

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLLARINDA PERFORMANS ANALİZİ ve
YOLCULUK SÜRESİ TAHMİNİ**

İnşaat Müh. S.Pınar KARAHASAN

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ	1
2 PERFORMANS ANALİZİ	2
2.1 Ulaştırma Sistemlerinde Performans Ölçüt Boyutları	6
2.1.1 Performans Ölçütlerinde Hedefler	6
2.1.1.1 Sistem Fiziksel Durumunun Korunmasına İlişkin Ölçütler	7
2.1.1.2 Sistem İşletim Performasına İlişkin Ölçütler	7
2.1.1.3 Sistem Finansal Performasına İlişkin Ölçütler	7
2.1.1.4 Sistem Güvenilirliğine İlişkin Ölçütler	7
2.1.1.5 Ekosistemin Korunmasına İlişkin Ölçütler	8
2.1.1.6 Ekonomik Gelişmeye İlişkin Ölçütler	8
2.2 Sektörel Açıdan Performans Analizi	8
2.3 Ulaştırma Türü ve Performans Etkisi	9
2.4 Performans Analizinin Gerekliliği ve Amacı.....	11
3 KARAYOLLARINDA PERFORMANS ANALİZİ.....	13
3.1 Arazi Kullanımına Ait Performans Ölçütleri	17
3.1.1 Erişebilirlik.....	19
3.1.2 Yol Ağı Tasarımı	20
3.1.3 Otopark Alanlarının Kullanımı.....	21
3.2 Zamansal Performans Ölçütleri.....	22
3.2.1 Sıklık	23
3.2.2 Yolculuk Süresi	23
3.2.3 Hız	24
3.2.3.1 Hız Denetim Yöntemleri.....	26
3.2.4 Rotalama	27
3.2.5 Tıkanıklık	28
3.3 Ulaştırma Sisteminden Etkilenenlere Göre Performans Ölçütleri.....	30
3.3.1 İşletmeciler ve Sistemi Kullananlar Açısından Performans Ölçütleri.....	31
3.3.1.1 İşletmeler Açısından Taşıt Filolarının Önemi.....	32

3.3.1.2	Ücret Stratejileri Açısından Performans Ölçütleri.....	33
3.3.2	Sistemi Kullanmayanlar (Ekosistem) Açısından Performans Ölçütleri	35
3.4	Karayollarında Trafik Güvenliği Açısından Performans Ölçütleri	36
3.4.1	Yolun Geometrik Standartları	37
3.4.2	Yol Yapım Kalitesi ve Bakımı	38
3.4.3	Kavşakların Varlığı ve Önemi.....	39
3.4.4	Sinyalizasyon.....	39
3.4.5	Trafik Kazaları ve Değerlendirmesi	39
3.4.5.1	Trafik Kazalarında Hız Etkisi.....	40
3.4.5.2	Trafik Kazalarında İnsan Etkisi.....	42
4	TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL KAVRAMLAR.....	43
4.1	Trafik Akımı ile İlgili Değişkenler.....	43
4.1.1	Akım (q).....	43
4.1.2	Yoğunluk (k)	44
4.1.3	Hız (u).....	44
4.2	Akım, Yoğunluk ve Hız Değişkenleri Arasındaki İlişkiler.....	45
4.2.1	Hız - Yoğunluk İlişkisi	45
4.2.2	Hız - Akım İlişkisi	46
4.2.3	Akım - Yoğunluk İlişkisi	46
5	KARAYOLU DARBOĞAZLARI VE KUYRUKLANMA.....	47
5.1	Şok Dalgaları.....	47
5.2	Yığılımlı Taşıtların Sayıları.....	49
5.3	Kuyruk Kuramı.....	51
6	ŞOK DALGALARI VE YIĞIŞIMLI TAŞIT SAYISI EĞRİLERİ.....	53
	KULLANARAK YOLCULUK SÜRESİ TAHMİNİ	53
6.1	Tıkanıklık Durumunda Şok Dalgaları ve Kuyruklanma Diyagramı ile Trafik	53
	Analizi.....	53
6.1.1	Tıkanıklık Koşullarında Trafik Dinamik Analizi	54
6.1.2	Tıkanıklık Koşullarında Trafik Analitik Analizi.....	56
6.2	Belirli Karayolu Kesimine Ait Şok Dalgası ve Kuyruklanma Analizi.....	61
	Uygulaması	61
6.3	Radar Verileri ile Trafik Akım Değişkenlerinin İncelenmesi.....	62
6.4	Radar Verileri ile Tıkanıklık Sürelerinin Belirlenmesi	67
6.5	Şok Dalga Analizi.....	68
6.6	Kuyruk Kuramı.....	69
6.7	Şok Dalgaları ve Kuyruklanma Analizi ile Yolculuk Süresi	71
	ve Gecikme Tahmini.....	71
6.8	Performans Analizinde Yolculuk Süresinin Kullanımı	76
7	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
	KAYNAKLAR.....	81
	ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGE LİSTESİ

k	Yoğunluk (taş/km)
k_j	Tıkanıklık yoğunluğu (taş/km)
k_m	Kapasite yoğunluğu (taş/km)
k_{n1}	Maksimum kuyruk öncesi yoğunluk (taş/km)
k_{n2}	Maksimum kuyruk sonrası yoğunluk (taş/km)
k_q	Kapasiteye ulaşan akım yoğunluğu (taş/km)
n	Taşıt sayısı
N	Yığılımlı taşıt sayısı
q	Akım (taş/sa)
q_m	Kapasite (taş/sa)
q_{n1}	Maksimum kuyruk öncesi talep (taş/sa)
q_{n2}	Maksimum kuyruk sonrası talep (taş/sa)
q_q	Darboğaz kapasitesi (taş/sa)
t	Zaman (sa)
u	Hız (km/sa)
u_f	Serbest hız (km/sa)
u_m	Kapasite hızı (km/sa)
w	Kinematik dalga hızı (km/sa)
w_u	Şok dalga hızı (km/sa)
w_d	Şok dalga erime hızı (km/sa)
x	Uzunluk

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ARP	Araç Rotalama Problemi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
FHWA	Federal Highway Administration
İÇTAG	İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Kurulu
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
LWR	Lighthill – Whitham – Richards
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
RTMS	Remote Traffic Microwave Sensor
SHRP	Strategic Highway Research Program
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TCRP	Transportation Cooperative Research Program
TD	Total Delay
TTT	Total Travel Time
TMMOB	Türk Mimarlar ve Mühendisler Odası Birliği
TRB	Transportation Research Board
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Ulaştırma sistemlerinin analizi.....	3	
Şekil 3.1	Ulaşım ve arazi kullanımı döngüsü	18	
Şekil 3.2	Erişebilirlik fonksiyonunda, Lyol uzunluğuna bağlı erişim unsuru	20	
Şekil 3.3	1980 - 2005 yılları arasındaki kaza ve yaralı sayısı	41	
Şekil 3.4	1980 -2005 yılları arasındaki ölü sayısı	41	
Şekil 3.5	1980 -2005 yılları arasındaki mali zarar miktarı.....	41	
Şekil 4.1	Trafik akım değişkenleri arasındaki ilişkiler	46	
Şekil 5.1	İki farklı trafik durumu arasındaki ara yüzün hızı	47	
Şekil 5.2	Trafik kesilmesinin sebep olduğu şok dalgaları	48	
Şekil 5.3	Yığılımlı taşıt sayılarıyla kuyrukların ve gecikmelerin öngörülmesi	50	
Şekil 5.4	Üçgen biçimli akım - yoğunluk ilişkisi	52	
Şekil 6.1	Kuyruklanma diyagramı	53	
Şekil 6.2	Şok dalga analizi için yol - zaman diyagramı	54	
Şekil 6.3	Sistematik olarak tıkanıklık oluşumu	55	
Şekil 6.4	Şok dalga ve kuyruk analizinden elde edilen yol - zaman diyagramlarının	birlikte gösterimi	57
Şekil 6.5	Şok dalga ve kuyruk analizinin birlikte gösterimi	58	
Şekil 6.6	Asya - Avrupa yönünde veri toplanan karayolu kesimi	61	
Şekil 6.7	İncelenecek karayolu kesimi	61	
Şekil 6.8	RTMS 12 akım oranı - zaman grafiği	62	
Şekil 6.9	RTMS 12 hız - zaman grafiği	63	
Şekil 6.10	RTMS 12 yoğunluk - zaman grafiği	63	
Şekil 6.11	RTMS 12 hız - yoğunluk grafiği	64	
Şekil 6.12	RTMS 12 akım oranı - yoğunluk grafiği	64	
Şekil 6.13	RTMS 62 akım oranı- zaman grafiği	65	
Şekil 6.14	RTMS 62 hız - zaman grafiği	65	
Şekil 6.15	RTMS 62 yoğunluk - zaman grafiği	66	
Şekil 6.16	RTMS 62 hız - yoğunluk grafiği	66	
Şekil 6.17	RTMS 62 akım oranı - yoğunluk grafiği	67	
Şekil 6.18	RTMS 12 ve RTMS 62 radarları için hız - zaman grafiğinin birlikte gösterimi ...	67	

Şekil 6.19 Tıkanıklık diyagramı	68
Şekil 6.20 Şok dalga diyagramı	69
Şekil 6.21 RTMS 62 ve RTMS 12 arasında yolculuk süresi - zaman grafiği	77
Şekil 6.22 Planlanan seyahat süresi - Ortalama yolculuk süresi grafiği	78

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Hedefler, Performans ölçütleri, Performans ölçütleri	4
Çizelge 3.1 Karayollarında hedef ve performans ölçütleri	15
Çizelge 3.2 Arazi kullanımına ait performans ölçütleri	18
Çizelge 3.3 Ulaştırma sistemini sunanlar, kullananlar ve kullanmayanlar açısından..... performans ölçütleri	31
Çizelge 3.4 Ulaştırma sistemlerinin enerji tüketiminde karayollarının payı	35
Çizelge 3.5 Ulaştırma sistemlerinin başlıca çevresel etkileri	36
Çizelge 3.6 Sürücülerin hız seçimini etkileyen unsurlar	40
Çizelge 3.7 Bazı ülkelerde otomobiller için hız limitleri	42
Çizelge 6.1 Radar verileri ile elde edilen kuyruk kuramı - şok dalgası inceleme değerleri ...	70
Çizelge 6.2 Şok dalga analizi	73
Çizelge 6.3 Kuyruk kuramı analizi	74
Çizelge 6.4 Kuyruk kuramı ve şok dalgası karşılaştırması	75

ÖNSÖZ

Karayolu işletmecileri, mühendisleri ve araştırmacıları; kayıt altına alınabilen ya da deneyim ve gözlem gibi kaydı tutulmamış bilgilere sahip olsalar dahi, bir karayolu kesiminin analizinde farklı problemlerle karşılaşabilirler. Karşılaşılan bu problemler bir mühendislik problemidir ki bu nedenle öncelikle yapımı planlanan ya da analizi yapılacak karayolu kesiminin yeterli düzeyde incelenmesi gerekir. Çünkü asıl amaç bu karayolu kesiminden ne ölçüde faydalanılabildiğinin belirlenebilmesidir. Saptanabilen bu faydalar bize sisteme ait performansı gösterir. Karayollarında meydana gelen ve günümüzde ciddi sorun teşkil eden sürekli tıkanıklık, yolculuk süresindeki sapmalar, gecikmeler, trafik kazaları bize performans analizinin gerekliliğini ve önemini göstermektedir.

Bu çalışmada, 1. Çevreyolu' nun (O-1 karayolu) Boğaziçi Köprüsü' ne Asya – Avrupa yönünde yaklaşan bir kesiminde, radar verilerinden yararlanarak, şok dalgası ve kuyruk kuramı yöntemleri aracılığıyla toplam yolculuk süresi ve toplam gecikme (karşılaştırmalı olarak) hesaplanmış ve bu kesime ilişkin performans incelenmiştir.

Bu tezin oluşturulması sürecinde konuyla ilgili sorunlarımı yol gösteren, Tez Danışmanım Doç. Dr. İsmail ŞAHİN' e, özverisinden ve bilgi paylaşımlarından dolayı saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda bana destek olan aileme ve sevdiklerime, bu zaman diliminde de gösterdikleri ilgi ve anlayıştan ötürü teşekkür ederim.

ÖZET

Performans nicel ve nitel olarak belirlenen bir kavram olup, gerçekleşen etkinliklerin sonuçlarının değerlendirildiği bir süreçtir. Karayollarında performans analizi yapılırken, gerek günümüz koşulları gerekse sistemle ilgili birçok etken dikkate alınmalıdır. Bu etkenlerin belirli bir düzende incelenmesi ve değerlendirilmesi sistemden ne ölçüde faydalandığını gösterir. Performans analizinin asıl amacı da planlama, değerlendirme ve gelişmeye ışık tutarak sistemin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Karayollarında performans analizi yapılabilmesi için yol ağını kullananlar, sistemden etkilenenler, çevresel etkiler gibi birçok bileşen tanımlanmıştır. Değerlendirmeye alınan bu bileşenlerden birindeki aksaklık sistemin diğer bileşenlerinde çeşitli sorunlara sebep olabilmektedir. Örneğin, yol ağı tasarımından kaynaklanan bir sorun ya da artan nüfus - araç sayısına bağlı olarak yolculuk süresinin uzaması, tıkanıklık ve gecikme gibi durumların günden güne artmasına yol açmaktadır. Bunlara bağlı olarak, erişebilirlik ve yoğunluk değişimi gibi diğer performans ölçütleri incelenerek, tüm sistemin bu durumdan ne ölçüde etkilendiği ortaya konulabilir. Yolculuk süresi; tıkanıklık, gecikme, yolculuk planlama, sinyalizasyon, geçki tercihi vd. kentsel ulaştırma konularına ışık tutabilecek performans analizi ölçütlerinin en önemlilerinden biridir. Bu çalışmada, karayollarında performansı etkileyen ve performans ölçümünde yaygın biçimde kullanılan yolculuk süresine ilişkin sayısal bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada İstanbul 1. Çevreyolu' nun (O – 1 karayolu) Boğaziçi Köprüsü' ne Asya – Avrupa yönünde yaklaşan bir kesiminde, radar detektör verilerinden yararlanarak, şok dalgası ve kuyruk kuramı yöntemleri kullanılarak, toplam yolculuk süresi ve toplam gecikme hesaplanmış ve bu iki yöntem karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile iki yöntem arasındaki farklar ve ortak noktalar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Performans analizi, karayolları, performans ölçütleri, kuyruk kuramı, şok dalgaları, yolculuk süresi.

ABSTRACT

Performance is determined in quantitative and qualitative terms, and an evaluation process of conducted activities. In performance analysis for highways, a number of factors are considered. Examining and analyzing these factors provide information on how the system is utilized. The main purpose of performance analysis is to maintain the continuity of the system by shedding light on planning, evaluation and development issues. Various elements such as users, the affected ones, and the environment are identified for this purpose. Any problem in one of these elements may cause problems in others. For instance, a design problem or increasing population and number of motor vehicles may result in increase in trip times, congestion and delays gradually. Accordingly, investigating some other performance measures such as accessibility and density, system wide effects could be estimated. Trip time is one of the most important measures of performance analysis, allowing assessing congestion, delay, trip planning, signaling, route choice, etc. In this study, we worked on numerical examples regarding to estimation of trip times, which affect highway performance and are used widely in performance analysis. We used radar detector data measured in a section of O-1 highway (1st ring road in İstanbul) approaching to the Bosphorus bridge from Asia to Europe direction, utilizing shock wave and queuing theory techniques comparatively to estimate total trip time and delay. With this comparison, differences and commonalities of two techniques are determined.

Key Words: Performance analysis, highways, performance measures, queuing theory, shockwave analysis, travel time.

1. GİRİŞ

20. yy'da ulaştırma sistemleri büyük ölçüde altyapı ile ilişkili iken; 21. yy'da yolculuk talepleri ve kapasite limitlerindeki değişimler sonucunda yönetim, işletim, tasarım açısından ihtiyaçlara bağlı farklılıklar oluşmaya başladı. Performans ölçütleri de bu değişimlere ve değişimlerin meydana getirdiği sorunların çözümlerine yardımcı olarak ele alınmaya başlanmışır. Performans ölçütleri proje seviyesinden, mevcut karayolunun iyileştirilmesine kadar birçok konuda değerlendirmeye alınabilecek unsurlar konumuna gelmiştir. Mevcut karayolu altyapısının ne ölçüde verimli kullanıldığının ve çeşitli karayolu altyapıları arasında karşılaştırma yapılabilmesinin bir aracı olması nedeniyle, gerek ölkemizde gerekse tüm dünyada performans analizinin önemi artmıştır.

Performans analizinin önemini ve karayollarında performans etkileyen unsurları araştırmak amacı ile hazırlanan tezin ikinci bölümünde performans analizi genel olarak anlatılmış, performans analizi yapılırken dikkate alınması gereken ölçütler belirtilerek, performans analizinin gerekliliği vurgulanmıştır.

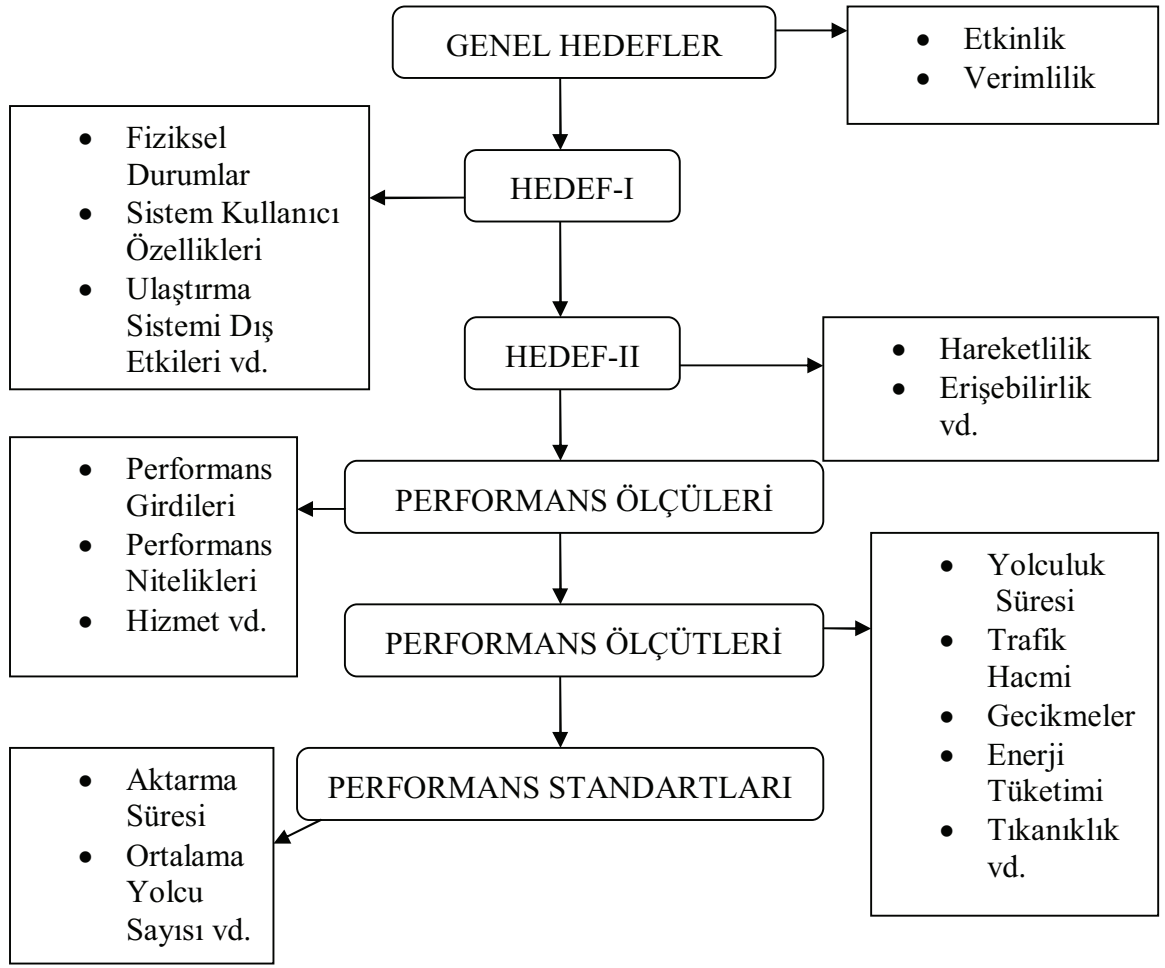
Tezin üçüncü bölümünde karayollarında performans analizi incelenmiş, sistemi kullananlar ve sistemden etkilenenlere göre bazı performans ölçütleri anlatılmışır.

Dördüncü bölümde trafik akımının temel özellikleri anlatılmış, trafiğin temel değişkenleri arasındaki ilişkilerden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde darboğazlarda şok dalgaları ile yığışımlı taşıt sayısı eğrilerine ve kuyruk kuramına değinilmiştir.

Altıncı bölümde ise İstanbul 1. Çevreyolu'nun Boğaziçi Köprüsü'ne Asya – Avrupa yönünde yaklaşan bir kesiminde, sabah ve akşam zirve saatlerde meydana gelen tekrarlı trafik tıkanıklığı, 04 Mayıs 2007 Cuma günü 24 saatlik radar verileri kullanılarak incelenmiştir. İnceleme 12 ve 62 nolu RTMS radarları arasındaki kesimi kapsamaktadır. Sabah zirve saatlerde meydana gelen şok dalgası ve kuyruklanma analizleri yapılarak karşılaştırılmış, toplam yolculuk süresi ve toplam gecikme hesaplanmıştır. Son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. PERFORMANS ANALİZİ

Performans genel anlamda, amaçlı ve planlanmış bir etkinlik sonucunda elde edilen, nicel ve nitel olarak belirlenen bir kavramdır. Performansın belirlenebilmesi için gerçekleşen etkinliklerin sonucunun değerlendirilmesi gerekir. Bu değerlendirmenin aşamaları performans analizini oluşturur. Performans analizi kavramı statik değerlendirme faaliyeti olarak değil de, dinamik bir süreç olarak ele alınır. Bunun sebebi performans analizinin planlama, değerlendirme ve gelişmeyi amaç edinmesidir. Ulaştırma sistemlerinde etkinlik ve verimliliği sağlamak için gerekli düzenler, performans analizinin en önemli unsurlarıdır. Etkinlik ve verimlilik ulaştırma sisteminin istenen düzeye ulaşmasını, korunması ve sürekliliğinin sağlanmasını önemli derecede etkiler. Şekil 2.1 ve Çizelge 2.1’ de görüldüğü gibi ulaştırma sistemlerinin analizinde ulaşım için konulmuş hedefler, amaçlar, performans ölçütleri, performans ölçüleri ve performans standartları yer almaktadır. Kapsamlı hedefler ulaştırma eylemlerinin genel anlamlı amaçları olarak tanımlanabilir. Ancak bir ulaştırma sistemini inceleyebilmemiz ve etkinlik – verimlilik gibi genel hedef sonuçlarına ulaşabilmemiz için, hedef I ve hedef II şeklinde tanımlanan, sistemi içten ve dıştan etkileyen unsurları dikkate almamız gerekir. Performans ölçüleri, performans ölçütleri gibi ölçülebilen ve sayısallaştırılabilen verilerin sistem açısından girdi ve çıktılarını oluşturan öğeleri tanımlar. Performans standartları ise ulaştırma sistemleri performans analizinde koşullara göre göz önünde bulundurulması gereken sınırlı değerleri oluşturur. Bunlar kendi içerisinde hiyerarşik bir düzen dahilinde analizi tamamlayıcı ve çözüme ulaştırıcı öğelerdir.



Şekil 2.1 Ulaştırma sistemlerinin analizi (Sinha, 2007)

Çizelge 2.1 Hedefler, performans ölçütleri, performans ölçütleri (Sinha, 2007)

GENEL HEDEFLER	HEDEF-I	HEDEF-II	PERFORMANS ÖLÇÜLERİ	PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
VERİMLİLİK	*Sistemin maliyetler açısından performansını iyileştirmek	*Sistemde ekonomik etkileşimleri sağlamak. *Sistemin ekonomik açıdan uygulanabilirliğini sağlamak.	*İşletmeci, kullanıcı ya da her ikisi için maliyetler *Maks. fayda için maliyet oranları veya kar *Maks. ekonomik verimlilik	*İlk maliyetler *İşletmeci maliyetleri *Kullanıcı maliyetleri *Çalışma bölgelerinde kullanıcı maliyetleri *Sefer sayısına ilişkin maliyetler *İnşaat projelerinin uygulanabilirliği nde kaynak kullanımı
ETKİNLİK	*Sistemin fiziksel koşullarını iyileştirmek. *Sistemin işletim performansını iyileştirmek.	*Ulaştırma sistemlerinde istenen hizmeti karşılayan teknik uygulanabilirliği sağlamak.	*İnşaat gecikmelerini mümkün olduğu kadar azaltmak için inşaat teknik ve malzemelerinin gelişimi Hareketlilik (Mobilite): Karayollarında tıkanıklık ve gecikmeleri azaltmak. Erişebilirlik: Erişim sıklığını iyileştirmek, bekleme süresini ve yürüme mesafesini azaltmak.	*Ortalama taşıt sayısı *Ortalama veya toplam gecikmeler *Ortalama trafik hız ve yoğunluğu *Ortalama yolculuk süresi *Sıklık *Birden çok taşıma türü kullanımında ortalama gecikme süresi

Çizelge 2.1 Hedefler, performans ölçütleri, performans ölçütleri

GENEL HEDEFLER	HEDEF-I	HEDEF-II	PERFORMANS ÖLÇÜLERİ	PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
ETKİNLİK	*Sistemi kullanan ve kullanmayanların güvenliği	*Yolu kullanan (sürücü, yaya) ve kullanmayanların yararı için ulaştırma sisteminin kullanımını geliştirmek. *Sistem kullanıcıları üzerindeki güvensizliği en aza indirmek.	*Kaza sonucu ölüm oranları, yaralanmalar ve maddi kayıplar	*Ölümlü kaza *Yaralanma sayısı *Kaza oranlarında maddi kayıplar *Yıllık güvenlik sigorta ödemeleri
ETKİNLİK	*Ekonomik gelişme	*Bölgedeki ulaştırma hizmetini karşılayacak ekonomik rekabet ortamını geliştirmek. *Toplumsal gelişimi sağlayan arazi kullanımını desteklemek.	*İş olanakları *Üretim ve verimlilik	*İş sayısı *Hizmet alımları artışı *Arazi kullanım alanları (endüstriyel, tarımsal, ticari, konut)
ETKİNLİK	*Çevresel kalite ve kaynakların korunması	*Enerji kullanımını azaltmak veya enerji etkilerini artırmak. *Kültürel ve tarihi alanlara verilen zararı en aza indirmek. *Çevresel kalite, ekolojik denge, hava kirliliği, su kirliliği, ses, özel yaşam gibi nitelikleri korumak.	*Hava ve gürültü kirliliği *Çevresel bozukluklar *Estetik ve genel çevre kalitesi *Kültürel bölgelerdeki zararların önlenmesi.	*Her yıl açığa çıkan CO miktarı *Ortalama (enerji tüketimi/ araç-mil-yıl) *Yeşil alanların, açık alanların ve park alanlarının yüzdesi. *Kültürel miraslara verilen zararlar.

Çizelge 2.1 Hedefler, performans ölçütleri, performans ölçütleri

GENEL HEDEFLER	HEDEF-I	HEDEF-II	PERFORMANS ÖLÇÜLERİ	PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
EŞİTLİK/ DENGE	*Yaşam kalitesini korumak	*Genel yaşam kalitesini ve toplum huzurunu artırmak. *Sosyal statüyü yükseltmek. *Çevresel hakları artırmak.	*Toplumsal bağlılığın geliştirilmesi. *Sosyal hizmet için erişebilirlik *Özürü ya da sosyal açıdan dezavantajlı gruplara uygun ulaştırma olanakları *Sistemde dinlenme, park amaçlı uygun alanların varlığı	*Konut ve iş arasında yer değiştiren insan sayısı. *Her kazanç grubunun faydaları.

2.1 Ulaştırma Sistemlerinde Performans Ölçütlerinin Boyutları

Ulaştırma performans ölçütleri; ulaştırma ağı kullanıcıları ve ulaştırma sistemini yöneten kişiler, kurumlar, sektörler arasındaki memnuniyetin bir ifadesidir. Karar vermede ve ulaştırma yönetim sistemlerinde, performans ölçütlerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle performans ölçütleri; sistem içindeki planların, projelerin uygulama alanlarını tayin etmek ve bölgesel problemlerin çözümlerine ulaşmak için kullanılır.

Performans ölçütleri; hedefler, yol özellikleri, hizmet tipi, zamansal, mekansal, işletim unsurları gibi farklı boyutlardan oluşur. Böylelikle bu ölçütler belli başlıklar altında sınıflandırılabilir.

2.1.1 Performans Ölçütlerinde Hedefler

Verimlilik, etkinlik ve sermayenin iyi kullanımı performans ölçütlerinin ana hedefidir. Tüm ulaştırma sistemlerinde ücret stratejileri, yatırımların geri dönüşü, fayda-maliyet oranları, istenen kalite-konfor ve memnuniyet durumları bu sistemden istenilen derecede verim alınıp alınmadığını gösterir. Performans analizi kapsamında ulaştırma sisteminin amaçlarına bağlı olarak aşağıdaki ana faktörler bulunur:

- Ulaştırma sisteminin kalıcılığını sağlayarak, sistemden uzun vadeli yararlanabilmek.
- İşletim verimliliği sağlayarak, sistemden gerek kullanıcı gerekse işletmeci açısından optimum şekilde sonuç alabilmek.
- Güvenirliliği sağlamak.
- Çevreyi korumak.
- Ekonomik gelişmeye katkıda bulunabilmek.

2.1.1.1 Sistemin Fiziksel Durumunun Korunmasına İlişkin Ölçütler

Ulaştırma sisteminin kalıcılığının sağlanması için, sistemin yetkili yönetimler tarafından korunması gerekir. Bu amaçla aşağıdaki ölçütler kullanılabilir:

- Yapısal durumu belirli bir düzeyde tutulan ya da belirli bir hizmet düzeyi sınırının üzerinde işletilen sistem birimleri veya kesimlerinin oranı;
- Sistemin ortalama hizmet düzeyi, fiziksel durumu ya da yapısal veya fonksiyonel yeterliliği.

2.1.1.2 Sistem İşletim Performansına İlişkin Ölçütler

İşletim etkinliği, hareketlilik, erişebilirlik, işletim faaliyeti kavramlarını kapsar. Kamu sektörü hizmet amaçlı bir işletim sistemi iken; özel sektör ise işletim sisteminde performansı önemli kılmanın yanında, sisteme finansal açıdan da yaklaşır. Ulaştırma sistemlerinin performans değerlendirmelerinde yolcu, yük veya her ikisi birden dikkate alınarak tespitler yapılır.

2.1.1.3 Sistemin Finansal Performansına İlişkin Ölçütler

Erişebilirliliği ve hareketliliği geliştirmek için ulaştırma sistemlerinin hedefleri, hem işletmeci hem de kullanıcı için kabul edilebilir maliyetlerde olmalıdır.

Finansal açıdan, performans analizini etkileyen ölçütler aşağıdadır.

- Hizmete uygun ücretin korunması
- Ücret tespiti
- Trafik hacmi
- Fayda - maliyet analizleri

2.1.1.4 Sistem Güvenilirliğine İlişkin Ölçütler

Ulaştırma sistemlerinde en önemli unsur; insan yaşamının değerinden dolayı seyir ve yolcu güvenliğidir. Bu kapsam içerisinde de araç kullanıcıları ve yolcular yer alır. Hedef; ölüm, yaralanma ve maddi zararlar açısından minimum olumsuz koşullarla karşılaşmaktır.

2.1.1.5 Ekosistemin Korunmasına İlişkin Ölçütler

Ulaştırma sistemlerinin sebep olduğu kirlilik, su – hava kalitesinin bozulması, doğal ortamda bozukluklar dikkate alınması gereken önemli zararlardır. Ulaştırma sistemlerinin sebep olduğu ve çevreyi olumsuz yönde etkileyen başlıca etkenler şunlardır.

