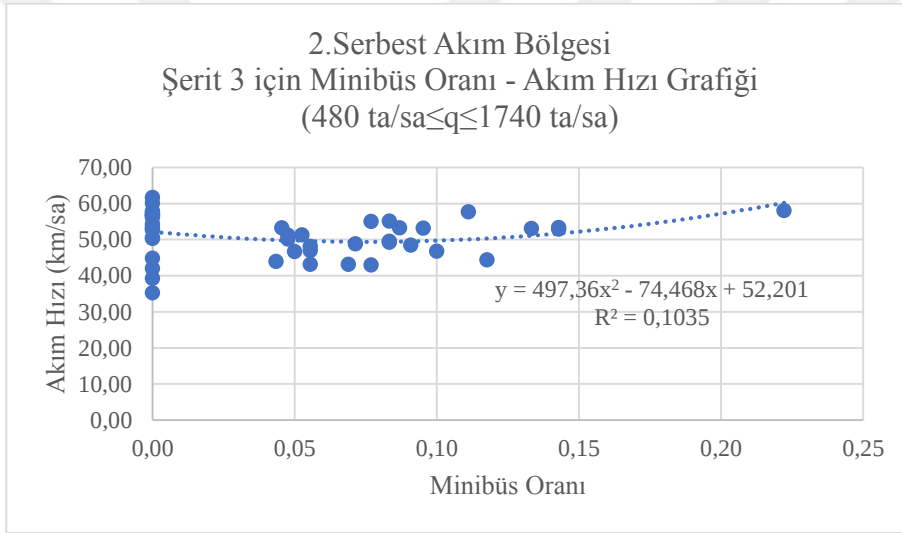
Şekil B.11: Şerit 3 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 480$ ta/sa)



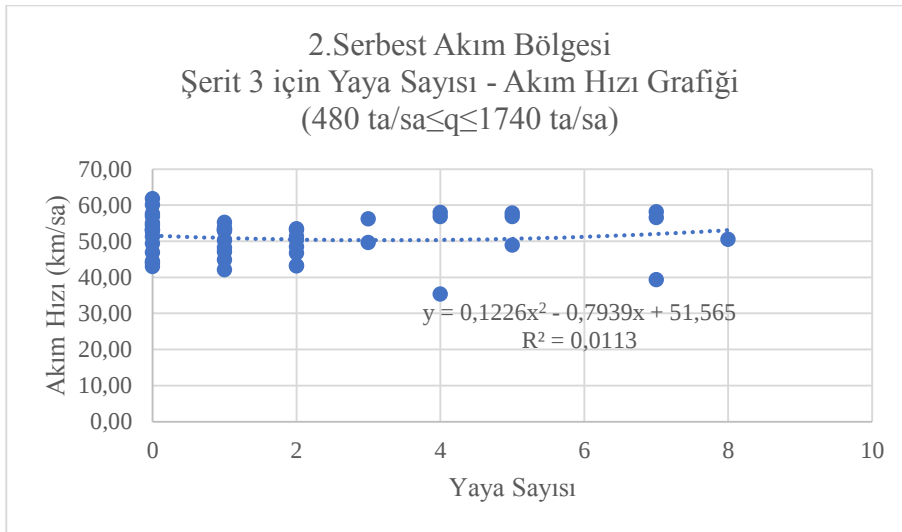
Şekil B.12: Şerit 3 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği ($q \leq 480$ ta/sa)



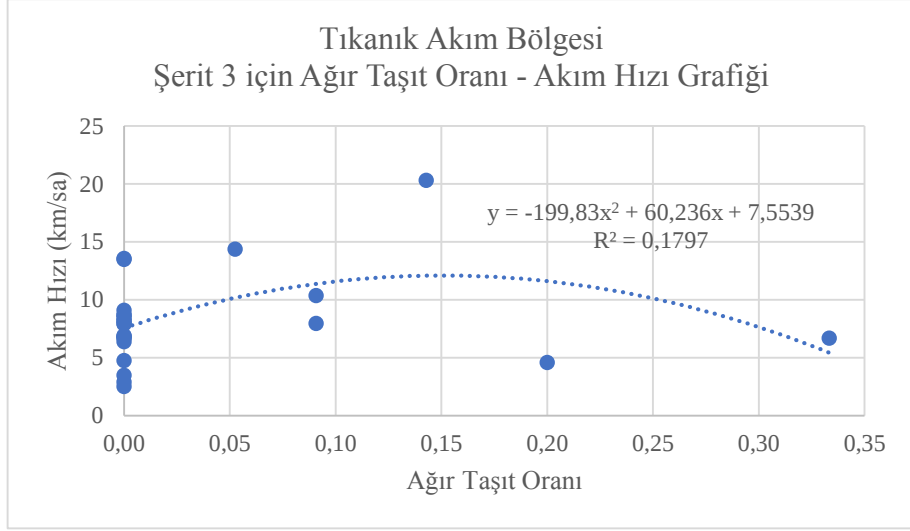
Şekil B.13: Şerit 3 Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği (480 ta/sa ≤ q ≤ 1740 ta/sa)