- Enerji tüketimi
- Ses ve titreşim seviyesi
- Atık konsantrasyonu
- Kirlilik yayılım hızı

2.1.1.6 Ekonomik Gelişmeye İlişkin Ölçütler

Bir bölge için projelendirilen veya programlanan ulaştırma türü ve ücreti, o bölgedeki arz – talep dengesini sağlamalıdır. Sosyo – ekonomik dengeyi ve gelişmeyi de hedef olarak yapılacak performans analizlerinde aşağıdaki faktörler etkilidir:

- Bölgedeki işsiz sayısı
- Bölgedeki iş olanakları
- Arazi özellikleri
- Ticaret merkezleri
- Tarımsal alanlar

2.2 Sektörel Açıdan Performans Analizi

Ulaştırma tüm sektörleri kapsayan hizmetler bütünüdür. İhtiyaçların artması ve teknolojinin gelişmesi ile ulaştırma sektörel açıdan da gün geçtikçe ilerlemektedir.

Ulaştırma hizmetlerinin performansı yolcu, işletmeci ve planlamacı açısından ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Yerel yönetimler ulaştırma hizmetini sunarken yeterli performansı gösterememektedir. Bu yüzden işletmecilik açısından kamu sektörü yanında özel sektör de

devreye girmiştir. Kamu ve özel sektörün birlikte veya ayrı olarak çalışmasıyla belli bir rekabet ortamı sağlanmış ve hizmet performansında ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu da ulaştırma hizmetinin kalitesini artıran bir durumdur.

Çoğu ülkede sosyo - ekonomik düzey yükseldikçe özel otomobil kullanımına yönelim artmış, toplu taşıma türleri ile taşınan yolcu sayısı azalmıştır. Özel otomobillerin sayısının artması ile de trafikte tıkanmalar meydana gelmiştir. Toplu taşıma türlerinin özel otomobillerin sağladığı hız ve konforu sağlayamamasından dolayı, insanlar giderek toplu taşıma türlerini tercih etmemeye başlamıştır. Böylelikle kamu toplu taşıma türlerini işleten yerel ve merkezi yönetimler için işletim, ekonomik olmayan bir hal almıştır (Yayla, 2004).

Bilhassa özel girişimcilerin işlettikleri ulaştırma hizmetlerinde ekonomik kazanç ön plana çıkmaktadır. Bu durumda işletmeci ile kullanıcının bazı çıkar çatışmaları olmaktadır. İşletmeci kendisine en uygun gelen, yani işletmecinin kendi değer ölçütlerine göre kullanıcıyı da belli ölçülerde tatmin edip kendi pazarından uzaklaşmasına sebep olmayacak, bunun yanında da kendi çıkarlarını da kollayacak bir tarzda hizmet sunar. Kullanıcı da kendi isteklerini tam olarak karşılayan en azından kendi yolculuk isteklerine en yakın şartları sunan işletmecileri tercih etmektedir.

Özel ve kamu işletmecilik kavramları toplu taşımayı kapsarken; özel ulaşım ile ifade edilen ise özel araç sahiplerinin yaptıkları ulaşım etkinlikleridir. Özel ulaşım otomobil, motosiklet, bisiklet ve yaya ulaşımı gibi alt bölümlere ayrılır. Bu sistem kendi kendine bir hizmet anlayışına sahiptir. Hatları ve zaman çizelgeleri esnekler. Yani kullanıcı istediği yere istediği zaman gidebilme imkanına sahiptir. Fakat diğer sistem ve türlerle kıyaslandığında, maliyeti araç sahibi ya da kullanıcı sahiplendiği için pahalıdır. Ekosistem açısından da çevreye verdiği zararlar ve ürettiği emisyonlar (salınımlar) diğer sistemlere göre yüksektir (Yardım, 2008).

2.3 Ulaştırma Türü ve Performans Etkisi

Ulaştırma yatırımları, çoğunlukla, büyük çaplı ve dolayısıyla pahalı yatırımlar olmaktadır. Gerek kentler arası gerekse kentiçi ulaşım ağında yapılacak yatırımlar bu nedenle ciddi ve kapsamlı karar süreçlerini gerektirmektedir. Ulaştırma alanı doğrudan politikanın belirlediği bir alan olduğundan, bu karar süreci, teknik içeriğinin ötesinde bir biçim almaktadır. Asıl belirleyici olan teknik aşamaların ötesinde, siyasi karar süreçleri olmaktadır. Yeni ulaştırma sistemleri planlanması ya da mevcut ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi aşamasında verilecek kritik kararlar, çoğunlukla birden fazla seçenek arasından bir tanesinin seçilmesi olarak şekillenmektedir.

Ulaştırma türü seçiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için gereken koşulların başında, farklı seçenekler arasında bir karşılaştırmanın yapılması gelmektedir. Ulaştırma türü seçimi sürecinin belki de en hassas olunması gereken aşaması bu karşılaştırma aşamasıdır. Zira karşılaştırma işleminin ortaya çıkardığı pek çok güçlük bulunmaktadır. Bu güçlüklerin başında, karşılaştırmaya dahil edilecek etmenler gelmektedir. Bu etmenlerin bazıları nicel özellikler taşımakta ya da nicelleştirilebilecek durumdadır. Buna karşılık pek çoğu da nitelikseldir. Niteliksel olan unsurların değerlendirilmesi ciddi bir birikim ve deneyim gerektirmekte, doğru değer yargılarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Sistemin korunması, güvenlik artışı, gecikmelerin azalması gibi performans analizinde genel hedefler olmasına karşın, her ulaştırma modelinin kendine özel ölçütleri ve amaçları vardır.

- **Karayolu:** Karayolu sistemleri için tipik performans ölçütleri karayolu ağındaki tıkanıklık yüzdesi, tıkanıklığın sebep olduğu gecikme yüzdesi, ağıdaki kesit ve kavşaklarda sıklık veya akıcılık durumlarını içerir. Performans ölçütleri sistem tipine göre değişiklik gösterir. Örneğin, trafik yoğunluğu kavramı otoyolların, kurplu bölgelerin, rampaların, çok şeritli karayollarının değerlendirilmesinde kullanılırken; gecikme kavramı iki şeritli karayollarında, kavşaklarda, otoyollarda hız limitlerinin belirlenmesinde kullanılır.
- **Demiryolu:** Demiryollarında performans ölçütleri; ortalama tren hızı, istasyonlarda ortalama bekleme süresi, yük taşıma ücretleri gibi faktörleri içerir. Demiryolu ulaştırmasını kullanan yolcular için performans ölçütleri; zamanında ulaşma, yolculuktaki toplam gecikme süresini kapsar. Gecikmeler birkaç yoldan veya sebepten olabilir. Örneğin, toplam gecikme, her aracın gecikmesi, yolcu gecikmesi, zamansal gecikme, mekansal gecikme. Diğer bir demiryolu performans ölçütü ise yük, yolcu ve bunlarla ilgili gelir-gider dengesine ilişkin değerleri kapsar.
- **Havayolu:** Havayolu ulaştırması için varıştaki gecikmelerin tespiti, rota belirlenmesi ve bunların her hat için tayini bazı performans ölçütlerindedir. Örneğin,

İşletim yeterliliği → Rötalar vd.

Fiziksel yeterlilik → Pist ve hızlanma pistinin özellikleri vd.

Finansal yeterlilik → Devlet desteği, ücret miktarları vd.

2.4 Performans Analizinin Gerekliliği ve Amacı

Yaya temelli kurulan kentlerde ulaşım yaya veya atlı arabaların yardımıyla gerekleştirilmekteyken yaklaşık 200 yıllık bir süreçte gerek nüfus gerekse coğrafi anlamda büyüyen kentlerde ulaştırma araçları, teknolojik ilerlemelerin de yardımıyla çeşitlilik göstermeye başlamıştır. Bu eşitlilik ve her geçen gün büyük bir hızla artan ulaşım talebi, kentiçi ulaştırma sisteminin giderek büyümesine ve karmaşıklaşmasına neden olmuştur. Giderek büyüyen ve karmaşıklaşan bu sisteme ilişkin sorun alanları da büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların bir sonucu olarak da çeşitli sorun alanları farklı bilim dallarının çalışma alanlarına girmektedir. Planlanan ya da mevcut bir ulaştırma ağının kapasite düzeyleri ile söz konusu yollardaki trafik akışının optimizasyonunun sağlanması, hizmete erişim düzeyi firma etkinliği ve rekabet düzeyi, fiyat politikaları, çizelgeleme, rotalama kentiçi ulaşımda gerçekleştirilen çok sayıda çalışma alanlarına örnek olarak sayılabilir.

Tüm Dünyada ulaştırma alanında performans ltlerinin yaygın bir kullanım alanı vardır. Bu nedenle performans ltlerinin göz ardı edilmemesi; ulaştırma organlarının hizmet performansını, bu ltlerin tanımlanmasını, düzenlenmesini ve planlanmasını, gelecek yatırımlarının tespit edilmesini de sağlar.

Ulaştırma plan ve projelerinin değerlendirilmesinde performans ltlerinin kullanılıp kullanılmadığı ulaştırma sistem yöneticileri ve organları tarafından gözetim altında tutulur. Buna göre;

- **Kararların Açıklığı:** Performans ltleri nesnel ve yansız olduğu zaman, ulaştırma sorunları, durumları mantıklı ve tarafsız tutumlarla değerlendirilir.
- **Politik Hedefler:** Performans ltlerinin kullanımı hedeflerin yerine getirilmesinde, politik kararlarında ve sonuçlarında bir tutarlılık olmasını sağlar. Örneğin, yüksüz bir geminin limanda ortalama bekleme süresinin tespiti ulaştırma organlarına ait bir politik karardır.
- **İ ve Dış Organ Bağlantıları:** rneğin, hava ulaştırmasında çokça rastlandığı gibi, i ve dış hat ulaştırma hizmetleri arasındaki bağlantı ok önemlidir. Sistemi kullananlar, yönetenler, havayolu şirketleri ve bu gibi durumlara ait performans ltleri bağlantının birer bileşenidir.

Kentiçi ulaştırma sisteminin karmaşık yapısı, tanımlanan problem alanlarının fazlalığı ve disiplinler arası ilişkiler, bu problemlere yönelik çözümlerinin değişkenlik göstermesini beraberinde getirmiştir. Bu yöntemler, problemin yapısına göre basit finansal koşullardan, yalnızca bilgisayar desteği ile çözülebilecek karmaşık matematiksel modellere varıncaya kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır.

3. KARAYOLLARINDA PERFORMANS ANALİZİ

Her türlü kara taşıtı ve yaya ulaşımı için oluşturulmuş ve kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi karayoludur. Karayolunun, ulaşım amacı ile motorlu ve motorsuz taşıt sürücüleri ve yayalarca kullanılması ise karayolu trafiğini oluşturur.

Bir ülkeye dengeli şekilde yayılmış, yeterli uzunlukta, fiziki ve geometrik standartları iyi bir yol ağının varlığı, dolayısıyla böyle bir yol ağının sağladığı erişebilirlik ve ulaşım çok önemlidir ve ülke için aşağıdaki olanakları yaratır:

- Yol ağındaki iyileşme sonucu ortaya çıkan kolay taşıma, üreticiye ürettiği malı daha çabuk ve daha uygun bir fiyatla pazarlama olanağı verir.
- Kolay ve ekonomik taşıma sonucu her çeşit mal ülke çapında daha geniş bir bölgeye daha ucuza erişebilir.
- Üretimin artması ve taşıma maliyetindeki düşme ülkenin ihracat olanağını artırır.
- Ülke genelinde iyi bir yol ağının sağladığı ulaşım kolaylığı çeşitli sektörlerle ait yatırımların tüm ülkeye yayılmasına ve böylece bölgeler arasında daha dengeli bir kalkınmaya yardımcı olur.
- Devletçe sağlanan eğitim, sağlık ve haberleşme gibi kamu hizmetlerinin daha etkin ve yaygın bir biçimde yapılmasını kolaylaştırır.
- Kolay ve ucuz ulaşım iç ve dış turizmde gelişmeyi hızlandırır.
- Yol ağının fiziki ve geometrik standartlarının iyileştirilmesi ile ülke çapında insan ve yük taşınmasındaki güven ve konfor artar. Bunun sonucu olarak ulaşım zamanı, işletme maliyetleri ve başka hususlarda tasarruflar sağlanmış ve trafik kazaları azaltılmış olur.

Ancak bunların yanı sıra karayolu ve üzerinde oluşan trafiğin olumsuz sonuçları da vardır.

- Trafik kazaları.
- Daha çok büyük kentlerde görülen yoğun trafiğin yol açtığı hava kirlenmesi, gürültü ve trafik sıkışıklığının insanlar üzerinde sebep olduğu psikolojik sorunlar ve zaman kaybı.
- İnsan, bitki ve hayvan yaşantısı ile ilgili ekolojik dengenin bozulması.

Bunlar gibi olumlu ve olumsuz birçok unsur ele alındığında tüm ulaştırma sistemlerinde olan ya da olması gereken bir takım ölçütler oluşmaktadır (Yayla, 2002).

Çizelge 3.1’de karayollarında performans analizi yapılırken amaçlarımız ve bunlara dair ölçütler ile ilgili örnekler verilmektedir.

Çizelge 3.1 Karayollarında hedef ve performans ölçütleri

HEDEF	SINIF	PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ
Sistemin Korunması	Yol Alt ve Üst Yapısı	Karayolundaki işaretler
		İyileştirilmesi yapılacak karayolu parçasının tüm karayoluna oranı
		İyileştirilmesi yapılacak şerit yüzdesi
		Yeniden yapılacak veya finanse edilecek karayolu uzunluğu
	Sanat Yapıları	İyi veya daha iyi durumdaki karayolu köprü yüzdelerinin oranları
		İhtiyaç duyulan ve yeniden yapılacak köprü sayısı
İşletme Etkinliği	Yapım, Onarım ve İşletim	Yapılan her km için karayolu sınıfı ve malzeme tipinin maliyeti
		Bakımı yapılan her karayolu birimi için maliyet
	Maliyet - Verimlilik	Yol kaplama koşullarının her km için maliyeti
Erişebilirlik	Şerit	Köprülerden geçebilecek yük kısıtlamaları
		Karayolu üzerindeki şerit sayısı
Hareketlilik	Hız	Ortalama hız
	Gecikme ve Tıkanıklık	Gecikme süresi
		Zirve saatlerde aşırı yoğunluk olmadığı durumlarda kentsel alanlarda karayollarındaki erişebilirlik yüzdesi
	Yolculuk Miktarı	Karayolundaki yoğunluk
		Yolun belli kesimlerindeki yolculuk miktarı
Özel taşıt ya da toplu taşıma ile yapılan yolculuk miktarları		
Güvenlik	Araç Çarpışma Sayısı	Araç kazaları
		Kazalarda ölüm ve yaralanma oranları
		Yaya, bisiklet ve motosikletler için kazalar
	Kazalar	En çok kaza meydana gelen yerler
		Yol yapımı ve onarımı sırasında meydana gelen kazalar
		Kar veya buzlanma sebepli oluşan kazalar

Genel anlamda, karayollarında performansın üç ana hedefi vardır. Bunlar; erişebilirlik, hareketlilik ve ekonomik gelişimdir. Bu hedeflere ilişkin ölçütler Çizelge 3.1'dekinden daha ayrıntılı olarak aşağıda maddelenmiştir.

Erişebilirlik açısından performans ölçütleri:

- Ortalama yolculuk süresi
- Ortalama yolculuk uzunluğu
- Belli bir uzunluktaki yolcu yüzdesi
- Belli bir uzunluktaki taşıt yüzdesi
- Kullanılan ulaşım türüne göre yolcu dağılımı (özel otomobil, toplu taşıma, yaya vd.)
- Yol geçkileri ve seçenekleri

Hareketlilik açısından performans ölçütleri:

- Zamanında ulaşma
- Yolculuk süresi
- Trafik hacmindeki dalgalanmalar
- Ortalama aktarma süresi ve dalgalanmalar
- Taşıt içinde geçen süre
- Servis sıklığı
- Yoğunluk
- Ortalama bekleme süresi
- Hız

Ekonomik gelişmeler açısından performans ölçütleri:

- Geçki bölgesinde yaşayan insanların gelir düzeyleri
- İlgili bölgedeki yolculuk amacı (iş, gezme)
- Yol kalitesi (Bertini, 2003).

3.1 Arazi Kullanımına Ait Performans Ölçütleri

Ulaştırma, toplumun ekonomik, sosyal ve kültürel etkinliklerinin türevi olarak ihtiyaç duyulan ara bir hizmettir. Yani ulaşım talebi kendiliğinden değil, sosyo – ekonomik örgütlenmenin ve etkinliklerin sonucu olarak ortaya çıkar. İhtiyaç duyulduğu zamanda ve yerde, ihtiyaç duyulduğu kadar üretilmesi gerekir. Az üretilirse ilgili olduğu sosyo – ekonomik etkinlik aksar, fazla üretilirse israf yapılmış olur. Bu durumda ulaşım sorunlarının kaynağı her zaman doğrudan sistemin kendisinde değil, öncelikle arazi kullanımını belirleyen karar ve eylemlerdedir. Bu nedenle, ulaştırma konusunda sorunlar ortaya çıktıktan sonra çözüm aramak yerine, kent, bölge ve ülke düzeyinde fiziksel gelişmelerin akılcı biçimde planlanmasına, gerçekleşmesine özen gösterilmesi daha akılcı ve tutarlı bir yaklaşımdır (TMMOB, 2001).

Kentsel ulaşımın başarısı bazı kültürlerin yaratılması veya güçlendirilmesi ile olasıdır. Bunlar; planlama kültürü, şehir planlama kültürü, yönetim kültürü, katılım kültürü, iletişim kültürü gibi. Kentsel ulaşım ile ilgili her girişimin başlangıç noktası ulaşım planlılığı kavramıdır.

Kentsel ulaşım ile ilgilenen kişilerin arazi kullanım biçim ve kararlarıyla ulaşım arasındaki ayrılmaz ilişkiyi çok iyi bilmesi gerekir. Kentsel ulaşım aslında, var olan kaynakları kullanma ve olabilecek kaynakları kullanılabilir hale getirme olayı, yani bir yönetim konusudur. Kaynaklar ise kentsel araziden, dolmuştan otobüse kadar uzanan ulaşım olanaklarından, bunları işleten kişilerden, kişisel ve kurumsal para kaynaklarından oluşur.

Arazi kullanımı ile ulaştırma bir bütün oluşturmaktadır. Bu nedenle, kentsel ulaştırma yönetim ve koordinasyonunda bu bütünlüğün gereğinin yerine getirilmesi yaşamsal önem taşımaktadır. Aynı anlamda, imar revizyon ve onarım planları hazırlanırken yine arazi kullanımı – ulaştırma bütünlüğü gözetilmelidir. Var olan ulaştırma alt yapısının aşırı boyutlarda yüklenmesinin önlenmesi için stratejik ilkelere aykırı plan değişiklikleri yapılmamalıdır (TMMOB, 2001).

Kent içi ulaşım planlarının kent nazım ve uygulama imar planları ile bütünleşik olarak hazırlanması ilgili birimler tarafından sağlanmalıdır (DPT, 1995).

Yapılan çalışmalar, kentsel arazi kullanımının, ulaştırma sistemi performansı üzerine önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur (Alaylı, 2006). Özellikle otomobil sayısının artışıyla, otomobile bağımlı bir yaşam biçimi oluşmuştur. Etkinliklerin arazi üzerinde giderek daha fazla dağılımı sonucunda hem özel otomobiller hem de toplu taşıma için yolculuk uzunlukları

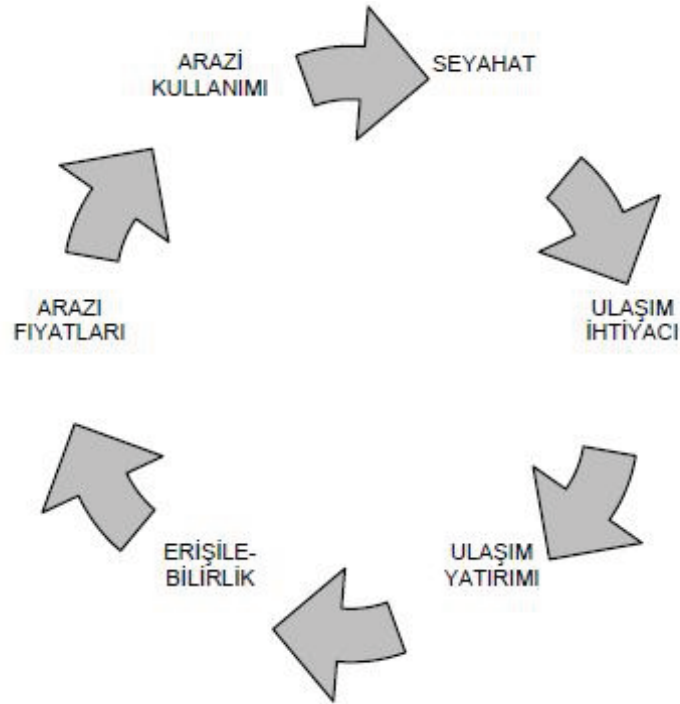
artmıştır. Arazi kullanımı, aşağıdaki ulaştırma sistemleri performans ölçütlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Arazi kullanımına ait performans ölçütleri

• Erişebilirlik	• Gecikme	• Güvenlik
• Hareketlilik	• Yolculuk Süresi	• Güvenilirlik
• Servis Seviyesi	• Türel Dağılım	• Maliyet
• Trafik Tıkanıklığı	• Hava Kalitesi	

Genel anlamda incelendiğinde önemli arazi kullanım unsurları;

- Erişebilirlik
- Yoğunluk
- Yol ağı tasarımı
- Toplu taşıma erişebilirliği



Şekil 3.1 Ulaşım ve Arazi Kullanımı Döngüsü (Alaylı, 2006)

Şekil 3.1' de gösterildiği gibi arazi yayılımına bağlı olarak oluşan yolculuklar ulaşım ihtiyacını doğurmakta, buna bağlı olarak ulaşım alt yapısı oluşturulması süreci ortaya çıkmaktadır. Bunun ardından ulaşım alt yapısı bulunduğu bölgenin erişebilirliğini artırarak arazi değerini ve arazi kullanımını etkilemektedir (Alaylı, 2006).

3.1.1 Erişebilirlik

Erişebilirlik ile ulaştırma sisteminden ya da belirli bir kesiminden, bunların çevresindeki bölgelere ve etkinlik merkezlerine erişim ve giriş – çıkış kolaylığı kastedilmektedir. Başka bir deyişle erişim, kullanılan ulaştırma sistemi ya da bir kesiminin kullanımının, başlangıç noktası ile son noktası arasındaki tüm yolculuğa hangi ölçüde bir kolaylık sağladığını gösterir.

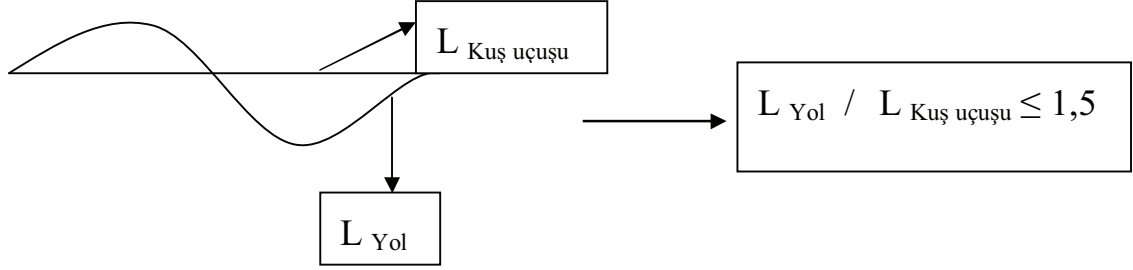
Mekansal erişebilirlik, yolculuğun ya da taşımacılığın ilk noktasından, sistem ağına ya da terminaline erişim kolaylığı, varış bölgesinde sistem ağı ya da terminalden yolculuk ya da taşımacılığın son noktasına erişim kolaylığı, ağ boyunca seyirin sürekliliği, yolculuk ya da taşıma sırasında aktarma gerekip – gerekmemesi, aktarma koşulları ve riskleri ile değerlendirilir.

Bir ulaştırma sisteminin mekansal erişebilirliği, ağın bölge içindeki yoğunluğu, terminallerin sayısı, yolların sürekliliği, sefer uzunlukları ve aktarma terminallerinin kapasiteleri ile ölçülür.

Bir yol kesiminde erişebilirliğin yüksek olması, yaratılan ve çekilen trafiği artırır. Yaratılan ve çekilen trafik, duran trafik için ayrılan alan büyüklüğüne ve yaya erişim olanaklarına bağlıdır. Bir ağın çevresindeki yapılanma ne kadar yoğunsa, yani bu ağı kullanarak erişilebilen yaşam mekanlarının, işletmelerin ya da hizmet veren merkezlerin sayısı ne kadar fazlaysa, erişim fonksiyonun göstergesi o ölçüde ön plana çıkar. Bunun iyi tespit edilmesi ve projelendirilmesi servis kalitesini artırır (Erel, 2001).

Aynı zamanda ulaştırma sistemleri, insan ve yüklerin değişik noktalar arasındaki hızlı, güvenli, konforlu ve ekonomik erişimlerinin sağlanması amacıyla planlanır ve işletilir. Ancak bir ulaştırma sisteminin ya da öğelerinin, bu niteliklerin tümüne en üst düzeyde sahip olabilmesi olanaksızdır. Her yere erişim sağlayan bir sistemde hız düşerken, çok hızlı bir sistemin güvenliği azalmakta ve maliyeti artmaktadır.

Erişebilirlik fonksiyonunun en önemli unsurlardan biri erişim rahatlığıdır. Ayrıca, Şekil 3.2’deki uzunluk koşulu da sağlanılmaya çalışılmalıdır.



Şekil 3.2 Erişebilirlik fonksiyonunda, L yol uzunluğuna bağlı erişim faktörü

3.1.2 Yol Ağı Tasarımı

Kentin büyümesine ve gelişmesine koşt olarak, arazi kullanım planlarıyla öngörülen kent formunun ve ulaşım planlarının gerektirdiği yol ağı sistemi oluşturulmalıdır (DPT, 2000).

Yol ağı tasarımı yapılırken dikkate alınacak bazı unsurlar;

- Bir ağ oluşturan kent yolları sık kesiştikleri için birbirlerine olan etkileri fazladır. Örneğin; bir yolda görülen trafik sıkışıklığının yakındaki diğer yollara da atlaması kolaylıkla mümkündür. Dolayısıyla yollar ve bunlar üzerindeki kavşaklar geniş bir alan içinde bir bütün olarak düşünülüp planlanmalı, geometrik ve fiziki standartları bakımından birbirleri ile uyumları sağlanmalıdır.
- Kırsal yollarda kavşaklar arası uzunluk fazla olduğu halde kent içi yollarda bu uzunluklar çok kısadır. Bu nedenle, bir kente ait yol ağının bütün olarak iyi çalışabilmesi için trafiği kesintiye uğratan bu kavşak noktalarına özel önem verilmelidir. Bu husus trafik güvenliği yönünden de önemlidir.
- Kentiçi yollarda, özellikle ana yollar dışında kalan yollarda trafiğin hızı kırsal yollara göre oldukça düşüktür. Bu durum geometrik standartların seçiminde önemlidir.
- Kentiçi yollarda gözlenen diğer bir husus yaya trafiğinin yoğun oluşudur. Bu nedenle, kentiçi yolların planlanması sırasında, ulaşım kolaylığı ve güvenliği bakımından, yaya trafiği dikkate alınmalıdır.
- Kent düzeyinde değişik arazi kullanım şekilleri (konut, alış-veriş, sanayi vd.) söz konusu olduğundan, kullanım amacına göre bölgelere ait yolların geometrik ve fiziki standartları arasında bazı farklılıklar olması doğaldır.

- Yolcu taşıma hizmetine ilişkin otobüs durakları ve terminaller, otoparklar ayrıca yaya ulaşımına ilişkin alt ve üst geçit gibi tesisler kent yol ağının vazgeçilmez parçalarıdır. Dolayısıyla planlama sırasında bunların da ele alınması gerekir.
- Kentiçi yollarda aydınlatma ve işaretlemenin, ayrıca yüzey suyu drenajının özel bir önemi vardır.

3.1.3 Otopark Alanlarının Kullanımı

Özel araç sayısının ve otopark isteminin hiçbir kısıtlamaya tabi olmaksızın arttığı bir kentte, sürekli çok katlı otopark yapmanın olanaksız olduğu ve kaynakların dağıtımı açısından doğru olmayacağı gerçeğinden hareketle, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu kent merkezine girişlerde toplu taşımayı yönlendirici önlemlerle özel oto kullanımı ve otopark istemi biçimlendirilmelidir.

Zamanla raylı sistemler ve otobüse ilişkin yatırımların gerçekleşmesi ile kent merkezine toplu taşıma araçlarıyla gelmek çok daha çekici olacaktır. Bu amaçla raylı sistem hatlarının merkez çevresi ve konut alanlarındaki istasyonları ve otobüs aktarma alanları yanında, otomobil kullanıcıları için yanaşma yeri ve otopark yapılmalı ve istasyon giriş çıkışlarıyla yakın bağlantısı sağlanmalıdır.

Otopark sunumunun artırılması ve katlı otopark yapımında temel ilkenin otoparkların sübvansiyon gerektirmeden yapım ve işletme maliyetini karşılayacak şekilde işletilmesi, kamu kaynakları yerine kullanıcıların ödemelerinden elde edilen kaynaklardan yararlanılması olmalıdır.

Bu ilke doğrultusunda merkezde kentin en değerli arsalarının hemzemin otopark olarak kullanılmasının ekonomik olmayacağı görülmüştür. Bu maliyet kullanıcılara yansıtıldığında, kullanıcıların ödemeye razı olabilecekleri sınır aşılmaktadır. Ödeme sınırı içinde kalan otoparkların ise katlı ve yüksek kapasiteli olması gerekmektedir. Kent merkezi çekirdeğinin çevresinde bu nitelikte park yerlerinin yapılıp yapılmaması kent trafiğine ekleyeceği yük, hava kirliliği ve arazi kullanım incelenmelidir.

Arsa fiyatları, ekonomik kat yükseklikleri ve kabul edilebilir otopark ücretleri göz önüne alınarak, ortalama ödeme gücüne en uygun otopark alanlarının merkez çevresi yerler olduğu görülmüştür. Yoğunluğun ve trafik sıkışıklığının görece olarak daha az bulunduğu bu alanlar, arazi kullanım açısından da tercih edilebilir niteliktedir. Tüm bu nedenlerle çok katlı otoparkların kent merkezlerinin tam ortasında ve ana caddeler üzerinde yapılması yerine,

merkez çekirdeklerinin çevresinde, toplu taşıma durakları ve yaya bölgeleri ile bütünleştirilmesi öngörülmelidir. Yapılacak çok katlı otoparkların çok amaçlı (alışveriş yerleri, iş merkezleri vd.) bir biçimde tasarlanmaları mali yapılabilirliklerini artıracak gibi, merkez içinde yükün çevreye yayılmasına da yardımcı olacaktır. Konut alanlarında yapılacak katlı otoparkların, bu alanların merkezleriyle bütünleştirilmesi sağlanmalıdır.

Yol kenarları ve kaldırımları üzerinde park etmenin yaygın bir uygulama olması ve buraların bireysel girişimcilerle çok düşük ücretlerle işletilmesi, hem yaya ve taşıt trafiğini olumsuz etkilemekte, hem de otoparkların yapımında caydırıcı olmaktadır. Yol kenarında otopark yapılabilecek yerlerin belirlenmesi ve bu alanlarda uzun süre park yapmayı engelleyecek düzeyde uygun bir ücretlendirme sisteminin oluşturulması parkmetre gibi sistemlerin kullanılabilmesi göz önüne alınarak sağlanmalı, bunun dışında kalan yerlerde kesin park yasağı uygulanmalıdır.

Otopark istemleri, mevcut otopark kapasitesini, arsa ve inşaat maliyetlerini, ortalama yolculuk ve otoparkta kalış devir süresini göz önüne alan etütler yapılarak otopark yerleri ve ücretleri belirlenmelidir (DPT, 2000).

3.2 Zamansal Performans Ölçütleri

Belli bir mekan içerisinde, değişik özellikteki insan ve yüklerle ilgili ulaşım isteklerinin, başlangıç ve son noktalarına, amaçlarına, zaman içindeki dağılımlarına ve iletim koşullarına göre taşıtlara ve rotalara dağılımları ulaşım talebini oluşturur. Amaç bu ulaşım talebine ne kadar karşılık verilebildiğinin doğru tespit edilebilmesidir. Çünkü gezme amacı dışında, insanlar gereksinimlerini karşılamak için bir yere ulaşmak ya da yük göndermek isterler. Bu da bize ulaşım talebi ve sunusunun bir hizmet bütünü olduğunu gösterir. Hizmet düzeyi ise ulaştırmada kalitenin bir diğer ifadesidir.

Özel araçları ile yolculuk ya da taşımacılık yapanlar, yolcu ve yük taşımacılığı yapan işletmeler, yük gönderenler ve alanlar için ulaştırmada kalite ölçütleri aşağıda tanımlanmıştır. Bunlar erişebilirliği, hareketliliği ve ekonomik gelişime katkıda bulunmayı genel anlamda amaç edinmiş ulaştırma sisteminde zamanın ve iyi şekilde değerlendirmesinin önemi ortaya koymaktadır.

- Sıklık: Aynı yönde, birim zamanda geçen taşıt sayısı veya taşıtlar arasındaki zaman farkı.
- Yolculuk süresi: Ulaşım talebi başlanan ve biten yerler arasında geçen süre.

- **Dakiklik:** Taşımacılığın önceden belirlenen zamanda başlaması ve bitmesi konusundaki güvenilirliktir. Birim zamandaki gecikmeler toplamıdır.
- **Konfor:** Genellikle yolcu ulaşımında kullanılan, yolculuk sırasındaki bedensel ve ruhsal rahatlık durumudur.
- **Hız:** Yolculuk uzunluğuna ve zamana bağlı bir değişken olup, yol koşullarından etkilenen bir kavramdır.
- **Kapasite:** Bir ulaştırma tesisinin belirli koşullarda birim zaman içinde karşılayabildiği ulaşım talebidir.
- **Ekonomiklik:** Ulaşım için ödenen ücret ve ulaştırma sistemleri için en uygun maliyettir.

3.2.1 Sıklık

Yolculuk yapılacak ya da yük gönderilecek olan terminaller arasında birim zaman içinde düzenlenen seferlerin sayısı ya da seferler arasındaki zaman aralıkları ile değerlendirilen büyüklük sıklık olarak tanımlanır. Ulaşım isteminin zaman içindeki değişimine, taşıt ve bağ kapasitelerine, işletme sistemi özelliklerine ve işletmeciler kuruluşların amaçlarına bağlı olarak belirlenir. Bu büyüklük, insan ve yüklerin kapıdan kapıya ulaşım sürelerini önemli ölçüde etkiler.

3.2.2 Yolculuk Süresi

Kentiçi koridorunda işletilen bir toplu taşıma sisteminin göstereceği performans, pek çok etkenin yanında bir dizi fiziksel koşulunda etkisi altındadır. Talep, yolcuların taşıtlara biniş ya da iniş süresi gibi etkenler, sistemin göstereceği performansı doğrudan etkiler.

Ulaştırma sisteminin türüne karar verebilmek için göz önüne alınması gereken ölçütlerin en önemlileri arasında, yolculuk süresi de bulunmaktadır. Yolculuk süresi, bir dizi unsurun etkisi altında bulunan ve koşullara göre farklılık gösteren bir değişkendir.

Bir yolcu için yolculuk süresi taşıt içerisinde geçen süre ile taşıt dışında geçen sürenin toplamından oluşur. Taşıt içinde geçen süre, taşıta binildiği anada başlar ve taşıttan inildiği anda biter. Bu zaman aralığında taşıt hareket halinde ya da duruyor olabilir. Taşıt dışında geçen süreyi ise şu bileşenlerle tanımlayabiliriz: başlangıç ile taşıta binilecek nokta (durak, otopark vd.) arasında geçen yürüme süresi, durakta beklenen süre, varsa aktarma için geçen süre, taşıttan inildikten sonra son noktaya varılması için gereken yürüme süresi.

Bir toplu taşıma aracı için yolculuk süresi, duraklar arasındaki uzunluğun kat edilmesi için geçen süre ile duraklarda harcanan süreden oluşur. Durakta harcanan süre de yolcuların araca binmeleri, inmeleri ve eğer varsa taşıtın kuyrukta beklemesi için geçen süreden ibarettir.

Duraklar arasındaki uzunluğu kat etmek için gereken süre, taşıtın normal trafik akışı içerisinde diğer taşıtlarla birlikte hareket edip etmediği ile doğrudan ilgilidir. Yolculuk süresi bileşenlerinden durakta bekleme süresi ise öncelikle yolcu talebine bağlıdır. Yolcu talebi arttıkça yolcuların taşıta binme ya da taşıttan inme süreleri artacak, bu da taşıtın durakta beklediği süreyi artıracaktır.

Taşıtların geliş sıklığına ve yine yolcu talebine bağlı olarak, durakta kuyruklanma, yani birden fazla taşıtın arka arkaya durak alanı içerisinde sıralanması olasılığı bulunmaktadır. Kuyruklanma durumunda öndeki taşıtın beklediği sürenin arkadaki taşıt ya da taşıtları etkilemesi ve durakta harcanan sürenin artması olasılığı bulunmaktadır.

Yolcuların taşıta binerken ve taşıttan inerken harcadıkları süre durakta harcanan toplam sürenin bir bileşenidir. Bir yolcunun ortalama biniş süresi, taşıtın bazı özelliklerine ve yolcunun biniş sırasında ücret ödeyip ödemediğine bağlıdır.

Bir toplu taşıma türünün bir koridordaki olası performansının değişik koşullarda nasıl gerçekleştiğinin öngörülmesinin sayısız yararı bulunmaktadır. Taşıtların sıklığı, durak yerleri, durak aralıkları gibi etkenler ile ilgili kararların sağlıklı bir şekilde alınabilmesi ve bunlara bağlı olarak yolculuk süresinin de öngörülmesi performansın belirlenmesi açısından önemlidir (Gedizlioğlu, 2007).

3.2.3 Hız

Performans kavramını ve performansa bağlı ulaşım unsurlarını en fazla etkileyen etmen hızdır. Aşağıda hız ile ilgili tanımlar verilmektedir.

PROJE HIZI: Yol geometrisinin verdiği olanak ölçüsünde, bir sürücünün yapabileceği en yüksek hız değeridir. Bu hız yolun tasarımı aşamasında yolun sınıfına, geçtiği bölgenin arazi kullanım şekline ve arazinin topoğrafik yapısına göre seçilir. Yolda sağlanması gereken minimum görüş uzunluğu, en küçük kurba yarıçapı, yatay kurbalarda uygulanacak deveder, geçiş eğrisinin uzunluğu seçilen proje hızına göre hesaplanır. Proje hızı değişince yolun geometrik standartları da değişir. Bu sebeple doğru olarak seçilmesinin önemi büyüktür (Yayla, 2002).

AKIM HIZI: Trafikteki taşıtların tek tek değil fakat oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yoldur.

SERBEST AKIM HIZI: Başlangıçta yolda çok az taşıtın bulunması; taşıtların birbirine etkisi söz konusu olmadığı durumda sürücünün kendi iradesi ile yaptığı hızdır.

ORTALAMA HIZ: Karayolunun belirlenen bir kesiminde belli bir süre içinde ve her iki yöndeki kesim üzerinden tüm taşıtların kat ettikleri uzunluğun ortalama yolculuk süresine oranı ile elde edilir.

Hız ile performans arasındaki ilişkiler aşağıda açıklandığı ve örneklendiği gibidir:

- İki şeritli karayollarındaki trafik işletme koşulları kesintisiz akım olan iki yönlü karayollarından farklıdır. Bu karayollarında öndeki aracın geçilmesi ve şerit değişimi karşı şeritten gelen trafiğin karşısında mümkündür. Her iki yöndeki trafik hacmi arttıkça buna paralel olarak öndeki taşıtları geçiş talebi artar ve karşı şeritteki geçiş kapasitesi hacim artışına paralel olarak düşer. Bu sebeple kesintisiz akım olan diğer karayollarından farklı olarak iki şeritli karayollarında bir yöndeki trafik akımı diğer yöndeki akımdan etkilenir. Sürücüler yolculuk hızlarını trafik hacminin büyüklüğü ve geçiş yapma kabiliyetine göre ayarlamak durumundadır.
- İki şeritli karayollarının en önemli amacı, ulusal karayolu ağında ve ülkedeki önemli bağlantılarda hizmet veren veya başlıca trafik üretim merkezlerine bağlantı kuran verimli bir hareketliliğin sağlanmasıdır. Bu yollar uzun mesafeli ticari ve turistik taşımacılığa hizmet verirken uzun kesimler boyunca trafikte kesintiler olmaksızın çoğu zaman kırsal ve zaman zaman da kentsel alanlar içinden geçerler. Bu yollardan beklenen konfor düzeyi, yüksek hızlı bir işletme ve çok sık yaşanmayan geçiş bekleme süreleri ile sağlanabilir.
- İki şeritli şehirlerarası karayollarının bir diğer grubu da iki nokta arasında, düşük trafik hacimlerinde her türlü iklim koşullarında hizmet vererek belli bir noktaya erişimi sağlar. Bu yollar için maliyet etkin erişim asıl önemli unsur olup temel hedef yüksek hız değildir. Kuyrukların oluşumuyla ortaya çıkan gecikmeler hizmet kalitesinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak daha yararlıdır.

- İki şeritli karayolları turizm alanlarına da hizmet verirken bu yollarda güvenli bir yol platformu istenir. Fakat yüksek hız ve seyir, beklenen ve istenen trafik güvenliği düzeyini sağlayamaz. Bu sebeple iki şeritli karayollarındaki hizmet kalitesini açıklamak için iki performans ölçütü bulunmaktadır:
- Takipte harcanan zaman yüzdesi
- Ortalama yolculuk hızı

3.2.3.1 Hız Denetim Yöntemleri

Sürücülerin hız seçimini etkilemek veya azaltmalarını sağlamak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Polis denetimi, sürücülerin hız seçimini önemli bir biçimde etkileyen unsurlardan en önemlisidir. Hem nesnel hem de öznel tespit edilme olasılığını arttıran polis denetimi, aynı zamanda kurallara uyumu da arttırmaktadır. Aşırı hız yapma, her zaman en ağır para cezasını gerektiren trafik ihlalleri arasında kabul edilmektedir. Hız denetim sistemleri, istenmeyen veya kabul edilmeyen davranışları ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Trafikte resmi taşıtlar ile yapılan geleneksel kontroller ile yoğunluk artırılmaktadır. Resmi taşıtlar kullanıldığında da kontrollerin etkisi önemli bir oranda artmaktadır. Ancak hız kontrolleri sivil taşıtlarla da desteklenmelidir. Böylelikle yoğun bir trafik denetimini yapılmaktadır. Uygulamada genellikle resmi ve sivil ekip taşıtlarının birlikte kullanıldığı görülmektedir. Her iki denetim yönteminin de fayda ve sakınca bulunmaktadır. Resmi taşıt kolayca görüldüğü için, denetim taşıtı olarak kullanıldığında genel bir önleyici etkisinin olduğu görülmektedir. Normal koşullarda, resmi taşıtı gören sürücü, hızını azaltarak emniyet kemerini kontrol etmekte ve denetim ekibinin bulunduğu yerden belirli bir uzunluğa kadar kurallara uygun davranmaya çalışmaktadır. Resmi trafik taşıtı yüksek hızın önlenmesinde daha etkili olmaktadır. Fakat sivil taşıtlarla yapılan denetimin hedefi ise, yol kullanıcıların ne zaman ve nerede denetime maruz kalacaklarına dair belirsizliği arttırarak sürücülerin sürekli hız kurallarına uymalarını sağlayabilmektir. Sivil taşıt denetimi, ciddi ihlallerde önleyici etkisi bulunmakla birlikte genel olarak önleyici bir etkisi çok fazla bulunmamaktadır. Birçok hız kontrol yöntemi, sürücü tarafından bilindiği veya görülebildiği için yakalanma riski altındaki sürücüler sıklıkla kontrol zamanında hız kurallarına uymaktadırlar. Bu yakalanma olasılığı kuvvetliyse olumlu, zayıfsa olumsuz bir durumdur. Ayrıca para cezalarının yüksekliği de önemli bir etkiye sahiptir. Trafikteki taşıtların hız kusurlarını kontrol altına almak ve azaltmak için birçok hız kontrol sistemleri ve sürücü yardımcı sistemleri kullanılmaktadır. Kullanılan hız kontrol sistemleri ve sürücü

yardımcı sistemleri aşağıda sıralanmıştır.

- Takoğraf (kilometre saati) ile hız kontrolü
- Kronometre (süre ölçer) ile hız kontrolü
- Hız sınırlayıcı ile hız kontrolü
- Radar cihazı ile hız kontrolü
- Lazer cihazı ile hız kontrolü
- Kilometre göstergesi ile hız kontrolü
- Mikro bilgisayar ile hız kontrolü
- Otoyol gişe biletleri ile hız kontrolü (Çavdar, 2008).

3.2.4 Rotalama

Günümüzde bilişim teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte işletmelerin bu gelişmelere ayak uydurabilmeleri ve ayakta kalabilmeleri için kendilerini yenilemeleri gerekmektedir. Bu açıdan müşteri taleplerinin zamanında ve en az maliyetle karşılanması da önem kazanmıştır. Bunu sağlamak için kullanılan Araç Rotalama Problemi (ARP) bu tür problemlerin çözümünde kullanılan karmaşık bir optimizasyon problemidir. Geleneksel ARP, merkezi bir depoda bulunan sınırlı kapasiteye sahip araçlar için, depoyu içeren coğrafi bir alanda değişik noktalara dağılmış tüm müşterilere en az maliyette servis yapılacak rotaların bulunmasıdır. Maliyetin az olması, aracın kat ettiği yolun en kısa olanını gerektirmektedir. Bir noktadan başka bir noktaya giderken en kısa yolun tercih edilmesi maliyetin azaltılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımı araç rotalarının tespitinde en kısa yol yaklaşımı olarak adlandırmak mümkündür. Bu yaklaşım yalnızca müşteri taleplerinin karşılanmasında değil aynı zamanda 112 acil servis araçlarının ve ambulansların hastanın bulunduğu noktaya ulaşmasında kullanacağı en uygun geçki ve hastaya ulaşıktan sonra hastaneye gitmek için kullanacağı en uygun geçkinin belirlenmesinde de kullanılır.

ARP' nin içinde değişmeyen üç tane unsur vardır. Bunlar araçlar, depolar ve müşterilerdir. Problemi uygulamak için bu üç unsurun sisteme ilave edilmesi gerekir. Araçlar, depolar ve müşteriler aşağıdaki temel özelliklere sahip olduğu varsayılarak, rotalama problemlerinden istenilen performans sağlanması hedeflenir.

Araçlar;

- Hepsi aynı özelliklere sahiptir.
- Sınırlı kapasiteleri vardır.
- Belirli hızlara sahiptir.
- Hepsi depodadır.

Depolar;

- Sınırsız ürün stokuna sahiptir.
- Araçların bulunduğu yerlerdir.
- Bir düğüm üzerinde konumlandırılmışlardır.

Müşteriler;

- Deponun bulunduğu düğüm dışında her düğüm bir müşteriye ifade etmektedir.
- Belirli ürün talebinde bulunabilirler.

Kısaca; Araç Rotalama Problemi; müşteri, uzunluk, zaman, kapasite gibi kısıtlar da göz önüne alınarak ve değişen koşullara (talepteki değişiklikler, trafik koşulları, kapasite aşılması gibi) ayak uydurabilen ve hızlı bir şekilde optimize edilebilen rota planlarının oluşturulması ile çözümlenerek işletmelere pazarda söz sahibi olma imkanı vermektedir.

Tüm bu bilgilerin ışığında araç rotalama problemi çözümlenmek istendiğinde yukarıda bahsedilen; hangi sistemin kullanılacağı, taşımacılık türü, taşınacak yükün cinsi, taşınacak yükün miktarı, nerden nereye, hangi şartlarda taşınması gerektiği ve bu durumlara bağlı olarak değişkenlik gösteren tüm kısıtlar öncelikli olarak ortaya konmalı ve bu girdiler ışığında elde edilmek istenen tüm çıktıların optimum seviyede “eniyeleme” ile elde edilmeye çalışılmalıdır (Çetin, 2002).

3.2.5 Tıkanıklık

Büyük ve kalabalık kentlerde iş, okul ve diğer amaçlı etkinlikler için yapılan yolculuklar, kentiçi yollarda büyük değerlerde taşıt trafiği yaratmaktadır. Sabah ve akşam zirve saatlerde meydana gelen tekrarlı trafik tıkanıklıklarının nedeni, her gün neredeyse aynı yer ve zamanda oluşan darboğazlardır. Bu nedenle, etkin ve verimli trafik uygulamalarında kendisini göstermektedir. Trafik tıkanıklığının kaynağı olan darboğazlar bu nedenle trafik mühendisliği çalışmalarında özel bir öneme sahiptir. Darboğazların oluşma yeri, zamanı ve kapasitesi gibi

özelliklerin belirlenmesi için kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır (Şahin, 2004).

2003 TMMOB Ulaştırma Politikaları Kongresi'nde 'Bütünleşik Ulaşım Politikası ve Avrupa Kentsel Şartı, Ulaşım ve Dolaşım İlkeleri' konulu bildiride söz edilen bazı kanılar ve gerçekler aşağıda açıklandığı gibidir.

- 'Yeni yollar açılarak, mevcutlar genişletilerek tıkanıklık azaltılsın'

Dünya deneyimleri bu yaklaşımın gerçekçi olmadığını göstermektedir. Yeni yol açılması veya mevcutların genişletilmesi otomobil kullanımını tetiklemektedir. Yeni yollar ile daha fazla aracın trafiğe çıkması ve otomobil ile daha uzun yolculuklar yapılması özendirilmektedir. Bu gelişme kısır döngüyü tetiklemekte, yollar hızla yeniden tıkanmaktadır.

Sonuç: Kentlerde trafik tıkanıklıkları yeni yol ve kavşak yapılarak değil, işletme karar ve önlemleri ile hafifletilebilir.

- 'Katlı kavşaklar trafik tıkanıklığını çözer.'

İnsanların yoğun yaşadığı kentlerde can ve trafik güvenliği ve yolların daha verimli kullanımı için hız sınırı 50 km/sa olarak belirlenmiştir. Öncelikle katlı kavşak çözümleri ile koridorlarda hız artmakta, can güvenliği azalmaktadır. Teknik olarak da, katlı kavşakların getirdiği hız ve yoğunluk artışı ile taşıt akışkanlığı koridorlardaki belirli bir yoğunluk düzeyinden sonra olumsuz yönde etkilenmekte, yoğunluk artışı ile yoldan geçebilen taşıt adedi azalmaya başlamaktadır.

Sonuç: Trafik tıkanıklığının ana nedeni, koridordaki taşıt yoğunluğunun artmasıdır, yani taşıt fazlalığıdır. Katlı kavşaklar ile taşıt yoğunluğu kontrol edilemez hale gelir.

- 'Otopark yapılırsa yollar boşalır.'

Kent merkezinde çok sayıda ve ucuz otopark yeri sağlanması halinde yolların otomobillerden arınacağı fikri geçersizdir. Deneyimler yeni yol – dışı otopark yapılan bölgelerde yolların boşalmadığını göstermektedir. Talep bölgelerinde yeni otoparklar açılması durumunda, yeterli otopark olmaması nedeni ile bu bölgelere otomobilleriyle gelmeyen kişilerin otomobillerini tekrar kullanmaya başladıkları görülmektedir.

Sonuç: Merkezi bölgelerde yeni otopark alanları tesis edildikçe, o bölgelere yönelen yollardaki trafik tıkanıklıkları artacaktır. Otopark adedini kısıtlamak, trafik tıkanıklıklarını azaltmak için bir araçtır (Acar, 2003).

3.3 Ulaştırma Sisteminden Etkilenenlere Göre Performans Ölçütleri

Şimdiye kadar anlatılan, ulaştırma sistemlerinin var olmasına sebep olan talep kavramı; arazi kullanımı, ekonomik ve sosyal etkinlikler ile bunların yarattığı ulaşım ihtiyacını ve talebini oluşturmaktaydı. Sistemin kurulması ve işletilmesi aşamaları için gerekli sermaye, emek, teknoloji ve enerji kaynakları ile doğal, yasal, idari, kurumsal, ekonomik, sosyal ve güvenliğe yönelik kısıtlar ulaştırma sistemlerinin kaynak ve kısıtlarını oluşturmaktaydı. İşte tüm bu etkileşim ve hizmetlerin sonucunda da ortaya bir takım sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar ulaştırma sistemleri hiyerarşisinde sunu ve etkiler olarak tanımlanmaktadır. Sunu, ulaştırma şebekesi boyunca ulaşım imkanları ve maliyetlerini, taşımacılık ücretlerini ve tüketilen kaynakları kapsamaktadır. Erişebilirlikteki zamansal ve mekansal değişimler, etkinliklerdeki mekan ve boyut değişimleri, hareketlilik değişimi, taşınır ve taşınmazların değerindeki değişimler, bölgesel, sosyal ve ekonomik değişimler, arazi kullanımındaki değişimler, gürültü düzeyinin değişimi, hava, toprak, su kirliliği, ekolojik dengenin değişimi, kent görünümünün değişmesi, yaşam koşullarındaki değişimler ise etkiler olarak adlandırılır.

Ulaştırmadaki sunu kavramının, sunu eylemlerinde etkileyici ve etkilenen rollere sahip olan üç grubun değerlendirmelerine, algılamalarına ve etkilenmelerine göre incelenmesi gereklidir (Çizelge 3.3).

- Ulaşım olanaklarını sunanlar (Merkezi ve yerel yönetimler, işletmeciler)
- Sistemi kullananlar (Özel araç sahipleri, işletmeciler, yolcular, yük sahipleri)
- Sistemi kullanmayanlar ve çevre etkileri (Erel, 2007)

Çizelge 3.3 Ulaştırma sistemini sunanlar, kullananlar ve kullanmayanlar açısından performans ölçütleri

SUNANLAR AÇISINDAN	KULLANANLAR AÇISINDAN	KULLANMAYANLAR VE DİĞER ÇEVRE BİLEŞENLERİ AÇISINDAN
ULAŞIM AĞININ YAPIM, BAKIM, DENETİMDEN SORUMLU KURUMLAR *Şebeke karakteristikleri *Şebeke denetimi ULAŞTIRMA İŞLETMELERİ *Taşıma şebekesi *Rotalar *Kalkış - varış çizelgeleri *Taşıt çizelgeleri *Taşıt filosu *Maliyetler *Taşıma ücretleri *Hizmetin sunulması *İşletme denetimi	ULAŞTIRMA İŞLETMELERİ VE ÖZEL ARAÇ SAHİPLERİ *Erişebilirlik *Seyir ve yolculuk koşulları YOLCULAR VE YÜK SAHİPLERİ (Hizmet Özellikleri) *Erişebilirlik *Sıklık *Ulaşım süresi *Taşıma kapasitesi *Konfor *Dakiklik *Ulaşım maliyeti *Güvenlik	*Erişebilirlikte mekansal ve zamansal değişimler *Etkinliklerde mekansal ve boyutsal değişimler *Hareketlilik değişimi *Taşınır ve taşınmaz malların değişimi *Bölgesel sosyal ve ekonomik değişimler *Arazi kullanımındaki değişimler *Gürültü *Hava, toprak, su kirlenmesi *Ekolojik denge değişimleri *Yaşam koşullarındaki değişimler

3.3.1 İşletmeciler ve Sistemi Kullananlar Açısından Performans Ölçütleri

Ulaştırma sistemlerinin kullanıcıları olduğu gibi işletmecileri de vardır. Bu işletmeciler devlet kuruluşlarının yanı sıra özel girişimciler de olabilmektedir. Özellikle özel girişimcilerin işlettikleri ulaştırma hizmetlerinde ekonomik kazanç ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle ulaştırma sistemleri oluşturulurken hem kullanıcı, hem işletmeci hem de toplumsal unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda işletmeci ile kullanıcının bazı çıkar çatışmaları olmaktadır.

—İşletmeci, kendisine en uygun gelen yani işletmecinin kendi değer ölçütlerine göre kullanıcıyı da belli ölçülerde tatmin edip kendi pazarından uzaklaşmasına sebep olmayacak bunun yanında da kendi çıkarlarını da kollayacak bir tarzda işletimi benimser.

—Kullanıcı da kendi isteklerini tam olarak karşılayan, en azından kendi yolculuk isteklerine en yakın şartları sunan işletmecileri tercih etmektedir.

—Kullanıcılar daha güvenilir, daha konforlu, daha düzenli ve daha hızlı bir sistem isterken, işletmeciler de masraflarını en aza indirmek isterler.

—İşletmeciler, akılcı ve çekici bir hizmet sunmak istiyorlarsa, bu çıkar çatışmasını sürekli olarak gözlemleyip işletme stratejilerini sürekli olarak günün şartlarına uydurmak durumundadırlar. Çünkü işletmecilikte sunu özellikleri, ulaşım olanaklarını sunanların kararlarına göre belirlenen; şebeke, seferlerin zaman çizelgeleri, rotalar, taşıt filosu, maliyetler, taşıma ücretleri, hizmet kalitesi gibi yolcuların gözüyle değerlendirilen özelliklerdir.

Karayolu taşımacılığında işletme üç şekilde ele alınabilir.

- **Kamusal İşletmecilik:** Yerel, bölgesel ve merkezi hükümet otoriteleri ve organizasyonları tarafından yapılan işletmedir. Kamu otoriteleri toplu taşıma hizmetlerini sunarken işletim için çeşitli görev dağılımı yapabilir.
- **Özel İşletmecilik:** Bu tür işletmecilikte yasal ve ekonomik anlamda her türlü yetki özel işleticilere aittir. İşleticiler sınırlı sorumlu şirketler veya geniş bir payı kamuya ait olmak üzere belli bir hisse yüzdesi ile çalışan şirketler olabilir. Bu şirketler kendi aralarında bir ortaklık kurup yerel yönetimlerden alınan lisans ve yerel yönetimlerle yapılan anlaşmalarla işletmecilik yapabilirler.
- **Karma İşletmecilik:** Karma işletmecilikte sahiplik kamu ve özel işletmecilik arasında paylaşılmıştır. Sunulan hizmetin sonuçlarından doğan sorumluluk her iki tarafa aittir. Bu tür işletmecilikte özel sektör hissedarlarının kontrolü daha muntazam yapılmaktadır. Ayrıca sistemin etkinliği ve çalışanların haklarının korunması açısından karma işletmecilik savunulan ve tercih edilen bir işletmeciliktir (Yayla, 2004)

3.3.1.1 İşletmeler Açısından Taşıt Filolarının Önemi

Taşıt filoları ulaştırma sisteminde işletmecilerin yönetimi altında bulunan sistem bileşenleridir. Bir (özel) işletmenin yönetiminde en öncelikli amaç işletmenin kârlılığının sürdürülmesidir. Bu durumda elde bulunan taşıtların en kârlı şekilde kullanılmasına özen gösterilecektir. Bunun sağlanması için taşıt filosunun sürekli şekilde sistem üzerinde yeniden dağıtımının yapılması gerektiğinde, boş taşıta ihtiyaç duyulan, sistem üzerindeki diğer noktalara gönderilmeleri gerekmektedir.

Ayrıca, sistem üzerinde her noktada aynı büyüklükte yolculuk istemi olmayacağı açıktır. Bu sebeple düşük istem olan yerlerde daha küçük kapasiteli taşıtlar kullanılması daha verimli olabilecektir. Böylelikle eldeki taşıt filosunun tip açısından farklılık göstermesi durumu söz konusu olmaktadır. Farklı tipte taşıtların kullanılması filo boyutlandırılması konusunda etkili olan bir değişkendir.

İşte bu noktada, işletmecinin hizmeti sunmasında faydalandığı en büyük yatırımı olan taşıt filosunun boyutunun önemi ortaya çıkmaya başlamaktadır. Fakat işletmenin kendi ihtiyaçlarına yanıt verebilecek olandan daha büyük bir taşıt filosunu elinde bulundurması atıl kaynaklar yaratır. Tabii bu atıl kaynakların durdukları yerlerde işletmeye maliyetleri olacaktır. Bunun yanında işletme kendine yetecek büyüklükte bir taşıt filosuna sahip değilse, bu durumda pazar içerisinde kendisine gelecek olan yolculuk isteminin bir kısmını geri çevirmek durumunda kalacak ve olası gelirlerinden zarar edeceği gibi zaman içerisinde güvenilirliğini de yitirip, mevcut pazar payını da kaybedecektir.

Değinilmesi gereken diğer önemli bir nokta da, elde bulunan taşıt filosunun nasıl en etkin bir şekilde kullanılması gerektiğidir. İşletmecinin elinde yeterince büyük bir taşıt filosu bulunmasına karşın etkin bir hizmet sunamıyor olabilir. İşletmeci ulaştırma sisteminin dinamik ve stokastik yapısını dikkate almıyor ve durağan bir çevrede işletmecilik yaptığını varsayıyor olabilir. Bunun yanında, istem değişken olduğu için, her zaman beklediği kadar bir kârlılığa da erişemeyecektir.

Taşıtlarının beklediği kadar çalışmadığı zamanlarda, gereğinden fazla atıl kaynağa sahip olacak ve bunlar için maliyet ödemeye (depo, amortisman, taşıt personeli) zorunda kalacaktır. Hele kiralama yolu ile taşıt filosu işleten kurumlarda etkin bir hizmet sunmak iyiden iyiye ön plana çıkacaktır.

3.3.1.2 Ücret Stratejileri Açısından Performans Ölçütleri

Ulaştırma türlerine olan istemlerin belirlenen en önemli değişkenlerinden bir tanesi de ulaştırma için istenilen ücrettir. Bir bölgeye ait yolculuk çekiminde, dağılımında, maliyet, gerek bireysel gerek kurumsal gerekse de işletimsel açıdan önemli rol oynamaktadır. Ayrıca ulaşım ücretinin belirlenmesinde ulaşım ağının geçkisi, ulaşım alanının ekonomik ve sosyal yapısı, ulaştırılacak yolcu veya yük miktarı, ulaşım süresi, ulaşım türü tercihi belirleyici etmenlerdendir.

Ulaştırma sistemlerinde genel olarak kullanılan dört ücret ödeme şekli vardır.

- Yolculuk sırasında ödenen nakit ücret (elden ele)
- Parası önceden, peşin ödenen yolculuklara ait ücretler (ücretin yine bir şahsa ödendiği)
- Kişisel olarak toplanarak ödenen ücretler (bir görevli olmaksızın makinelerden bilet alımı)
- Ödeme koşulları otomatikleştirilmiş kontrol sistemli ücretlendirmeler (mekanik bilet ve kartlar)

Yolculuk sırasında nakit ödenen ücret, ulaşım ücreti ödemenin doğrudan yoludur. Nakit ödemenin (elden ele) birkaç önemli yanı, yolcular tarafından daha az bir konfor talebi bulunması, aracın konforunun göz ardı edilebilmesi, kısa mesafeli yolculuklar için daha geçerli olmasıdır. Örneğin ücret iletimi sırasında kazaya yol açan durumlar olduğu da gözlenmiştir. Ayrıca nakit ödeme sırasında seyir süresinde uzama da zaman zaman etkili bir unsurdur.

Özellikle son yıllarda daha da yerleşen, parası önceden peşin ödenen yolculuklara ait ücret ödemenin değişik şekilleri:

- Ücret için önceden alınan biletler, ulaşım başlamadan ödenen toplanan ücretler
- Günlük, aylık, yıllık gibi toptan ödenen ücretler

Bir ulaştırma ağı üzerinde değişik türdeki taşıtların hiçbir kurala uymadan hareket etmeleri, bu ağdan yeterince yararlanılmasına engel olmasının yanı sıra, ulaşım güvenliğini de azaltır. Ulaşım ağları üzerinde özel taşıt sahipleri kendi gereksinimlerini karşılamak için bireysel ulaşım ve taşımacılık yapabildikleri gibi, bazı kurumlar da sosyal hizmet ya da kar amacıyla yolcu ve yük taşımacılığı hizmeti sunmaktadır. Bu nedenle hedef ve amaçlara yönelik olarak, hangi ağ kesimi içinde, hangi terminaller arasında, ne tür araçlarla, hangi rotaları izleyerek ve hangi ücretlerle taşımacılık yapılacağıın planlanması, bunun uygulanması ve sürekli denetlenmesi gerekmektedir.

3.3.2 Sistemi Kullanmayanlar (Ekosistem) Açısından Performans Ölçütleri

Yeterli bir ulaştırma sistemi olmadan sosyal ve ekonomik hayatı canlı tutmak mümkün değildir. Bu nedenle, doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması, mal ve hizmetlerin hızlı dağıtılması, iç ve dış ticaretin geliştirilmesi, ancak ulaşımın dikkatli bir şekilde planlanması ve düzenli bir ulaştırma ağının oluşturulması gereklidir. TCDD APK Dairesi tarafından hazırlanan bir raporda, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre hazırlanmış yıllara göre enerji tüketimi Çizelge 3.3' de görüldüğü gibidir (Ay, 2006).