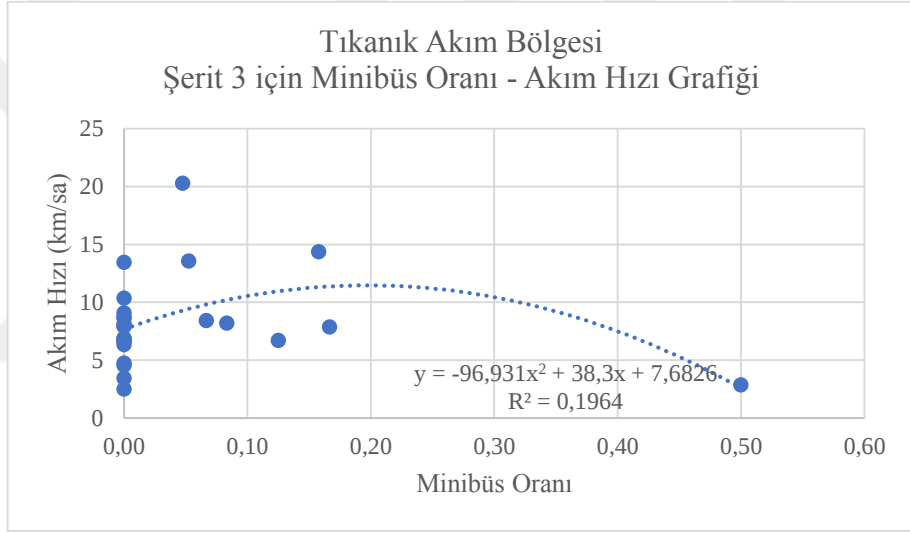
Şekil B.14: Şerit 3 Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği (480 ta/sa ≤ q ≤ 1740 ta/sa)



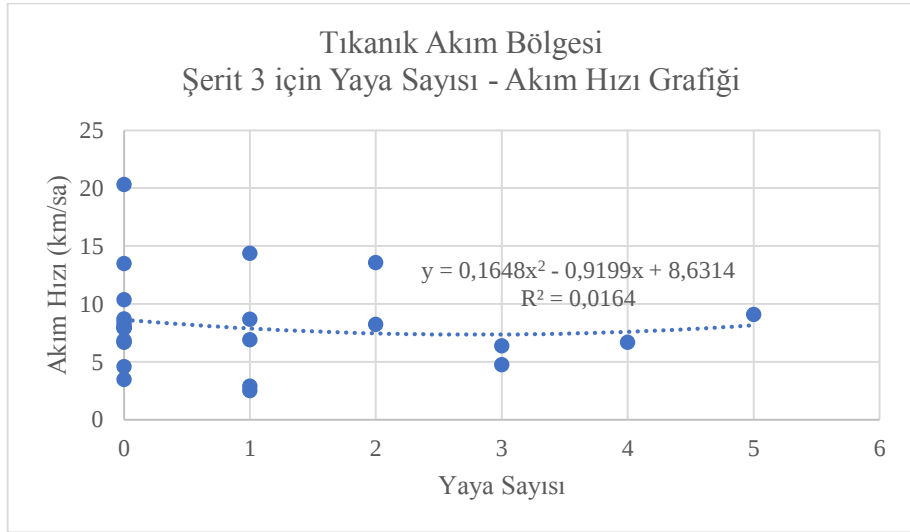
Şekil B.15: Şerit 3 Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği (480 ta/sa ≤ q ≤ 1740 ta/sa)



Şekil B.16: Şerit 3 Tıkanık Akım Bölgesi Ağır Taşıt Oranı-Akım Hızı Grafiği



Şekil B.17: Şerit 3 Tıkanık Akım Bölgesi Minibüs Oranı-Akım Hızı Grafiği



Şekil B.18: Şerit 3 Tıkanık Akım Bölgesi Yaya Sayısı-Akım Hızı Grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Ad – Soyad: Umutcan Gökçek
Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 1988
E-Posta: umutcangokcek@gmail.com
Lisans: ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2012

Mesleki Deneyimler:

2012-2013: Mesa İmalat, Proje Mühendisi

2013-2015: TAV İnşaat, Medine Prens Muhammed Bin Abdülaziz Uluslararası Havalimanı Projesi, Saha Mühendisi

2015-2018: TAV İnşaat, Emaar Square Yaşam Kompleksi, Saha Mühendisi