Çizelge 3.4 Ulaştırma sistemlerinin enerji tüketiminde karayollarının payı

YILLAR	KARAYOLU	DEMİRYOLU	DENİZYOLU	HAVAYOLU
1994	% 89	%3	%2	%6
1995	% 86	%3	%2	%9
1996	% 87	%3	%1	%9
1997	% 86	%3	%1	%10
1998	% 86	%3	%1	%10
1999	% 87	%3	%2	%8
2000	% 88	%2	%2	%8
2001	% 87	%2	%2	%9
2002	% 93	%2	%2	%3

Ulaştırma sistemlerinin çevreye ve insana verdikleri zararlar farklı boyutlarda ve farklı özelliklerdedir. Ulaştırma alt sistemlerinin yapımı sırasında doğal arazinin tüketilmesi ve bölünmesi, işletimi sırasında meydana gelen kazalar, hava ve gürültü kirliliği oluşturması ve salınan CO₂ nedeniyle iklim değişimine katkıda bulunması ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir. Bu etkilenmeden tüm canlılar gibi insanlar da zarar görmektedir. Ulaştırma alt sistemlerinin çevre üzerindeki başlıca olumsuz etkileri Çizelge 3.5' de görülmektedir.

Çizelge 3.5 Ulaştırma sisteminin başlıca çevresel etkileri

ÇEVRESEL ETKİ	ULAŞTIRMA SİSTEMİNİN ETKİSİ
İklimsel değişim	CO ₂ , NO ₂
Asidifikasyon	SO _x , NO _x
Hava Kirliliği	NO ₂ , PM, PAH, benzen... vd.
Gürültü	Gürültü seviyeleri
Peyzaj üzerindeki etkiler	Tesis inşası ve işletilmesi için arazinin doğal yapısının bozulması
Atıklar	Su ve toprağın kirlenmesi

Ulaştırma sistemlerinin çevresel olarak en olumsuz etkilerinden birisi de hava kirliliğidir. Hava kirliliğinin en büyük sebebi, motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtın yanmasıdır. Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtın yanması sonucunda, yakıtı oluşturan hidrokarbonlar havadaki oksijenle birleşmekte, insana ve ekosisteme zararlı olan birçok bileşik oluşmaktadır.

Karayollarında taşıtların yakıt tüketimlerinin azaltılması için üzerinde çalışılan başlıca teknolojik alanlar; taşıt boyutunun ve kütesinin azaltılması, motor ve lastik performansının iyileştirilmesidir. İnsan ve çevre sağlığı söz konusu olduğundan, ortaya çıkan kirleticilerin yanı sıra yakıtın yanabilmesi için tüketilen oksijen miktarı da göz önüne alınmalıdır. Bunun sebebi, bir litre yakıtın yanması sırasında 10 kişinin bir günlük oksijen tüketimine denk oksijen miktarına ihtiyaç vardır. Ulaştırma sistemlerinin çevresel olarak diğer bir olumsuz etkisi de gürültü kirliliğidir. Gürültü, nüfusu çok olan alanlardaki yoğun trafikli yollarda insan sağlığını tehdit eden çevresel bir etkidir. Ulaşım gürültüsü, sürekli olarak maruz kalınan gürültü kaynaklarından birisidir. Gürültü insan sağlığı üzerinde kan basıncının yükselmesi, sinirlilik gibi geçici etkilerin yanı sıra işitme kaybı gibi kalıcı hasarlar da yaratabilen ciddi bir çevresel problemdir (Ay, 2006)

3.4.Karayollarında Trafik Güvenliği Açısından Performans Ölçütleri

Ulaştırma sistemleri performans ölçütlerinden olan güvenlik, ulaşım sırasında yolcular için yaralanma ve ölüm ile yükler için bozulma, kırılma, hasarlanma ile sonuçlanan kaza olasılığı olarak değerlendirilir. Aktif ve pasif olmak üzere iki tür güvenlik söz konusudur. Aktif güvenlik, taşıtların değişik nedenlerle kazaya uğramama olasılığı, pasif güvenlik ise kaza

sırasında taşıt içindeki yolcu ve yüklerin yaralanma, ölme ve hasarlanma olasılığı olarak tanımlanır (Erel, 2007).

Trafik güvenliği, çevre, taşıt ve insanın etkileşimi sırasında ortaya çıkabilecek muhtemel sorunları, çözüm önerilerini ve geliştirilen yöntemleri içeren çok yönlü bir konudur. Yolun geometrisi, yapım kalitesi ve bakımı, geçit ve kavşakların varlığı ve kullanılabilirliği, trafik kontrol işaretlerinin yerleri, sürekliliği ve görünürlüğü, sürüş ortamının çeşitliliği ve sürücü performansı güvenliği etkileyen önemli faktörlerden bazılarıdır (Çavdar, 2008).

3.4.1 Yolun Geometrik Standartları

Trafik güvenliği yol tasarımında ön planda tutulması gereken ve kazaların çok olduğu ülkemiz için önemli bir husustur. Bu nedenle geometrik standartları seçerken trafik güvenliğini artıran değerlerin tercihi uygun olur.

Bir yolun geometrik standartları; genişliği, yatay ve düşey kurbaların yarıçapları, dever, boyuna ve enine eğim gibi plan ve boykesit ile ilgili değerlerdir. Geometrik standartları yüksek bir yolu kullanmak hızlı, güvenli ve konforlu bir ulaşım olanağı sağlaması, ayrıca taşıt işletme maliyetlerini azaltması bakımından da tercih edilen bir durumdur.

Trafik güvenliği açısından önemli olan yol geometrik standartlarının seçiminde etkili olan unsurlar aşağıdaki gibidir.

- Yolun sınıfı geometrik standartların seçiminde dikkate alınan önemli bir unsurdur. Hızlı, konforlu bir yolculuğa hizmet vermesi istenen ve anayol sınıfına giren bir yol için standartların yüksek tutulması doğaldır. Buna karşılık trafiğin az, ortalama yolculuk uzunluğunun kısa olduğu yerel yollar için standartların düşük tutulmasında önemli bir sakınca yoktur.
- Yolu kullanacak trafik miktarından yolun şerit sayısını belirlemede yararlanır. Bu sırada yolun 20 – 25 yıl sonrası için beklenen trafiği öngörülen hizmet düzeyinde geçirmesi istenir. Gerçekte yolun sınıfı ile trafik miktarı birbiri ile ilişkilidir. Yolu kullanacak trafik miktarı büyük ise bu trafiği geçirmek üzere standardı yüksek bir yolun yapılması gerektiği açıktır.
- Trafiği oluşturan araçların türlerinin oranlarına göre, şerit genişliği ve boyuna eğim gibi değerlerin seçilmesinde önemlidir. Ayrıca üst yapı tasarımında trafikteki ağır taşıt oranının bilinmesi gerekir.

- Seçilen geometrik standartların uygulanmasının getireceği maliyet ile arazinin topoğrafik durumu arasında doğrudan bir ilişki vardır. Düz arazilerde yüksek standartların uygulanması daha kolay ve ucuzdur.
- Yolun geçeceği bölgenin zemin durumu, iklim koşulları, hakim arazi kullanım şekli, kentiçi yollarda kentin tarihi dokusu ve yerleşme yoğunluğu yol geometrik standartlarının seçilmesinde etkilidir (Yayla, 2002).

3.4.2. Yol Yapım Kalitesi ve Bakımı

Kapasite ve hizmet düzeyi analizlerinde ilk hareket noktası ideal koşullardaki değerlerin belirlenmesidir. Daha sonra gerçek yol, trafik ve denetim koşullarına göre düzenlemeler yapılır. Bir yol için ideal koşul; daha ileri bir iyileştirmenin yolun kapasitesi ve hizmet düzeyinde bir artışa yol açmadığı durumdur. İdeal yol koşulları aşağıdaki gibidir:

- Şerit genişliği 3,65 m
- Banket genişliği 1,80 m
- Yolun doğru kesimlerinde görüş mesafesi minimum 450 m

Yolun sınıfı ve yakın çevresindeki arazi kullanımını özellikleri kapasite ve hizmet düzeyi üzerinde son derece etkilidir. Yolun kesiksiz sürekli bir akıma olanak vermesi, orta ayırıcı bulunması, gelişi güzel girişlerin olmaması kapasiteyi ve hizmet düzeyini artıran durumlardır.

Şerit ve banket genişliğinin normalden küçük olması ya da yanda trafiğe açık kaplamaya yakın istinat duvarı, köprü kenar ayağı, trafik levhası, aydınlatma direği ya da park edilmiş taşıt gibi bir engelin bulunması sürücülerin yolun içine yani komşu şeride doğru kaymalarına, hızlarını düşürmelerine ya da takip aralığını artırmalarına yol açar. Böylelikle yolun kapasitesi düşer.

Dağlık araziden geçen yollarda bulunan yüksek eğimli, uzun rampalar özellikle iki şeritli iki yönlü yollar için önemli olup bu tür yollarda kapasite ve güvenlik azalmaları olur. Bunu durumu engellemek amacıyla ağır taşıtların kullanılmaları için tırmanma şeridi yapılmalıdır.

Rampadaki tırmanma şeritleri yanında kavşaklarda hızlanma ve yavaşlama şeritlerinin bulunması, dönüş yapacak sürücüler için ek şeritlerin yapılmış olması, farklı yönlerden gelen trafik akımlarının birleşip ayrıldığı örülme kesimleri için yeterli uzunluk ve genişlik sağlanması kapasiteyi olumlu yönde etkileyen durumlardır.

Diğer bir unsur yolun yüzey durumudur. Bozulmuş, kötü bakımlı kaplamalar, özellikle hız, konfor, taşıt işletme maliyeti ve güvenliği olumsuz yönde etkiler (Yayla, 2002).

3.4.3 Kavşakların Varlığı ve Önemi

Kent merkezinde, özel araç kullanımını çekici hale getiren katkı kavşak düzenlemelerinin ulaşım sorununa kalıcı bir çözüm getirmesi imkansızdır. Kentin bu kesiminde toplu taşıma ve yayaya yönelik önlemlerle özel oto kullanımını kısıtlanmalıdır. Kentin diğer bölgelerinde ise kavşak kapasitesinin artırılması konusunda önlemler, kapsamlı sayım, etütler ve hacim / kapasite hesaplarına dayanan projeler uygulamaya dönüştürülmelidir. Projeler ulaşım sistemi bütünlüğü içinde hazırlanarak denetlenmelidir. Tıkanmanın olduğu kavşak kolu ve tıkanmanın başlayacağı zaman dikkate alınarak projelendirmeye gidilmelidir (DPT, 1995).

3.4.4 Sinyalizasyon

Trafikte en önemli etkenlerden biri de sinyalizasyon sistemleridir. Trafik akışının ve güvenliğinin sağlanması için önemli kavşakların sinyalize edilmesi ve devre zamanlamasında optimizasyona gidilmesi gerekmektedir.

Ana caddelerin aşırı yüklenmesi ve araç sahipliğinin artışı ile birlikte yan yollara sıçrayan trafik nedeniyle yaya ve sürücü güvenliği azalmaktadır.

Sinyalizasyon sistemlerinin iyileştirilmesinde, sistemin dalgalanan trafik talebine yanıt verebilecek, gerekli yer ve zamanlarda toplu taşıma araçlarına ve yayalara öncelik sağlayabilecek, esnek kavşak kontrol yöntemlerinin uygulanabildiği, kentin büyümesine uyumlu bir donanım içermesine önem gösterilmelidir.

Sinyalizasyon sistemi trafik polisinin müdahalesi olmadan kesintisiz çalıştırılabilmelidir.

3.4.5 Trafik Kazaları ve Değerlendirmesi

Trafik kazaları bütün Dünya’da yaralanmalara bağlı ölümler içinde ilk sırada yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, 7 Nisan 2004 Dünya Sağlık Günü’nde trafik kazalarının önlenmesi konusunu ele almıştır. Birçok ülkede olduğu gibi, Türkiye’de de trafik kazalarındaki yaralanmalar ve ölümler son derece önemli bir halk sağlığı sorunudur.

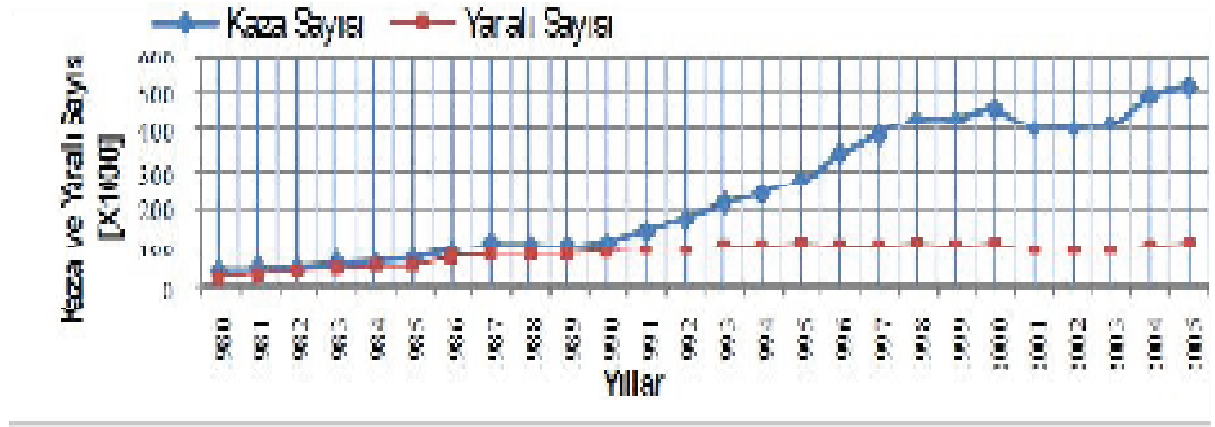
Taşıt sayısındaki artış oranlarına göre trafik kaza oranları ve kazalardaki ölüm oranları son yirmi yılda azalma göstermiştir. Bu azalma hem yasal düzenlemelerden, hem de yıllar itibari ile trafik denetimi ve taşıt güvenlik sistemlerindeki gelişmelerden kaynaklanmaktadır. Türkiye’de son on yılda meydana gelen trafik kazalarına sebep olan kusur oranlarına dair

yapılan incelemelerde, sürücü hatalarından kaynaklanan kazaların toplam kazalara oranı %95 değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu oranlar arasında yer alan sürücü hız kusurlarının, kazalara etkisinin doğrudan ve dolaylı olarak yaklaşık %30 olduğu öngörülmektedir. Trafik veya sürüş güvenliliğinin sürekliliği için hız kusurlarının farklı denetim ve azaltılma yöntemleri ile kontrol altına alınması gereklidir (Çavdar, 2008). Çizelge 3.6’ da sürücüye, karayoluna, çevreye ve taşıta ilişkin hız seçimini etkileyen unsurlar verilmiştir. Bu unsurlar aynı zamanda ulaştırma sisteminin performansını etkileyen sebep ve sonuçların kaynağını oluşturmaktadır.

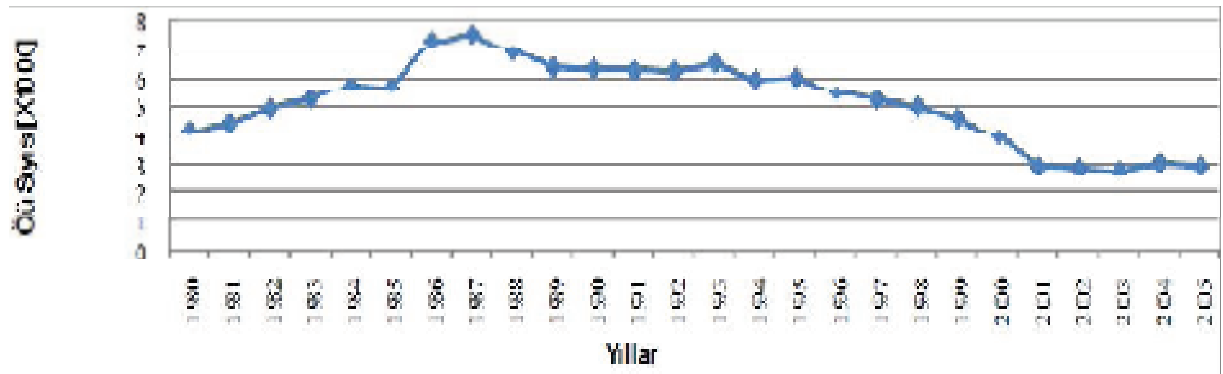
Çizelge 3.6 Sürücülerin hız seçimini etkileyen unsurlar (Çavdar, 2008)

Sürücülerin Hız Seçimini Etkileyen Önemli Unsurlar			
1.Sürücüye İlişkin	2.Karayoluna İlişkin	3.Çevreye İlişkin	4.Araca İlişkin
Yaş ve cinsiyet	Genişlik ve eğim	Hava durumu	Motor gücü
Reaksiyon süresi	Çizgiler ve yol çevresi	Yol durumu	Maksimum hız
Heyecan arama ve düşünme	Düzenlemeler	Işık durumu	Konfor
Riski kabullenme	İşaret levhaları	Yol aydınlatmaları	Yük durumu
Hasarı algılama	Yüzey kalitesi	Hız sınırı	Takoğraf cihazı
Alkol düzeyi	Kavşaklar	Denetim	Aktif güvenlik sistemleri
Taşıt sahipliği	Orta ayırıcı	Trafik yoğunluğu	Pasif güvenlik sistemleri
Yolculuktaki olaylar	Gürültü bantları	Görüş açısı	
Taşıtın doluluğu	Kasisler		
Kabiliyet ve deneyim	Dönemeçler		
Psikolojik durum	Yaya ve okul geçitleri		
Eğitim durumu	Tüneller		
Yolculuk süresi	Trafik lambaları		
Ekonomik güç			

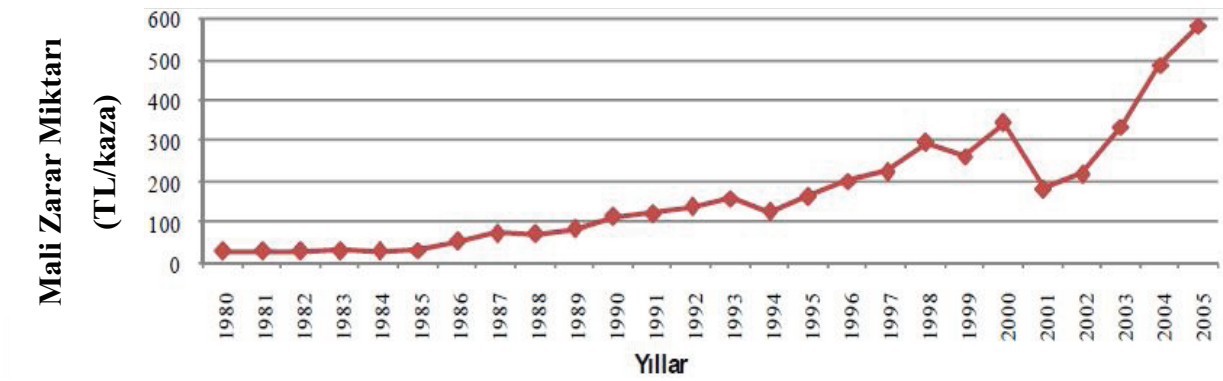
Şekil 3.3 – 3.5 incelendiğinde, kaza sayıları arttıkça yaralı sayısı kararlı bir seyir izlemekte, ölüm oranları azalmakta, maddi kayıplar ise kaza sayılarına bağlı olarak sürekli artmaktadır. Burada hem yaralı hem de ölü sayısındaki sonuçlar azda olsa iyiye gidişin bir göstergesidir.



Şekil 3.3 1980 – 2005 yılları arasındaki kaza ve yaralı sayısı



Şekil 3.4 1980 – 2005 yılları arasındaki ölü sayısı



Şekil 3.5 1980 – 2005 yılları arasındaki mali zarar miktarı

3.4.5.1 Trafik Kazalarında Hız Etkisi

Hız sınırlarının saptanması veya hız kullanma haklarının kısıtlanması kamu yararına bir önlemdir. Karayolları üzerinde hız sınırlamaları uygulamalarında ilk sorumluluk motorlu taşıtları kullanan sürücülere düşmektedir. Trafikte insanların güvenlik ihtiyacı birincil bir ihtiyaç niteliği taşımaktadır. Taşıtların yaptığı ortalama hızdan daha yavaş gitmesi

durumunda da trafik güvenliği tehlikeye düşeceğinden karayollarında gidilebilecek minimum hızlar da belirlenmiştir. Ülkemizde zorunlu haller dışında en düşük hız otoyollarda 40 km/sa, şehirlerarası yollarda ise 15 km/sa olarak belirlenmiştir. Avrupa Birliği'ndeki otoyollarda otomobillere uygulanan hız sınırı 90 – 130 km/sa arasında, şehirlerarası yollarda ise 80 – 110 km/sa arasında değişmektedir. Ülkeler arasındaki hız sınırlarındaki değişimler genel olarak altyapı farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Şehirlerarası yollarda geniş bir aralıkta tek sınır yerine, yol özelliklerine bağlı olarak değişik hız sınırları belirlenmektedir. Çizelge 3.7' de bazı ülkelerdeki otomobil hız sınırları görülmektedir (Çavdar, 2008)

Çizelge 3.7 Bazı ülkelerde otomobiller için hız sınırları (Çavdar, 2008)

Bazı Ülkelerdeki Otomobiller İçin Belirlenen Hız Limitleri			
Ülkeler	Şehir içi	Şehir dışı	Otoyol
Almanya	50	100	130
Danimarka	50	80	110
Fransa	50	90	130
İngiltere	48	96	112
İspanya	50	90-100	120
İsviçre	50	80	120
İtalya	50	90	130
Norveç	50	80	90
Romanya	60	90	90
Türkiye	50	90	120
Yunanistan	50	110	120

3.4.5.2 Trafik Kazalarında İnsan Etkisi

Trafiği oluşturan üç temel öge yol, taşıt ve insandır. Bunlardan insan, diğer iki ögeyi yani yol ve taşıtı istediği gibi biçimlendirebilir. Bu nedenle insan etkisinin yol ve trafik mühendisliğinde önemi büyüktür.

4. TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL KAVRAMLAR

Trafik, yolculuk veya taşıma amacı ile yayaların ve taşıtların, yükleri ile beraber, tek başlarına veya topluca herhangi bir ulaştırma aracını kullanarak yaptıkları her türlü harekettir.

Trafik ve ulaşım mühendisliğinin amacı, yol ağındaki gecikmeyi azaltarak veya toplumun istenmeyen etkilere maruz kalmasını önleyerek, trafik akımını iyileştirerek akışı kontrol etmektir (Daganza, 1997).

Ulaştırma ya da trafik mühendisleri, uygun bir ulaştırma sistemi tasarlamak ve sistemle ilgili çeşitli kontrol stratejileri geliştirmek için, sistemin değişik koşullarda nasıl tepki vereceğini anlamak zorundadırlar. Özellikle, topluma yönelik etkileri ve ne gibi yararların sağlanabileceğini önceden tahmin etmeli ve sistemde yapılacak bir düzenleme veya yeni tasarımın sonucunda sistemdeki olası tepkileri öngörebilecek bir sezgiye sahip olmalıdır (Daganzo, 1997).

Taşıt trafiğinin analizi, karayolunun verimli bir şekilde işletimi için bir temel oluşturur. Birim zamandaki taşıt sayısı (hacim), taşıt tipleri, taşıt hızları, trafik akımında zamana bağlı değişimler gibi birçok trafik ölçütü, karayolunun tasarımı, işletimi ve dolayısıyla verimliliğini etkilediği için, trafik akımının değerlendirilmesi ve analizi gereklidir (Mannering, 1990).

4.1 Trafik Akımı İle İlgili Değişkenler

Trafik akımları ile ilgili değişkenler; trafiğin temel değişkenleri ve trafiğin türetilmiş değişkenleri olarak ikiye ayrılabilir. Trafiğin temel değişkenleri uzunluk (x), zaman (t) ve trafik birimi – taşıt – (n) olmak üzere, trafiğin türetilmiş değişkenleri, trafik akımları ile ilgili olayları tanımlayabilmek için temel değişkenlerden türetilmektedir; bunlar akım (q), yoğunluk (k) ve hız (u) olarak adlandırılır.

4.1.1 Akım (q)

Belirli bir yol kesitinden birim sürede geçen taşıt sayısıdır (Şekil 4.1). Buradaki birim zaman genellikle 1 saat olarak alınır. Yolun belirli bir kesitindeki tüm şeritlerin toplamı veya bir şeridi için tanımlanabilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak, akım $q = n / t$ olarak ifade edilir; burada n taşıt – sayısı ve t zaman olduğundan, akım= taşıt /zaman birimi elde edilir.

4.1.2 Yoğunluk (k)

Herhangi bir anda belirli bir yolun birim uzunluğunda bulunan taşıt sayısıdır (Şekil 4.2). Buradaki birim uzunluk genellikle 1 kilometre olarak alınır. Yoğunluk, birim uzunluk içindeki tüm şeritlerin toplamı veya yalnızca bir şerit için tanımlanabilir. Trafikğin temel değişkenleri kullanılarak, yoğunluk $k = n / x$ olarak ifade edilir. Burada, x yol uzunluğu olduğunda, yoğunluk = taşıt / uzunluk birimi elde edilir.

4.1.3 Hız (u)

Hız, taşıtların zaman içindeki yer değiştirme biçimlerini yansıtmak üzere, birim zamandaki kat edilen uzunluktur. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat veya 1 saniye olarak kullanılır. Temel değişkenlerden faydalanılarak, hız $u = x / t$ olarak ifade edilir. Buna göre, x alınan yol uzunluğu olduğunda, hız = uzunluk / zaman birimi elde edilir.

Trafikğin bir diğer hız kavramı **ortalama hız**dır. Düzenli taşıt hareketleri söz konusu olduğunda, tüm taşıtların sabit u hızıyla işletildiği kabul edilir. Böylece, trafik akımı içindeki her bir taşıt grubunun ortalama hızı da u ' ya eşittir. Gerçek trafikte ise taşıtlar koşullara uygun olarak birbirlerinden farklı olan hızlarını ayarlarlar. Karayolundaki hız ölçümleri çeşitli şekillerde yapılır. Örneğin, ardışık taşıtların hızları yolun tek bir noktasında uzun bir süre boyunca ölçülür. Bu hızlar **nokta hız** olarak adlandırılır. Ayrıca, küçük bir zaman aralığıyla karayolunun hava fotoğrafı çekilir ve her bir taşıtın hızı, kat edilen mesafenin bu zaman aralığına bölünmesiyle hesaplanır. Hızın ölçüm yöntemi ve ortalamanın hesaplanma şekli, elde edilen değeri ve bunun anlamını etkiler. Ortalamayı hesaplamak için yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır: **zaman ortalama hız** ve **mesafe ortalama hız**. Zaman ortalama hız u_t , yukarıda tanımlanan nokta hızların **aritmetik ortalaması**dır:

$$u_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (4.1)$$

Burada, gözlenen taşıt sayısı N ve i . taşıtın nokta hızı u_i olmaktadır.

Mesafe ortalama hız, N adet taşıtın l uzunluğundaki karayolunu kat ettiği ortalama yolculuk süresine dayanmaktadır. Yolculuk hızı u_i olan i . taşıtın l mesafesini kat etme süresi:

$$t_i = \frac{l}{u_i} \quad (4.2)$$

Böylece, N adet taşıtın ortalama yolculuk süresi:

$$t_{ort} = \frac{1}{N} \sum_1^N \frac{l}{u_i} \quad (4.3)$$

Ortalama yolculuk süresine bağlı mesafe ortalama hız nokta hızlarının harmonik ortalamasıdır:

$$u_s = \frac{N \cdot l}{\sum_1^N t_i} = \frac{N \cdot l}{\sum_1^N \frac{l}{u_i}} = \frac{N}{\sum_1^N \frac{1}{u_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_1^N \frac{1}{u_i}} \quad (4.4)$$

Bu iki ortalama hız şu şekilde de hesaplanabilir:

$$u_t = \frac{\sum_1^N \Delta x_i}{N \Delta t} \quad (4.5)$$

ve

$$u_s = \frac{N \Delta x}{\sum_1^N \Delta t_i} \quad (4.6)$$

Burada, $\Delta x_i = i$. taşıtın Δt sabit zaman aralığında kat ettiği yol.

$\Delta t_i = i$. taşıtın Δx sabit mesafesini kat ettiği süre.

Zaman ortalama hız mesafe ortalama hızdan daima daha büyüktür; bu ilişki, bütün taşıtların aynı hızla seyretmesi durumunda geçerli değildir. İki ortalama hız arasındaki ilişki yaklaşık olarak şöyle ifade edilebilir (Khisty and Lall, 1998).

$$u_s = u_t - \frac{\sigma_t^2}{u_t} \quad (4.7)$$

4.2 Akım, Yoğunluk ve Hız Değişkenleri Arasındaki İkili İlişkiler

4.2.1 Hız – Yoğunluk İlişkisi

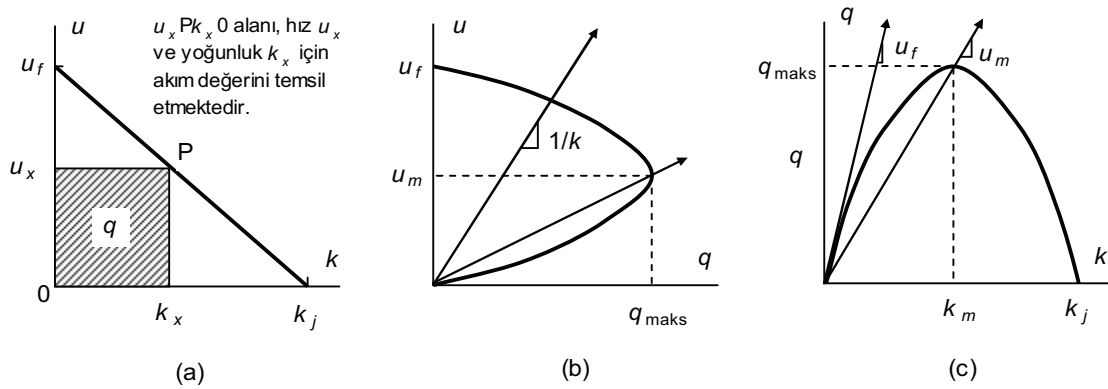
Hız – yoğunluk ilişkisi Şekil 4.1 (a)' da görülmektedir. Hız ve yoğunluk arasında ters ve doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça hız azalır. Burada u_f serbest hızı göstermektedir. Bu grafik içerisindeki bir köşesi başlangıç bir köşesi de doğru üzerinde olan bir dikdörtgenin alanı akımı ya da hacmi verir (Şahin, 2002).

4.2.2 Hız – Akım İlişkisi

Hız – akım ilişkisi Şekil 4.1 (b)' de görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, tıkanıklığın olmadığı serbest akım bölgesinde akım arttıkça hız düşmektedir; bu durum kapasiteye (q_{maks}) erişinceye kadar devam eder. Kapasiteye ulaşıldıktan sonra hem akım hem de hız beraber düşerler. Kapasitenin hemen altındaki ve üstündeki bölgede trafik akımı kararsız bir hal almaktadır.

4.2.3 Akım – Yoğunluk İlişkisi

Akım – yoğunluk ilişkisi Şekil 4.1 (c)' de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi, yolun kapasitesine (q_{maks} – yolun kapasitesi) erişinceye kadar akım arttıkça yoğunluk da artmaktadır. Bu noktadan sonra yoğunluk artmaya devam ederken hacim düşüşe geçer. Bu durum, tampon tampona gelinceye ve tıkanıklık tam anlamı ile oluşuncaya kadar devam eder. Bu noktada yoğunluk en büyük değerini (k_j – tıkanıklık yoğunluğu) alır ve hacim sıfıra düşer. Grafik üzerinde görülen k_m değeri ise kapasitedeki yoğunluk değerini göstermektedir. Herhangi bir noktayı orijine birleştiren doğrunun eğimi, q / k oranından akım hızını verir. Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi (u_f) de serbest hızı verir (Şahin, 2002).



Şekil 4.1 Trafik akım değişkenleri arasındaki ilişkiler

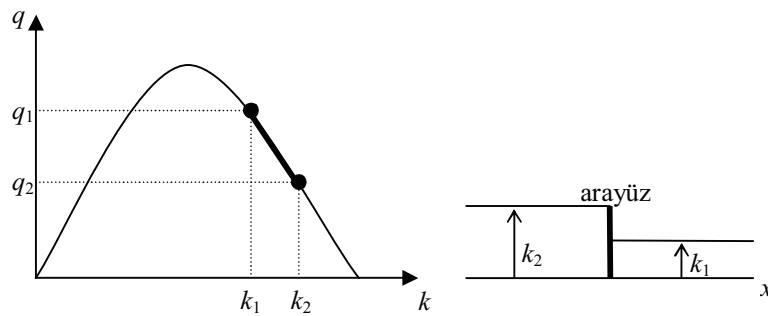
5. KARAYOLU DARBOĞAZLARI VE KUYRUKLANMA

Bölüm 4’ de, akım büyüklükleri arasındaki ilişkilerin eğrileri üzerinde bulunan noktalar, serbest ve zorlamalı (tıkanmış) akım aralıklarındaki trafik şartlarını göstermektedir. Bu noktalar, sürücülerin hızları ile izleme uzunluklarının uyumlu olduğu kararlı durumları (steady state) temsil etmektedir. Tek bir kararlı durum, trafik şartlarının hızla değiştiği yerlerdeki karayolu işleyişini doğru bir şekilde temsil edemez. Bu gibi değişimler, karayolu darboğazının yol açtığı trafik tıkanıklığında kuyruktaki taşıtlar ile karayolunun tıkalı olmayan kesimlerindeki trafiğin gelen taşıtlarıyla buluştuğu, darboğazın akım yukarısında (upstream) gözlenir (Şahin, 2002).

5.1 Şok Dalgaları

Taşıtların ani olarak yavaşladığı, tıkalı ve tıkalı olmayan trafikler arasındaki sınır (arayüz) **şok dalgası** (w) olarak adlandırılır. Şok dalgası, ayrıca, örneğin bir yeşil sinyal süresince kuyruktan ani bir ivmelenmeyle (hızlanarak) ayrılan taşıtlar tarafından da oluşturulabilir. Bir şok dalgası ileri ya da geri yönde hareket edebilir. Uzayan bir kuyruğun sonu geriye doğru hareket ederken, bir ağır vasıtanın arkasındaki yoğun bir taşıt konvoyunun ön ucu ileriye doğru hareket edebilir.

Akım-yoğunluk grafiğinin üzerinde farklı iki trafik durumunu (örneğin, $q_1 - k_1$ ve $q_2 - k_2$) ifade eden noktaları birleştiren doğrunun eğimi, bu iki farklı trafik durumu arasındaki ara yüzün hareket hızını verecektir. Bu ara yüz Şekil 5.1’ deki gibi gösterilebilir.



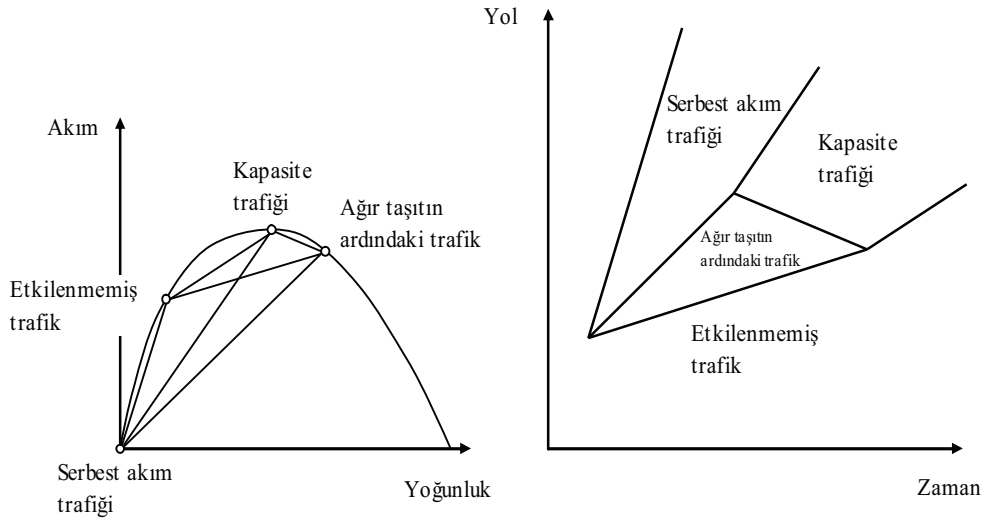
Şekil 5.1 İki farklı trafik durumu arasındaki ara yüzün hızı

Buna göre; Şekil 5.1’ deki (q_1, k_1) ve (q_2, k_2) durumları arasındaki – ara yüzün – kinematik dalga hızı şu şekilde yazılabilir.

$$w = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = - \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (5.1)$$

Burada hızın eksi işaretli olması, “zorlamalı koşullarda” dalganın trafik akımının ters yönünde hareket ettiğini göstermektedir.

Trafiği tıkayan bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları (ya da kinematik dalgalar) Şekil 5.2’ de görülmektedir. Burada, ağır taşıtın hızı kapasite şartlarındaki akım hızından küçük olup, sollama yapma olanağı bulunmamaktadır. Akım-yoğunluk eğrisi üzerindeki doğru parçaları farklı trafik durumlarını temsil eden noktaları birleştirmektedir. Bu doğru parçalarının eğimleri, iki trafik durumunu ayıran ilgili şok dalgalarının hızlarına eşittir. Şeklin sağındaki yol-zaman diyagramı üzerindeki çizgiler, farklı trafik durumlarını ayıran şok dalgalarının yörüngeleridir (yörüngelerin eğimleri, yani hızları, akım-yoğunluk eğrisi üzerindeki ilgili çizgilerin eğimleri ile aynıdır). Şok dalgalarının yörüngeleriyle sınırlanmış yol-zaman bölgeleri; gelen trafik, ağır taşıtın arkasındaki trafik, ağır taşıtın önünde serbest akan trafik ve kapasite şartlarındaki trafik olmaktadır. Arkaya (yani, akım yukarıya) doğru yönelmiş tek şok dalgası, kapasite şartlarındaki trafiği ağır taşıtın arkasındaki trafikten ayıran, hızlanmalara ait şok dalgasıdır. Kapasite şartları, ağır taşıt yolu terk ettikten sonra ve yoğun taşıt dizisinin önündeki taşıtlar kapasite şartlarının gerektirdiği hıza ve izleme uzunluğuna erişmek için hızlandığında gözlenir (Şahin, 2006).



Şekil 5.2 Trafik kesilmesinin sebep olduğu şok dalgaları

Trafik mühendisliği uygulamalarında nadiren kullanılmasına rağmen, şok dalgası kuramı, trafik akımının özellikleri arasındaki ilişkilerin trafik kuyruklarının davranışını nasıl etkilediğini anlamak bakımından bir katkı sağlar. Şok dalgası kuramının iki temel zayıflığı bulunmaktadır: 1) Hesaplar zahmetli ve ağırdır, daha da önemlisi 2) Trafiğin rastgele değişimini/dalgalanmasını göz önünde bulundurmaz. Bu iki zayıf nokta, yığılımlı taşıt sayıları ve kuyruk kuramı gibi yaklaşımlar aracılığıyla giderilmeye çalışılmıştır (Tarko, 2003).

5.2 Yığılımlı Taşıt Sayıları

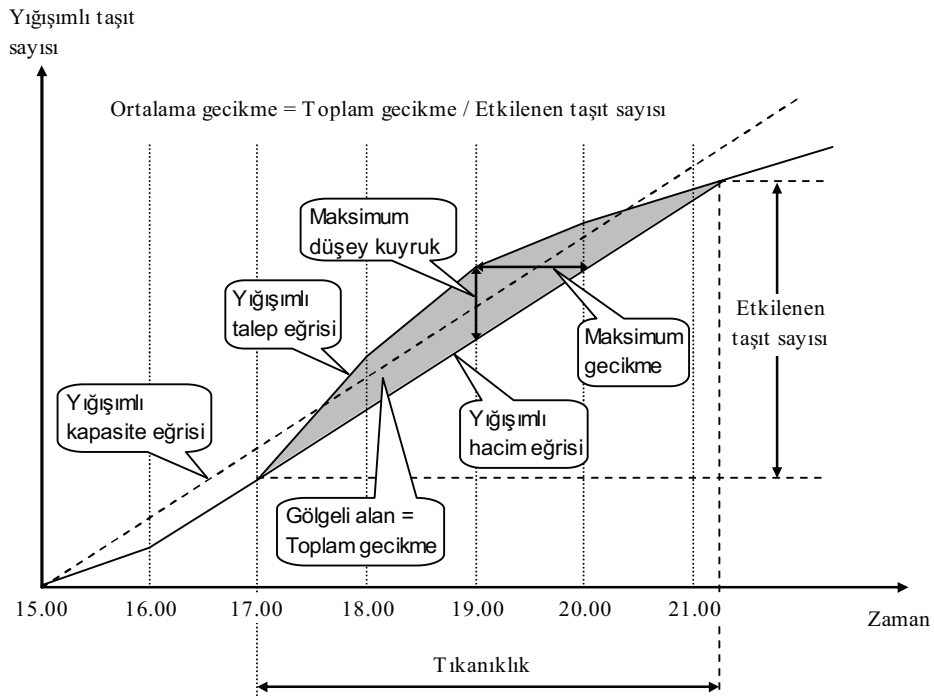
Bir kuyruğun davranışının kapsamlı olarak ele alınması, şok dalgası kuramında yapıldığı gibi, darboğazın sebep olduğu gecikmeleri tahmin etmeyi gerektirmez. Belirli bir noktada (yerde) ölçülen taşıt gecikmesi, bu taşıtın bu noktadan -gerçek- geçiş zamanı ile bu noktada darboğaz bulunmaması durumunda buradan geçebileceği zaman arasındaki farktır. Bu gecikme tanımı, gecikme ölçüm yerinin darboğazın bulunduğu ya da darboğazın daha da akım aşağısında bir yerde seçilmesi durumunda, darboğazın bütünsel etkisini belirlemeye yönelik iyi bir yaklaşım sunmaktadır.

Taşıtın etkilenmesi ve etkilenmemesi durumlarındaki geçiş zamanları, iki yığılımlı eğri kullanılarak kolayca belirlenebilir; buradaki yığılımlı eğriler, trafik talebini ve darboğaz kapasitesini temsil etmektedir. Trafik talebi, darboğaz bulunmaması halinde darboğaz yerinde gözlenecek trafik hacmidir. Şekil 5.3, bir örnek darboğaz için bu iki eğriyi göstermektedir. Üstteki sürekli ince çizgi, darboğaz bulunmaması durumunda, t anına kadar ölçüm yerinden geçmesi beklenen toplam taşıt sayısını gösterirken, kesikli ince çizgi, yığılımlı kapasiteyi temsil etmektedir. Birinci eğrinin eğimi talep oranı (değeri) olurken, ikincinin eğimi kapasite oranıdır (değeridir). Saat 17.00 itibarıyla, talep oranının kapasite oranını aşması tıkanıklığı başlatır. Ardından, kapasite çizgisi saat 17.00'deki talep çizgisiyle kesişmek üzere aşağı doğru kaydırılır. Talep ve kapasite çizgilerinin saat 21.20'de yeniden kesişmesiyle tıkanıklık son bulur. Ölçüm yerinden geçen gerçek akım oranı (değeri), saat 15.00 ve 17.00 arasındaki talep çizgisi, saat 17.00 ve 21.20 arasındaki kaydırılmış kapasite çizgisi ve saat 21.20'den sonraki talep çizgisi ile temsil edilir.

Talep ile kapasite çizgileri arasındaki alan, gecikme ve tıkanıklığın boyutu hakkında bilgi verir. Belirli bir n numaralı taşıt için, iki eğri arasındaki yatay açıklık, daha önce açıklandığı gibi, n' inci taşıtın gecikmesidir. Eğriler arasındaki toplam alan, darboğazın sebep olduğu toplam gecikmedir (örneğin, taşıt-dakika). Tıkanıklıktan etkilenmiş taşıt başına ortalama

gecikmeyi elde etmek için, bu toplam gecikme etkilenen toplam taşıt sayısına bölünebilir.

Belirli bir t anındaki düşey açıklık (mesafe), t anına kadar ölçüm noktasından geçebilecekken, darboğaz sebebiyle geçemeyen taşıt sayısıdır. Bazen “düşey kuyruk” olarak da adlandırılan bu sayı, gerçek kuyruk değildir. Gerçek kuyruk, darboğazın bulunmaması halinde ölçüm noktasından geçmesi beklenen taşıtlar (yığışımli eğriler arasındaki düşey mesafe) ile hali hazırda kuyruğa katılmış diğer taşıtlardan oluşur.



Şekil 5.3 Yığışımli taşıtlarla kuyrukların ve gecikmelerin öngörülmesi.

Yığışımli eğriler gecikme hesaplarını basitleştirirler; ancak, tıkanıklık kesiminin uzunluğunu bu kadar kolay veremezler. Bu işlem için, şok dalgası kuramı dikkate alınmalıdır. Newell (1993), yığışımli taşıt sayısı eğrileriyle şok dalgası kuramının (LWR: Lighthill ile Whitham ve Richards kuramı olarak da anılır) eşdeğer olduğunu, bu nedenle birinin diğerinden elde edilebileceğini göstermiştir. Hangi kuramın kullanılacağına, hesap kolaylığı ve elde edilmek istenen sonuçlara göre karar verilir (Tarko, 2003).

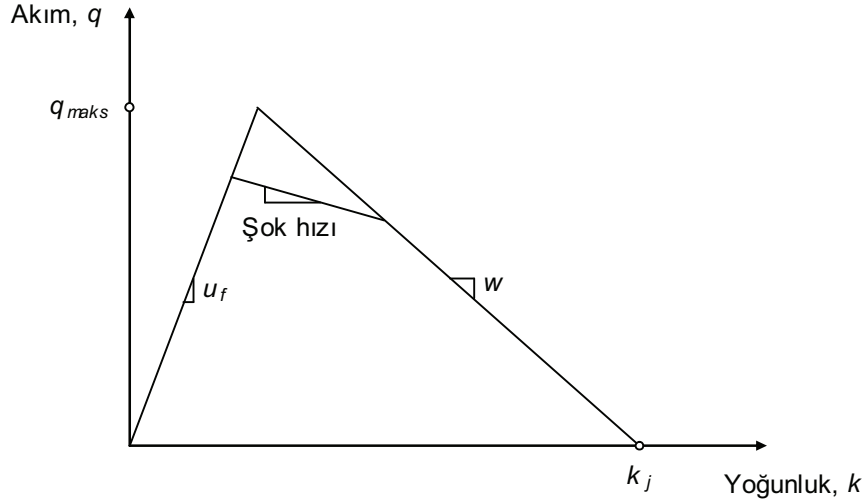
5.3 Kuyruk Kuramı

Kuyruklar, anlık talebin hizmet kanalındaki kapasiteyi aştığı zaman oluşmaktadır. Matematiksel modellerin kullanılmasıyla kuyruk kuramı, bekleme sıralarının (waiting lines) önemli özellikleri olan kuyrukta harcanan süre ve kuyruk uzunluğu gibi bilgileri vermektedir (Vandaele, 2000).

Şok dalgaları ve yığılımlı taşıt sayısı kuramları deterministiktir (belirlidir). Bu kuramlar, taşıt hacmi ve yoğunluğundaki rastgele dalgalanmaları dikkate almamaktadır; her iki kuram da, trafik hacmi kapasiteyi aşmadığı sürece, kuyruklanma ve gecikmenin sıfır değerini aldığı sonucunu verir. Aslında, kısa süreli trafik dalgalanmaları, özellikle trafik hacmi kapasite değerine yaklaştığında, tıkanıklık durumlarına sebep olabilir. Uzun süreli periyotlar için ortalama gecikme sıfır değildir. Deterministik yaklaşım, trafik hacmi darboğaz kapasitesinin çok altında ya da çok üstünde olduğunda yeterlidir ve kullanılabilir. Kuyruk kuramı rastgele kuyruklarla ilgilidir ve karayolu darboğazlarındaki rastgele trafiği incelemek için kullanışlıdır. Kuyruk kuramıyla ilgili çok sayıda temel kitap bulunmaktadır (Tarko, 2003; Şahin, 2006).

Bir şok, kendisinin akım aşağı ve akım yukarı tarafındaki trafik koşullarının belirlemesiyle, artı ya da eksi, çeşitli hızlarda gerçekleşebilir. Dahası, bir şokun hızı, ara yüzler (yani, diğer şoklarla) kesiştiğinde değişir. Yöntemden anlaşılabilceği gibi, N-eğrilerinin yukarıda anlatıldığı şekilde kullanılması, şokların ve ara yüzlerin yörüngelerinin yol ve zaman boyunca izlenmesini gerektirmemektedir. Kuramın Lighthill ile Whitham ve Richards (LWR) düzenlemeleri, böylesi (zahmetli) analizleri gerektirmektedir (Cassidy, 1999).

Genel olarak, basitleştirilmiş kuram ile LWR kuramında, trafik büyüklükleri arasında bir takım ilişkilerin bulunduğu tezi ileri sürülmektedir; örneğin, akım değeri ve taşıtın seyir süresi arasındaki ilişki karayolu boyunca değişebilirken, zamana göre değişkenlik göstermemektedir. Bu ilişkiler tamamıyla deneyseldir, yani ölçüm yoluyla elde edilirler. İlişkiler, karayolunun geometrisine bağlı olabilirken, aynı zamanda hava koşulları gibi çevre etkenlerinden ve trafik akımının özelliklerinden (örneğin, trafikteki ağır taşıt oranı ve sürücülerin davranış biçimleri gibi) etkilenirler. Çok sayıdaki trafik özelliği arasında ikili ilişki, süreklilik modellerinin sınır koşulları olarak kullanılabilirken, bunlardan akım q ve yoğunluk k arasındaki ilişkiyi kullanmak geleneksel hale gelmiştir. Yukarıda anlatılan basit kuramın kabulleri, Şekil 5.4'de gösterildiği gibi, üçgen biçimli q - k ilişkisini işaret eder. Bunun gerekçeleri aşağıda anlatılmaktadır.



Şekil 5.4 Üçgen biçimli akım-yoğunluk ilişkisi.

İlişkinin sağdaki bölümü, kuyruklanmış trafik koşullarını tanımlar ki, burada yoğunluk (k) akımın (q) azalmasıyla artmaktadır. Kararlı trafik durumları arasındaki ara yüz hızının w , $\Delta q/\Delta k$ olduğu bilinmektedir. İlişkinin sağ tarafının doğrusal olmasıyla, kuyruklanmış durumlar arasındaki ara yüzün tek bir hızla yayıldığı tahmin/kabul edilmektedir ki, bu, basitleştirilmiş kuramın daha önce anlatılan kabulüdür.

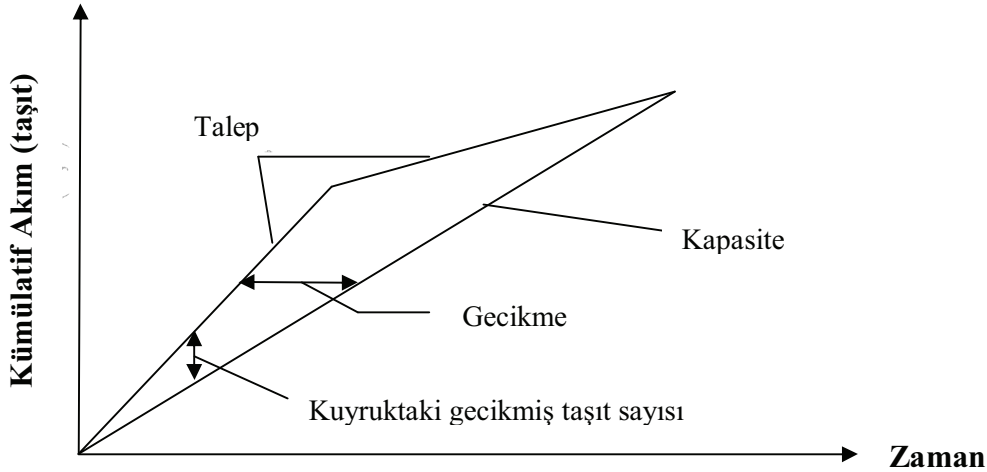
Üçgen biçimli ilişkinin soldaki bölümü, serbest akan trafiği tanımlamaktadır. Trafik akımının temel ilişkisine göre, ortalama taşıt hızı, akımın yoğunluğa oranıdır. Böylece, basit kuram, ilişkinin soldaki bölümüne, tüm serbest akan taşıtların tahmini/kabul edilen hızını u_f atamaktadır. Burada eğimin sabit olması, değişen (q , k) durumlarının, serbestçe akan taşıtlarla birlikte ileriye doğru hareket ettiğini işaret etmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi, basit kuramda, bir şok, serbest akan ve kuyruklanmış trafiği birbirinden ayırır. Bu nedenle, şokun hızı, üçgen ilişkisinin her iki tarafında bulunan (q , k) durumlarını birleştiren kirişin eğimi olmaktadır (Cassidy, 1999).

6. ŞOK DALGALARI VE YIĞIŞIMLI TAŞIT SAYISI EĞRİLERİ KULLANILARAK YOLCULUK SÜRESİ TAHMİNİ

6.1 Tıkanıklık Durumunda Şok Dalgaları ve Kuyruklanma Diyagramı ile Trafik Analizi

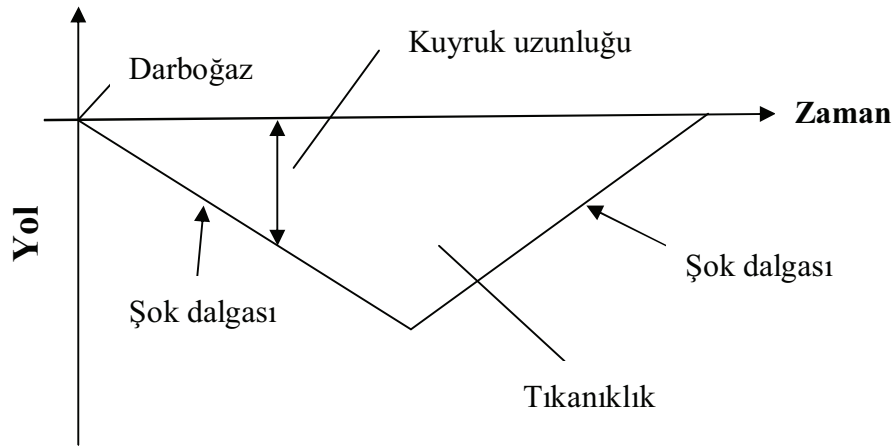
Kuyruklanma analizinde, tıkanıklık durumundaki trafiği tanımlamak için Şekil 6.1’de görülen kuyruklanma diyagramı kullanılır. Şekil 6.1 incelendiğinde; talep ve kapasite eğrileri arasında kalan alan toplam gecikmeyi göstermektedir. Herhangi bir zamanda bu iki eğri arasındaki yatay uzunluk ilgili taşıta ait gecikme, düşey uzunluk ise belirli bir anda kuyruktaki gecikmiş taşıt sayısıdır.



Şekil 6.1 Kuyruklanma (Nam and Drew, 1998)

Bunun yanı sıra şok dalgaları diyagramı ise Şekil 6.2’de görüldüğü gibi yol – zaman ilişkisinden yararlanılarak elde edilir. Şok dalgaları diyagramı darboğazda akım yukarı yönde çizilir. Farklı iki trafik durumu (örneğin, hacim ve yoğunluk değerleri farklı iki trafik akımı) arasındaki arayüz, tahmin edilebilir bir hızla ileri ya da geri yönde hareket ederek, trafik akımı içinde yayılan şok dalgaları meydana getirirler.

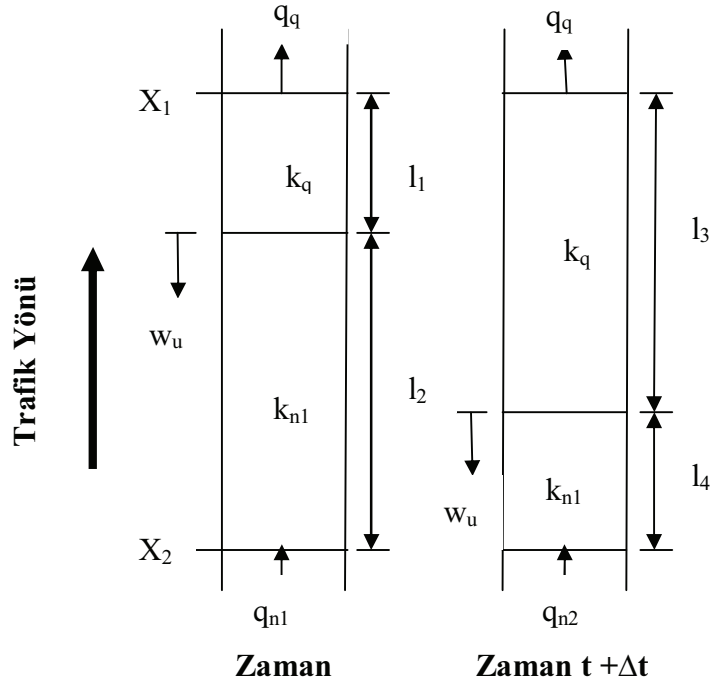
Şekil 6.2 incelendiğinde; darboğazın konumu (yatay eksen) ve şok dalgalarının yörüngeleri arasında kalan alan tıkanıklığı göstermektedir. Herhangi bir zamandaki kuyruk uzunluğu da, bunlar arasında kalan düşey uzunluktur. Bu yöntemin kuramsal yeterliliğine karşın, şok dalga hızlarının öngörülmesinde akım – yoğunluk ilişkisine gerek duyulur.



Şekil 6.2 Şok dalga analizi için yol – zaman diyagramı (Nam and Drew, 1998)

6.1.1 Tıkanıklık Koşullarında Trafiğin Dinamik Analizi

Bir karayolu kesiminde talep, darboğazdaki kapasiteyi geçiyorsa (tekrarlanan) tıkanıklık oluşur. Bu durumda iki farklı trafik akımı gözlenir. Bunlardan birincisi yaklaşan akım; taleptir. İkincisi kuyruklanma akımı, darboğazda tıkanıklıktaki trafik akımıdır. Yaklaşan akımın değeri ve yoğunluğu, sırasıyla, q_{n1} ve k_{n1} ile gösterilir. Bunun yanı sıra kuyruklanma akım ve yoğunluğu ise q_q ve k_q 'dur. Şekil 6.3'de de görüldüğü gibi $x_1 - x_2$ aralığındaki karayolu kesiminde, t anında kuyruklanma akımı ve yaklaşan akımın kapsadığı uzunluklar, sırasıyla, l_1 ve l_2 'dir. Δt gibi bir süre sonra, trafik akımları $l_3 - l_4$ değişimini gösterir. Yani tıkanıklık durumunda Δt süresi içerisinde kuyruk l_1 'den l_3 uzunluğuna erişir.



Şekil 6.3 Sistemik olarak tıkanıklık oluşumu (Nam and Drew, 1998)

Δt süresi içerisinde $x_1 - x_2$ aralığındaki taşıt sayısı;

$$n = (q_{n1} - q_q)\Delta t \quad (6.1)$$

Bu değişim aynı karayolu kesiminde şu şekilde de ifade edilir:

$$n = (k_q l_3 + k_{n1} l_4) - (k_q l_1 + k_{n1} l_2) \quad (6.2)$$

$l_1 + l_2 = l_3 + l_4$ ilişkisi kullanılarak (6.2) denklemini yeniden düzenlenirse;

$$n = (k_q - k_{n1})(l_3 - l_1) \text{ elde edilir.} \quad (6.3)$$

(6.1) ve (6.3) eşit ifadeleri aşağıdaki gibi yazıldığında (6.4) eşitliğine ulaşılır.

$$(q_{n1} - q_q)\Delta t = (k_q - k_{n1})(l_3 - l_1) \quad (6.4)$$

(6.4) denklemini düzenlendiğinde;

$$\frac{(l_1 - l_3)}{\Delta t} = \frac{(q_q - q_{n1})}{(k_q - k_{n1})} \quad (6.5)$$

Burada $(l_1 - l_3)/\Delta t$, bize iki akım arasındaki şok dalga hızını vermektedir. $(l_1 - l_3)$ negatif işaretli olduğundan, şok dalga hızı da negatiftir.

$$w_u = \frac{(q_q - q_{n1})}{(k_q - k_{n1})} \quad (6.6)$$

Kuyruktaki taşıt sayısının n adet olduğu kabul edilirse, Δt süresindeki kuyruklanma oranı;

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{k_q(l_3 - l_1)}{\Delta t} \quad (6.7)$$

(6.5) ve (6.6) denklemleri (6.7)' de yerleştirilirse;

$$\frac{(k_q - k_{n1}) * (l_1 - l_3)}{\Delta t} = (q_q - q_{n1})$$

Buradan k_q çekilirse,

$$k_q = \frac{(q_q - q_{n1}) * \Delta t}{(l_1 - l_3)} + k_{n1}$$

Buna göre,

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \left[\frac{(q_q - q_{n1}) * \Delta t}{(l_1 - l_3)} + k_{n1} \right] * \frac{(l_3 - l_1)}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = (q_{n1} - q_q) + \frac{(l_3 - l_1) * k_{n1}}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = (q_{n1} - q_q) - k_{n1} * w_u$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = (q_{n1} - q_q) + \frac{l_3 - l_1}{\Delta t} k_{n1} = (q_{n1} - q_q) - w_u k_{n1} \quad (6.8)$$

(6.6) denkleminde yararlanarak, (6.8) yeniden düzenlenirse;

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = (q_{n1} - q_q) \left(1 + \frac{k_{n1}}{(k_q - k_{n1})} \right) \quad (6.9)$$

Bir süre sonra trafik talebi darboğaz kapasitesinin altına düştüğünde, kuyruk uzunluğu da azalmaya başlar. Azalan akım ve yoğunluk da q_{n2} ve k_{n2} ifadeleri ile tanımlanır. Kuyruklanma oranının tersi olarak bu olay kuyruğun dağılması yani erimesi ile ifade edilir.

$$-\frac{\Delta n}{\Delta t} = (q_q - q_{n2}) + w_d k_{n2} = (q_q - q_{n2}) \left(1 + \frac{k_{n2}}{k_q - k_{n2}} \right) \quad (6.10)$$

Burada; w_d şok dalgası dağılma (trafikle aynı yönde, kuyruğun erime) hızını göstermektedir.

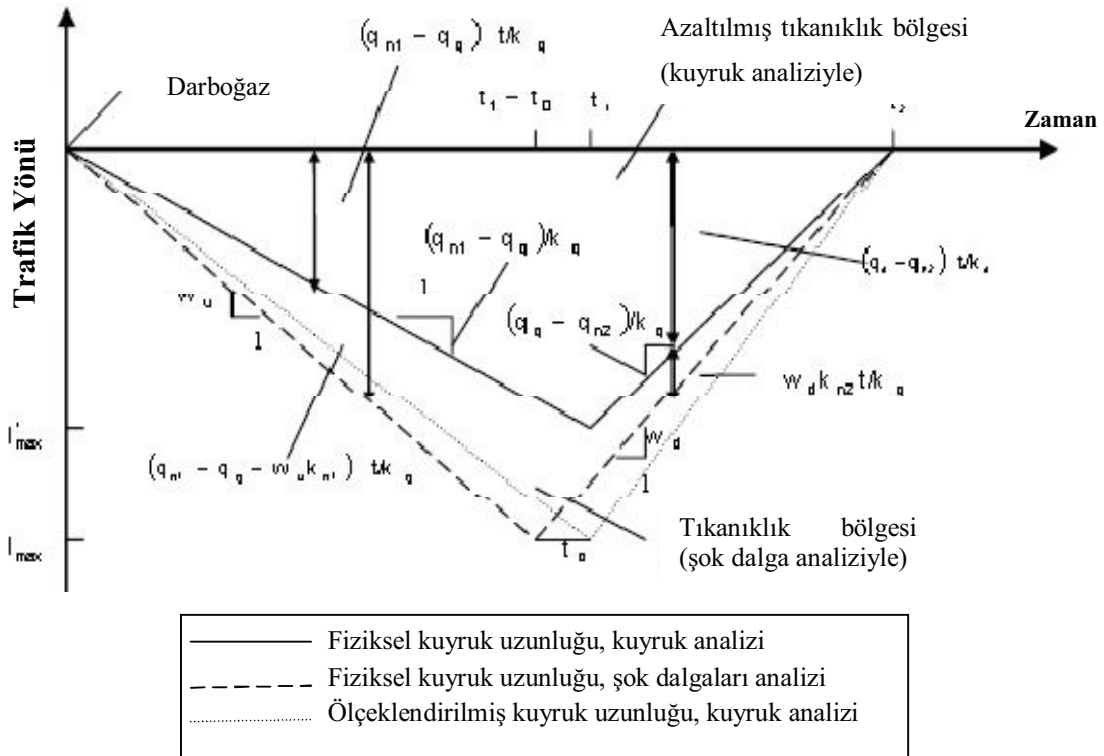
$$w_d = \frac{q_{n2} - q_q}{k_{n2} - k_q} \quad (6.11)$$

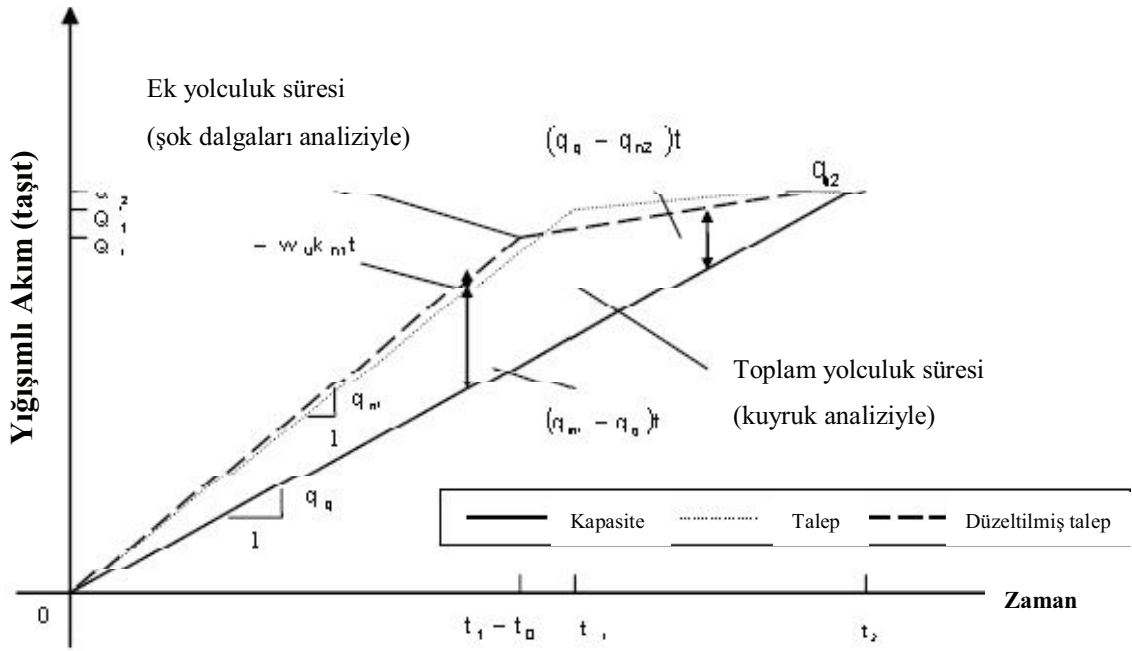
6.1.2 Tıkanıklık Koşullarında Trafiğin Analitik Analizi

Kuyruklanma diyagramında zirve saatlerde $q_{n1} - q_q$ değeri kuyruklanma oranı ve zirve saatler sonrasında $q_q - q_{n2}$ değeri kuyruk erime oranıdır. Talebin darboğaz kapasitesinin altına düştüğü t_1 anında maksimum kuyruk uzunluğu oluşur. Kuyrukta hiç aracın kalmadığı t_2 zamanına kadar tıkanıklık devam eder. Fiziksel kuyruk uzunluğu, kuyruk uzunluğunun (taşıt sayısı cinsinden) ilgili yoğunluğa bölünmesi ile elde edilir. Bu durumda, $(q_{n1} - q_q) / k_q$ ve $(q_q - q_{n2}) / k_{n2}$ fiziksel kuyruklanma oranlarıdır. Bu değerler kullanılarak, kuyruklanma analizi için gerekli olan yol – zaman diyagramları kolayca çizilebilir.

Yol – zaman diyagramı fiziksel kuyruklanma oranının zirve saat ve zirve saat dışı zamanlarda sırasıyla, $(q_{n1} - q_q - w_u k_{n1}) / k_q$ ve $(q_q - q_{n2} + w_d k_{n2}) / k_q$ olduğunu göstermektedir. Fiziksel kuyruk uzunluğu $t_1 - t_0$ anında maksimum değerini alır ki burada t_0 , tıkanıklık olmaması halinde fiziksel kuyruğun arka ucu ile darboğaz arasındaki (serbest) yolculuk süresidir.

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 incelendiğinde talep q_{n1} 'den $q_{n1} - w_u k_{n1}$ 'e doğru artarken bu kısımda tıkanıklık da mekansal olarak yayılmakta, talep q_{n2} 'den $q_{n2} - w_d k_{n2}$ değerine azalırken de tıkanıklık mekansal olarak azalma göstermektedir.





Şekil 6.5 Şok dalga ve kuyruk analizinin birlikte gösterimi (Rakha and Zhang, 2005)

Bu durumda; kuyruk kuramına göre,

$n = (q_{n1} - q_q)\Delta t$ bağıntısına bağlı olarak

Tıkanıklık koşullarında kuyruktaki maksimum taşıtlar sayısı:

$$n = (q_{n1} - q_q)t_1 \quad (6.12)$$

Yol – zaman diyagramında da görüldüğü gibi t_1 anında oluşan maksimum kuyruk uzunluğu:

$$l_{\text{maks.}} = \frac{t_1(q_{n1} - q_q)}{k_q} \quad (6.13)$$

Tıkanıklığın tamamen bittiği zaman (t_2) yol zaman diyagramından yararlanarak elde edilirse;

$$t_1 * (q_{n1} - q_{n2}) = t_2 * (q_q - q_{n2}) \quad (6.14)$$

$$t_2 = \frac{(q_{n1} - q_{n2})}{(q_q - q_{n2})} * t_1 = \left[1 + \frac{(q_{n1} - q_q)}{(q_q - q_{n2})} \right] * t_1$$

Şekil 6.4'deki yol-zaman aralığının belirlediği alan (üçgenin alanı), tıkanıklıktaki trafik yoğunluğu ile çarpılarak, taşıtlar-saat cinsinden tıkanıklıktaki toplam yolculuk süresi (TTT) hesaplanır. Diğer yandan, kuyruk kuramı, kuyruğa katılmış ve serbest yolculuk süresine göre gecikmiş olan taşıtları dikkate almaktadır (yani, kuyrukta olmasına rağmen serbest yolculuk süresini henüz aşmamış taşıtları gecikmiş olarak kabul etmemektedir). Bu durumda, kuyruk kuramında yolculuk süresi (TTT) ve gecikme (TD) eşit olur.

$$TTT = TD = \frac{l_{maks} * t_2}{2} * k_q \quad (6.15)$$

l_{maks} ve t_2 denklemde yerine yazılırsa;

$$TTT = TD = \frac{t_1^2}{2} * (q_{n1} - q_q) * \left[1 + \frac{(q_{n1} - q_q)}{(q_q - q_{n2})} \right] \quad (6.16)$$

Ortalama kişisel yolculuk süresi ve gecikme ise toplam yolculuk süresinin, kuyruktaki toplam taşıt sayısına bölünmesi ile elde edilir. Kuyruktaki toplam taşıt sayısı $q_q * t_2$ değerine eşittir (Şekil 6.5).

Ortalama kişisel yolculuk veya gecikme süresi =

$$\frac{TTT}{q_q * t_2} = \frac{\frac{t_1^2}{2} * (q_{n1} - q_q) * \left[1 + \frac{(q_{n1} - q_q)}{(q_q - q_{n2})} \right]}{q_q * \left[1 + \frac{(q_{n1} - q_q)}{(q_q - q_{n2})} \right] * t_1} \quad (6.17)$$

$$\text{Ortalama kişisel yolculuk veya gecikme süresi} = \frac{t_1}{2 * q_q} * (q_{n1} - q_q) \quad (6.18)$$

Şok dalga analizinde ise,

Kuyruktaki maksimum taşıt sayısı:

$$n = \left((q_{n1} - q_q) - w_u k_{n1} \right) * (t_1 - t_0) \text{ elde edilir.} \quad (6.19)$$

$t_1 - t_0$ anında oluşan maksimum fiziksel kuyruk uzunluğu (Şekil 6.4):

$$l_{maks.} = \frac{(t_1 - t_0)(q_{n1} - q_q - w_u * k_{n1})}{k_q} \quad (6.20)$$

$t_1 - t_0$ anı itibariyle aşağıdaki eşitlik yazılabilir (Şekil 6.4).

$$-w_u * (t_1 - t_0) = w_d * (t_2 - t_1 + t_0)$$

Buradan t_2 çekilirse,

$$t_2 = \frac{(w_d - w_u) * (t_1 - t_0)}{w_d} \quad (6.21)$$

l_{maks} ve t_2 denkleminde yerine yazılarak şok dalgası için, aşağıdaki toplam yolculuk süresi denklemi elde edilir.

$$TTT = \frac{l_{maks} * t_2}{2} * k_q = \frac{(t_1 - t_0)(q_{n1} - q_q - w_u * k_{n1})}{k_q} * \frac{(w_d - w_u) * (t_1 - t_0)}{w_d} * \frac{k_q}{2}$$

$$TTT = \frac{(t_1 - t_0)^2}{2} * \left(1 - \frac{w_u}{w_d}\right) * (q_{n1} - q_q - w_u * k_{n1}) \quad (6.22)$$

Şok dalga analizinde yol – zaman diyagramında da görüldüğü gibi k_{n1} ve k_{n2} yoğunlukları ile farklı iki trafik durumu gözlenir (Şekil 6.4). k_{n1} yoğunluğu t_1 anına kadar devam ederken, t_1 anından sonra yoğunluk k_{n2} olur. Bu durumda ilgili karayolu kesiminde gecikme süresi (TD), formül (6.25) ile hesaplanabilir.

$$TTT = \frac{l_{maks} * t_2}{2} * k_q \quad ve \quad (6.23)$$

$$l_{maks.} = -w_u * (t_1 - t_0) \quad (6.24)$$

Formül (6.23) ve (6.24)'den yararlanarak,

$$TD = \frac{-w_u * (t_1 - t_0)}{2} * [t_2 * (k_q - k_{n2}) - t_1 * (k_{n1} - k_{n2})] \quad (6.25)$$

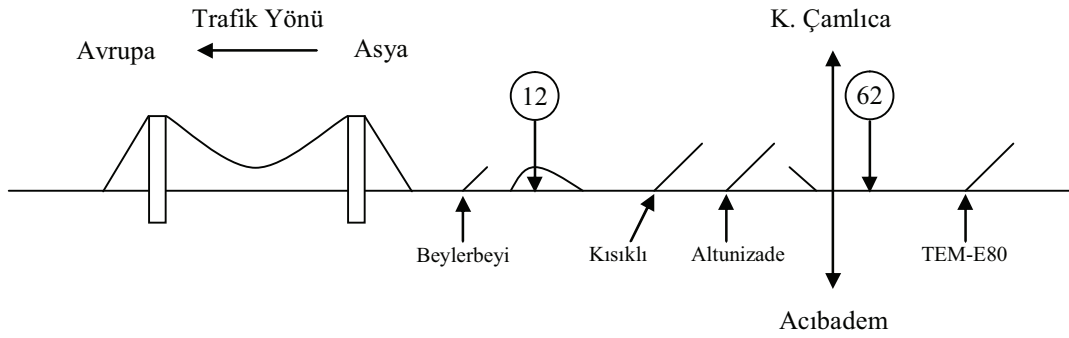
Ortalama kişisel yolculuk süresi, toplam yolculuk süresinin, kuyruktaki toplam taşıt sayısına bölünmesi ile elde edilir. Aynı şekilde ortalama kişisel gecikme de, toplam gecikmenin kuyruktaki toplam taşıt sayısına ($q_q * t_2$) oranıdır.

$$\begin{aligned} \text{Ort. kişisel yolc. süresi} &= \frac{\frac{(t_1 - t_0)(q_{n1} - q_q - w_u * k_{n1})}{k_q} * \frac{(w_d - w_u) * (t_1 - t_0)}{w_d} * \frac{k_q}{2}}{q_q * \frac{(w_d - w_u) * (t_1 - t_0)}{w_d}} \\ &= \frac{1}{2q_q} * (q_{n1} - q_q - w_u * k_{n1}) * (t_1 - t_0) \end{aligned} \quad (6.26)$$

$$\begin{aligned} \text{Ort. kişisel gecikme süresi} &= \frac{\frac{-w_u * (t_1 - t_0)}{2} * [t_2 * (k_q - k_{n2}) - t_1 * (k_{n1} - k_{n2})]}{q_q * \frac{(w_d - w_u) * (t_1 - t_0)}{w_d}} \\ &= \frac{-w_u * (t_1 - t_0)}{2q_q * t_2} * [t_2 * (k_q - k_{n2}) - t_1 * (k_{n1} - k_{n2})] \end{aligned} \quad (6.27)$$

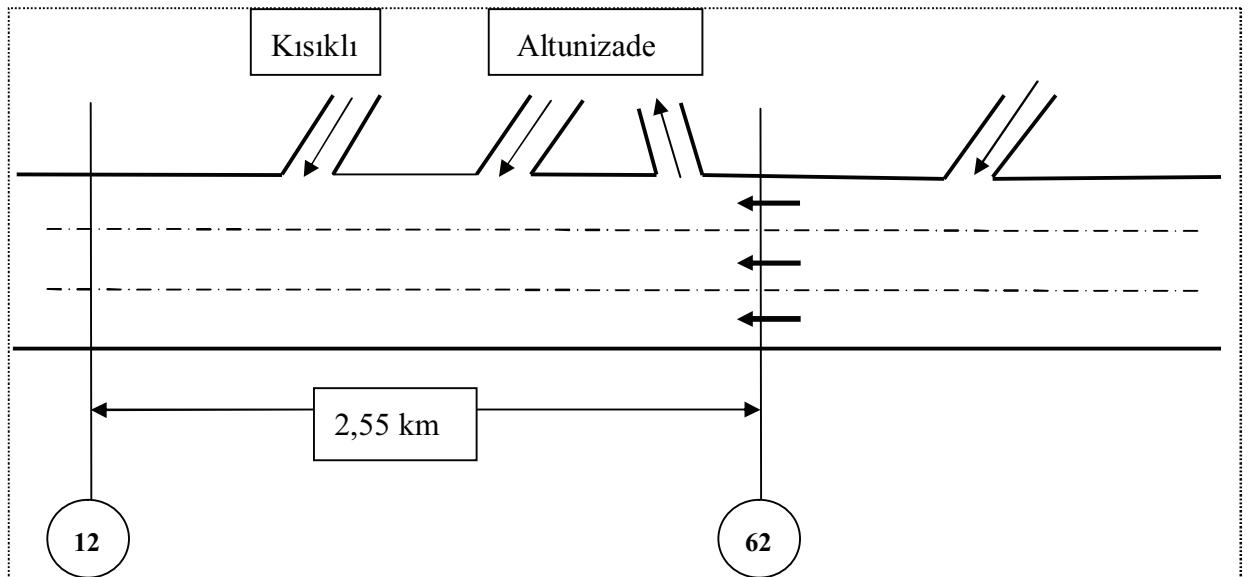
6.2 Belirli Karayolu Kesimine ait Şok Dalgası ve Kuyruklanma Analizi Uygulaması

O – 1 karayolunun (1. Çevreyolu) Asya – Avrupa yönünde Boğaziçi Köprüsü'ne yaklaşan yönünde, 24 Mayıs 2007 Cuma günü 12 ve 62 nolu RTMS trafik detektörü kesitlerinde toplanan verilerinden faydalanılmıştır (RTMS: Remote Traffic Microwave Sensor). Radar verilerinin toplandığı kesimde karayolu üç şeritlidir. Kullanılan veriler 24 saatlik zaman diliminde ikişer dakikalık toplam hacimlerin (taşıt sayılarının) saatlik akım değerleri (taş / sa) ve ortalama hız (km / sa) değerleridir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Asya – Avrupa yönünde veri toplanan karayolu kesimi

Bu çalışmada, Şekil 6.7'de görülen 2,55 km uzunluğundaki karayolu kesiminin sınırlarında bulunan (akım yukarıdaki) 62 ve (akım aşağıdaki) 12 nolu RTMS kesitlerinde toplanan veriler kullanılarak şok dalgaları ve kuyruklanma analizi ile yolculuk süresi tahmini yapılacaktır. Bu kesimde iki katılım (Kısıklı ve Altunizade) ve bir ayırım (Altunizade) bulunmaktadır.



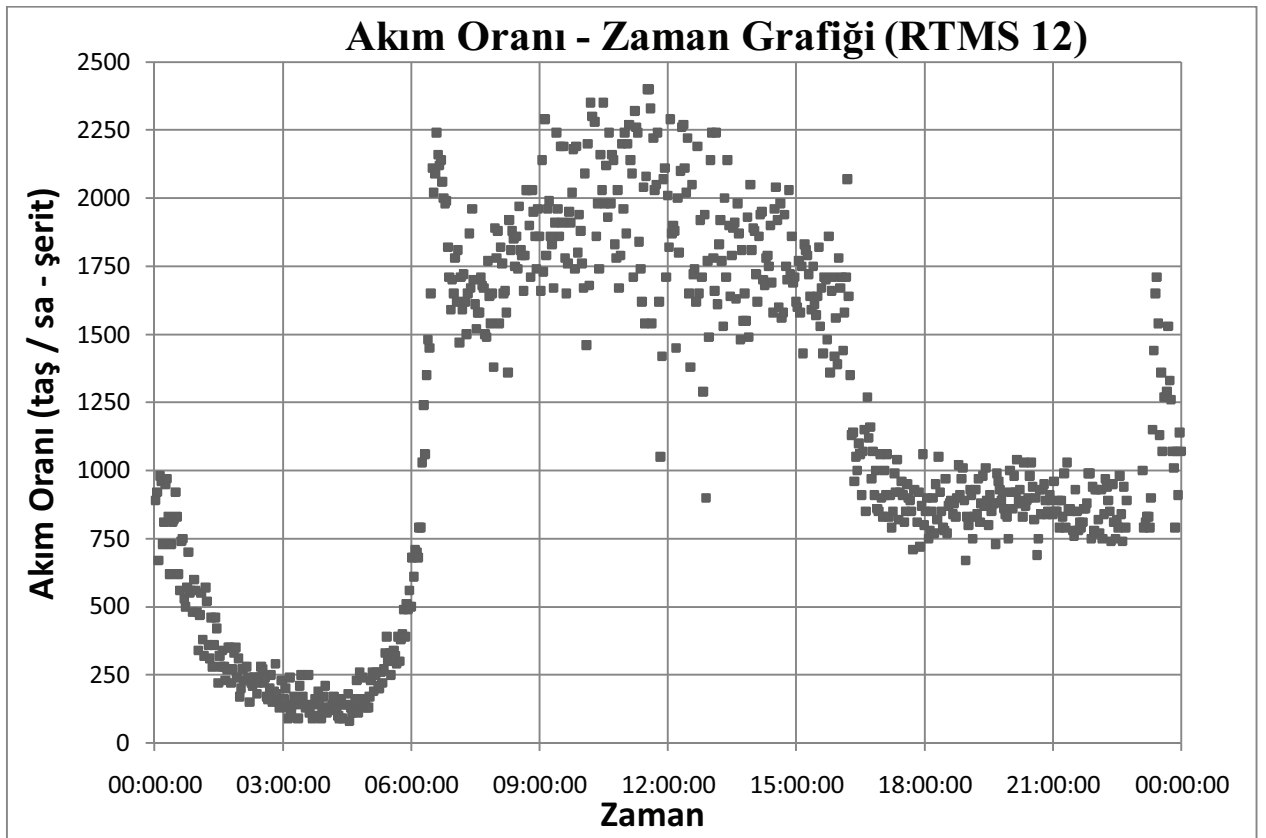
Şekil 6.7 İncelenen karayolu kesimi

6.3 Radar Verileri ile Trafik Akım Değişkenlerinin İncelenmesi

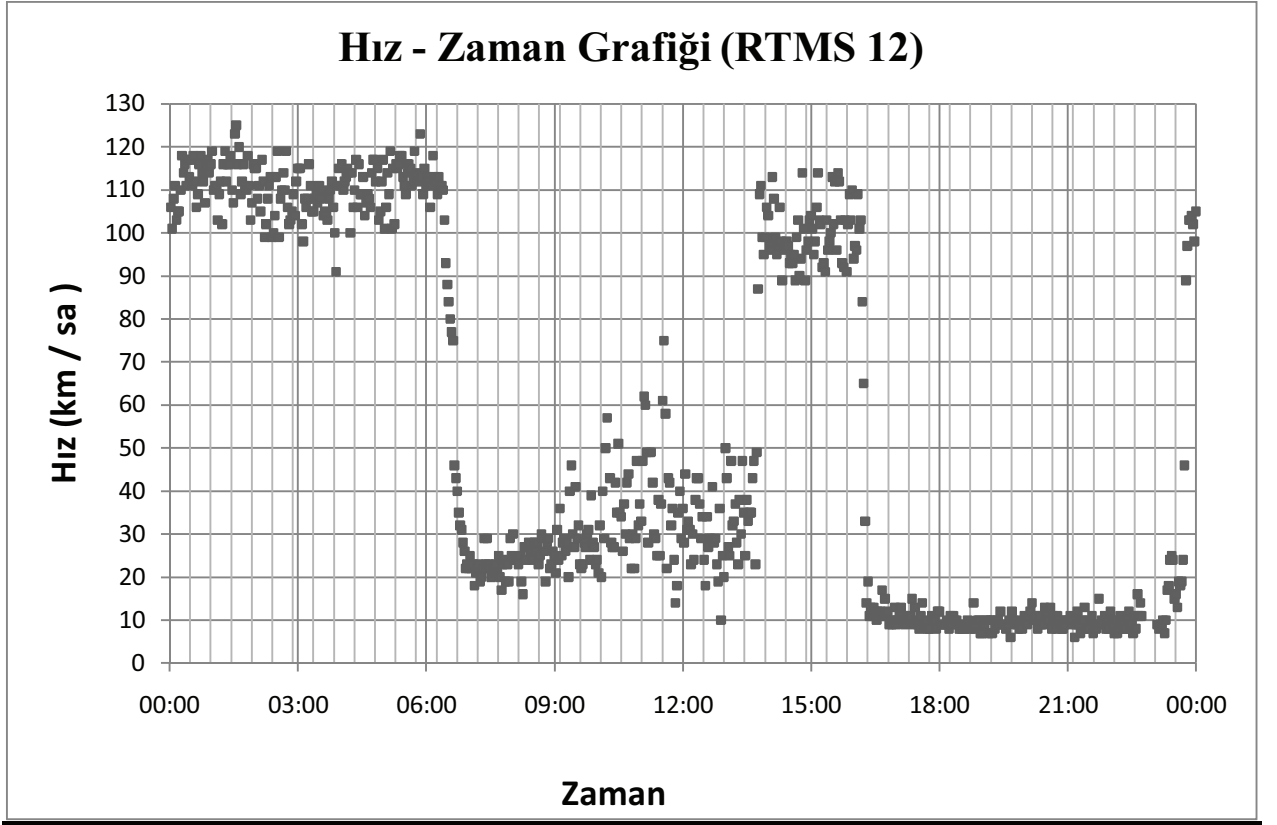
Radar detektörleri ile ikişer dakikalık ölçümlerle kaydı tutulan akım değerleri (taş / sa) ve ortalama hız (km / sa) değerlerinden yararlanarak akım (q) = hız (u) x yoğunluk (k) ilişkisi ile yoğunluk değerleri elde edilebilir.

$$k = q / u \quad (6.18)$$

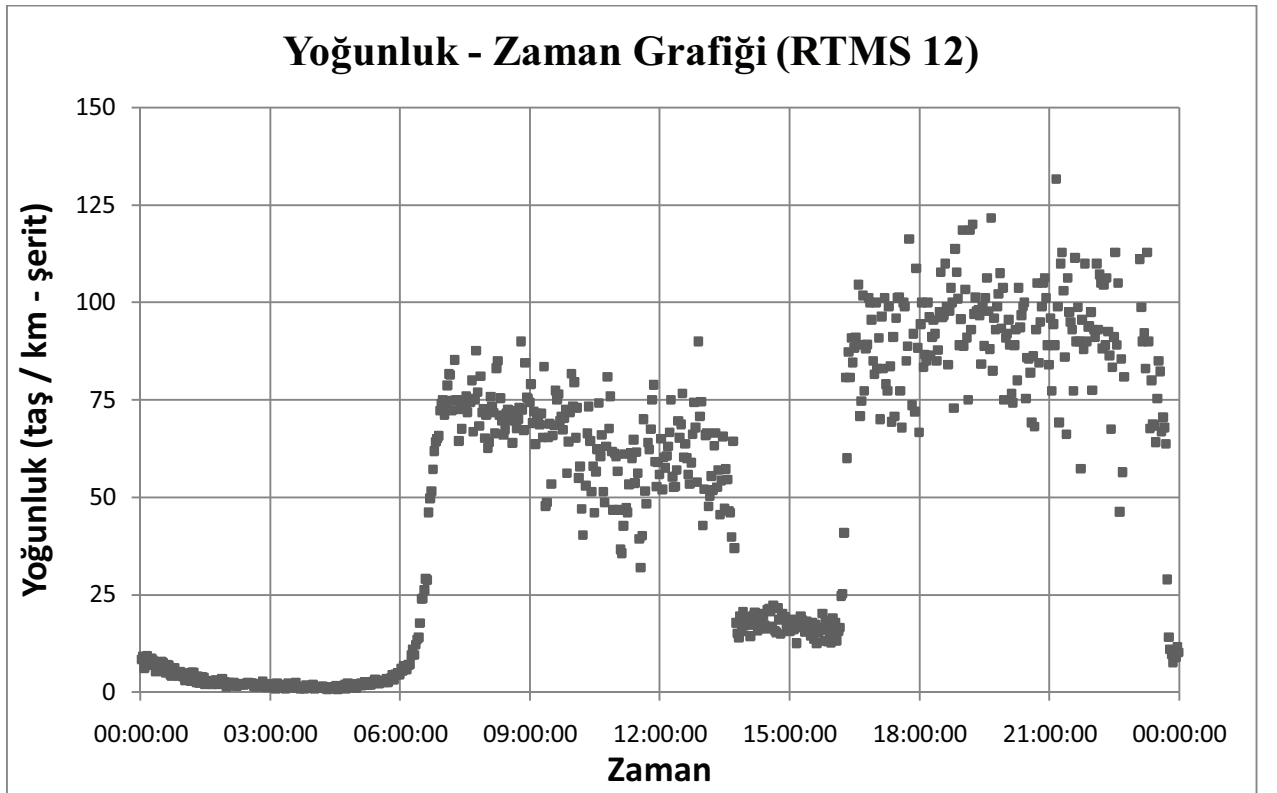
RTMS 12 ve 62 radarlarıyla ölçülen akım ve hız değerleri ile hesaplanan yoğunluk değerlerine ilişkin zaman serileri grafikleri ve oluşturulan ikili ilişki grafikleri Şekil 6.8 – 6.17 görülmektedir.



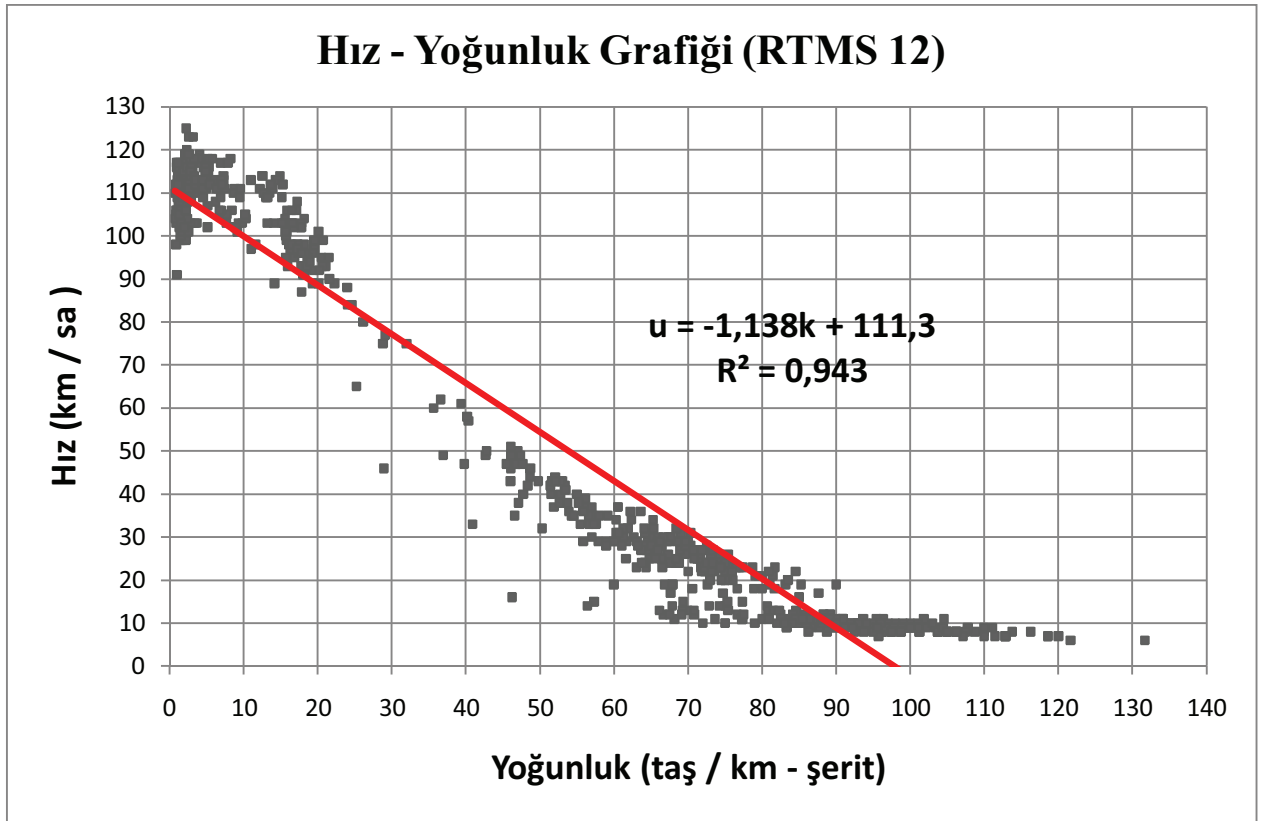
Şekil 6.8 RTMS 12 akım oranı – zaman grafiği



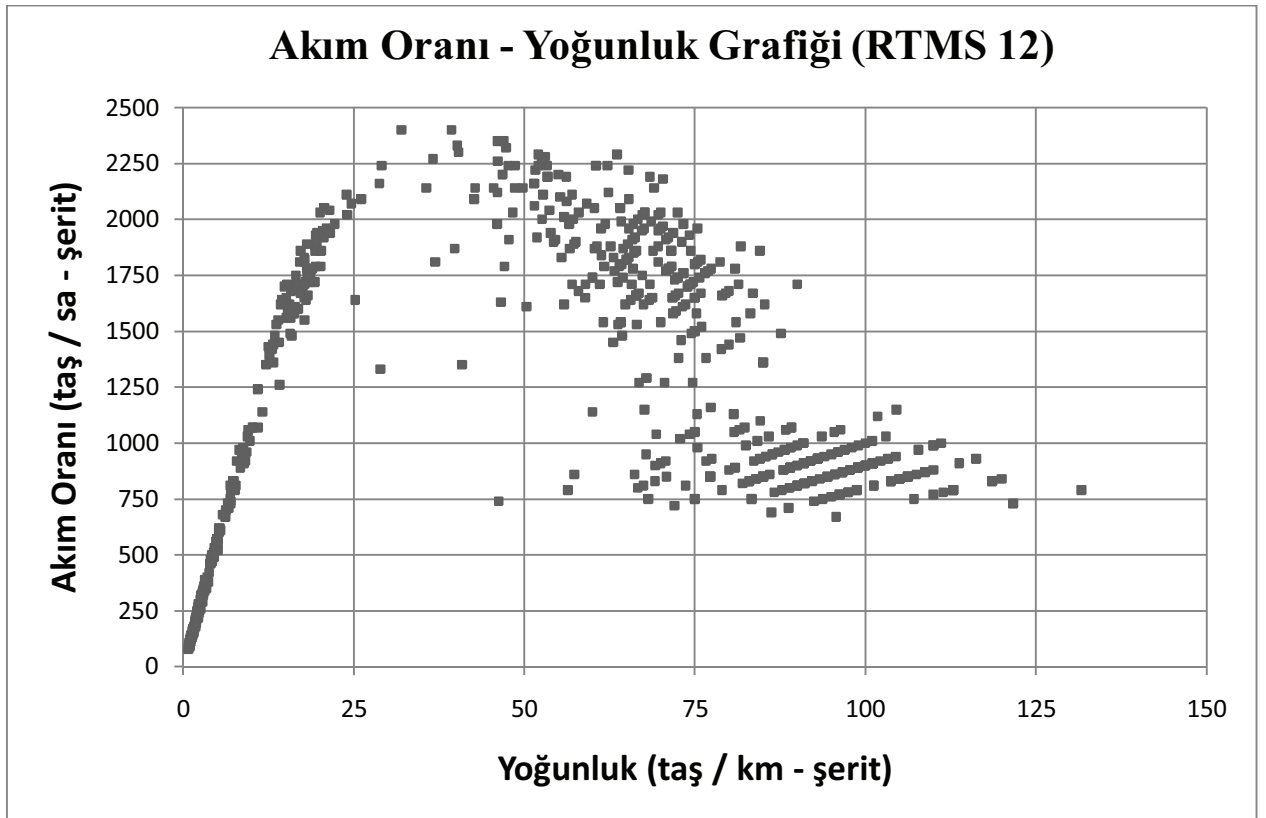
Şekil 6.9 RTMS 12 hız – zaman grafiği



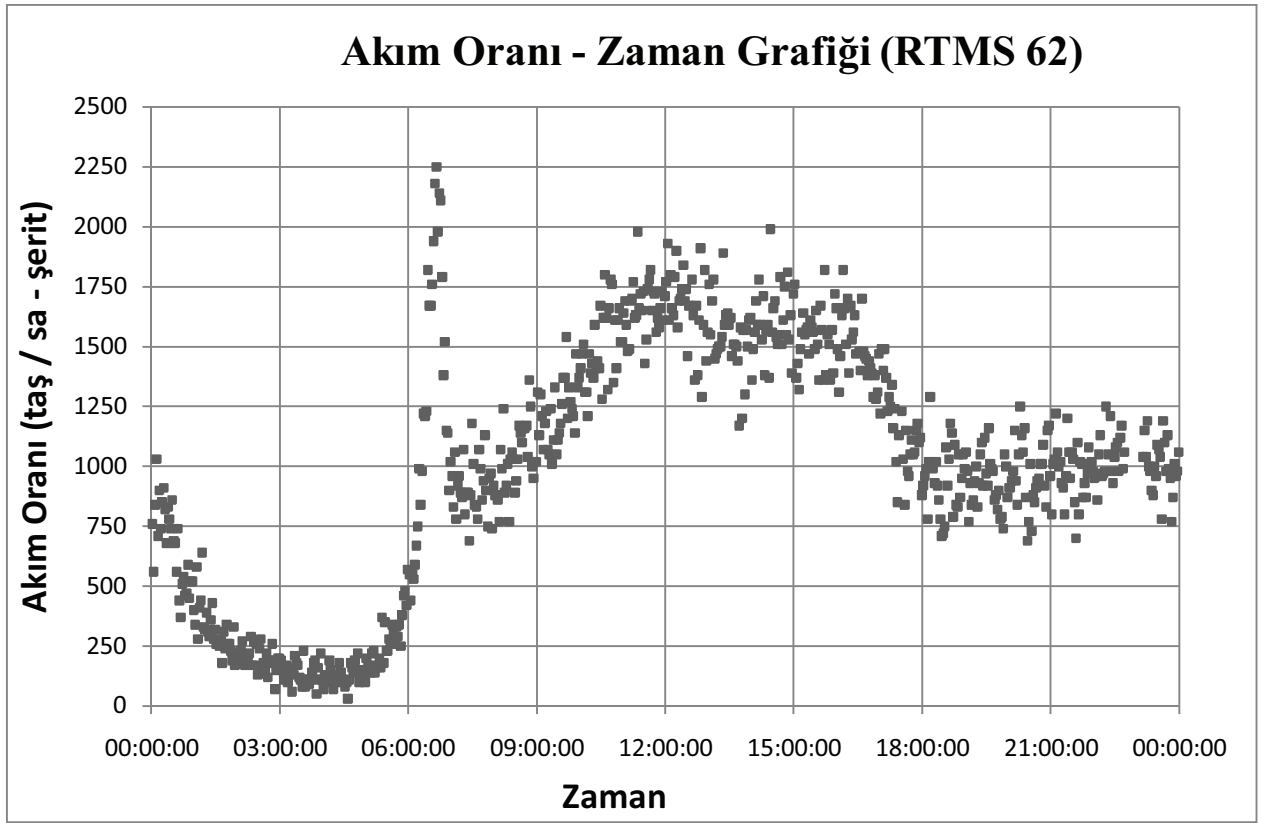
Şekil 6.10 RTMS 12 yoğunluk – zaman grafiği



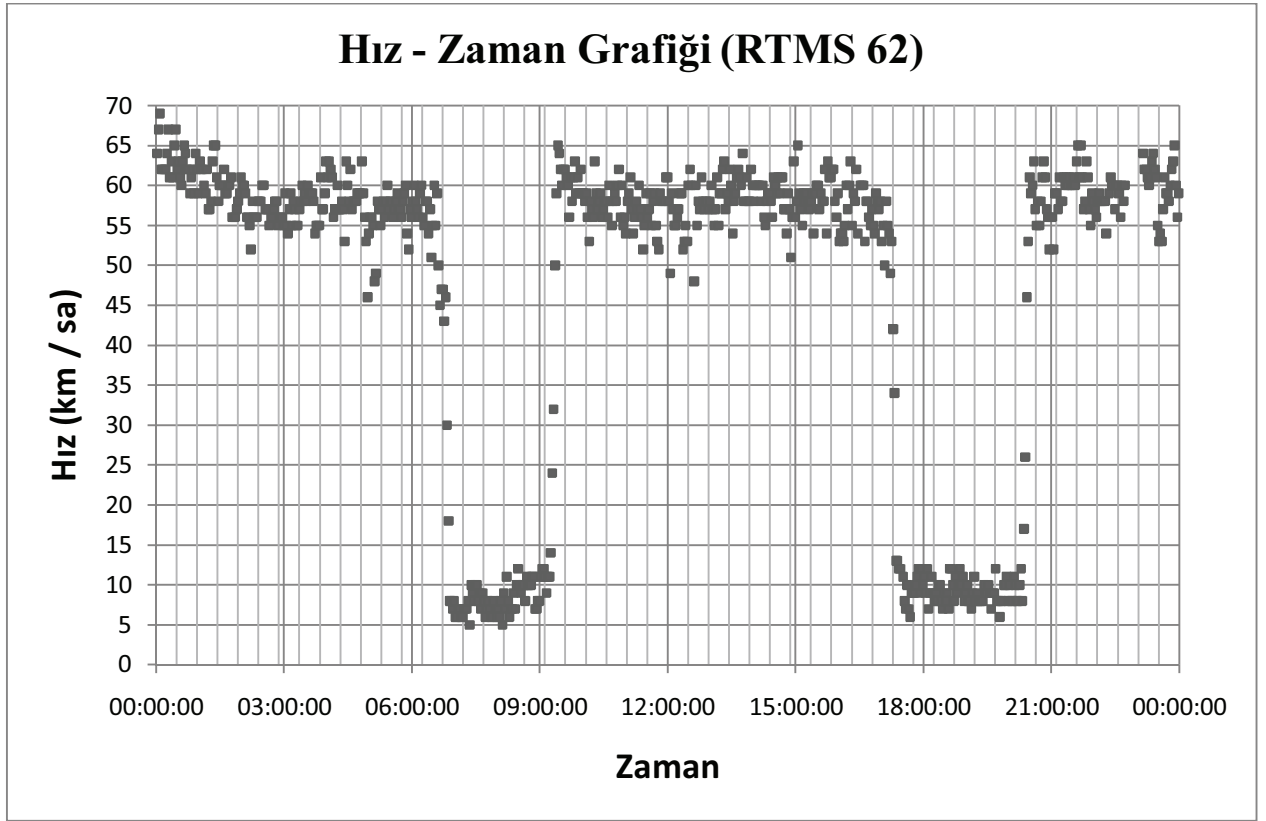
Şekil 6.11 RTMS 12 hız – yoğunluk grafiği



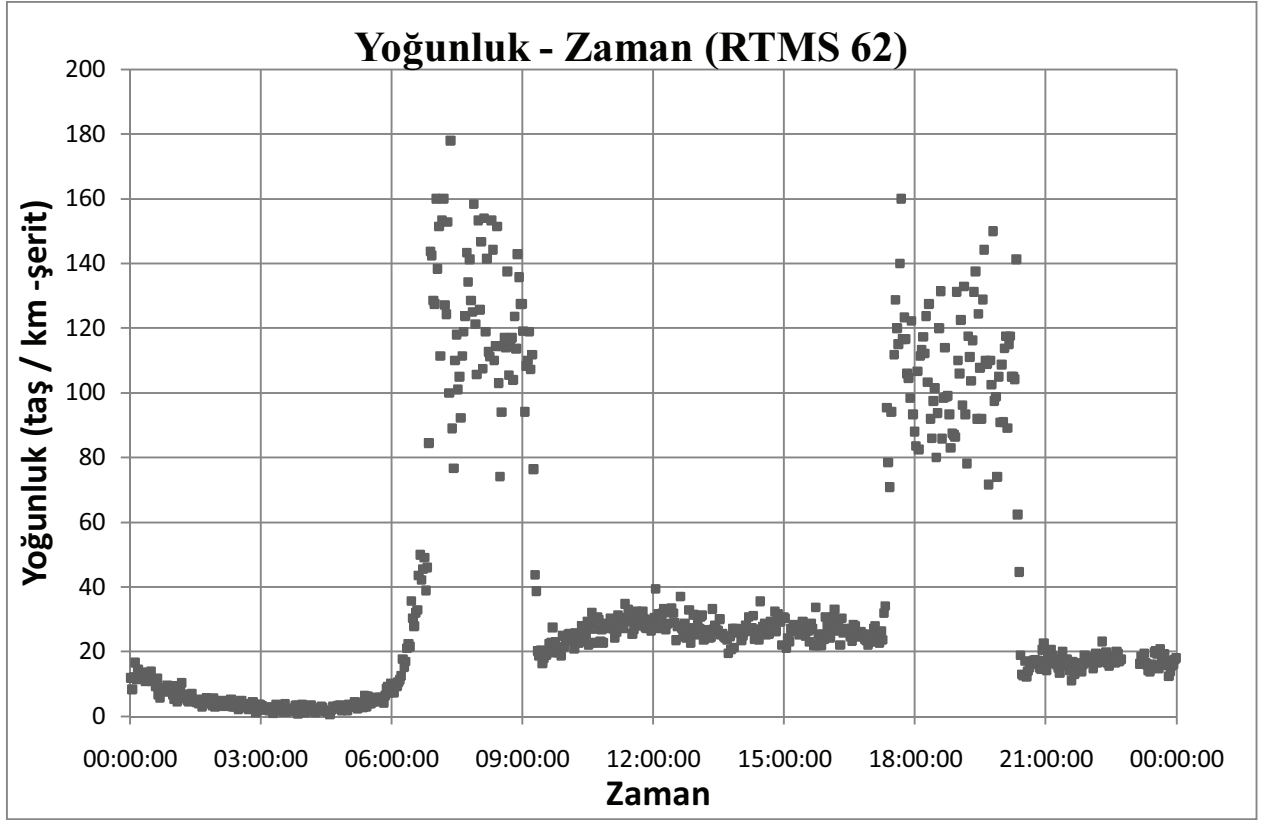
Şekil 6.12 RTMS 12 akım oranı – yoğunluk grafiği



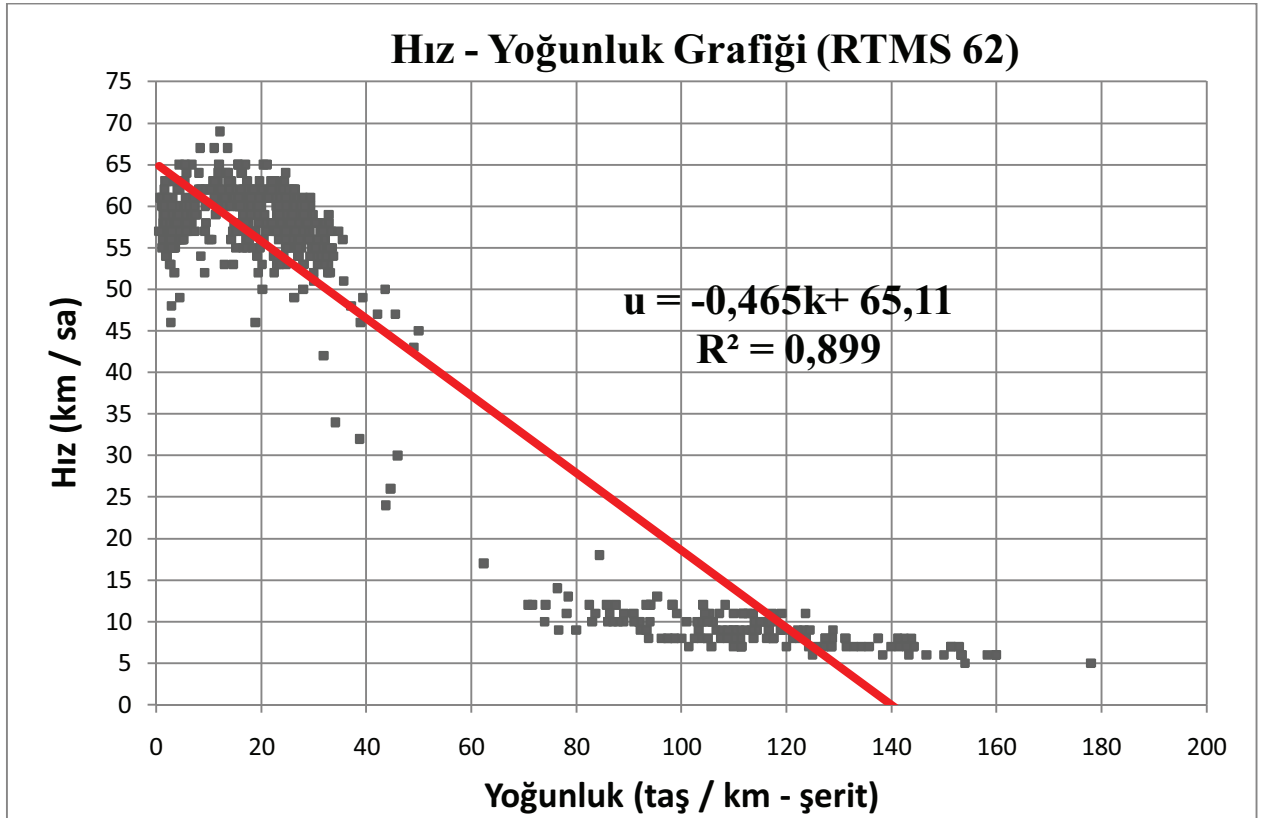
Şekil 6.13 RTMS 62 akım oranı –zaman grafiği



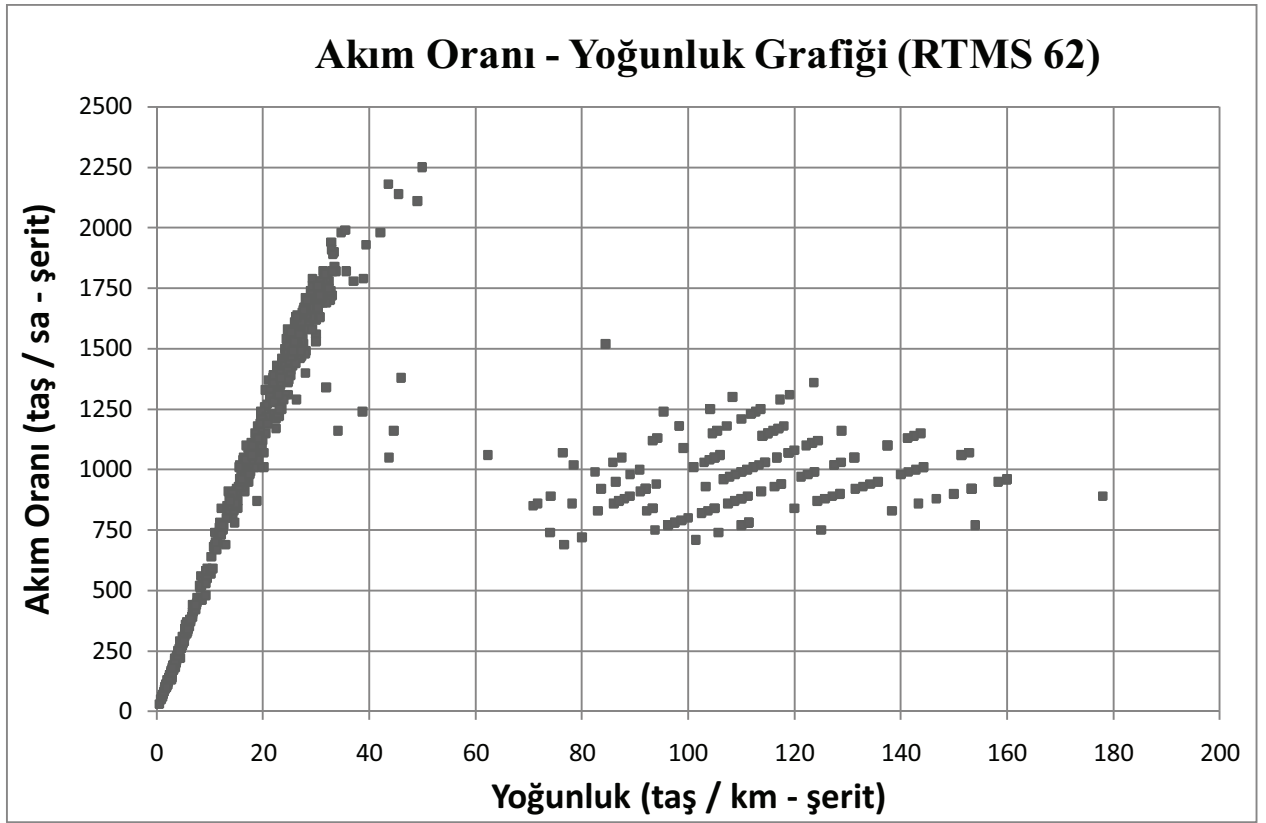
Şekil 6.14 RTMS 62 hız –zaman grafiği



Şekil 6.15 RTMS 62 yoğunluk – zaman grafiği



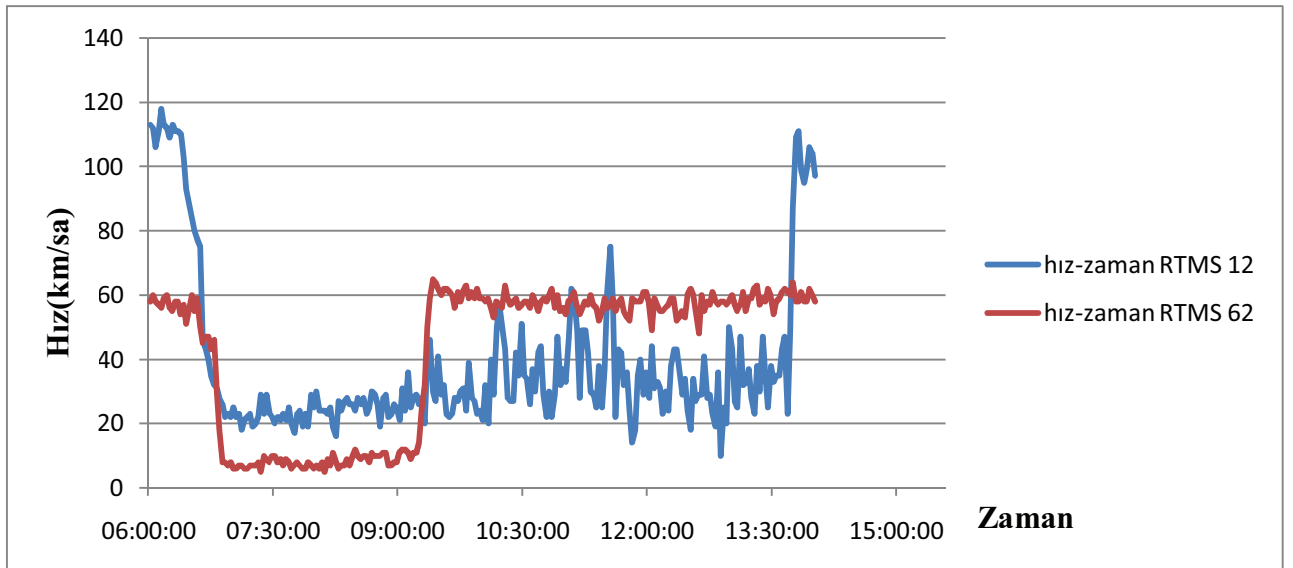
Şekil 6.16 RTMS 62 hız – yoğunluk grafiği



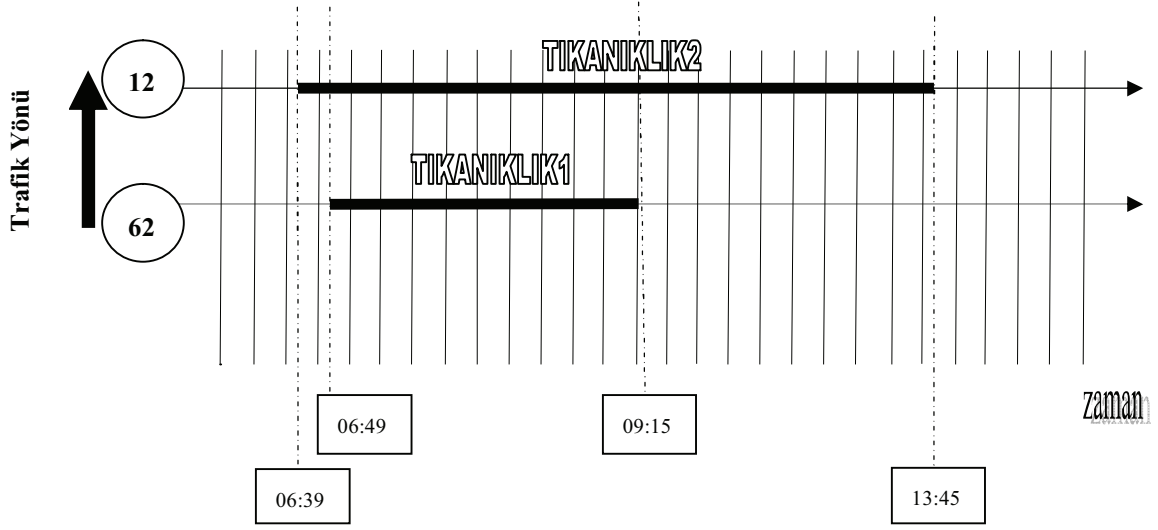
Şekil 6.17 RTMS 62 akım oranı – yoğunluk grafiği

6.4 Radar Verileri ile Tıkanıklık Sürelerinin Belirlenmesi

Radar detektörleri ile ikişer dakikalık okumalarla tespit edilen akım ve hızlar yardımıyla RTMS 12 ve RTMS 62 nolu radar kesitlerindeki tıkanıklığın başlangıç ve bitiş zamanları Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’ da görülmektedir.



Şekil 6.18 RTMS 12 ve RTMS 62 radarları için hız – zaman grafiğinin birlikte gösterimi



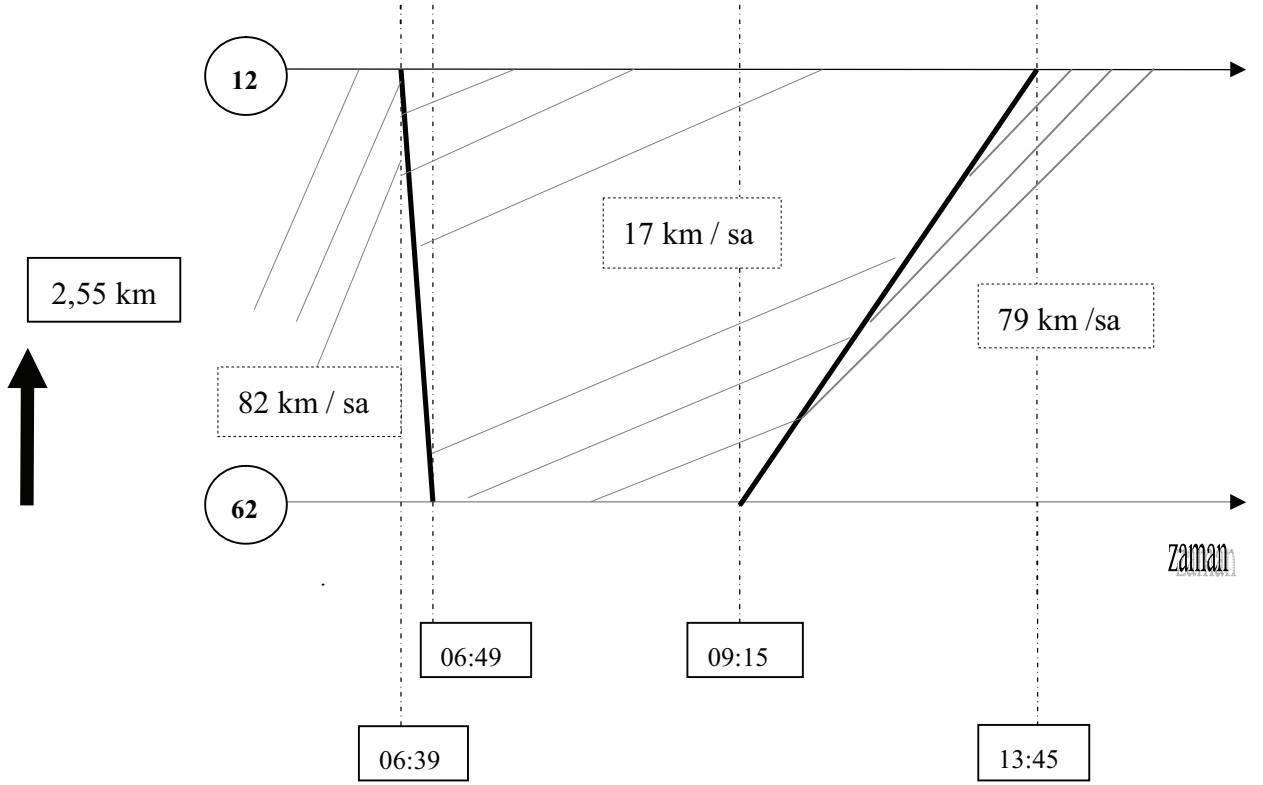
Şekil 6.19 Tıkanıklık diyagramı

RTMS 12 radarında tıkanıklık (06:39 – 13:45) zaman aralığında sürmekte iken, tıkanıklık RTMS 62 radarında (06:49 – 09:15) zaman aralığında devam etmektedir. Bu da bize akım aşağı yönde tıkanıklık süresinin arttığını ve buna bağlı akım yukarı yönde kuyruklanma olacağını göstermektedir.

Bu tıkanıklık diyagramları sayesinde şok dalgaları (hızları), kuyruklanma ve kuyruk erime zamanları tespit edilebilir. Böylelikle radarlar arasındaki kesimde şok dalgası öncesi ve sonrasındaki hızlar hesaplanabilir. Ayrıca radarlar arası kesimde kuyruklanma ve erime süreleri bilindiğinden, kuyruk oluşma ve erime şok dalga hızları da tespit edilebilir.

6.5 Şok dalga analizi

Şekil 6.20’de RTMS 12 – 62 radarları arasında oluşan şok dalgaları görülmektedir. Şekildeki kalın çizgiler şok dalgalarının yörüngeleri ve çizgi eğimi de şok dalgasının hızıdır. Şok dalgasından önce serbest akım koşullarında iki radar arasında taşıt hızları 05:00 – 06:39 zaman aralığı dikkate alınarak, iki radarın ölçümünün aritmetik ortalamasından 82 km / sa, 13:45 – 15:00 zaman aralığı dikkate alınarak 79 km / sa olarak hesaplanmıştır. Zorlamalı akım koşullarında 06:49 – 09:15 zaman aralığında ise ortalama hız 17 km / sa olarak elde edilmiştir. 82 km / sa ve 79 km/ sa yani serbest akım koşullarındaki hızlar trafiğin tıkalı olmadığı zaman aralığındaki hızları ifade ederken; 17 km / sa ortalama hızı ise zorlamalı akım koşullarını yani trafikteki tıkanıklık durumunu gösterir.



Şekil 6.20 Şok dalga diyagramı

6.6 Kuyruk kuramı

Çizelge 6.1'de kuyruk kuramı ile yolculuk süresi hesaplayabilmek için gerekli olan değerler yer almaktadır. q_q ve k_q değerleri akım aşağı yöndeki radar verilerinin değerlendirilmesi ile hız - akım - yoğunluk ilişkisinden elde edilir. q_q akım aşağı yönde maksimum akım oranı olarak kabul edilir ve bu akım değeri bize karayolu kesiminin kapasitesini göstermektedir. q_{n1} ; kuyruktan önceki talebin ifadesidir ve $t - t_1$ zaman aralığındaki maksimum akım oranını göstermektedir. k_{n1} ise q_{n1} akımının yoğunluk değeridir. q_{n2} ise kuyruktan sonraki talebin ifadesidir ve $t_1 - t_2$ zaman aralığındaki maksimum akım değeridir ve bu akıma ait yoğunluk değeri de k_{n2} 'dir.

Çizelge 6.1 Radar verileri ile elde edilen kuyruk kuramı - şok dalgası inceleme değerleri

	Açıklama	Kısım	Birim
q_q	Darboğazda kapasite	2000	taşıt / sa - şerit
k_q	Akımın kapasiteye ulaştığı andaki yoğunluk	60	taşıt / km - şerit
q_{n1}	$t - t_1$ zaman aralığında maksimum kuyruktan önceki talep	2150	taşıt / sa - şerit
k_{n1}	Maksimum kuyruktan önceki yoğunluk	50	taşıt / km - şerit
q_{n2}	$t_1 - t_2$ zaman aralığında maksimum kuyruktan sonraki talep	1925	taşıt / sa - şerit
k_{n2}	Maksimum kuyruktan sonraki yoğunluk	25	taşıt / km - şerit
t_1	Maksimum kuyruğun kalma süresi	2,36	sa
t_2	Kuyruğun erime süresi	7,06	sa

6.7 Şok dalgaları ve kuyruklanma analizi ile yolculuk süresi ve gecikme tahmini

Trafik; taşıt, yol ve sürücü etkileşimleri sonucunda yol – zaman diyagramındaki değişimlerle anlam kazanır ve yol – zaman ilişkisinde sürekli değişim gösteren trafik akımı, trafiğin dinamik olduğu anlamına gelir. Bu durumda akım, yoğunluk ve hız trafik dinamiğinin temel unsurlarıdır. Kuyruk kuramı trafik akım değişkenlerinin ikili ilişkilerinden olan akım – yoğunluk ilişkisi olmaksızın gecikme ve yolculuk süresi hesaplamakta kullanılır. Bunun yanı sıra şok dalgaları yöntemi ise trafik akımının sabit akım – yoğunluk değerlerini tahmin etmeyi gerektirir.

Bu çalışmada şok dalgası ve kuyruklanma analizleri yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 6.2 – 6.3’de gösterilmiştir. Bu analizler tıkanıklık altında taşıtların korunumu prensibi dikkate alınarak trafiğin dinamik mekanizmalarının incelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda, bu iki yöntem arasında trafik modelleme görüşleri açısından temel farklılıklar olduğu, şok dalga analizi ile karşılaştırma yapılabilmesi için kuyruklanma analizinde tüm gecikme değerlerinin hesaba katıldığı ve kuyruklanma diyagramında kapasite – talep eğrileri arasında kalan alanın tıkanıklıktaki toplam taşıt – sa’e eşit olduğu görülmektedir.

Şok dalgaları ve kuyruklanma analizi ile yapılan bu hesaplar karşılaştırıldığında bir takım farklılıklar gözlenmiştir (Çizelge 6.4):

- Toplam gecikme açısından iki yöntem karşılaştırılırsa, kuyruk kuramı talepteki değişimi dikkate alırken, şok dalga analizi ise t_1 anında meydana gelen k_{n1} ’den k_{n2} ’ye değişen yoğunluğu dikkate alarak hesap yapar. Aynı zamanda bu da karayolu kesiminde trafik akımının farklı iki rejim gösterdiğinin bir ifadesidir. Böylece her iki yöntemle hesaplanan toplam gecikme değerleri arasında fark yoktur ya da çok azdır.
- Kuyruk kuramında maksimum kuyruk t_1 anında oluşurken, şok dalga analizinde ise t_1 – t_0 anında oluşur (Şekil 6.4 ve 6.5). Bu nedenle trafik akımının tersi yönde yayılım gösteren kuyruk şok dalga analizinde daha büyük değer almaktadır. Ayrıca, kuyruk uzunluğu toplam yolculuk süresi ve toplam gecikme kavramları ile de bağlantılıdır. Oysaki kuyruk kuramı kuyruk yayılma ve erime hızlarını dikkate almadan hesap yaparken, şok dalga analizi ise şok dalga hızını kuyruk uzunluğu hesaplarında kullanır. Bu da farklılığın diğer sebebidir.

- Önceki maddede sunulan açıklamalar ışığında, iki yöntemin yolculuk süreleri de farklı olmaktadır.

Belirli bir karayolu kesimindeki gecikme ve yolculuk süresi hesabı için yapılan sayısal uygulama, şok dalgaları analizi ve kuyruk kuramı yöntemlerinin tutarlılık içinde olduğunu göstermiştir. Veri gereksinimi ve hesaplama yükü bakımından, kuyruk kuramı, şok dalga analizine göre karayolu darboğazlarındaki gecikme tahmini için basit ve doğru bir teknik sunar. Karayolu ulaştırma sistemlerinin performans analizinde, gecikme ve yolculuk süresi önemli girdileri oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu girdilerin detektör verilerinden faydalanılarak hesaplanabilmesi önemlidir.

- Kuyruk kuramı ve şok dalgası arasında karşılaştırma
 - Çizelge 6.2 Şok dalgası analizi

Değerlendirme	Formül	Hesaplama
Kuyruktaki maksimum taşıt sayısı	$(q_{n1} - q_q - w_u k_{n1})(t_1 - t_0) * 3$	$(2150 - 2000 + 15 * 50) * (2,36 - 1,48)$ $= 792 * 3 = 2376 \text{ taşıt}$
Maksimum kuyruk uzunluğu	$\left[\frac{q_{n1} - q_q - w_u k_{n1}}{k_q} \right] * (t_1 - t_0)$	$\left[\frac{2150 - 2000 + 15 * 50}{60} \right] * (2,36 - 1,48)$ $= 13,2 \text{ km}$
Toplam gecikme	$\frac{-w_u(t_1 - t_0)}{2} [t_2(k_q - k_{n2}) - t_1(k_{n1} - k_{n2})]$	$\frac{15(2,36 - 1,48)}{2} [7,08(60 - 25) - 2,36(50 - 25)] = 1253,16 \text{ taşıt - saat}$
Toplam yolculuk süresi (tıkanıklık koşullarında)	$\frac{(t_1 - t_0)^2}{2} \left(1 - \frac{w_u}{w_d} \right) (q_{n1} - q_q - w_u k_{n1})$	$\frac{(2,36 - 1,48)^2}{2} \left(1 + \frac{15}{2,14} \right) (2150 - 2000 + 15 * 50) = 2791,1 \text{ taşıt - saat}$
Ortalama kişisel gecikme	$\frac{-w_u(t_1 - t_0)}{2q_q t_2} [t_2(k_q - k_{n2}) - t_1(k_{n1} - k_{n2})]$	$\frac{15(2,36 - 1,48)}{2 * 2000 * 7,08} [7,08(60 - 25) - 2,36(50 - 25)] = 5,28 \text{ dak}$
Ortalama kişisel yolculuk süresi	$\frac{1}{2q_q} (q_{n1} - q_q - w_u k_{n1})(t_1 - t_0)$	$\frac{1}{2 * 2000} (2150 - 2000 + 15 * 50)(2,36 - 1,48) = 11,88 \text{ dak}$

Çizelge 6.3 Kuyruk kuramı analizi

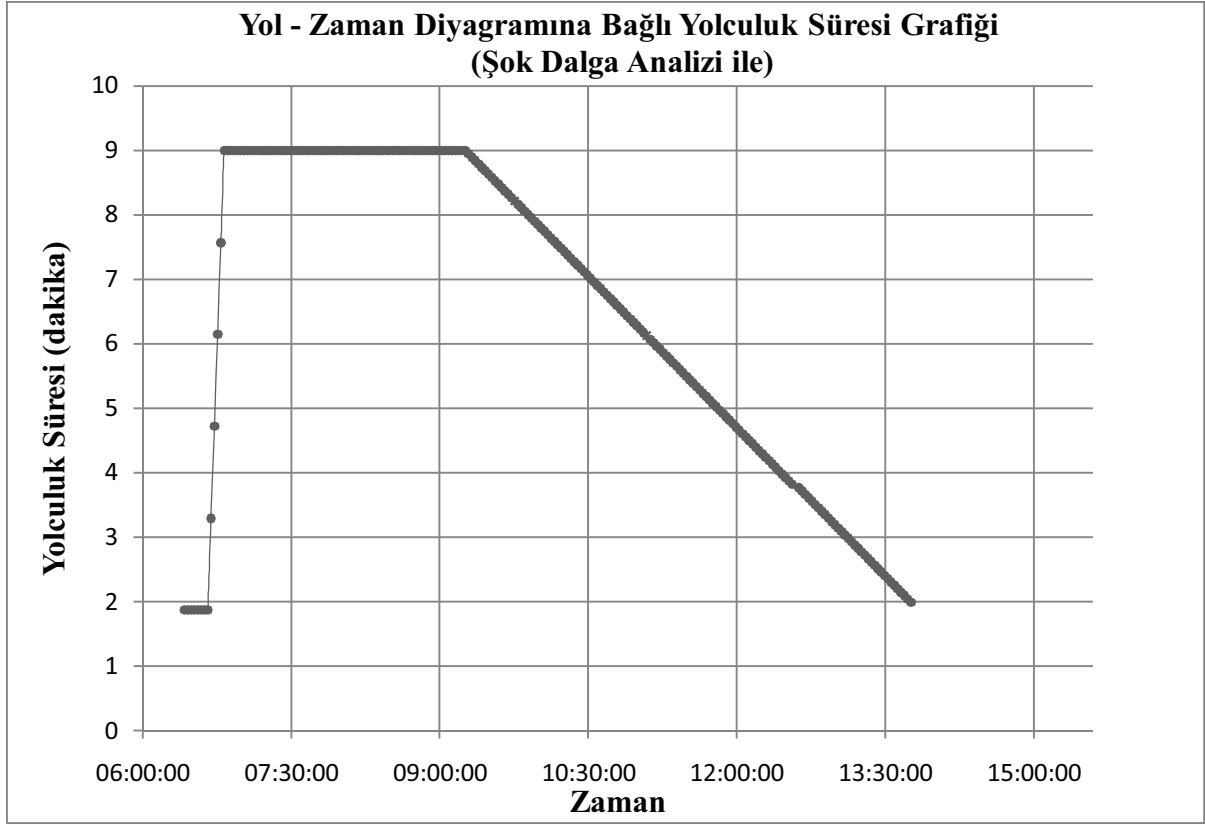
Değerlendirme	Formül	Hesaplama
Kuyruktaki maksimum taşıt sayısı	$(q_{n1} - q_q)t_1 * 3$	$(2150 - 2000) * 2,36 = 354 * 3 = 1062 \text{ taşıt}$
Maksimum kuyruk uzunluğu	$\left[\frac{q_{n1} - q_q}{k_q} \right] t_1$	$\left[\frac{2150 - 2000}{60} \right] * 2,36 = 5,9 \text{ km}$
Toplam gecikme	$\frac{t_1^2}{2} (q_{n1} - q_q) \left[1 + \frac{q_{n1} - q_q}{q_q - q_{n2}} \right]$	$\frac{2,36^2}{2} * (2150 - 2000) * \left[1 + \frac{2150 - 2000}{2000 - 1925} \right]$ $= 1253,16 \text{ taşıt - saat}$
Toplam yolculuk süresi (tıkanıklık koşullarında)	$\frac{t_1^2}{2} (q_{n1} - q_q) \left[1 + \frac{q_{n1} - q_q}{q_q - q_{n2}} \right]$	$\frac{2,36^2}{2} * (2150 - 2000) * \left[1 + \frac{2150 - 2000}{2000 - 1925} \right]$ $= 1253,16 \text{ taşıt - saat}$
Ortalama kişisel gecikme	$\frac{t_1}{2q_q} (q_{n1} - q_q)$	$\frac{2,36}{2 * 2000} * (2150 - 2000) = 5,31 \text{ dak}$
Ortalama kişisel yolculuk süresi	$\frac{t_1}{2q_q} (q_{n1} - q_q)$	$\frac{2,36}{2 * 2000} * (2150 - 2000) = 5,31 \text{ dak}$

Çizelge 6.4 Kuyruk kuramı ve şok dalgası karşılaştırması

Tanımlama	Kuyruk kuramı	Şok dalgası	Fark
Kuyruktaki maksimum taşıt sayısı (taşıt)	1062	2376	1314
Maksimum kuyruk uzunluğu(km)	5,9	13,2	7,3
Toplam gecikme(taş-sa)	1253,16	1253,16	0
Toplam yolculuk süresi (tıkanıklık koşullarında) (taş-sa)	1253,16	2791,1	1537,9
Ortalama kişisel gecikme (dak)	5,31	5,28	0,03
Ortalama kişisel yolculuk süresi (dak)	5,31	11,88	6,57

6.8 Performans analizinde yolculuk süresinin kullanımı

Şekil 6.20’de görülen serbest akım ve zorlamalı akım koşullarında hesaplanan ortalama hızlardan faydalanarak yolculuk süresi – zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 6.21). RTMS 62 nolu radar kesitinden geçen bir taşıt, RTMS 12 detektör kesitine kadar olan 2,55 km uzunluğundaki kesimi saat 06:39 anına kadar serbest akım koşullarında kat etmektedir. Yani, taşıtlar bu mesafeyi 82 km/sa hızla 1,87 dakikada almaktadır. Ancak, RTMS 12 detektör kesitinde şok dalgasının görülmesi ve bu dalganın akım yukarı yönde yayılmasıyla, RTMS 62 nolu radar kesitinden geçen bir taşıt RTMS 12 radarına erişinceye kadar, aradaki yolun bir kısmını önce serbest sonra zorlamalı akım koşullarında kat eder. Bu durum, şok dalgası RTMS 62 kesitine saat 06:49’da erişene kadar sürer. Bu andan itibaren, radar kesitleri arasındaki yol kesiminde tamamen zorlamalı akım koşulları hakim olduğundan, taşıtlar radarlar arasındaki kesimi 17 km/sa ortalama hızla 9 dakikada kat ederler. Talepteki azalma nedeniyle kuyruğun kısalmaya başlamasıyla, akım aşağı yöndeki kuyruk erime dalgası (kuyruk sonu) saat 09:15’ te RTMS 62’den geçer. Böylece, RTMS 62 ve 12 arasındaki kesimde 17 km/sa hızla temsil edilen zorlamalı akım koşulları 06:49 ve 09:15 saatleri arasında geçerli olur. Saat 09:15’ten sonra, radar kesitleri arasında yol alan taşıtlar önce serbest (bu kez 79 km/sa hızla) sonra saat 13:45’e kadar süren zorlamalı koşullarında yolculuk ederler. Buna göre, kesimdeki zorlamalı akım koşullarından önce (06:39-06:49 arasında) 1,87 dakika olan yolculuk süresi, kuyruklanma şok dalgasının kesime girmesiyle yolculuk süresi düzenli bir şekilde 9 dakika kadar uzar. Kesimin tamamında zorlamalı koşulların hakim olduğu 06:49-09:15 arasında yolculuk süresi 9 dakika olarak kalır. Kuyruğun erimeye başlamasıyla birlikte saat 09:15-13:45 arasında yolculuk süresi düzenli olarak kısalır ve kuyruğun tamamen ortadan kalkmasıyla, yolculuk süresi, 79 km/sa serbest hızla orantılı olarak 1,94 dakika olur.



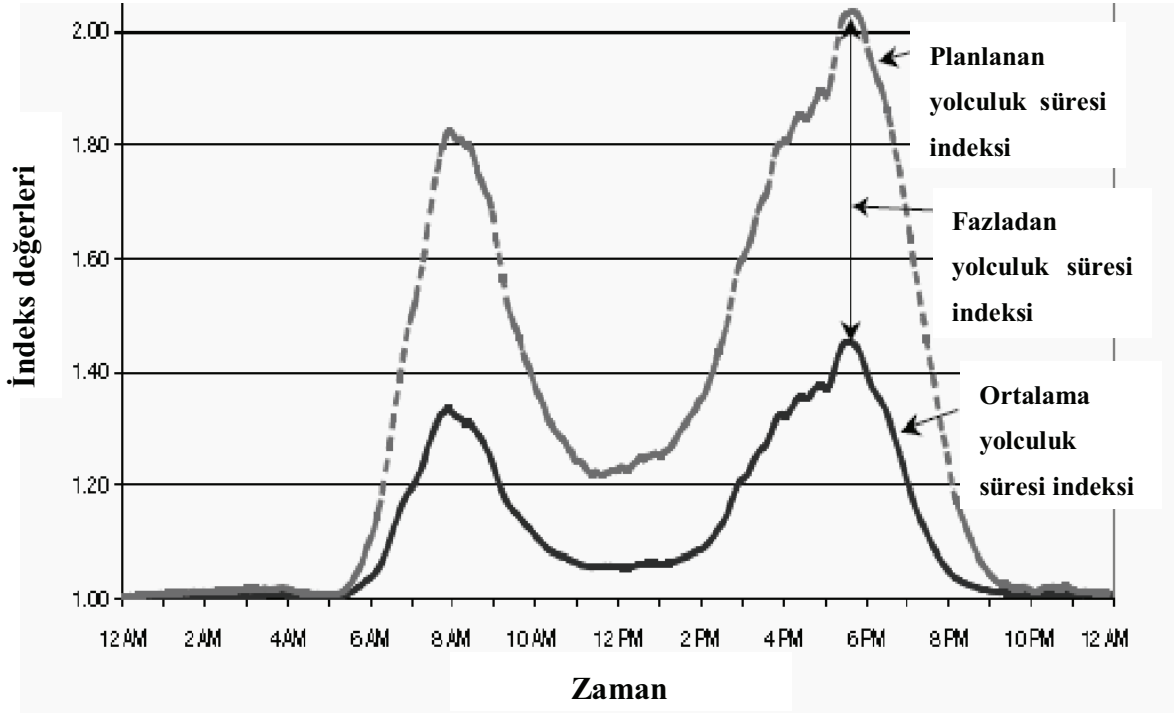
Şekil 6.21 RTMS 62 ve RTMS 12 arasında yolculuk süresi – zaman grafiği

Ulaştırma sistemi kullanıcıları yolculukları sırasında beklenmedik gecikmelere karşı az hoşgörü gösterirler. Sürücüler genelde yıllık ortalama yolculuk süresini dikkate almak yerine, tıkanıklığın fazla olduğu, yolculuk süresinin ortalamadan çok uzun olduğu gün ve tarihleri daha iyi hatırlarlar ve yolculuklarını bu deneyimlerine göre planlarlar (Şekil 6.21). Yolculuk süresinin güvenilirliğini artırmak için ilk adım ölçüm yapmaktır. Yolculuk süresi güvenilirliği ölçümleri, kullanıcıların deneyimlerini, basit bir yolculuk süresi ortalaması almaktan daha iyi temsil eder.

Şok dalgaları veya kuyruk kuramı ile hesaplanan yolculuk süresinin kullanılabilir olabilmesi için, bu incelemelerin devamında yolculuk süresinin tahminine ilişkin günümüzde etkili bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem üç farklı indeksi ele alarak yolculuk süresinin güvenilirliğini dikkate almamıza yardımcı olur. Birincisi, ortalama yolculuk süresidir. İkincisi, belirli bir karayolu kesiminde en ağır trafik koşullarının görüldüğü günlerde gecikmenin ne kadar kötü olacağını tahmin etmektedir. Üçüncüsü ise tampon indeks (buffer index) adını almakta, yolcuların son noktalarına zamanında varmak için ortalama yolculuk sürelerine eklemeleri gereken fazladan bir süreyi ifade etmektedir. Örneğin, ortalama yolculuk süresi 20 dakika olan bir yolculukta % 40 fazla zaman indeksi ile yolculuk için 8

dakika fazla süre gerekir. Yani, ortalama yolculuk süresi 20 dakika olan bir karayolu kesiminde, bir kişi, gecikme yaşamamak için 28 dakikalık bir yolculuk planı yapmalıdır.

Fazla süre indeksi Şekil 6.22'den de görüldüğü gibi %90 - %95 güvenirliliğe denk gelen toplam (planlanan) yolculuk süresi indeksi ile ortalama yolculuk süresi indeksi arasında kalan kısımdır.



Şekil 6.22 Planlanan yolculuk süresi – Ortalama yolculuk süresi grafiği (FHWA, 2003)

Yolculuk süresi indeksi, zirve saatlerdeki yolculuklarda maksimum değer alan bir hareketlilik (mobilité) ölçütüdür. Fazla zaman indeksi ise bir güvenirlilik ölçütüdür. Güvenirlilik problemleri yani fazla süre gereksinimi, trafik koşulları, özel olaylar (günler) zirve saat vd. gibi birçok sebepten talepteki değişimlerin sonucunda oluşur.

Şok dalga ve kuyruk kuramı analizleri ile belirlenen yolculuk süresi ve gecikmelerin değerlendirilmesi ve yapılan bu hesaplardan kullanılabilir faydalar elde etmek bu yöntemle mümkün olabilir. Yolculuk süresi değişkenliği güvenirlilik ve hareketlilik başta olmak üzere birçok performans ölçütünü de doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen bir faktördür. Bu nedenle, karayolu işletiminin değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılan/kullanılması gereken bir ölçüttür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde karayolu kesimleri ve ulaştırma sistemlerinde performans ölçütlerinin kullanımı ile ilgili araştırmalar derlenmiştir. Geçmişten günümüze ulaştırma sistemlerinde gereksinimlere yanıt verebilecek ve verimli bir ulaştırma ağı oluşmasına ve işletimine yönelik birçok performans ölçütü tanımlanmıştır.

Genel anlamda performans ölçütlerinin etkilerini, ulaşımda verimlilik, çevre, ülke ekonomisi, toplum ve ücret stratejileri açısından tanımlayabiliriz. Ulaştırmada verimliliği sağlayan en önemli performans ölçütleri hareketlilik, erişebilirlik, güvenlidir. Diğer etkilerden kısaca bahsetmek gerekirse; ekolojik denge, su ve hava kalitesi, iklimdeki değişimler performans ölçütlerinin çevresel etkilerini oluşturmaktadır. Ülkeye ait karayolu ağının ülke ekonomisindeki yeri ve ekonominin gelişmesindeki önemi, buna bağlı olarak karayolu kesiminin geçtiği güzergahtaki sosyo-kültürel ve ihtiyaca yönelik mekanların varlığı ve arazi durumu, performansı etkileyen diğer ölçütleri meydana getirmektedir.

Ulaşım ihtiyacına bağlı her geçen gün büyük bir hızla artan ulaşım talebi, kentiçi ulaştırma sisteminin giderek büyümesine ve karmaşıklaşmasına neden olmuştur. Giderek büyüyen ve karmaşıklaşan bu sisteme ilişkin sorun alanları da büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların bir sonucu olarak da çeşitli sorun alanları farklı bilim dallarının çalışma alanlarına girmektedir. Dünyada ulaştırma alanında performans ölçütlerinin yaygın bir kullanım alanı vardır. Bu nedenle performans ölçütlerinin göz ardı edilmemesi; ulaştırma organlarının hizmet performansını, bu ölçütlerin tanımlanmasını, düzenlenmesini ve planlanmasını, gelecek yatırımlarının tespit edilmesini de sağlar.

Tezin altıncı bölümünde şok dalgası ve kuyruk kuramı analizleri ile yolculuk süresi tahminine ve yolculuk süresinin karayolu performans incelemesinde önemine ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda şok dalga analizi ve kuyruk kuramı analizi karşılaştırılmış ve modelleme farklılıklarına rağmen, sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Bu analizlerin amacı şok dalgası ve kuyruk kuramını incelemenin yanı sıra yolculuk süresinin karayolu performansı üzerindeki etkilerini görmek, performans analizinde yolculuk süresinin ne gibi ölçütleri de etkileyeceğini saptamak, yolculuk süresinin ne amaçla kullanılabileceğini belirlemek ve önemini vurgulamaktır. İstanbul 1. Çevreyolunun (O – 1 karayolu) Boğaziçi Köprüsüne Asya – Avrupa yönünde yaklaşan bir kesiminde, radar detektör verilerinden yararlanarak, şok dalgası ve kuyruk kuramı yöntemleri kullanılarak yapılan bu uygulamada,

toplam yolculuk süresi ve toplam gecikme hesaplanmış ve bu iki yöntem karşılaştırılmıştır.

Bu analizlerin ve karşılaştırmaların sonucunda:

- Kuyruk kuramı yolculuk yapan taşıtlardan gecikmiş olanları dikkate alarak analiz yaparken, şok dalga analizi ise tıkanıklık koşullarında kuyruktaki tüm taşıtları göz önünde bulundurur. Bu nedenle her iki yöntemle hesaplanan maksimum kuyruk uzunluğu ve toplam yolculuk süresi açısından farklılıklar oluşmaktadır. Yapılan çalışmada da belirlendiği gibi şok dalga analizinde maksimum kuyruk uzunluğu 13,2 km iken, kuyruk kuramında ise maksimum kuyruk uzunluğu 5,9 km' dir. Toplam yolculuk süresi, şok dalgaları analiziyle 2791,1 taş – sa, kuyruk kuramı analiziyle ise 1253,16 taş – sa olarak hesaplanmıştır.
- İki yöntemle hesaplanan toplam gecikme değerleri arasında fark yoktur ya da çok azdır.
- Kuyruk kuramı kuyruk yayılma ve erime hızlarını dikkate almadan hesap yaparken, şok dalga analizi ise kuyruğa yaklaşan ve dahil olan trafiği de dikkate aldığından, şok dalga hızını kuyruk uzunluğu hesaplarında kullanır.
- Şok dalga analizi, trafik akımının özellikleri arasındaki ilişkilerin trafik kuyruklarının davranışını nasıl etkilediğini anlamak açısından önemlidir.
- Bu iki yöntem arasında farklılıklar olmasına rağmen her ikisi de yolculuk süresi tahmininde bize veri oluşturur ve ilgili karayolu kesimine ait performansın tespitinde önemli bir yol göstericidir.
- Şok dalgaları ve kuyruk kuramı ile belirlenen yolculuk süreleri çeşitli planlama ve karayolu işletimi uygulamalarında kullanılabilir.
- Ortalama yolculuk süresi, toplam yolculuk süresi ve tampon süre (planlanan yolculuk için göz önünde bulundurulması gereken fazla süre) kavramları, yolculuk süresi tahminlerinde ve buna ilişkin performans analizlerinde dikkate alınması gerekir.
- Yolculuk süresi; erişebilirlik, hareketlilik, güvenilirlik vd. performans ölçütlerini etkileyen bir faktördür.

Bu durumda, yolculuk süresi tahmini; tıkanıklık, gecikme, yolculuk zamanı planlaması, sinyalizasyon, yolculuk geçkisi tercihi vd. gibi kentsel ulaştırma sorun ve çözümlerine ışık tutabilecek performans analiz ölçütlerinin en önemlilerinden biridir.

KAYNAKLAR

- Acar, İ.H., (2003) “Bütünleşik Ulaşım Politikası ve Avrupa Kentsel Şartı, Ulaşım ve Dolaşım İlkeleri”, Ulaştırma Politikaları Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- Akyıldız, G.,(2003), “Boğaziçi Köprüsü Gişe Sahasında Trafik Akımlarının Gözlenen Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Alaylı, B., (2006) İnal A., “Ulaştırma Sistem Performans Artırımına Yönelik Arazi Kullanımı Optimizasyonu: Ankara Örneği”, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Bölümü.
- Aslan, H., “Türkiye’de Ulaştırma Mühendisliği Eğitimine Duyulan İhtiyaç – İngiltere Örneği ve Yeni Bir Model Önerisi”, Akademik Dizayn Dergisi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma ABD.
- Ay, S., (2006) “Ulaştırma Sistemlerinin Çevresel Etkileri”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bağırhan, N., (2006) “Şehirlerarası Karayollarında Trafik Güvenliği Tahmini”, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi; Isparta .
- Barth, M., Todd M., (1999) “Simulation Model Performance Analysis of a Multiple Station Shared Vehicle System”, Transportation Research Part C 7, 1999, 237 – 259.
- Bertini, L. R., (2003) “Using Archived Data to Generate Transit Performance Measures”, Transportation Research Record, TRB, Washington D. C.
- Brach, A., (2009) “Impementing the Result of the Second Strategic Highway Research Program: Saving Lives, Reducing Congestion, Improving Quality of Life”, New TRB Special Report – April 2009.
- Cassidy, M.J., (1999), “Traffic Flow and Capacity”, In Handbook of Transportation Science, Ed. R.H. Hall Kluwer Academic Publishers, pp. 151 – 186.
- Costas, A., Kerstens, K., (2002) “Public Transit Performance: What does one learn from frontier studies”, Transport Reviews, 2002, Vol. 22, No. 1, 1 – 38.
- Çavdar, A., Uçar M., Kılıçaslan İ., (2008) “Trafik Kazalarına Sebep Olan Yüksek Hız Kusurlarının Denetimi ve Aktif Güvenlik Sistemler ile Kontrolü”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1, 187 – 198, 2008.
- Çetin, M., Uğur A., Bayzan Ş., (2002) “Araç Rotalama Probleminde Araç Rotalarının Tespitinde En Kısa Yol Yaklaşımı: Mehmetçik Mahallesi Örneği”.
- Daganza, C., (1997), “Fundamentals of Transportation and Traffic Operations”, Oxford, Pergamon.
- Delibaş, R., (2005) “Karayolları Noktasal Trafik Verileri Kullanılarak Kesimsel Trafik Karakteristiklerinin İrdelenmesi”, T.C. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi; Ankara.
- DPT, (1995) “Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu, Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu”, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Yayın No: DPT: 2388 – ÖİK:451.
- DPT, (2000) “Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu, Kentiçi Ulaşım Türlerine İlişkin Politikalar ve Öneriler”, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Yayın

No: DPT: 2582 – ÖİK:594.

Elmas, G., Yızdızhan B., “Türkiye’de Ulaşım Politikaları ve Trafik Kazalarının Ekonomik Analizi”, Gazi Üniversitesi, IBBF, İktisat Bölümü.

Erel, A., (2001) “Ulaştırma Sistemlerinde Fonksiyonel Sınıflandırma için Bir Yaklaşım”, YTÜ İnşaat Fakültesi, Yıldız, İstanbul.

Erel, A., (2007) “Ulaştırma Planlaması”, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Ulaştırma Planlaması Ders Notu, İstanbul.

FHWA, (2003) “Travel Time Reliability; Making it there on time, all the time”, U.S.Department of Transportation

Fricker, J.D., Whitford R.K., (2004) “Fundamentals of Transportation Engineering, A Multimodal Systems Approach”, Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall.

Gedizlioğlu, E., Akad M., (2007) “Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı”, İTÜ dergisi / d, Cilt:6, Sayı:1, 88 – 98.

Güneş, Y., Kul R. H., (2008) “Toplu Taşımacılık Performans ve Müşteri Memnuniyeti Takip Bilişim Sistemi” Beykent Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul.

Hartgen, D. T., Neuman L. A., (2002) “Performance”, Transportation Quarterly, Vol: 56, No: 1, Winter 2002, 5 – 19.

Kayacı, K. “Karayolu Kapasitesi”, "http://tr.wikipedia.org/wiki/Karayolu_kapasitesi"

Khisty, C. J., Lall B. K., (1998) “Transportation Engineering”, Second Edition, Prentice – Hall, Inc.

Kılıç, O., (2006) “Trafik Planlaması ve Uygulaması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi; Ankara - Eylül 2006.

Mannering, Fred L., (1990), “Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, Fundamentals of Traffic Flow and Queuing Theory”, Newyork.

Nam, Do H., Drew, D.R., (1998) “Analyzing Freeway Traffic under Congestion: Traffic Dynamics Approach”, Journal of Transportation Engineering.

NCRP, Synthesis 311, (March, 2003), “Performance Measures of Operational Effectiveness for Highway Segments and Systems”, National Cooperative Highway Research Program.

Ozgan, E., (2008) “Karayolu Araç Tipi ve Kaza Şekli ile Kaza Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Analizi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1, 97 – 104, 2008.

Özkıvrak, Ö., Aktan C. C., (2000) “Toplu Taşıma Hizmetlerinde Kamu ve Özel Sektör Performans Karşılaştırması”, Devlet mi?, Piyasa mı?, Ankara: Tosyöv Yayınları, 2000, adlı çalışmadan alındı.

Papacostas, C.S., Prevedouros P.D., (2001) “Transportation Engineering & Planning”, Third Edition by Prentice – Hall Inc.

Rakha, H., Zhang, W., “Consistency of Shock – Wave and Quening Theory Procedures for Analysis of Roadway Bottlenecks”, Virginia Tech Transportation Institute.

Roess, P.R., Mcshane, W., (1990) “Traffic Engineering”, Prentice – Hall Inc., Simon & Schuster / A Viacom Company.

Schrank, D., Lomax, T., (September 2007) “The 2007 Urban Mobility Report”.

- SHRP 2, (2009) “Capacity Project C02: Performans Measurement Framework for Highway Capacity Decision Making”, Transportation Research Board of The National Academies.
- Sinha, K.C., Labi, S., (2007) “Transportation Decision Making”, John Wiley & Sons Inc.
- Şahin, İ., (2004) “İÇTAG – I920: Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması”, İstanbul.
- Şahin, İ., Altun B., (2006) “Kentiçi Otobüs Toplu Taşımacılığında Performans Analizleri ve Planlama”, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tarko, A.P., (2003), “Highway Traffic Operations”, In The Civil Engineering Handbook, Second Edition, Ed. W.F. Chen and J.Y. Richard Liew, CRC Press LLC.
- T.C. Sayıştay Başkanlığı, (2008) “Performans Denetim Raporu, Trafik Kazalarını Önleme Raporu”.
- TCRP REPORT 88; A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System.
- TCRP Conference Proceedings 44, (2008), “U.S. and International Approaches to Performance Measurement for Transportation Systems”.
- Terzi, S., Kardeş M., (2002) “Ulaştırma Mühendisliğinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı”, GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Haziran – 2002 Şanlıurfa.
- TMMOB, (2001) “I. Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu”, Makine Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı, Yayın No: E / 2001/268.
- Vandaele, N., (2000), “A Queueing Based Traffic Flow Model”, Transportation Research, Part D, 5:2:121 – 135.
- Wirasinghe, S. C., (1978) “Determination of Traffic Delays From Shock – Wave Analysis”, Transportation Research Vol. 12. pp. 343 – 348.
- Yalınız, P., (2006) “Kentsel Ulaştırmada Otomobil Kullanıcılarının Toplu Taşımaya Yönlendirilmesi:Çevresel Etkileri İçeren Analiz ve Planlama”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalında hazırlanan doktora tezi.
- Yardı, M.S., (2008) “Kentiçi Toplulaşıma Sisteminde Otobüs İşletmeciliği”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Ulaştırma İşletmesi Ders Notu.
- Yayla, N., Karacasu M., (2004) “Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Özelleştirme İçin Bir Karar Destek Modeli Önerisi: Eskişehir Örneği”, İTÜ dergisi / d, Cilt:3, Sayı:6, 59 – 70.
- Yayla, N., (2002) “Karayolu Mühendisliği”, İTÜ, Kod No: Y. 0029, ISBN: 975 – 511 – 287.
- Yeon, J., Ko, B., (2007) “Comparison of Travel Time Estimation Using Shockwave Analysis and Queuing Theory to Field Data Along Freeways”, 2007 International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering (MUE’2007).
- Yılmaz, E., (2006) “Aksiyomlarla Tasarım İlkeleri Yardımıyla Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Tasarımı”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:11, Sayı:1, 2006.
- Yüksel, S., (2003) “Türkiye’de Kentiçi Karayolu Güvenliği Üzerine Bir Araştırma”, T.C. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi; Balıkesir.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 20.01.1983

Doğum yeri Kastamonu

Lise 1997 – 2001

Kastamonu Abdurrahmanpaşa Lisesi

Lisans 2002 – 2006

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum(lar)

2006 – 2007

Kastamonu Berceste Yapı Market

2008 – Devam Ediyor

Epo Yapı Kimya